

# Condicionantes genéticos de las formas kársticas de El Torcal de Antequera (Cordillera Bética)

*Determining factors in the genesis of karstic forms in El Torcal de Antequera (Betic Cordillera)*

Francisco Moral Martos

Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad Pablo de Olavide. Carretera de Utrera, km 1. 41013 Sevilla. fmormar@upo.es

## ABSTRACT

*The stunning landscape of El Torcal de Antequera has produced a number of descriptive works; nevertheless, few of them present a genetic approach and, in this case, propose an essential role of differential physical weathering processes, such as gelifraction or aeolian erosion, in the origin of the characteristic banding. In this paper, it is stated the prevalence of karstic processes occurred in the tiny soils, formed in stratum surface joints, in the genesis of the differential weathering forms. On the other hand, various lithologic, structural and topographic criteria allow to distinguish between: a) carbonate plateau dolines which are very abundant in summit area, in a context similar to other betic mountains; and b) hillside dolines, related to the Quaternary deposits of cemented limestone breccias at the foot of the highest cliffs, whose origin could be associated to distensive neotectonic.*

**Key words:** Karst, Geomorphology, edaphic factors, Neotectonics.

Geogaceta, 48 (2010), 23-26  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010  
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010  
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

## Introducción

El Torcal de Antequera y su prolongación occidental, la Sierra de Chimenea, constituyen un macizo calizo alineado en dirección E-O a lo largo de unos 12 km y que alcanza una altitud máxima de 1378 m s.n.m. La zona de cumbres corresponde a una altiplanicie intensamente fracturada y karstificada, lo que ha originado un relieve escalonado y con una topografía de detalle extraordinariamente abrupta (pendientes medias próximas al 30%). Las vertientes septentrional y meridional son dos líneas de escarpe con desniveles próximos a los 500 metros y pendientes medias superiores al 60%, en cuya base se acumulan potentes depósitos de sedimentos de ladera.

El macizo de El Torcal se sitúa en el extremo oriental del dominio Penibético (Fig. 1) y se caracteriza por el predominio de afloramientos de calizas jurásicas; las más antiguas son oolíticas y de aspecto masivo, y las más modernas son oolíticas, nodulosas o brechoides y se presentan bien estratificadas, en tablas o bancos. La estructura corresponde a un pliegue de dirección NE-SO, con estratos subhorizontales en el flanco noroccidental (zona de cumbres) y estratos subverticales en el flanco suroriental (vertiente meridional). Las calizas están

intensamente falladas, especialmente por dos sistemas conjugados cuyas direcciones son N40-60°E y N110-120°E (Burillo, 1998).

La espectacular morfología de El Torcal de Antequera ha sido la causa, desde épocas relativamente remotas, de la realización de diversos estudios, la mayoría principalmente descriptivos. Sobre el origen de una de las formas más características, el tableado resultante de la alternancia de entrantes y salientes, Pezzi (1977 y 1979), concluye que podría deberse a la erosión diferencial producida por la acción conjunta de la gelifracción, muy intensa durante los periodos glaciares del Cuaternario, y la disolución química.

## Condicionantes litológicos y estructurales de las formas kársticas

Existen numerosas evidencias de que la fracturación y la litología condicionan el desarrollo de las formas exokársticas de El Torcal de Antequera: lapiaces, dolinas, corredores kársticos, alternancia rítmica de resaltes y entrantes, piedras caballerías y caos de bloques (Pezzi, 1977; Burillo, 1998).

La mayor parte de las formas kársticas se desarrolla en el altiplano superior del macizo (Fig. 2), constituido por extensos afloramientos de calizas

subhorizontales intensamente fracturadas y falladas. Los lapiaces más desarrollados se observan sobre las calizas oolíticas; se trata de un lapiaz de crestas agudas o, si se ha formado bajo suelo, de crestas romas. En las calizas nodulosas, se observa un lapiaz de regueros poco profundo (1-2 cm) en paredes rocosas, y un lapiaz en losas y algunas pozas o kamenitzas en superficies planas. Quizá la forma más llamativa de El Torcal sea la alternancia rítmica de resaltes y entalladuras originada por meteorización diferencial de los estratos calizos.

Los corredores kársticos de El Torcal Alto se alinean según la red de fracturas, poseen anchuras variables, desde pocos centímetros hasta varios metros, y profundidades de hasta 60 metros y presentan una acumulación relativamente importante de material arcilloso en el fondo, lo que facilita el desarrollo del suelo y de la vegetación.

Las dolinas muestran una notable diversidad en cuanto a morfología y grado de evolución (Tabla 1 y Fig. 2). Son especialmente abundantes en El Torcal Alto (densidades superiores a 30 dolinas/km<sup>2</sup>), donde predominan las dolinas de pequeñas dimensiones, por lo común con un área inferior a 0,4 ha, y es evidente el control estructural en su génesis y desarrollo, puesto que

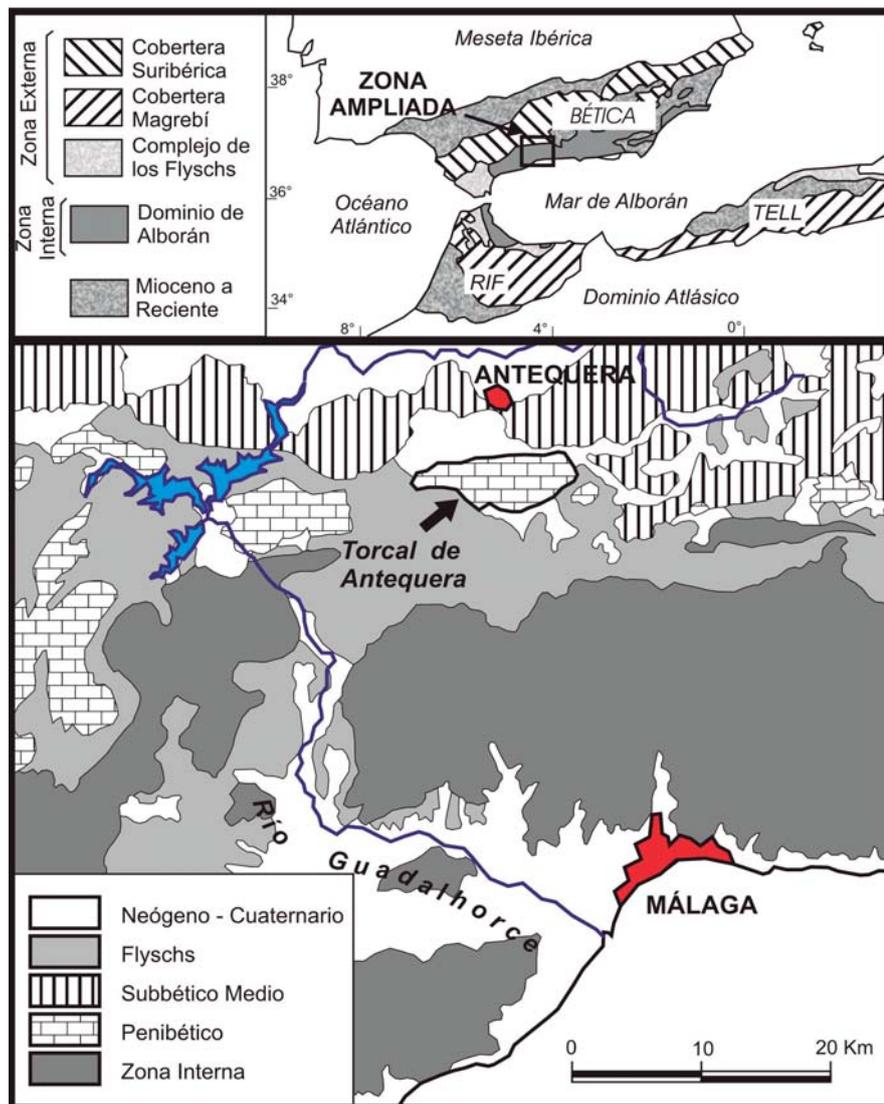


Fig. 1.- Localización geológica de El Torcal de Antequera (modificado de Martín-Algarra, 1987).

Fig. 1.- Geological context of El Torcal de Antequera (modified from Martín-Algarra, 1987).

niveles de calizas noduloso-brechoides, de porosidad relativamente alta (0,61%) y carácter margoso (75,3% de carbonatos y 24,7% de material insoluble), mientras que los resaltes corresponden a calizas nodulosas, muy puras (87,2% de carbonatos y 12,8% de material insoluble) y poco porosas (0,3%). Pezzi afirma que cabría esperar que los niveles más margosos fuesen menos solubles, pero su mayor porosidad y capacidad de retener agua los haría más sensibles a la gelifracción. No obstante, los gelifractos originados durante los periodos fríos del Cuaternario se habrían disuelto con posterioridad, lo que explicaría que no estén presentes actualmente en la superficie de El Torcal. Burillo (1998) considera que esta hipótesis debe de ser revisada puesto que en otras partes, como la Sierra de Utrera, junto a Manilva (Málaga), se observan morfologías similares a una altitud de 300 metros, donde difícilmente se puede concebir la existencia de fenómenos periglaciares cuaternarios. Burillo concluye que la denudación diferencial responde a un fenómeno complejo en el que han podido intervenir de forma combinada procesos como la gelifracción, la erosión eólica e incluso la disolución.

Durante la realización de este trabajo se ha observado que las entalladuras se desarrollan de forma sistemática a favor de juntas subhorizontales formadas en los planos de estratificación que, en efecto, parecen corresponder con los niveles más margosos. Por otra parte, la presencia de estas juntas en las paredes rocosas favorece la colonización por especies vegetales de pequeño porte (Fig. 3A), probablemente porque la propia junta y el mayor contenido en arcillas en las superficies de estratificación implican una mayor disponibilidad de agua. En definitiva, en estos niveles se dan las condiciones mínimas para la formación de un microsuelo (Fig. 3B) en el que, al menos en primavera, existen un contenido en agua y una presión parcial de CO<sub>2</sub> suficientemente altas para producir un efecto de disolución diferencial en la pared rocosa (Fig. 4). La alternancia de niveles con desarrollo de esta fina cubierta edáfica y de niveles de roca

suelen alinearse según dos sistemas de fracturación de dirección N40-70°E y N80-120°E. En dirección noreste, hacia Sierra Pelada, se observa una menor densidad (menos de 10 dolinas/km<sup>2</sup>) y morfologías más evolucionadas, de mayores dimensiones (0,3 a 0,7 ha) y con vertientes de suaves pendientes.

Menos abundantes y espectaculares, pero muy singulares por el contexto en el que se localizan, son las dolinas de ladera existentes en las vertientes septentrional y meridional del macizo de El Torcal. Se trata de dolinas de grandes dimensiones (0,5 a 2 ha) que se desarrollan sobre las brechas cementadas que constituyen los canchales depositados al pie de los mayores escarpes (Fig. 2).

**Procesos edáficos y karstificación**

La meteorización diferencial, causante del tableado, ha sido relacionada con la alternancia de estratos de distinta composición y textura. Así, Pezzi (1977) observó que las entalladuras se desarrollan en los

Sector	nº dolinas	Densidad (dolinas/km <sup>2</sup> )	Altitud (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Eje mayor (m)	Eje menor (m)	Orientación preferente
Cerro Aguila	3	-	916	8217	80.9	31.6	
Ladera sur	7	-	838	11036	86.9	37.4	
Ladera norte	32	-	728	6233	57.5	30.9	N80-90E
Los Navazos	1	-	963	241125	405.6	189.2	N110-120E
Sierra Pelada	25	6.8	1019	4810	50.7	23.2	N70-80E
Torcal Bajo	30	10.9	1082	3043	39.9	20.3	N60-80E
Torcal Alto	210	32.7	1180	1655	30.1	16.4	N40-70E y N80-120E
Camorro Alto	7	-	1229	1504	23.8	17.7	

Tabla I.- Características morfométricas medias de las dolinas del macizo de El Torcal.

Table I.- Average morphometric parameters of El Torcal dolines.

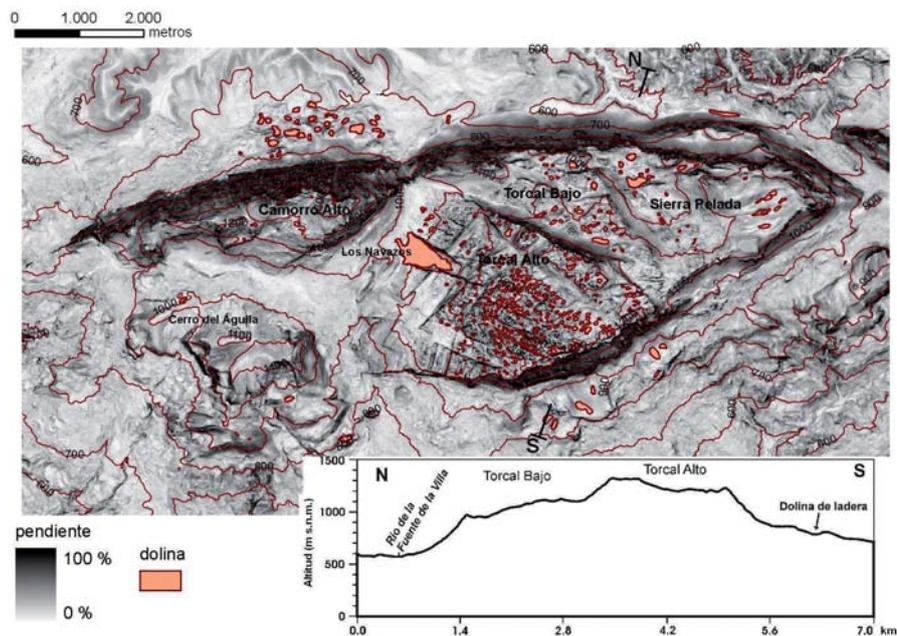


Fig. 2.- Cartografía geomorfológica y perfil topográfico de El Torcal de Antequera.

Fig. 2.- Geomorphological mapping and topographic profile of El Torcal de Antequera.

te más intensos, hasta el punto de llegar a formar corredores de varios metros de anchura y decenas de metros de profundidad.

**Procesos neotectónicos y génesis de las dolinas de ladera**

En algunos sectores del piedemonte del macizo de El Torcal, en particular, en la base de los escarpes más altos y abruptos (ladera septentrional del Camorro Alto y ladera meridional de El Torcal Alto) existen sendos grupos de dolinas que rompen la regularidad de las pendientes de las laderas de la

desnuda explicaría el desarrollo del tableado y que, como indica Pezzi (1977), en cortes frescos, en lugares que estuvieron bajo suelo, o en las simas y cavernas no se haya formado esta morfología.

Un proceso similar, aunque a distinta escala, sería el responsable de la formación de otras formas kársticas típicas de El Torcal, como los corredores y las dolinas. Determinadas fracturas, particularmente las de plano vertical y carácter distensivo, captan el flujo de las aguas de escorrentía y favorecen la acumulación de los sólidos en suspensión (material insoluble contenido en las calizas o aportes eólicos) que arrastran las aguas. Como en el caso anterior, las características texturales de estos depósitos y la mayor disponibilidad de agua y nutrientes facilitan el desarrollo de la vegetación y del suelo y, en consecuencia, una elevada presión parcial de CO<sub>2</sub> que, finalmente, produce una intensificación de los procesos kársticos. En este caso, la disposición geométrica de las discontinuidades hace posible que puedan concentrar un flujo hídrico mucho más cuantioso que en las paredes rocosas y, en consecuencia que se pueda producir una acumulación de material arcilloso mucho más importante y, por tanto, que los procesos kársticos puedan ser considerablemen-



Fig. 3.- A) Meteorización kárstica diferencial. En los entrantes se observa el desarrollo de vegetación de tipo herbáceo. B) Detalle del microsuelo desarrollado a favor de las juntas de superficie de estratificación.

Fig. 3.- A) Karstic differential weathering. Herbaceous vegetation grows in stratum surface cavities. B) Detail of tiny soil developed in a stratum surface joint.

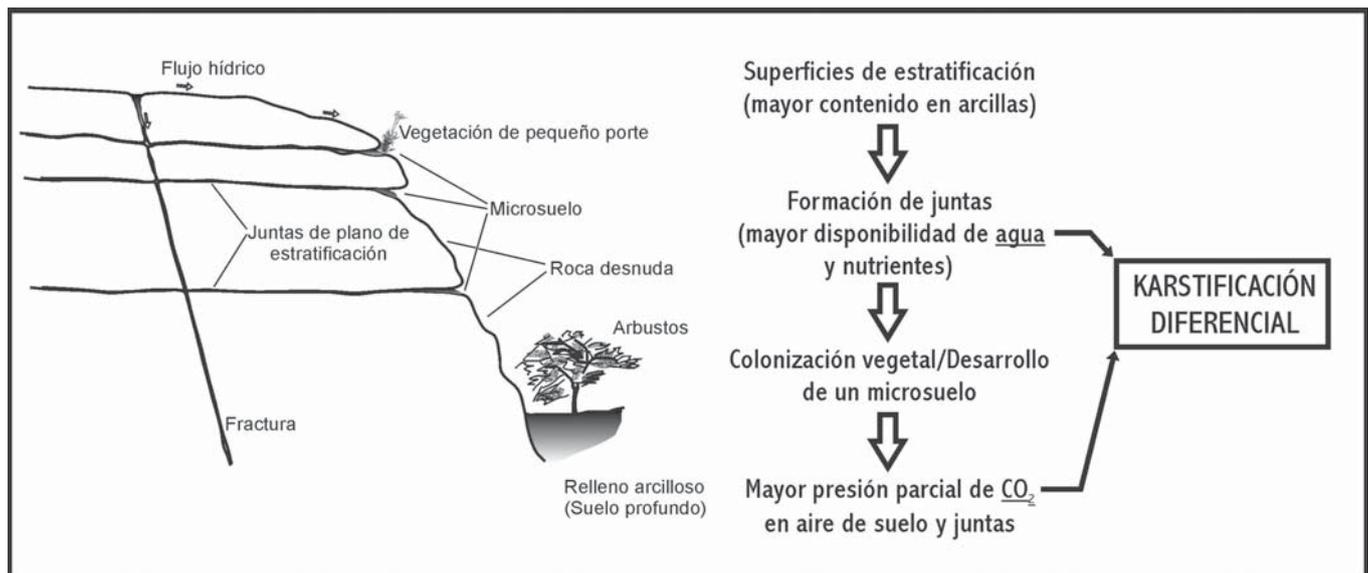


Fig. 4.- Esquema propuesto del proceso de karstificación diferencial responsable del tableado (entrantes y salientes) característico de El Torcal de Antequera.

Fig. 4.- Proposed model for differential weathering process that originates the characteristic rhythmic morphology of El Torcal.

periferia del macizo, constituidas mayoritariamente por canchales de bloques y cantos angulosos de calizas.

Estos depósitos cuaternarios, de origen periglacial, han sido afectados por procesos neotectónicos que han modificado su disposición original. Así, se pueden observar buzamientos de estos materiales en sentido contrario al que cabría esperar, es decir, a contrapendiente (Peyre, 1974). Incluso, en la vertiente suroriental existen grietas muy recientes, de varias decenas de metros de longitud y una apertura aproximada de un metro, que afectan a dichos depósitos.

La ubicación de las dolinas de ladera y otros rasgos geomorfológicos, como la orientación de la red fluvial paralela a la línea de escarpes, en la parte septentrional del macizo, permiten relacionar la génesis de estas formas con los dos grandes sistemas de fracturas que limitan por el norte y por el sur a El Torcal de Antequera. Es posible que el incremento del gradiente topográfico ocasionado por el movimiento diferencial de los bloques haya desencadenado deslizamientos que dificultan la interpretación tectónica. En cualquier caso, movimientos de carácter distensivo podrían haber originado pequeñas depresiones topográficas en los canchales, lo que favorecería la concentración de las aguas de escorrentía y la acumulación de materiales con buena aptitud para la colonización vegetal y el desarrollo de suelos. Como las brechas cali-

zas que constituyen los canchales son permeables y susceptibles de karstificación, estas depresiones tectónicas podrían evolucionar hacia formas típicamente kársticas, aunque en una posición topográfica muy distinta a la mayoría de los campos de dolinas de las montañas béticas, casi siempre situados en altiplanos de la zona de cumbres (Moral, 2008).

### Conclusiones

La génesis de las diversas formas kársticas presentes en El Torcal de Antequera está claramente relacionada con factores tectónicos y litológicos. Así, los corredores kársticos y, a veces, las dolinas u otras formas exokársticas mayores, como el pequeño polje de Los Navazos, se disponen a favor de fracturas de plano subvertical. Por otra parte, la alternancia de entrantes y salientes se asocia a las juntas formadas en la superficie de estratificación de las calizas tableadas del Jurásico superior. El origen de esta morfología, relacionado en anteriores trabajos con procesos de meteorización física diferencial, se atribuye a los procesos kársticos que se producen en los microsuelos desarrollados a favor de estas juntas. Por otra parte, diversos criterios estructurales, litológicos y topográficos permiten distinguir entre dolinas de plataforma carbonática, muy abundantes en la zona de cumbres, en un contexto similar al de otras sierras

béticas, y dolinas de ladera, formadas sobre las brechas calizas cuaternarias acumuladas al pie de los escarpes más altos y en cuya génesis podría haber desempeñado un papel importante los deslizamientos y otros fenómenos neotectónicos distensivos relacionados con el levantamiento reciente del macizo de El Torcal.

### Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos de investigación RNM3713 y CGL2009-11384.

### Referencias

- Burillo, F. J. (1998). En: *Karst en Andalucía* (Durán, J.J. y López-Martínez, J., Eds.). Instituto Tecnológico Geomineiro de España. 153-164.
- Martín-Algarra, A. (1987). *Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada.
- Moral, F. (2008). *Geo-Temas*, 10, 1573-1576
- Peyre, Y. (1974). *Géologie d'Antequera et de sa Région (Cordillères Bétiques, Espagne)*. Tesis Doctoral, Univ. de Paris.
- Pezzi, M. (1977). *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. 2, 288 p.
- Pezzi, M. (1979). *Jabega*, 26, 54-64.