



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

**EL SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS,
BOROBIA Y CUEVAS DE ÁGEREDA-BERATÓN
(CORDILLERA IBÉRICA, SORIA):
CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA Y
MATERIALES PARA LA DIVULGACIÓN**

Autora:

Esperanza Sancho Ruiz

Directora:

María Teresa Echeverría Arnedo

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza

Curso 2018/2019

RESÚMEN

En este trabajo se presenta una cartografía geomorfológica del modelado kárstico desarrollado en el sector suroccidental de la Sierra del Moncayo (Ibérica central), donde se instala un sistema de poljes ligado al dispositivo tectónico y a las litologías calcáreas dominantes. Se diferencian así dos zonas definidas como poljes, un sector con morfologías de karst aluvial, y otro sector dominado por el marco estructural. Estos poljes, ligados a la apertura de fosas intraibéricas plio-pleistocenas, se han modelado a lo largo del Cuaternario, con el desarrollo de superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas de descalcificación en diversas etapas. Por otro lado, se desarrollan materiales para la divulgación de estas formas de modelado kárstico.

Palabras clave: Cordillera Ibérica, karst, poljes, Cuaternario.

ABSTRACT

This dissertation presents a geomorphological mapping of the karstic landforms which developed in the southwestern sector of the Moncayo Sierra (central Iberica), where a prominent system of poljes is linked to the tectonic drive and the calcareous lithology. Taking this fact into account, there are two defined zones denominated poljes: one zone with alluvial karst morphologies, and the other dominated by the structural framework. These poljes, linked to the opening of intra-iberic plio-pleistocene trenches have been modelled throughout the Quaternary period, with developments of karstic cryptocorrosion surfaces and accumulations of decalcification clays at various stages. Apart from that, this dissertation will develop outreach materials aiming to promulgate these karstic landforms.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
3. AREA DE ESTUDIO.....	5
3.1. Localización, topografía.....	5
3.2. Clima y vegetación.....	7
3.3. Contexto geológico	8
4. METODOLOGÍA	11
4.1. Recopilación de la información.....	11
4.2. Elaboración de la cartografía temática.....	17
4.3. Análisis de los resultados y redacción.....	23
5. RESULTADOS: LOS POLJES	24
5.1. Conceptos	24
5.2. Los poljes	27
5.2.1. SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS.....	27
5.2.2. KARST ALUVIAL DE BOROBIA.....	30
5.2.3. FOSA DE BOROBIA	32
5.2.4. POLJE DE CUEVAS DE ÁGREDA - BERATÓN.....	34
6. CONCLUSIONES	37
7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	39
8. BIBLIOGRAFÍA.....	40
9. ANEXOS.....	42

1. INTRODUCCIÓN

El término **polje** hace referencia a grandes depresiones cerradas de fondo plano, desarrolladas sobre terrenos solubles y con origen kárstico, tecto-kárstico o fluvio-kárstico (Peña, 2010). Suelen encontrarse enmarcadas por laderas abruptas, con un tamaño de entre 0'5 y 500 km², con al menos 400 m de anchura del fondo (definiciones que varían en función de diversos autores) y drenaje kárstico.

Los poljes pueden estar ligados a la fracturación, formando parte de fosas tectónicas, y en general, su génesis tiene origen en el rebajamiento por corrosión de la superficie, produciéndose el característico aplanamiento y la sucesión de áreas cubiertas por arcillas de descalcificación y superficies escalonadas de criptocorrosión kárstica, especialmente en los poljes ibéricos (Gutiérrez, 2008).

Los poljes tienden a inundarse en periodos fríos y húmedos, a causa de la escorrentía superficial, surgencias o por la ascensión del nivel freático, secándose en los cálidos y secos. A su vez, el drenaje puede realizarse mediante ponors, sumideros ligados a la disolución, por los que el agua penetra en el subsuelo. Sin embargo, también es posible que los poljes sean capturados por la red hídrica, teniendo un funcionamiento mixto kárstico-fluvial.

El fondo del polje puede quedar cubierto por aluviones, dando lugar a la formación de dolinas aluviales, en continua evolución (Sweeting, 1972). También es posible que, al descender el fondo del polje debido a la corrosión kárstica, se encuentren litologías no karstificables, llegando al límite de su evolución como polje (Gutiérrez, 2008).



Figura 1. Polje de Noviercas. Fuente: E. Sancho Ruiz, 10-10-2019.

En lo referente al momento de formación de los poljes, la mayoría de las investigaciones coinciden en la necesidad de un clima cálido y estaciones de humedad

contrastada, con densa vegetación que aportara grandes cantidades de CO₂; condiciones que tuvieron lugar en el tránsito Terciario-Cuaternario en la cuenca mediterránea (Peña, 2010).

Se trata de una de las morfologías kársticas de papel más destacado en el ámbito mediterráneo, con especial presencia en los Balcanes, Grecia, sur de Francia y en las cordilleras Bética e Ibérica, contando en cada uno de estos lugares con distintos nombres regionales. El origen del término polje es eslavo y significa *campo que puede ser cultivado* (Sweeting, 1972), y en la Cordillera Ibérica castellano-aragonesa se les conoce habitualmente como *navas* (Gutiérrez, 2008).

La presencia de poljes en la Cordillera Ibérica se ha señalado desde las últimas décadas, encontrándose la mayoría sobre formaciones calizas mesozoicas y presentando alternancia entre acumulaciones de arcillas de descalcificación y sucesivas superficies de corrosión kárstica. La mayoría de estos poljes están influenciados por la actividad tectónica, son de amplias dimensiones y se encuentran frecuentemente capturados por la red fluvial, divididos en ocasiones en varias cuencas fluviales, por lo que se trata de poljes abiertos detenidos en su evolución (Gutiérrez et al., 1994).

Algunos ejemplos de estos poljes de la Cordillera Ibérica son el de Vistabella (Gutiérrez et al. 1982), el de Torrijas-Abejuela (Peña et al., 1983), el de Abejuela (Lozano, 1988), el polje de la Cañada Hermosa (Echeverría, 1989), el sistema de poljes de la Sierra de Albarracín (Peña et al., 1989), el de Guadazaón (Gutiérrez et al., 1994), el de Gallocanta (García et al., 2002) y el del Jiloca (García et al., 2003).

El sistema de poljes estudiado en este trabajo se ubica en la Cordillera Ibérica central, en el sector sur-suroeste del Moncayo, y se le ha dado el nombre de “Sistema de poljes de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón” en referencia a los principales pueblos que incluye. Se trata de una zona en la que predominan las litologías calcáreas y en la que se encuentran morfologías kársticas, tales como dolinas, cañones fluviokársticos, hums, karst aluvial y poljes.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivos principales:

- a. Realización de una cartografía geomorfológica del modelado kárstico en el sistema de poljes del sector sur-suroeste del Moncayo, en las sierras del Moncayo, Toranzo y Tablado, sector noroccidental de la ibérica central (el entorno de los pueblos de Noviercas, Borobia y Beratón), mediante la fotointerpretación, el trabajo de campo y el análisis espacial SIG.
- b. Caracterización de las morfologías de karst superficial que se desarrollan en la zona de estudio, con una propuesta de definición de los límites de los poljes existentes y el establecimiento de sus características morfológicas y evolutivas.

- c. Desarrollo de materiales para la divulgación de dicha cartografía orientada a promover un mejor conocimiento del territorio para la población tanto visitante como residente del área de estudio.

Objetivos secundarios:

- a. Estudio de la evolución espacio-temporal del sistema de poljes Noviercas-Borobia-Beratón.
- b. Análisis de la relación vegetación-relieve en los elementos morfológicos de los poljes.
- c. Empleo de los Sistemas de Información Geográfica y trabajo de campo como herramientas para la realización del estudio.

Hipótesis

A partir de los afloramientos calizos y al papel determinante de la tectónica de fallas alpinas en el sector suroccidental de la Sierra del Moncayo, se han podido modelar formas kársticas de tipo polje.

3. AREA DE ESTUDIO

3.1. Localización, topografía

En este trabajo se estudia el área localizada al sur-suroeste de la Sierra del Moncayo, en el límite oriental de la provincia de Soria con la provincia de Zaragoza.

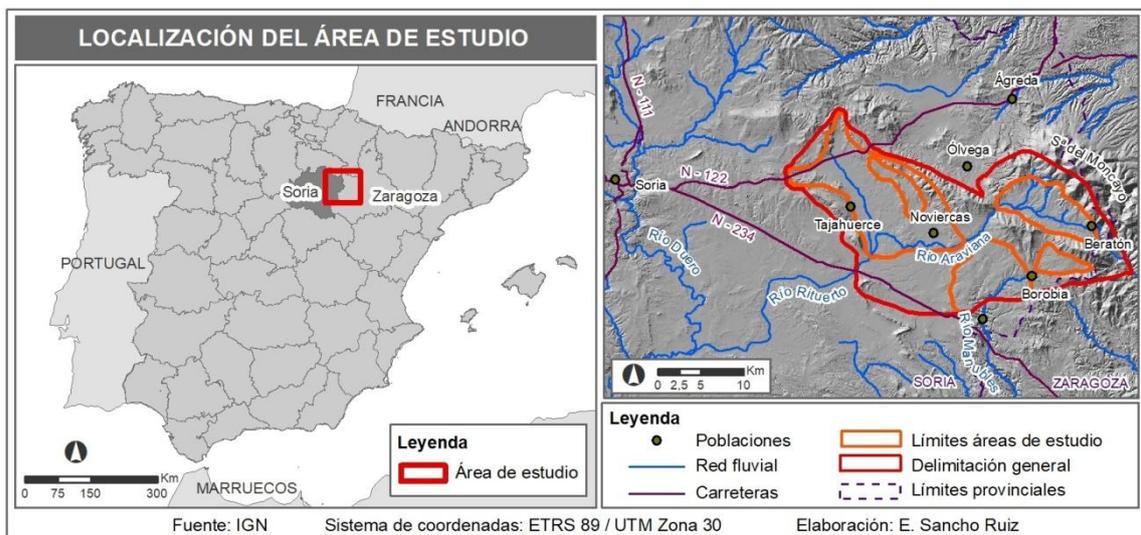


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

El área de estudio comprende principalmente las siguientes hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional:

- Extremo nororiental de la hoja de Soria (350)
- Hoja de Ólvega (351)
- Extremo suroeste de la hoja de Tabuena (352)
- Sector norte de la hoja de Borobia (380)

Se trata de un área en la que predominan las depresiones con relleno sedimentario alojadas entre sierras ibéricas. Estas depresiones de gran planitud se encuentran a una altitud siempre superior a los 1000 m, ubicándose varias de ellas sobre materiales calizos jurásicos, y ocupadas predominantemente por cultivos cerealistas, identificándose algunas de ellas como poljes.

Destacan tres de estas depresiones: la de Cuevas de Ágreda y Beratón, la de Borobia, y la de Noviercas.



Figura 3. Mapa de localización de detalle del área de estudio. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

La depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón queda bordeada por la Sierra del Moncayo (Pico San Miguel, 2.314m) al norte, el extremo meridional de la sierra de Madero (Cascarrera, 1.483m) al oeste y las sierras de Toranzo (Alto de Valdecortos, 1.620m) y Tablado (Tablado, 1.747m) al sur, y por ella discurre el río Araviana, afluente del Rituerto y perteneciente a la cuenca hidrográfica del Duero. El Araviana nace en la Sierra del Moncayo, en un barranco en el que se le conoce primero como Arroyo de los Hontanares y posteriormente como Río Araviana o del Molino, hasta salir de la depresión por el oeste entre la sierra de Toranzo y la sierra del Madero.

Es también la sierra de Tablado la que bordea la depresión de Borobia, (orientada en dirección W-E, en paralelo a la depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón), tanto por el norte como por el sur, y el límite oeste queda delimitado vagamente por el extremo oriental de la sierra de Toranzo. El río Manubles sigue el límite sur de la depresión, desde su nacimiento en la sierra de Tablado hasta salir de la misma, junto al pueblo de Borobia, encajándose, a partir de ese momento, en un sector de sustrato calizo en dirección a Ciria; se trata de un afluente del río Jalón, perteneciente a la cuenca del Ebro.

En cuanto a la depresión de Noviercas, de mayor tamaño que las otras dos y orientada en dirección NW-SE, queda delimitada por la sierra del Madero al noreste, la sierra de la Pica (La Pica, 1.281m), del Cortado (Peña Alta, 1.328m), el pico Villamediana (1.262m) y la sierra de Aleza (1.223m) al suroeste. El río Araviana discurre por el límite sur de la depresión en dirección E-W, tras salir de la depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón, hasta desembocar en el río Rituerto en el extremo suroccidental. El Rituerto, afluente del Duero, recorre el centro de la depresión de Noviercas, desde su nacimiento al noroeste de la misma, hasta salir entre el Villamediana y la Sierra de Aleza.

Dentro de la depresión de Noviercas es posible destacar una pequeña depresión interior bien diferenciada (depresión de Pozalmuro), con dos sectores ligeramente separados uno del otro, y con dirección NW-SE.

3.2. Clima y vegetación

El clima de la zona de estudio queda marcadamente influenciado por la presencia del Moncayo, el cual intercepta los frentes y masas de aire atlánticos, procedentes del Cantábrico y que al llegar a la vertiente norte del Moncayo ascienden y condensan la humedad, formando nieblas y nubes. Al descender por la vertiente sur (soriana), las masas de aire pierden humedad relativa y las nieblas y precipitaciones son mucho menos abundantes. Las precipitaciones en esta vertiente se producen cuando llegan las masas de aire del O y SO, aunque esta situación es menos frecuente. Esta situación climática influye claramente en la vegetación, encontrando en la mayor parte del área de estudio escasez de vegetación, predominando especies adaptadas a la sequía (Del Valle et al., 1994).

A continuación se incluye un climograma de Soria (1.082m) para el periodo 1981-2010, con la temperatura media mensual en °C, y la precipitación media mensual en mm. Se han seleccionado los datos de Soria debido a la ausencia de datos de una población más próxima al área de estudio.

	En	Febr	Mzo	Abr	My	Jun	Jul	Agt	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
T (°C)	3,2	4,3	7,1	8,7	12,5	17,2	20,5	20,3	16,4	12	6,7	4	11
P (mm)	37	36	30	55	67	40	30	30	33	55	50	50	512

Figura 4. Datos clima Soria. Fuente: AEMET.

Las temperaturas máximas corresponden con julio y agosto, con 20°C, mientras que las mínimas se dan en enero, febrero y diciembre, con temperaturas entre los 3 y los 4°C. En lo referente a la precipitación, los máximos se dan en abril y mayo, con 55 y 67mm respectivamente, siendo la precipitación media para este periodo de 512mm anuales.

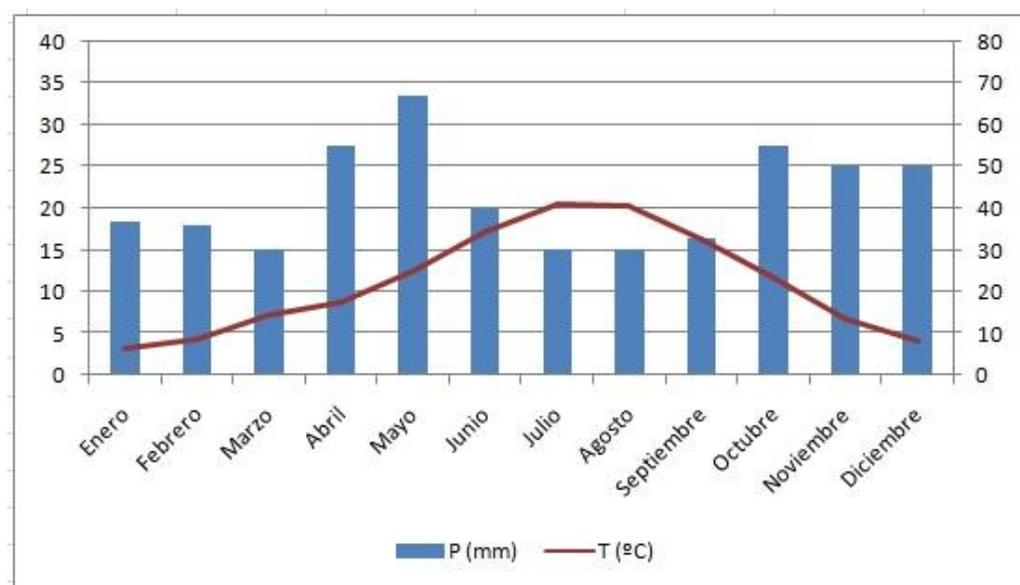


Figura 5. Climograma de Soria, periodo 1981-2010, altitud 1.082m. Fuente: elaboración a partir de los datos de AEMET.

El hecho de que los datos del climograma no se correspondan exactamente con la zona de estudio no supone un gran problema en este caso, ya que su utilidad es la de establecer un contexto climático de la zona, más que servir para explicar el modelado kárstico. Esto se debe a que el modelado kárstico no está estrictamente relacionado con el clima actual, sino con el clima a lo largo del plioceno y pleistoceno.

3.3. Contexto geológico

La ibérica central zaragozano-soriana se incluye en la Cordillera Ibérica, unidad morfoestructural en el cuadrante nororiental de la Península, extendida desde las sierras burgalesas hasta el Mediterráneo.

La Cordillera Ibérica está afectada tanto por la orogenia hercínica como por la alpina. Su localización la clasifica como una unidad de tectónica mixta y estilo estructural variado, en el que se reconocen grandes pliegues de rumbo ibérico, grandes alineaciones de fallas que limitan horst (Sierra de la Demanda, Macizo del Moncayo, Sierra del Toranzo, Montes de Ateca, Sierras en general de la Cordillera Ibérica zaragozana...) y fosas como las de Ágreda, Calatayud, Daroca o Teruel, de rumbo variado.

El tramo central de la Cordillera Ibérica se estructura en torno a la depresión terciaria de Almazán, cerrada al noreste por sierras sorianas y zaragozanas, y al sur por sierras castellanas.

Al noreste de la Depresión de Almazán y hasta llegar al piedemonte suroccidental del Moncayo, se reconocen afloramientos paleozoicos de cuarcitas y pizarras ordovícicas, que arman el Macizo del Moncayo, y las sierras del Tablado y Toranzo, grandes pliegues anticlinales fallados en su flanco norte. Por otro lado, la cubierta mesozoica de estas sierras presenta una constitución predominantemente calcárea, igual que la Sierra de la Pica y de Aleza, ambas en el límite suroccidental del área de trabajo.

Concretamente, en estos afloramientos, *grosso modo* calizos, se localizan un conjunto de depresiones tectónicas, de rumbo ibérico en algunos casos, relleno detrítico postalpino, y dominadas por escalones de calizas mesozoicas.

El conjunto es atravesado por incisiones fluviales de ríos pertenecientes tanto a la cuenca del Duero como a la del Ebro, que conllevan el depósito de débiles aluvionamientos en forma de terrazas. A su vez las laderas de las sierras aportan materiales conformando taludes detríticos holocenos.

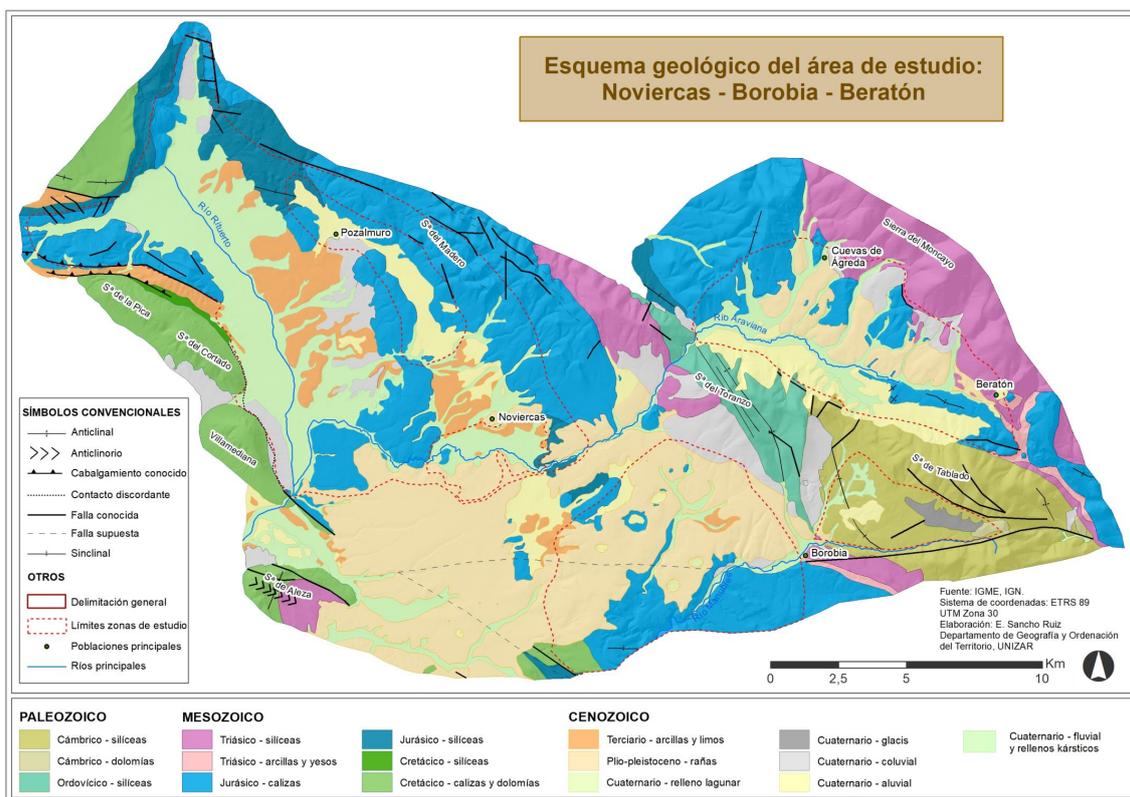


Figura 6. Mapa de síntesis geológica del área de estudio. Elaboración: E. Sancho Ruiz. (Ver anexo 5).

Los materiales **paleozoicos** afloran en el sector oriental del área de estudio, delimitando al sur la depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón, y siendo marco de la depresión de Borobia. La sierra de Tablado queda conformada casi íntegramente por rocas silíceas del Cámbrico: areniscas, limolitas y pizarras; a excepción de una pequeña

zona de afloramientos dolomíticos. En esta litología se conforma un denso sistema de fallas y un anticlinal, entrando en contacto con las cuarcitas, argilitas, esquistos y areniscas ordovícicas del anticlinorio de Toranzo mediante una falla, por lo que no existe una relación litoestratigráfica entre las series cámbrica y ordovícica (IGME, 1973: hoja 351).

La mayor parte de la superficie del área de estudio se compone de afloramientos **mesozoicos**, de marcada discordancia angular y erosiva con respecto a los materiales paleozoicos (IGME, 1973: hoja 351.), y con alternancia principalmente entre los materiales silíceos del Triásico y del Cámbrico con las calizas jurásicas.

El Triásico está formado por conglomerados, areniscas y limolitas del Buntsandstein en el anticlinal de la sierra del Moncayo, límite norte de la depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón, en el sector nororiental de la sierra de Madero, y de forma residual en el entorno del pueblo de Borobia (paralelo a los afloramientos cámbricos de la sierra de Tablado) y en el anticlinorio de la Sierra de Aleza. También hay presencia de dolomías, margas y yesos del Muschelkalk y del Keuper en el barranco escavado por el río Isuela, cuyo nacimiento se encuentra en el límite oriental de la depresión de Cuevas de Ágreda-Beratón, y al sur de Borobia, en paralelo al afloramiento del Buntsandstein.

En cuanto al Jurásico, únicamente se encuentran limolitas y areniscas en el sector noroeste de la Sierra de Madero; sin embargo, las calizas predominan en parte importante de la superficie del área de estudio: sierra de Madero, norte de la sierra de la Pica, sectores más occidentales y orientales de la Sierra del Moncayo, y la zona entre Borobia y Ciria.

El Cretácico está formado principalmente por calizas, ubicadas en el extremo occidental de la zona de estudio, en el conjunto de sierras que limitan la depresión de Noviercas: la sierra de la Pica, sierra de Cortado, el monte Villamediana y el anticlinorio de la sierra de Aleza. En la sierra de la Pica, el límite entre las calizas cretácicas y jurásicas queda marcado por dos cabalgamientos, entre los cuales se encuentran acumulaciones de arcillas y limos terciarias.

Los materiales del **Cenozoico** se encuentran en el centro de las depresiones, con depósitos pliocenos de conglomerados, areniscas y arcillas al sur de la sierra de Aleza y al oeste de Borobia, y rañas plío-pleistocenas (mantos aluviales denominados como “raña” en el centro y oeste de la península silícea y equivalentes a aluvionamientos plío-cuaternarios en otras litologías) al sur de las sierras silíceas del Toranzo y del Moncayo. Se encuentran depósitos holocenos de glaciares en la depresión de Borobia, coluviones los taludes de las sierras del Toranzo y del Moncayo y depósitos aluviales en los piedemontes al norte de la sierra del Toranzo y al oeste de la sierra del Madero. Los depósitos de relleno lagunar se encuentran en las dolinas de Borobia, el relleno fluvial en las proximidades de los cursos fluviales, y rellenos arcillosos originados a partir de la descalcificación de las calizas jurásicas en los fondos de las depresiones.

En cuanto a la actividad tectónica, durante la **orogenia hercínica** se produjo el plegamiento de las grandes estructuras ibéricas, y en la **orogenia alpina** estos pliegues fueron elevados y hundidos mediante fallas, plegándose la cubierta mesozoica y rellenándose las fosas creadas. Esta dinámica continúa en la **etapa de distensión tardialpina**, también llamada **ibero-manchega** para el conjunto occidental y central de la península, durante la cual tienen lugar aluvionamientos de piedemonte de tipo raña, silíceos o calcáreos en función de las fuentes de sedimentos. En esta etapa de distensión tardialpina la apertura de fosas en afloramientos carbonatados propicia el modelado de poljes.

4. METODOLOGÍA

La realización de este trabajo ha pasado por tres grandes fases: recopilación de información sobre los relieves kársticos de la zona, elaboración de la cartografía temática y por último, análisis de los resultados y redacción.

4.1. Recopilación de la información

En primer lugar, se ha realizado una **búsqueda de la información general**, en relación al karst y los poljes, como forma de realizar un acercamiento al tema: conceptos relacionados, factores y procesos que intervienen, etc. En este aspecto, las fuentes más consultadas han sido las obras de Gutiérrez Elorza (*Geomorfología*, 2008) y Hugget (*Fundamentals of Geomorphology*, 2003). A continuación, se realizó una recopilación de la **bibliografía existente sobre los poljes en la Cordillera Ibérica**, para lo cual han sido de especial interés los estudios sobre los poljes del Gallocanta (García et al., 2002), Guadazaón (Gutiérrez et al., 1994), Vistabella (Gutiérrez et al., 1982), Torrijas-Abejuela (Peña et al., 1983) y principalmente, el estudio de Peña sobre las formas del relieve de la Sierra de Albarracín y su sistema de poljes (2010).

Además se consultó algún trabajo relativo a poljes del entorno mediterráneo, tales como el de la región de Dystos-Almyropotamos en Grecia (Peña, 2008).

Por último, en lo referente a la **información recopilada sobre la zona de estudio**, ha resultado de gran interés el estudio de Sanz Pérez sobre el karst al sur y oeste del Moncayo (Sanz Pérez, 1986) y la tesis de Francisco Pellicer (Pellicer, 1984), y tres recursos principales: la cartografía geológica del Instituto Geológico y Minero de España (tanto las hojas de los mapas como sus correspondientes memorias), los modelos digitales del terreno (MDT) del Instituto Geográfico Nacional y las imágenes aéreas actuales del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), todo ello apoyado en dos salidas de campo al área de estudio.

Cartografía geológica del IGME:

Conocer el contexto geológico del área de estudio resulta clave para el estudio del modelado kárstico, y concretamente de los poljes, debido a que se trata de unas formas del relieve completamente ligadas a la litología, y en las cuales influye también de forma importante la actividad tectónica y neo-tectónica. Es por ello que un recurso empleado ha sido la cartografía geológica del Instituto Geológico y Minero de España, a escala 1:50.000 (2ª serie). Las hojas que comprenden la zona delimitada para este trabajo son las siguientes, descargadas del portal de cartografía digital del Instituto Geológico y Minero de España, IGME (Disponible online). <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx?language=es>.

- El extremo nororiental de la hoja de Soria (350)
- La hoja de Ólvega (351)
- El extremo suroeste de la hoja de Tabuena (352)
- El sector norte de la hoja de Borobia (380)

A partir de estos mapas geológicos se ha realizado una **cartografía geológica simplificada** en ArcGIS (fig. x); se ha creado una capa “shapefile” (shp) para las superficies litológicas y otra para los elementos lineales de la tectónica, digitalizando los diferentes elementos sobre los mapas geológicos georreferenciados, ya que las capas del geológico en formato shp no se encontraban disponibles.

Para la elaboración de la leyenda, se ha partido de la empleada en los mapas geológicos del IGME, realizando una simplificación en cuanto a la división en etapas, materiales litológicos y elementos estructurales, seleccionando la información de utilidad para la realización de este trabajo.

De este modo, la categoría mínima de etapas geológicas recogida en el mapa geológico que aquí se incluye, es de sistema o periodo. Como excepción, se llega a la división por serie o época en el caso del Plío-pleistoceno, con el objetivo de recalcar que dichos materiales proceden del límite entre el Neógeno y el Cuaternario, momento de especial importancia para la formación de los poljes en la Cordillera Ibérica.

En cuanto al tipo de litología, en el Paleozoico y Mesozoico la distinción se ha limitado a materiales silíceos y calcáreos principalmente, ya que esta simplificación resultaba de mayor interés para la interpretación de la litología y su influencia en la formación y delimitación de los poljes.

En cuanto a la litología del Cenozoico, cabe destacar la problemática que ha supuesto el hecho de que en la zona de estudio confluyen 4 hojas distintas, cada una de ellas con diferencias interpretativas en cuanto a etapas geológicas y litología (diferencias que suelen ser habituales en el Terciario y Cuaternario). Como ejemplo, al sur de la hoja 351, contigua a una zona de rañas plío-pleistocenas, se define un área de arcillas y limos oligocenos, la cual queda cortada bruscamente por el límite de la hoja, y cuya continuación en la hoja 380 se define como conglomerados, areniscas y arcillas

pliocenas. Estos casos se han resuelto comparando con otras áreas de los mapas, y en el trabajo de campo sobre el terreno. Es por ello que en este caso, esta zona se ha interpretado como rañas plio-pleistocenas, debido a que resulta más lógico como continuidad entre ambas zonas, teniendo en cuenta además la proximidad con las sierras silíceas del Toranzo.

En lo referente al Cuaternario, la variación que se ha establecido con respecto al mapa geológico del IGME radica en la categoría llamada en este trabajo “Cuaternario fluvial y rellenos kársticos”, que en el geológico se establece únicamente como “fluvial”. Este añadido se ha realizado como propuesta de que los procesos que han producido y depositado estos depósitos no son exclusivamente fluviales, sino que se deben a un origen mixto fluvio-kárstico, y que además, esto depende de la zona: por ejemplo en el área de Beratón tendrían mayor influencia en la actualidad los procesos fluviales, habiendo sido erosionados los rellenos kársticos, mientras que en el polje de Noviercas los procesos predominantes serían kársticos, como se explicará posteriormente en profundidad.

A la hora de la realizar la simbología para el mapa geológico, se ha primado la sencillez y legibilidad, por lo que se han empleado los colores que se aplican habitualmente a los diferentes tipos de etapas geológicas, pero se ha evitado el empleo de tramas para diferenciar la litología, ya que al haberse simplificado el número de categorías de la leyenda no resultaba necesario.

Además de la cartografía geológica, también se han empleado las memorias de estas hojas, útiles por las explicaciones de aspectos de la litología y la tectónica, así como por los comentarios que incluyen en algunos casos sobre el contexto geomorfológico de estas zonas.

Modelo Digital del Terreno del IGN:

El modelo digital del terreno aporta la información altimétrica que representa el relieve, con un paso de malla de 5m, correspondiendo con las hojas del MTN50. Se han descargado las hojas 350, 351, 352 y 380, desde el Centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (Disponibles online): <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>.

A partir de estos modelos se han realizado en ArcGis los modelos de iluminación, los cuales se han empleado como base para la cartografía temática, tanto para los mapas de localización y detalle como geológico y geomorfológico.

A su vez, los modelos se han empleado para la realización del análisis de las diferentes superficies de aplanamiento de los poljes, ya que al aportar la información altimétrica permiten comparar unas superficies con otras y establecer una posible evolución de las formas del relieve kársticas.

Ortofotografías actuales del PNOA:

Para la fotointerpretación, parte imprescindible en la elaboración de este trabajo, se han empleado las ortofotografías de Máxima Actualidad del PNOA, las cuales datan del año 2018, y han sido descargadas desde el Centro de Descargas del CNIG (Disponibles online: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>).

Estas ortofotografías, al igual que los modelos digital del terreno y mapas geológicos, corresponden con las hojas del MTN50, por lo que las hojas empleadas han sido la 350, 351, 352 y 380.

El empleo conjunto de las ortofotografías con el modelo digital del terreno y el mapa geológico ha permitido realizar la delimitación de las diferentes superficies del área de estudio.

Además, una de las utilidades específicas de las ortofotografías ha sido la diferenciación en los poljes de las superficies de criptocorrosión kárstica y las acumulaciones de arcillas, ya que mediante el MDT, ambas pueden resultar iguales. De este modo, ha sido posible la diferenciación entre las áreas de afloramientos calcáreos, completamente corroídos (superficies de criptocorrosión) y con una vegetación escasa, limitada a algunas herbáceas y arbustos, frente a las áreas de acumulación de arcillas, aprovechadas casi en su totalidad como campos de cultivo.



Figura 7. Diferenciación mediante una ortofotografía de las superficies de criptocorrosión kárstica y las acumulaciones de arcillas; polje central de Noviercas. Fuente: PNOA.

Trabajo de campo:

Se han realizado dos salidas de campo a la zona de estudio, con objetivos distintos, realizándose la primera el 21 de abril, y la segunda el 10 de octubre.

La utilidad de **la primera salida de campo** consistía en realizar una aproximación al terreno, con el objetivo de conocer el terreno y ver las morfologías kársticas que allí

se desarrollan, más allá de imágenes aéreas y modelos digitales del terreno que, aunque resultan clave para la realización del trabajo, son herramientas que en este caso resulta imprescindible complementar con un análisis sobre el terreno. Es por ello que, a partir de esta salida de campo, la labor de diferenciación de las distintas formas del relieve ha resultado más sencilla, y se han realizado algunas modificaciones con respecto a lo realizado en la cartografía hasta el momento.

También ha sido especialmente interesante para contextualizar la zona a nivel de la vegetación y fauna, observando la relación que existe entre ambas con las diversas formas del relieve. Así pues, las superficies de criptocorrosión kárstica han resultado ser zonas de especial interés natural, con una vegetación muy característica, y siendo el hábitat ideal para muchas rapaces, con sus cortados, zonas propicias para la caza con la ausencia de vegetación densa, y el poco acceso de la población en la actualidad.



Figura 8. Águila real (*Aquila chrysaetos*) en la superficie de criptocorrosión kárstica entre Cuevas de Ágreda y Beratón. Fuente: E. Sancho Ruiz, 21-04-2019.

Durante esta salida de campo se realizó un recorrido por el valle de Cuevas de Ágreda y Beratón mayormente, pasando por los depósitos de piedemonte y rañas al pie del Moncayo, el pueblo de Beratón y la superficie de criptocorrosión kárstica central, continuando por los depósitos fluvio-kársticos al noroeste del valle. La siguiente zona a visitar fue la fosa de Borobia, y por último el área de karst aluvial al suroeste de Borobia, donde se tuvo que hacer frente a una serie de inconvenientes técnicos con el difícil acceso que había a determinadas zonas, a causa de la lluvia en los días anteriores. Otro de los inconvenientes que supuso la meteorología para esta salida de campo fue la abundancia de nubes bajas, que no permitió la toma de fotos de buena visibilidad para ilustrar el contexto general y algunas formas del relieve, lo cual era uno de los objetivos del día.

La segunda salida de campo se realizó el 10 de octubre de 2019, con el objetivo de visitar las zonas a las que no había sido posible llegar en la salida de campo anterior, realizar comprobaciones sobre lo realizado hasta el momento, solucionar las dudas que

habían ido surgiendo a lo largo de la realización del trabajo y, además, realizar fotografías de formas del relieve de la zona para ilustrar las explicaciones. Es por ello que se comenzó la salida de campo por la zona del polje de Noviercas, subiendo al monte Villamediana para obtener una vista elevada (Figura 1). Se continuó el recorrido por el fondo de este polje, entre las superficies de criptocorrosión kárstica y las acumulaciones de arcillas, hasta llegar al polje de Pozalmuro, donde se estuvo analizando el posible origen y evolución del mismo, en relación al sustrato y los relieves aledaños, tras lo cual se decidió la modificación de los límites de este polje (antes se había dividido en dos pequeños poljes, pero se observó que realmente existía una continuidad entre ambos, no solo topográfica, sino que también en cuanto al origen y evolución).



Figura 9. Polje de Pozalmuro, sector oriental. Fuente: E. Sancho Ruiz, 10-10-2019.

La salida de campo continuó hasta el pueblo de Noviercas, observando también el pequeño cañón fluviokárstico que modela el río Araviana en sus proximidades, y la zona de karst aluvial al suroeste de Borobia, pero en este caso en la zona más occidental, en la que se descubrieron notables diferencias con respecto a la zona oriental, visitada en la salida de campo anterior. Destacan de esta zona las amplias superficies cubiertas por raña, y las grandes dolinas aluviales que demuestran la existencia de un sustrato calcáreo bajo el recubrimiento silíceo superior. La última etapa de la salida consistió en continuar la carretera por Cuevas de Ágreda y Beratón, lo que supuso una gran ayuda para la interpretación del relieve y realizar importantes cambios en la cartografía de la zona.

Como herramientas empleadas para ambas salidas de campo, se empleó la **cartografía geológica y geomorfológica** realizada, así como detalles del **modelo digital del terreno** y las **ortofotografías** correspondientes, impresos para la realización de anotaciones y correcciones en el momento, y en soporte digital en el móvil. Se empleó también la **aplicación móvil “Mapas de España”** del IGN, un visualizador gratuito que emplea cartografía de fondo del IGN, permitiendo el empleo de las bases topográficas a diferentes escalas y las ortofotografías del PNOA, así como el servicio de

geolocalización. Para esta situación se había barajado también la posibilidad de empleo de la aplicación QFIELD, pero por falta de capacidad del teléfono móvil personal se descartó esta opción.

4.2. Elaboración de la cartografía temática

Un mapa geomorfológico es “un documento gráfico en el que están representadas de forma sintética todas las formas del relieve de una región” (Peña, 1997). Para la realización de esta cartografía se han empleado los recursos recopilados y explicados en el apartado anterior: tanto los estudios relevantes sobre la zona como la cartografía geológica, los modelos digitales del terreno y la fotointerpretación, todo ello apoyado en las dos salidas de campo realizadas.

La **escala** elegida para la elaboración de la cartografía geomorfológica ha sido 1:50.000, por considerarse la correcta para estudiar las formas del relieve kársticas de gran tamaño, como son los poljes, pudiendo diferenciar las principales formas del relieve que los conforman (superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas), y siendo la mínima para identificar otras formas kársticas de tamaño medio también interesantes para este trabajo, como son las dolinas.

El *software* empleado para la realización de la cartografía geomorfológica, al igual que para las demás cartografías realizadas en este trabajo, ha sido **ArcGIS**. Este mapa incluye información recogida en varias capas *shapefile*:

- **Formas del relieve**(superficies): esta capa se ha realizado creando polígonos georreferenciados que delimitan las diversas formas del relieve que existen en la zona, mediante la fotointerpretación con las ortofotografías del PNOA, el empleo de los MDT y la cartografía geológica, y en base a lo observado en campo.
- **Formas del relieve** (lineal): el proceso para la realización de esta capa ha sido el mismo que para la anterior, con la diferencia de que en este caso los elementos incluidos han sido las formas representadas linealmente, tales como las formas estructurales.
- **Marco estructural** (lineal): se han realizado una selección de elementos de interés a partir de la capa de la cartografía geológica, siendo la fuente la cartografía geológica del IGME (apartado 4.1).
- **Red hidrográfica** (lineal): se ha obtenido de la base topográfica nacional a escala 1:25.000 (BTN), descargada del Centro de Descargas del CNIG (disponible online:<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>). Se ha realizado una grosera división por niveles, destacando los principales ríos sobre los barrancos y arroyos.
- **Información de referencia** (puntual): se recogen los núcleos de población de la zona, con el objetivo de que la lectura del mapa sea más sencilla. La información de esta capa procede, como en el caso anterior, de la base topográfica nacional a escala 1:25.000, descargada del Centro de Descargas del CNIG. Se ha barajado también la posibilidad de incluir también las vías de comunicación, pero

finalmente se ha considerado que dificultaban la lectura del mapa más de lo que ayudaban, teniendo en cuenta que el mapa geomorfológico se complementa con mapas de localización y detalle en los que ya se incluye esta información.

Otra información de referencia, como la **toponimia** de las sierras aledañas, se ha incluido en la edición final del mapa, seleccionando la que se ha considerado de mayor interés para la lectura del mapa. Para la selección de la información de toponimia a incluir, se ha empleado el visor Iberpix del IGN, que permite visualizar la información de referencia a distintas escalas y combinando diferentes capas de forma muy sencilla e intuitiva (Disponible online: <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>).

Elaboración de la leyenda:

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica se ha empleado como referencia la leyenda para mapas geomorfológicos a escalas 1:25.000/1:50.000” (Peña et al., 1997).

Se ha seguido la estructura de la leyenda de referencia, así como los colores y tramas empleados para la simbología, realizando ciertas variaciones cuando se ha considerado que las ya propuestas podían llevar a confusión, por la similitud con otras formas de representación similar. Otra variación realizada se encuentra en lo referente a las formas del relieve ligadas a la litología, ya que al tratarse esta de una cartografía geomorfológica que hace especial hincapié en las formas kársticas, ha resultado necesario añadir algunas divisiones más de las existentes en la leyenda citada.

La leyenda geomorfológica incluye toda la información de las formas del relieve, el marco estructural y la red hidrográfica, a lo que se añade la información de referencia con los núcleos de población. Esta leyenda se estructura en seis apartados: litología y conjuntos morfoestructurales, marco estructural, modelados de influencia litológica (formas kársticas), modelado hídrico y fluvial, modelado de laderas y elementos de origen antrópico.

a. LITOLOGÍA Y CONJUNTOS MORFOESTRUCTURALES

En este apartado se incluyen las formas del relieve en la que domina la litología y los conjuntos morfoestructurales, realizando una división entre zócalos paleozoicos, cadenas alpinas (Mesozoico) y cuencas terciarias.

LITOLOGÍA Y CONJUNTOS MORFOESTRUCTURALES	
Zócalos paleozoicos	Cadenas alpinas
 Relieves alomados sobre dolomías	 Relieves alomados sobre calizas
 Relieves alomados sobre silíceas	 Relieves alomados sobre silíceas
	Cuencas terciarias
	 Acumulación de arcillas y limos

Figura 10. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

Dentro de la delimitación de **zócalos paleozoicos** se incluyen los relieves alomados sobre rocas silíceas y los relieves alomados sobre dolomías. En los primeros se ha realizado una simplificación con respecto a la leyenda geomorfológica de referencia, en la que esta categoría correspondería con “cuarcitas y areniscas”, con el objetivo de simplificar la lectura del mapa y relacionarlo mejor con el mapa geológico también realizado. Los relieves alomados sobre dolomías corresponden en la leyenda de referencia con “calizas y dolomías” pero en este caso se ha decidido eliminar la denominación de “calizas” debido a que en la zona únicamente se encuentran dolomías paleozoicas, en la zona de Borobia. Se ha añadido la descripción de “relieves alomados” para mejorar la comprensión del tipo de forma del relieve, en lugar de representar únicamente la litología.

Como **cadena alpina** están los relieves alomados sobre rocas silíceas y los relieves alomados sobre calizas, realizando la misma simplificación que en el caso anterior y bajo el mismo objetivo.

En lo referente a las **cuencas terciarias** se localizan las acumulaciones de arcillas y limos. Concuerta con la delimitación en la leyenda de referencia con las “arcillas y margas”, dentro de formas detríticas indiferenciadas. Se ha decidido denominarlo como arcillas y limos debido a que es así como se define en el mapa geológico.

Dentro de las formas detríticas indiferenciadas del Terciario, en la leyenda geomorfológica de Peña et al. (1997) se incluyen los “conglomerados y areniscas”, lo que podría concordar con la definición de las rañas. Sin embargo, se ha decidido no incluir aquí las rañas debido a la importancia de recalcar que se trata de rañas pló-pleistocenas. Este hecho resulta relevante a la hora de realizar el análisis sobre el karst aluvial de Borobia, hecho por el cual se ha decidido no incluir en este apartado las rañas y localizarlas junto a las formas acumulativas aluviales.

b. MARCO ESTRUCTURAL

Para el marco estructural se ha partido de la información del mapa geológico, seleccionando únicamente las estructuras que se incluyen en la “Leyenda para mapas geomorfológicos” (Peña et al. 1997). Así, quedan representados los siguientes elementos del marco estructural:



Figura 11. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

Frentes de cabalgamiento (falla inversa por la cual los estratos estratigráficamente anteriores se posicionan sobre los estratos más recientes), cuya simbología se ha modificado con respecto a la leyenda de referencia, con el objetivo de diferenciarlo mejor de la simbología de “escarpe”; fallas, dejando únicamente las fallas conocidas, y eliminando de este mapa las “fallas supuestas”, que ya se incluyen en el mapa geológico y no suponen una gran aportación sobre las formas del relieve; ejes anticlinales y sinclinales (apartado 3.3). Se ha decidido incluirlo como un sector aparte en la leyenda, guardando así la similitud con el mapa geológico elaborado también para este trabajo.

c. MODELADOS DE INFLUENCIA LITOLÓGICA: LAS FORMAS KÁRSTICAS

Las formas kársticas son un tipo de modelado ligado a la litología calcárea, por lo que se establece como un conjunto individualizado dentro de la leyenda. Se han realizado algunas ampliaciones o variaciones con respecto a la leyenda original, al tratarse de cartografía centrada principalmente en este tipo de modelado. El color temático para este modelado es el naranja para las líneas y puntos, y el amarillo claro para las superficies, lo que resulta útil para una localización rápida de estos elementos en el mapa.

Las formas diferenciadas son las siguientes (cuya definición se realizará en el apartado de conceptos 5.1): cañones fluviokársticos, dolinas, hums y límites de los poljes (con superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas).

FORMAS KÁRSTICAS	
	Cañón fluviokárstico
	Dolina
	Hum
	Relleno de depresiones kársticas
	Nivel 1: superficie de criptocorrosión kárstica
	Nivel 2: superficie de criptocorrosión kárstica
	Nivel 2: acumulación de arcillas
	Nivel 3: acumulación de arcillas
	Nivel 4: fondo de polje más reciente

Figura 12. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

Las dolinas se han representado eliminando las distinciones de tipología en el mapa general, y además se ha encontrado una uvala, aunque a escala del mapa general no es posible diferenciarla con respecto a las dolinas.

Los límites de los poljes se han identificado con una línea naranja discontinua, sin realizar la distinción de la leyenda de Peña, entre poljes funcionales y paleopoljes, debido a que todos los poljes existentes en esta zona han sido ya capturados por la red fluvial y tienen un funcionamiento mixto.



Figura 13. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

Las superficies de criptocorrosión kárstica (en la leyenda de referencia “superficies de aplanamiento de los poljes”, pero se ha decidido emplear la otra denominación al ser la empleada en la mayoría de los casos de la bibliografía estudiada) quedan divididas en dos niveles, y las áreas de acumulación de arcillas se han representado también con tramas distintas para los diversos niveles.

La simbología empleada en la leyenda de referencia como “rellenos de depresiones kársticas” se ha empleado en cambio como fondo de todas las formas kársticas, con el objetivo de dar uniformidad a las mismas.

d. MODELADO HÍDRICO Y FLUVIAL

El modelado hídrico y fluvial se incluye en la cartografía geomorfológica, quedando dividido en la leyenda en tres apartados: la red fluvial, las formas acumulativas y las áreas endorreicas.

La **red fluvial** incluye los canales fluviales, que se representan de forma lineal, en lugar de superficies, debido al pequeño tamaño de los cursos fluviales; barrancos de incisión lineal, cuya representación se ha realizado como superficies para mejorar la visibilidad, dándoles un color verde oscuro, propio del modelado hídrico, además de la representación lineal en azul discontinuo; los valles de fondo plano, en otro tono de verde; y las divisoria de aguas, que aunque no se incluían en la leyenda de referencia, se ha considerado que podían ayudar a una mejor comprensión de las formas del relieve de la zona.

Las **formas acumulativas** que han sido identificadas en la zona de estudio son áreas de acumulaciones aluviales plio-cuaternarias, correspondiendo con los depósitos del fondo de la fosa de Borobia y en el valle de Cuevas de Ágreda-Beratón, además de otras áreas aisladas; terrazas fluviales, en las cuales se ha decidido no realizar una diferenciación de niveles, ya que se encuentran de forma marginal en el límite de la zona de estudio y no resulta necesario para el estudio del sistema de poljes de la zona; el color empleado para la simbología de las terrazas es un tono de verde, tal y como se especifica en la leyenda geomorfológica de referencia. También se representan los lechos de inundación actuales, para los cuales se ha decidido cambiar la representación a un verde muy claro, ya que la simbología de referencia podría haber llevado a confusión con la de las superficies de modelado kárstico. Por último, se encuentran glacis y conos aluviales, representados con el mismo color y trama diferenciada, tal y como se indica en la leyenda de Peña et al. (1997), pero sin diferenciar niveles para ambos.

En cuanto al glacis, cuando este cubre superficies de los poljes se ha representado enmarcado en la línea naranja que se emplea para las formas kársticas, y la trama de puntos de las acumulaciones de arcillas de los fondos de polje.

En lo referente a las **áreas endorreicas**, se localizan los espacios de aguas permanentes en algunas dolinas, en la zona de karst aluvial de Borobia.



Figura 14. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

e. MODELADO DE LADERAS

En lo referente al modelado de laderas se incluye el **coluvión**, agrupando así las formas denominadas en la leyenda de referencia como “acumulaciones pleistocenas y acumulaciones holocenas y actuales de ladera”. Cuando el coluvión cubre superficies de los poljes se ha representado, al igual que en el caso de los glacis, con la línea naranja que se emplea para las formas kársticas, no por considerar dichos coluviones como elementos kársticos, sino por su localización dentro del polje, y la trama de puntos de las acumulaciones de arcillas de los fondos de polje.



Figura 15. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

También se encuentra en la zona una **cicatriz de arranque de movimientos en masa**, cuya simbología se corresponde con la presentada en la leyenda de Peña et al. (1997). Se ubica en las laderas de la Sierra del Moncayo, y aunque debería corresponder con un depósito de materiales movilizados, no ha sido posible su diferenciación, debido a la abundante vegetación en la zona y al pequeño tamaño del movimiento. Finalmente se ha decidido no incluir esta forma de relieve, debido a su escaso tamaño para la escala de esta cartografía.

f. ELEMENTOS DE ORIGEN ANTRÓPICO

En este apartado se han incluido las **graveras y canteras**: tanto la mina de magnesitas de Borobia, en el piedemonte de la Sierra de Tablado y actualmente en activo, como la antigua mina de Borobia, en las laderas orientales de la Sierra del Toranzo. La simbología se ha modificado con respecto a la de la leyenda de referencia, con el objetivo de permitir una mejor lectura.



Figura 16. Fragmento de la leyenda realizada para el mapa geomorfológico.

4.3. Análisis de los resultados y redacción

A partir de la cartografía geomorfológica elaborada, se ha procedido al análisis de la misma, estudiando las formas del relieve presentes en la zona, con el foco puesto sobre el modelado kárstico.

De este modo, **se han individualizado cuatro zonas principales**: el sistema de poljes de Noviercas, que incluye un polje central, el cañón fluviokárstico del Araviana, el polje de Pozalmuro y el pequeño polje de Noviercas; la zona de karst aluvial de Borobia; la fosa de Borobia; y el polje de Cuevas de Ágreda y Beratón.

Para cada una de estas zonas se ha realizado una propuesta de su posible **evolución**, y un **corte transversal con la geomorfología**, a modo de esquema que ayude a la comprensión de las características de cada una. En estos perfiles se ha mantenido una exagerada escala vertical, para poder diferenciar morfologías de valores topográficos semejantes, cuya diferenciación ayuda a entender la evolución morfológica en el tiempo. En lo referente a la deformación tectónica, se ha representado de forma supuesta o deducida, y por otro lado, en los cortes también se ha exagerado el espesor de los depósitos detríticos cuaternarios, con el objetivo de mejorar su visibilidad.

A continuación se han **comentado** los aspectos de evolución y características de cada una de las áreas señaladas, elaborando por último una **síntesis** para el conjunto de la geomorfología de la zona.

Por último, como **propuesta de material para la divulgación**, se ha elaborado un panel, con el objetivo de servir como explicación didáctica sobre los poljes, incluyendo la cartografía geomorfológica del sistema de poljes de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón, un mapa de localización de la zona, una fotografía del polje de Noviercas y el corte transversal de este mismo sector. Este panel se incluye en el apartado de anexos. (Ver anexo 7).

5. RESULTADOS: LOS POLJES

5.1. Conceptos

Según Jennings (1971), el **karst** es un “terreno en el cual rocas solubles son alteradas en la superficie e interior del suelo, por la acción de disolución del agua y que posee rasgos distintivos de relieve y drenaje.”

Desde el punto de vista hidrológico, existen dos tipos de karst: el **exo** o **epikarst**, referido al karst de superficie o próximo a la superficie, y el **endokarst** o karst subsuperficial (Hugget, 2003). Otra distinción posible es entre **karst activo** y **karst relicto** (Ford, 2004).

Según la cobertura se puede distinguir entre **karst sin recubrimiento o desnudo**, el cual se origina sobre áreas desprovistas de suelo y vegetación, y **karst cubierto**, cuando las morfologías kársticas se encuentran bajo una cubierta de materiales, normalmente sedimentos sueltos (Gutiérrez Elorza, 2008).

El término **polje** se refiere a una “gran depresión cerrada de fondo plano, rocoso y a veces aterrizado, o cubierto por acumulaciones, de más de 400m de amplitud, con al menos un borde abrupto y un sistema de drenaje kárstico” (Peña et al., 2010). Por tanto, se pueden destacar cuatro características principales:

- Depresión de gran tamaño, con una longitud de varios kilómetros y una anchura mínima de 400m.
- Alargada, habitualmente ligada a la tectónica.
- Fondo plano
- Drenaje kárstico

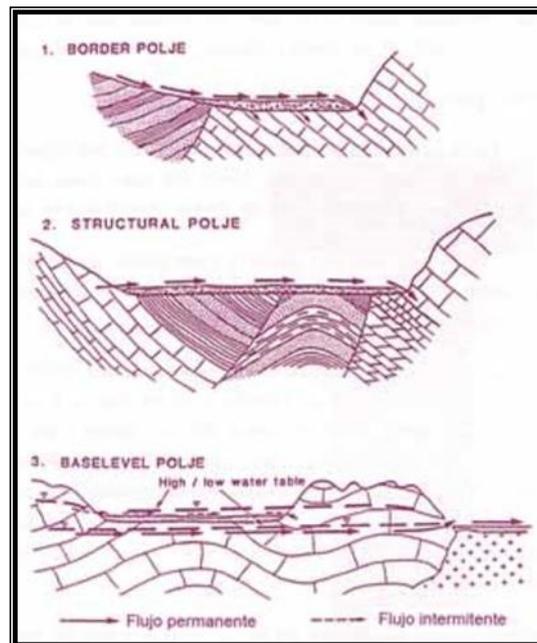


Figura 17. Tipología de los poljes, según Ford y Williams (2007), en Peña (2010).

Según Ford y Williams (1989) se pueden distinguir tres tipos de poljes: **poljes de borde**, en los que el nivel freático se encuentra en el área de alimentación y los depósitos de la llanura de inundación sobre la piedra caliza, siendo alimentados por ríos allogénicos; **poljes estructurales**, asociados a fallas; y **poljes de nivel básico**, desarrollados en sustratos calizos, cuando el nivel freático atraviesa la superficie del suelo. Sin embargo, en la mayoría de los casos los poljes no se enmarcan en una tipología estricta, sino que se han desarrollado a partir de la acción de diversos factores y procesos (kársticos o no), presentando gran variabilidad. A estos tipos de poljes podría añadirse los **poljes de tipo ibérico** (Peña, 2010), con una presencia de varios niveles de superficies de criptocorrosión kárstica.

En los poljes, al producirse el rebajamiento por corrosión de la superficie y el consiguiente aplanamiento, se suceden dos morfologías muy características: áreas cubiertas por arcillas de descalcificación y superficies escalonadas de criptocorrosión kárstica.

La disolución o corrosión de las calizas es una reacción química que conlleva la formación de las morfologías kársticas. El dióxido de carbono, disuelto en el agua, produce ácido carbónico, el cual conlleva la disolución de los carbonatos, a partir de la génesis de bicarbonato cálcico. En la mayoría de los casos, las rocas calizas contienen también arcillas, por lo que al producirse la disolución de las calizas, quedan de forma residual las **arcillas de descalcificación**, las cuales se encuentran habitualmente en los poljes cubriendo las superficies aplanadas del fondo; bajo esta cubierta continuarían los procesos de corrosión (aplanamiento por corrosión o criptocorrosión). Conforme se produce la profundización del fondo del polje, van quedando en resalte las antiguas superficies en las que tenía lugar la disolución, y al continuar la disolución puede llegarse al escalonamiento de estas **superficies de criptocorrosión kárstica**.

En los poljes pueden desarrollarse diversas morfologías kársticas, como por ejemplo hums, sumideros o ponors, dolinas, uvalas, etc., razón por la cual se ha elaborado un glosario de términos kársticos para un mejor seguimiento del trabajo.

Cañón fluviokárstico: valle profundo y estrecho formado por el encajamiento de un río en el sustrato soluble.

Dolina: depresión kárstica cerrada circular o elipsoidal, con un tamaño que puede ir de metros a un kilómetro de diámetro, y profundidad desde pocos metros a más de un centenar. Existen diversos tipos de dolinas en función de su morfología: en cubeta, en embudo y en pozo (Cvijic, 1893); y en función de su génesis, dolinas de disolución y de colapso, aunque la mayoría se generan por la participación de diversos procesos (Ford y Williams, 1989).



Figura 18. Dolina en el polje de Cuevas de Ágreda-Beratón. Elaboración: E. Sancho Ruiz, 21-04-2019.

Hum: Colinas aisladas residuales de forma cónica sobre sustrato calizo en un polje.

Karst aluvial: tipo de karst cubierto que se modela sobre un sustrato soluble cubierto por acumulaciones detríticas muy permeables; el agua se filtra por el depósito permeable y disuelve el sustrato soluble. Esta disolución interna esculpe una cavidad interna lenta o rápidamente, responsable de que el depósito permeable se hunda, ocupando así el hueco abierto por la disolución.

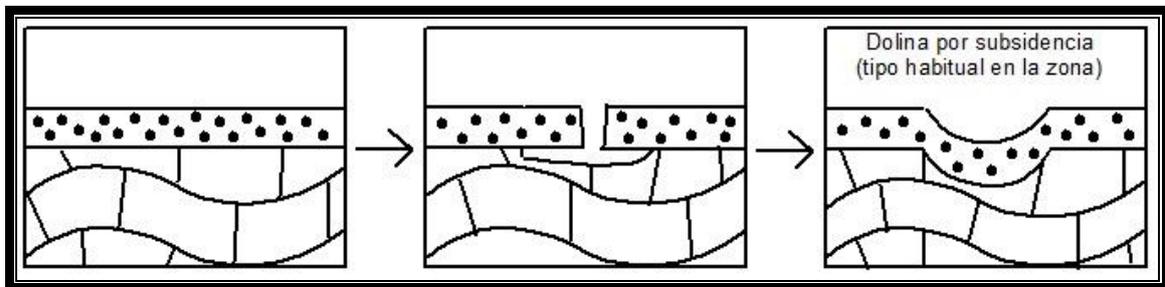


Figura 19. Desarrollo del karst aluvial. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

Sumidero o ponor: oquedad profunda sobre sustrato soluble a través de la cual se produce el drenaje de un polje hacia galerías endokársticas.

Uvala: depresión kárstica de fondo plano, formada por la unión de dos o más dolinas.

5.2. Los poljes

El análisis geomorfológico del modelado kárstico en el área de estudio comienza con la elaboración de una cartografía temática en la que se recogen, además de algunos aspectos estructurales, las morfologías exokársticas.

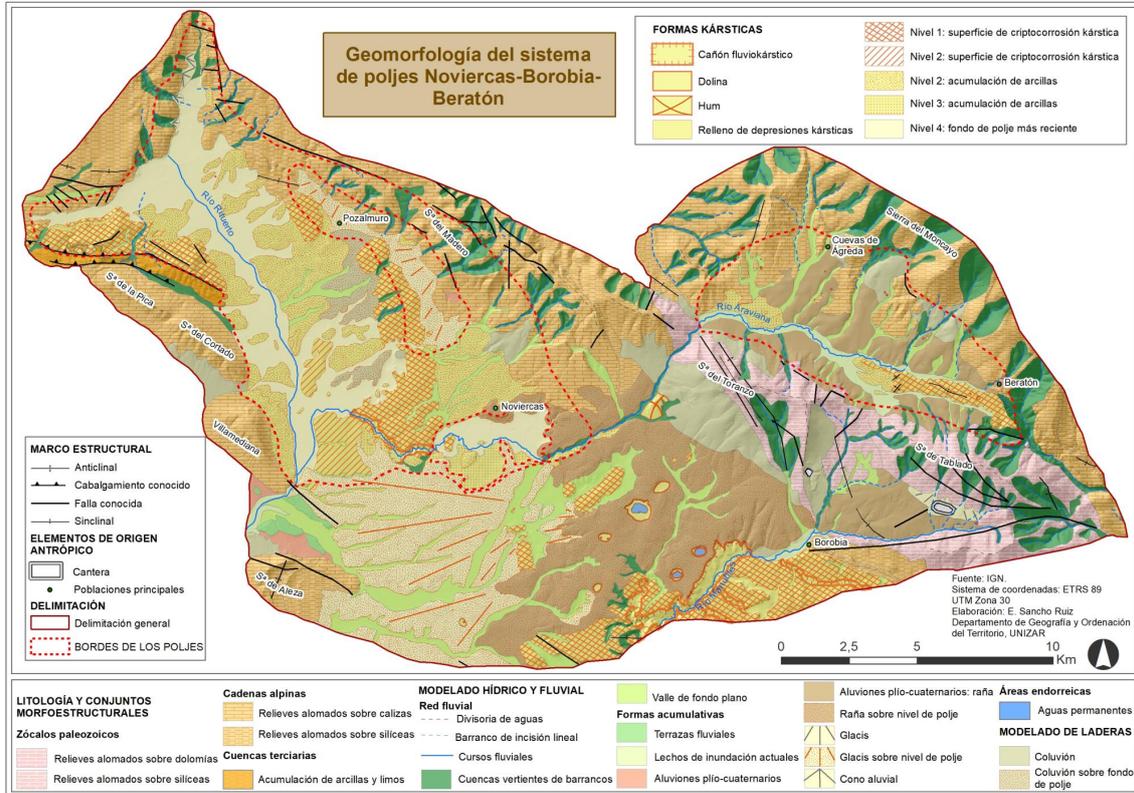


Figura 20. Cartografía geomorfológica del sistema de poljes de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón. Elaboración: E. Sancho Ruiz. (Ver anexo 6).

5.2.1. SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS

En el sector meridional del área de estudio se ubica una gran depresión de rumbo NW-SE, con unos 15 km de longitud y una anchura que aumenta desde los 6 km de la zona norte hasta los 10 km de la zona sur. Este sistema de poljes, en el cual se encuentran ejemplos de diversas morfologías kársticas, se encuentra dividido en tres depresiones de menores dimensiones y es posible diferenciar cuatro sectores interiores:

- Polje central de Noviercas
- Depresión secundaria-polje de Pozalmuro
- Pequeño polje de Noviercas
- Cañón fluvio-kárstico del Araviana

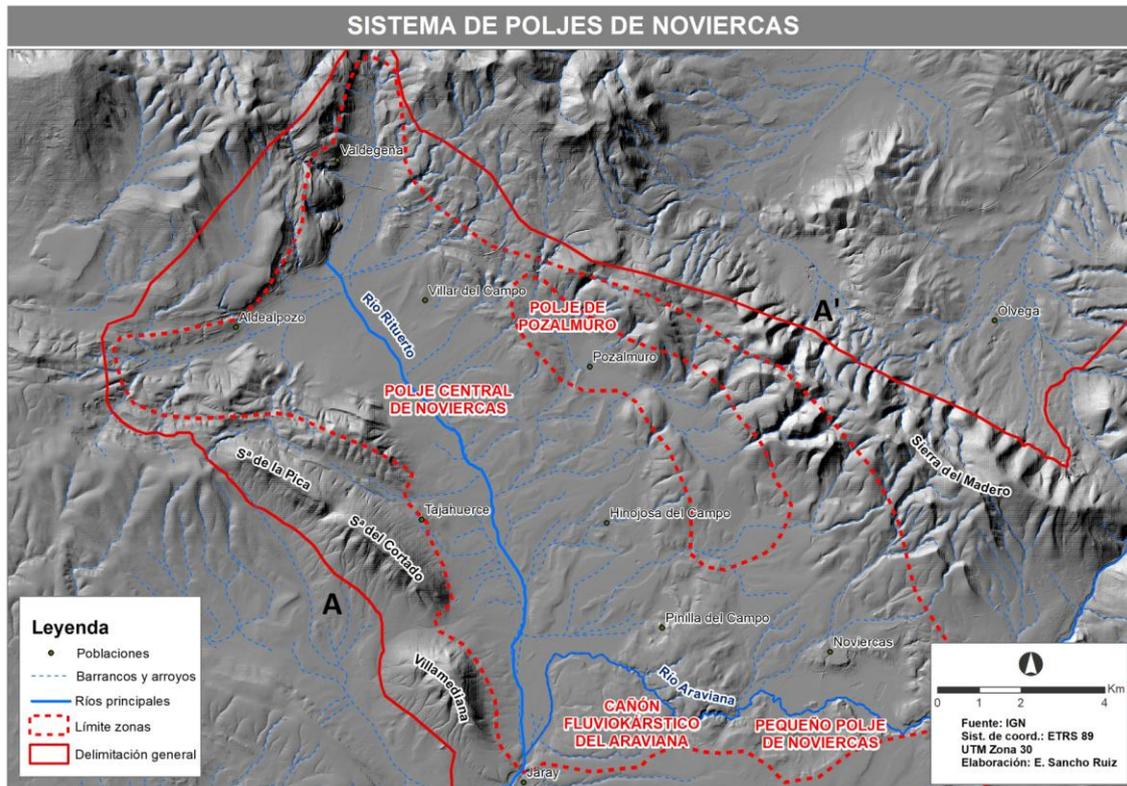


Figura 21. Detalle del sistema de poljes de Noviercas, sobre modelo digital del terreno. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

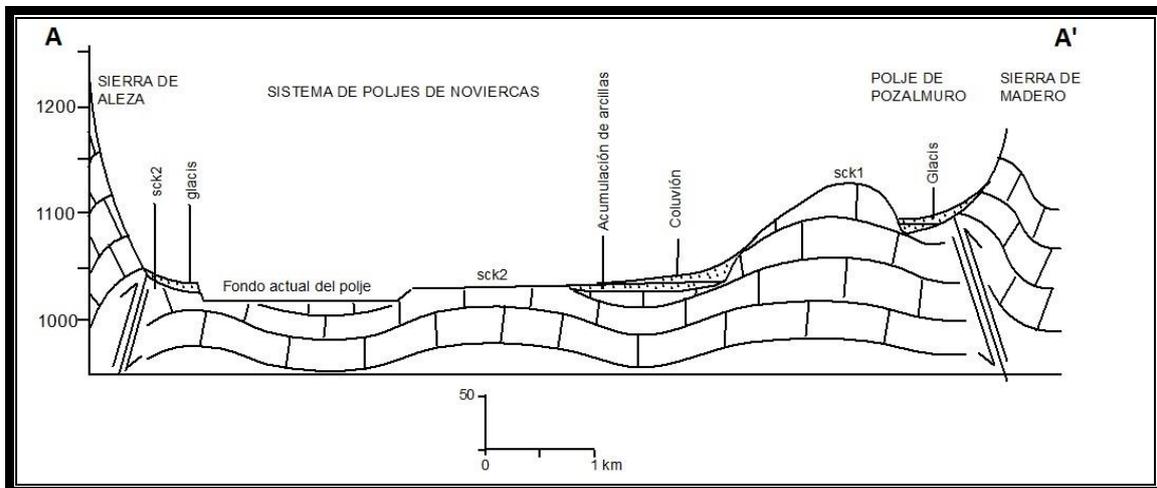


Figura 22. Corte transversal del Sistema de poljes de Noviercas. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

El sistema de poljes se encaja aprovechando el marco estructural, con un sistema de fallas que delimita bloques levantados (horst) y hundidos (graben). Es en el bloque hundido que se desarrolla el polje, delimitado al norte por el horst que constituye la Sierra de Madero, de litología predominantemente calcárea del Jurásico (al igual que el bloque hundido), y al sur la Sierra de la Pica, del Cortado y Villamediana, conformadas por afloramientos de calizas cámbricas. Por el sur, la delimitación del polje es más difusa, quedando establecida en las rañas y glacis que descienden suavemente desde la sierra del Toranzo.

En la génesis de este sistema de poljes intervienen procesos kársticos y fluviokársticos, tanto la disolución de las calizas del sustrato como la erosión fluvial de los materiales impermeables. En el momento de formación del polje, correspondiendo con un clima más húmedo, la corrosión sería muy activa sobre las calizas que se encontrarán fosilizadas bajo materiales detríticos, lo que llevaría a un progresivo aplanamiento del polje. Además, con la sucesión entre periodos con distintas condiciones climáticas, se producen diversos niveles de superficies de criptocorrosión kárstica, las cuales constituyen antiguos fondos del polje, y marcan las principales etapas en la evolución de su morfología.

Como resultado de la corrosión del sustrato calizo, se van desarrollando también acumulaciones de arcillas de descalcificación, las cuales se depositan sobre las calizas y forman, al igual que las superficies de aplanamiento, sucesivos niveles escalonados.

Conforme continúa la profundización del polje, también se produce la erosión de las acumulaciones de arcillas, aflorando las calizas de antiguas superficies de criptocorrosión kárstica.

De este modo, se han identificado en el sistema de poljes de Noviercas cuatro niveles correspondientes a diferentes etapas de profundización y aplanamiento, numerándose siguiendo el orden de formación de cada una. De este modo, el nivel uno lo constituyen las superficies más antiguas, y el 4 las más recientes.

Nivel 1: lo constituyen las **superficies de criptocorrosión kárstica** más elevadas, en paralelo y siendo las más próximas a la Sierra del Madero y de la Pica. En este nivel no se encuentran importantes acumulaciones de arcillas, ya que al ser las más antiguas y encontrarse más elevadas, la erosión ha lavado la mayor parte de los materiales detríticos superficiales, dejando únicamente una fina capa en la que se desarrolla la vegetación. Además, la red hídrica ya ha incidido en estas superficies, encontrándose barrancos de incisión lineal y un pequeño cañón fluviokárstico. Este cañón ha sido escavado por el Araviana a su paso por los afloramientos calizos, en el límite entre el nivel 1 y 2 de superficies de criptocorrosión kárstica.

Nivel 2: **superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas**, en algunos casos cubiertas por materiales detríticos procedentes de las superficies del nivel 1. En las acumulaciones de arcillas se han desarrollado algunos valles de fondo plano, con una incisión muy débil.

El sector identificado como **polje de Pozalmuro** (figura 9) correspondería con este nivel, localizándose entre la Sierra del Madero y las superficies de criptocorrosión kárstica del nivel 1, paralelas a la misma. En la actualidad, ha quedado cubierto por los depósitos aluviales calcáreos de tipo glacis procedentes de la Sierra del Madero, en la cual se desarrollan abundantes barrancos de incisión lineal que depositan los detritos sobre el polje de Pozalmuro.

Nivel 3: en este nivel las superficies de aplanamiento quedan completamente cubiertas por **acumulaciones de arcillas**, y es posible diferenciarlo en el sector del pequeño Polje de Noviercas, mientras que en el sector del polje central de Noviercas, la diferenciación entre el nivel 2 y 3 resulta especialmente complicada.

Nivel 4: se trata del **fondo actual del polje**, en el cual se produce o se ha producido la incisión y aplanamiento más recientemente. Se localiza tanto en el sector central del polje de Noviercas como en el pequeño Polje de Noviercas, los cuales han quedado individualizados debido a las diversas etapas de profundización del sistema de poljes, siendo conectados actualmente únicamente a través del cañón fluvio-kárstico del Araviana.



Figura 23. Sector central del polje de Noviercas. Elaboración: E. Sancho Ruiz. 10-10-2019.

En lo referente al **drenaje superficial**, el polje queda atravesado a lo largo por el río Rituerto, cuyo escaso caudal discurre con dificultad por la planicie del nivel 4 en el polje central de Noviercas, hasta desembocar en el río Araviana. A su vez, el Araviana recorre el límite sur del polje atravesando el pequeño polje de Noviercas con una muy débil incisión, a excepción de un tramo en el que, a su paso entre las superficies de criptocorrosión kárstica del nivel 1 y 2, se encaja en el sustrato calcáreo formando el pequeño cañón fluvio-kárstico del que se ha hablado anteriormente.

5.2.2. KARST ALUVIAL DE BOROBIA

Al sur de la Sierra del Toranzo, entre los ríos Araviana y Manubles, se encuentra un sector de sustrato superficialmente silíceo, en el cual se desarrollan formas kársticas, ligadas a la litología calcárea infrayacente: dolinas de karst aluvial y un cañón fluvio-kárstico.

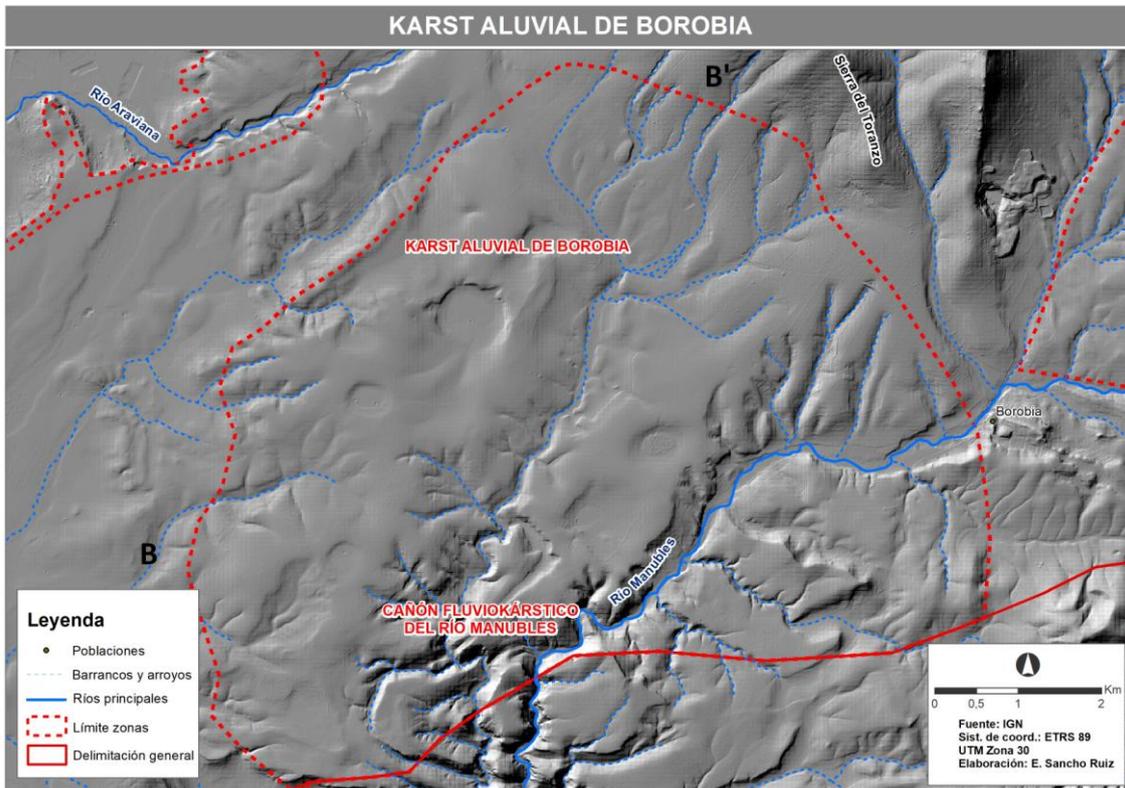


Figura 24. Detalle del sistema del karst aluvial de Borobia, sobre modelo digital del terreno. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

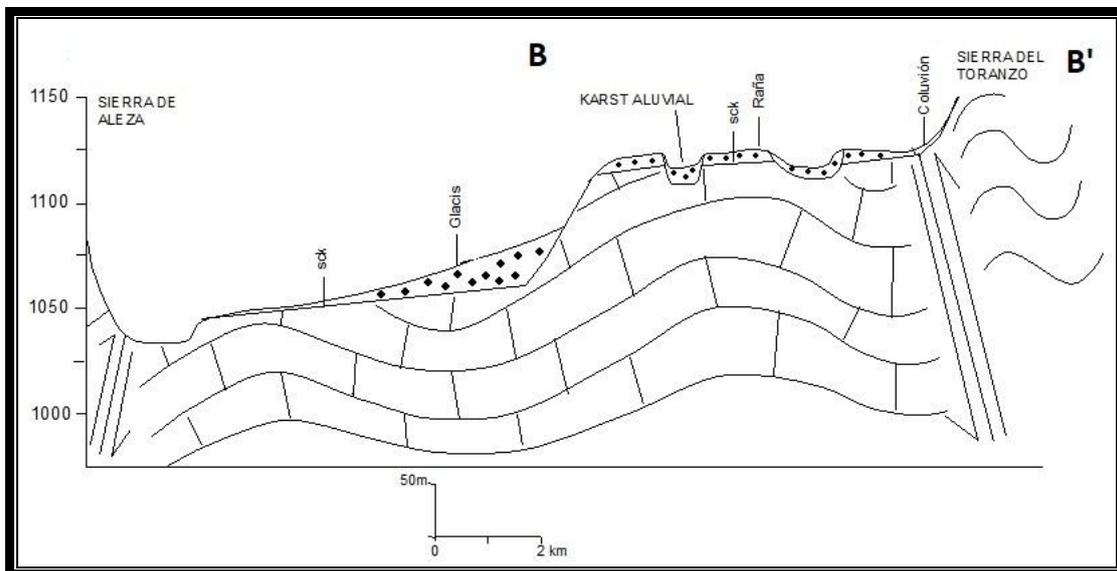


Figura 25. Corte transversal del karst aluvial de Borobia. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

La Sierra del Toranzo presenta una litología en la que dominan los afloramientos silíceos paleozoicos, quedando cubierta en su vertiente sur por coluviones y alimentando las rañas que se extienden desde su piedemonte, sobre los materiales calizos jurásicos.

A través de estos mantos aluviales de piedemonte predominantemente silíceos el agua se filtra hasta llegar a las calizas, disolviéndolas, produciendo dolinas de karst aluvial o cubierto. La mayoría de estas dolinas son dolinas por subsidencia, resultado de un proceso lento en el cual el sustrato calizo se va rebajando por corrosión, y se desarrollan también conductos de disolución por los que se produce el drenaje del agua y las partículas de la cobertura, dando como resultado una dolina de márgenes poco escarpados en la cual la cobertura detrítica se suele adaptar a la nueva forma del sustrato calizo.

Más allá de las rañas de la Sierra del Toranzo se extienden glaciares que descienden suavemente hasta el anticlinal calcáreo de la Sierra de Aleza, surcados por valles de fondo plano que llegan hasta el río Araviana, ya en el límite suroccidental del área de estudio, donde se encuentran también formaciones de terrazas fluviales.

Como se puede observar en el corte transversal de la zona, las rañas y los glaciares se encuentran en dos niveles altitudinales distintos, lo que podría deberse a que el sustrato calizo sobre el que se depositan corresponda con fondos de polje anteriores a la cubierta detrítica, en conexión con la zona delimitada como sistema de poljes de Noviercas. Así, se puede observar una continuidad entre el nivel sobre el que se extienden las rañas y el nivel 1 de las superficies de criptocorrosión kárstica, y entre el nivel sobre el que se depositan los glaciares y el nivel 2.

5.2.3. FOSA DE BOROBIA

En el extremo oriental de la zona de estudio se localiza una depresión orientada en dirección W-E, con 7 km de longitud y 2 km de anchura. Dicha depresión está formada por las alineaciones de fallas que delimitan dos bloques levantados (horst) y uno hundido (graben o fosa), constituyendo los bloques levantados la Sierra de Tablado, y el bloque hundido la fosa de Borobia.

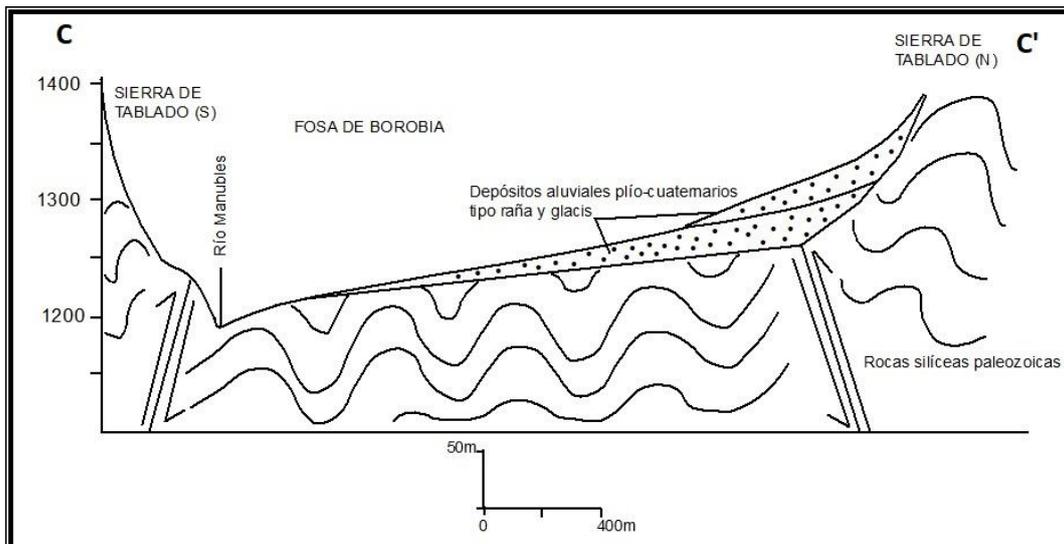


Figura 26. Corte transversal de la fosa de Borobia. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

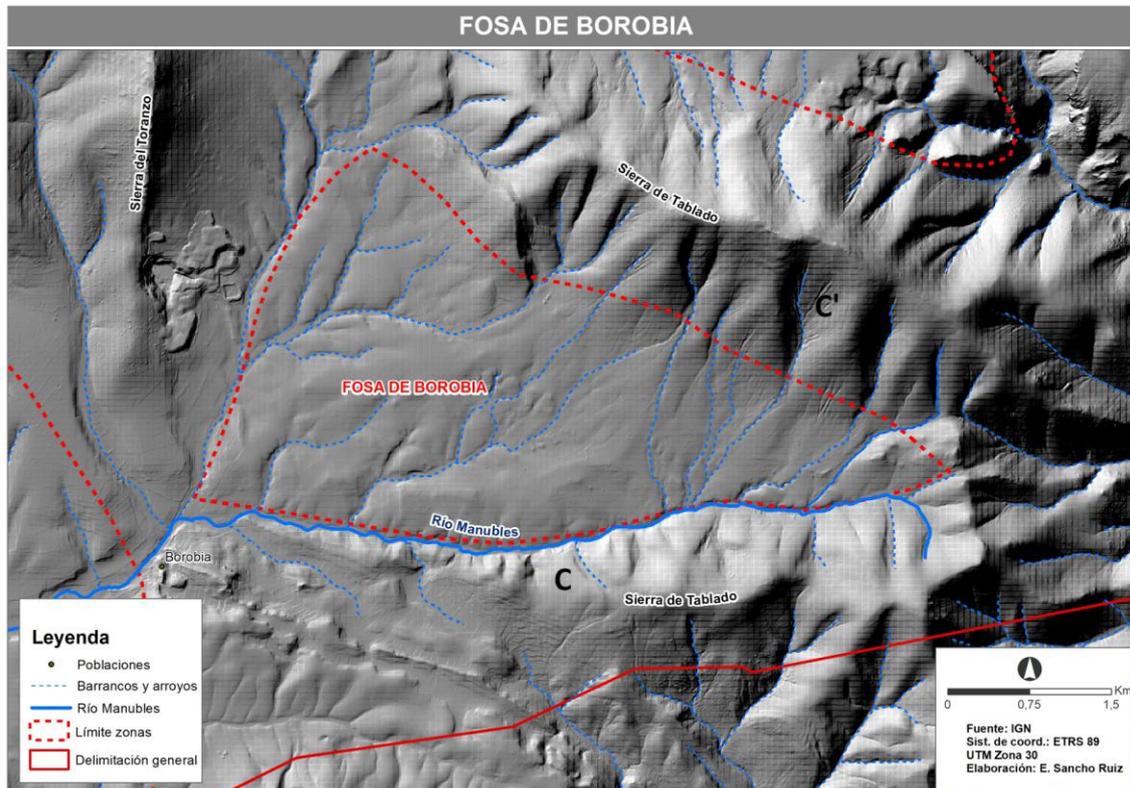


Figura 27. Detalle la fosa de Borobia, sobre modelo digital del terreno. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

En una primera etapa de interpretación geomorfológica y a la luz del modelo digital de terreno y los fotogramas aéreos, se interpretó esta área como un nuevo polje. Un detallado análisis litológico del sustrato evidenció que tanto la Sierra de Tablado como la fosa de Borobia, se están constituidas principalmente por materiales silíceos paleozoicos. El fondo de la fosa de Borobia queda cubierto por aluviones plócuaternarios de tipo raña (silíceos), y glaciares procedentes de los afloramientos también paleozoicos y silíceos del sector norte de la Sierra de Tablado (horst norte). Por lo tanto, no cabe una interpretación como polje, sino como una fosa limitada por dos horst.

En cuanto al drenaje superficial, barrancos de incisión lineal se encajan en la vertiente sur del sector norte de la Sierra de Tablado, discurriendo por la fosa con una débil incisión a causa de la escasa pendiente, hasta alimentar las aguas del río Manubles, el cual aprovecha el contacto entre el horst del sur y la fosa de Borobia para encajarse débilmente hasta salir de la depresión por el oeste, en el contacto del extremo oriental de la Sierra del Toranzo con el sector sur de la Sierra de Tablado.

Es cierto, no obstante, que en el extremo oriental de la fosa afloran dolomías paleozoicas, en las cuales se ha encontrado un tímido modelado kárstico, una pequeña uvala, en la cual se instala actualmente una laguna.



Figura 28. Pequeña uvala sobre dolomías en la fosa de Borobia. Fuente: PNOA.

En un primer análisis visual basado en la morfología, se había planteado la posibilidad de que esta depresión fuera, al igual que las depresiones aledañas, un polje; sin embargo, a partir del análisis litoestructural, se concluyó que las formas del relieve que conforman este sector del área de estudio son predominantemente de influencia estructural, tratándose de una fosa y ocupando el modelado kárstico un papel anecdótico en la conformación del conjunto.



Figura 29. Fosa de Borobia. Elaboración: E. Sancho Ruiz, 21-4-2019.

5.2.4. POLJE DE CUEVAS DE ÁGREDA - BERATÓN

En el sector nororiental del área de estudio se encuentra una depresión alargada de rumbo ibérico, delimitada al norte por la Sierra del Moncayo, al sur por la Sierra del Toranzo y de Tablado, y al oeste por la Sierra de las Pedrizas, con una longitud de unos 11 km y 5 km de anchura. Esta depresión se identifica con un polje que ha sufrido una gran transformación, habiendo sido cubierto por materiales detríticos plio-pleistocenos, procedentes de las sierras que lo rodean y posteriormente capturado por la red hídrica.

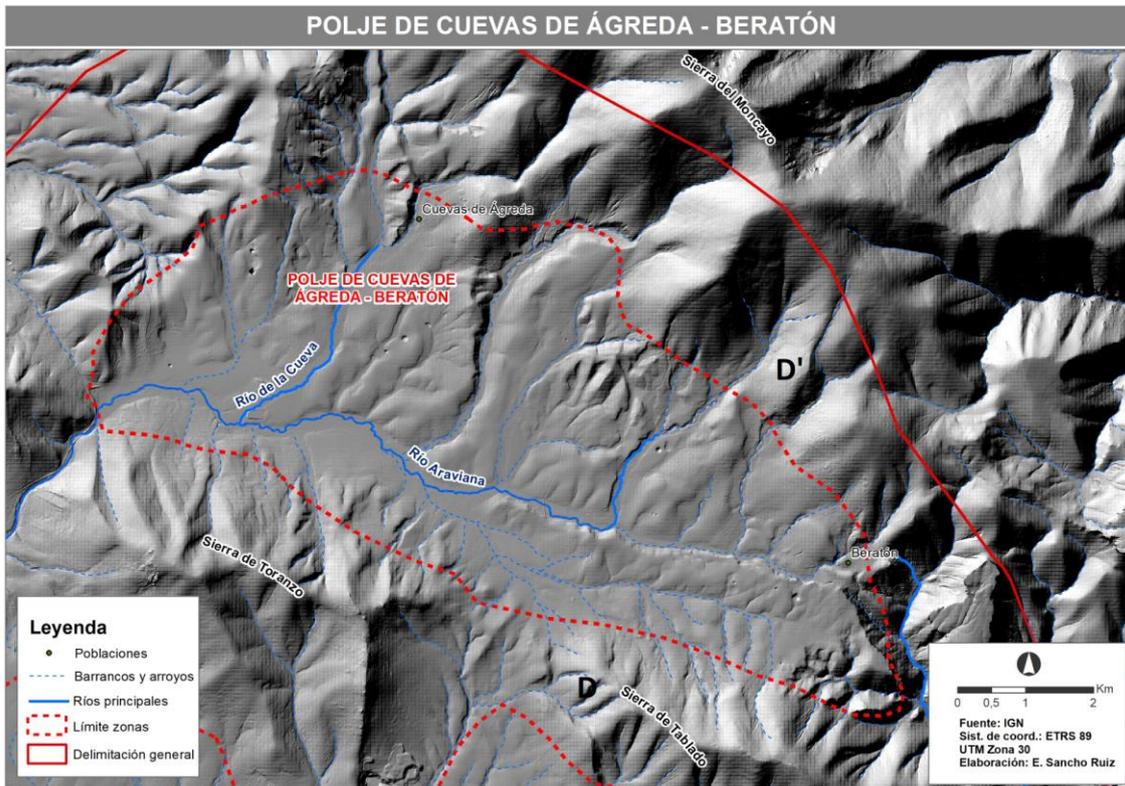


Figura 30. Detalle del polje de Cuevas de Ágreda - Beratón, sobre modelo digital del terreno. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

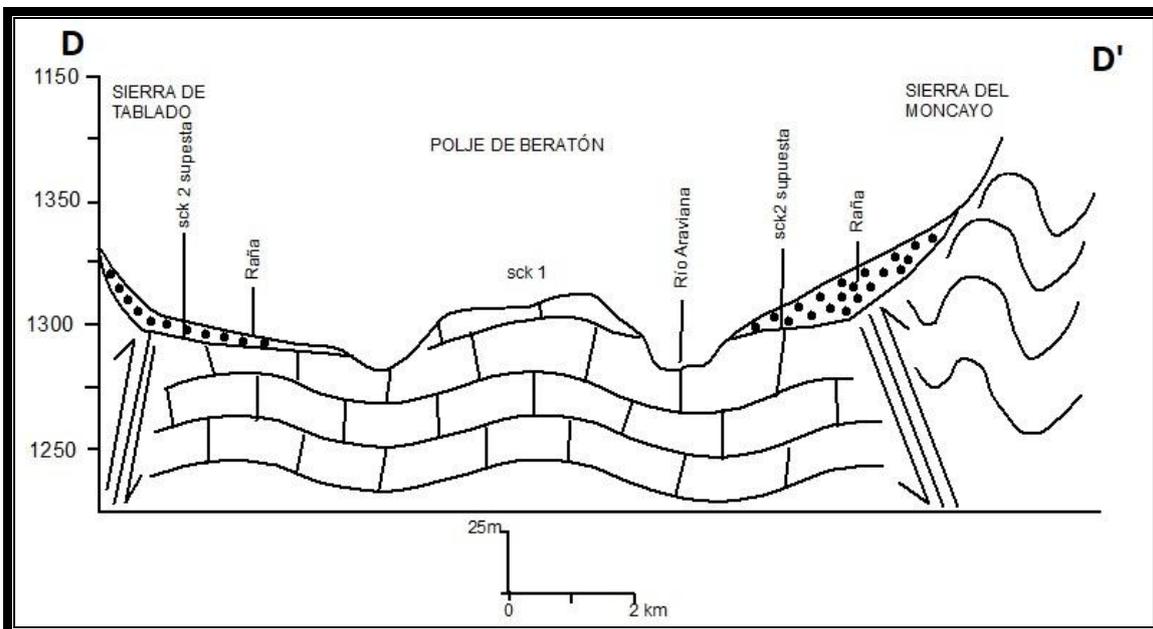


Figura 31. Corte transversal del polje de Cuevas de Ágreda-Beratón. Elaboración: E. Sancho Ruiz.

El modelado del polje es esta zona aprovecha un dispositivo tectónico por el que se definen bloques levantados y hundidos. Los horst son la sierra del Moncayo al norte, y las sierras del Toranzo y de Tablado al Sur, con una litología silíceo, mesozoica en el caso de la primera y paleozoica en las segundas. Por otro lado, el bloque hundido está formado por calizas jurásicas, sobre las que se ha desarrollado el modelado kárstico.

En este polje se ha identificado una superficie de criptocorrosión kárstica, considerándose el **nivel 1**, ubicado en el centro del polje y con evidentes signos de corrosión y otras formas de disolución, como dolinas.

Las dolinas se encuentran en muy diversas fases de evolución, presentándose algunas claramente visibles, y otras ya rellenas de arcillas, empleándose (en el pasado la mayoría y algunas en la actualidad) como campos de cultivo.



Figura 32. Superficie de criptocorrosión kárstica en el polje de Cuevas de Ágreda-Beratón. Elaboración: E. Sancho Ruiz, 10-10-2019.

Los otros niveles que se han identificado en este polje son los **niveles 2 y 3** de acumulaciones de arcillas, los cuales se encuentran principalmente en el sector occidental del polje.

Como se observa en el corte transversal, se plantea la posibilidad de que a ambos lados de la superficie de criptocorrosión kárstica se hayan desarrollado otras superficies de aplanamiento (anteriores o posteriores), las cuales hayan podido ser cubiertas por los materiales detríticos pló-pleistocenos de tipo raña, procedentes de las sierras silíceas que delimitan el polje. El hecho de que se proponga que estos materiales silíceos cubren en realidad un sustrato calcáreo se debe, por un lado, a la existencia de afloramientos de calizas jurásicas, tal y como se observa en la cartografía geológica (IGME, 1973) y, por otro lado, a la existencia de dolinas a lo largo de la mayoría de estos depósitos detríticos.

Resulta importante destacar, como aspecto de gran relevancia para la formación del relieve actual en el polje de Cuevas de Ágreda-Beratón, la distensión tardía alpina en fase iberomanchega (denominación tomada de la distensión pló-pleistocena en el sector oeste de la península), la cual ha tenido un papel importante en esta zona,

conllevando el encajamiento del Araviana y de los barrancos que se desarrollan sobre los coluviones y rañas. Es por ello que en este caso no se define un nivel 4 de fondo de polje, como sí ocurre en el caso de Noviercas, ya que se ha considerado que son los procesos fluviales los que desarrollan un papel más relevante.

En lo referente al **drenaje**, este se produce de forma superficial mediante el río Araviana, pero en esta zona destaca de forma importante el drenaje kárstico, formando parte del acuífero del manantial de Vozmediano (920m), el cual alimenta las aguas del río Queiles (Sanz Pérez, 1986).

6. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo realizado, con la interpretación del relieve de la zona mediante los recursos descritos en la metodología, se confirma la hipótesis inicial, según la cual los afloramientos calizos y la tectónica de fallas alpinas desarrollan un papel determinante en el modelado del relieve en el sector suroccidental de la Sierra del Moncayo, con presencia de formas kárstica de tipo polje.

Como primer objetivo para la elaboración de este trabajo se había establecido el desarrollo de una **cartografía geomorfológica** variada del modelado kárstico a escala 1:50.000 del área de estudio, lo cual se ha llevado a cabo mediante el análisis de Modelos Digitales del Terreno, ortofotografías y los mapas geológicos del IGME, habiendo resultado imprescindible también el trabajo de campo.

El segundo objetivo establecía la **caracterización de las formas kársticas superficiales**, con una propuesta de delimitación de los poljes y de las características morfológicas y evolutivas. Así, el área de estudio, además de considerarse un conjunto con características comunes en cuanto a la relevancia del modelado kárstico y estructural, se ha dividido en los cuatro sectores, en función de sus características morfológicas y evolutivas: el sistema de poljes de Noviercas, el polje de Beratón, la zona de karst aluvial de Borobia y la fosa de Borobia. Ello teniendo en cuenta la posible continuidad entre sectores como por ejemplo entre el polje de Noviercas y la zona de karst aluvial de Borobia. A su vez, se considera que sería también necesario el estudio de una zona más amplia, para comprobar si existe continuidad morfológica y evolutiva más allá del área de estudio.

Se ha estudiado el escalonamiento que presenta el sistema de poljes, con cuatro niveles diferenciados de superficies de aplanamiento: el primero corresponde con superficies de criptocorrosión kárstica, el segundo con superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas, el tercer nivel con acumulaciones de arcillas, y un cuarto nivel que corresponde con el fondo actual de los poljes. Estas superficies se encuentran en distinto grado de conservación en las distintas zonas:

En cuanto al **nivel 1**, sus superficies de criptocorrosión kárstica, las más antiguas encontradas en el área de estudio, se localizan en el sistema de poljes de Noviercas, en el centro del polje de Beratón y cubiertas por la raña en la zona de karst aluvial de Borobia. El **nivel 2** correspondería con el nivel sobre el que se ubican los glacis procedentes de la sierra del Toranzo, más allá de las rañas, así como en el polje de Noviercas, con superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas. Las acumulaciones de arcillas de este nivel se han establecido también en el polje de Beratón. El **nivel 3** se encuentra en las acumulaciones de arcillas del polje de Noviercas y en el de Beratón, y por último, el **nivel 4** está presente en el polje de Noviercas, siendo el fondo más reciente del polje; este nivel no se encuentra en Beratón debido a la importancia de los procesos fluviales en este sector.

Por lo tanto, cabe concluir, en relación con el análisis geomorfológico de los poljes, que la evolución del área de estudio desde las distensiones tardialpinas de edad plio-pleistocena, pasa por las siguientes fases:

1.- Apertura de fosas intraibéricas plio-pleistocenas, como la de Ágreda, o rejuego de fallas en los márgenes de los macizos que han funcionado como horst: Moncayo, Toranzo, tablado en litologías silíceas, Aleza, La Pica y Madero en litologías calcáreas.

2.- Esta actividad en litologías calcáreas ha ido ligada al modelado de poljes a lo largo del Cuaternario, con superficies de criptocorrosión y acumulaciones de arcillas de descalcificación en diversas etapas (hasta 4). Estas alternancias entre encajamiento del fondo del polje y disolución responden a alternancias entre períodos con diferente grado de humedad. Siguiendo este criterio todos los poljes tendrían que presentar el mismo número de superficies de aplanamiento y acumulación de arcillas. No obstante, el desigual número niveles se basa en una diferente actividad neotectónica, más marcada, sin duda, en el entono de Cuevas de Ágreda-Beratón y Borobia que en el resto del área de estudio.

3.- El modelado fluvial cuaternario se deja influir por el grado de actividad tectónica, de forma que la capacidad morfogenética del alto Araviana en el polje de Cuevas de Ágreda-Beratón es más intensa que en el caso del polje de Noviercas, donde el río Rituerto apenas se encaja en el fondo del polje actual.

En el tercer objetivo se establecía el **desarrollo de materiales para la divulgación del estudio realizado**, buscando promover el conocimiento del territorio y concretamente de los poljes y el modelado kárstico entre la población visitante y residente. De este modo, se han creado una serie de recursos que podrían ser empleados para ello, tanto los paneles como la ruta temática geomorfológica.

En cuanto a los objetivos secundarios del trabajo, la **evolución espacio-temporal del sistema de poljes** se ha analizado en el desglose realizado para la explicación de cada uno de los sectores delimitados en el área de estudio.

La **relación entre la vegetación y el relieve** en las diversas formas que conforman los poljes se ha estudiado brevemente, y cabe remarcar el interés que supondría en otro estudio comentar más en profundidad esta relación, combinando cartografías geomorfológicas y de vegetación, como se indica en el apartado dedicado a futuras líneas de investigación.

Por último, otro de los objetivos en la realización de este trabajo era el **empleo de los Sistemas de Información Geográfica y el trabajo de campo** como herramientas para el análisis de las formas del relieve de la zona de estudio, objetivo que se ha cumplido, tal y como se desarrolla en la metodología empleada.

7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como continuación del trabajo realizado, en primer lugar sería interesante realizar una cartografía de la evolución del sistema de poljes, y profundizar en la relación existente entre la geomorfología y la vegetación, empleando para ello las cartografías de vegetación tanto real como potencial. Otro aspecto posible sería el estudio de la relación entre las distintas formas del relieve y la fauna.

En lo referente al drenaje, y partiendo de la existencia ya de un estudio sobre el drenaje en el polje de Beratón, cuyas aguas alimentan el acuífero del manantial de Vozmediano (Sanz, 1986), una posible línea de trabajo sería el análisis del drenaje del sistema de poljes de Noviercas.

También resultaría interesante analizar si existe una continuidad morfológica y evolutiva con las zonas próximas al área delimitada en este trabajo, así como estudiar la relación existente con otros poljes de la ibérica y con las etapas de distintas condiciones climáticas, que han conllevado el escalonamiento en los poljes. Para ello, se podría realizar una datación de los distintos niveles definidos, tanto superficies de criptocorrosión kárstica como acumulaciones de arcillas.

Por último, en cuanto a las posibilidades de divulgación, podría emplearse el panel realizado como un recurso para la zona, en el pueblo de Noviercas o bien en el centro de interpretación del Moncayo en Cuevas de Ágrede. Resultaría interesante plantear también paneles interpretativos para cada sector, que podrían ubicarse en los principales pueblos. Además, todo ello podría acompañarse con la realización de una ruta de temática geomorfológica, que permitiera visitar los diversos modelados kársticos existentes en la zona.

8. BIBLIOGRAFÍA

Del Valle, J., San Roman, J.(1994). *Gradiente pluviométrico en el macizo del Moncayo (Provincias de Zaragoza y Soria)*. Geographicalia, 31: 71-81.

Ford, D., Williams. P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, Inglaterra.

Echeverría, M.T. (1989). La depresión kárstica de Cañada Hermosa. Rasgos geomorfológicos (Cordillera Ibérica central, Soria). *Actas de la II Reunión del Cuaternario Ibérico*, vol. I: 81-86. Madrid.

Galán, C. (1991). *Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado*. MUNIBE (Ciencias Naturales-NaturZientziak), 43: 43-72. San Sebastián.

García Prieto, F.J., Gutiérrez Santolalla, F., Gutiérrez, M. (2002). Origin and evolution of the Gallocanta polje (Iberian Range, NE Spain). *Z.Geomorph. N.F.*, 46 (2): 245-262. Berlin-Stuttgart.

Gutiérrez Elorza, M. (2008) *Geomorfología*. Pearson Educación, Madrid.

Gutiérrez Elorza, M., Peña Monné, J.L., Simón Gómez, J.L. (1983). *Los poljes de la región de Torrijas-Abejuela (provincias de Teruel, Castellón y Valencia)*.

Gutiérrez Elorza, M., Valverde, M. (1994). *El sistema de poljes del río Guadazaón (Cordillera Ibérica, Prov. De Cuenca)*. Cuaternario y Geomorfología, 8 (1-2): 87-95. Madrid.

Gutiérrez Santolalla, F., García Prieto, F.J. (1999). *Geomorfología kárstica de las cuencas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel)*. Teruel, 87(1): 39-68.

Hugget, R.J. (2003). *Fundamentals of geomorphology (Routledge fundamentals of physical geography)*. London, Routledge. And New York, Routledge.

IGME, 1973: hoja 351, escala 1:50000. Hoja y memoria.

IGME, 1991: hoja 350, escala 1:50.000. Hoja y memoria.

IGME, 1980: hoja 352, escala 1:50.000. Hoja y memoria.

IGME, 1991: hoja 380, escala 1:50.000. Hoja y memoria.

Lozano, M.V. (1988). Los poljes del sector de Mosqueruela (serranía de Gúdar-Maestrazgo, provincia de Teruel). *Cuaternario y Geomorfología*, 2, 115-124, Teruel

Jennings, J.N. (1971) *Karst (An introduction to Systematic Geomorphology, Vol. 7)*. Cambridge, Mass. And London: MIT Press.

Pardo-Iguzquiza, E., Durán, J.J., Luque-Espinar, J.A., Martos-Rosillo, S. (2014). *Análisis del relieve kárstico mediante el modelo digital de elevaciones. Aplicación a la*

Sierra de las Nieves (provincia de Málaga). Boletín Geológico y Minero, 125 (3): 381-389.

Pardo-Iguzquiza, E., Durán, J.J., Luque-Espinar, J.A., Robledo-Ardila, P.A. (2016). *Estimación del criterio geomorfológico para la evaluación de la geodiversidad en un terreno kárstico: la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga)*. Actas de Geomorfología, XIV Reunión Nacional de Geomorfología. Málaga.

Peña Monné, J.L. (Ed.) (1997). *Cartografía geomorfológica: básica y aplicada*. Geofoma Ediciones, Logroño.

Peña Monné, J.L., de Dapper, M., Constante, A., de Vliegheer, B., Pavlopoulos, K. (2008). *El sistema de poljes de la región de Dystos-Almyropotamos (Isla de Eubea, Grecia)*: Cartografía y evolución geomorfológica. Geographicalia, 53: 143-161.

Peña Monné, J.L., Pellicer Corellano, F., Chueca Cía, J., Julián Andrés, A. (). *Leyenda para mapas geomorfológicos a escalas 1:100.000/1:200.000 y 1:25.000/1:50.000*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

Peña Monné, J.L., Pellicer Corellano, F., Julián Andrés, A., Chueca Cía, J., Echeverría Arnedo, M.T., Lozano Tena, M.T., Sánchez Fabre, M. (2002). *Mapa geomorfológico de Aragón*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.

Peña Monné, J.L., Sánchez Fabre, M., Lozano Tena, M.V. (Coord.)(2010). *Las formas del relieve de la Sierra de Albarracín*. Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín. Teruel.

Peña Monné, J.L., Jiménez Martínez, A., Echeverría Arnedo, M.T. (1989). Geomorphological cartography and evolutionary aspects of the Albarracín Sierra poljes (Eastern Iberian Ranges, Teruel, Spain). *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 12, 51-57. Torino

Pellicer, F. (1984). Geomorfología de las Cadenas Ibéricas entre el Jalón y el Moncayo. Cuadernos de Estudios Borjanos, vol. 1(XI-XII). 390 p.; vol. 2 (XIII-XIV), 16 mapas.

Salazar, A., Mata, M.P., Valero Garcés, B., Rico, M., Moreno, A., Rubio, F.M., Ibarra, P. (2016). *El semipolje de La Estiva (Valle de Pineta, Pirineo oscense): origen, morfoestructura y procesos recientes en una depresión kárstica compleja*. Actas de geomorfología kárstica, XIV Reunión Nacional de Geomorfología, Málaga.

Sanz Pérez, E. (1986). *El karst del sur y oeste del Moncayo*. Boletín Geológico y Minero. T. XCVII-II: 194-213.

Sweeting, M. (1972). *Karstic landforms*. Macmillan, 362 p., Londres.

9. ANEXOS

ANEXO 1: IMÁGENES DEL SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS

Límite entre superficies de criptocorrosión kárstica y acumulaciones de arcillas en el polje de Noviercas, 10-10-2019:



Polje de Noviercas visto desde Villamediana, 10-10-2019:



Glacis del polje de Pozalmuro, 10-10-2019:



Barranco en el nivel 1 de superficie de criptocorrosión kárstica, entre el polje de Pozalmuro y central de Noviercas, 10-10-2019:



ANEXO 2: IMÁGENES DEL KARST ALUVIAL DE BOROBIA

Raña al suroeste de Borobia, 10-10-2019:



Karst aluvial (dolina de subsidencia), 10-10-2019:



Karst aluvial (dolina de subsidencia) con aguas permanentes, 10-10-2019:



ANEXO 3: IMÁGENES DEL POLJE DE BERATÓN

Dolina en el polje de Beratón, junto a uvala, 10-10-2019:



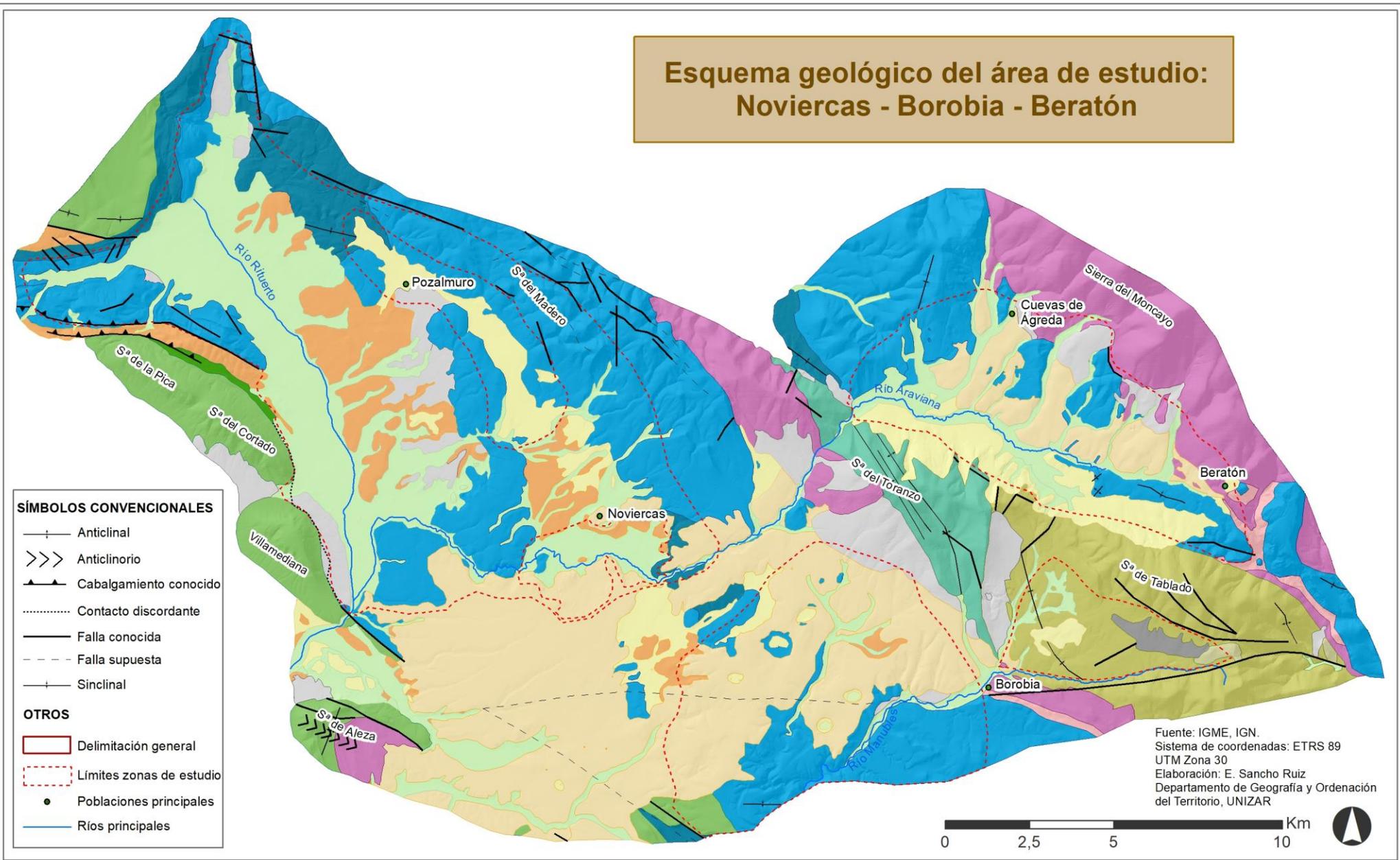
Nivel 1 de superficie de criptocorrosión kárstica en el polje de Beratón, 10-10-2019:

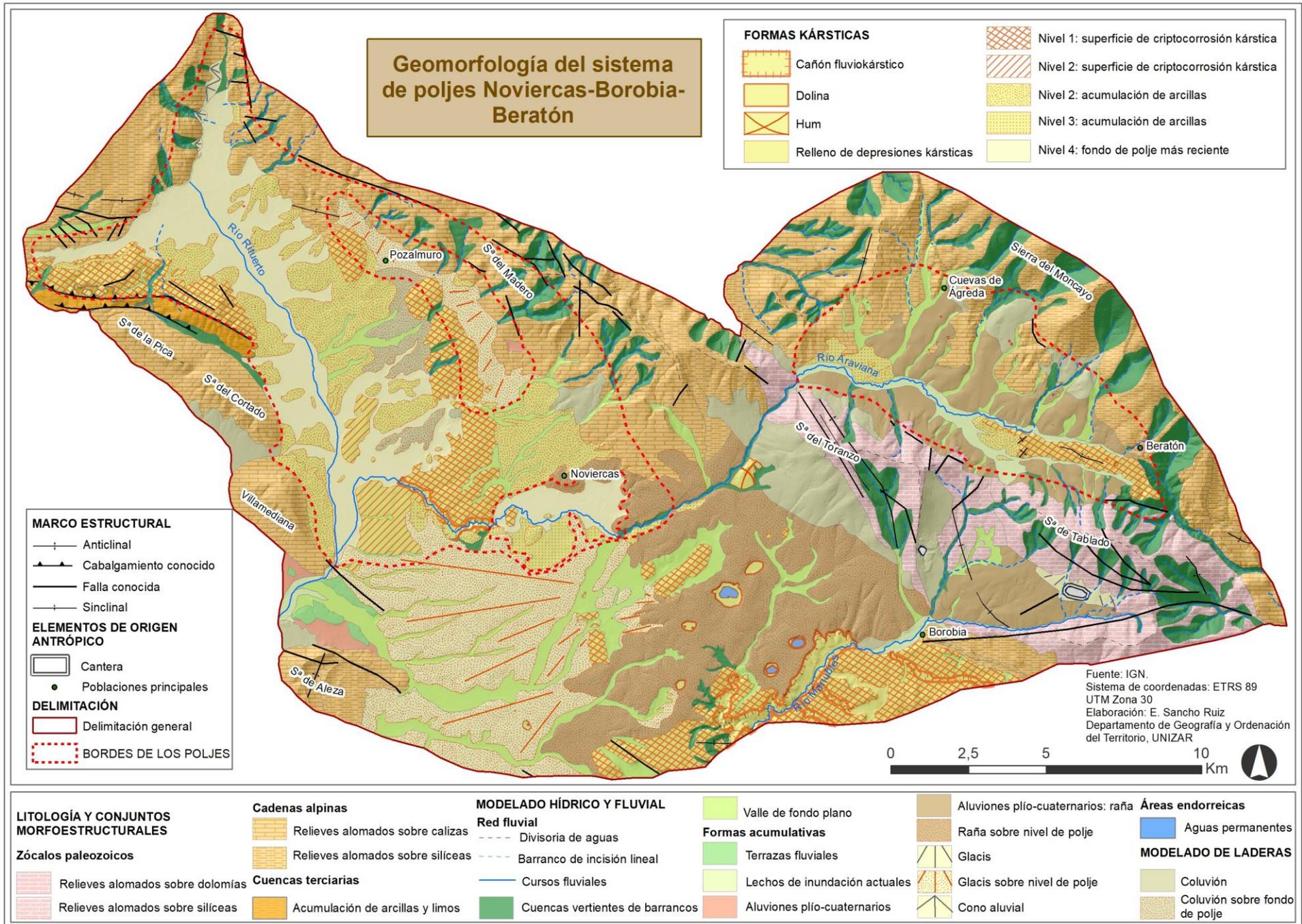


ANEXO 4: IMÁGENES DE LA FOSA DE BOROBIA

Fosa de Borobia, 10-10-2019:



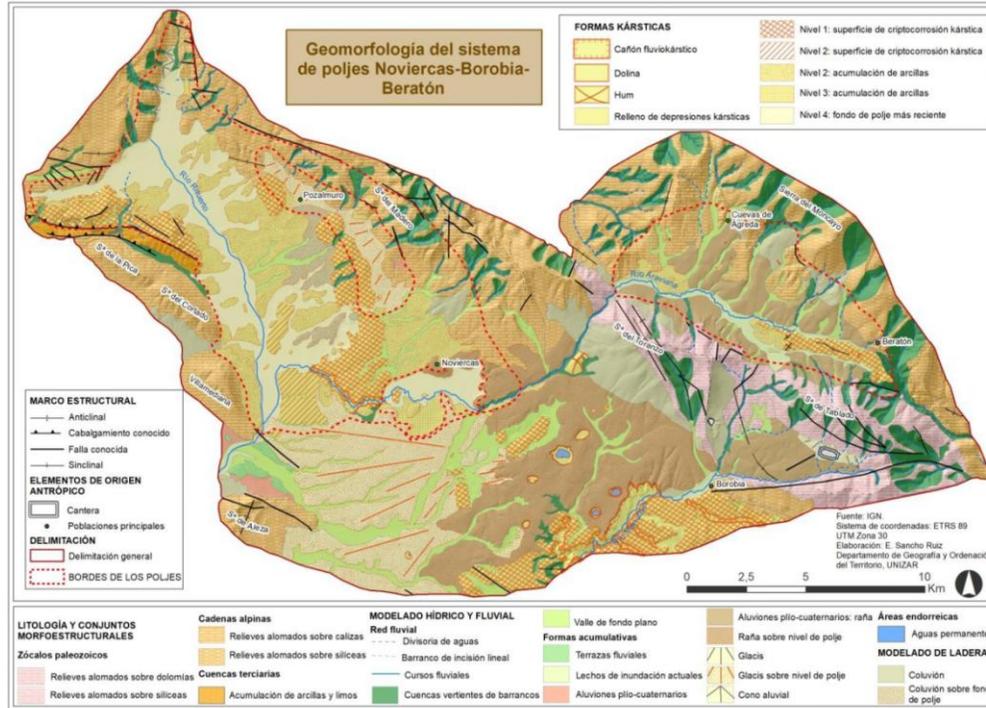




ANEXO 7: POSTER DEL SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS, BOROBIA Y CUEVAS DE ÁGREDA-BERATÓN

Trabajo de Fin de Grado: El sistema de poljes de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón
 Autora: Esperanza Sancho Ruiz
 Tutora: María Teresa Echeverría Arnedo

EL SISTEMA DE POLJES DE NOVIERCAS, BOROBIA Y CUEVAS DE ÁGREDA-BERATÓN



El karst y los poljes

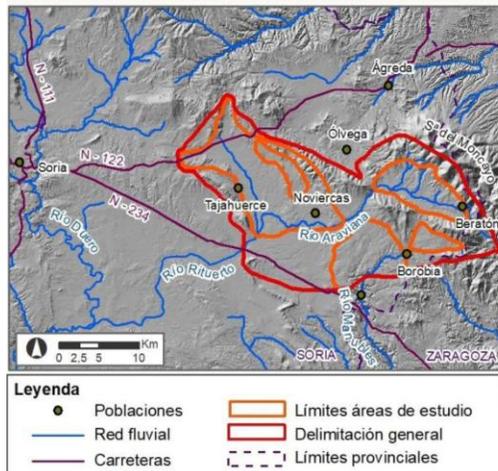
El **karst** es un tipo de relieve en el cual las rocas solubles son disueltas en la superficie e interior del sustrato, por la acción del agua. De esta manera, se genera toda una gama de formas.

El término **polje** se refiere a una "gran depresión cerrada de más de 400m de amplitud con fondo plano, rocoso y a veces aterrazado, o cubierto por acumulaciones arcillosas, y un borde abrupto y un sistema de drenaje kárstico.

Se trata de una de las morfologías kársticas de papel más destacado en el ámbito mediterráneo, con especial presencia en los Balcanes, Grecia, sur de Francia y en las cordilleras Bética e Ibérica, contando en cada uno de estos lugares con distintos nombres regionales. El origen del término polje es eslavo y significa *campo que puede ser cultivado*, y en la Cordillera Ibérica castellano-aragonesa se les conoce habitualmente como *navas*.



El karst y los poljes



Formación y evolución de los poljes

La disolución o corrosión de las calizas es una reacción química por la que el dióxido de carbono, CO₂, disuelto en el agua, produce ácido carbónico disolviendo los carbonatos de la roca caliza.

En la mayoría de los casos, las calizas contienen también arcillas, que son insolubles y quedan acumuladas como **arcillas de descalcificación**, cubriendo las superficies aplanadas del fondo del polje; bajo esta cubierta continuarían los procesos de disolución. Con la profundización del fondo del polje, van quedando en resalte las antiguas **superficies de criptocorrosión kárstica (SCK)**.

El polje continúa su evolución en relación con alternancias climáticas, y puede llegar a ser capturado por la red fluvial, teniendo a partir de entonces un funcionamiento mixto (fluvio-kárstico) o simplemente fluvial.

