

Depósitos travertínicos de Alicún (Depresión de Guadix, Granada: S España)

J.L. Díaz Hernández (*), M. Martín (**), R. Julia (***)

* Centro de Investigaciones Agrarias, Junta de Andalucía, C. de Purchil s/n, 18080 Granada.

** Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias, 18071 Granada; Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, AP-99, E-03080 Alicante.

*** Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC, C. Martí y Franqués s/n, 08028 Barcelona.

ABSTRACT

Travertine deposits associated with the Alicún de las Torres hydrothermal springs (S Spain) show two types of architecture based on their morphology: travertine platforms and travertine canals. The travertine platforms were dated by means of U-series disequilibrium. The time ranges for each platform are: from $144,000 \pm 5238$ to $115,437 \pm 615$ y.B.P. for the upper; from $87,798 \pm 3421$ to $48,681 \pm 1627$ y.B.P. for the lower, and from $32,605 \pm 809$ to $32,300 \pm 679$ y.B.P. for the middle platform. On the other hand, two ancient travertine canals are dated by means of AMS-Radiocarbon providing ages from 3660 ± 40 yr B.P. and 2660 ± 60 yr B.P. respectively. The travertine age bearings with the isotopic curve is discussed.

KEY WORDS: travertines, radiometric dating, climatic evolution, Southern Spain.

Geogaceta, 28 (2000), 35-38
ISSN: 0213683X

Introducción

El depósito de travertinos está ligado a factores medioambientales que afectan a la físico-química de la precipitación del carbonato cálcico. Se observa, y es aceptado en líneas generales, que bajo clima cálido los travertinos presentan mayor desarrollo que bajo clima frío. Este sencillo esquema facilita la reconstrucción paleoclimática, una vez que se obtienen dataciones contrastadas; al mismo tiempo permite obtener la secuencia de procesos que definen la evolución geomorfológica de una región. Sin embargo, pueden existir matizaciones no despreciables que requieren considerar las condiciones particulares de formación de cada caso.

Sobre este particular hay abundantes precedentes: desde los que establecen sus condiciones de formación (Casanova, 1981; Juliá, 1983; Chafetz and Folk, 1984), a los que profundizan en aspectos cronológicos, bien contrastando datos arqueológicos con la evolución geomorfológica de la región (Pécsi, 1973; Schwarcz, 1980), bien investigando en métodos de datación radiométrica (Pazdur and Pazdur, 1986; Hennig *et al.*, 1983). Otros trabajos consideran los momentos más idóneos de formación durante el Cuaternario (Hennig *et al.*, 1983). En el ámbito mediterráneo Livnat and Kornfeld (1985) y Kornfeld *et al.* (1988) estudiaron algunas importantes masas de travertinos de

Israel, que presentan ciertas afinidades con los expuestos en este trabajo; es interesante indicar la polémica entre Horowitz y Livnat and Kornfeld (1987) suscitada por el papel de la tectónica en la formación de estos travertinos.

Los trabajos de Durán *et al.* (1988) y de Baena Escudero y Díaz del Olmo (1989) presentan una visión general de estos y otros depósitos de carbonatos Cuaternarios del Sur de España. Más concretamente en la Depresión de Guadix-Baza, Vera (1970) y Peña (1985) hicieron breves referencias de este tipo de formaciones, y Cruz-Sanjulián *et al.* (1972) indicaron la relación entre manantiales hidrotermales y formación de travertinos dentro de esta depresión.

En esta nota se proporcionan datos radiométricos de los travertinos de Alicún (Depresión de Guadix, SE de España; Fig. 1), una vez establecida su estructuración. Esto permitirá correlacionar sus momentos de formación con la curva isotópica para obtener información climática de la región.

Descripción del área

El área de estudio se localiza al Norte de Sierra Nevada, en los alrededores del Balneario de Alicún de las Torres, en la margen derecha del Río Fardes, principal eje de drenaje de la Depresión de Guadix (fig. 1A y B). El clima actual es medite-

rráneo semiárido, con precipitaciones medias anuales del orden de 300 mm (M.A.P.A., 1989).

La secuencia de travertinos se sitúa en el borde NE de la Depresión de Guadix, cuenca intramontañosa rellena de sedimentos Neógenos y Cuaternarios (Vera, 1970; Peña, 1985). Estos rellenos se encuentran coronados por un caliche relacionado con diversos episodios de suelos y de sistemas aluviales, y ocupan posiciones geomorfológicas relacionadas con sistemas de glaciares. La red de drenaje se encaja a partir de esta superficie endurecida, y disecta los rellenos de la depresión, en los que modela algunas terrazas aluviales mal conservadas, y se depositan algunos travertinos.

Los manantiales hidrotermales que se relacionan con los travertinos se localizan en las proximidades del balneario, a 780 m.s.n.m., y están asociados a un contacto tectónico entre las calizas mesozoicas y los depósitos margosos terciarios (fig. 1B). El manantial de mayor caudal tiene 50 l/seg., y la descarga total de los manantiales es de unos 150 l/seg., de acuerdo con los datos facilitados por la gerencia del balneario. Todos estos manantiales son hipertermales (Schoeller, 1962; Cruz-Sanjulián *et al.*, 1975) con escasas variaciones en el caudal y la temperatura (34°C).

En el área de Alicún también hay diversos yacimientos arqueológicos: las construcciones más notables son los mo-

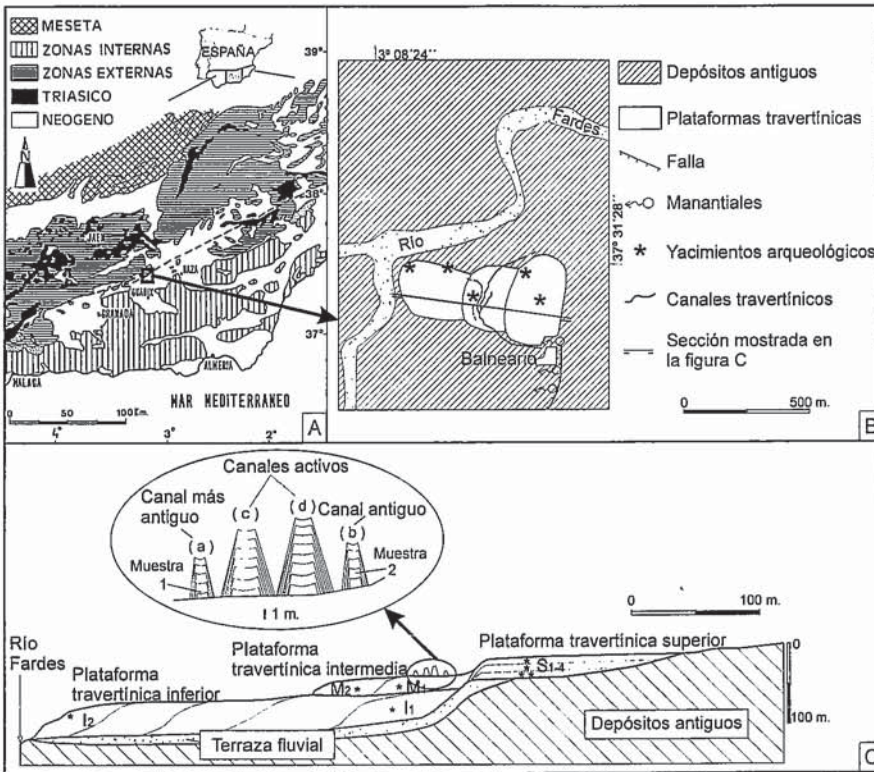


Figura 1: A.- Localización geográfica y geológica del área de estudio. B. Esquema cartográfico de las plataformas travertínicas. C.- Corte geológico mostrando la morfología interna de las plataformas travertínicas y de los canales.

Figure 1: A.- Geographic and geologic location of the study area. B.- Cartographic sketch of the travertine platform. C.- Geologic section showing the internal morphology of the travertine platform and canals.

numerosos megalíticos que existen sobre las diferentes plataformas travertínicas; además se han encontrado artefactos arqueológicos en los abrigos excavados en los travertinos (Covarrones, Peñón de la Acequia y Peñón Grande: Fig. 1B). Dicho registro prehistórico fue estudiado inicialmente por Siret (1913) y por Leisner y Leisner (1943), que consideran que estos monumentos constituyen un grupo específico dentro de las necrópolis megalíticas del SE de España. Posteriormente, los trabajos de Casas-Morales (1949, 1950) describen evidencias encontradas en estos yacimientos, y los atribuyen al Calcolítico y Paleolítico.

Depósitos de travertinos

De acuerdo a su geometría, se pueden diferenciar dos tipos de depósitos travertínicos: las plataformas travertínicas y los canales de travertino (Fig. 1B y C). Actualmente, las plataformas travertínicas no son activas y se erosionan, y sólo es operativo un canal. Localmente, asociados a los cursos de agua, muy antropizados, se forman pequeñas cantidades de travertino.

Plataformas travertínicas. Estos depósitos, localizados por encima del actual cauce del río, tienen morfología escalonada en tres plataformas (Fig. 1C) y tapizan la morfología creada tras el encajamiento de la red fluvial. La plataforma superior, situada a 800 m.s.n.m., transiciona ladera abajo hacia la plataforma inferior, sustentando ésta última a la plataforma intermedia. La plataforma inferior desciende hasta el cauce del Río Fardes situado a 700 m.s.n.m.. Sus características son las siguientes:

- a) La plataforma superior, de 20 m de espesor, se estructura en su parte proximal en tres estratos compactos de facies estratificadas muy masivas, cuyos espesores se reducen hacia el techo, sugiriendo que la columna de agua disminuye en el tiempo. La parte distal de esta plataforma muestra una transición a sedimentación de tipo *dam* (o *cascade*).
- b) La plataforma travertínica intermedia se depositó en su totalidad sobre la inferior. Tiene un espesor de 20 m y presenta diversas intercalaciones detríticas cementadas.
- c) La plataforma inferior es la mayor: presenta un espesor próximo a 50 m, y cu-

bre una terraza fluvial situada unos 10 m sobre el Río Fardes.

Las dos últimas plataformas tienen una morfología sigmoidal característica de depósitos progradantes tipo *dam*.

Los travertinos de Alicún contienen gran variedad de microfacies: en áreas someras predominan microfacies oncolíticas, priapolíticas y algales, mientras que en los depósitos *dams* se forman microfacies de diferentes tipos de musgos, de algas estromatolíticas, de plantas superiores y de gasterópodos. Estos últimos depósitos se localizan en las cascadas, aguas abajo de la plataforma superior. Los depósitos tipo *pool* (o *retenue*) se localizan en la plataforma superior, en el área inundada antes de la cascada.

El crecimiento de los travertinos se produce por acreción. En ambientes someros, la acreción vertical forma cuerpos con megaestratificación horizontal. En el ambiente de las cascadas los edificios travertínicos crecen horizontalmente, por acreción distal de cuerpos con morfología sigmoidal.

Canales (Fig. 1B y C). Sobre la plataforma intermedia se han construido canales por acreción de láminas de travertino, que muestran diferentes grados de conservación y altitudes. Estos canales están caracterizados por la elevada relación altura/anchura y su forma serpeante. Hoy, parte del caudal de los manantiales se canaliza por un canal. Este canal, de 15 m de altura y 4 m de anchura en su base, transporta el agua en un recorrido de 750 m para ser usada actualmente con fines agrícolas. Un segundo canal, 2 m más bajo que el anterior, recibe agua ocasionalmente que se usa para idéntico fin. Paralelos a estos canales activos se pueden reconocer segmentos de dos canales inactivos (Fig. 1c): todos ellos muestran las mismas características morfológicas que los canales activos, pero tienen alturas inferiores. Tales canales fueron descritos como canales *self-built* (autoconstruidos) en Pamukale (Turquía) por Altunel y Hancock (1993) o como *stone snakes* (serpientes de piedra) en el valle de Tehuacán (Méjico) por Wisbourough *et al.* (1996).

Los canales activos requieren cuidados permanentes debido a los procesos de incrustación relacionados con la degasificación del agua (pérdida del CO₂) como consecuencia del descenso de la temperatura del agua. La vegetación crece en la parte alta del canal de travertino, por donde fluye el agua, y es retirada manualmente; también se desarrolla la vegeta-

ción en las paredes de los canales de travertino. En ambos casos se originan procesos de incrustación natural, de esta forma el canal crece en altura y anchura, mostrando una sección trapezoidal (Figura 1C). Estos hechos sugieren que los canales sólo pueden existir si se procura un cuidado permanente.

Geocronología

Se recogieron muestras de los sedimentos de travertino de las tres plataformas, de los canales fósiles y de las aguas de los manantiales para efectuar la datación por disequilibrios de las series de uranio usando espectrometría alfa según la metodología propuesta por Bishoff *et al.* (1988). Éstas aparecen recogidas en la Tabla 1 y situadas en la Figura 1C.

En las *plataformas travertínicas* se obtuvieron cuatro muestras de la plataforma travertínica superior que de abajo a arriba proporcionaron las siguientes edades (muestras S_1 a S_4): la muestra inferior (S_1), registró una datación de 129, 532 \pm 4500 a.B.P., la muestra siguiente (S_2) proporcionó una datación de 144,000 \pm 5200 a.B.P. Las muestras S_3 y S_4 , separadas 30 cm, presentaban cierta contaminación con ^{232}Th , que al eliminarla con la técnica de la isocrona de Bischoff and Fitzpatrick (1991), proporcionó una edad de 115,000 \pm 610 a.B.P. La plataforma inferior se pudo datar con la muestra I_1 en 87,798 \pm 3421 a.B.P., en su zona proximal y con la I_2 en 48,681 \pm 1600 a.B.P., en su parte distal. La plataforma travertínica intermedia se dató de acuerdo a dos muestras (M_1 y M_2), que arrojaron valores similares: 32,600 \pm 800 a.B.P. y 32,300 \pm 600 a.B.P.

De los cuatro *canales* se dataron los más antiguos por entenderse que los dos restantes eran actuales. Éstos fueron datados, dada su juventud, aplicando a un concentrado de polen presente en los canales, la técnica de AMS-Radiocarbon, siguiendo la metodología de Talma and Voguel (1993). El canal más antiguo (C1) suministró una edad de 3660 \pm 40 a.B.P., mientras que el restante (C2) fue datado en 2660 \pm 60 a.B.P.

Discusión

Los travertinos de Alicún muestran numerosas discontinuidades: como límites principales encontramos su disposición en tres cuerpos separables (plataformas), pero a su vez estos cuerpos principales presentan clinofórmulas limitadas por discontinuidades menores que responden a sus mecanismos de formación, que en el

MUESTRA	TERRAZA	EDAD a BP	ERROR
S1	SUPERIOR	129532	4500
S2	SUPERIOR	144000	5200
S3	SUPERIOR	115000	610
S4	SUPERIOR	115000	610
I1	INFERIOR	87798	3421
I2	INFERIOR	48681	1600
M1	INTERMEDIA	32600	800
M2	INTERMEDIA	32300	600
C1	CANAL	3660	40
C2	CANAL	2660	60

Tabla 1: Dataciones radiométricas de los travertinos estudiados.

Table 1: Radiometric dating from the studied travertines.

caso de la plataforma superior es por acreción, y en el caso de la inferior e intermedia por progradación. Incluso los canales siguen el mismo patrón: crecen por acreción, pero su formación no ha sido constante. De este modo se pone de manifiesto que su formación tuvo un carácter pulsante.

Si comparamos las edades obtenidas con la curva isotópica obtenemos que las etapas de formación de los travertinos de Alicún se correlacionan con los siguientes estadios isotópicos: plataforma superior (144,000-115,000 a.B.P.) con la base del estadio isotópico 5; plataforma inferior (87,000-48,000 a.B.P.) con la parte alta del 5, el 4 y la base del 3; plataforma intermedia (32,000 a.B.P.) con la parte alta del estadio 3. Por su parte, los canales (3600 a.B.P.-actualidad) se formaron dentro del estadio 1.

Todos estos estadios se corresponden con períodos interglaciares, es decir, con períodos de climas templados a excepción del estadio 4 y 3, período en el que se formaron parte de la plataforma inferior y la intermedia. Tres causas pudieron actuar conjuntamente en mayor o menor grado:

a) Los manantiales termales con los que se vinculan los travertinos de Alicún inducen un entorno que presenta cierta independencia con respecto al clima, y originan microclimas más templados que el ámbito que les rodea. Actualmente puede comprobarse que se produce formación de travertinos en Alicún, y sin embargo no se forman en otros manantiales de la región.

b) Otra posible causa es la baja latitud del punto de estudio: esto pudo motivar que los períodos glaciares no influyeran de la misma manera que en el N de Europa. De esta forma, aunque globalmente el clima re-

gistrase un enfriamiento, en el Sur de España estas condiciones se amortiguarían.

c) Finalmente, los travertinos se relacionan con surgencias localizadas a favor de una falla: la gran actividad tectónica en la zona puede reactivarla y dar lugar a variaciones del nivel freático que inciden en los procesos kársticos. Así, para esos períodos que no se ajustan a la curva climática, existiría un control tectónico superpuesto al climático. Horowitz (1987) y Szabo (1990) reconocen este control en los travertinos del Mar Muerto y del Gran Cañón.

Conclusiones

Los travertinos originados a partir de las aguas hidrotermales de Alicún, están estructurados morfológicamente en tres plataformas situadas por encima del actual cauce del Río Fardes. Por el contrario, los canales de travertino de formas serpenteantes situados sobre la plataforma intermedia son de naturaleza antrópica.

Los resultados de los análisis de las series de U indican una edad comprendida entre los 144,000 y los 129,000 a.B.P. para el inicio de la formación de estos travertinos, y su depósito ha continuado de forma discontinua hasta la actualidad. Las etapas de formación de éstos son: 144,000-115,000 a.B.P., que corresponde a la base del estadio isotópico 5; 88,000-49,000 a.B.P., correspondiente a los estadios isotópicos 5 (parte alta), 4 y base del 3; 32,000 a.B.P., que equivale a la parte alta del estadio 3, y 3600 a.B.P.-actualidad perteneciente al estadio 1. Las cronologías propuestas sugieren para la región los momentos favorables para la formación de travertino. Estos períodos en su mayoría se correlacionan bien con períodos de calentamiento climático, tal como

fue propuesto para Europa por Hennig *et al.* (1983). Sin embargo, deben proponerse otro tipo de causas para determinados períodos que no se ajustan a este patrón, como son las reactivaciones tectónicas o el efecto microclimático del termalismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte financiero de los Proyectos de Investigación PB96-1430, PB97-1267-CO3-01, CL195-1905 de la DGICYT, el PIR-9447 de la DGIA, así como al Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía RNM-208; y los apoyos de D. José María Medialdea Casas, director del Balneario de Alicún, Da. Graciela Monzón por los análisis de U/Th, y D. Antonio Ruiz Bustos.

Referencias

Altunel, E. and Hancock, P.L. (1993): *Geol. Jour.*, 28, 335-346.
 Baena Escudero, R. y Díaz del Olmo, F. (1989): *Monograf. Asoc. Esp. Cual.*, 1, 87-97.
 Bischoff, J.L. and Fitzpatrick, J.A.

(1991): *Geoch. et Cosmoch. Acta* 55, 543-554.
 Bischoff, J.L., Rosenbauer, R.J., Tavo-
 so, A. and Lumley, H. (1988): *App. Geoch.* 3, 145-151.
 Casanova, J. (1981): *Act. Colloq. L'A.G.F. Formations carbonatées externes, tufs et travertins.* Paris, 45-54.
 Casas Morales, A. (1949): *Act. Mem. Soc. Esp. Antrop., Etnog. y Prehist.* 24, 85-93.
 Casas Morales, A. (1950): *I Cong. Nac. Arqueol.* (Almería, 1949), 45-48.
 Chafetz, H.S. and Folk, R.L. (1984): *Jour. Sedim. Pet.*, 54, 289-316.
 Cruz-Sanjulian, J., Garcia-Rossell, L. y Garrido-Blasco, J. (1972): *Bol. Geol. Min.*, 83, 266-275.
 Duran, J.J., Grün, R. y Soria, J.M. (1988): *II Cong Geol. Esp.* (Granada), 383-386.
 Hennig, G.J., Grün, R. and Brunacker, K. (1983): *Quat. Res.*, 20, 1-29.
 Horowitz, A. (1987): *Quat. Res.*, 27, 103-105.
 Juliá, R. (1983): *Mem. Am. Assoc. Petrol. Geologists* 33, 64-72.
 Kornfeld, J., Vogel, J.C., Rosenthal, E.

and Weinstein-Evron, M. (1988): *Quat. Res.*, 30, 298-303.
 Leisner, G. K. und Leisner, V. (1943): *De Gruyter*, Berlin.
 Livnat, A. and Kronfield, J. (1985): *Quat. Res.*, 24, 164-172.
 M.A.P.A. (1989): *Edic. Secret. Gen. Téc. M° de Agric*, 197 pp.
 Pazdur, A. and Pazdur, M.F. (1986): *Radioc.* 28, 534-538.
 Pécsi, M. (1973): *Magyar Tudományok Akademia, Foldrojtudományi Kutatocsoport Intézet, Földrajziköz.* 2, 109-119.
 Peña, J.A. (1985): *Est. Geol.*, 41, 33-46.
 Schoeller, H. (1962): *Masson*, Paris, 642 pp.
 Schwarcz, H.P. (1980): *Archeomet.* 22, 3-24.
 Siret, L. (1913): *Paul Geuthner*, Paris, 504 pp.
 Szabo, B.J. (199): *Quat. Res.*, 34, 24-32.
 Talma, R. and Voguel, J.C. (1993): *Radiocarb.*, 35, 2, 317-322.
 Vera, J.A. (1970): *Bol. Geol. Min.*, 81, 429-462.
 Wisborough, H.M., Caran, S.C., Neely, J.A. and Valastro, S. (1996): *Georch.*, 11, 37-50.