



GEA – Andalucía Geológica

Revista de la Asociación Geológica de Andalucía

ISSN: 1976-2012

www.geoandalucia.com/publicaciones.html

Detailed mapping of valley travertine systems in the southern slopes of Sierra Nevada (Granada, Spain)

Cartografía de detalle de sistemas travertínicos de valle en el margen meridional de Sierra Nevada

Recibido 23 agosto 2012 – Revisado 12 octubre 2012 – Aceptado: 31 octubre 2012

Publicado online 31 diciembre 2012

Jiménez-Perálvarez, Jorge David⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada. E.T.S. de I.C.C.P., Edificio Politécnico, Campus Universitario Fuentenueva, C/ Severo Ochoa s/n, 18071, Granada

Abstract

This paper presents detailed mapping (1:10,000 scale) of 6 travertine systems located on the southern edge of the Sierra Nevada. These systems are travertine in the vicinity of the towns of Cónchar, southern Saleres, Pinos del Valle, Lanjarón, Motril, and also on the precipice of Zaza, near Pinos del Valle. All of them have been able to confirm the presence of a fluvial conglomerate that evidence treated travertine valley systems. A travertine valley is characterized by a base consisting of detritus levels or so thick with a progressive development toward the ceiling of carbonate sedimentation. The mapping reveals a rich facies interbedded with terrigenous levels roughly corresponding to the different parts of the travertine system. In all cases, the current base of the channel related to the travertine is a lower bound to the cluster is the river that marks the base level of the channel at the time the deposit was initiated travertine, revealing the engagement runway and relief evolutions.

Keywords: Travertine, Lecrín Valley, Sierra Nevada, Betic Cordillera

Resumen

En este trabajo se presenta la cartografía de detalle (a escala 1:10.000) de 6 sistemas travertínicos situados en el margen meridional de Sierra Nevada. Estos sistemas travertínicos se encuentran en el entorno de las localidades de Cónchar, sur de Saleres, Pinos del Valle, Lanjarón, Vélez de Benaudalla, y también en el barranco de Zaza, cerca de Pinos del Valle. En todos ellos se ha podido constatar la presencia de un conglomerado fluvial que evidencia que se tratan de sistemas travertínicos de valle. Un travertino de valle se caracteriza, por una base constituida por niveles detríticos más o menos gruesos con un desarrollo progresivo hacia el techo de la sedimentación carbonatada. La cartografía revela una riqueza de facies con intercalaciones de niveles más o menos terrígenas que corresponden a las diferentes partes del sistema travertínico. En todos los casos la base actual del cauce relacionado con el travertino está a una cota inferior a la se encuentra el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del cauce en el momento en que se inició el depósito de travertino, lo que revela el encajamiento del cauce y la evolución del relieve

Palabras Clave: Travertino, Valle de Lecrín, Sierra Nevada, Cordillera Bética

Derechos de reproducción bajo licencia Creative Commons 3.0.
Se permite su inclusión en repositorios sin ánimo de lucro.



⁽¹⁾Corresponding author Tel.: +34 958243367
E-mail address: jorgejp@ugr.es (Jiménez-Perálvarez, JD. :)

1. Introducción

Los travertinos son depósitos continentales originados por la precipitación de carbonato cálcico resultante de la disolución de materiales carbonatados (Chafetz y Folk 1984; Magnin et al. 1991). Los depósitos de travertino son abundantes en periodos de clima cálido y húmedo del Cuaternario (Martín-Algarra et al. 2003) y a menudo se encuentran al pie de macizos carbonatados delimitados por fallas que han tenido actividad neotectónica. Por tanto, el análisis de su facies y sus secuencias sedimentarias puede proporcionar información sobre los paleoambientes, sobre las condiciones medioambientales y paleofuncionamiento hidrogeológico de los macizos carbonatados de fase preliminar (Magnin et al. 1991; Pentecost 1995; Martín-Algarra et al. 2003), así como de la evolución del relieve (Tinkler y Wohl 1998; Chacón et al. 2001).

Los depósitos travertínicos son susceptibles de datación (Chacón et al. 2001), si bien, muy a menudo la contaminación de las muestras no permite obtener resultados fiables. Sin embargo los conjuntos travertínicos tienen la ventaja de ser directamente correlacionables con otros tipos de formaciones sedimentarias (depósitos coluviales, aluviales, suelos, etc.) o con elementos morfológicos del paisaje en el cual se inscriben estas secuencias carbonatadas (superficies embaladas, terrazas, etc.) (Chafetz y Folk 1984; Magnin et al. 1991).

Se distinguen básicamente dos grupos de sistemas travertínicos: travertinos de fuente y travertinos de río o valle (Magnin et al. 1991). Las formaciones fluviales de travertinos (travertinos de valle) presentan secuencias sedimentarias detríticas verticales relativamente constantes (Juliá 1983; Chafetz y Folk 1984; Magnin et al. 1991; Pentecost 1995). La precipitación del edificio travertínico conduce a la edificación de presas calcáreas que generan pequeños embalses en los que pueden desarrollarse medios palustres y lacustres, que atrapan sedimentos variados (arcillas turbas, limos,

etc.). El conjunto presa-lago constituye el "sistema travertínico".

La complejidad estructural y sedimentológica de los sistemas travertínicos, así como la escasa extensión de sus afloramientos, hace que generalmente la cartografía de estos, cuando no se hace en detalle, se ciña a la mera delimitación del edificio travertínico. En este trabajo se presenta una cartografía de detalle de sistemas travertínicos de valle asociados a surgencias de relieves carbonatados de las Zonas Internas de la Cordillera Bética, donde se evidencia el significado neotectónico de los sistemas travertínicos en la evolución del relieve (Chacón et al. 2001).

2. Marco geológico y geográfico

La zona de estudio corresponde a un sector del borde sudoccidental de Sierra Nevada situado al sur de la provincia de Granada (figura 1). El límite meridional de la zona lo constituye la sierra de los Guájares y el límite septentrional está constituido por los relieves de Sierra Nevada. En su entorno aparecen las localidades de Albuñuelas, Béznar, Cónchar, Lanjarón, Pinos del Valle, Restábal, Saleres, Vélez de Benaudalla y otras.

Geológicamente, el área se sitúa en la Zona Interna de la Cordillera Bética (figura 1), y en ella afloran diversas unidades tectónicas formadas por los materiales alpujárrides y nevado-filábrides y los materiales neógenos y cuaternarios que rellenan las depresiones intramontañosas. Morfoestructuralmente, la zona engloba dos depresiones importantes. La primera es la depresión del Padul, colmatada principalmente por arcillas, limos y turba, que ha experimentado una fuerte subsidencia al mismo tiempo que se producía el relleno y la elevación de los relieves circundantes. La segunda depresión la forma el valle de Lecrín, que se puede considerar como la terminación sudoriental de la depresión de Granada (Braga et al. 1990). Estas depresiones se encuentran limitadas principalmente por fallas de dirección O-E y NO-SE.

El profundo encajamiento de la red de drenaje atestigua importantes caídas en el nivel de base causadas por el levantamiento regional (García et al. 1998) y la acción de varias fallas activas (Sanz de Galdeano et al. 1998; El Hamdouni et al. 2000). La posición de diversos sistemas travertínicos existentes en esta área está controlada por la incisión de la red fluvial (Chacón et al. 2000), a la vez controlada por el movimiento de bloques y el levantamiento citado.

3. Los sistemas travertínicos

Hay varias tipologías morfológicas propuestas de sistemas travertínicos, si bien, tras Bakalowicz (1988) y Martín (1988) se distinguen básicamente dos grupos, los travertinos de fuente y los travertinos de río o valle (Magnin et al. 1991). La diferencia entre estos dos conjuntos se encuentra en la precocidad de la precipitación carbonata más que en su lugar de desarrollo.

Si las condiciones físico-químicas y bioquímicas favorecen una precipitación precoz de los carbonatos, en el exutorio o inmediatamente abajo, se obtienen los denominados travertinos de fuente (Juliá 1983; Guo 1998; Martín-Algarra et al. 2003) que, por regla general, sólo se abastecen por las aguas del sistema kárstico del que procede dicha fuente. Si la precipitación es más tardía o, cuando después de un primer depósito de fuente, se renueva más abajo, se obtienen los travertinos de valle (Magnin et al. 1991) cuya alimentación puede ya no ser exclusivamente kárstica. En este caso, los travertinos se desarrollan en la base de un río, después de la confluencia entre las aguas del exutorio kárstico y las procedentes de canalizaciones superficiales.

Los travertinos de fuente constituyen indicadores de la evolución de los sistemas kársticos de los que proceden. Presentan unas asociaciones de facies típicas de los diferentes ambientes de cascada y represa (Juliá 1983; Casanova 1986) constituidas por: alternancia de carbonatos micríticos con oncolitos, brechas bioclásticas y costras estromatolíticas; facies progradantes donde alternan facies bioconstruidas y facies de removilización de restos; facies alóctonas de removilización de restos y depósitos de abanico aluvial que cambian lateralmente a facies travertínicas (Martín-Algarra et al. 2003).

La posición topográfica y escalonamiento de los travertinos de fuente depende más de las condiciones de aparición y del perfil de la ladera que de la sucesión cronológica de los depósitos. En este aspecto, los depósitos de valle son mucho más significativos. El escalonamiento de los travertinos de valle

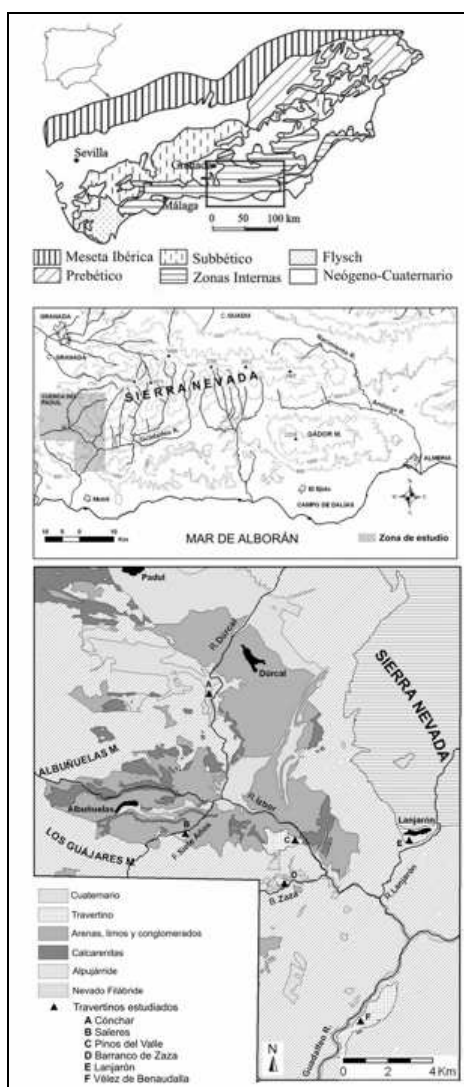


Figura 1 Localización geológica y geográfica de la zona de estudio

Figure 1 Geological and geographical settings of study zone

refleja la excavación de los valles y permite establecer una cronología relativa de los depósitos.

Los travertinos de valle presentan una riqueza de facies con intercalaciones de niveles más o menos terrígenas, y no se limitan a meras acumulaciones carbonatadas químicas o bioquímicas en sentido estricto (Vaudour 1986). Los travertinos de valle constituyen, en la base de los ríos, acumulaciones que obstaculizan la circulación de las aguas generando presas calcáreas detrás de las cuales pueden desarrollarse medios lacustres y palustres (Valero-Garcés et al. 2001) por lo que suelen presentar la siguiente secuencia de facies:

Una parte inferior, positiva, que muestra a partir de niveles detríticos más o menos gruesos, generalmente aluviales, un desarrollo progresivo de la sedimentación carbonatada correlativamente a una disminución del material terrígeno hasta llegar a las facies carbonatadas más puras. La secuencia completa serían: gravas aluviales, limos, limos arcillosos o arcillas, que progresivamente aumentan el contenido en carbonato cálcico y finaliza en el travertino en sentido estricto. Por tanto estas gravas o conglomerado fluvial marca el nivel de base del río en el momento en que se empezó a depositar el travertino. Y una parte superior, negativa, que parte de estas facies carbonatadas hasta la vuelta a una sedimentación cada vez más detrítica, a menudo coluvial a techo. Esta transición se efectúa frecuentemente por facies carbonatadas más o menos alteradas: arenas travertínicas, limos con oncolitos, si bien frecuentemente esta parte se encuentra erosionada.

Por tanto el concepto de travertino puede definirse a distintos niveles (Magnin et al. 1991). El travertino en sentido estricto, caliza pura, bioquímica, estructura algo estromatolítica. El conjunto de las facies calcáreas que constituyen la presa travertínica. Y el conjunto presa-lago.

4. Sistemas travertínicos en el margen meridional de Sierra Nevada

En el margen meridional de Sierra Nevada existen diversos afloramientos travertínicos (Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001). En este trabajo se han estudiado 6 sistemas travertínicos (figura 1; tabla 1) que se sitúan en el entorno de las localidades de Cónchar, sur de Saleres, Pinos del Valle, Lanjarón, Vélez de Benaudalla, y también en el barranco de Zaza, cerca de Pinos del Valle.

Tabla 1 Situación de los sistemas travertínicos estudiados

Table 1 Travertine systems location

Sistema Travertínico	X	Y	Z	B.T.	B.C.
Cónchar	4475	40924	735	675	570
Saleres	4464	40860	750	670	660
B ^o de Zaza	4512	40835	680	570	550
Pinos del Valle	4512	40856	700	450	350
Lanjarón	4570	40860	600	434	420
Vélez de Benaudalla	4550	40770	150*	130	110

X e Y: (UTM × 100 m), Z: depósitos más altos en metros

B.T.: Base del travertino en metros

B.C.: Base del cauce en metros

* conjunto moderno

La cartografía de los sistemas travertínicos se ha realizado tomando como referencia la cartografía geológica MAGNA 1:50.000, hojas de Dúrcal (Avidad-Castañeda 1978) y Lanjarón (Aldaya 1979). Se han respetado las unidades geológicas definidas en la serie MAGNA y se ha cartografiado en detalle cada uno de los sistemas travertínicos a escala 1:10.000.

4.1 El sistema travertínico de Cónchar

El sistema travertínico de Cónchar (figura 2), situado sobre el río Dúrcal, es uno de los afloramientos travertínicos del valle de Lecrín (Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001), se encuentra al pie de un pequeño relieve calcáreo denominado la Atalaya de Cónchar. Se sitúa en el contacto entre el sustrato alpujárride al oeste y materiales aluviales cuaternarios al este. El sustrato alpujárride sobre el que se encuentra el travertino, corresponde a mármoles dolomíticos muy caquiritizados. Se trata de la misma formación sobre la que parcialmente

también se encuentran los travertinos de Albuñuelas, Pinos del Valle y Zaza. Los materiales cuaternarios, corresponden a abanicos aluviales directamente relacionados con el sistema travertínico, al encontrarse

éste confinado entre un abanico aluvial suprayacente y otro infrayacente. La litología de estos abanicos corresponde a materiales sueltos o mal cementados, heterométricos y mal redondeados.

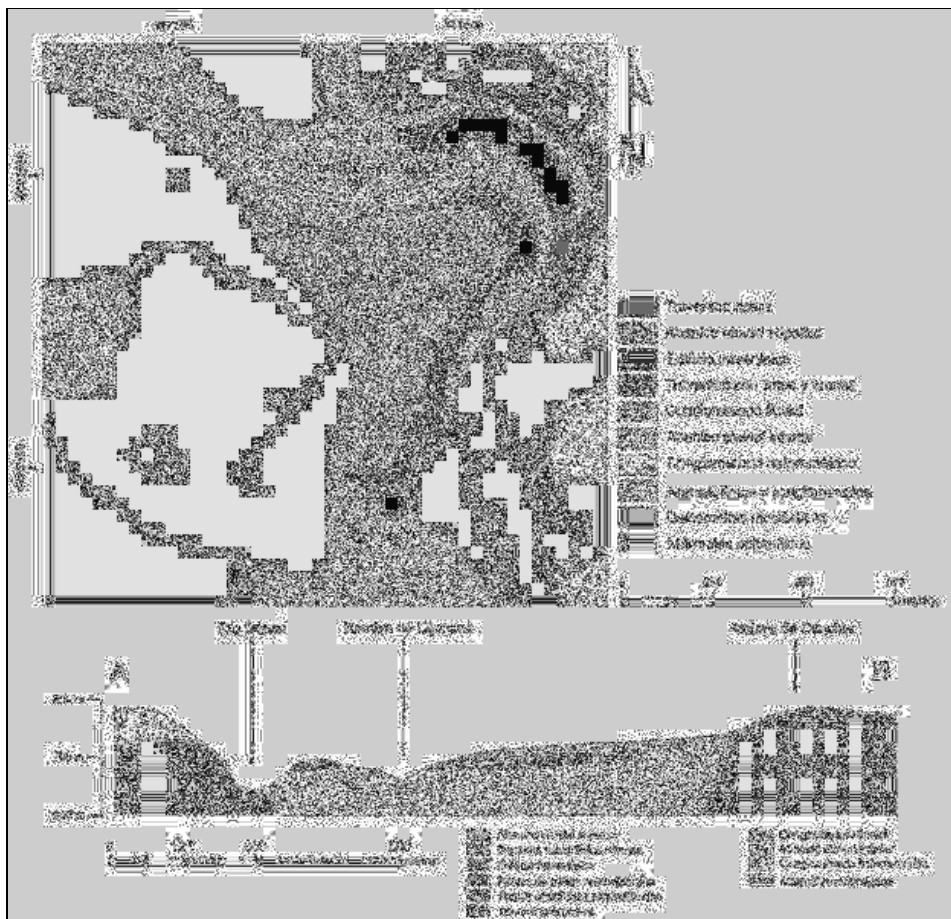


Figura 2 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertínico de Cónchar
Figure 2 Cónchar travertine system mapping and schematic cross-section

El sistema travertínico tiene un aspecto ruinforme y está muy mal conservado. En gran parte debido a la erosión mecánica producida por el abanico superior, y por la meteorización química ya que el travertino esta muy oxidado. La extensión del travertino es superior a la que se puede apreciar en la cartografía debido a que gran parte de éste está cubierto por el abanico aluvial superior.

En su extremo occidental, el sistema travertínico, muy contaminado por terrígenos, es fundamentalmente arenoso. En

la parte más próxima al cauce, aparecen las facies típicas del edificio travertínico. La parte inferior del cuerpo está constituida por facies oncolíticas mezcladas con una grava de cantos calcáreos redondeados, lo que evidencia que se trata de un travertino de valle. Sobre estas facies hay restos vegetales removilizados, fundamentalmente restos de cañas. Las facies superiores son restos vegetales en posición de vida y restos orientados en capas laminares y horizontales. No se aprecian facies en cascada en sentido

estricto, todo indica que han sido erosionadas debido al encajamiento y ensanchamiento del cauce sobre el que se desarrolla el travertino.

En el extremo norte del sistema travertino, aparece un afloramiento aislado, separado del resto del sistema por la rambla de Cijancos, las facies de este afloramiento indican que en origen tenían continuidad con el resto del travertino y que la rambla se ha establecido con posterioridad al depósito del travertino. A lo largo del afloramiento, el río está profundamente encajado, todo esto sugiere una incisión rápida y reciente.

Los depósitos más altos de travertino se encuentran a unos 735 m de altura. La base del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a depositar el travertino, se encuentra a unos 675 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 570 m.

Por último, debido a su interés cartográfico, mencionar dos afloramientos travertínicos en el mismo pueblo de Cónchar, y justo en el cauce del río Dúrcal respectivamente. Se trata de dos afloramientos de travertinos actuales y desvinculados del sistema travertínico descrito. Sus facies evidencian un travertino actual y mejor conservado.

4.2 El sistema travertínico de Saleres

Se encuentra al sur de Saleres (valle de Lecrín) en la llamada fuente o barranco de los Siete Años, al pie de la vertiente norte de la Sierra de los Guájares (Avidad-Castañeda 1978; Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001). Se trata de un conjunto travertínico (figura 3) que, de forma análoga al sistema travertínico de Pinos del Valle, se sitúa en el contacto entre el sustrato alpujárride al sur y los materiales neógenos del relleno de la cuenca de Granada al norte. El sustrato alpujárride sobre el que se encuentra el travertino, corresponde a mármoles dolomíticos, localmente muy caquiritizados. Los materiales neógenos sobre los que se encuentra el travertino corresponden principalmente a arenas

limosas de tonalidad rojiza y amarillenta hacia la base.

El conjunto travertínico se encuentra en la zona donde el relieve se suaviza bruscamente debido a la presencia del mismo sistema travertínico y a un conglomerado muy cementado de cantos carbonatados alpujárrides que corresponde al material del desmantelamiento del relieve. Este cambio en la pendiente del terreno es acusado por una falla de borde que delimita la cuenca neógena del sustrato alpujárride y que se encuentra al sur del sistema travertínico.

Se trata de un sistema travertínico bastante recrystalizado, aunque puntualmente se pueden apreciar sus facies en detalle. Está constituido por un único conjunto o plataforma de pequeñas dimensiones donde de pueden describir dos partes bien diferenciadas. Estas dos partes están físicamente separadas por un arroyo y depósitos coluviales que han erosionado esta parte del cuerpo travertínico. La parte más oriental presenta un aspecto más caótico o masivo, son niveles de travertino, fundamentalmente facies removilizadas, con contaminación terrígena y concreciones carbonatadas. La parte más occidental está mejor formada, presenta restos vegetales en posición de vida en su parte superior, y restos vegetales removilizados y con una estratificación laminar en su parte inferior. Es en esta parte mejor conservada donde se aprecia la acreción progradante en capas del travertino. Igualmente en esta parte occidental, se ha podido describir una formación fluvial (figura 4) de aproximadamente 2.5 m de espesor justo en la base del cuerpo travertínico, lo que evidencia que es un sistema travertínico de valle. Se trata de varias pasadas de gravas calcáreas de cantos bastante redondeados y de matriz arenosa, con niveles de arena intercalados. Se puede apreciar una secuencia general granodecreciente de muro a techo. En el muro se aprecia relleno de paleocanales por el material más grosero, y debajo de éste localmente aflora el sustrato arenoso neógeno. La parte de cabecera del cuerpo travertínico está más cementada y presenta fundamentalmente concreciones

carbonatadas. En esta parte del travertino las gravas infrayacentes están más cementadas.

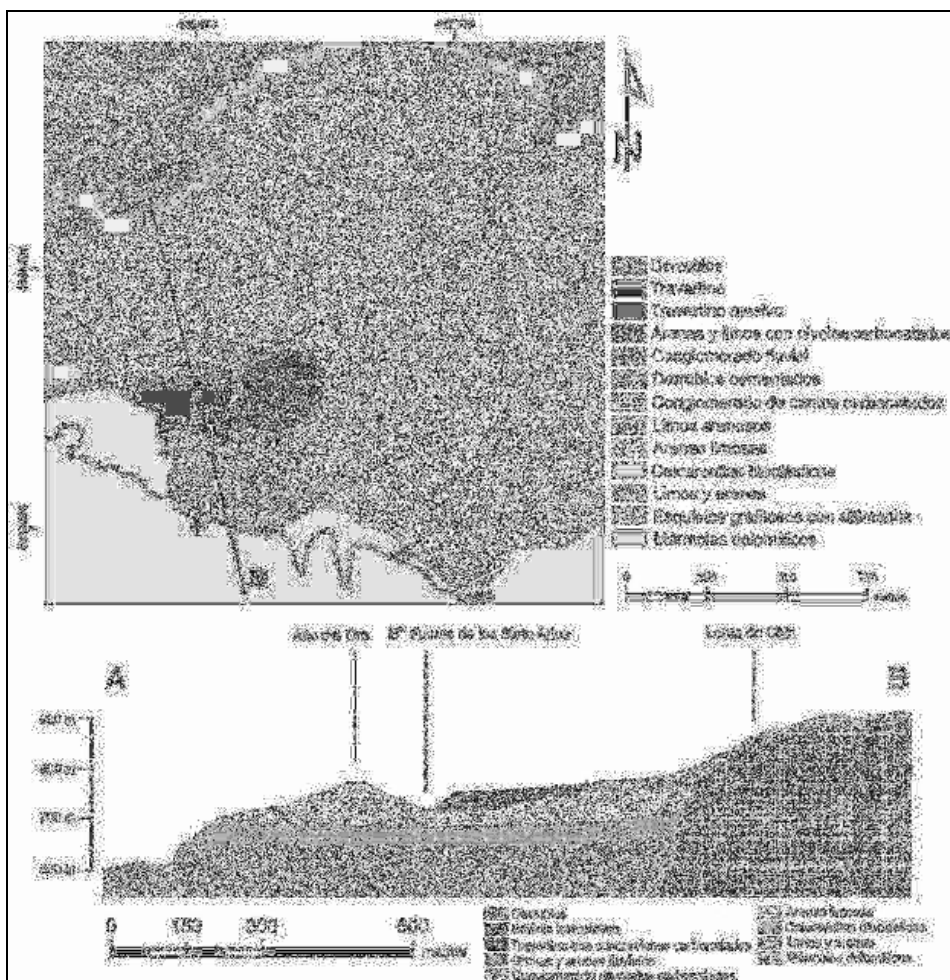


Figura 3 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertino de Saleres
Figure 3 Saleres travertine system mapping and schematic cross-section

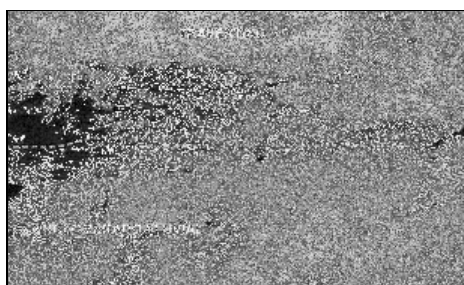


Figura 4 Detalle del travertino de Saleres donde se aprecia el contacto entre el travertino y el conglomerado fluvial
Figure 4 Saleres travertine system. Figure shows the contact between the fluvial conglomerate and travertine

Los depósitos más altos de travertino se encuentran a unos 750 m de altura. La base del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a depositar el travertino, se encuentra a unos 670 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 660 m.

Hacia el este, existe otro afloramiento de travertino aparentemente aislado, y alejado de cualquier afloramiento calcáreo (el aporte de carbonato puede venir del conglomerado calcáreo). Se trata de un conjunto bastante contaminado por terrígenos y muy

meteorizado (muy oxidado). Este conjunto se escapa del estudio, simplemente de deja mención del mismo en este análisis cartográfico.

4.3 El sistema travertínico del barranco de Zaza

Otro de los afloramientos travertínicos del valle de Lecrín es el sistema travertínico del barranco de Zaza (figura 5), el cual se encuentra al pie de la Sierra de los Guájares, en su vertiente sudeste (Avidad-Castañeda 1978; Andreo y Sanz de Galdeano 2001;

Chacón et al. 2001). Está constituido por tres plataformas (conjuntos) o cuerpos escalonados y bien diferenciados. Son cuerpos constituidos por vegetales ramosos en posición de vida en su parte superior, y restos vegetales removilizados, sobre todo cañas, en su parte inferior. Se observa que estos cuerpos travertínicos están sobre una secuencia detrítica que puede alcanzar 6 m de espesor. Entre estas tres plataformas hay un depósito de limos amarillentos con niveles oncolíticos y laminares carbonatados y niveles de lignito.

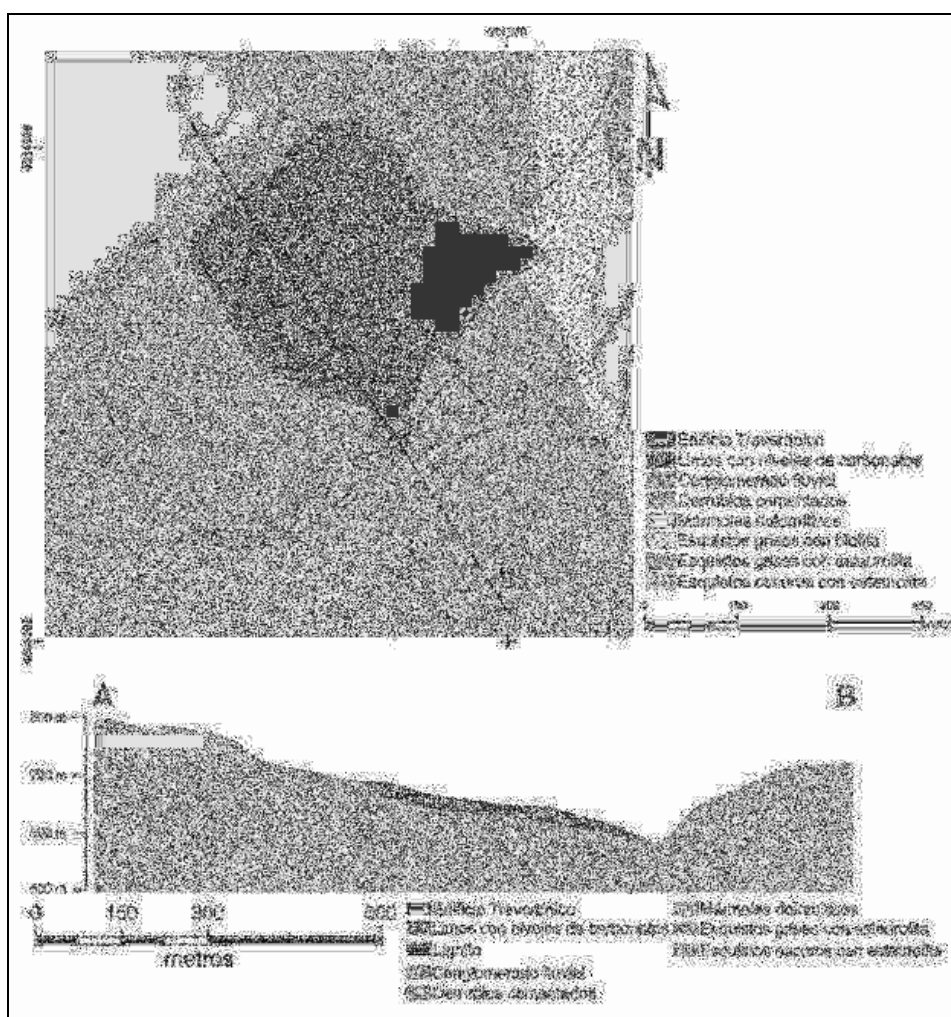


Figura 5 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertínico del Barranco de Zaza
Figure 5 Zaza cliff travertine system mapping and schematic cross-section

Este sistema travertínico se encuentra sobre el contacto entre unos mármoles dolomíticos muy caquiritizados al noroeste, y esquistos grises con estaurólita y cianita infrayacentes a los mármoles, al sudeste (Avidad-Castañeda 1978). Hay afloramientos donde se ve la secuencia constituida por el sustrato, la formación fluvial y el travertino (figura 6). Lateralmente hay una brecha (derrumbios) muy cementada de tonalidad rojiza, correspondiente a depósitos de pie de monte.



Figura 6 Detalle del travertino del barranco de Zaza donde se aprecia el sustrato abajo, el conglomerado fluvial y el travertino arriba
Figure 6 Zaza cliff travertine system. Figure shows the fluvial conglomerate between the substrate and the travertine

En el cuerpo travertínico situado topográficamente más bajo, es donde mejor se ha podido constatar una secuencia detrítica bien desarrollada entre el cuerpo travertínico y el sustrato con lo que claramente éste es un travertino de valle. Bajo el cuerpo travertínico hay una secuencia formada por gravas redondeadas y seleccionadas en una secuencia granocreciente. Localmente, sobre estas gravas hay una alternancia detrítica formada

por gravas y limos arenosos con concreciones carbonatadas.

Los depósitos más altos de travertino se encuentran a unos 680 m de altura, y corresponden a la plataforma superior, los depósitos más altos de la plataforma inferior se encuentran a unos 600 m. La base del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a depositar el travertino, se encuentra a unos 570 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 550 m.

4.4 El sistema travertínico de Pinos del Valle

Aún en el valle de Lecrín, se encuentra el sistema travertínico de Pinos del Valle (figura 7), al pie de la vertiente norte de la Sierra de los Guájares (Avidad-Castañeda 1978; Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001). El sistema travertínico está constituido por al menos tres cuerpos o conjuntos a diferentes niveles. El cuerpo situado topográficamente más alto es el más antiguo, se trata de un cuerpo travertínico bastante recrystalizado dando el aspecto de una caliza o dolomía. Es en este nivel sobre el que se encuentra el núcleo urbano de Pinos del Valle. Restos de este travertino antiguo se encuentran a modo de cerro testigo por el entorno. Debajo de este travertino antiguo aparece un nivel de conglomerado heterométrico muy cementado.

Desde el punto de vista geológico el sistema travertínico se encuentra en el contacto entre el sustrato Alpujárride al sur-sudeste y los materiales neógenos del relleno de la cuenca de Granada al norte-noroeste. El sustrato Alpujárride sobre el que se encuentra el travertino, corresponde a mármoles dolomíticos, localmente muy caquiritizados y esquistos grises con estaurólita y biotita infrayacentes a estos mármoles (Avidad-Castañeda 1978). Los materiales neógenos sobre los que se encuentra el travertino corresponden principalmente a arenas limosas de tonalidad rojiza y amarillenta hacia la base, y niveles de calcarenitas bioclásticas.

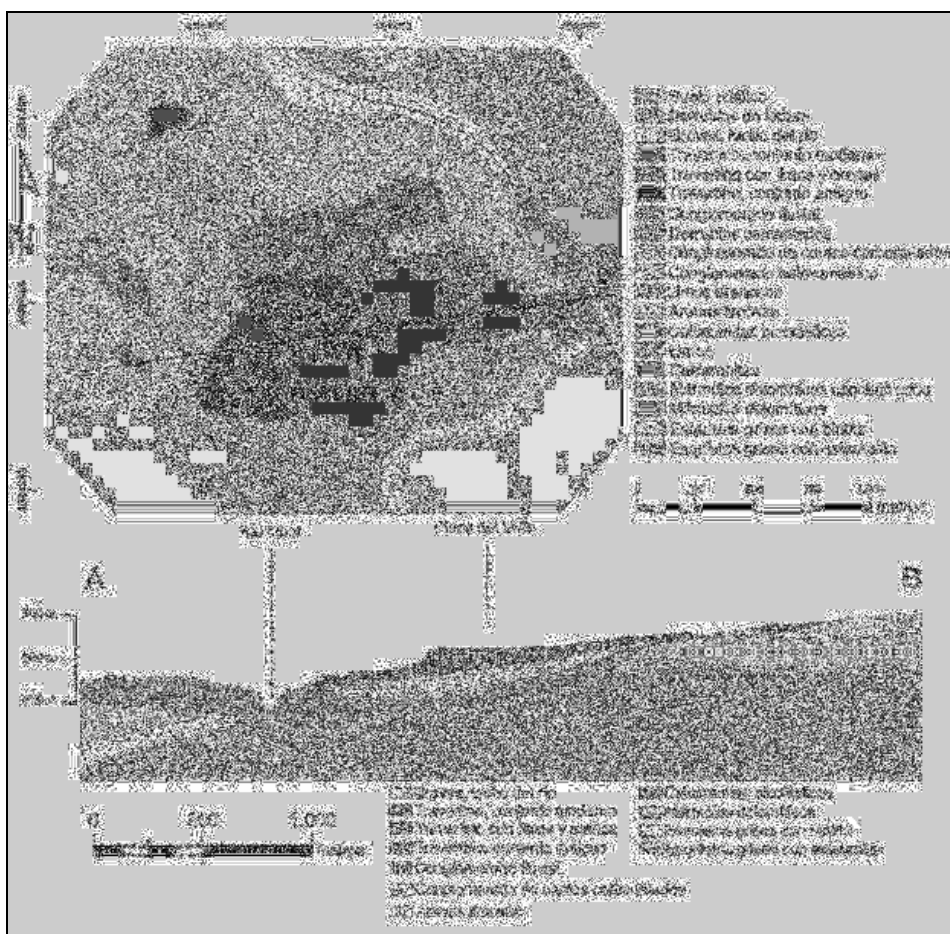


Figura 7 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertínico de Pinos del Valle
Figure 7 Pinos del Valle travertine system mapping and schematic cross-section

Aparece un afloramiento del sistema travertínico, aparentemente aislado, en el extremo suroeste del sistema. Se trata de un conjunto situado sobre unos conglomerados de cantos calcáreos de poca potencia, es el afloramiento más meridional encontrado. En este cuerpo se aprecia una parte superior constituida por restos vegetales en posición de vida y una inferior de restos vegetales removilizados, no se aprecian las facies de crecimiento del travertino, probablemente por su erosión. Entre el conglomerado calcáreo y el travertino hay un pequeño nivel de unas gravas fluviales.

En el cuerpo principal del sistema travertínico se puede diferenciar un nivel de

travertino más poroso y tonalidad blanquecina, y otras infrayacentes menos porosas, de travertino más cristalizado tonalidad más oscura. Este último corresponde a un conjunto travertínico más antiguo. En el cuerpo travertínico más blanquecino y moderno, dominan facies en cascada en la parte superior, donde se ve claramente el crecimiento progradante del travertino (figura 8), y unas facies de travertino con mucha contaminación terrígena, de limos y arenas, que tienen una disposición laminar horizontal. La base de este cuerpo es un nivel de conglomerados fluviales de cantos redondeados y matriz arenoso-limosa, bajo el cual se encuentra las

arenas limosas neógenas de la depresión de granada. Este conglomerado evidencia que el sistema travertínico es de valle y no de fuente.

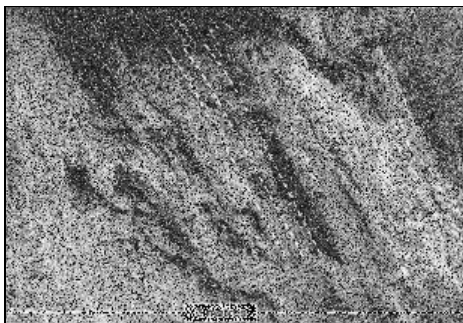


Figura 8 Detalle del sistema travertínico de Pinos del Valle, donde se puede apreciar las facies progradantes del depósito de travertino

Figure 8 Pinos de Valle travertine system. Figure shows the prograding facies

El cuerpo travertínico más bajo desde el punto de vista topográfico, es el más septentrional, al ser el más reciente, es donde mejor se puede apreciar el conglomerado fluvial basal, constituido por unas gravas de cantos esquistosos y carbonatados donde se puede apreciar dirección de paleocorrientes.

Los depósitos más altos de travertino se encuentran casi a 700 m de altura, si bien el cuerpo principal se encuentra a unos 600 m. La base del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a depositar el travertino, se encuentra a unos 450 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 350 m.

4.5 El sistema travertínico de Lanjarón

El sistema travertínico de Lanjarón (figura 9) se encuentra en la estribación sur-occidental de Sierra Nevada, fuera ya de la cuenca de Granada, y su origen está relacionado con las aguas que surgen en el mismo Lanjarón (Aldaya, 1979; Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001). Se sitúa sobre el contacto entre los dos complejos metamórficos que constituyen

Sierra Nevada: el complejo Nevado Filábride al norte, y el complejo Alpujárride al sur. Los materiales nevado-filábrides sobre los que se encuentra el travertino corresponden a micaesquistos epidóticos de tonalidad grisácea y rojiza. Los materiales Alpujárrides sobre los que se encuentra el travertino corresponden a filitas de tonalidad azulada con niveles de calcoesquistos. Sobre estas filitas hay afloramientos de mármoles calizos y dolomíticos que contactan lateralmente con el sistema travertínico (Aldaya 1979).

La principal característica del sistema travertínico de Lanjarón, es su tonalidad anaranjada, especialmente en su parte más alejada del cauce, debido a la gran cantidad de hierro disuelto en el agua que ha circulado por el travertino. Entre el sustrato de micaesquistos y filitas, y el sistema travertínico hay una formación fluvial bien diferenciada, que puede llegar a los tres m de espesor, e indica claramente que se trata de un travertino de valle.

La secuencia entre el sustrato y el sistema travertínico está constituida por gravas de cantos redondeados de naturaleza esquistosa, matriz arenosa y tonalidad grisácea. Sobre estas gravas hay un nivel de limos arenosos de tonalidad gris oscuro, de aspecto lignitoso, constituyen prácticamente un nivel de turba. Sobre estos limos grises se encuentra el travertino, la transición entre los limos y el travertino es gradual, de forma que en el contacto se ven alternancias entre niveles de limos y travertino. Las gravas y limos no se ven en ningún otro sitio, sólo debajo del travertino.

El travertino presenta un aspecto laminado con restos vegetales removilizados en la parte más alejada del cauce, y facies en casada, con restos vegetales en posición de vida, donde se aprecia el crecimiento del travertino, hacia la parte más próxima al cauce. En esta zona, donde finaliza el travertino, se aprecia la transición entre el sustrato, la formación fluvial y el travertino. La zona del núcleo urbano de Lanjarón no se aprecia con nitidez, por las viviendas y por la presencia de una formación coluvial sobre el travertino

Los depósitos más altos de travertino se encuentran a unos 600 m de altura. La base

del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a

depositar el travertino, se encuentra a unos 434 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 420 m.

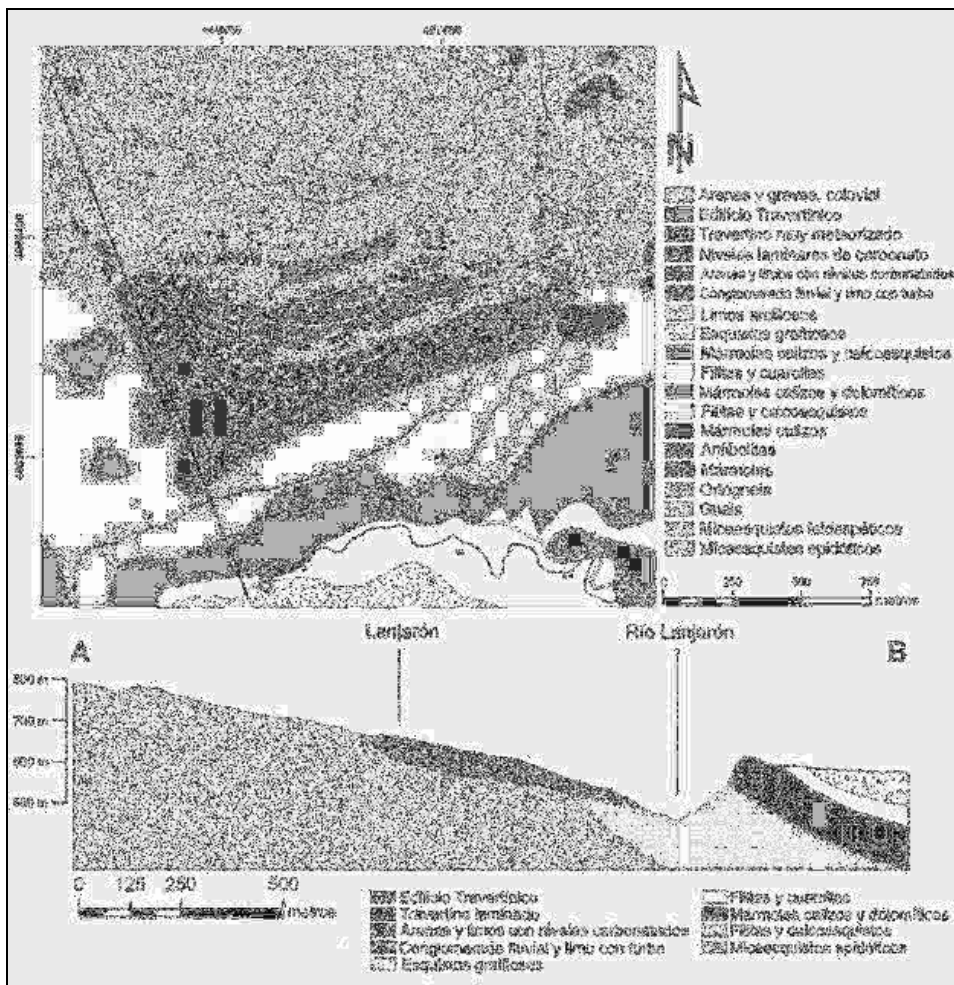


Figura 9 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertino de Lanjarón
 Figure 9 Lanjarón travertine system mapping and schematic cross-section

4.6 El sistema travertino de Vélez de Benaudalla

Casi en la desembocadura del río Guadalfeo, se encuentra el sistema travertino de Vélez de Benaudalla (figuras 10 y 11), ligado a surgencias de la Sierra de Lújar, en su extremo occidental. Se trata de dos plataformas o conjuntos travertínicos de diferente edad, situados a dos niveles

respectivamente (Aldaya 1979; Andreo y Sanz de Galdeano 2001; Chacón et al. 2001). El conjunto situado al norte, está a una cota superior y su conservación evidencia que es más antiguo que el conjunto situado al sur. Si bien entre los dos conjuntos o plataformas hay continuidad lateral por lo que se puede considerar un único sistema travertino.

El cuerpo situado al norte se encuentra estratigráficamente sobre filitas de tonalidad gris-azulada, con niveles de cuarcitas

intercalados. Este cuerpo travertínico presenta unas facies típicas de estratificación horizontal y laminar, si bien no son facies muy evidentes ya que el cuerpo travertínico

está bastante recrystalizado, dando el aspecto de una caliza lacustre. Entre el travertino y las filitas hay un nivel de un conglomerado fluvial de matriz arenosa de unos 80 cm.

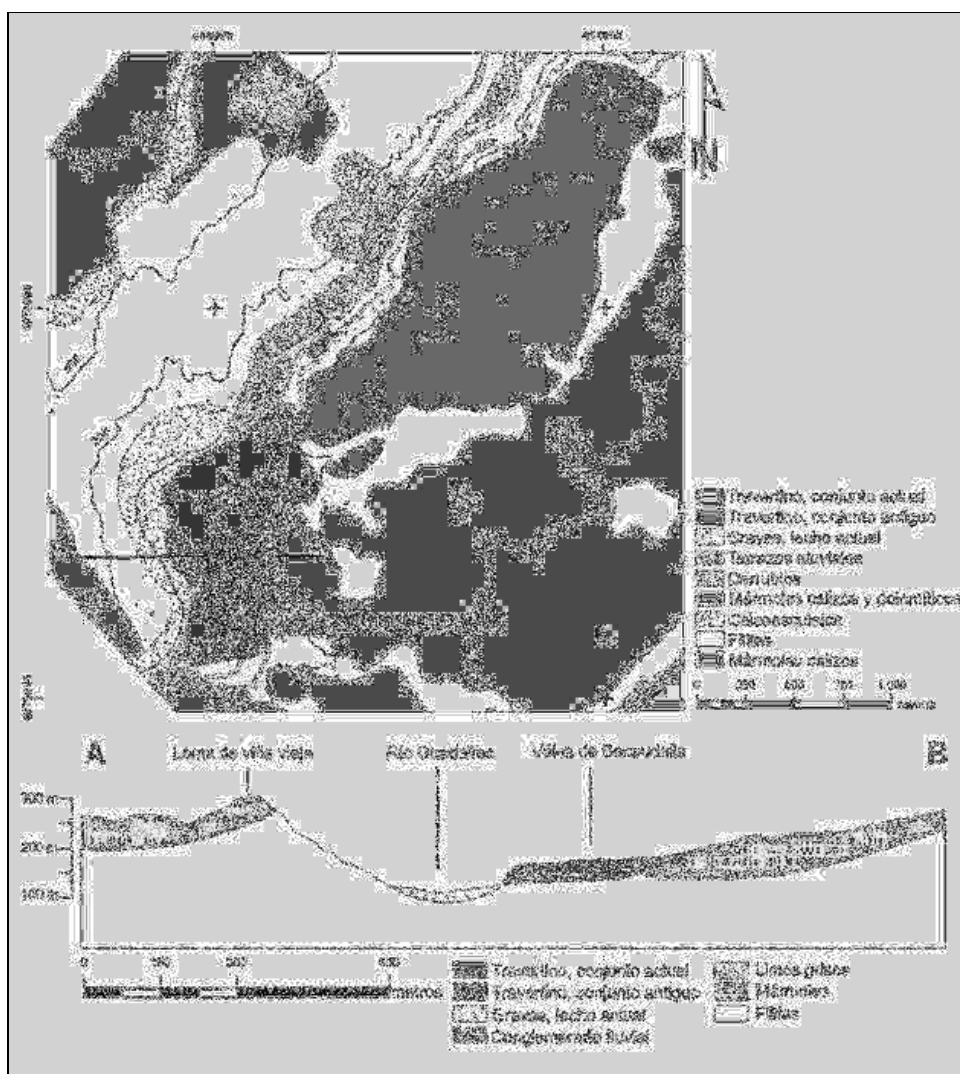


Figura 10 Cartografía y sección esquemática transversal del sistema travertínico de Vélez de Benaudalla
Figure 10 Vélez de Benaudalla travertine system mapping and schematic cross-section

El conjunto travertínico situado al sur (figuras 10 y 11) es más moderno y sus facies se distinguen mejor. Sobre este travertino se encuentra el pueblo de Vélez de Benaudalla. Este cuerpo travertínico se encuentra en el contacto entre mármoles al este y filitas al oeste. Las filitas corresponden a la misma

formación sobre la que se encuentra el travertino que aflora al norte. Los mármoles, son una formación de mármoles calizos y dolomíticos bastante recrystalizados con niveles de calcoquistos en la base. Estos mármoles se sitúan sobre las filitas y forman parte del mismo manto metamórfico. El

cuerpo travertínico presenta facies en cascada con restos vegetales en posición de vida en su parte superior, y unas facies laminares con restos vegetales removilizados en su parte inferior. Entre el travertino y la formación metamórfica inferior hay un conglomerado fluvial homométrico con una matriz limosa, de tonalidad grisácea y cantos carbonatados. Este conglomerado aflora en el mismo pueblo de Vélez de Benaudalla debajo del travertino. Localmente hay niveles limosos sobre el conglomerado citado. Las facies descritas y la presencia del conglomerado evidencian que se trata de un travertino de valle.



Figura 11 Vista de campo del sistema travertínico de Vélez de Benaudalla, donde se puede apreciar las posiciones relativas del cauce, el travertino y el sustrato

Figure 11 Velez de Benaudalla travertine system field view. Figure shows channel, travertine and substrate relationships

Los niveles superiores del sistema travertínico de Vélez de Benaudalla se encuentran a unos 310 m y 150 m de altura, para la plataforma superior e inferior respectivamente. La base del travertino, donde se puede describir el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del río en el momento que se empezó a depositar el travertino, se encuentra a unos 130 m, mientras que la base actual del cauce se encuentra a unos 110 m.

5. Discusión y Conclusiones

El escalonamiento de los travertinos de valle refleja la excavación de los valles y permite establecer una cronología relativa entre los depósitos. Un travertino de valle queda evidenciado por una riqueza de facies con intercalaciones de niveles más o menos

terrígenas. La base de todo travertino de valle está constituida por niveles detríticos más o menos gruesos con un desarrollo progresivo hacia el techo de la sedimentación carbonatada.

El análisis de las facies y las secuencias sedimentarias de los sistemas travertínicos de valle proporciona información, entre otros aspectos, sobre la evolución del relieve. Los depósitos travertínicos son susceptibles de datación aunque, muy a menudo la contaminación de las muestras no permite obtener resultados fiables. Sin bien los sistemas travertínicos se pueden correlacionar con otros tipos de formaciones sedimentarias o con elementos morfológicos del paisaje en el cual se inscriben.

Los 6 sistemas travertínicos presentados en este estudio corresponden a sistemas travertínicos de valle. En todos ellos se ha podido constatar la presencia de un conglomerado fluvial que así lo atestigua. En todos los casos, en mayor o menos media, la base actual del cauce relacionado con el travertino está a una cota inferior a la se encuentra el conglomerado fluvial que marca el nivel de base del cauce en el momento en que se inició el depósito de travertino, lo que revela un encajamiento del cauce. Por otra parte, el estado de conservación de los diferentes sistemas travertínicos cartografiados, evidenciado por el análisis de sus facies, indica la diferente edad relativa de los depósitos. La diferente edad de los depósitos y los diferentes valores de encajamiento del cauce son indicativos de la evolución del relieve en el margen meridional de Sierra Nevada.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto de investigación del MEC: CGL2005-03332-BTE, por el proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía: P06-RNM-02125, y por el Grupo de investigaciones medioambientales: Riesgos Geológicos e Ingeniería del Terreno, RNM-121. Se agradece a Juan Jiménez Pintor la colaboración prestada en los itinerarios de campo.

Referencias

- Aldaya F, Martínez-García D, Díaz de Federico A, Puga E, García-Dueñas V, Navarro-Vilá F (1979) *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1042 (Lanjarón)*. IGME, Madrid.

- Andreo B, Sanz de Galdeano C (2001) *Afloramientos de Travertinos en la Cuenca de Granada*. In: Sanz de Galdeano C, Peláez Montilla JA, López Garrido AC (eds.) *La Cuenca de Granada*. CSIC-Universidad de Granada, Granada, 20-21.
- Avidad Castañeda J, García-Dueñas V, González Donoso JM, Gallegos JA (1978) *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1041 (Dúrcal)*. IGME, Madrid.
- Bakalowicz M (1988) *La formation des travertins: aspects géochimiques, essai de synthèse et discussion*. Travaux de l'URA 903 du CNRS 17, 261-268.
- Braga JC, Martín JM, Alcalá B (1990) *Coral reefs in coarse-terrigenous sedimentary environments (Upper Tortonian, Granada Basin, southern Spain)*. *Sedimentary Geology* 66, 135-150.
- Casanova J (1986) *Les stromatolites continentaux: paléoécologie, paléohydrologie, paléoclimatologie. Application au Rift Gregory*. Thèse Etat, Sciences, Aix-Marseille III, 256 p.
- Chacón J, El Hamdouni R, Irigaray C, Delgado A, Fernández T, García AF, Juliá R, Sanz de Galdeano C, Keller EA (2000) *Rates of bedrock stream incision along the SW front of the Sierra Nevada, near Granada, Spain*. *Geophysical Research Abstracts* 2, NH7.04.
- Chacón J, El Hamdouni R, Irigaray C, Delgado A, Reyes E, Fernández T, García AF, Juliá R, Sanz de Galdeano C, Keller EA (2001) *Valores de encajamiento de la red fluvial deducidos a partir del estudio de Travertinos del Valle de Lecrín y curso bajo del Guadalfeo (SO de Sierra Nevada, Granada)*. In: Sanz de Galdeano C, Peláez Montilla JA, López Garrido AC (eds.) *La Cuenca de Granada*. CSIC-Universidad de Granada, Granada, 29-39.
- Chafetz H, Folk RL (1984) *Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents*. *Journal of Sedimentary Petrology* 54, 289-316.
- El Hamdouni R, Irigaray C, Fernández T, Sanz de Galdeano C, Chacón J (2000) *Active tectonics as a factor of mass movement. A case study*. *Geophysical Research Abstracts* 2, NH7.04.
- García AF, Keller EA, Sanz de Galdeano C, Chadwick OA, El Hamdouni R, Chacón J (1998) *Field evidence for Quaternary Epeirogeny and extensional deformation in the internal zone of the Betic Cordillera, Spain*. *Geological Society of America* 30/5, 15.
- Guo L, Riding R (1998) *Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy*. *Sedimentology* 45, 163-180.
- Juliá R (1983) *Travertines*. In: Scholle PA, Bebout DG, Moore CH (eds.) *Carbonate Depositional Environments*. American Association of Petroleum Geologists 33, 347-362.
- Magnin F, Guendon JL, Vaudour J, Martín P (1991) *Les travertins: accumulations carbonatées associées aux systèmes karstiques, séquences sédimentaires et paléoenvironnements quaternaires*. *Bull. Soc. Géol. France* 162, 585-594.
- Martin Ph (1988) *Conséquences du fonctionnement et de l'évolution des aquifères carbonatés sur les contructions travertineuses*. Travaux de l'URA 903 du CNRS 17, 193-200.
- Martín-Algarra A, Martín-Martín M, Andreo B, Juliá R, González-Gómez C (2003) *Sedimentary patterns in perched spring travertines near Granada (Spain) as indicators of the paleohydrological and paleoclimatological evolution of a karst massif*. *Sedimentary Geology* 161, 217-228.
- Pentecost A (1995) *The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor*. *Quaternary Science Review* 14, 1005-1028.
- Sanz de Galdeano C, El Hamdouni R, Chacón J (1998) *Neotectónica de la fosa del Padul y del Valle de Lecrín*. In: Gómez Ortiz A, Salvador Franch F, Schulte L, García Navarro A (eds.) *Itinerarios geomorfológicos por Andalucía Oriental*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 65-81.
- Tinkler KJ, Wohl EE (1998) *River over Rocks: Fluvial Processes in Bedrock Channels*. *Geophysical Monograph* 107, 1-18.
- Valero-Garcés BL, Arenas C, Delgado-Huertas A (2001) *Depositional environments of Quaternary lacustrine travertines and stromatolites from high-altitude Andean lakes, north-western Argentina*. *Can. J. Earth Sci.* 38, 1263-1283.
- Vaudour J (1986) *Introduction à l'étude des édifices travertineux holocènes*. *Méditerranée* 1-2, 3-10.

