



Comentarios al trabajo titulado:

“Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons”, de Sanchis, C.; Segura, F. y Rosselló, V. M., en *Cuaternario y Geomorfología* (2011), 25(3-4), 59-69.

Comment on “Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons”, by Sanchis, C.; Segura, F. and Rosselló, V. M., in Cuaternario y Geomorfología (2011), 25(3-4), 59-69.

Carlos de Santisteban Bové

Departament de Geologia. Universitat de València. C/ Dr. Moliner, 50, 46100 – BURJASSOT (Valencia).
Carlos.santisteban@uv.es

Resumen

La Rambla de Tambúc, es un río en roca que forma parte de la cabecera del conjunto de tributarios del río Júcar que drenan la Muela de Cortes de Pallás y Macizo del Caroig (Valencia). Se halla emplazada en el interior de un cañón relicto, formado, en varias fases, por el encajamiento de dos cauces meandriformes. En su fondo afloran calizas y dolomías del Cretácico Superior en capas con una posición sub-horizontal. La exposición del techo de los estratos hace que en el lecho del cauce rocoso de la rambla, se hallen formas originadas en distintos momentos del tiempo, siendo algunas de ellas herencia de estructuras sedimentarias cretácicas. En este trabajo se aporta nueva información sobre la naturaleza compuesta del cañón que contiene a la Rambla de Tambúc, y se discute el origen de algunas de las estructuras que se hallan presentes en su lecho.

Palabras clave: Formas heredadas, cuencos de disolución, acanaladuras, paleokarst, Cordillera Bética, Valencia.

Abstract

The ravine of Tambúc, is part of the head of one of tributaries of the Júcar river, placed in the eastern part of the Muela de Cortes de Pallás and Macizo del Caroig (Valencia). It occupies a relic Upper Miocene – Qua-



ternary incised valley. Although it has been described previously as generated by fluviokarstic processes, the forms of recent karstification they do not explain the development of the fluvial incision. The ephemeral current river of Tambú's Ravine occupies a compound valley, with a meandering pattern. This meandering pattern is controlled by a dense network of two systems of vertical joints. Nowadays these joints determine the liberation of fractured blocks and pebbles. The action of the gravity processes and the flow during floodings they are the mechanisms that more contribute to the transport of sedimentary particles.

In their bottom they outcrop, in an horizontal manner, Upper Cretaceous limestones and dolostones. The exposure of the upper surface of the mesozoic layers, in the bedrock of the channel, produce that some morphological features have a strong inheritance of cretaceous structures. In this way relic karstification surfaces, stromatolite and thombolite domes, and icnites of dinosaurs are exposed in the top of beds that outcrop in the river bed. It is evident that they are not current forms and that do not have any relation with the current fluvial hydrodynamics. Its presence only indicates that the recent erosion allows the exposure of previous forms, that already were present in the upper surface of horizontal beds.

The set of forms, and of structures that generate forms that exists in the riverbed of Tambú's Ravine they are the consequence of processes developed in a geochronological interval of 84 My. Some of them are relic forms for what the factor of geological inheritance must be considered in the geomorphological analysis.

Key words: Inherited morphological features, solution basins, longitudinal furrows, paleokarst, Betic Ranges, Valencia.

1. Introducción

En el trabajo de Sanchis *et al.* (2011), se describe un conjunto de formas de erosión modeladas en el lecho rocoso de un cauce emplazado en un substrato carbonático: la Rambla de Tambú, situada en el término municipal de Millares, Valencia. Los autores sugieren que en estos materiales, "*altamente condicionados por los procesos de disolución, la importancia en su modelado depende de la textura y estructura de la roca, de la existencia y dirección del diaclasado, de la permeabilidad y resistencia, etc*". Aportando escasa información sobre estos factores concluyen que es difícil discernir cuales son las causas que explican que a lo largo de 2 km de la rambla existan sectores con un predominio de la abrasión sobre otros procesos fluviales. Además, las estructuras que describen no son ajenas a la morfología y dinámica del sistema en el que las encuadran: una corriente intermitente que discurre por un valle que caracterizan como un cañón fluvio cárstico meandrante (Segura *et al.* 2009). Los pro-

cesos que mencionan (abrasión, remoción de bloques, disolución y cavitación), y que son la causa de la generación de estas formas sobre el lecho de la rambla a pequeña y mediana escala (Sanchis *et al.* 2011), son los mismos que se aducen para la generación del cañón fluvio cárstico (Segura *et al.* 2009). En las dos escalas de trabajo se describen las formas como originadas en tiempo presente.

Tratándose de formas a gran escala y de estructuras menores caracterizadas por procesos de denudación y sedimentación, la disciplina en la que se aplica el trabajo aquí comentado es la Geomorfología. En el diccionario "Glossary of Geology", Bloom *et al.*, (1997) definen esta disciplina como "*la ciencia que trata de la configuración de la superficie de La Tierra*", y específicamente: "*el estudio de la clasificación, descripción, naturaleza, origen, y desarrollo de las formas actuales, y sus relaciones con las estructuras subyacentes y con la historia de los cambios geológicos que están registrados en estos rasgos de superficie*". Ello implica una relación muy estrecha de la

Geomorfología con otras de las disciplinas de las Ciencias Geológicas, tanto en la utilización de conceptos y métodos (los de la petrología, estratigrafía, sedimentología, tectónica,... etc.), como en la aportación de datos que ayudan a una mejor comprensión de la Geología Regional y Geología Histórica de una zona. En este sentido, en la Rambla de Tambúc hay elementos geológicos, entre los cuales pueden incluirse los geomorfológicos, que presentan caracteres heredados de estructuras anteriores y que, aunque coexisten en el espacio con otras formas recientes, han sido desarrolladas en distintos momentos del tiempo. Todo el conjunto de formas y estructuras presentes pueden constituir entidades relacionadas susceptibles de ser analizadas como cadenas de clases en la diversidad geológica (Santisteban, 2013). En ellas un elemento puede ser transformado en otro, debido a la acumulación del efecto de los procesos a lo largo del tiempo y, por esto, puede verse incrementado el valor de la información que aportan.

En base a este criterio de sucesión temporal (cadena) de clases de estructuras presentes en la Rambla de Tambúc, se hace el comentario al trabajo de Sanchis, *et al.* (2011), en el que se pretende: 1) aportar un nuevo análisis sobre la naturaleza de la Rambla de Tambúc, y 2) hacer una revisión de algunas de las estructuras que ellos describen en detalle. Teniendo en cuenta información sobre la estratigrafía, sedimentología y petrología sedimentaria de los materiales cretácicos en los que está modelada la rambla se puede concluir que algunas de estas estructuras no han sido correctamente identificadas, mientras que otras son herencia de formas sedimentarias y erosivas desarrolladas en el Cretácico Superior. Para estas últimas, se ha de recalcar que no se hallan relacionadas hidrodinámicamente con procesos fluviales recientes o actuales en la Rambla de Tambúc.

2. Emplazamiento de la zona de estudio

La Rambla de Tambúc se halla en el término municipal de Millares (Valencia), en lo alto

del macizo montañoso del Caroig y Muela de Cortes de Pallás, del que forma parte del sistema de drenaje de su sector oriental (Figura 1). Tiene una longitud aproximada de 6 kilómetros siendo receptora de los aportes de la Rambla de los Pilares y tributaria de la Rambla del Zapatero. Su trazado general es Oeste-Este entre los puntos, de coordenadas UTM, 30S 689859 4338400 y 30S 690250 4338950; aunque en detalle tiene una configuración meandriforme en planta.

3. Características físicas de La Rambla de Tambúc

La Rambla de Tambúc es un río efímero que pertenece a la red hidrográfica del Júcar. Su régimen hidrológico obedece al ritmo de las precipitaciones de un clima mediterráneo semi-árido. Normalmente se halla seca, pero responde rápidamente a las fuertes descargas de las lluvias de final del verano y otoño, con un flujo turbulento que tiene capacidad para transportar todos los tipos de tamaños de partícula, desde bloques de 1 m de dimensión máxima, hasta cantos, arena, limo y arcilla. En los depósitos recientes, presentes en el lecho del cauce, predomina volumétricamente el sedimento con tamaños de partícula bloque y canto, que forma la fracción más gruesa de la carga de fondo. Las partículas de tamaño menor a arena media, que no son retenidas en dos gaviones situados aguas arriba, circulan y sobrepasan (*by pass*) la rambla aguas abajo. Debido a esto la Rambla de Tambúc es, utilizando criterios de sedimentología comparativa, un río con carga de fondo de tamaño grueso, según la clasificación de Collinson (1996).

Solamente en las zonas más estrechas del cauce, el sedimento llega a ocupar totalmente el lecho de la rambla, siendo la superficie de roca del substrato expuesta, en el tramo estudiado, tres veces mayor que la cubierta por el sedimento, por lo que morfológicamente puede clasificarse como un “río en roca” según los criterios establecidos por Tinkler y Wohl (1998). Sanchis *et al.* (2011) lo caracterizan de esta forma y lo describen

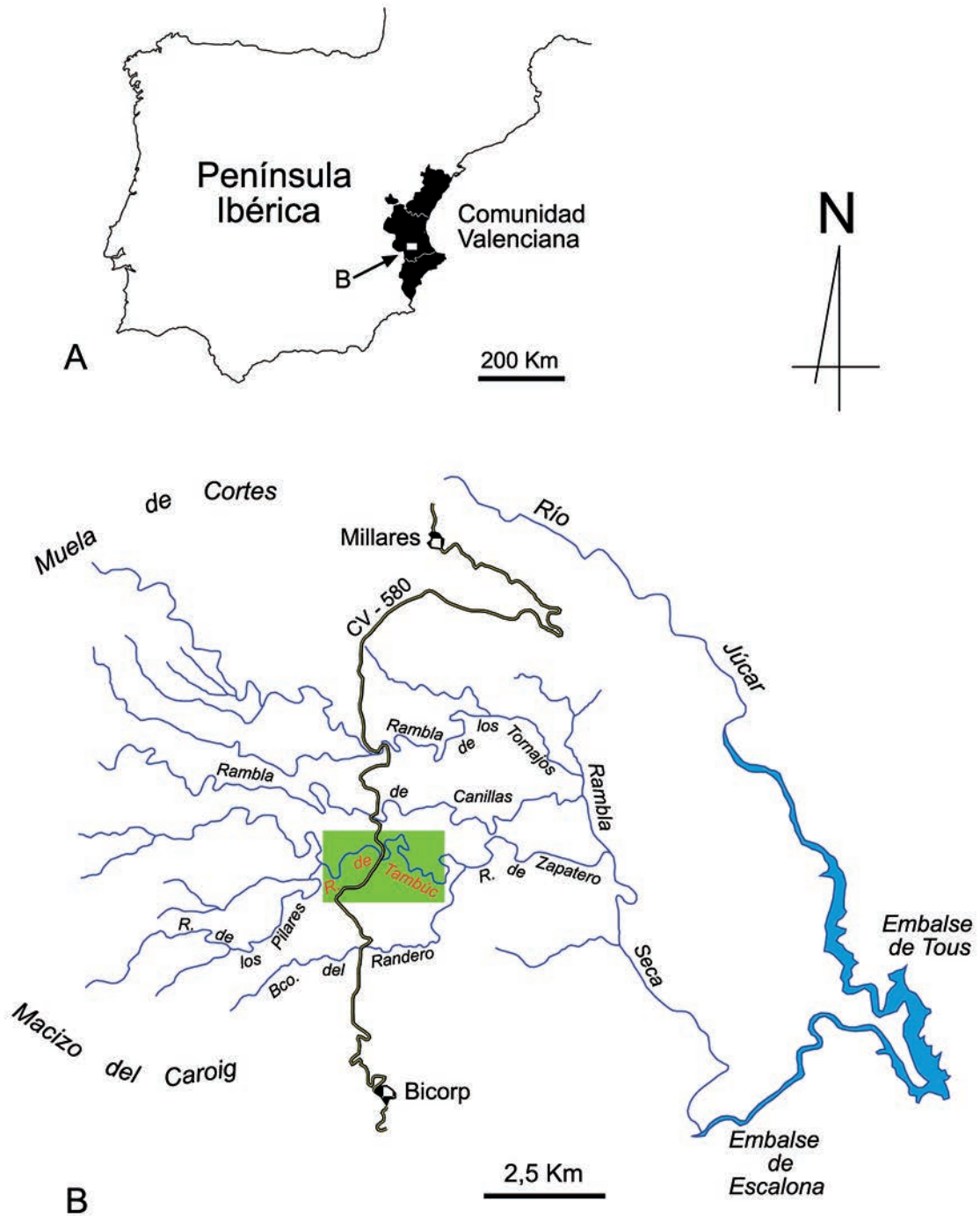


Figura 1 Situación de la Rambla de Tambú (B) en el sector oriental del sistema de drenaje de la Muela de Cortes.
Figure 1. Location of the Tambú ravine (B), in the Eastern sector of the Muela de Cortes.

como un *cañón fluvio-cárstico meandrante*. Según estos autores, y siguiendo la clasificación de Shumm (1977), la Rambla de Tambúc es un cañón asimétrico encajado en roca; y de acuerdo con la de Wohl (1998) es un río con un único canal de flujo, sinuoso en planta, con un gradiente variable en el lecho, presentando puntos de salto (*knickpoints*), y diferencias en el perfil (acanaladuras, marmitas,... etc).

En un primer punto de esta discusión se quiere manifestar que hay dos entidades distintas entre un río en roca con carga de fondo de tamaño grueso, que es lo que es actualmente la Rambla de Tambúc y el lugar que ésta ocupa, que es un cauce encajado con un modelo en planta meandriforme. Para Segura *et al.* (2009) no hay duda de que ambos son el mismo sistema, pues *“los barrancos del Caroig transportan fundamentalmente carga de fondo: bloques, cantos, gravas y arenas. La abundancia de esta fracción se asocia al predominio de la erosión lateral y a la formación de meandros asimétricos (ingrow meanders)”*.

Por un lado, las condiciones geodinámicas actuales, referentes al ritmo de la descarga fluvial, caudal, carga sedimentaria y tipo de substrato, no permiten un proceso activo de desarrollo de meandros. Por otro, los meandros que presenta la Rambla de Tambúc muestran varios niveles de encajamiento vertical, con sistemas de cauces cada vez más estrechos, cuya formación, en función de los conocimientos de otras redes de drenaje en este contexto regional (Sur del Sistema Ibérico – Norte de la Cordillera Bética), ha tenido lugar entre el Mioceno Superior y el Cuaternario. En este sector hay valles como el del Reatillo (afluente del Turia) que se hallan encajados sobre una superficie de erosión de extensión regional pontiense (Brinkmann, 1931), y que localmente presentan restos de rellenos, como las Brechas de Buseo en Chera, atribuidas al Plio-Pleistoceno (Santisteban y García Quintana, 1991).

La actual Rambla de Tambúc ocupa el centro de un valle encajado con un modelado meandriforme estrecho. A su vez, este valle seccio-

na el relleno sedimentario de otro valle anterior, también meandriforme y con curvas de mayor radio (Figura 2). Este relleno sedimentario posee características de facies distintas de las de los depósitos actuales. Consisten en conglomerados heterométricos de matriz arenosa, poco cementados, intercalados con capas de limos y arcillas rojas. En la Rambla del Zapatero estos depósitos alcanzan los 60 metros de potencia y, en todo el sector que abarca la Muela de Cortes y el Macizo del Caroig, fosilizan parcialmente una red de drenaje anterior a la actual, con meandros abandonados, cauces capturados y valles colgados. Aunque en la cartografía han sido asignados al Holoceno (García Vélez *et al.*, 1981), por su posición entre dos incisiones profundas de la red fluvial, y por su espesor, los atribuimos provisionalmente al Pleistoceno (Figura 2).

El valle compuesto en el cual se halla la Rambla de Tambúc posee una anchura interior media de 50 m (entre 70 y 20 m) y exterior de 300 m. En algunos puntos es un encajamiento entre paredes de hasta 20 metros de altura. Tiene un perfil transversal en artesa con fondo plano y localmente puede presentar sistemas de terrazas erosivas laterales cuyas dimensiones están controladas por la posición horizontal y espesor de la estratificación de los materiales del substrato cretácico. Su pendiente media es 2,3%, mostrando longitudinalmente largos tramos planos, que suelen coincidir con la posición de la estratificación, y tramos cortos con puntos de salto.

Por todo ello, la actual Rambla de Tambúc, ocupa un valle cuyas características muestra rasgos de, al menos, dos etapas anteriores de encajamiento. Es por esto que su superficie es diacrónica y hereda rasgos morfológicos de un tiempo en el que el sistema de drenaje ha tenido un funcionamiento hidrológico distinto del actual. Se puede afirmar esto tanto por las condiciones necesarias para el desarrollo del proceso de encajamiento erosivo, como por el hecho de que se conservan restos de un anterior relleno sedimentario de cierto espesor.

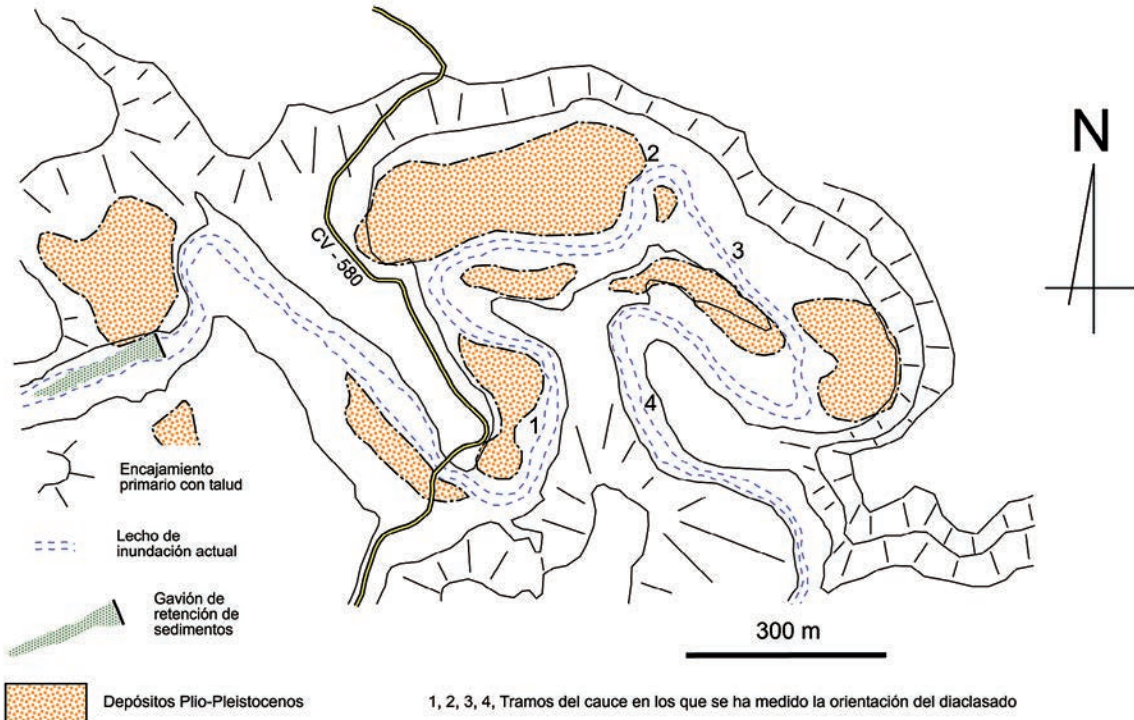


Figura 2. Mapa geomorfológico simplificado de parte de la Rambla de Tambúc a ámbos lados de la carretera CV-580.
 Figure 2. Simplified geomorphological map of the Tambúc ravine, to both sides of the road CV-580.

4. Litología del substrato

Como ejemplo de río en roca, Sanchis *et al.* (2011) mencionan que la textura y estructura de la roca del substrato se halla implicada en el modelado del relieve. Estos dos factores son componentes de los criterios que permiten la descripción de facies, formalizadas en la organización del registro sedimentario mediante la definición de unidades estratigráficas. Los autores mencionados atribuyen los materiales del substrato de la Rambla de Tambúc a las calizas y margas Coniacienses, que en estratigrafía formal es la unidad Formación Margas de Alarcón (Vilas *et al.* 1982). Aunque en la cartografía geológica de esta zona (García Vélez *et al.* 1981) se han representado estas margas, en realidad esta unidad aflora más hacia el Este, en la Rambla del Zapatero, en donde se presentan en una posición estratigráfica inferior a los depósitos de

calizas y dolomías que se hallan en la Rambla de Tambúc. Estas calizas y dolomías forman los materiales que se presentan en la parte alta de la Muela de Cortes y en gran parte del Macizo del Caroch, y deben ser adscritos a la Formación Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel (Vilas *et al.* 1982), de edad Santoniense. En este sector, los depósitos de esta unidad, o materiales equivalentes de esta edad, tienen 150 metros de espesor. Se hallan dispuestos subhorizontalmente aunque presentan suaves ondulaciones tectónicas de amplio radio, que hace que a lo largo de la Rambla de Tambúc aflore varias veces el mismo conjunto de capas.

Los materiales de la Formación Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel, que afloran en la Rambla de Tambúc, están constituidos por un conjunto de calizas y dolomías en capas de estratificación media (0,30 a 0,5 m

de espesor) y gruesa (hasta 1,5 m de espesor). Consisten en dolomías masivas y calizas micríticas, bioclásticas y oolíticas, que contienen bioconstrucciones de cianobacterias y bancos de rudistas y de ostreidos de hasta 2 m de altura y 10 m de longitud. Texturalmente son mudstones y grainstones-packstones, localmente con intercalaciones de cuerpos lenticulares con textura boundstone. Estas características de facies son de gran importancia en la identificación de algunas de las formas del relieve presentes en el cauce rocoso de la Rambla de Tambú; pues del espesor de las capas depende la intensidad del diaclasado, que facilita la producción de bloques, y de su composición mineralógica y textura, depende la identificación de formas sinsedimentarias de origen diagenético y orgánico.

5. Control tectónico en la configuración de la Rambla de Tambú

Sanchis *et al.* (2011) se refieren a estos materiales como altamente fracturados, con dos direcciones predominantes de estructuras (240° y 330°), que se hallan cartografiadas como fallas en la hoja de Llombay, del Mapa Geológico de España (1:50.000, nº 746, García Vélez *et al.*, 1981), y que, juntamente con el diaclasado, favorecen la remoción de bloques. Según Garzón-Heydt (2010) cuando un río de este tipo incide en roca resistente suele hacerlo a favor de zonas de debilidad, como son las fracturas, que determinan tramos rectos; mientras que cuando es meandriforme es por la transferencia, mediante encajamiento e incisión vertical, del patrón de ondas de un río que ya desarrollaba meandros en su llanura aluvial. De los dos sistemas identificados de meandros encajados que configuran el valle en el que está ubicada la Rambla de Tambú, el interior, de curvas más estrechas y más reciente, muestra un trazado que sugiere un control tectónico. En este tramo del río la única estructura de deformación reseñable es la presencia de un intenso diaclasado con planos de fractura en posición subvertical (Figura 3). La intensidad del diaclasado depende del espesor individual de las capas y hay fracturas

que están restringidas solamente a un estrato (Figura 4). Para mostrar este control tectónico se ha medido, en cuatro sectores (Figura 2), 623 orientaciones de diaclasas cuya representación se muestra en los diagramas en rosa de la figura 5. Los diagramas muestran la existencia de dos direcciones; una predominante de N 120° E a N 130° E, y otra secundaria entorno a los N 10° E. La dirección predominante (N 120° E – N 130° E) coincide con la orientación de los tramos de mayor elongación del sistema de meandros del valle encajado más reciente y estrecho, en el cual está emplazada la Rambla de Tambú.

El diaclasado y otras fracturas de relajación asociadas a la exposición de las capas que afloran en el lecho de la rambla, ejercen un papel de control primario en tres aspectos más: a) la configuración puntual del cauce (Figura 6), b) la ubicación y orientación de las estructuras que Sanchis *et al.* (2011) denominan *flute marks*, y c) la generación de sedimento tamaño bloque y canto (Figuras 7 y 8).

6. Sedimentología de los materiales cretácicos

El segundo comentario de este artículo se refiere a las estructuras presentes en el cauce de la Rambla de Tambú. Para su análisis es necesaria una descripción de la estratigrafía y sedimentología de los materiales cretácicos que hacen de substrato, pues aunque se hallan en el cauce rocoso, algunas de ellas no son una propiedad del lecho del río, sino de los materiales que lo componen. Es decir, ocupan un espacio en el que están presentes otras estructuras erosivas recientes, pero no son contemporáneas con ellas.

Los materiales cretácicos que afloran en la Rambla de Tambú han sido estudiados sedimentológicamente por Santisteban y Suñer (2003). Estos autores consideran que los carbonatos de la Formación Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel, en esta localidad, pueden ser descritos en función de una secuencia básica formada por cuatro térmi-



Figura 3. Nivel de calizas micrítica, afectado por un sistema penetrativo de diaclasas subverticales.
Figure 3. Layer of micritic limestones, affected by a dense system of vertical joints.



Figura 4. Capa de calizas micríticas, afectada por un sistema subvertical de diaclasas, que no se continúan en el estrato inferior.
Figure 4. Layer of limestones, affected by vertical joints which are not continued in the lower bed.

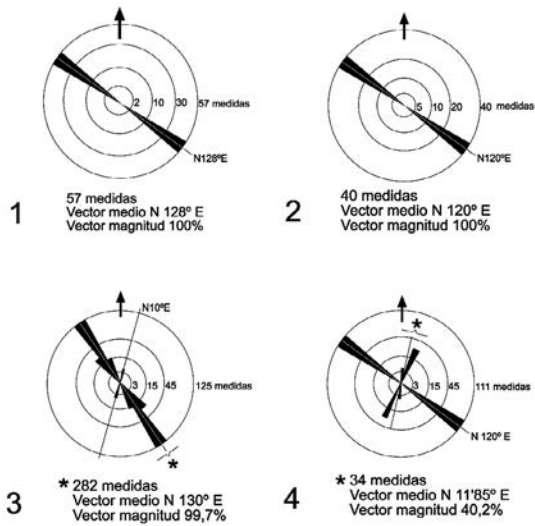


Figura 5. Orientación de diaclasas, representadas por sectores (1, 2, 3, 4 de la figura 2), en la Rambla de Tambúc, al Este de la carretera CV-580.

Figure 5. Rose diagrams of preferent orientation of tectonic joints, by sectors (1, 2, 3, 4 of the figure 2) in the Tambúc ravine at east of the road CV-580.

nos, cada uno de ellos con una facies distinta. Estas facies son: A) calizas micríticas, B) calizas bioclásticas con ostreidos y rudistas, C) calizas trombolíticas y D) calizas laminadas. En la figura 9 se muestra una columna representativa de la sucesión natural de estas facies (en la que se ha omitido el intervalo de calizas micríticas, en la base), formada por los términos: B) bioconstrucciones de rudistas y calizas bioclásticas y oolíticas, C) edificios trombolíticos, y D) estromatolitos laminares y brechas de intraclastos. Estas secuencias tienen un espesor variable entre 30 cm y 3 metros.

Este tipo de secuencias han sido modelizadas por James (1984), y representan el registro, en ambientes someros, de la sedimentación en una plataforma carbonática tropical sometida a la acción mareal. La sucesión vertical de términos, en cada secuencia, responde a una dinámica de somerización en el medio de depósito. Además, en los afloramientos de la Rambla de



Figura 6. Cuencos alargados de disolución, falsos *flute marks* (izquierda) emplazados en el techo de una capa de calizas micríticas afectadas por diaclasas. Estas diaclasas controlan la forma del cauce central de la Rambla de Tambúc, mediante la liberación de bloques (derecha).

Figure 6. Elongated solution basins, false flute marks (at left of the photo), placed at the top of a calcareous mudstonelayer affected by tectonic joints. The joint also control the shape of the bedrock of the Tambúc ravine (right).



Figura 7. Capa expuesta en margen del canal activo. Sistema de diaclasas paralelas y red de fracturas de relajación que cuartejan progresivamente la roca, y con mayor intensidad en el borde de la capa.
 Figure 7. Upper surface of a limestone layer exposed in the margin of the active channel. Set of parallel joints and a network of crossed expansion joints that quarter the rock with more intensity in the border of the layer.



Figura 8. Red de fracturas en el borde de una capa y liberación, por caída gravitatoria, de partículas angulosas.
 Figure 8. Network of crossed joints in the border of a layer and gravitational fall of angular particles.

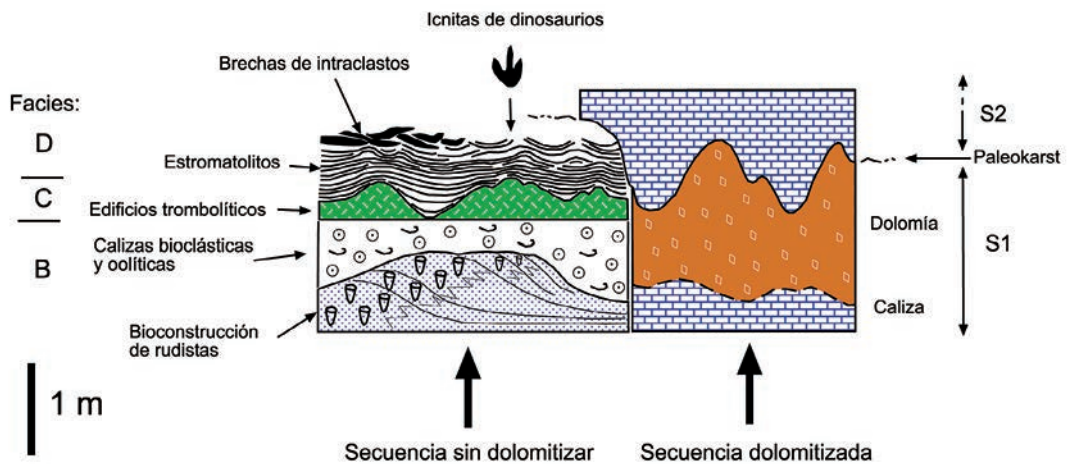


Figura 9. Secuencia básica que describe la sucesión de términos de la Formación Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel, en la Rambla de Tambú. La parte superior de algunas secuencias se halla dolomitizada y karstificada.
 Figure 9. Basic stratigraphic sequence of the Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel Formation, in the ravine of Tabú. The materials of the upper part of some sequences can be dolomitized and karstified.

Tambúc, los materiales de algunas de estas secuencias, preferentemente los que corresponden a las facies B, C y D, se hallan localmente dolomitizados y karstificados, proceso que se produjo durante la formación del depósito.

Sanchis *et al.* (2011) describen la presencia en los márgenes de la rambla, de una serie de terrazas que denominan *strath terraces*. Este tipo de terrazas son superficies de erosión planas en el talweg del río. En este ejemplo, las terrazas son escalonamientos morfológicos producidos por el afloramiento de estratos o grupos de estratos en posición horizontal, y su superficie es el techo de un estrato, que suele exhibir formas sedimentarias originales. Los autores del trabajo comentado dan a entender que todas las estructuras presentes en el lecho de la rambla han sido originadas erosivamente por la dinámica actual del sistema fluvial; sin embargo, la rambla de Tambúc es conocida por albergar el mayor número de icnitas de dinosaurios de la Comunidad Valenciana, habiendo sido acondicionada para

su visita turística y formando parte de la propuesta de esta Comunidad Autónoma para la declaración de las Icnitas de Dinosaurio de la Península Ibérica (IDPI) como Patrimonio Mundial de la UNESCO. Los yacimientos de icnitas de esta localidad han sido estudiados por Santisteban y Suñer (2003), quienes interpretan los materiales que las contienen como inter-supramareales. Según estos autores, en las mismas superficies de las capas que presentan icnitas, hay rellenos de grietas de retracción por desecación, polígonos de expansión en tapices cianobacterianos, brechas de cantos planos, moldes de evaporitas y trazas de raíces (Figuras 10 y 11). En estas circunstancias, muchas de las formas asociadas a estas estructuras deben ser consideradas originales y responden a procesos desarrollados en el Cretácico Superior. En este sentido, hay que tener en cuenta que en el lecho del río afloran formas de distinto origen, que ya estaban presentes en estos materiales, y que en el trabajo que aquí se comenta han sido atribuidas a erosión fluvial reciente (*pseudo-ripples*).



Figura 10. Icnita de tipo terópoda, de dinosaurio, impresa en calizas estromatolíticas.
Figure10. *Tridactyl* dinosaur footprint on top of a stromatolite limestone layer.



Figura 11. Grietas de retracción y moldes de grietas de retracción cretácicas, en el lecho de la Rambla de Tambúc.
Figure 11. Mud cracks and molds of mud cracks in cretaceous limestone, present in the bedrock of the Tambúc ravine.

Además de aportar información para una nueva interpretación de algunas de las estructuras descritas por Sanchís *et al.* (2011), en este trabajo se desea hacer un comentario sobre la naturaleza de las formas que estos autores consideran que son *flute marks*.

7. Estructuras

7.1. *Flute marks*

En lengua inglesa, la denominación de muchas estructuras sedimentarias se hace de una manera descriptiva utilizando palabras de uso habitual. De esta forma *ripple*, no es más que una ondulación y *flute* no es otra cosa que una acanaladura o estría. La utilización en castellano de estos términos importados de otras lenguas adquiere un significado diferente representando a veces, no solamente la descripción de la estructura sino también el proceso que la ha generado. Así, *ripple* es una ondulación sedimentaria formada por

una corriente y cuya cresta es normalmente perpendicular a la dirección del flujo.

Por su parte, *flute* puede tener significados diferentes según el ámbito de la geología que se considere. *Flute* (*solution flute* - reguero en un lapiaz, *rillenkarren*), en geomorfología, no es otra cosa que una acanaladura que puede prolongarse verticalmente y que está generada por disolución en un substrato calcáreo o evaporítico. Suele desarrollarse en superficies pendientes, pero en el lecho de un cauce rocoso esta estructura puede canalizar el flujo y ser susceptible de modificación por abrasión mecánica. Richardson y Carling (2005) incluyen la estructura *flute* como un subtipo de *longitudinal furrows* (regueros alargados), semejantes morfológicamente a los *flute marks* formados en sedimentos blandos o poco cohesivos. Cuando se menciona el término *flute mark*, el concepto es otro. Este término se complementa con el de *flute cast*, y los dos (marca y molde) tienen relación con la formación y relleno de una estructura originada en

un sedimento no consolidado, normalmente limo, por un vórtice en la base de una corriente hidráulica. Las descripciones morfológica y dinámica que se hacen, en el trabajo comentado, y las citas a los trabajos de Allen (1969, 1982) no ofrecen dudas de que los autores, confunden ambas estructuras; pues Allen (1982, 1984) solo menciona, para substratos calcáreos duros, los *cave-flutes*, relacionados con *fluted scallops* o *ripple-like flutes*. Estas son estructuras de disolución, perpendiculares a la corriente, y formadas en el seno de una cavidad kárstica, ámbito que no es el del ejemplo de la superficie de roca expuesta en el lecho de un río.

Algunas de las formas superficiales que se ilustran como *flute marks* en el trabajo comentado, son acanaladuras (*furrows*) en la primera zona de estudio de Sanchis *et al.* (2011), y cuencos alargados de disolución, en la segunda zona de estudio de Sanchis *et al.* (2011) que se hallan situados sobre bloques delimitados por diaclasas (Figura 6). Estos úl-

timos tienen una forma muy distinta de los *flutes*, que suelen tener un borde de ataque inciso, estrecho, curvo o apuntado, y un borde de fuga ancho y suave.

7.2. Pseudo-ripples

Los *pseudo-ripples* han sido identificados por Sanchis *et al.* (2011) como formas onduladas, con alternancia de crestas y depresiones, desarrolladas por erosión y disolución. Estas formas existen, pero las que se ilustran en la figura 4, página 64, ni son estructuras actuales ni todas ellas son de erosión. Se hallan distribuidas en varios tramos a lo largo de la Rambla de Tambúc, y un examen detallado de las mismas revela que se hallan fosilizadas, con contactos de atenuación con la capa que las cubre (Figuras 12, 13 y 14), por lo que básicamente son intracretácicas, con posibles retoques erosivos posteriores. Aquí distinguimos dos tipos de ondulaciones (tipos 1 y 2), teniendo cada uno de ellos un origen distinto.



Figura 12. Superficie ondulada. En primer término domos trombolíticas decimétricas, mientras que al fondo de la fotografía se muestran domos de menor tamaño atenuados por estromatolitos laminados.

Figure 12. Wavy surface. Trombolithic domes attenuated by laminated stromatolites.



Figura 13. Superficie irregular original, expuesta después de la retirada, por erosión, de la capa que la recubre (sobre la que está apoyado el mango del martillo). Compárese estas elevaciones y depresiones con las de la figura 4, página 64 de Sanchis *et al.* (2011).
Figure 13. Wavy surface, due to stromatolite domes, exposed after the retreat, for erosion, of the layer that recovers it. This structure is similar to the one described by Sanchis et al. (2011), figure 4, page 64.



Figura 14. Exposición del techo de una capa con formas dómicas e irregulares que corresponden a bioconstrucciones cianobacterianas. El contacto ondulado con el nivel superior revela que son formas originales. Sobre ellas se ha desarrollado progresivamente un lenar de pequeñas dimensiones que da la falsa apariencia de una intensa carstificación en una superficie plana.
Figure 14. Small cyanobacterial domes and irregular buildups in the top of a layer. Note the original wavy contact with the next bed. On them it has been developed small rillenkarren. The irregular surface and the rillenkarren gives the false appearance of an intense carstificación.

7.2.1. Ondulaciones Tipo 1

Este tipo de ondulaciones son edificios de origen orgánico (cianobacterianos) con estructura estromatolítica o trombolítica. Se hallan presentes en materiales calizos de las facies C y D descritas por Santisteban y Suñer (2003). La forma externa de estos edificios, situados en el techo de las capas, es la de montículos redondeados con pendientes suaves, o la de domos hemisféricos o alargados, de unas dimensiones entre 5 cm y 1,5 m de altura y hasta 3 m de longitud. (Figuras 12 y 13). La exposición de estas estructuras, por eliminación de la capa que las recubre, ha facilitado el desarrollo de un micro-lenar, del tipo *rillenkarren*, superpuesto a los domos, lo cual puede dar la idea de que todas las formas de la superficie son recientes (Figura 14). También, hay techos de capas que aparentan

tener una alteración cárstica similar a estructuras tipo *cockling* (Allen, 1984) con cuencos de disolución de mayor tamaño, pero que originalmente son el fruto de dinoturbación, pues contiene huellas tridáctilas de dinosaurios, enmarcadas en burletes por la deformación sinsedimentaria de un tejido cianobacteriano debido al pisoteo (Figura 15). Con todo, asociados a los depósitos que contienen los domos orgánicos existen verdaderos ripples de corriente, también cretácicos (Figura 16).

7.2.2. Ondulaciones tipo 2

El segundo tipo de ondulaciones se halla en los materiales correspondientes al techo de algunas de las secuencias, que pueden estar dolomitizados. La dolomitización ha transformado a las calizas de las facies C y D, en do-

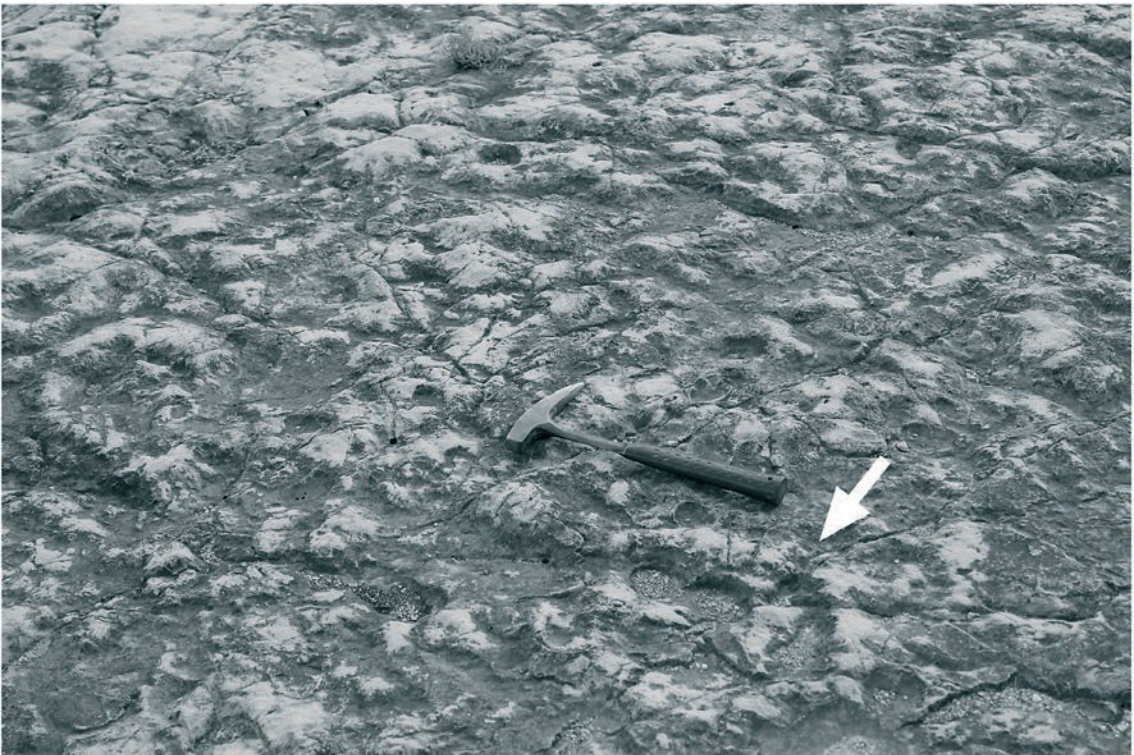


Figura 15. Superficie irregular con la apariencia de estar karstificada. La presencia de una huella de dinosaurio (señalizada por la flecha) indica que las irregularidades no son más que el resultado de dinoturbación sobre una superficie original.

Figure 15. Irregular surface with the appearance of being karstified. The presence of a dinosaur footprint (pointed out by the arrow) indicates that the irregularities are the result of dinoturbation in an original bedding surface.



Figura 16. Verdaderos *ripple marks* desarrollados sobre una capa con ondulaciones debidas a construcciones cianobacterianas. La presencia de crestas de ripples revela que las irregularidades de la capa en las que se hallan son formas originales (cretácicas) y no erosivas actuales.

Figure 16. True ripple marks developed on top of small cyanobacterial domes. The presence of cretaceous ripples reveals that the irregularities of the layer are an original feature and not modern erosive alluvial structures.



Figura 17. Formas irregulares de un paleocarst cretácico en dolomías (capa inferior oscura), fosilizadas por calizas micríticas (capa clara).

Figure 17. Cretaceous paleokarst in dolostones (dark layer) fossilized by micrite limestones (white layer).

lomías beige de grano medio (doloeparita) que contienen, además, restos silicificados de fósiles. Esta dolomitización es diagenética temprana y está aparentemente controlada por la estratificación, por lo que la causa más probable de su desarrollo es el mecanismo de bombeo evaporítico en relación con una regresión o exposición prolongadas. El techo de muchas de las secuencias dolomitizadas se halla karstificado con relieves irregulares, caracterizados por elevaciones y depresiones, de hasta 0,75 cm de diferencia de cota (Figura 17). Estas superficies de karstificación se hallan atenuadas por los depósitos de la capa de calizas micrítica que las recubre, por lo que sus irregularidades son formas de disolución intracretácicas.

8. Consideraciones

Aunque hay formas de karstificación reciente en la Rambla de Tambú, éstas son minoritarias en relación con la presencia de estructuras de otros orígenes, y no explican la formación del encajamiento fluvial. Las formas kársticas, de mayor desarrollo y relieve topográfico, que pueden ser reconocidas en el lecho del cauce, son relictas y se hallan en relación con los niveles dolomitizados cretácicos. A parte de estas, hay otras estructuras onduladas e irregulares presentes en la superficie expuesta de los estratos, que son de origen orgánico y coexisten en las mismas capas con icnitas de dinosaurios. Evidentemente no son formas actuales y constituyen un buen ejemplo de factor de herencia geológica que debe ser tenido en cuenta en el análisis geomorfológico. En este caso, no guardan relación alguna con la dinámica fluvial actual y su presencia solo indica que la erosión reciente permite la exposición de formas anteriores, que ya estaban en el techo de los estratos de una serie de capas horizontales.

Aunque el río efímero actual de la Rambla de Tambú ocupa un valle compuesto anterior, el proceso activo que controla las características fisiográficas del cauce, y que favorece la producción de sedimento, es la erosión

hidrodinámica sobre carbonatos estratificados horizontalmente y fracturados por una red densa de dos sistemas de diaclasas. Esta red de diaclasas es también una estructura heredada ya que los tramos de mayor elongación del trazado de meandros encajados más reciente, en cuyo centro está ubicada actualmente la rambla, son paralelos a las direcciones preferentes de los dos sistemas de fracturas. Actualmente estas diaclasas preparan el cuarteamiento de la roca (Figuras 7 y 8) y facilitan la liberación de bloques y cantos angulosos. La acción de la gravedad (Figura 8) y el flujo en avenidas son los mecanismos que más contribuyen al desplazamiento de estas partículas.

El conjunto de formas, y de estructuras que generan formas, presentes en el cauce de la Rambla de Tambú, son la consecuencia de procesos desarrollados en un espacio de tiempo muy amplio, pues las más antiguas poseen un intervalo geocronológico de 84 millones de años, entendiéndolo éste como el tiempo absoluto entre el momento de su generación y su observación en superficie. Ello es debido a que la dinámica de erosión reciente está desvelando formas anteriores, como superficies de karstificación, barras sedimentarias y edificios orgánicos existentes en la formación cretácica que constituye la roca del substrato. Algunas de estas formas poseen relieves con diferencias de cota de hasta 2 metros, y llegan a condicionar el perfil longitudinal actual del río, como el resalte transversal (*bedrock rib*, figura 2 de Sanchis *et al.* 2011,) que responde a la exposición de un conjunto de estratos cruzados del talud frontal de un banco de rudistas cretácico. Por su parte, las denominadas *strath terraces*, en este caso son superficies de estratificación planas y horizontales expuestas en el lecho y márgenes de la rambla. Estos son ejemplos de formas actuales, fruto de la actuación de procesos geológicos sobre otras estructuras anteriores de las que heredan algunos de sus caracteres morfológicos. Por ello en la introducción se ha comentado que en el estudio de las formas actuales deben tenerse en cuenta sus relaciones con las estructuras subyacentes y con la historia de los cambios

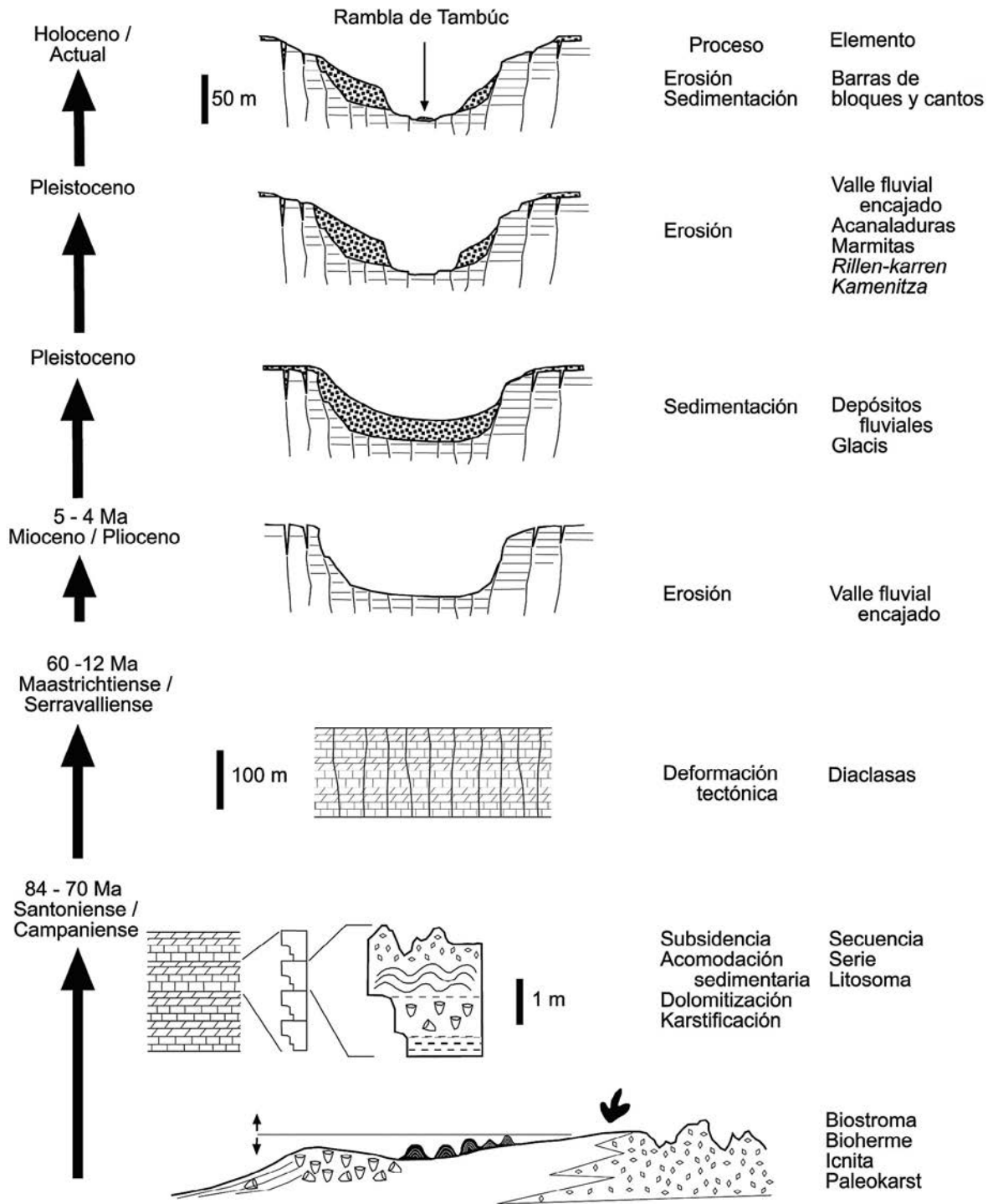


Figura 18. Cadena de clases de elementos de la diversidad geológica (geodiversidad) de la Rambla de Tambúc.
Figure 18. Chain of classes of elements in the geodiversity present in the ravine of Tambúc.

geológicos registrados en los rasgos de superficie (según la definición de Geomorfología de Bloom *et al*, 1997). En conjunto, todos los elementos geomorfológicos que se han descrito en la Rambla de Tambú, son una buena muestra para ilustrar la existencia de un condicionamiento histórico de muchas de las formas del relieve que apreciamos en nuestros días. Así, aquí hay formas actuales (barras de bloques y cantos), formas recientes desarrolladas en unas condiciones de flujo distintas de las actuales (acanaladuras, marmitas, etc.), formas relictas (dos valles encajados superpuestos con patrones meandriformes), formas resurgidas (estromatolitos, paleokarst cretácico,...), etc. Todas estas estructuras pueden tener relaciones espacio-temporales, pero el hecho de que ocupen el mismo espacio, o espacios próximos, no quiere decir que hayan sido desarrolladas por procesos sincrónicos. Normalmente tienen el atributo de poseer intervalos geocronológicos distintos. Las relaciones entre estas formas (actuales, recientes, relictas, etc.), pueden mostrarse mediante el establecimiento de cadenas de geodiversidad. Una cadena en la diversidad geológica (o cadena de geodiversidad, Santisteban, 2013), es la sucesión temporal y ordenada de las estructuras relacionadas con un elemento o una clase de elementos, en un área concreta. En el ejemplo de la Rambla de Tambú la cadena de geodiversidad, constituida por las formas y estructuras tratadas en el presente trabajo, se muestra en la figura 18.

9. Conclusiones

La Rambla de Tambú (Millares, Valencia), es un río en roca de funcionamiento estacional, que ocupa la parte central de un cauce encajado relictos, de desarrollo multiepisódico. El valle tiene una configuración meandriforme en planta. En él se pueden distinguir dos sistemas de meandros; uno con curvas de radio amplio, de edad probable Mio-Plioceno, y el otro de curvas de radio estrecho, de edad atribuida al Pleistoceno. El segundo sistema de meandros está encajado en el de curvas de radio amplio e incide en los depósitos del

relleno del primero. La configuración del sistema de meandros interior muestra un control estructural por diaclasas que tienen una orientación preferente N 120° E – N 130° E.

La Rambla de Tambú, se halla enclavada en materiales de la unidad Santoniense, Formación Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel, que afloran en capas subhorizontales en el lecho del cauce. La posición de la estratificación ha facilitado la formación de pequeños bancos, que se corresponden con estratos erosionados, y terrazas planas que coinciden con superficies de estratificación. Sobre estas superficies hay formas de erosión y karstificación recientes, pero también otras heredadas de estructuras presentes en la superficie de los estratos, como ondulaciones y domos cianobacterianos, formas de karstificación cretácicas, bancos de rudistas, etc. La coexistencia de formas en el lecho del cauce no implica que todas ellas respondan a los mismos procesos, ni que se hayan formado en el mismo momento del tiempo. Además, hay formas actuales que son transformadas de otras anteriores de las que mantienen caracteres heredados. Esto ocurre tanto a gran escala, como se muestra en la naturaleza compuesta del cañón en el que está ubicada la Rambla de Tambú, como en las formas, de distintos orígenes, que están presentes en su lecho. Muchas de estas formas se hallan relacionadas tanto en el espacio como en el tiempo, pudiendo ser analizadas como elementos de una cadena de diversidad geológica en la que los procesos son los agentes que transforman los elementos de unas clases en componentes de otras.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CGL2008-06533-C03/BTE, del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Se agradecen los comentarios de Julio Martínez Gallego (Universitat de València), y las correcciones del editor David Regüés y de los revisores anónimos, que han servido para mejorar el manuscrito final del artículo.

Referencias Bibliográficas

- Allen, J. R. L. (1969). Erosional current marks of weakly cohesive mud beds. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39. 607-623.
- Allen, J. R. L. (1982). *Sedimentary structures. Their character and physical basis. Developments in sedimentology* nº 30A y 30B. 1ª Edición. Elsevier, 593 pp.
- Allen, J. R. L. (1984). *Sedimentary structures. Their character and physical basis. Developments in sedimentology* nº 30. Elsevier. 663 pp.
- Bloom, A. L.; James, A. and McKnight, D. (1997). En: *Glossary of Geology*. (Jackson, J., ed.). American Geological Institute, 769 pp.
- Brinkmann, R. (1931). Betikum und Keltiberikum in Sudostpanien. Beiträge. zur Geologie der Westligen Mediterrangebeite, Nº 6, Berlin. Traducido como: Las cadenas béticas y celtibéricas del Sureste de España. *Publicaciones extranjeras sobre la geología de España*. Madrid (1948) CSIC 4. 307-439.
- Collinson, J. D. (1986). Alluvial sediments . En: *Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy*. (Reading, H. G., ed.). Blackwell Science, 37-82.
- James, N. P. (1984). Shallowing upward sequences in carbonates. En: *Facies Models*, (Walker, R. G., ed.). Geoscience Canada, 213-228.
- García Vélez, A., García Ruz, L., Muelas Peña, A., Sobrier González, J., Forcat, C., Goy, J. L., Zazo, C., Moreno de Castro, E., Martínez, C., Quintero, I., Mansilla, H. Sanz hernández, T. y Barón Ruiz de Valdívía, J. (1981) Hoja cartográfica y memoria del Mapa Geológico de España, a escala 1: 50.000, Llombay, nº 746 (28-29). Instituto Geológico y Minero de España, 39 pp.
- Garzón Heydt, G. (2010) Significado de los ríos en roca y la importancia de su preservación. En: *Patrimonio geológico: Los ríos en roca de la Península Ibérica*. (J. A. Ortega y J. J. Durán, eds.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología y Geofísica, nº 4. 17-36.
- Richardson, K. y Carling, P. A. (2005). *A typology of sculpted forms in open bedrock channels*. The Geological Society of America, Special Paper nº 392, 108 pp.
- Sanchis, C.; Segura, F. y Rosselló, V. M. (2011). Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons. *Cuaternario y Geomorfología*, 25 (3-4), 59-69.
- Santisteban, C. de; y García Quintana, A. (1991) Estratigrafía de la Cuenca Cenozoica de Chera. *Acta Geológica Hispánica*, 26 (3-4), 195-203.
- Santisteban, C. de y Suñer, M. (2003). Rastros de huellas de dinosaurios en carbonatos inter – supramareales del Cretácico Superior, Cuenca Ibérica Suroccidental, Valencia, España. En: *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España*. (Pérez Lorente, F., Coord.). Ciencias de La Tierra, 26. Instituto de Estudios Riojanos. 147-160.
- Santisteban C. de (2013) Cadenas de clases en la diversidad geológica. En: *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo*. (J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz Martínez, y C. Marchán, eds.) Cuadernos del Museo Geominero nº 15. Instituto Geológico y minero de España. Madrid. 485-493.
- Segura, F.; Fornós, J.; Rosselló, V. M.; Pardo, J. E. y Sanchis, C. (2009). Cañones fluvioicársticos meandrizantes: procesos y formas. *Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del Profesor John B. Thornes*. Universidad de Murcia, 493-496.
- Shumm, S. A (1977), *The fluvial system*. Wiley, New York. 338 pp.
- Tinkler, K. J. and Wohl, E. E. (1998). Field studies of bedrock channels. En: *Rivers over rocks: fluvial processes in bedrock channels*. (K. J. Tinkler y E. E. Wohl , eds.) Geophysical Monograf, 107, 261-277.
- Vilas, L., Mas, R., García, A., Arias, c., Alonso, A., Meléndez, N. Y Rincón, R. (1982). Capítulo 8. Ibérica Suroccidental. En: *El Cretácico de España*. Universidad Complutense. Madrid. 457-509.
- Wohl, E. E. (Bedrock channel morphology in relation to erosional processes. En: *Rivers over rocks: fluvial processes in bedrock channels*. (K. J. Tinkler y E. E. Wohl , eds.) Geophysical Monograf, 107, 133-151.