

EDAD DE LAS TERRAZAS Y DIQUES TRAVERTINICOS DE LAS LAGUNAS DE RUIDERA Y SUS IMPLICACIONES PALEOCLIMATICAS

J. Martínez Goytre*, B. Hentzsch**, F. López Vera* y J. Martínez Frías***

RESUMEN

En los bordes de las Lagunas de Ruidera, existen dos generaciones fundamentales de depósitos travertínicos. La datación de estos depósitos, mediante relaciones de actividades del $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ y $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ permite diferenciar un conjunto de terrazas bajas y diques de edad inferior a 10.000 años, y un conjunto de terrazas altas de edad entre 80.000 y 140.000 años, en las que se distinguen dos episodios principales.

Estos períodos de crecimiento de los travertinos, se identifican con condiciones climáticas equivalentes a las de un interglacial húmedo. Por último, se hace una estimación de la velocidad de encajamiento de las lagunas.

Palabras clave: *Lagunas de Ruidera, terrazas y diques, edad radiométrica, Paleoclimatología.*

ABSTRACT

Two generations of carbonate sinter deposits of sedimentary origin occur along the shore line of the Ruidera lakes. Both of them were formed during interglacial type climate conditions. Based on $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ activity relationships, two sets of ages were obtained: 10.000 years and 80.000-140.000; the former for the lower terraces and sinter dykes, the latter for the upper terraces.

Key words: *Ruidera lakes, terraces and sinter dykes, radiometric age, Paleoclimatology.*

Introducción

Las Lagunas de Ruidera constituyen una de las «zonas húmedas» de La Mancha, situadas entre las provincias de Ciudad Real y Albacete (principalmente en esta última). Como región cárstica, el drenaje es interno, la red hidrográfica está poco desarrollada, a excepción de la zona donde se ubican las lagunas.

Siguiendo el sentido inverso al discurrir de las aguas, nos encontramos con las siguientes lagunas: Laguna del Cenagal, L. de la Coladilla, L. de la Cueva de la Morenilla, L. del Rey, L. Colgada, L. Batanas (superior e inferior), L. Salvadora, L. de la Lengua, L. Redondilla, L. de San Pedro, L. Tinaja, L. Concejo, L. Tomilla y por último la Laguna Blanca (fig. 1).

El sentido general de desagüe de las lagunas es de SE a NW y ello es debido al encajamiento importante que sufren las lagunas en esa dirección,

aunque algunas veces la disposición de las lagunas toma otras direcciones (por ejemplo, la Laguna de San Pedro, que se dispone de Este a Oeste).

En general, la morfología de las lagunas atiende a dos tipos básicos: redondeadas cuando son de pequeño tamaño y alargadas cuando el tamaño es mayor.

Las lagunas se agrupan en dos series de características diferentes (fig. 2); las lagunas bajas corresponden a la zona donde el Guadiana penetra en la llanura de Argamasilla. Son las denominadas Lagunas del Cenagal, Coladilla, Cueva de la Morenilla que están caracterizadas por su poca profundidad y sus fondos cenagosos. Además se encuentran rodeadas por juncos y espadañas. A causa de su poca profundidad y puesto que las orillas son muy tendidas, presentan variaciones en su superficie en relación con el régimen de lluvias y el caudal afluente.

El resto de las lagunas mencionadas anteriormente

* Cátedra de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

** Instituto de Geología de Colonia (R.F.A.).

*** Dpto. de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (C.S.I.C.). Madrid.

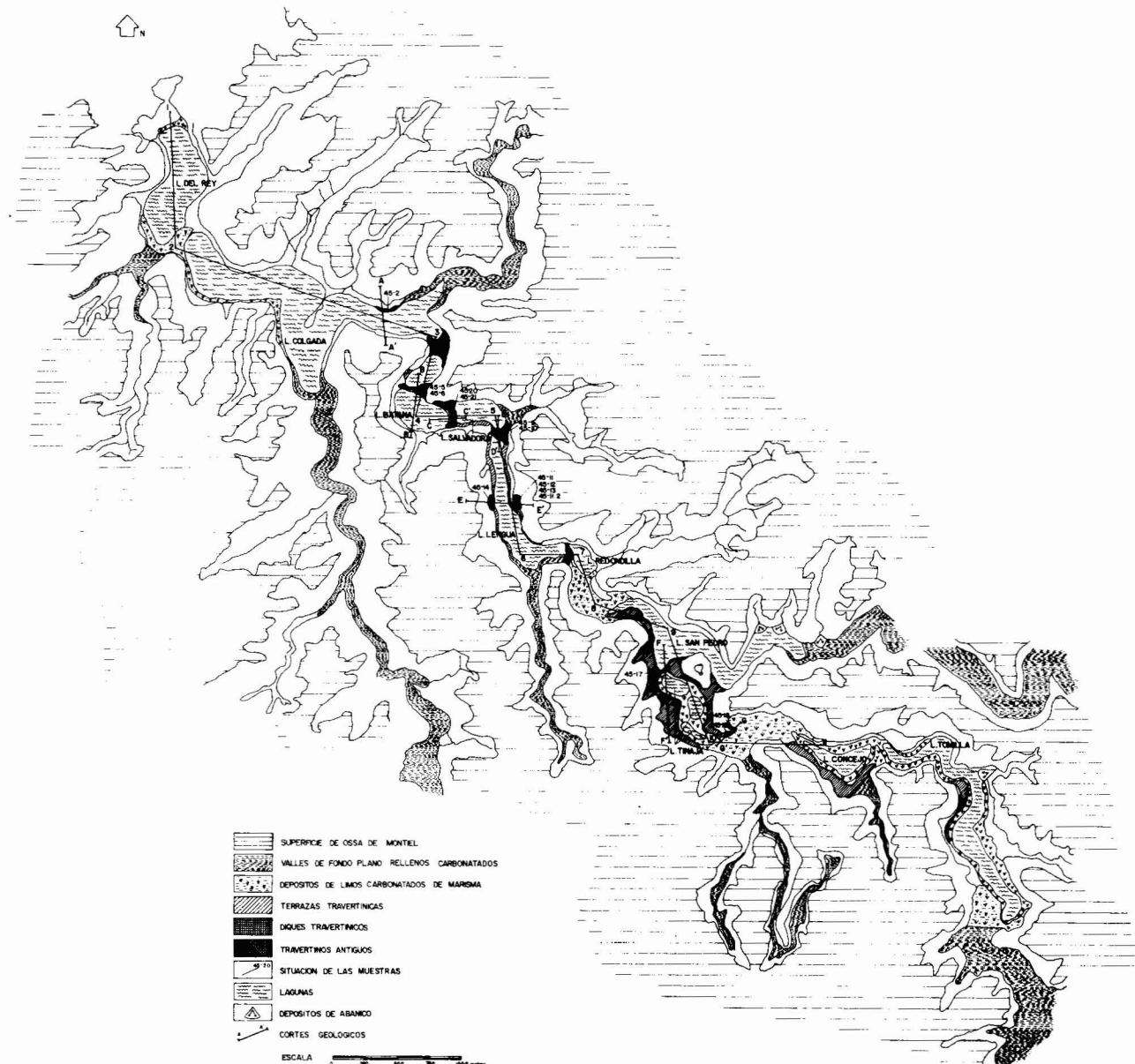


Fig. 1.—Esquema geomorfológico de las Lagunas de Ruidera y situación de las muestras.

se engloban dentro del conjunto de las lagunas altas, topográficamente situadas sobre las anteriores, y encajadas en valles de unos 150 a 200 metros de desnivel.

Este rosario de lagunas de origen cárstico, han evolucionado en el tiempo, dejando una serie de depósitos travertínicos como terrazas y diques a distintas alturas. La formación de estos depósitos de travertinos se caracteriza por ser el resultado de un balance en condiciones dinámicas, entre la actividad constructiva y destructiva, condicionadas por factores geoquímicos, climáticos, hidrológicos y biológicos.

Estos depósitos travertínicos, presentan varios problemas, como son su edad de formación, velocidad de evolución y encajamiento de las lagunas y ambiente climático en que se han formado.

En efecto, es comúnmente aceptado, según Bradley (1985), que el crecimiento de los depósitos travertínicos de este tipo, están ligados al clima. En épocas húmedas con precipitaciones frecuentes y un drenaje cárstico activo, el crecimiento en las zonas de surgencias será importante. Sin embargo, en épocas en las que predomina un ambiente seco, al no haber percolación, el crecimiento cesa o se hace mucho

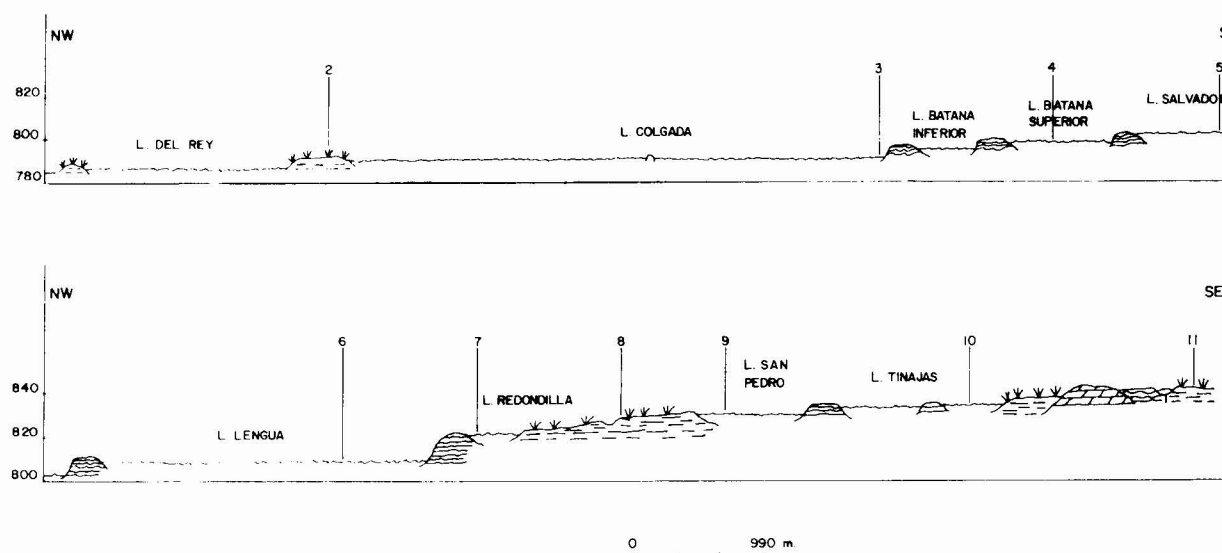


Fig. 2.—Perfil de las Lagunas de Ruidera (ver traza del perfil y leyenda en la figura 1).

más lento. También hay que tener en cuenta, que en épocas frías, por ejemplo, en las correspondientes a períodos glaciales donde apenas hay fusión del hielo, habrá una marcada reducción, incluso un cese en la percolación y escorrentía del agua; la actividad biótica decrecería y originaría un descenso de la presión parcial de CO₂ en la atmósfera, con menos carbonato en solución. Consecuentemente el crecimiento de masas de travertinos y los espeleotemas se detendría.

Marco geológico

El área de las Lagunas de Ruidera, se ubica sobre la extensa plataforma de Albacete, región más externa del País Prebético. Estratigráficamente, están representados en esta zona el Paleozoico, el Mesozoico y el Cenozoico, con algunos pequeños afloramientos cuaternarios. Uno de los principales problemas que se plantean, es que en toda la región, la mayoría de las formaciones son casi absolutamente azoicas. Esto ha provocado distintas interpretaciones al intentar fijar la edad de alguna de las formaciones, especialmente las correspondientes al Triásico.

La controversia ya superada, en torno al origen de las Lagunas no es el objeto de este estudio, Ordóñez, S. *et al.* (1986), por ello únicamente apuntamos la existencia de materiales calcáreos (las denominadas carniolas del Lías), que constituyen básicamente los bordes o la superficie del denominado Páramo de Montiel, mientras que el fondo de las lagunas está constituido por las arcillas impermeables del Keuper, según Dupuy de Lome Sánchez (1954). Localmente pueden aparecer pequeños afloramientos Paleozoicos

de cuarcitas, cerca de las orillas de la Laguna de San Pedro, pero constituyen afloramientos de pequeña magnitud y de escasa importancia.

Es un hecho observable, tanto en fotografía aérea, como en campo, que en los valles adyacentes a las lagunas, cuyo fondo es plano, éste está recubierto por un travertino pulvulento, que se asemeja a una marga de color blanco, Igme (1976) y Ordóñez *et al.* (1985), que ha sido datada como Holoceno.

Por lo general, separando las algunas nos encontramos diques naturales, que son los que originan las cascadas tan características que se dan entre ellas. Estos diques son de naturaleza travertínica.

Las formaciones de tobas calcáreas que aparecen separando y bordeando las lagunas, se pueden observar durante todo el año, pero es en las épocas de estiaje, cuando se observan en mejores condiciones.

Hay que comentar también, la existencia de terrazas travertínicas no sólo actuales, sino más antiguas, que han sido citadas por Ordóñez *et al.* (1985). La presencia de terrazas travertínicas antiguas, situadas a unos 15 ó 20 metros sobre el nivel actual de las lagunas, podría interpretarse o bien como un descenso paulatino en el nivel de las lagunas o bien como un hundimiento progresivo de las mismas.

Siguiendo la carretera que parte del pueblo de Ruidera, en dirección a las lagunas, se pueden observar desde la misma sin ninguna dificultad, diversos depósitos travertínicos asociados a los bordes de las mismas. Conviene señalar, que no todas las lagunas llevan asociadas terrazas de travertinos en sus bordes, por ello, debemos diferenciar tres tipos importantes de depósitos (fig. 1).

En primer lugar, una serie de travertinos antiguos



Fig. 3.—Terraza travertínica superior de la Laguna de la Lengua, donde muestra una cierta continuidad lateral.



Fig. 4.—Dique travertínico de separación entre la Laguna Batana superior e inferior, con un salto de 4 a 5 metros.

que parecen masas aisladas y que no tienen gran continuidad lateral (la más grande situada en el flanco NE de La Lengua apenas llega a los 200 metros de longitud y 25 de altura (fig. 3). Estas masas de travertinos antiguos, aparecen en ambos bordes de La Lengua y en la cabecera de la Laguna del Rey, así como en la Laguna Tinajas.

Terrazas travertínicas, que aparecen bordeando los flancos de la Laguna Salvadora, la Laguna de la Lengua, la Laguna de San Pedro, la Laguna Tinajas y la Laguna Tomilla. Estas terrazas tienen una gran continuidad lateral, como en el caso de la Laguna de la Lengua.

Por último, tenemos los diques travertínicos, que aparecen en los cierres de todas las lagunas altas. Estos diques están constituidos por travertinos que por diversos mecanismos, entre ellos acciones antrópicas importantes, se ven alterados y dan lugar a un material pulverulento blanco muy fino.

La conexión —el desagüe— de unas lagunas a otras se hace a través de estos diques, dando lugar a las características cascadas de las Lagunas de Ruidera. Normalmente los saltos que se originan en estos diques oscila alrededor del metro y medio o los dos metros, pero en algunos casos, pueden calcularse los 4 ó 5 metros, como en el caso del dique que separa la Laguna Batana Inferior de la Superior, y en el caso de la Laguna de la Lengua con la Laguna Redondilla, unos 3 metros (fig. 4).

Bases teóricas de datación por el método Th-230/U-234

La datación radiométrica de eventos del Cuaternario, es un tema difícil, ya que el método más extendido, el radiocarbono, solo cubre de forma fiable los últimos 35.000 años y los métodos geocronológicos

en isótopos pesados, se utilizan sólo en las series más antiguas, dejándonos una laguna en cuanto a técnicas radiométricas, que ocupa la mayor parte del Cuaternario. Afortunadamente, en la última década se han perfeccionado y extendido los métodos de datación basados en la serie de desequilibrio del uranio, en la Resonancia de Spin Electrónico (ESR) y en la termoluminiscencia (TL).

El método de datación aquí utilizado, relación de actividad Th-230/U-234, se basa en la alteración del equilibrio secular dentro de la serie de desintegración y fraccionamiento del U-234, U-238, que por emisión produce Th-230.

Durante la disolución de una roca carbonatada, los isótopos de U y Th incluidos, los cuales deben estar en equilibrio en la roca original con más de 500.000 años de antigüedad se separan debido a su diferente comportamiento geoquímico. Mientras el Th es absorbido en minerales de la arcilla o materia orgánica, después de un corto período de tiempo, el U permanece en solución en forma de complejos, Barnes *et al* (1956), Bernat & Allegre (1974). Cualquier carbonato precipitado a partir de un tipo de solución como ésta, debe estar libre de Th, conteniendo sólo isótopos de U. En el curso del tiempo, se forma de nuevo Th-230 por desintegración del U-234. Después de aproximadamente 500.000 años se obtiene un nuevo equilibrio.

Los primeros estudios de la serie de desintegración del uranio se deben a Hennig y Bangert (1978). Respecto al desequilibrio U-234/U-238 en las soluciones naturales, Cherdyntsev (1971), la relación Th-230/U-234U en cualquier tiempo T, está dado por la siguiente ecuación, Ku, T. L. (1976):

$$\text{Th-230/U-234} = (\text{U-238/U-234}) [1 - \exp(-\lambda_0 T)] + [1 - (\text{U-238/U-234})] \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_4} \right] (1 - \exp(\lambda_4 - \lambda_0) T)$$

donde Th-230, U-234 y U-238 representan las actividades medidas de los diferentes isótopos. λ_0 y λ_4 son las constantes de desintegración del Th y U.

Después del cálculo de las relaciones de actividades actuales de Th-230/U-234 y U-234/U-238 la edad (T) se puede calcular de modo iterativo o por medio de diagramas de isocronas (fig. 5). En este diagrama, las líneas más o menos verticales representan las isocronas, mientras que las líneas horizontales, denotan la variación de la diferencia de relaciones de U-234/U-238 con el tiempo, según Schwarcz (1980).

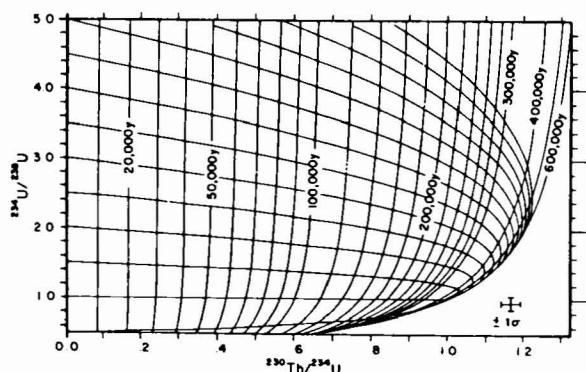


Fig. 5.—Relación entre la actividad del Th-230/U—234 y U-234/U-238 para un sistema cerrado, inicialmente carente de Th. Las líneas verticales y curvas son isocronas. Las barras de error (esquema inferior derecha), son típicas para la mayoría de los análisis que contengan de 0,5 a 1 ppm de uranio (según Schwarcz, H. P., 1980).

Aparte se debe realizar una corrección de detritus, si las contaminaciones detríticas, están enmascarando (o alterando) la datación en forma de un contenido inicial en Th-230.

Selección de las muestras

Para eliminar, o evitar, cualquier pérdida de uranio o contaminación con Thorio, se tuvo especial cuidado al recoger las muestras, tomando solamente las partes más puras y densas de los travertinos e igualmente se eliminó mecánicamente las partes superficiales de las muestras, para evitar pérdidas por meteorización.

Las muestras se tomaron según diversos perfiles, de forma que se pudieran obtener datos de todos los niveles de terrazas y de los principales diques. La situación de los puntos muestreados se ha representado en la figura 1.

Análisis radioquímico

Con objeto de eliminar la materia orgánica, se calentaron las muestras hasta unos 900°C aproximadamente. Tras un enérgico ataque con ClH, se añadió a la solución U-232 y Th-238 artificiales como trazadores. Después de la coprecipitación del U y del Th en Fe(OH), se procedió a la separación de ámbos, mediante resinas de intercambio iónico (para más detalle ver Henning, 1979). Finalmente, se depositan el uranio y el thorio de

la solución en discos de acero por electrogalvanoplastia. Sobre estos discos, se mide la actividad del U-232 y del Th-238 espectrométricamente, por medio de detectores de barrido de superficie de silicio.

Edades obtenidas

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 1. En ella, junto a la identificación de las muestras se comentan las características de las mismas. Con los datos de las relaciones de actividades U-234/U-238 y Th-230/U-234, se entra en el ábaco de la fig. 5. En todos los casos el error es + que también se representa gráficamente en dicha figura. Las edades obtenidas, se muestran en la penúltima columna en miles de años.

Todas las muestras analizadas se consideran suficientemente representativas.

Las muestras las podemos agrupar de la siguiente forma:

- a) Muestras 45-6, 45-7 y 45-20: edad menor de 10.000 años. Todas ellas proceden de diques.
- b) Muestras 45-12, 45-13, 45-14, 45-18 y 45-19: todas ellas en terrazas altas y edades comprendidas entre 80.000 y 140.000 años.
- c) Muestra 45-2 de la terraza alta de la Laguna del Rey, con edad de 235.000 años.

Comparando estos resultados con los obtenidos en áreas semejantes por otros autores, Radtke *et al.* (1986) y Martínez Tudela *et al.* (1986), induce a pensar en la existencia de tres generaciones de travertinos, coincidentes con los tres últimos interglaciares. Sin embargo, en nuestro caso, solo disponemos de una muestra de la generación más antigua, la M-45-2, correspondiente a la terraza alta de la laguna más baja y su interpretación presenta múltiples incertidumbres.

La muestra 45-2 procede de la zona de contacto con las calizas mesozoicas, por lo que podría estar contaminada por pequeños granos de ésta. Por otra parte, se trata de una muestra porosa. Pueden haber tenido lugar movilizaciones de U-234, lo que falsearía los resultados.

Desde el punto de vista geomorfológico, esta tercera generación de travertinos, no se muestra claramente diferenciada. Todo ello, nos lleva a considerar con gran incertidumbre, la existencia de esta tercera generación de travertinos.

El grupo de muestras de edades comprendidas entre 80.000 y 140.000 años, corresponden a la segunda generación de travertinos. Todas las muestras proceden de las terrazas altas y por ellas pueden diferenciarse dos episodios preferentes de crecimiento, uno entre 90.000 y 100.000 años y otro entre 120.000 y 130.000 años.

Por último, los diques y terrazas inferiores, son más jóvenes de 10.000 años.

Tabla 1.—Datos radioquímicos y dataciones.

Muestra	Observaciones	U-234/U-238±1	Th-230/U-234±1	Th-230/Th-232	Edad x10 ³ ±1	Corrección Det. Edad x10 ³ II
45-2	L. del Rey Trav. antiguo	1,68±0,04	0,98±0,03	14,55	234± ²² / ₁₈	—
45-6	L. Batanas Dique	1,68±0,03	0,01±0,004	0,68	10	—
45-11	L. Lengua Trav. antiguo margen izquierdo	2,27±0,03	0,77±0,05	4,64	133± ¹⁶ / ₁₄	117± ³ / _{1,5}
45-11-2	Idem	2,18±0,05	0,67±0,02	7,27	104± ⁵ / ₅	96± ⁴ / ₃
45-12	Idem margen derecha	2,21±0,06	0,62±0,02	10,92	95± ⁴ / ₄	—
45-13	Idem	2,16±0,05	0,53±0,04	13,52	74± ⁸ / ₇	—
45-14	Idem	2,32±0,05	0,66±0,02	22,08	103± ⁵ / ₅	—
45-17	L. Tinaja Dique	2,73±0,08	0,03±0,003	2,66	10	—
45-18	Trav. antiguo	2,24±0,06	0,79±0,02	45,65	139± ^{8,5} / ₈	—
45-19	Idem	2,41±0,06	0,74±0,02	72,31	124± ^{6,5} / ₆	—
45-20	L. Salvadora Dique	2,71±0,11	0,07±0,003	4,48	10	—

Significado paleoclimático

El progreso de nuestro conocimiento científico, cada vez ratifica y encuentra nuevas vinculaciones en las relaciones entre el ciclo del agua-clima-ambiente geoquímico, como expone en su reciente monografía Tardy (1986). Dentro de este marco de relaciones, el crecimiento de travertinos (resultado de un cambio en los procesos geoquímicos), se vincula a los cambios del clima y del ciclo del agua. Así, el crecimiento de travertinos es un hecho probado, se vincula con un clima templado y húmedo, Bradley (1985). Los edificios travertínicos de las Lagunas de Ruidera, se construyen durante el estadio interglacial (Ecmiense), mostrando dos episodios diferentes y durante el Holoceno.

En la Europa meridional, se ha caracterizado el clima Mediterráneo más por las fluctuaciones de humedad, que por las de temperatura según Suc (1984), distinguiéndose en los períodos equivalentes a los glaciares e interglaciares, en cada uno de ellos una etapa húmeda y otra seca. Los travertinos se desarrollaron por tanto solamente, en los períodos equivalentes a los interglaciares húmedos.

De acuerdo con Martín Tudela (1986), durante los períodos equivalentes a las etapas glaciares e interglaciares secas, los edificios travertínicos no crecieron debido por una parte a las bajas temperaturas y sequedad ambiental, al tiempo que el descenso del nivel del mar, provocaría una etapa erosiva en los

edificios travertínicos. Este mecanismo de encajamiento de las Lagunas de Ruidera parece como probable, debido al modelo de evolución cársica de la región, poco encajamiento de la red y estabilidad de la colindante región de Calatrava. Por esto, se puede evaluar, el descenso del nivel de carstificación y consecuentemente de las lagunas en unos 20 metros para todo el período equivalente al Wurm. Las oscilaciones producidas en el Holoceno, se estiman entre 0,5 y 1 metros.

Conclusiones

Las Lagunas de Ruidera, presentan asociados a sus bordes, dos generaciones de edificios travertínicos, uno como terrazas y diques de contención de las lagunas, de gran continuidad lateral y otro como terrazas altas discontinuas.

La edad de las terrazas bajas y diques es inferior a los 10.000 años (Holoceno). Las terrazas altas, tienen una edad comprendida entre 80.000 y 140.000 años (Pleistoceno superior, correspondiendo al estadio 5 de Shackleton & Opdyke (1973)). Dentro de esta generación se distinguen dos episodios principales correspondientes, entre 90.000 y 100.000 años y 120.000 y 130.000 años.

Existe la incertidumbre sobre la existencia de una tercera generación de travertinos, con edad superior a los 200.000 años.

Los episodios de edificación de los depósitos travertínicos, se asocian con los periodos equivalentes a los interglaciares húmedos, esto es, precipitaciones medias anuales próximas al menos a los 1.000 mm. (doble de la actual).

Se estima que el encajamiento medio de las lagunas en el periodo equivalente al Wurm (100.000 años, aproximadamente), fue al menos de unos 20 metros. Las oscilaciones producidas durante el Holoceno, se estiman entre 0,5 y 1 metro.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto 3494/83 de la C.A.I.C.Y.T. Los datos analíticos fueron financiados por el Ministerio Federal de Investigación y Tecnología (B.M.F.T.) (República Federal de Alemania).

Referencias

- Barnes, J. W. (1956). Ratio of Thorium to Uranium in coral limestones. *Science*, 124, 85-96.
- Bernat, M. & Allegre, C. J. (1974). Systematics in: U-Th dating of sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 21, 113-117.
- Bradley, R. S. (1985). *Quaternary Paleoclimatology*. Allen & Unwin. London (U. K.). 472 págs.
- Dupuy de Lome Sánchez (1954). Memoria de la hoja N-789, IGME.
- Golubic, S. (1969). Cyclic and non-cyclic mechanisms in the formation of travertines. *Verh. Int. Theor. Angew. Limnol.*, 17, 956-961.
- Hennig, G. J. (1976). Dating of Pleistocene calcite formations by disequilibria in uranium decay series. *Proc. 18th Int. Symp. Archeometry*, London, 79-86.
- (1979). Beitrage zur Th-230/U-234 Altersbestimmung von Hohlsintern sowie ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit denen anderer Absolutdatierungsmethoden. *Koeln*, 32, 379-386.
- Hennig, G. J.; Grun, R. & Brunnacker, K. (1983). Speleothems travertines and Paleoclimates. *Quaternary Research*, 20, 1-29.
- I.G.M.E. (1976). Hoja de El Bonillo. MAGNA.
- Ku, T. L. (1976). Th-230/U-234 dating of pedogenic carbonates in gravelly desert soils of Vidal Valley, SE California. *Bull. Geol. Soc. America.*, 45, 1.122-1.141.
- Martín Tudela, A.; Robles, F.; Santisteban, C.; Grun, R. & Hentzsch, B. (1986). Los travertinos del río Matarraña. Beceite (Teruel), como indicadores paleoclimáticos del cuaternario. In: *Quart. Climate in Western Mediterranean* (Edit. F. López Vera). U.A.M., 307-324.
- Ordóñez, S.; González, J. A. & García del Cura, M. A. (1985). Petrographie et morphologie des edifices tuffeux cuaternaires du centre de L'Espagne. *Table ronde sur Travertins et evolution des paysages Holocenes dans le domaine Mediterranéen. Aix-en Provence Memoires*, 52-60.
- (1986). Sedimentación carbonática actual y paraactual en las Lagunas de Ruidera. *Rev. Mat. Proc. Geol.* 4, 229-255.
- Radtke, V.; Hausmann, R. & Hentzsch, B. (1976). The travertine complex of Vulci (Central Italy) as indicator of Quaternary Climatic Changes. In: *Quat. Climate in Western Medit.* (Edit. F. López Vera). U.A.M. 273-292.
- Schwarcz, H. P. (1980). Absolute age determination of archaeological sites by uranium series dating of travertines. *Archaeometry*, 22, 1-16.
- Schackleton, N. J. and Opdyke, N. D. (1973). Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core. V. 28: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 10e5 year and 10e6 year scale. *Quaternary Research*, 3, 39-55.
- Suc, J. P. (1984). Origen and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature*, 307, 429-432.
- Tardy, Y. (1986). *Le cycle de l'eau. Climats. Paleoclimats et Geochimie Globale*. Masson. Paris, 338 p.

Recibido el 14 de julio de 1987
Aceptado el 4 de diciembre de 1987