



Universidad
Zaragoza

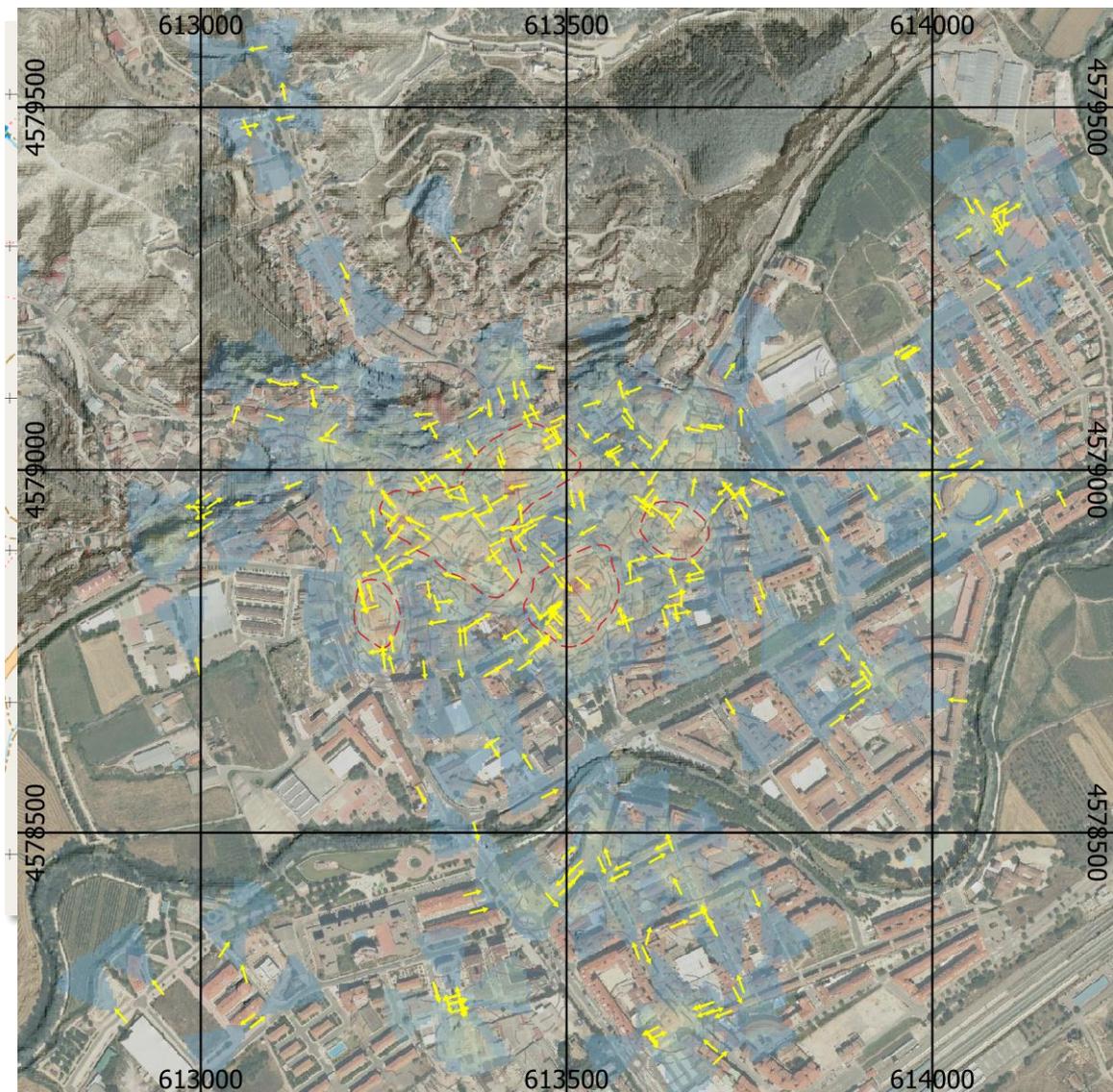
Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones

Trabajo Fin de Máster

RIESGO DE SUBSIDENCIA

POR DISOLUCIÓN DE EVAPORITAS

EN LA CIUDAD DE CALATAYUD (ESPAÑA)



Luis Ángel Marqués Calvo

28/06/2021

Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones

Trabajo Fin de Máster

RIESGO DE SUBSIDENCIA

POR DISOLUCIÓN DE EVAPORITAS

EN LA CIUDAD DE CALATAYUD (ESPAÑA)

***SUBSIDENCE HAZARZS DUE TO EVAPORITE
DISSOLUTION IN THE CITY OF CALATAYUD (SPAIN)***

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| 1.- Objetivos e interés del trabajo..... | 5 |
| Objetivo Principal | 5 |
| Objetivos vehiculares..... | 5 |
| Interés..... | 5 |
| 2.- Metodología | 6 |
| Situación | 6 |
| Grietas | 7 |
| Captura (Crack Hunters) | 7 |
| Caza de grietas | 7 |
| Procesado de hundimiento | 8 |
| Suavizado | 9 |
| Tasas de hundimiento | 9 |
| Afloramientos yesíferos | 9 |
| Hidroquímica..... | 11 |
| 3.- Resultados | 14 |
| Grietas | 14 |
| Caudales..... | 16 |
| Hidroquímica | 16 |
| Estaciones Fisicoquímicas..... | 16 |
| Estaciones de aforo..... | 18 |
| Balance de sales | 19 |
| Tasa de subsidencia por disolución..... | 19 |



| | |
|--------------------------|----|
| 4.- Interpretación | 20 |
| Grietas | 20 |
| Caudales | 20 |
| Hidroquímica | 21 |
| 5.- Discusión | 22 |
| Grietas | 22 |
| Disolución | 22 |
| 6.- Conclusiones | 24 |
| 7.- Resumen | 25 |
| Castellano | 25 |
| Inglés | 26 |
| 8.- Bibliografía | 27 |

1.- Objetivos e interés del trabajo

Objetivo Principal

- El objetivo principal del trabajo es determinar si los procesos de disolución de evaporitas en la Cuenca de Calatayud pueden ser causa de los problemas geotécnicos de la ciudad.

Objetivos vehiculares

- Realizar una cartografía de grietas para indagar en los procesos de hundimiento que aquejan a la ciudad de Calatayud.
- Realizar un balance de sales en el río Jalón, en el tramo en que atraviesa la Cuenca de Calatayud, y determinar velocidades de hundimiento en la cuenca.

Interés

El trabajo se diseña en confluencia con el proyecto educativo [Crack Hunters](#), Marques (en línea), desarrollado en el Instituto de Educación Secundaria Emilio Jimeno de Calatayud, que busca difundir entre toda la comunidad educativa aspectos básicos de la geología local. El proyecto acabó el 22 de abril, coincidiendo con el Día de la Tierra. Se han realizado y publicado [vídeos de los alumnos](#) aportando la información sobre los experimentos realizados y los resultados encontrados.

Se pretende acercar el alumno a la geología de su entorno por medio de su implicación en proyectos de investigación real y sirve de vehículo para la obtención de aprendizajes en el campo de la Geología al tiempo que desarrolla el interés por las ciencias de la Tierra.

Desde el punto de vista científico, si bien se sabe con certeza que la disolución de evaporitas es fuente de problemas geotécnicos, este trabajo permite ahondar en el conocimiento de la hidrodinámica y la hidroquímica de la Cuenca de Calatayud, incluyendo la cuenca del río Jiloca, y su influencia sobre los problemas geotécnicos de la zona.

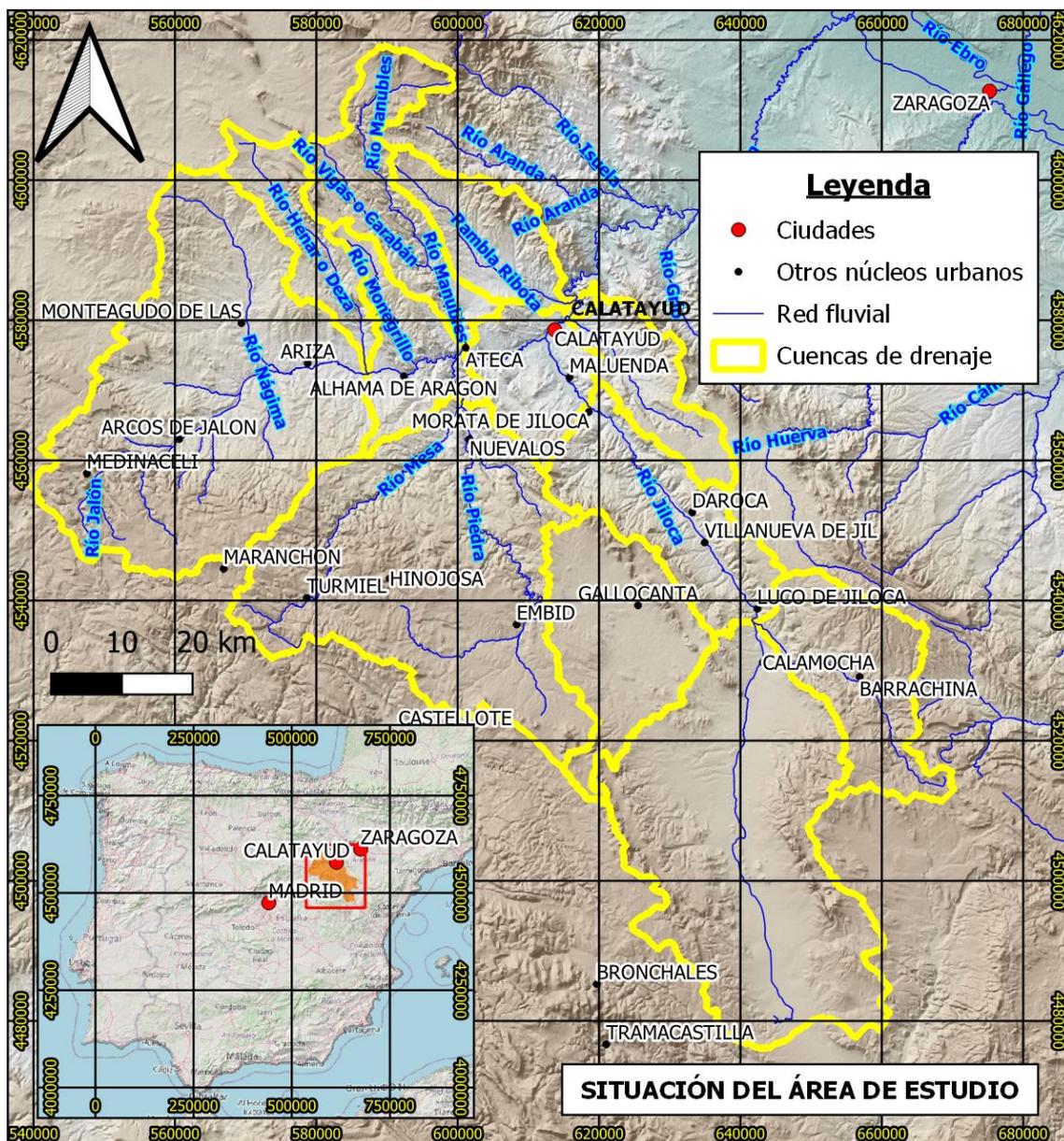
2.- Metodología

El grueso de las tareas del trabajo se basa en el empleo del Sistema de Información Geográfica (SIG) QUANTUM GIS o QGIS, versión 3.16 Hannover.

Todos los planos, mapas, gráficos y figuras están referidos al sistema de proyección ETRS89 UTM zone 30N (EPSG: 25830).

Situación

Los objetivos vehiculares del proyecto marcan dos ámbitos geográficos que han de analizarse a diferentes escalas, la ciudad de Calatayud y la Cuenca de Calatayud. El Mapa 1 muestra la ubicación del área de estudio en los contextos peninsular y regional.



Mapa 1.- Situación del área de estudio.

En las representaciones se ha utilizado el modelo digital de elevaciones de la United States National Aeronautics and Space Administration, NASA (en línea), MDE de la Península Ibérica con luz de malla de 90 m, las subcuencas de tramos de río del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (en línea) y la red fluvial y otros datos geográficos procedentes del Centro Nacional de Información Geográfica, CNIG (en línea).

Grietas

Captura (Crack Hunters)

Se seleccionan las grietas como material geológico accesible al alumno y con mucha cotidianeidad para hacer que giren la mirada hacia el subsuelo en el que se desenvuelven.

Caza de grietas

Se invita a la comunidad educativa a reportar información para georreferenciar grietas. Se plantea un objetivo de 1000 grietas como un número factible dado el número de alumnos y de grietas visibles en la ciudad.



Figura 1.- Objetivo de la caza de grietas al 49 %.

Se reportan 530 grietas y deformaciones de las que se aprueban 488. Proceden fundamentalmente de Calatayud, pero también de Maluenda y otras localidades cercanas; algunas grietas han sido reportadas por más de un cazador. Finalmente se seleccionan 330 grietas en el casco urbano de Calatayud para el estudio.

Para la integración de la información en el SIG se ha procedido a la georreferenciación de las deformaciones, asignando el sentido de hundimiento.

Procesado de hundimiento

Se delimitan zonas de hundimiento mediante el programa inédito THE GIRAFFE CRACKS (Ilustración 1) desarrollado por el Doctor en Geología Jesús Mateo Lázaro.

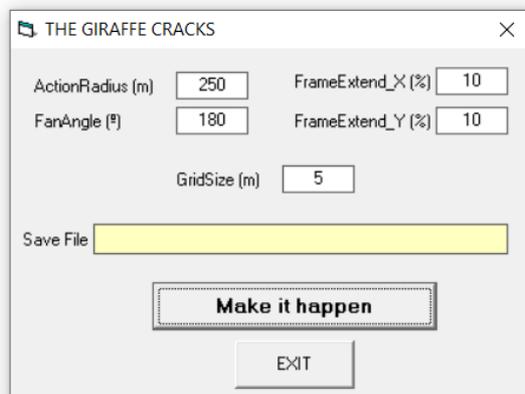


Figura 2.- The Giraffe Cracks, programa con el que se han creado los mapas de bits de hundimiento asociados a las grietas, Inédito, desarrollado por Jesús Mateo.

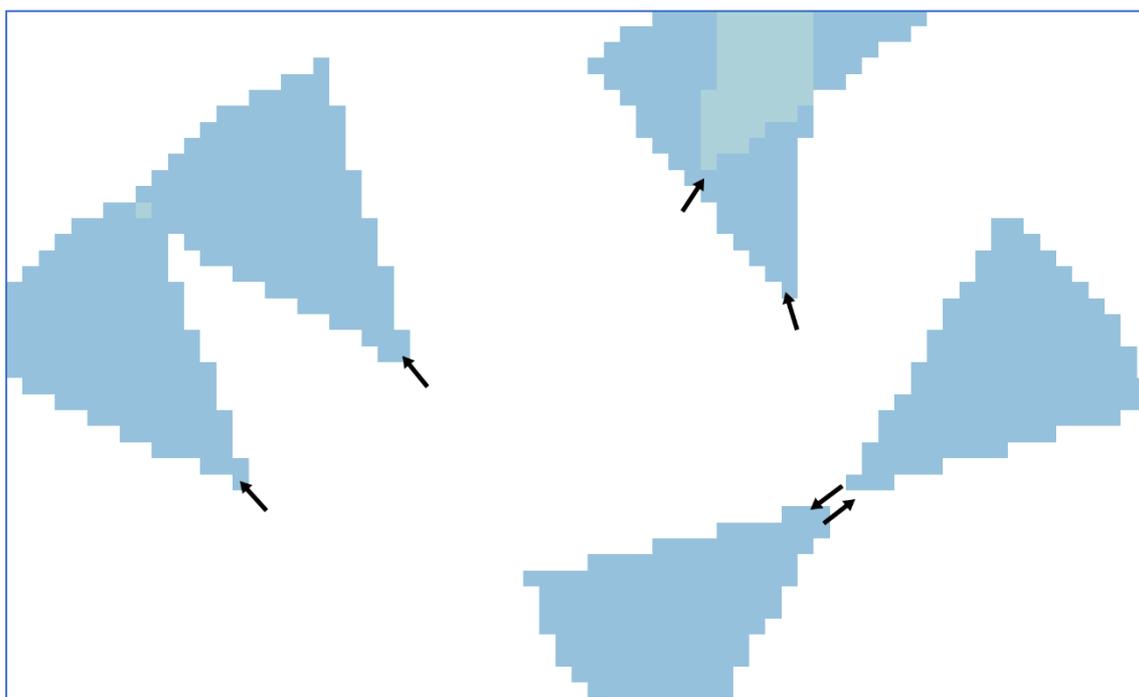


Figura 3.- Zonas de hundimiento asociados a diferentes grietas mostrando zonas de superposición. Ángulo 45, distancia 100.

El programa permite acotar la zona de hundimiento asignado a cada deformación mediante un ángulo en torno al sentido de hundimiento de la grieta y una distancia de influencia. Se selecciona un ángulo de 45° y una distancia de 100 metros. Crea una cobertura única agregando las áreas de hundimiento de todas las grietas introducidas (Ilustración 2).

Suavizado

Se aplica un suavizado de media móvil de 100 metros de radio.

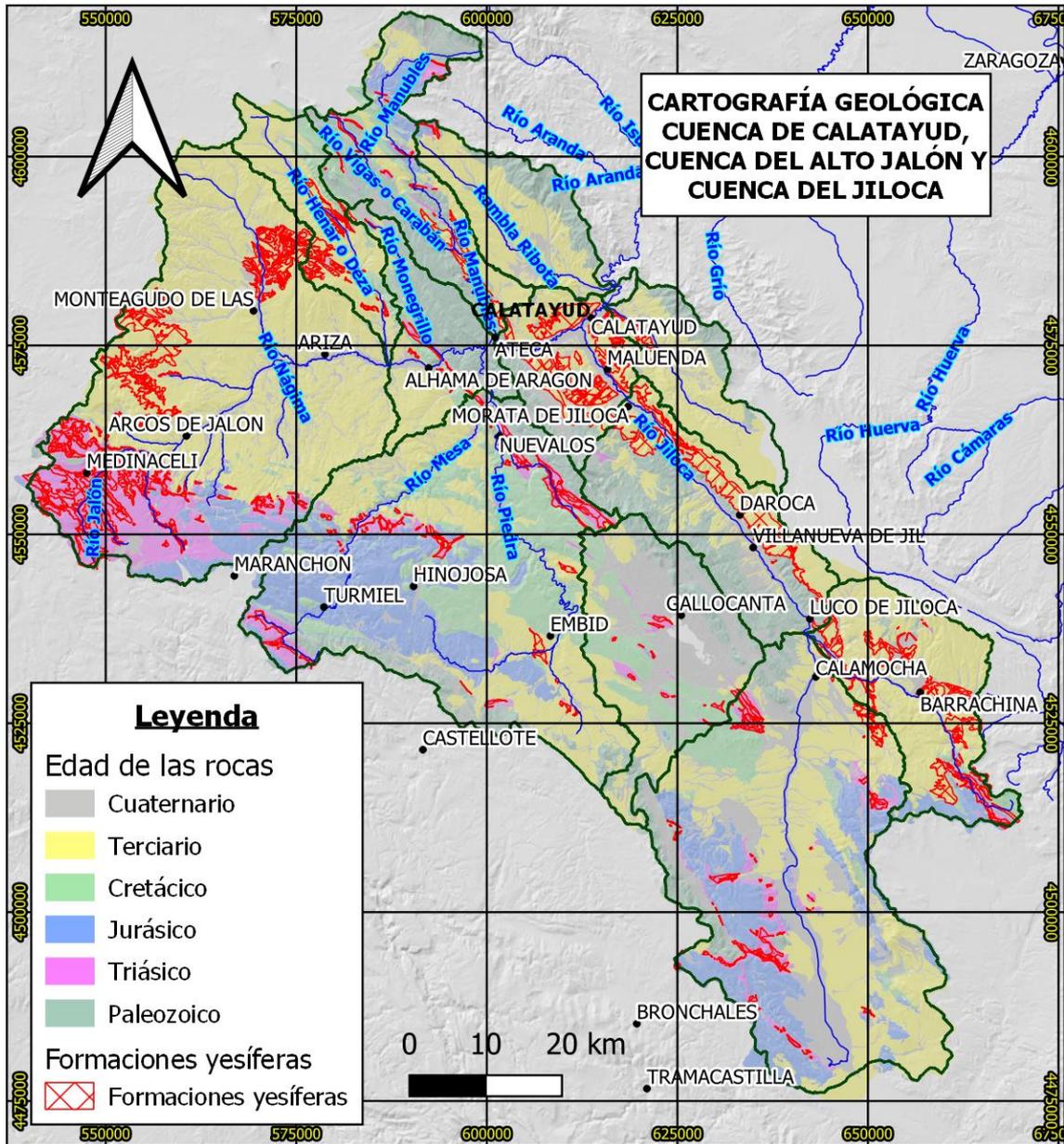
Tasas de hundimiento

La determinación de las tasas de hundimiento se basa en la ponderación superficial de los volúmenes de sales disueltas dentro de la cuenca. La distribución se realiza para superficies de afloramientos yesíferos y para toda la superficie de la cuenca.

Se requiere una cartografía de las unidades yesíferas y un balance de sales en la Cuenca de Calatayud, balance que determinamos a partir de las estaciones de aforo y de las estaciones de análisis fisicoquímicos.

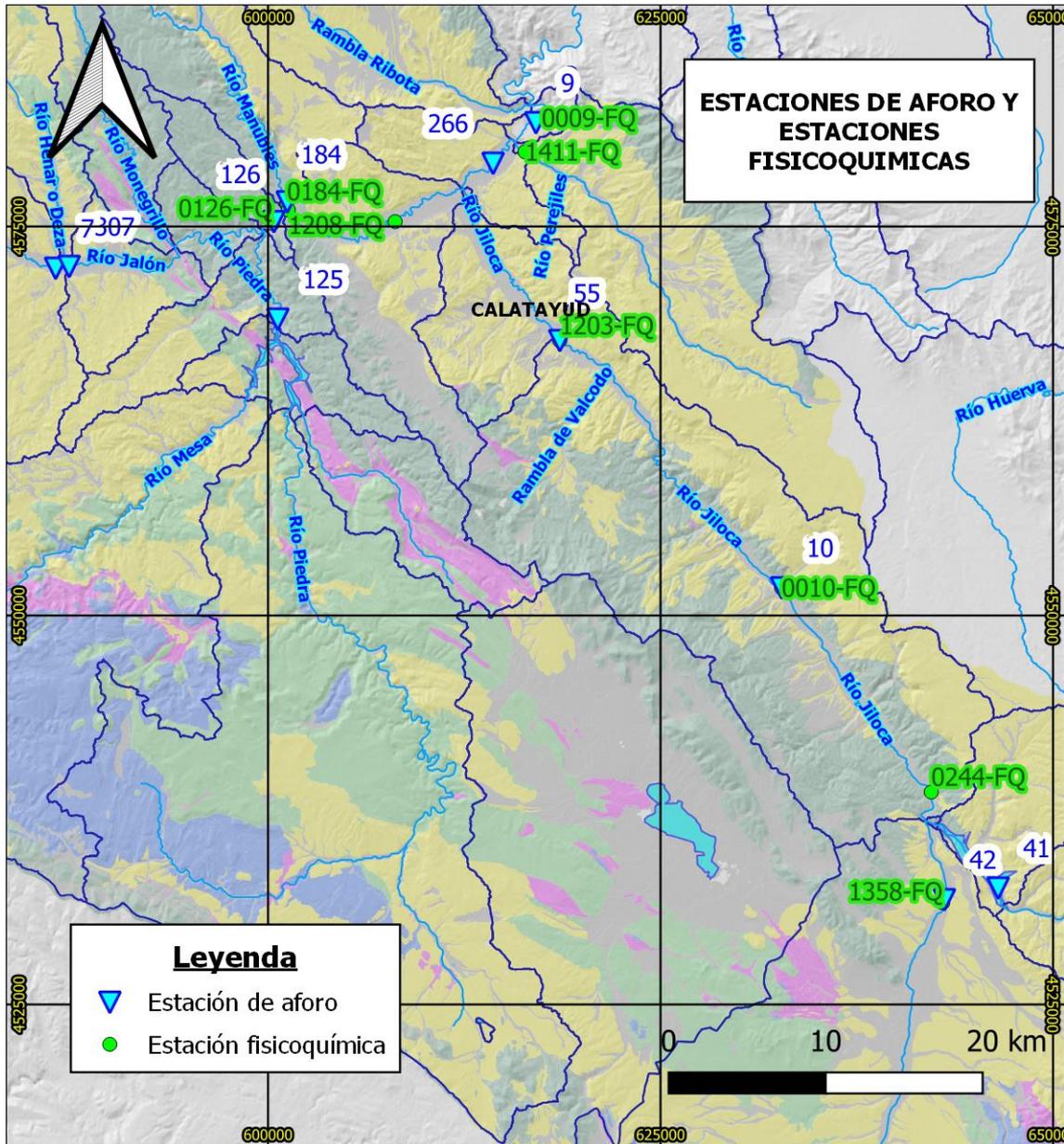
Afloramientos yesíferos

Se realiza una cartografía de edades de las rocas (Mapa 2) y otra de formaciones yesíferas (Mapa 3) a partir de los datos GEODE - Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000, Instituto Geológico y Minero de España, IGME (en línea).



Mapa 2.-

Mapa de edades y formaciones yesíferas.



Mapa 4.- Estaciones de Aforo y Fisisicoquímicas (FQ).

Tabla 1.- Caudal medio anual en las estaciones de aforo.

| Estación | Nombre | Qm_Anual (m ³ /s) |
|----------|----------------------------|------------------------------|
| 7 | JALON en CETINA | 2,248 |
| 9 | JALON en HUERMEDA | 12,258 |
| 10 | JILOCA en CALAMOCHA | 3,186 |
| 41 | PANCRUDO en NAVARRETE | 0,482 |
| 42 | JILOCA en CALAMOCHA | 2,895 |
| 55 | JILOCA en MORATA DE JILOCA | 3,075 |
| 125 | PIEDRA en CARENAS | 3,23 |
| 126 | JALON en ATECA | 5,113 |
| 184 | MANUBLES en ATECA | 0,632 |
| 266 | JALON en CALATAYUD | 6,347 |
| 278 | JALÓN en CHODES | 6,943 |
| 307 | DEZA en CETINA | 0,84 |

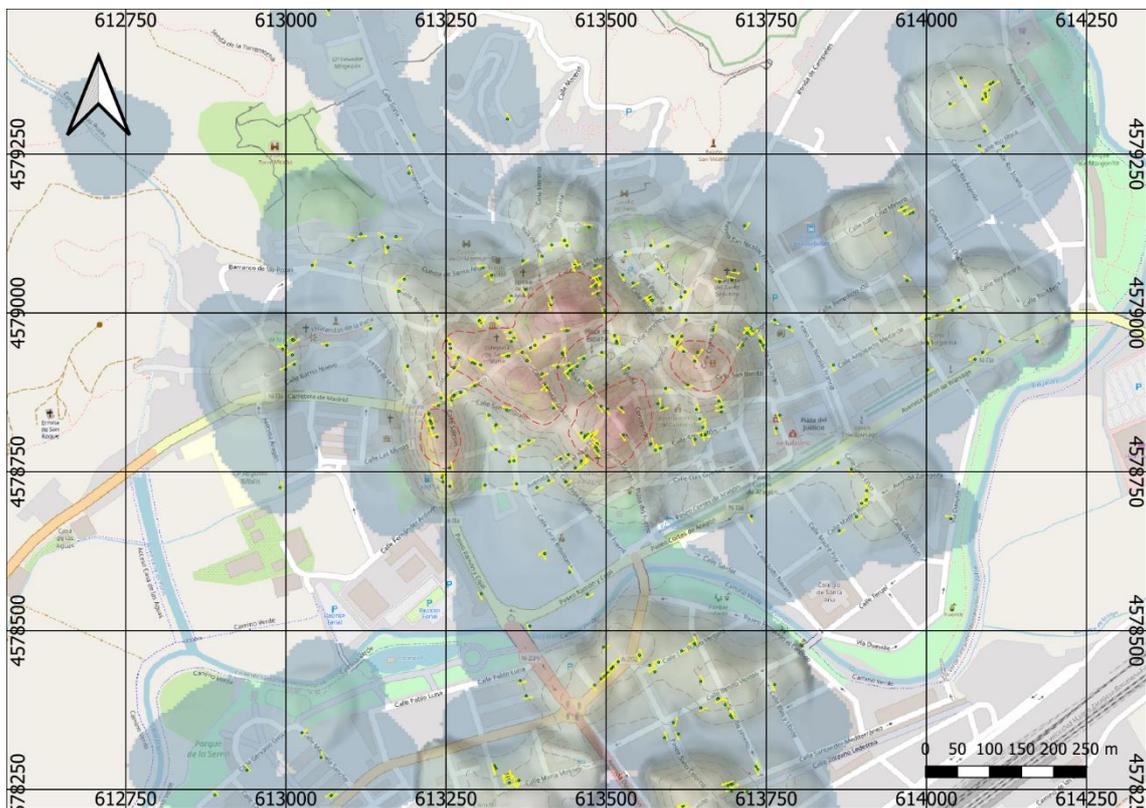
Tabla 2.- Concentraciones de iones en mg / L.

| Estación | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Calcio | Magnesio | Sodio | TOTAL |
|----------|----------|----------|--------------|--------|----------|-------|--------|
| 0126-FQ | 144,4 | 236,6 | 229,9 | 112,9 | 44,1 | 78,9 | 846,8 |
| 0184-FQ | 29,8 | 100,4 | 261,6 | 90,5 | 26,6 | 14,6 | 523,4 |
| 1208-FQ | 151,7 | 239,8 | 257,1 | 106,0 | 41,3 | 67,5 | 863,4 |
| 0593-FQ | 123,1 | 214,5 | 242,0 | 122,4 | 46,7 | 77,3 | 826,0 |
| 1411-FQ | 53,8 | 984,4 | 362,6 | 303,9 | 130,8 | 39,6 | 1875,2 |
| 0009-FQ | 129,3 | 361,8 | 260,9 | 160,6 | 51,0 | 76,9 | 1040,5 |
| 0042-FQ | 38,9 | 260,9 | 268,9 | 154,4 | 33,0 | 21,7 | 777,8 |
| 1358-FQ | 36,2 | 271,9 | 231,7 | 152,9 | 32,3 | 20,2 | 745,2 |
| 0244-FQ | 41,9 | 342,2 | 234,8 | 177,8 | 35,4 | 24,0 | 856,2 |
| 0010-FQ | 46,4 | 326,7 | 201,5 | 169,1 | 35,9 | 25,9 | 805,5 |
| 1203-FQ | 66,8 | 340,3 | 235,2 | 169,2 | 37,8 | 31,4 | 880,7 |

3.- Resultados

Grietas

El Mapa 5 recoge el hundimiento calculado a partir de los 330 sentidos de hundimiento introducidos en el cálculo. Permite diferenciar áreas de hundimiento preferente que se agrupan en torno a una zona más estable en el centro urbano.



Mapa 5.- Zonas de hundimiento preferente determinadas con 330 sentidos de hundimiento. Base cartográfica OpenStreetMap (en línea).

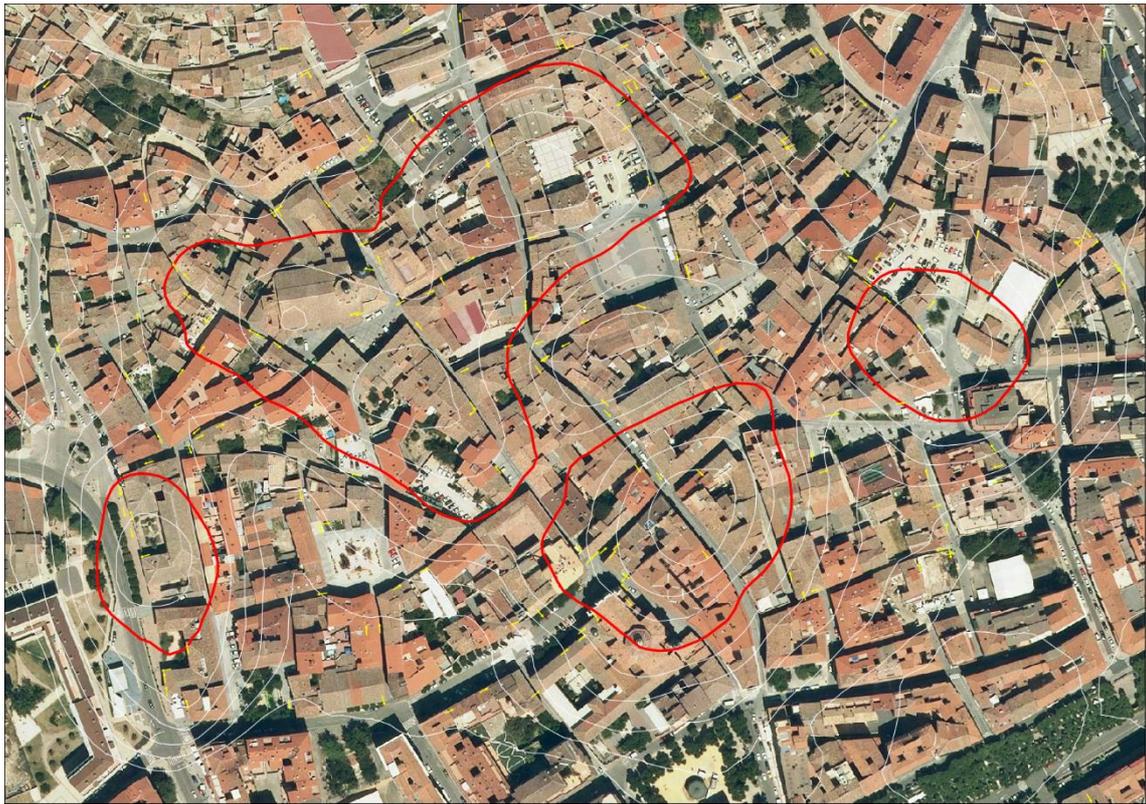


Gráfico 1.- Ortofoto de la zona con mayores acumulaciones de hundimiento. Ortoimagen del Instituto Geográfico Nacional, IGN (en línea).

La zona que aparece más estable corresponde al edificio de Información y Turismo de Calatayud y otras edificaciones adyacentes que constituyen la fachada sur de la Plaza del Mercado (Gráfico 1 y Fotografía 1).



Fotografía 1.- Plaza del Mercado de Calatayud con la Oficina de Información y Turismo en el centro de la foto.

Caudales

El estudio de caudales aporta datos interesantes sobre la hidrodinámica general (Gráfico 2). A la altura de Ateca, el Jalón ha perdido del orden de $70 \text{ Hm}^3/\text{año}$ que no se detectan en Calatayud.

Los aportes del Jiloca son muy constantes desde Calamocha y con pérdidas significativas a lo largo del curso.

Las entradas de Ateca y el Jiloca exceden en $78 \text{ Hm}^3/\text{año}$ lo aforado en Calatayud.

En Huérmeda se contabiliza un caudal medio anual de $387 \text{ Hm}^3/\text{año}$, 178 más que en Calatayud si contamos 9 del río Perejiles, calculado por promedio areal con el río Pancrudo.

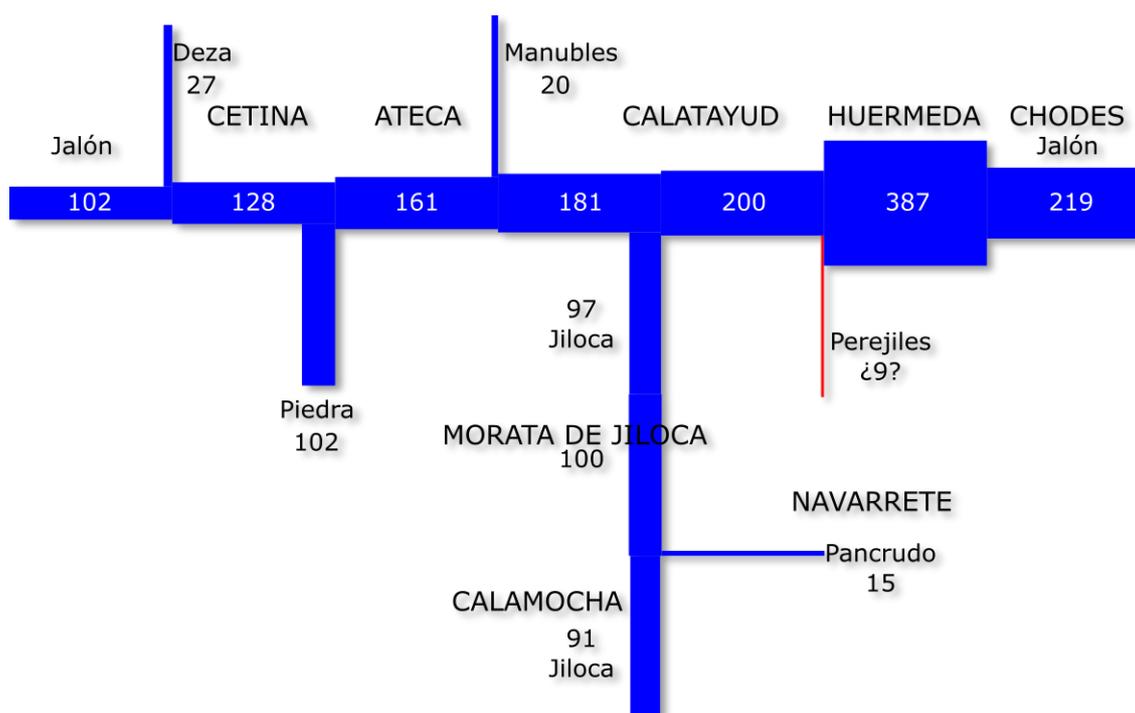


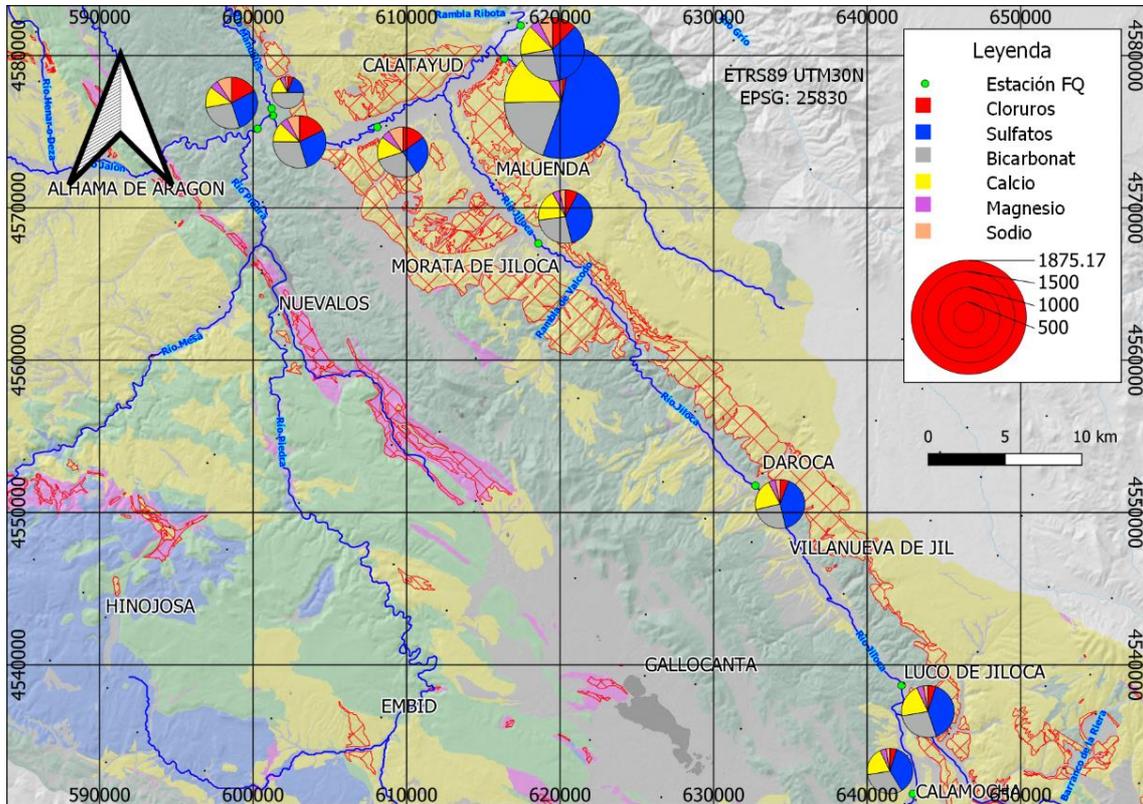
Gráfico 2.- Caudales medios anuales ($\text{Hm}^3 / \text{año}$).

Hidroquímica

Estaciones Fisicoquímicas

En cuanto a aniones, el río Jalón se aprecia la entrada de fuertes concentraciones de Cl^- que se mantienen altas, pero con tendencia descendente, hasta Huérmeda. Los aniones

bicarbonato y sulfato entran en importancia similar y va ganando campo el bicarbonato (Mapa 6 y Gráfico 3).



Mapa 6.- Aniones y Cationes en las Estaciones FQ.

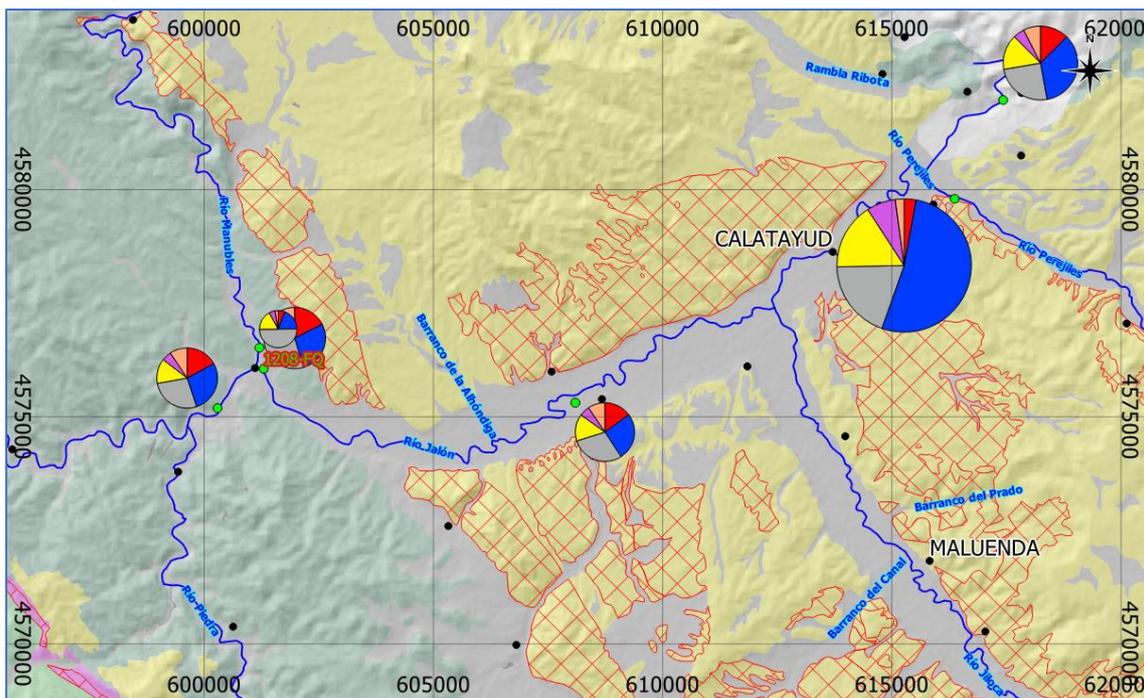


Gráfico 3.- Detalle de la evolución del quimismo de las aguas a lo largo del río Jalón.

En cuanto a los cationes, se aprecia un comportamiento estable a lo largo del curso, con el calcio en torno al 50 % del total.

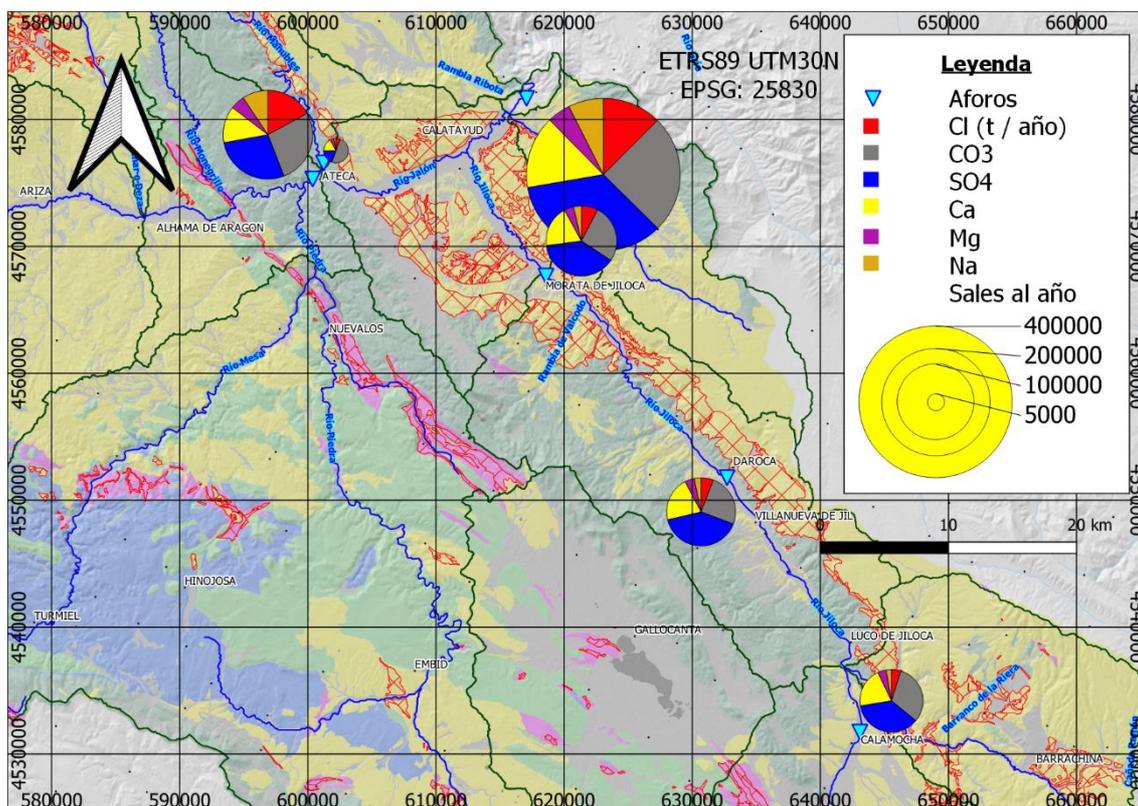
Destaca la elevada concentración de las aguas del río Perejiles, que se aproximan a los 2 gramos por litro.

Respecto a los cationes, lo mismo puede decirse del río Jiloca que del Jalón, con la salvedad de que el peso del calcio es del orden del 65 %.

En cuanto a los aniones, la estación de Luco de Jiloca, tras la incorporación del río Pancrudo, registra un incremento significativo en sulfatos. A partir de ahí se puede considerar una constancia en los parámetros registrados.

Estaciones de aforo

El caudal de las estaciones de aforo y los datos de las estaciones fisicoquímicas ha permitido calcular el flujo de iones en el sistema. Se recogen los resultados en el Mapa 7 y la Tabla 3 en t/año. El total registrado en Huérmeda es de 402.212 toneladas.



Mapa 7.- Caudal anual de iones en las estaciones de aforo, en toneladas métricas.

Tabla 3.- Caudal anual de iones en las estaciones de aforo, en toneladas métricas.

| NOMBRE | Afo | Cl | CO3 | SO4 | Ca | Mg | Na | Sales |
|-------------------|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| JALON en HUERMEDA | 9 | 49974 | 100856 | 139869 | 62068 | 19719 | 29726 | 402212 |
| JILOCA en DAROCA | 10 | 4663 | 20250 | 32822 | 16990 | 3602 | 2606 | 80933 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| JILOCA en CALAMOCHA | 42 | 3305 | 21153 | 24826 | 13960 | 2946 | 1845 | 68034 |
| JILOCA en MORATA DE JILOCA | 55 | 6482 | 22807 | 33000 | 16404 | 3667 | 3047 | 85408 |
| JALON en ATECA | 126 | 23283 | 37065 | 38152 | 18212 | 7107 | 12723 | 136542 |
| MANUBLES en ATECA | 184 | 594 | 5213 | 2001 | 1803 | 530 | 291 | 10431 |

Balance de sales

El balance de sales (Tabla 4) indica una salida por disolución del orden de 125.000 toneladas anuales.

Tabla 4.- Balance de sales disueltas en la Cuenca de Calatayud a lo largo del río Jalón.

| Balance de sales disueltas | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|--------|-------------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------------|
| Entradas | | | | Salidas | | | | Balance (T/Año) |
| Caudal (Hm ³ /año) | Contenido en sales (mg/L) | | | Caudal (Hm ³ /año) | Contenido en sales (mg/L) | | | |
| Varias estaciones | Estación | Valor | T/Año | EA90009 | Estación | Valor | T/Año | |
| 329,348 | 1208FQ | 863,4 | 284359 | 386,568 | 0009FQ | 1040,5 | 402224 | 117865 |
| | 0126FQ | 846,8 | 278892 | | | | | 123332 |
| | 0593FQ | 826,0 | 272041 | | | | | 130183 |

Tasa de subsidencia por disolución

Asignando los valores de disolución a las superficies de formaciones yesíferas aflorantes, cuyas superficies agregadas son de 44.880 ha, encontramos que se disuelven de entre 2,6 y 2,9 T / ha·año.

Haciendo la distribución entre las 300.293 ha de toda la superficie drenada (no se considera la Laguna de Gallocanta aunque es presumible que realice algunos aportes), la ratio es de entre 0,39 y 0,43 t / ha·año.

Considerando una densidad de 2,3 g/cm³, los volúmenes de roca disueltos serían del orden de 1,2 y 0,2 m³ respectivamente, para los casos de ponderación por superficie de afloramiento de evaporitas o por superficie de cuenca de drenaje.

Estos mismos supuestos representan descensos de cota de entre 1,2·10⁻⁴ y 2·10⁻⁵ m anuales, originados por la disolución de evaporitas en el suelo y subsuelo de la Cuenca de Calatayud.

4.- Interpretación

Grietas

En el mapa de hundimientos se observa cierta desviación de la ubicación de grietas, por ejemplo en la Iglesia de la Virgen de la Peña (Gráfico 4), por efecto de la proyección de los sentidos de hundimiento. Esto aporta información más detallada que la de un mapa de intensidades derivado exclusivamente de la posición de las deformaciones.

No obstante, es evidente la incidencia de la densidad del muestreo, cuando menos en la intensidad de los valores calculados, que se focalizan en el centro de la ciudad, hecho a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados.



Gráfico 4.- Zona de hundimiento netamente separada de las deformaciones que la definen. Entorno de la Virgen de la Peña, al norte de la carretera nacional N-IIa.

Caudales

A la altura de Ateca, el Jalón ha perdido del orden de 70 Hm³/año, que representa el 43 % de lo aforado. Esta fuerte infiltración denota la participación de materiales muy permeables o con presencia de conductos cársticos o tectónicos.

El hecho de que los volúmenes perdidos queden compensados en Huérmeda, hace pensar que el flujo de esas infiltraciones entre en el subsuelo de la Cuenca de Calatayud para aflorar más tarde a la salida de la Cuenca, denotando un caudal subterráneo muy importante.

Los 178 Hm³/año detectados en Huérmeda pueden dar cuenta de las pérdidas estimadas en Ateca (70 Hm³/año) y Calatayud (78 Hm³/año), y aún faltaría por compensar 30 Hm³/año que afluirían subterráneamente, sin poder precisar la procedencia.

Este caudal subterráneo estimado, 178 Hm³/año, representa el 46 % de lo aforado, lo que denota la importancia de la circulación en los acuíferos desarrollados en los materiales cenozoicos.

El fuerte crecimiento del caudal en Huérmeda hay que asociarlo con la presencia de un bloque paleozoico impermeable que cierra la Cuenca, creando un nivel de base bajo el que se espera un grado de saturación permanente.

Es posible la afluencia de caudales significativos por el subsuelo desde la Laguna de Gallocanta y otras áreas próximas de la Cordillera Ibérica.

Hidroquímica

La reducción paulatina del ion cloro y el crecimiento progresivo del sulfato frente al bicarbonato, junto con la abundancia e incremento del ion calcio en los dos ejes fluviales principales, denotan la incorporación de yesos que han de proceder de su solubilización en el suelo y subsuelo de la Cuenca.

Este hecho confirma los mecanismos de subsidencia y hundimiento por disolución, que afecta a extensas áreas de la Cuenca, incluyendo la ciudad de Calatayud.

5.- Discusión

Grietas

Si bien la técnica facilita una solución con significado geotécnico, no es aplicable de forma sistemática al territorio cubierto por el estudio, dadas las limitaciones del muestreo.

Esto aporta información más detallada que la de un mapa de intensidades derivado exclusivamente de la posición de las deformaciones.

No obstante, es evidente la incidencia de la densidad del muestreo, cuando menos en la intensidad de los valores calculados, que se focalizan en el centro de la ciudad, hecho a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

La corrección mediante un mapa de densidades de las posiciones de las deformaciones, permite dar más facil lectura a los resultados, ya que compensa el efecto del desigual reparto geográfico de los datos reportados.

Disolución

La subsidencia por disolución constatada se postula como un factor de importancia. Si consideramos que Huérmeda marca un nivel de base de 515 metros (Tabla 5 y Gráfico 5) el nivel piezométrico, posiblemente muy próximo al nivel freático, estarán más cercanos a la superficie que estos valores máximos. Esto es así porque el flujo subterráneo es importante, exigiendo la presencia de una pendiente longitudinal en el nivel piezométrico.

Tabla 5.- Profundidad máxima del nivel piezométrico.

| Ubicación | Altitud (m) | Profundidad máxima del freático (m) |
|------------------|-------------|-------------------------------------|
| | PNOA MDT05 | |
| Huérmeda | 515,088 | 0 |
| Calatayud Centro | 532,970 | 17,882 |
| Calatayud Río | 526,662 | 11,574 |

Se constata así que el proceso de disolución de materiales evaporíticos ha de jugar un papel importante en el desarrollo de los problemas que aquejan la ciudad, ya que se asocia la elevada presencia de evaporitas en el subsuelo y flujos de agua subterráneos importantes que, con gran probabilidad tiendan a concentrarse en las partes centrales de los valles fluviales.

Sin duda que estos procesos han de ser responsables, en buena parte, del proceso de constante reforma que sufre la ciudad desde sus orígenes, sabidamente prerromanos, pues ya existía la actual Calatayud cuando se construyó Bílbilis.

Este proceso de continua renovación hace que la ciudad crezca sobre sus escombros, enterrando vestigios de todas las épocas, intentando mantenerse a flote en un sustrato cambiante.

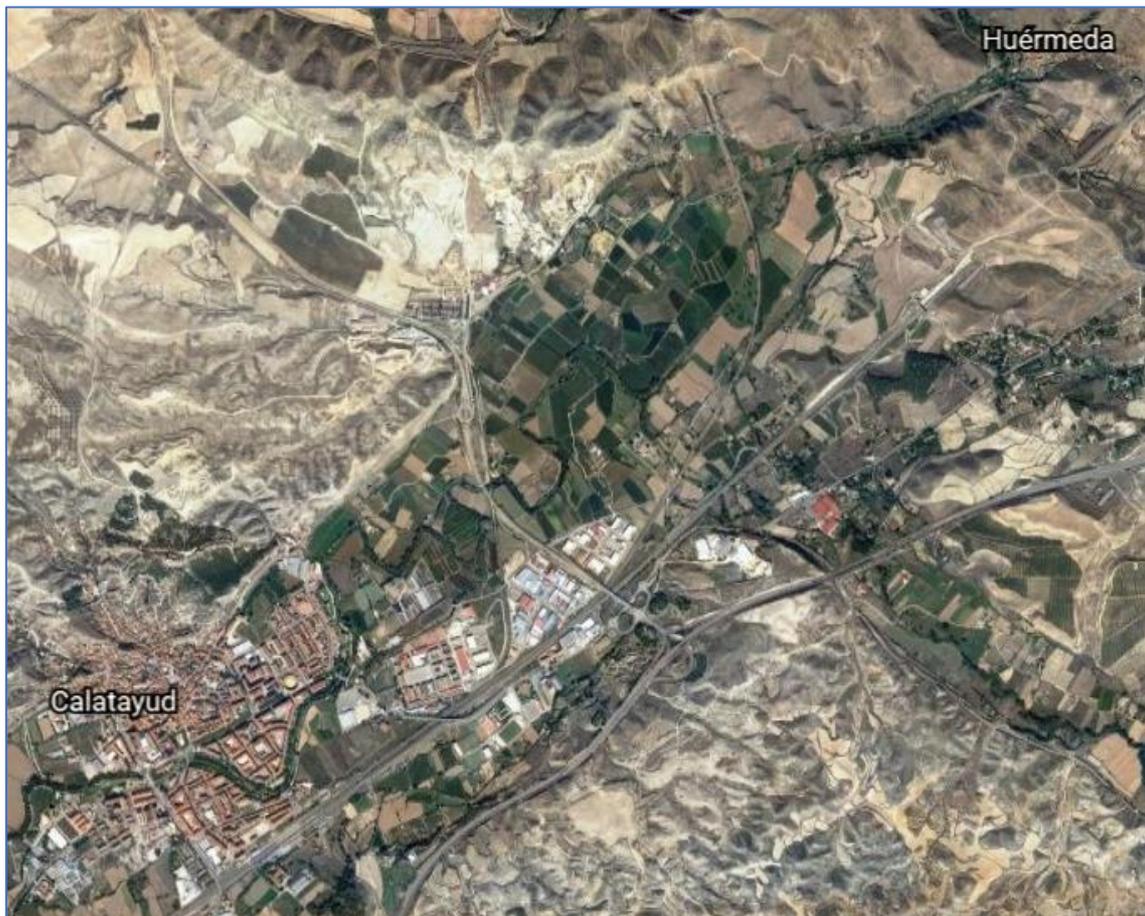


Gráfico 5.- Estrechamiento del valle del río Jalón en Huérmeda.

6.- Conclusiones

- La implicación de alumnos de enseñanza secundaria en trabajos de investigación desarrollados en su entorno inmediato es un medio útil para difundir la cultura geológica y motivar al alumno en la adquisición de conocimientos relacionados.
- La cartografía de sentidos de hundimiento aporta más información que el mero análisis posicional de las deformaciones, categorizando el terreno en su entorno.
- El balance de sales en la Cuenca de Calatayud indica la disolución de materiales evaporíticos, predominantemente yesíferos, por cuantía de 125.000 toneladas anuales.
- Las tasas medias de hundimiento estimadas para toda la cuenca oscilan entre un mínimo de 0,02 mm y un máximo de 0,12 anuales. En zonas de concentración de flujos subterráneos, como en es previsible que ocurra en Calatayud, estas tasas pueden ser superiores a las estimaciones.
- La magnitud de las tasas de hundimiento determinadas puede dar cuenta de gran parte de los problemas geotécnicos que aquejan la ciudad de Calatayud y otras localidades del entorno.

7.- Resumen

Castellano

Se realiza una cartografía de sentidos de hundimiento determinados a partir de grietas y otras deformaciones, reportadas fundamentalmente por alumnos del IES Emilio Jimeno de Calatayud. La cartografía permite identificar zonas de hundimiento preferente en la ciudad, pero las limitaciones del muestreo, escaso y con distribución heterogénea, limita la validez de los resultados encontrados.

Los datos de aforo y de calidad de las aguas de la Cuenca de Calatayud y su entorno, permiten determinar la existencia de procesos de disolución de evaporitas que alcanzan las 125.000 toneladas anuales.

Estos procesos de disolución son responsables, en gran medida, de los problemas geotécnicos que aquejan la ciudad de Calatayud y otros núcleos de su entorno.

El análisis de los datos permite definir un modelo en el que las entradas de aguas subterráneas son del orden de 175 Hm³/año, procediendo del propio río Jalón, aguas arriba de la Cuenca de Calatayud, del río Jiloca, con infiltraciones sistemáticas a lo largo de su cauce y, posiblemente, por puntos no determinados del borde sur de la Cuenca de Calatayud.

Aguas abajo, en el límite norte de la cuenca, la presencia de materiales impermeables fuerza la salida de los flujos subterráneos al tiempo que marca un nivel de base para el nivel piezométrico. Considerando este nivel de base y la hidrodinámica de las aguas freáticas, el nivel de saturación, bajo la ciudad de Calatayud, se encuentra a escasos metros.

English

A cartography of the plunging directions formed from cracks and other deformations, which have been reported by the students of IES Emilio Jimeno, has been made. The cartography permits the identification of the main sinking zones in the city, but the survey limitations, which have a scarce and heterogeneous distribution, limit the validity of the results found.

The data of the amount and quality of the water in the Cuenca de Calatayud and surroundings permit determining the existence of evaporites dissolution processes, which reach 125.000 tons per year.

These dissolution processes are responsible of most of the geotechnic problems which suffers the city of Calatayud and other surrounding towns.

The data analysis permits defining a model in which the underground water input is around 175 Hm³ per year, which come from three origins: the Jalón river, up from the Cuenca de Calatayud, from the Jiloca river, from systematic infiltrations all along its bank, and probably, from undetermined places in the south limit of the Cuenca de Calatayud.

Downstream, in the North limit of the basin, the presence of impermeable materials forces the exit of underground water flows, while it marks a base level for the piezometric level. Considering this base level and hydrodynamic groundwater-table, the saturation level, underneath the town of Calatayud, is found a few meters below ground.

8.- Bibliografía

- Centro de Estudios Hidrográficos, CEH (en línea). Anuario de aforos. Disponible en: <<https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>>
- Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (en línea). Subcuencas de tramos de río, generadas a partir del MDT de celda 25 x 25 (CEDEX). Disponible en: <<http://www.cedex.es/>>
- Centro Nacional de Información Geográfica, CNIG (en línea). Información geográfica de referencia. Disponible en: <<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE>>
- Confederación Hidrográfica del Ebro, CHE (en línea). Datos de Calidad de Aguas. Disponible en: <<http://www.datoscalidadaguas.chebro.es:81/DatosCalidad/>>
- Instituto Geográfico Nacional, IGN (en línea). Ortoimágenes de España (satélite Sentinel2 y ortofotos del PNOA máxima actualidad). Disponible en: <<http://www.ign.es/wmts/pnoa-ma?request=GetCapabilities&service=WMTS>>
- Instituto Geológico y Minero de España, IGME (en línea). GEODE - Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000. Disponible en: <<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geode.aspx>>
- Marques Calvo, Luis Ángel (en línea). Proyecto educativo Crack Hunters. Disponible en: <<https://sites.google.com/emiliojimeno.edu.es/crackhunters/inicio>>
- Openstreetmap (en línea). OpenStreetMap. Disponible en: <<https://tile.openstreetmap.org>>
- United States National Aeronautics and Space Administration, NASA (en línea). MDE de la Península Ibérica 90 m. Disponible en: <<http://ide.unex.es/conocimiento/index.php?/article/AA-00204/0/MDE-de-la-Pennsula-Ibrica-90-y-250-m.html>>