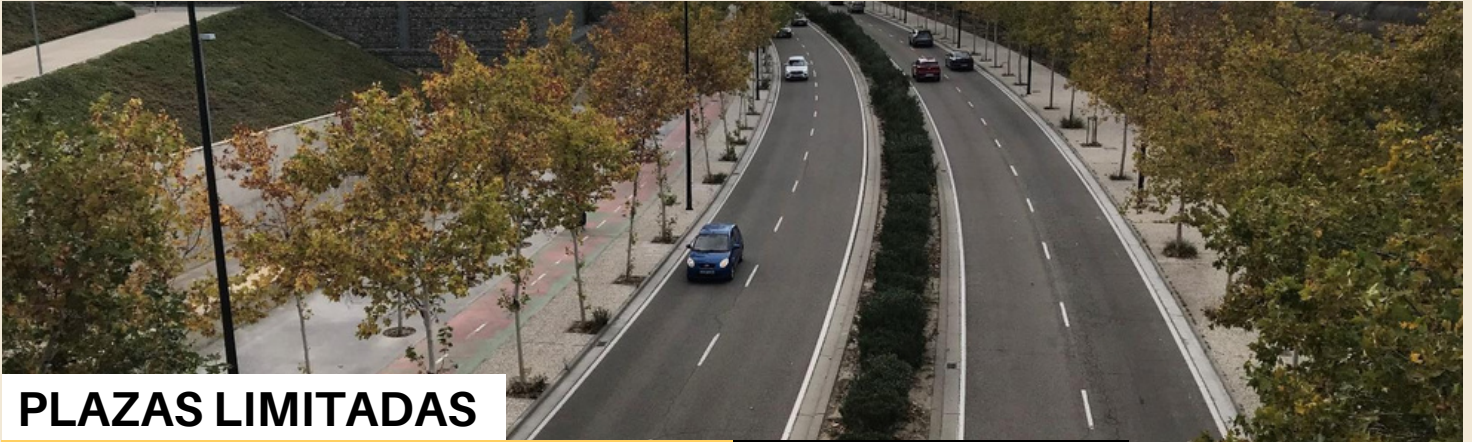


HIDROGEODÍA
2024 ZARAGOZA

23 DE MARZO

Excursión gratuita y guiada

El desconocido BARRANCO DE LA MUERTE en Zaragoza



PLAZAS LIMITADAS

Imprescindible reserva previa e-mail zaragoza@igme.es



Fotos: Heraldo de Aragón





PUNTO DE ENCUENTRO c/ Teatro Malibrán 30. Puerto Venecia (frente a puerta de IKEA)

HORA DE SALIDA 9:00 h

HORA DE LLEGADA 14:30 h (estimada)

Información detallada y folleto de la excursión en aih-ge.org/hidrogeodia-2024/

 **DÍA MUNDIAL DEL AGUA** 22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024
 ¡PARTICIPA!

HIDROGEODÍA 2024  III Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024


Organizan



CSIC

IGME 175



CSIC

DELEGACIÓN EN ARAGÓN



Colaboran

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (rama de la geología que estudia las aguas subterráneas teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), que se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y ha sido organizada por el CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), con la colaboración del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Aragón (ICOG), Colegio de Geógrafos de Aragón y el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR).

La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En la provincia de Zaragoza, el **Hidrogeodía 2024** se celebra el 23 de marzo y tiene como temática “El desconocido BARRANCO DE LA MUERTE de Zaragoza”.

Se llevará a cabo una visita guiada con objeto de dar a conocer el curso medio y bajo del Barranco de la Muerte a su paso por la ciudad de Zaragoza. Explicar los aspectos morfológicos, hidrogeológicos e hidrometeorológicos de la cuenca, consiguiendo identificar los daños y las señales dejadas sobre el terreno, que todavía perduran, como resultado de la riada de carácter catastrófica acaecida el 6 de julio de 2023. Se han previsto siete paradas:

- 1) La tormenta del 6 de julio de 2023
- 2) Planificación urbanística, ordenación del territorio y riesgos hidrológicos
- 3) Derivación del barranco
- 4) Parque del Barranco
- 5) Efectos de la urbanización en el barranco
- 6) Tanque de tormentas
- 7) La Ronda de la Hispanidad y el Canal Imperial de Aragón

ITINERARIO

El punto de encuentro será en la calle Teatro Malibrán, 30. Puerto Venecia (Junto entrada IKEA). Bus 31 y C4. (Figura 1).



Figura 1. Vista del punto de encuentro en calle Teatro Malibrán, 30. Puerto Venecia (Junto entrada IKEA).

Recepción. 9:00h. En el punto de encuentro se realizará una pequeña explicación de la jornada.

A continuación, sobre las 9:15 se saldrá caminando hacia el tramo medio del Barranco de la Muerte, al otro lado de las vías del AVE, para comenzar con las paradas previstas (Figura 2).

Parada 1. LA TORMENTA DEL 6 DE JULIO DE 2023. Se hablará del barranco de la Muerte: una cuenca con trágica memoria, detallando

su encuadre geológico e hidrogeológico, así como las características morfológicas de la cuenca. Introducción al episodio hidrometeorológico del 6 de julio de 2023. Se comentarán otros eventos catastróficos en Aragón y se planteará reflexión ¿Episodio excepcional o frecuente? Periodos de retorno y análisis hidrológico. Asimismo, se realizará la Identificación de efectos y daños (represamiento, altura de lámina de agua).

Parada 2. PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y RIESGOS HIDROLÓGICOS. En esta parada se explicará Implicaciones de la planificación urbanística y la ordenación del territorio en los riesgos de inundación. Identificación de daños y efectos de la riada.

Parada 3. DERIVACIÓN DEL BARRANCO. Corresponde al inicio de la canalización que deriva las aguas del barranco. Se observarán los diámetros de los conductos bajo el puente. Se visualizará la dirección tomada por la riada, desbordando el nuevo cauce y tomando la dirección del cauce natural, así como la Identificación de la extensión de la arroyada y destrozos originados.

Parada 4. PARQUE DEL BARRANCO. Se explicará qué es y qué utilidad tiene un parque-barranco. Elementos constructivos utilizados para disminución de energía de arroyadas. Observación de diámetros de conductos, identificación de la altura alcanzada por la lámina de arroyada y de daños en canalizaciones, represas y otras estructuras.

Parada 5. EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN EL BARRANCO. Se explicará el efecto de la urbanización sobre el barranco y afección al CEIP María Zambrano. Se realizará un análisis hidrodinámico y simulación de calados para explicar la peligrosidad. Se comentarán los

efectos de la riada en los bulones, el colegio, cuartel de policía y supermercado. Identificación de destrozos en mediana de la Avenida de la Policía Local.

Parada 6. TANQUE DE TORMENTAS. Se explicará lo que es un tanque de tormentas y depósitos de laminación, en concreto el Tanque de Tormentas de Puerto Venecia.

Parada 7. LA RONDA DE LA HISPANIDAD Y EL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN. Se comentarán las implicaciones del trazado actual del tercer cinturón Ronda de la Hispanidad sobre el cauce del barranco de la Muerte. Nos detendremos en el cruce del barranco de la Muerte por el Canal Imperial, desde donde se observará la morfología histórica de la muralla y su estado actual. Se discutirá sobre los posibles efectos que hubiera ocasionado la riada en un escenario con la morfología histórica. Finalmente se describirá el curso final del barranco aguas más abajo, la pérdida de energía y ramificación del cauce y la sedimentación que se produce.

Además, una testigo excepcional nos contará su vivencia personal sobre los efectos de una riada anterior, acontecida en este mismo barranco en el año 2007.

Se prevé que la jornada finalice sobre las 14h.

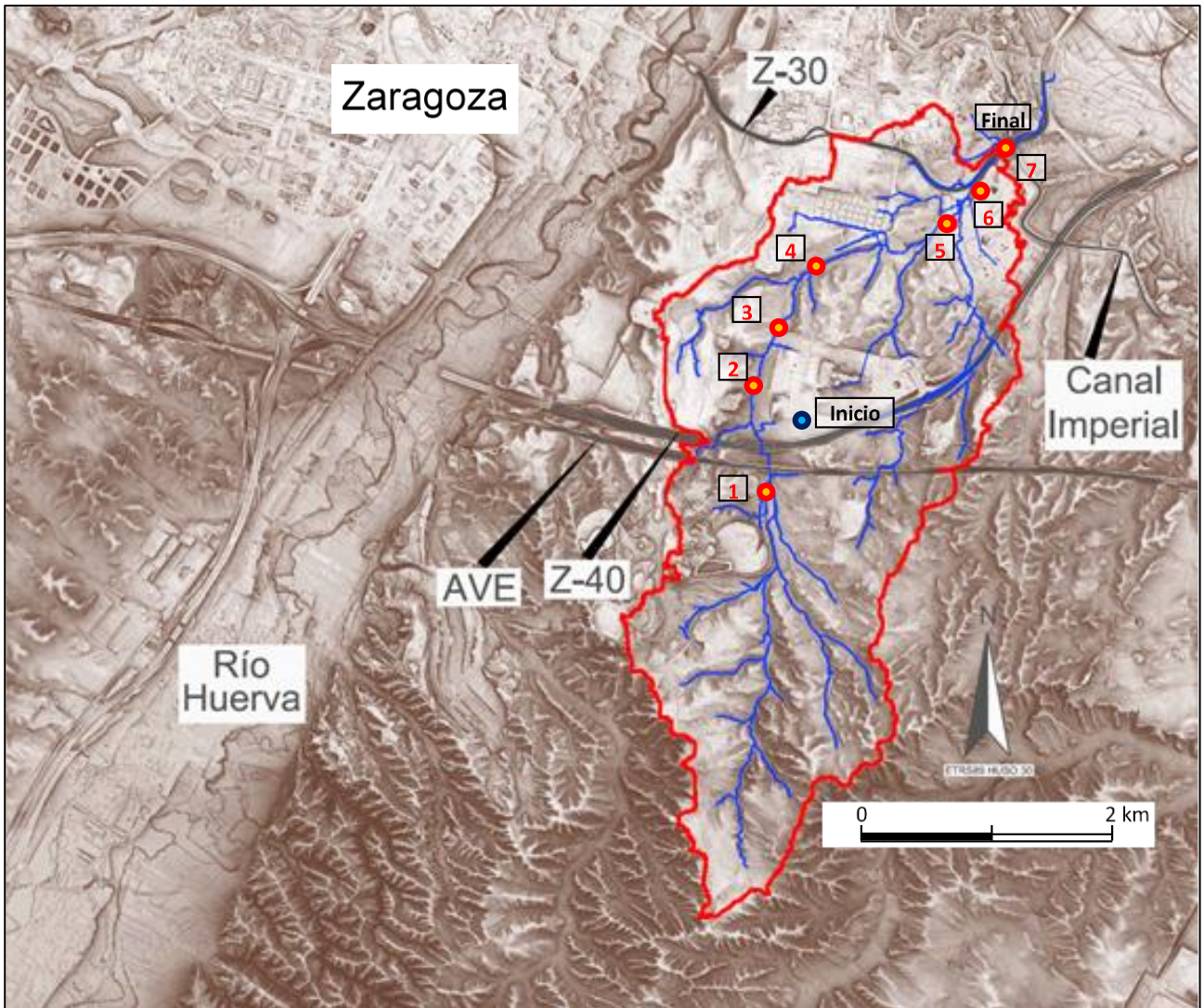


Figura 2. Situación de las paradas, red de drenaje y cuenca vertiente del barranco de la Muerte hasta su cruce con el Canal Imperial de Aragón, punto final de la jornada.

INTRODUCCIÓN

En torno a la ciudad de Zaragoza confluyen dos importantes tributarios del río Ebro, el río Gállego por su margen izquierda y el río Huerva por la derecha. Pero la cuenca del Ebro también está salpicada de pequeños cauces y barrancos de corto recorrido, muchos de los cuales acaban desembocando directamente en el Ebro, que se caracterizan por tener unas cuencas hidrográficas de pequeña extensión.

Algunos de estos pequeños barrancos son escasamente conocidos o directamente ignorados por gran parte de la población, bien porque suelen estar secos la mayor parte del año o porque tienen un caudal exiguo, a lo sumo intermitente, que funciona tan solo en periodos de lluvias fuertes o torrenciales. También, el crecimiento y urbanización de las ciudades difumina el poder apreciar estos cauces que, en ocasiones, se enmascaran con otras canalizaciones de vertido y viales. La ciudadanía acaba adquiriendo una falsa percepción de seguridad y asume, en su propio desconocimiento, la inexistencia de estos cauces, que acaban mostrando su verdadera naturaleza ante episodios hidrometeorológicos extremos.

Éste bien pudiera ser el caso del denominado barranco de la Muerte, un modesto valle en medio de un territorio árido y escaso de precipitaciones, que hasta fechas recientes era un gran desconocido para la mayoría de la población, pero que a raíz de un catastrófico episodio sucedido el 6 de junio de 2023 ha pasado a formar parte de la memoria de todos los zaragozanos. Un repentino fenómeno meteorológico convectivo generó unas intensas lluvias aquella tarde del día seis, queriendo el destino que se concentraran fundamentalmente sobre esta pequeña cuenca

y en un corto espacio de tiempo. La infraestructura de canalizaciones y desagües quedó rápidamente desbordada, siendo incapaz de absorber los casi 50 litros por metro cuadrado caídos en apenas 40 minutos. El torrente de agua acabó buscando el recorrido del cauce natural a través del entramado de calles, avenidas y edificaciones recientemente construidas que se interponen a su paso, causando cuantiosos daños materiales.

No es este el único episodio trágico vivido en este barranco, tal y como cuentan diferentes crónicas (Asociación de vecinos La Paz, 2019; Chóliz, 2023). De hecho, reseñas de su nombre se remontan al S. XII, aunque motivado por sucesos que nada tuvieron que ver con los fenómenos hidrometeorológicos recientes, sino por disputas de índole militar. La designación procedería del resultado de los duros enfrentamientos y elevado número de muertos que se produjeron en este paraje tras el enfrentamiento de las tropas cristianas del rey Alfonso I el Batallador con las del ejército musulmán que acudieron al rescate de la entonces ciudad sitiada de Saraqusta. Trágica y muy sangrienta fue también la denominada Batalla de Zaragoza o de los Montes de Torrero, esta vez en 1710, que dejó unos 6.000 muertos después del enfrentamiento de las tropas del Archiduque Carlos de Habsburgo con las de Felipe Duque de Anjou, en el marco de la Guerra de Sucesión española tras la muerte del rey Carlos II. Más tarde, durante la Guerra de la Independencia a principios del S. XIX, ciertas defensas militares y polvorines colocados en la parte alta de la ciudad fueron objeto de incursiones por parte del ejército francés. Restos de algunas construcciones de estas contienda todavía perduran en el actual Parque del Barranco (Figura 3).

El barranco se localiza íntegramente en el término municipal de Zaragoza, al sureste de la ciudad y al este del río Huerva. Su cauce, de

unos 7,5 km de longitud, tiene un trazado urbano de unos 4 km que se iniciaría desde la autovía de circunvalación Z-40 al sur de la ciudad. Puede seguirse por la parte occidental del área comercial de Puerto Venecia, atravesando el Parque del Barranco al sur del Cementerio de Torrero y continuando por el actual trazado de la Ronda de la Hispanidad (Z-30), para cruzar después por debajo del Canal Imperial de Aragón.



Figura 3. Ruinas de construcciones militares del siglo XVIII junto al Parque del Barranco.

Desde este punto el terreno pierde pendiente y el cauce se desdibuja por el entramado de calles, avenidas y campos del extrarradio de Zaragoza. No obstante, la parte alta del barranco remonta unos 4 kilómetros más hacia el sur de la Z-40, hasta el Cabezo de las Zorras, en los Montes de Cuarte de Huerva y Cadrete. En la Figura 4 se resalta la extensión que ocupa la totalidad de la cuenca vertiente del barranco, de unos 23 km² de superficie, nombre con el que es conocido este barranco de la Muerte en el Geoportal del MITERD.

ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO

Prácticamente toda la ciudad se asienta sobre materiales muy permeables de naturaleza detrítica, como gravas, arenas, limos y arcillas, que han sido arrastrados y depositados en el lecho de los ríos a lo largo del Cuaternario, componiendo en su conjunto un importante

acuífero de naturaleza aluvial. Las distintas glaciaciones y la alternancia con otros periodos interglaciares que acontecieron en esta época, como consecuencia de los cambios climáticos del pasado, fueron el motor para que estos sedimentos se acumularan con el paso del tiempo formando diversos depósitos de tipo terraza, dispuestos de forma escalonada y ocupando diferentes niveles, hasta unos 190 m de altura desde el cauce actual del río Ebro.

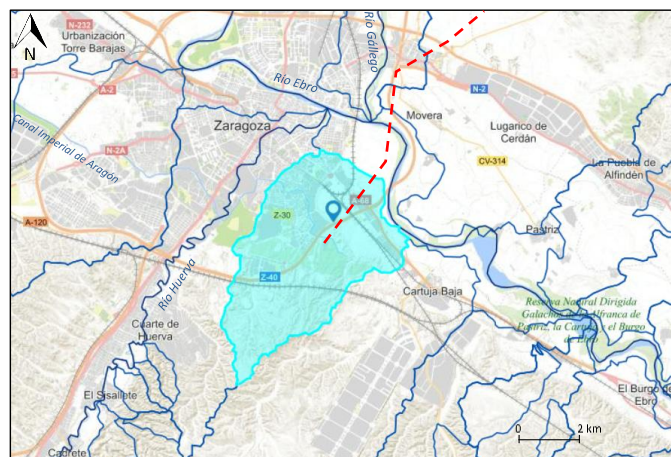


Figura 4. Delimitación de la cuenca del barranco de la Muerte y otras subcuencas vertientes, según el Geoportal del MITERD. La línea discontinua señala la posición aproximada del corte hidrogeológico de la Figura 6.

Depósitos de glaciares de escasos metros de espesor, constituidos por cantos, bloques, limos y arcillas, que son coetáneos a las terrazas, enlazan estas con los relieves que se elevan en posiciones más meridionales y occidentales a la ciudad. Son relieves en los que dominan yesos, margas, arcillas y limos de edad miocena, materiales que al no ser permeables permiten establecer el contacto Cuaternario-Terciario como el límite impermeable del acuífero. Estos materiales también se encuentran con espesores de centenares de metros bajo el lecho del acuífero constituyendo un substrato de naturaleza impermeable.

Hacia la parte alta de la cuenca es significativa la morfología dendrítica que adquiere la red de drenaje, un conjunto de valles de fondo plano

(en Aragón denominados “vales”) que tapiza las formaciones miocenas con depósitos de pequeño espesor compuestos por lutitas, limos yesíferos y cantos de yesos y calizas. Los barrancos de fondo plano (infilled valleys), son barrancos característicos de climas subáridos, que tiene una expresión geomorfológica extraordinariamente importante y frecuente en toda la cuenca media del Ebro, y muy especialmente en el entorno de la ciudad de Zaragoza (Figura 5). Son barrancos que supuestamente, en su inicio tuvieron la característica forma de uve, pero que en las condiciones climáticas subáridas y debido a corriente fluviales efímeras, se han rellenado y adquirido la forma que actualmente presentan. Son por tanto esos episodios efímeros los que cargados de sedimentos e inundando todo lo ancho del fondo del valle han dado lugar a esa morfología de fondo plano. En julio del año 2023 asistimos a uno de esos periodos efímeros, definido así por la corta duración del evento (apenas unas horas), y no por la frecuencia de ocurrencia.



Figura 5. Valle de fondo plano del barranco de la Muerte.

De los al menos 8 niveles de terrazas que se han llegado a distinguir, tendrían relevancia hidrogeológica las 4 terrazas bajas y medias junto con la llanura aluvial actual (Figura 6), que son las que permanentemente mantienen un nivel de agua que satura los depósitos en profundidad, conectándolos hidráulicamente entre sí y con los ríos. Este amplio conjunto define en la ciudad lo que viene llamándose el

acuífero aluvial urbano de los ríos Ebro y Gállego en Zaragoza (Garrido et al., 2010) aunque, a efectos prácticos de la gestión y administración de las aguas, se establece una división en dos masas de agua subterránea según la terminología de la Directiva Marco del Agua: el aluvial del Ebro-Zaragoza y el aluvial del Gállego. Las características hidrogeológicas de este acuífero urbano son bien conocidas (Moreno et al., 2008), tanto su geometría como las propiedades hidráulicas, la calidad del agua, la piezometría o las direcciones de los flujos subterráneos. Todo ello ha favorecido que tenga una importante explotación del agua subterránea, que en las últimas décadas se ha dirigido hacia el aprovechamiento con fines energéticos.

El recorrido que se visita en este Hidrogeodía 2024 discurre por la cuenca media del barranco de la Muerte (Figura 2), un sector donde se hallaría el límite del acuífero, la transición entre los relieves terciarios impermeables, los glaciares y las terrazas altas del acuífero aluvial. Se podrá deducir que la virulencia con la que se manifestó el episodio hidrometeorológico tiene en parte su justificación porque un elevado porcentaje del importante volumen de las precipitaciones caídas esa tarde del 6 de julio de 2023 se produjo sobre los materiales impermeables que ocupan la mitad meridional y las zonas de cabecera de la cuenca del barranco de la Muerte. La elevada pendiente media de la cuenca, aproximadamente del 2,5 %, y la incapacidad del terreno para absorber tan apenas una mínima parte del agua caída favoreció la generación de una escorrentía circulando a muy rápida velocidad a través de la red de vales, con un tiempo de concentración de la arroyada muy corto.

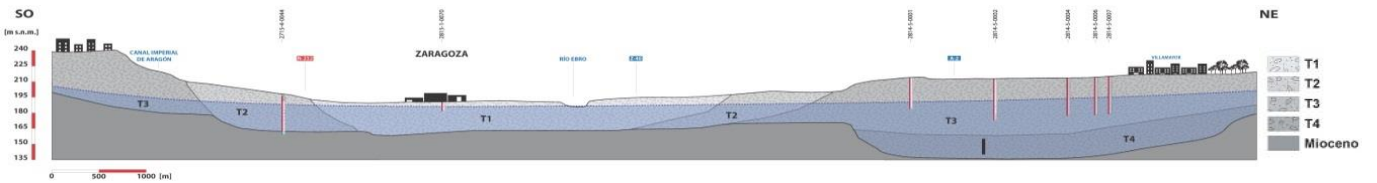
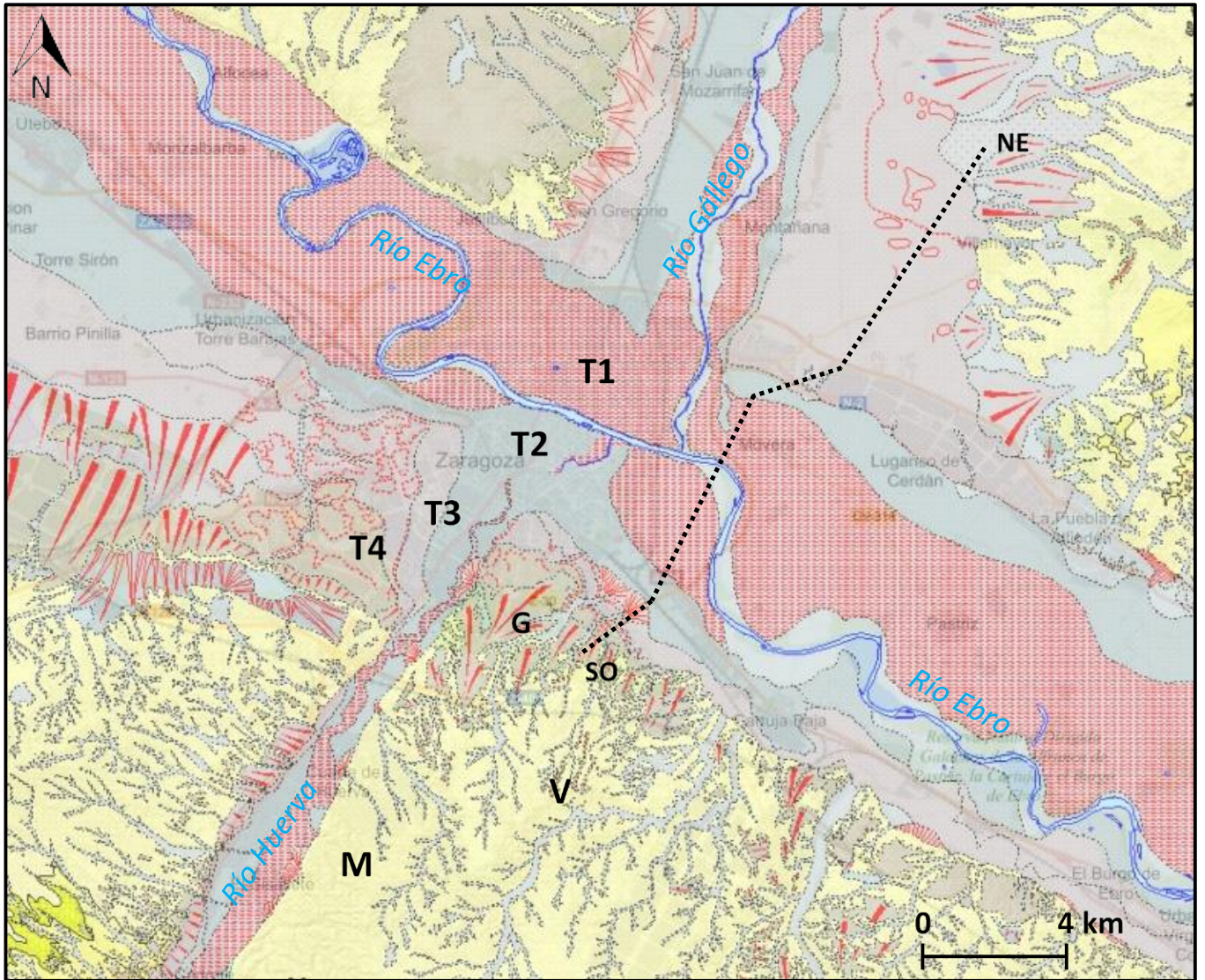


Figura 6. Mapa geológico en el entorno de Zaragoza y perfil hidrogeológico transversal (García-Gil et al., 2020). En la mapa se indica la posición del perfil, cuyo extremo SO coincide aproximadamente con el tramo medio del barranco de la Muerte. T1 a T4 son los niveles de terrazas bajas y medias; G: depósitos de glacia; V: valles de fondo plano; M: depósitos terciarios del Mioceno (Fuente: IGME).

de la Hispanidad (Z-30) hasta alcanzar el curso bajo del barranco. Una vez aquí, la menor pendiente del barranco contribuyó a disipar la energía y la velocidad de la arroyada, mientras que la mayor permeabilidad del terreno incrementó la capacidad de infiltración del agua.

Con un caudal creciente, las canalizaciones, que no estaban dimensionadas para unas precipitaciones de estas características, pronto se vieron desbordadas y el agua tuvo que circular con rapidez atravesando la Ronda

PARADA 1. EL EPISODIO HIDROMETEROROLÓGICO DEL 6 DE JULIO DE 2023

En la tarde del 6 de julio de 2023 se produjo en Zaragoza un evento hidrológico poco frecuente con una precipitación, variable en el espacio y en el tiempo, en torno a 50 litros por metro cuadrado repartidos en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del episodio de lluvia. Aunque, afortunadamente, no hubo víctimas, se produjo un riesgo hidrológico muy grave, en el barranco de la Muerte, antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón, por donde pasa la Ronda de la Hispanidad Z-30, confinada entre muros (Figuras 7 y 8).



Figura 7. Cinturón Z-30 de Zaragoza antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón.



Figura 8. La misma zona tomada desde la obra de drenaje del Canal Imperial de Aragón. Fuente: El Periódico de Aragón.

Dos son las causas de la existencia de este riesgo, una natural debido a la intensa precipitación en corto espacio de tiempo y otra artificial debida a la infraestructura viaria

que no contempla espacio específico para la circulación de las crecidas del barranco.

Sobre la causa natural cabe caracterizar la cuenca vertiente del barranco de la Muerte, que recoge el agua de lluvia concentrándola en las avenidas Policía Local y Tiziano, y finalmente en la Z-30, donde se sitúa el punto de salida que es la obra de drenaje del Canal Imperial (en el Siglo XVIII ya previeron una obra de drenaje para cruzar este barranco). Redondeando cifras, la cuenca vertiente en ese punto de salida tiene una superficie de 9 km², que es bastante, y un cauce principal de 7,5 km. El cauce del barranco de la Muerte atraviesa la Z-40 y el AVE situado a unos 3,5 km aguas arriba del punto de salida de la cuenca y se prolonga 4 km más hasta el cabezo de las Zorras a 402 metros de altitud (Figura 2). En el tramo de la Z-30, la pendiente es 2,5 % lo que hace que el agua haya circulado a con velocidad y energía. Como zonas singulares, la parte baja de la cuenca vertiente abarca Parque Venecia, el barrio de la Policía Local, el cementerio de Torrero y una parte del barrio La Paz. Desde el punto más alejado, el agua podría tardar en llegar 2 horas, lo que implica que, en el momento de la crecida, no estaba descargando toda la cuenca que, de haberse prolongado la lluvia más tiempo, la amenaza hubiera sido peor.

LA CUENCA Y SU REDUCIDO TAMAÑO

Sobre el tamaño de la cuenca vertiente y a modo comparativo, cabría recordar los dos eventos hidrometeorológicos más catastróficos registrados en Aragón en el Siglo XX: el de agosto de 1996 en el barranco de Arás con una cuenca de 18 km², que provocó 89 víctimas mortales; y otro, poco conocido, en septiembre de 1921 en el barranco de Aguilón con una cuenca de 14 km², donde fallecieron 18 personas. Los dos episodios no son únicos en sus respectivas cuencas. Por

ejemplo, en Aguilón se han registrado otros que, aunque sin víctimas personales, también ocasionaron graves daños: en 1981, septiembre de 1986, septiembre de 2003, o en junio de 2007 donde hay estimaciones de 80 l/m² en poco más de media hora. En el barranco de Arás hay constancia de otras riadas en los años 1907, 1922, 1929 y 1955, y hay más.

Como puede verse, las catástrofes graves se han producido en cuencas muy pequeñas. Hay un fenómeno conocido como efecto sorpresa que es una sensación. En el río Ebro todos los años hay más de una crecida, y se prevé una semana antes, a nadie le sorprende. Sin embargo, en las cuencas pequeñas pasan años sin crecidas y, cuando hay una, se produce muy rápidamente, crecidas relámpago se les llaman, y sorprenden mucho más. Parece haber una relación inversa entre sorpresa y frecuencia. En cuencas pequeñas, las crecidas son poco frecuentes, son muy rápidas, sorprenden y tienen mucho peligro.

Respecto a la identificación de este barranco, existen bases de datos para el territorio nacional que recoge los tramos de cauce que se consideran representativos y que normalmente se toma como referencia para definir los cauces sobre los que hay que solicitar autorización de obras. Cabe destacar que, como el barranco de la Muerte no está recogido en estas bases de datos, sería medida prudente su incorporación, así como la de muchos otros casos.

Si la forma de estos barrancos es una consecuencia de la superposición en el tiempo de esos eventos violentos y de corta duración, la pregunta que todos nos hacemos es, con que frecuencias se producen estos eventos. La mejor respuesta viene dada por la hidrología, en concreto la hidrología de pequeñas cuencas. Todos los estudiosos de la hidrología, y en todo el mundo, ha

demostrado que la intensidad de la lluvia va aumentando cuanto más pequeño es el intervalo de tiempo de medida. También se ha demostrado que la intensidad es mayor cuanto más pequeña es la superficie en que se mide.

Estas conclusiones ya profusamente demostradas y publicadas en los años sesenta, se ratifican continuamente gracias a los datos de los radares meteorológicos y la medición en pluviógrafos que dan datos quinceminutales de lluvia, como son los de la red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Todos tenemos evidencia del fenómeno, cuando hay una tormenta estival en Zaragoza, basta refugiarse los 10 o 15 minutos en que el agua cae a “cantaros” y de todos los lados, el paraguas sirve de poco, pero enseguida ha pasado, también observamos que, a poca distancia, en un barrio próximo, apenas ha llovido. Las pequeñas cuencas, tienen tiempos de concentración muy cortos, y por tanto les afectan intensidades de lluvia muy altas, y consecuentemente dan lugar a caudales punta muy elevados. A estas crecidas se les denomina, Flash Flood o crecidas relámpago. La denominación sitúa bien su peligrosidad y el escaso tiempo de respuesta que se tiene, cuando imprudentemente se está en el cauce de uno de estos barrancos.

Aragón es una de las zonas de España y de Europa, donde más tormentas de este tipo se producen, y lo señala D. Lorenzo García de Pedraza, meteorólogo y más de cuarenta años jefe de la demarcación del Ebro, con varios libros y artículos impresionante sobre el clima y los fenómenos meteorológicos que han sucedido y suceden en la cuenca del Ebro. García de Pedraza denomina a las tormentas como la acaecida ese 6 de julio como “tormentas de calor o estivales”; describe perfectamente su origen, los indicios de formación, su evolución... Señala como características más acusadas de estas tormentas de calor los siguientes factores: a)

rápido desarrollo; b) pequeña extensión; c) precipitación local intensa; d) fuertes rachas de viento; e) adquieren su máximo desarrollo después de mediodía y se disuelven por la noche; f) llevan riesgo de granizada; g) el tiempo refresca a continuación. Esto lo decía en los años sesenta.

Actualmente, todas estas características se pueden ver, casi a tiempo real, con la información disponible en nuestros teléfonos móviles, especialmente, las imágenes de radar. La que se acompaña en la Figura 9 es del evento que consideramos, ya con unos 10 o 15 minutos de retraso, ya había pasado la zona del barranco de la Muerte. Con el radar meteorológico, que mide la reflectividad del aire, podemos ver esos “diluvios” locales y como se desplazan, aplicaciones en el móvil como “alarma de lluvia” proporcionan imágenes del radar de AEMET cada 10 o 15 minutos.

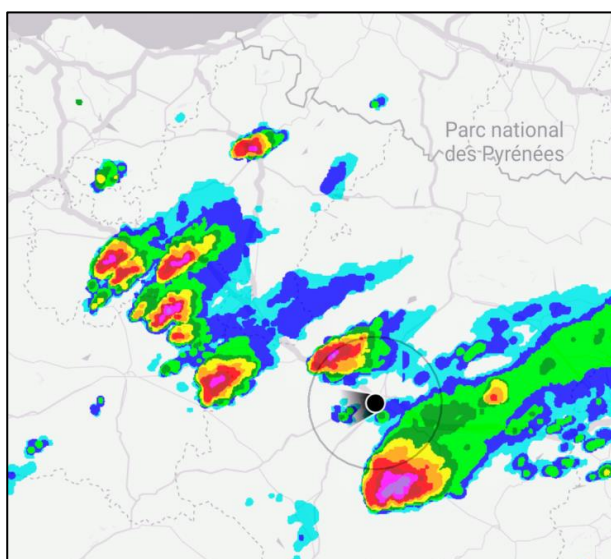


Figura 9. Imagen de radar meteorológico en el entorno de Zaragoza, pocos minutos después de la tormenta del 6 de julio de 2023. La coloración muestra la intensidad de las precipitaciones, azul menor y rojos mayor.

También con el SAIH se puede ver la lluvia que se ha registrado en observatorios cercanos a esos “ecos” intensos de lluvia cada 15 minutos y, por tanto, deducir la intensidad de la precipitación en mm/hora, que es el referente

para comparación de intensidades de lluvia; en el evento del 6 de julio se registraron intensidades de 80 mm/hora. La accesibilidad a esta información es pública, casi inmediata y gratuita.

Núcleos de tormenta como el producido no son raros en Aragón, se producen todos los años y muchas veces, en toda la geografía aragonesa, mejor se podría decir que son extraordinariamente frecuentes en Aragón. Estos episodios tormentosos vienen asociados a lluvias muy intensas pero que, por su carácter local, en la inmensa mayoría de los barrancos no producen daños, porque no hay nada que dañar, “mover las piedras”, por otra parte, nadie habla de ellas porque no hay observador.

¿SE PUEDE REPETIR UN EPISODIO SIMILAR?

Respecto a la probabilidad de que se repita otro evento parecido en Zaragoza, se puede afirmar que se volverá a producir, como en todo riesgo natural la cuestión es cuándo o con qué frecuencia. Para abordar esta cuestión cabría plantear que las series temporales de lluvia con datos más abundantes son de registro diario. El episodio del 6 de julio, como precipitación diaria es bastante moderada, en Zaragoza episodios de 50 l/m² en un día hay uno cada 5 años de promedio. La cuestión es que se produjo en 40 minutos que, aplicando normas estatales, daría como resultado que se trata de un episodio que se repite aproximadamente una vez cada 500 años (Tabla 1).

Tabla 1. Datos estadísticos de en precipitación Zaragoza

Periodo retorno	Años →	2	5	10	25	50	100	500
En un día	l/m ²	41	56	68	84	96	109	143
En 40 minutos	l/m ²	15	20	25	30	35	40	52

Fuente: publicación de 1999 del Ministerio de Fomento y otras.

Sin embargo, los fenómenos convectivos se desarrollan de forma localizada en el espacio y muchos de ellos no se registran en ningún pluviómetro. Además, eventos como éste, con una precipitación muy intensa concentrada en unos cuantos minutos, en los pluviómetros de registro diario pasaron desapercibidos porque a escala diaria no son excepcionales. Producen lo que se conoce como sesgo estadístico. Por lo tanto, antes de clasificar este evento con un periodo de retorno habría que hacerlo con prudencia y con un análisis más profundo porque podría ser mucho más frecuente de lo que aparenta, de hecho, casi todo el mundo ha visto varios episodios de este tipo a lo largo de su vida.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la estimación de caudales punta, muchas administraciones españolas recomiendan el uso de la aplicación CAUMAX, que es una base de datos que asigna caudales asociados a periodos de retorno para cuencas de más de 50 km². Para cuencas más pequeñas, se recomienda aplicar la metodología que recoge Instrucción 5.2-IC/2016 - Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero), que aplica una adaptación española del método racional y del modelo de Número de Curva del Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos (CN-SCS). Con la adaptación española de este método americano se reducen muy significativamente los valores de caudal punta obtenidos.

Dos son las razones principales, una muy grave es que 5.2-IC considera un coeficiente corrector del umbral de escorrentía que viene a equivaler a seleccionar un estado del suelo previo al evento como muy seco, capaz de absorber cantidades muy significativas de agua que no producen escorrentía superficial. La segunda razón es el considerar un método de cálculo del tiempo de concentración que da resultados muy altos, por lo que las crecidas se estiman de forma muy laminada, con el pico

atenuado y la intensidad de precipitación es menor porque la cantidad de lluvia caída se reparte en un tiempo más largo.

La Tabla 2 adjunta muestra los resultados de caudal punta por periodo de retorno, calculados con la Instrucción 5.2-IC, y otros con el software SHEE, aplicando un método hidrológico distribuido más riguroso y en condiciones normales y estándar. Las diferencias de resultados son abrumadoras (Mateo et al., 2023). Señalar que el programa SHEE (Figura 10) tiene origen en tesis doctorales del área de Geodinámica del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Mateo et al., 2013).

Tabla 2. Caudales por periodo de retorno para la cuenca del barranco de la Muerte

Periodos retorno	Años →	5	10	25	50	100	500
Método 5.2-IC	m ³ /s	7	9	15	20	26	43
Hidrograma distribuido SHEE	m ³ /s	35	56	87	115	150	245

El programa SHEE tiene un módulo que genera lluvias sintéticas que permite simular eventos con distinta distribución espacial y temporal, como ocurre en la evolución de los fenómenos convectivos. Con él se han llevado diversas simulaciones con una precipitación de 50 l/m² en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del evento, 20 l/m² en 10 minutos. Para condiciones estándar el resultado ha sido un caudal punta de 64 m³/s. Si se clasifica este caudal punta con los resultados obtenidos al aplicar la Instrucción 5.2-IC se obtiene un periodo de retorno próximo a 1.000 años, sin embargo, con el modelo SHEE en condiciones estándar resulta un periodo de retorno del orden de 20 años, que es más o menos la edad de la Z-30 en ese punto.

En relación al coeficiente corrector del umbral de escorrentía su significativa reducción en los valores de las estimaciones, señalar que con el

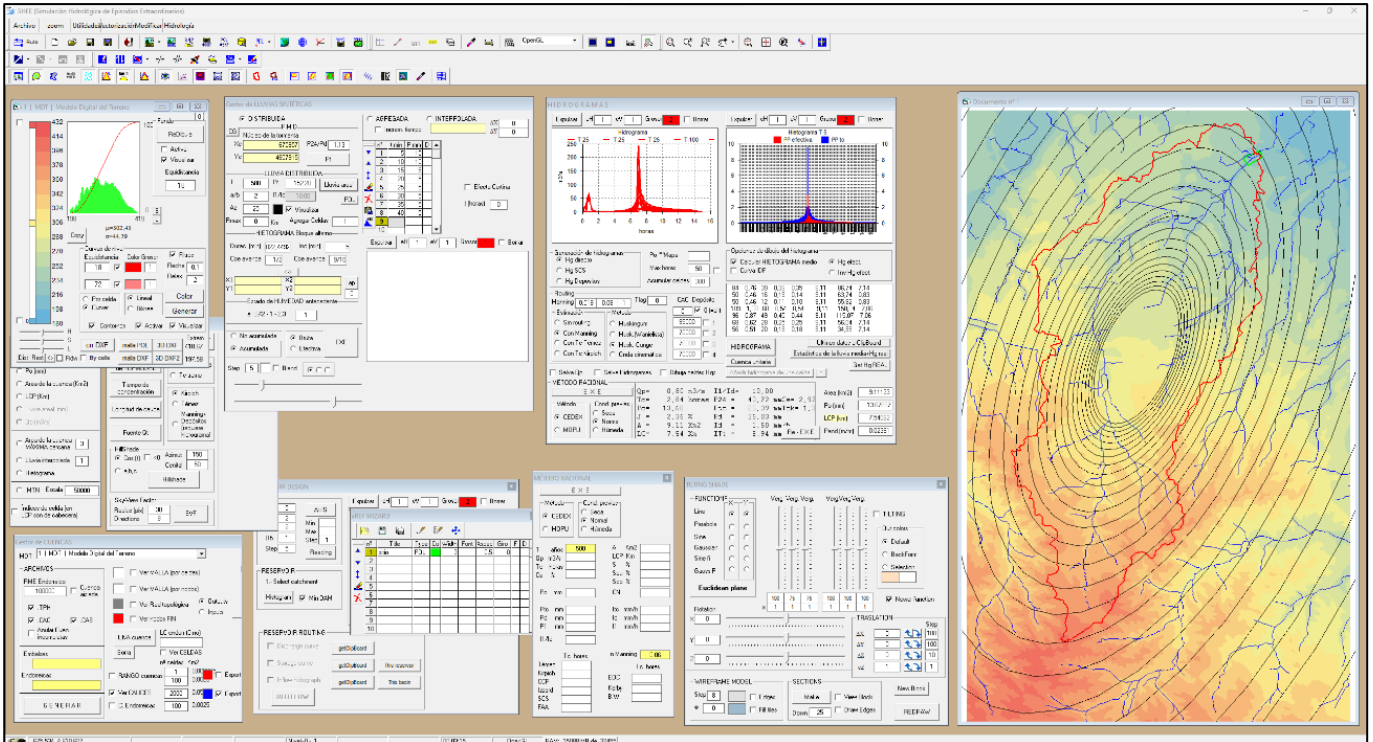


Figura 10. Interfaz del programa de hidrología SHEE (Mateo et al., 2023).

programa SHEE se ha podido comprobar que es el estado previo del terreno la característica hidrológica clave, la más sensible y la que produce mayores variaciones en la estimación de caudales de crecida, con variaciones del 120 %. También se ha comprobado que la combinación de características (significativas hay tres más: diferentes desarrollos en el espacio y en el tiempo para una misma cantidad de precipitación, y rapidez con que circula el agua por los cauces, otro de los criterios infravalorados de la Instrucción) puede producir oscilaciones del 300 % en la estimación de caudales de crecida. En la estimación de caudal punta, por ejemplo 500 años, ya se ve, 43 m³/s frente a 245 m³/s.

En definitiva, y en relación al barranco de la Muerte en Zaragoza, cabe resumir que no se trata de un episodio de 1.000 años como se deduciría al considerar los resultados de la Instrucción 5.2-IC, sino que puede ser más razonable que se repita cada más o menos 20 años, como muestra el programa SHEE. De hecho, los vecinos del barrio de Torrero de

Zaragoza han presenciado en el siglo XXI otros episodios torrenciales, menos severos, con el barranco en descarga.

Durante el transcurso de esta parada se podrán observar diferentes señales, marcas y efectos originados por el evento del 6 de julio en esta parte alta del barranco, destacando la altura alcanzada por el agua como consecuencia del represamiento favorecido por el terraplén del AVE. En este punto, la dimensión del paso de agua que deja el viaducto en el fondo del barranco, de 2,5 m de diámetro, fue claramente insuficiente para evacuar todo el caudal que iba llegando. El agua se fue acumulando hasta que su nivel subió unos 6 metros, alcanzando la cota del paso inferior de vehículos situado unas decenas de metros a la izquierda del barranco (Figura 11). En este paso inferior se observa la marca dejada por la arroyada, que alcanzó unos 0,8 m de altura media.



Figura 11. (A) Terraplén de la línea del AVE atravesando el barranco de la Muerte. La línea discontinua señala la altura alcanzada por el agua acumulada, que encontró salida por el paso inferior de vehículos, al fondo de la imagen; (B) Detalle en la conducción de agua (fondo del barranco).

PARADA 2. PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y RIESGOS HODROLÓGICOS

La planificación territorial y urbanística son las herramientas clave para el desarrollo de una región. Ambas políticas públicas son competencia de la Administración autonómica aragonesa según el Estatuto de Autonomía, es decir, se delega en Gobierno de Aragón por parte del Estado la legislación en cuanto a la redacción y ejecución en materia urbanística y territorial.

¿QUÉ IMPLICA PLANIFICAR?

Implica la ordenación, clasificación y calificación pormenorizada de los usos del suelo a través de diferentes instrumentos que permiten el desarrollo y la implantación de la actividad residencial y económica de la sociedad aragonesa bajo criterios de sostenibilidad social, económica y ambiental principalmente. Y, sobre todo, buscando o persiguiendo la misma calidad de vida equivalente a la ciudadanía aragonesa en cualquier territorio aragonés.

La diferencia principal entre ordenación del territorio y planificación urbana es que la primera es legislada y ejecutada principalmente por el Gobierno de Aragón. Mientras que la urbana la realiza la Administración local, es decir, los Ayuntamientos y entidades locales son el actor principal que ha de legislar sobre su suelo y sobre la proyección que quiere del mismo.

Es decir, la planificación urbana pretende determinar no solo el qué sino el cómo, cuándo y dónde desarrollar o mejorar las infraestructuras, los equipamientos, las viviendas, etc. de un determinado pueblo o ciudad. Es decir, cuando se aprueba un Plan General de Ordenación Urbana se le presupone una entidad de documento legal con proyección en el tiempo a 15, 20 o 25 años de lo que quiere ser esa ciudad al tiempo.

No debería variar mucho la vida de ese documento legal, aunque hay formas previstas para su modificación parcial. Zaragoza es ejemplo de ella siendo una de las principales ciudades de España y motivada por la "vida y desarrollo económico que posee" ·

La realidad en Aragón es muy heterogénea en ambas políticas públicas. Mientras que en la ordenación del territorio está claramente identificada a través de la Estrategia de Ordenación del Territorio y las Directrices parciales, zonas o especiales, la planificación

urbana está desarrollada de una forma irregular. Aún tenemos gran parte del territorio con figuras de planeamiento no desarrolladas como consecuencia de nuestra historia más reciente que dispone de municipios con poca población (y fuerza técnica o interés político) que no han desarrollado sus propios instrumentos urbanísticos. Eso implica que tengamos aún mucho suelo en Aragón con normas jurídicas del siglo pasado como son delimitaciones de suelo urbano o normas subsidiarias municipales o sin figura de planeamiento municipal (normas subsidiarias provinciales).

No es el caso de la macrocefalia aragonesa, Zaragoza, que dispone de Planes Generales desde hace más de 40 años. Toda la información se puede consultar a través del portal web del Gobierno de Aragón o del propio Ayuntamiento de Zaragoza. Dentro de este marco general, el Ayuntamiento de Zaragoza o cualquier municipio desarrolla su planeamiento urbanístico donde se da cabida a la modificación del plan por razones de diversa índole que se tratan a través de órganos colegiados que determinan la idoneidad del cambio desde el punto de vista legal, urbanístico, económico o ambiental. Ejemplo de ello pueden ser la ubicación de la Romareda, la instalación de una planta fotovoltaica o la construcción de una instalación ya sea educativa o sanitaria o de otra índole.

Toda modificación o desarrollo urbanístico parte del Ayuntamiento que es el actor interesado y el que eleva al Gobierno la modificación a realizar bajo una serie de procedimientos donde se evalúan los diferentes aspectos del desarrollo urbanístico planteado o del suelo no urbanizable. La idoneidad, la ubicación, el riesgo o el impacto ambiental son ejemplos de los elementos que se analizan de forma pormenorizada y, por tanto, documentos legales que se han de cumplir tras su aprobación en el Pleno del

Ayuntamiento y en la Comisión Provincial de Urbanismo respectiva. Toda la información tanto legal como técnica queda, por tanto, recogida dentro del expediente administrativo para su consulta por parte de cualquier ciudadano asegurando la transparencia y participación de la ciudadanía aragonesa a lo largo de todo el proceso.

En esta parada podemos observar el límite que separa las parcelas rurales de la actual zona urbanizada, donde el barranco comienza a sufrir un proceso de transformación e integración en el paisaje urbano. En adelante, durante el recorrido se podrá ir observando diferentes marcas del alcance dejado por la arroyada del 6 de julio, así como diversos desperfectos ocasionados en canalizaciones e infraestructuras (Figura 12 y 13).



Figura 12. Losa de cemento arrancada y arrastrada por la fuerza de riada.



Figura 13. Tronco arrastrado por la riada y depositado elevado en una cuneta.

PARADA 3. DERIVACIÓN DEL BARRANCO

Hasta el punto donde se sitúa esta parada, el barranco ha seguido más o menos su curso natural.

Sin embargo, en este punto se ha acometido una obra que ha supuesto la canalización y derivación del barranco de la Muerte unos pocos metros hacia el oeste. Con unos 300 m de longitud, el canal de sección trapezoidal con 3,5 m de anchura por su fondo y calado de 1,5 m, discurre de sur a norte hasta enlazar nuevamente con su trazado natural junto a las tapias del cementerio de Torrero.

Desde allí, el diseño de Parque del Barranco integra el cauce dando un nuevo aspecto y servicio a esta zona de la ciudad. En esta posición se procede a una breve parada para observar la obra de derivación y la canalización existente (Figura 14). Consiste en dos conducciones paralelas bajo pasarela, de 1,75 m de diámetro.



Figura 14. Conducciones para derivación del cauce del barranco de la Muerte.

Cabe destacar que el caudal que pudo concentrarse en este lugar el 6 de julio fue muy superior a la capacidad para la que fue diseñado el paso bajo la pasarela, no teniendo

más opción que continuar la arroyada por su cauce natural. Son más que evidentes los visibles destrozos ocasionados en los estribos de la pasarela y en su entorno (Figura 15).



Figura 15. Desperfectos junto a los estribos de la pasarela en la derivación del cauce.

También se puede advertir la nueva dirección que tomó la arroyada a partir de los restos vegetales transportados y acumulados en los troncos de la arboleda contigua (Figura 16A).

Prueba de ello se tiene es la instantánea de la Figura 16B, que capta la inundación de este pinar por una arroyada similar que aconteció el 10 de julio de 2007, aunque de menor entidad que la sucedida en 2023.



Figura 16. (A) Cauce natural del barranco atravesando la arboleda, junto a restos vegetales atrapados en los troncos; (B) Arroyada del 10 de julio de 2007 en este mismo emplazamiento.

PARADA 4. PARQUE DEL BARRANCO

EL PAPEL DEL PARQUE DEL BARRANCO DE ZARAGOZA EN LA GESTIÓN DE INUNDACIONES.

En medio del bullicio urbano y el tejido urbano de Zaragoza, se yergue un oasis de tranquilidad y biodiversidad: el Parque del Barranco de Zaragoza. Este espacio verde, situado en el cauce del barranco de La Muerte, no solo es un refugio para la fauna y la flora locales, sino que también desempeña un cierto papel en la gestión de inundaciones.

El Parque del Barranco de Zaragoza encaja dentro de lo que se conocen como infraestructuras verdes-azules, cada vez más frecuentes en grandes urbes como Barcelona, Copenhague o Santiago de Chile. Las infraestructuras verdes-azules son un enfoque integrado que combina elementos naturales (verdes), como áreas de vegetación y suelos permeables, con elementos acuáticos (azules), como cuerpos de agua y canales.

Esta combinación crea un sistema multifuncional que puede absorber, retener y tratar el agua de lluvia, reduciendo así el riesgo de inundación y contaminación en zonas urbanas.

El Parque del Barranco cuenta con una serie de infraestructuras hidráulicas, tales como canales y diques (Figura 17A), enfocados a laminar el flujo del agua durante periodos de lluvias intensas, lo que contribuye a reducir el riesgo de inundaciones en las áreas urbanas cercanas. Los estanques y las áreas inundables creadas con la construcción de diques dentro del parque actúan como reservorios temporales (Figura 17B), reteniendo el exceso de agua durante los periodos de lluvia intensa y liberándola gradualmente una vez que el riesgo de inundación ha disminuido. El agua retenida por los diques es evacuada a través de una tubería central de escaso diámetro (≈ 25 cm) que limita el caudal de evacuación. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento y evacuación de agua de estos reservorios es ilimitada y tan solo resultan eficaces frente eventos de inundación pequeños o moderados.

Parque del Barranco también cuenta con áreas revegetadas que ayudan a prevenir la erosión del suelo, manteniendo la estabilidad de las riberas del canal y reduciendo el riesgo de deslizamientos de tierra durante eventos extremos de precipitación.



Figura 17. (A) Estanques, canales; (B) diques, en el Parque del Barranco.

Adicionalmente, se han instalado escolleras a la salida de las embocaduras de hormigón armado para evitar la erosión del suelo y de las infraestructuras más próximas (Figura 18). Cabe indicar que bajo la pasarela se han dispuesto de dos conductos para paso del agua, de forma y dimensiones análogas a los precedentes.

Sin embargo, una infraestructura de este tipo por si sola y sin un dimensionamiento y características adecuadas no puede hacer frente a eventos de inundación extremos como el ocurrido en julio de 2023.

Por lo tanto, con una planificación cuidadosa y una colaboración entre diferentes sectores, las infraestructuras verdes-azules pueden desempeñar un papel crucial en la construcción de ciudades más seguras, saludables y sostenibles.



Figura 18. (A) Escolleras y diques; (B) Efectos erosivos de la riada sobre diques de contención en el Parque del Barranco.

PARADA 5. REALIDAD JURÍDICA, URBANÍSTICA Y TERRITORIAL DEL CEIP MARÍA ZAMBRANO. CONSECUENCIAS DE LA URBANIZACIÓN DEL BARRANCO

El CEIP María Zambrano está ubicado sobre suelo urbanizable delimitado (SUz-D) según el Texto Refundido Plan General de Ordenación Urbana de 2007 publicado en el BOA con fecha 30/6/08 y el posterior desarrollo de Parque Venecia en PP SUZ 88/I y sucesivas modificaciones aisladas del PG y del PP así como Estudio de Detalle Modificado de la Parcela EE (PU) 89.38 (Ayuntamiento de Zaragoza, 2023) (Figura 19).

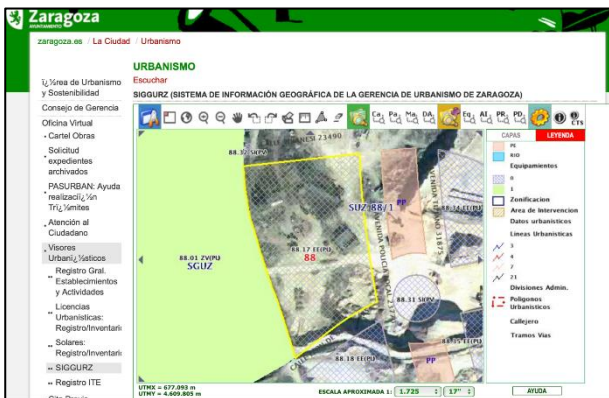


Figura 19. Parcela EE (PU) 89.38. Fuente: SIGGURZ. Ayuntamiento de Zaragoza. Julio 2023.

La principal incidencia desde el punto de vista territorial es la deficiente descripción del barranco y su cuenca receptora dentro de las bases cartográficas oficiales. No se tiene registrado el barranco como cauce ni se dispone de estudios de detalle sobre riesgos en materia de aguas.

No obstante, hay bibliografía documental, gráfica y administrativa que reflejan y evidencian el riesgo que comporta el barranco. Destacan entre otros:

- Diario de Zaragoza 13 de agosto de 1859.
- Diario de avisos 14 de septiembre de 1891.

Ambas originan la rotura de la acequia del plano (sita en la Quinta Julieta tras tanque de tormentas) y lamentablemente la muerte de varias personas.

- Informe preceptivo no vinculante de Protección civil. Año 2003.

- Registros audiovisuales de la avenida Año 2007 que inunda instalaciones de la Policía Local.

Hasta su declaración como suelo urbanizable, los anteriores PGOU declararon este espacio como Suelo No Urbanizable.



Figura 20. Consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales de bien inmueble. Parcela catastral 6997401XM7069H. Fuente: Sede electrónica de Catastro.

La realidad técnica señala que el suelo donde se han instalado infraestructuras y equipamientos antrópicos ha de ser declarado como Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos, tal como se detalla en la última Ley de Urbanismo de Aragón y su desarrollo en la Norma Técnica de Planeamiento Urbanístico de Aragón (Gobierno de Aragón, 2014; 2017).

La información jurídica y catastral de la parcela catastral 6997401XM7069H refleja como suelo de clase urbano sin edificar la parcela

donde está ubicado el CEIP María Zambrano (Figura 20).

No existe sincronización con el Registro de la propiedad, que señala que el CEIP María Zambrano se localiza en una parcela de suelo urbano propiedad del Ayuntamiento de Zaragoza. La parcela EE (PU) 88.17 tiene asignado un uso de Equipamiento Docente Público EE(PU), teniendo una edificabilidad de 1,00 m²/m² y altura máxima B+3 conforme al Estudio de Detalle Modificado de la Parcela EE (PU) 89.38 (Figura 21). Por tanto, la realidad jurídica es clara dada la oficialidad del Registro de la propiedad. Es suelo urbano habilitado para la construcción de equipamiento docente.

En el marco de la planificación urbana, los espacios fluviales son considerados específicamente como una categoría vinculada de Suelo No Urbanizable Especial según el marco legal vigente que es el Decreto-Legislativo 1/2014, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Urbanismo de Aragón.

DATOS DE LA FINCA	
Finca :FINCA DE ZARAGOZA Nº:	24221
IDUFIR:	50021000488747
Naturaleza de la finca:	URBANA
LOCALIZACIÓN	
AVENIDA DE LA POLICIA LOCAL, Número: 4	
SUPERFICIE	
Terreno: trece mil cuatrocientos treinta y cinco metros cuadrados	
LINDEROS:	
norte, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE C; sur, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE D; este, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE E; oeste, CON CAMINO DE LA PARADERA DE ARRAEZ	
PARCELA DE EQUIPAMIENTO EDUCATIVO EE02 RESULTANTE DE LA REPARCELACION DEL SECTOR 88/1 DEL PLAN GENERAL MUNICIPAL DE ORDENACION URBANA DE ZARAGOZA. CARECE DE APROVECHAMIENTO URBANISTICO LUCRATIVO. USOS Y CODICIONES URBANISTICAS LOS CORRESPONDIENTES DE SU NATURALEZA COMO EQUIPAMIENTO EDUCATIVO. EDIFICABILIDAD: UN METRO CUADRADO POR UN METRO CUADRADO. OCUPACION: SETENTA Y CINCO POR CIENTO. ALTURA: PLANTA BAJA MÁS DOS ALZADAS.	
TITULARIDADES	
AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA, con C.I.F. número P5030300G, titular de la totalidad del pleno dominio por titulo de REPARCELACION, inscrita el dia 08 de octubre de 2007, según la inscripción 1ª al folio 153, tomo 4609, libro 476, por Reparcel de fecha 30 de agosto de 2007.	

Figura 21 Detalle de nota simple. Parcela catastral 6997401XM7069H. Fuente: Registro de la propiedad. Julio 2023.

El Organismo de cuenca (CHE en este caso), Gobierno de Aragón (INAGA e IAA) y la Administración local (Ayuntamiento de Zaragoza en este caso) son los responsables y competentes por razón de la materia en

planificar, analizar, ordenar los espacios fluviales para que la convivencia o relación hombre-medio sea la idónea.

En suma, de todo lo expuesto hasta ahora se desprende que, el barranco de la Muerte tiene un riesgo muy alto de avenidas torrenciales severas debido a un retorno corto de precipitaciones intensas en menos de 24 h. Los datos físicos (dimensión de la cuenca), climáticos (cambio climático), meteorológicos (periodos de retorno estimados de 16 a 30 años) sumados a los urbanísticos evidencian que el suelo sobre el que discurre el flujo preferente del barranco de la Muerte está ocupado legalmente, pero de forma indebida.

EL EFECTO DE LA URBANIZACIÓN. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

Se ha llevado a cabo una simulación con el programa SHEE, ya comentado en la parada I, donde las zonas urbanizadas se han restituido virtualmente al estado natural y se obtiene un caudal punta más reducido, de 56 m³/s (Mateo et al., 2023). Como dato significativo señalar que el área urbanizada representa el 15 % de la cuenca y ha producido un aumento de caudal punta del 14 %. Quizás este resultado se debería de tener en cuenta para futuras áreas urbanizables.

Para este análisis Mateo et al. (2023) simulan tres escenarios. El primero de ellos trata de reproducir el evento del 6 de julio de 2023 a partir de los datos meteorológicos disponibles, y los otros dos corresponden a los periodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente. Se ha usado el software libre IBER en su versión 3.3. Consiste en un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado por varias universidades españolas (Bladé et al. 2014)

Para la realización de las simulaciones se ha modelizado una zona desde el CEIP María Zambrano hasta el paso de la Ronda Hispanidad bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón. Se construye una malla no estructurada de triángulos con 2 m de lado, resultando un modelo con un total de algo menos de 94.000 triángulos. Sobre esta malla se ha aplicado el modelo digital del terreno de 2 m de paso de malla, modelo que no refleja las edificaciones existentes en las inmediaciones de las avenidas de la Policía Local y Tiziano, por lo que los resultados reales tenderán a concentrar el flujo del agua en esas zonas.

La condición de contorno de entrada de flujo al modelo se realiza por la zona suroeste, por la parcela donde se encuentra el CEIP María Zambrano, que sufrió abundantes destrozos durante la avenida registrada el día 6 de julio de 2023. Desde allí el agua, tras afectar de forma considerable también al supermercado de la marca Lidl, baja por la Avenida de la Policía Local hasta llegar a la Ronda Hispanidad. La salida del flujo en el tramo simulado se establece bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón.

Las afecciones simuladas son importantes en todas las infraestructuras mencionadas. En la parcela donde se ubica el colegio se superan los 70 cm de calado, con velocidades de flujo superiores a los 4 m/s. Como se ha indicado, el modelo de terreno no contempla la existencia del colegio, de forma que al existir obstáculos para la libre circulación del agua y teniendo en cuenta la energía del flujo, en algunas zonas del colegio el calado habrá superado fácilmente esta cifra. En la Ronda Hispanidad Z-30 se observa igualmente que las afecciones son importantes, en este caso los calados superan el metro de altura con la misma velocidad de flujo.

Habría que recordar que, de acuerdo con el Real Decreto 9/2008 de Dominio Público

Hidráulico, las condiciones para que un flujo de agua pueda generar daños graves sobre las personas y sus bienes son que el calado supere 1 m de altura, o que la velocidad supere 1 m/s o que el producto de ambas sea superior a 0,5. Así, la peligrosidad del flujo fue muy alta durante todo el evento simulado tanto en el colegio, como en el supermercado, la Avenida de la Policía Local y finalmente al Ronda de la Hispanidad; tal y como resulta de la simulación y como se aprecia en todas las imágenes y vídeos que han publicado los medios de comunicación y las redes sociales durante el evento y los días siguientes. Tanto el colegio María Zambrano, como el supermercado y las mencionadas vías de comunicación se encontrarían dentro de la zona de Riesgo Grave de inundación para un evento como el sufrido y por supuesto para los otros dos escenarios simulados. Un ejemplo de los daños causados puede observarse en la Figura 22.



Figura 22. Descalce de plataforma y acera entre el CEIP, el supermercado y el edificio la Policía Local provocado por la erosión de la riada.

De los resultados de las simulaciones que se resumen en la Tabla 3 se comprueba que, para el caso de los periodos de retorno (T) de 100 y 500 años, los daños serían todavía mayores, pudiendo llegar a ser el calado en la parcela del colegio casi del doble del que se ha registrado en este evento y lo mismo en la Ronda de la Hispanidad.

Esto en una situación de periodo lectivo o de gran afluencia de vehículos podría dar lugar a una catástrofe, incluso con posible coste de vidas humanas (Figuras 23 y 24).

en el Estudio geográfico CEIP María Zambrano, realizado en septiembre de 2023:

- Obligatorio, urgente e inequívoco realizar un estudio de riesgo por avenidas extremas para el barranco de la Muerte teniendo en cuenta todos los elementos físicos y antrópicos existentes usando la metodología realizada y probada en Benasque por el Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR) en el marco del proyecto POCTEFA-Alert. Año 2020 (Gobierno de Aragón, 2020).

Tabla 3. Resumen de resultados de valores máximos simulados

Simulación	Parcela CEIP María Zambrano			Ronda Hispanidad – Z30		
	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Daño Grave RD9/2008	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Daño Grave RD9/2008
Evento 6 julio 2023	0,30	2,07	Sí	0,65	3,39	Sí
T 100	0,50	3,88	Sí	0,90	4,74	Sí
T 500	0,90	4,55	Sí	1,20	5,56	Sí

Ante estas evidencias muchas han sido las voces que se alzaron solicitando a los responsables públicos adoptar medidas cautelares. Desde el Colegio de Geólogos se recomendó que este barranco se incorporara en las bases de datos de cauces del Ministerio de Medio Ambiente y, como medida cautelar, como mínimo y si no se adopta otra solución más taxativa, se realizara un plan de emergencias para el CIEP María Zambrano, para el tramo afectado de la Z-30, para las avenidas de la Policía Municipal y Tiziano y para los concurridos centros comerciales que se pudieran ver afectados por las riadas de este barranco. Se debe considerar que este episodio se puede volver a repetir con más frecuencia de la que parece, y que puede haber episodios todavía más severos

Desde el Colegio de Geógrafos se formularon también algunas recomendaciones recogidas

- Eliminar cualquier equipamiento ubicado en cauce del flujo preferente del barranco de la Muerte dado el periodo de retorno de precipitación intensa diaria inferior a 20 años.
- Modificar urgentemente el PGOU del Ayuntamiento de Zaragoza para modificar el PP SUZ 88/I como Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos (SNU-E).
- Reubicar de forma urgente los equipamientos existentes en el lecho del cauce del barranco de la Muerte a una nueva ubicación por analizar y estudiar dentro del Parque Venecia.
- Analizar y resolver la responsabilidad patrimonial compartida existente por la declaración legal indebida de suelo urbano de la zona de estudio.

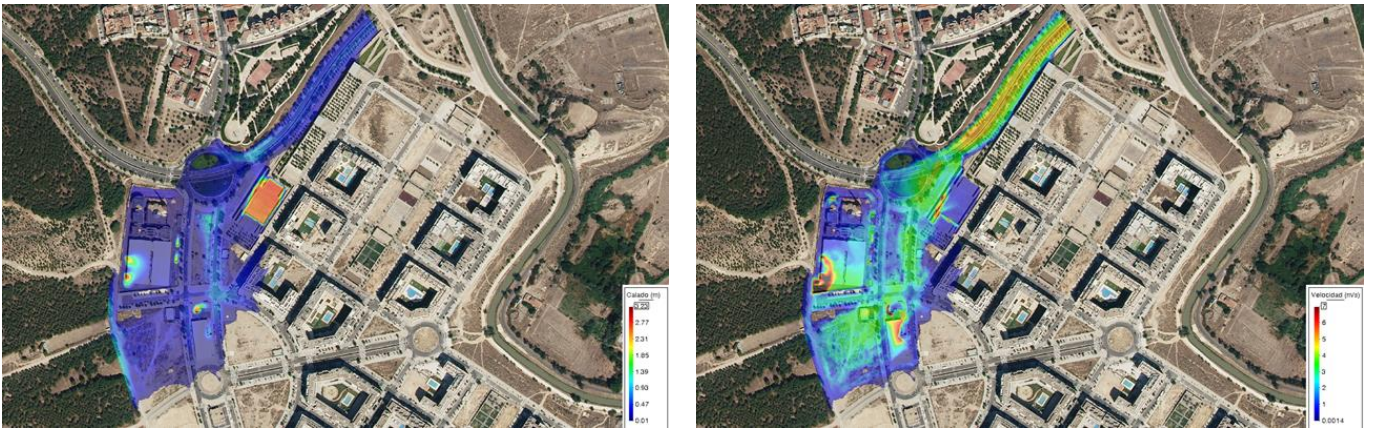


Figura 23. Mapa de calado (izquierda) y velocidad (derecha). Simulación del evento del 6 de julio de 2023.

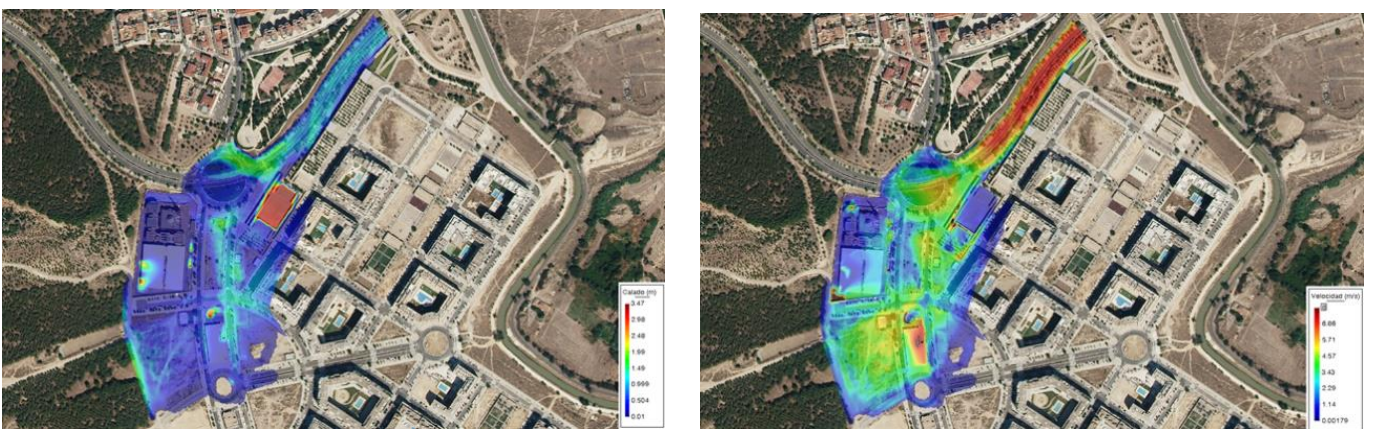


Figura. 24. Mapa de calado (izquierda) y velocidad (derecha). Simulación para un evento de 500 años.

Hasta la fecha, las soluciones adoptadas por las administraciones competentes para reducir el riesgo han sido varias, como la colocación de sensores en algunos de los conductos existentes aguas arriba del barranco, para identificación y alerta cuando se alcanza su máxima capacidad de evacuación; la ampliación del diámetro de entrada del conducto junto al CEIP; elevación de un muro perimetral al CEIP; o la colocación de rejillas para desbaste y la incrustación en el lecho de otros elementos que pretenden reducir la energía de la arroyada (Figura 25).

Sin embargo, la actuación más importante que ha programado el Ayuntamiento de Zaragoza para el segundo semestre de 2024 consistirá básicamente en la excavación por la parte trasera del CEIP de un canal perimetral de alivio de unos 300 m de longitud y 25 de anchura, que conduciría las aguas hasta el colector de la Z-30 (Aragón Digital, 2024).



Figura 25. Estado actual del colector del barranco de la Muerte situado en la parte trasera al CEIP María Zambrano.

PARADA 6. EL TANQUE DE TORMENTAS DE PUERTO VENECIA

Las redes de saneamiento y las instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas suelen tener unas dimensiones y unas características de diseño que garantizan un funcionamiento y rendimiento óptimo de los procesos de depuración cuando se tienen unos caudales de admisión que mantienen cierta regularidad con el tiempo, con pequeñas fluctuaciones de la carga contaminante. Cuando los sistemas que controlan los flujos de agua urbanos no diferencian entre circuitos para las aguas residuales urbanas de los que recogen las aguas de escorrentía superficial, las canalizaciones utilizadas para ambos casos son las mismas, siendo denominadas como redes unitarias de saneamiento; en caso contrario son redes separativas.

Durante episodios de fuertes precipitaciones, el agua que cae y discurre sobre las amplias superficies que impermeabilizan el suelo de las ciudades (tejados, pavimentos, aceras) y la que procede de la escorrentía generada en parques y jardines, es conducida a través de las redes de vertido, llegando a concentrar en breve espacio de tiempo un volumen importante de agua. En estos escenarios, las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas experimentan un súbito incremento del caudal de entrada, con flujos que incorporan gran cantidad de elementos sólidos de gran tamaño, partículas en suspensión y otros elementos disueltos altamente contaminantes, como aceites, grasas, disolventes, materia orgánica, etc., que proceden del lavado del mobiliario urbano, vehículos, cubiertas y superficies pavimentadas. Una repentina incorporación de esta elevada carga contaminante en los tanques digestores de materia orgánica de las

estaciones depuradoras puede interrumpir los procesos biológicos que tiene lugar en su interior, haciendo ineficaces las medidas de descontaminación para las que están diseñadas.

Los tanques de tormenta y los depósitos de laminación son por tanto un tipo de infraestructuras que forman parte del ciclo urbano del agua y que están encaminadas a prevenir estas situaciones. Su cometido consiste en laminar las puntas del caudal que entra al sistema en momentos de fuertes precipitaciones, suponiendo un alivio puntual para los colectores que ven desbordada su capacidad de conducción en sectores determinados de toda la red urbana de vertido. Por su funcionalidad forman parte de un tipo de estructuras conocidas hoy en día como Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).

Un tanque o depósito de tormenta puede definirse como aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimizar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de los mismos (MAGRAMA, 2014). Esta gestión de mezcla de flujos de aguas residuales y aguas de escorrentía pluvial evitan o reducen inundaciones, cuando se diseñan específicamente para ello, pero también minimizan los vertidos de un sistema de saneamiento al medio receptor, el cauce del río Ebro en el ejemplo que aquí se trata. Existen diferentes tipos y morfologías de tanques, disponer de unos u otros depende de cuál será su localización en la cuenca vertiente, las características de la red de vertido, su finalidad y uso al que se destine. Su arquitectura y diseño ocupa gran espacio por lo que suelen construirse de manera que se integran en el paisaje urbano con otro uso secundario de su zona inundable o de su superficie, bien como parques, áreas de juego, anfiteatros, etc. Esto hace que no siempre sean fácilmente reconocibles a simple vista.

Zaragoza cuenta actualmente con varias estructuras de laminación y tanques de tormenta repartidos por diferentes puntos de la ciudad (Figura 26), estando pendiente de ejecución uno nuevo junto al río Huerva, que próximamente se construirá y se unirá al catálogo de los ya existentes.

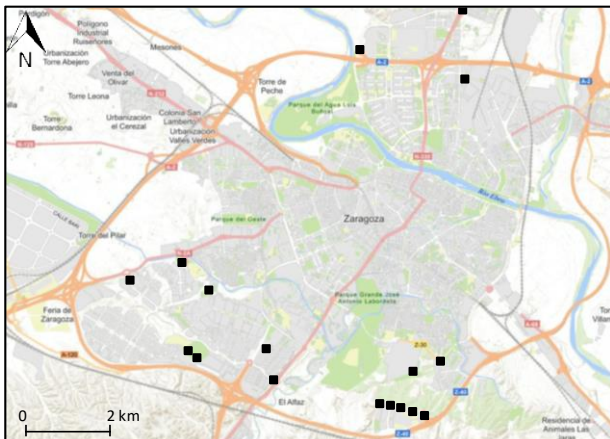


Figura 26. Localización de los tanques de tormenta y depósitos de laminación de Zaragoza, según Soriano (2015).

El tanque de tormentas de Puerto Venecia es un depósito con capacidad para 3.000 m³, algo superior al volumen de una piscina olímpica, que ocupa una zona cubierta (al fondo de la Figura 27) y un gran espacio alrededor abierto, habilitado como plaza o escenario público cuando no realiza su verdadera función laminadora de lluvias.

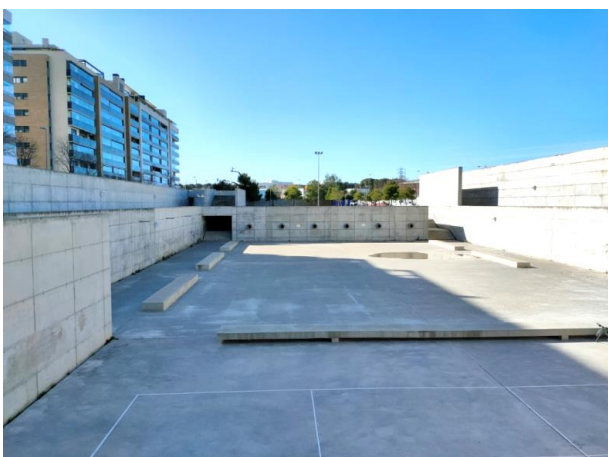


Figura 27. Tanque de tormentas y depósito de laminación de Puerto Venecia.

Su funcionamiento es simple. En periodos de lluvia, cuando el caudal de agua sobrepasa la

capacidad de la red de colectores que procede del barrio de Parque Venecia, el agua es derivada hacia estos depósitos donde se acumula y almacena. Una vez finalizadas las lluvias, cuando el colector disminuye su caudal, una serie de bombas de achique instaladas en los tanques elevan el agua almacenada de nuevo hacia los colectores para ser conducida hacia las estaciones tratamiento que completarán su depuración. Más información de cómo funciona este depósito y cómo es en su interior puede seguirse a través de diferentes reportajes realizados por Aragón TV, disponibles en la red Youtube.

PARADA 7. LA RONDA DE LA HISPANIDAD Y EL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN

La geomorfología es una disciplina geológica que, apoyada en las formas del relieve, pretende explicar su génesis y su evolución; es decir, intenta comprender los procesos geológicos que han tenido y tienen lugar, para dar lugar a la forma estudiada. La información geomorfológica disponible sitúa sin lugar a dudas, tanto el colegio considerado, como la carretera de circunvalación Z-30 en el tramo visitado, como emplazados sobre un barranco hidrológicamente activo, identificado incuestionablemente, como un barranco de fondo plano.

Se han publicado mapas geomorfológicos que incluyen detalle de esta zona visitada (Soriano 1990; Guerrero 2009; Gutiérrez et al. 2008; Carbonel et al. 2014). Superponiendo en Sistema de Información Geográfica las fotografías aéreas de la zona y la citada cartografía geomorfológica georreferenciada, obtenemos las siguientes imágenes (Figura 28).



Figura 28. Mapa Geomorfológico (derecha) de (Guerrero 2009) superpuesto a la fotografía aérea actual (izquierda). Los barrancos de fondo plano aparecen cartografiados en toda su extensión y el círculo señala la parcela que ocupa el CEIP María Zambrano.

Si ampliamos la zona del CEIP María Zambrano (Figura 29), puede apreciarse su ubicación en el cauce del barranco, cortando transversalmente el paso natural de las aguas. Imposible seleccionar un emplazamiento más desfavorable, puede verse que también afecta, parcialmente, a las instalaciones de la Policía Local, y que afecta también a la parcela que queda pendiente de entregar para servicio de la ciudadanía. Llama la atención, poderosamente, que la práctica totalidad de las zonas de construcción de viviendas, situadas sobre depósitos de terrazas antiguas del río Ebro, están fuera de barrancos, no serían inundables y de hecho no se inundaron en el evento del 6 de julio.



Figura 29. Ampliación del Mapa Geomorfológico del barranco de la Muerte entre el CEIP María Zambrano (en el círculo) y el Canal Imperial de Aragón (Guerrero 2009).

En una situación similar se encuentra el Tercer Cinturón Z-30 que, desde la rotonda de la Policía Local, hasta agua por debajo del paso por el Canal Imperial, discurre en su totalidad por el fondo del barranco considerado (Figura 30). La situación además se agrava porque el barranco de la Muerte ha sido fuertemente constreñido, disminuyendo su anchura, más aún con el problema añadido del paso por debajo del primer puente del Canal, que es el acueducto original (Figura 31).

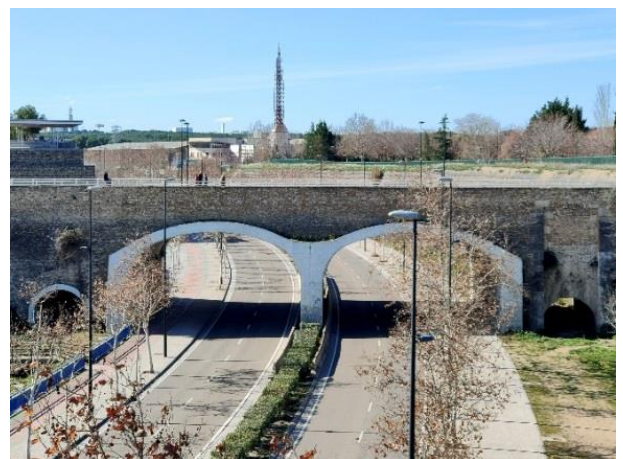


Figura 30. Vista hacia el suroeste del acueducto del Canal Imperial en su estado actual.

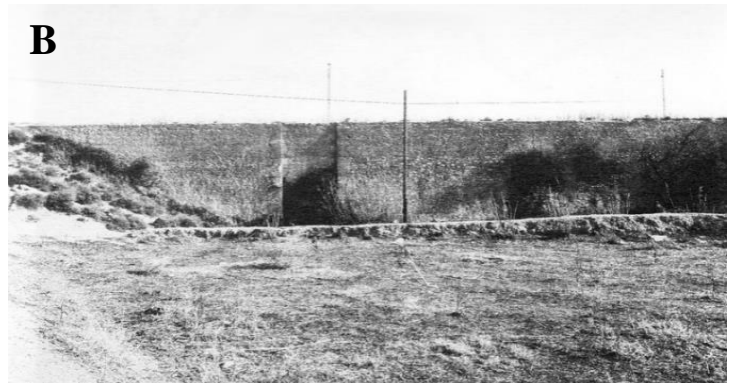


Figura 31. Imágenes del acueducto del Canal Imperial de Aragón. (A) Grabado de 1833, visto desde aguas abajo en el barranco de la Muerte (Fuente: Diputación Provincial de Zaragoza). (B) Estado anterior a la construcción de la Z-30 (Fuente: Canal Imperial de Aragón. MOPU (1984), en: Gran Archivo Zaragoza Antigua).

Nótese que el acueducto original contaba inicialmente con un único ojo para el paso de agua, que actualmente se conserva orillado hacia la margen izquierda del barranco de la Muerte (Figura 31).

Con la construcción de la Z-30 esta estructura quedó debilitada para su función original por lo que la conducción de agua se trasladó un centenar de metros más abajo en el barranco (Figura 32).

El ojo de la margen derecha es de nueva abertura mientras que el ojo original está parcialmente aterrado y cuenta en la actualidad con unas dimensiones de 3,90 m de anchura máxima y 2,70 m de altura. Probablemente, si se hubiera mantenido su estructura inicial y no se hubieran perforado los ojos para el paso de la Z-30, la capacidad de evacuación de este único conducto hubiera quedado en entredicho para un caudal como el generado en la riada del 6 de julio de 2023.



Figura 32. Efectos de la riada del 6 de julio de 2023 a su paso por el nuevo acueducto del Canal Imperial de Aragón (Fuente: Heraldo de Aragón).

En definitiva, no existe cauce aparte para conducir las aguas que puedan discurrir por el barranco, el cauce es en esencia la plataforma de la carretera, como así lo demuestran las imágenes del día de la riada (Figura 32).

REFERENCIAS

Aragón Digital (2024). Así será el canal perimetral del Barranco de la Muerte para evitar catástrofes en grandes tormentas. Web: <https://www.aragondigital.es/articulo/zaragoza-capital/asi-sera-canal-perimetral-barranco-muerte-evitar-catastrofes-grandes-tormentas/20240217114110863309.html>

Aragón TV (2021). Tanques de tormentas de Zaragoza. Bajo nuestros Pies. Unidad Móvil Aragón TV. Web: <https://www.youtube.com/watch?v=nnkejfykY>

Aragón TV (2023). Un tanque de Tormentas. Esta es mi tierra. Aragón TV. Web: https://www.youtube.com/watch?v=_FiE8DRQQb4

Asociación de vecinos la Paz (2019). El barranco de la Muerte: Apuntes Históricos. Web: <https://vecinoslapaz.org/el-barranco-de-la-muerte-apuntes-historicos/>

Ayuntamiento de Zaragoza (2023). Planeamiento urbanístico vigente y en desarrollo de Zaragoza. Información urbanística actual e histórica. <http://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/planeamiento/pgouz/historico/index.htm>

Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G.; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 30 (1): 1-10. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004

Carbonel, D.; Rodríguez, V.; Gutiérrez, F.; McCalpin, J.P.; Linares, R.; Roqué, C.; Zarroca, M.; Guerrero, J. (2014). Evaluation of trenching, Ground Penetrating Radar (GPR)

and Electrical Resistivity Tomography (ERT) for sinkhole characterization. Earth Surface Processes and Landforms, 39, 214-227. Factor de impacto: 2.845. DOI: 10.1002/esp.3440

Chóliz, B. (2023). Cómo es el barranco de la Muerte de Zaragoza que provocó las inundaciones y por qué se llama así. Sitio Web de Heraldo de Aragón: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2023/07/10/barranco-muerte-inundacion-lluvia-zaragoza-1664059.html>

Colegio de Geógrafos de Aragón (2023). Estudio Geográfico CEIP María Zambrano. Inédito.

García Gil, A.; Garrido, E.; Moreno, M. (2020). Geotermia somera. Fundamento teóricos y aplicación. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 38. IGME, Madrid. 422 pp.

Garrido, E.; Sánchez Navarro, J.A.; Coloma, C. (2010). Aprovechamiento geotérmico somero del acuífero aluvial urbano de Zaragoza: primeros resultados. Geogaceta 40: 119-122.

Guerrero, J. (2009). Dinámica fluvial y riesgos naturales derivados de la subsidencia kárstica en los valles del Huerva y Ebro. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 292 pp.

Gobierno de Aragón (2014). Decreto-Legislativo 1/2014, de 8 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Urbanismo de Aragón. BOA 18/7/2014.

Gobierno de Aragón (2017). Norma Técnica de Planeamiento Urbanístico de Aragón. BOA 2/6/2017.

Gobierno de Aragón (2020). IGEAR. Metodología para el análisis de riesgos en avenidas torrenciales. Benasque. POCTEFA-Alert.

Gobierno de Aragón (2023). Sistema de Información Urbanística de Aragón. <https://icearagon.aragon.es/SIUa/archivo/buscaador?MUNICIPIO=Zaragoza>

Gutiérrez, F.; Guerrero, J.; Lucha, P. (2008). Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain). *Natural Hazards*, 45, 211-233. DOI: 10.1007/s11069-007-9161-y

MAGRAMA (2014). Manual de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 185 pp.

Mateo-Lázaro J.; Sánchez-Navarro J.A.; García-Gil A.; Edo-Romero V. (2013). Developing and programming a watershed traversal algorithm (WTA) in GRID-DEM and adapting it to hydrological processes. *Computers and Geosciences* 51:418-429. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.07.024

Mateo-Lázaro, J.; Revuelto, C.; Arce, M.; Carnicer, C. (2023). El episodio hidrometeorológico de Zaragoza. *Tierra y Tecnología* 62. Web: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2023/07/el-episodio-hidrometeorologico-de-zaragoza/>

MITERD. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Geoportál. Web: <https://sig.mapama.gob.es/geoportál/>

Moreno, L.; Garrido, E.; Azcón, A.; Durán, J. (2008). Hidrogeología Urbana de Zaragoza. IGME, Madrid. 200 pp.

SORIANO, A. (1990). Geomorfología del sector centromeridional de la Depresión del Ebro. Institución Fernando el Católico. Universidad de Zaragoza. Tesis Doctoral. 269 pp.

Soriano, L. (2015). Indicadores de sostenibilidad de la gestión integral de las

aguas de lluvia en los entornos urbanos: Aplicación a la ciudad de Zaragoza. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2024-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza (IGME-CSIC), Ilustre colegio Oficial de Geólogos de Aragón (ICOG), Colegio de Geógrafos de Aragón, el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) y Delegación del CSIC en Aragón.

Por otro lado, agradecemos la colaboración a todos aquellos que nos han ayudado a su difusión.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Se ruega puntualidad.

Llevar calzado cómodo.

Llevar bebida y algo para almorzar.

Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra, crema solar, paraguas, chubasquero, ropa de abrigo...

El lugar de finalización de la excursión será la parada 7 (esquina calles Palacio Ducal-Café Florián, Figura 33). La hora de finalización es aproximada (14h).



Figura 33. Lugar de finalización de la jornada.

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2024

Eduardo A. Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

Miguel Ángel Marazuela (CN IGME-CSIC)

COLABORADORES

Jesús Mateo Lázaro (Ilustre Colegio Oficial de Geólogos - Aragón)

José Ángel Sánchez Navarro (Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza)

Rafael Martínez Cebolla (Colegio de Geógrafos de Aragón)

Patricia Nievedes Val (CN IGME-CSIC)

Beatriz Navarro

CONCURSO DE FOTOGRAFÍA SOBRE EL HIDROGEODÍA

Desde la AIH-GE se propone un CONCURSO DE FOTOGRAFÍA con temática hidrogeológica.

1. Podrán participar todas las personas que hayan sido inscritas en alguno de los Hidrogeodías de la edición 2024 llevados a cabo en las diferentes provincias españolas y Andorra.

2. Cada participante y cuenta de X (antes Twitter) sólo podrá presentar una foto.

3. Serán admitidas fotografías originales (en color o blanco y negro) e inéditas. Las fotografías deberán ser tomadas durante los distintos Hidrogeodías, siendo el tema protagonista algún rasgo hidrogeológico relacionado con las aguas subterráneas.

4. Para dar validez a la foto en la participación del concurso se deben cumplir estos requisitos:

- Nombrar en el Tweet a la cuenta de la AIH-GE que es: @GE_AIH

- Poner la etiqueta #hidrogeodia24

5. Cada fotografía irá acompañada de la siguiente información:

1) Título de la fotografía

2) Hidrogeodía-localidad

3) Texto breve con la descripción del lugar donde fue tomada

6. En las fotos deberá poder comprobarse que han sido realizadas durante el hidrogeodía de este año.

7. Ganará aquella foto que reciba más likes a día 31 de abril a las 23:59 horas, y en el caso de empate, la que haya sido más veces retuiteada.

8. Las fotos publicadas para el concurso podrán utilizarse por la AIH-GE para dar difusión de las actividades de la AIH-GE en la web y las redes sociales.

El premio consistirá en un diploma y un e-book.

La organización se pondrá en contacto con el participante ganador para hacerle llegar el premio.

La persona participante manifiesta y garantiza ser el único titular de todos los derechos de autor sobre la/las fotografías presentadas al concurso y se responsabiliza totalmente de toda reclamación en cuanto a los derechos de imagen, eximiendo de toda responsabilidad al coordinador del concurso, frente a cualquier reclamación de terceros.

ENCUESTAS DE SATISFACCIÓN HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Os animamos a que rellenéis las encuestas de satisfacción para tener una idea de los aspectos a mejorar en futuras ediciones.

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024>

NOTAS