

RESEARCH ARTICLE

The recent fluvial fan of Lorca (Murcia) and its transition to the Guadalentín River: geological controls during the latest Pleistocene-Holocene

El abanico fluvial de Lorca (Murcia) y su transición al Río Guadalentín: controles geológicos durante el Pleistoceno final-Holoceno

Joaquín García-Mondéjar¹, Andrés Martínez Rodríguez², Juana Ponce García²

¹ Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Ap. 644, 48080 Bilbao, España, joaquin.garciamondejar@ehu.es

² Museo Arqueológico Municipal de Lorca, Plaza Juan Moreno s/n, 30800 Lorca (Murcia). andres.martinez@lorca.es y juana.ponce@lorca.es

Corresponding author: joaquin.garciamondejar@ehu.es (Joaquín García-Mondéjar)

ABSTRACT

Key points

There are silts and channelized sands and gravels in the proximal fan, and tabular silts and clays in both the mid and distal fan

The fan formed during the change from glacial to interglacial conditions by subsidence in the basin, enhanced by sedimentary loading

Transpression and transtension effects increased by unloading processes in adjacent areas

The fluvial fan of Lorca (Murcia) (AFL acronym in Spanish), located in the Guadalentín depression to the SE of the city, is approximately 11.5 km long, 9 km wide and 19 m maximum thick, and is presently cut by the Guadalentín river. Data from 17 excavations in the city and its surroundings revealed the presence of silts and channelized sands and gravels in the proximal fan, and tabular silts and clays in both the mid and distal fan. The age of the unit is latest Pleistocene - Holocene and the age of its excavation early Holocene. Incision of the fan head stopped more than 5000 years ago, when the Guadalentín river reached approximately 13 m below the fan surface at the fan apex, and three main erosional terraces were formed. The fan was formed during the change from glacial to interglacial conditions by subsidence in the basin, enhanced by sedimentary loading and compaction of the pre-fan series. Transition from fan to river is attributed to downthrow of the Guadalentín depression to NE of Lorca. This is demonstrated by fan thickness distribution, fan-base and internal beds tilting, palaeocurrents shift, erosional meander formation, tectonic activity in both Alhama de Murcia fault and Guadalentín river blind fault, and headward erosion in Viznaga rambla. The end of the last endorheism in Lorca in early Holocene, and in the rest of Guadalentín depression during the late Holocene, suggests transpression and transtension effects increased by unloading processes in adjacent areas, and probably flexion by loading in the Mediterranean platform after Pleistocene ice melting.

Keywords: Fluvial fan; Tectonic tilting; Entrenchment; River terraces; Transtension.

Article History:

Received: 06/07/2020

Accepted: 10/01/2022

RESUMEN

Puntos clave

Hay limos, arenas y gravas canalizadas en la parte proximal, y limos, arenas y arcillas tabulares en la parte intermedia y distal

El abanico se originó durante el paso de condiciones glaciares a interglaciares, mediante subsidencia en la depresión del Guadalentín

Transpresión y transtensión ligados a desgarre fueron probablemente ayudados por efectos de descarga erosiva de terrenos adyacentes

El abanico fluvial de Lorca (AFL), de aproximadamente 11,5 x 9 km de extensión y 19 m de espesor máximo, se encuentra al SE de la ciudad inciso por el río Guadalentín. Datos de 17 excavaciones en la ciudad y alrededores han revelado presencia de limos, arenas y gravas canalizadas en su parte proximal y limos, arenas y arcillas tabulares en sus partes intermedia y distal. La edad de la unidad es Pleistoceno final - Holoceno, y la edad de comienzo de su incisión Holoceno temprano. El proceso de incisión situó al río Guadalentín aproximadamente 13 m bajo la superficie del vértice del abanico, hace más de 5000 años, y creó tres terrazas erosivas principales. El abanico se originó durante el paso de condiciones glaciares a interglaciares, mediante subsidencia en la depresión del Guadalentín, con ayuda de compactación y carga sedimentaria de la serie pre-abanico. El tránsito abanico-río se atribuye a un basculamiento tectónico de la depresión del Guadalentín al NE de Lorca. Apoyan esta interpretación distribución de espesores e inclinación del abanico, giro de paleocorrientes, formación de meandros erosivos, actividad de la falla de Alhama de Murcia, erosión remontante en la rambla Viznaga y control tectónico del río Guadalentín. El final del último endorreísmo en Lorca y en el resto de la depresión del Guadalentín, a lo largo del Holoceno, sugiere esfuerzos de transpresión y transtensión ligados a desgarre, probablemente ayudados por efectos de descarga erosiva de terrenos adyacentes y flexión por carga en la plataforma mediterránea, tras la fusión de los hielos del Pleistoceno.

Palabras clave: Abanico fluvial; Basculamiento tectónico; Incisión; Terrazas fluviales; Transtensión.

Historial del artículo:

Recibido: 06/07/2020

Aceptado: 10/01/2022

1. Introducción

El río Guadalentín es un afluente de la margen derecha del río Segura en el sur de la Región de Murcia (Figura 1). Presenta dos tramos bien definidos, uno que va en dirección NO-SE hasta la ciudad de Lorca (73,8 km), y otro que va en dirección SO-NE desde Lorca a la ciudad de Murcia (77,6 km). El promedio de pendiente del río antes de llegar a Lorca es de 1,23% y la pendiente media del río entre Lorca y Murcia de 0,38% (e.g. ING, 1999; ITGE, 1993).

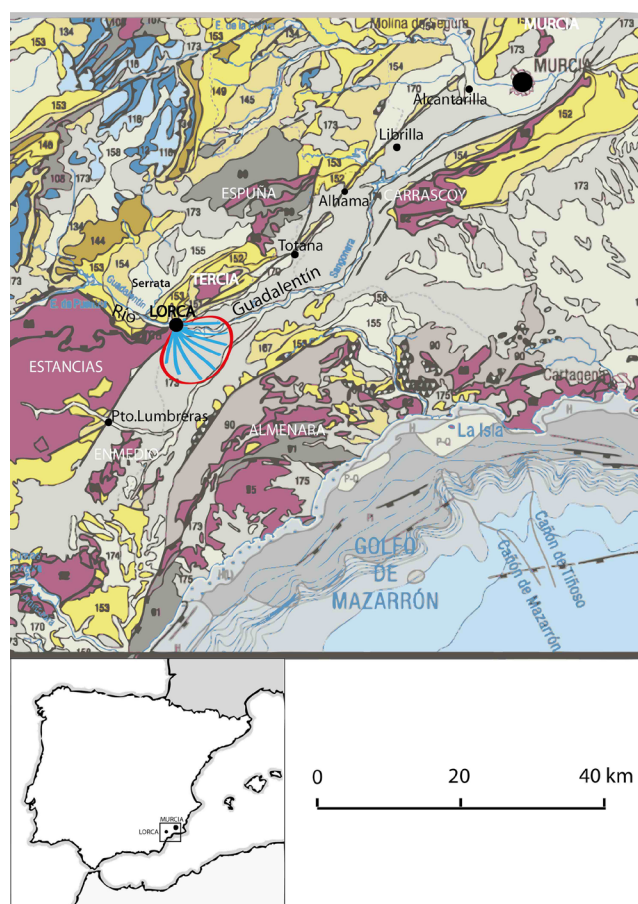


Figura 1. Abanico fluvial de Lorca (AFL) y río Guadalentín en el contexto geológico regional. Mapa de IGME 2015. Reproducido con permiso.

Figure 1. Lorca fluvial fan (AFL) and Guadalentín river in the regional geological context. Map from IGME 2015. Reproduced with permission.

La parte alta y occidental del río Guadalentín drena materiales del Subbético, Zona Interna Bética y antigua cuenca sedimentaria miocena de Lorca (Serrata), mientras que su parte baja y oriental discurre por el Cuaternario de la Depresión del Guadalentín (Figura 1). Esta depresión, de orientación SO-NE, es una fosa limitada por

fallas entre las que destacan la de Alhama de Murcia en su borde NO y las de Hinojar, Carrascoy y Bajo Segura (Murcia) en su borde SE (QAFI, 2011). Tanto al norte como al sur de la depresión existen relieves montañosos que pertenecen a la zona Interna de las Cordilleras Béticas (Estancias, Tercia, Espuña, Enmedio, Almenara, Carrascoy y Murcia). Estos relieves y sus fallas limitantes dan lugar a numerosos abanicos aluviales que jalonan la depresión. La longitud de ésta es de 72 km, su anchura oscila entre 7 y 14 km y su pendiente longitudinal es de 0.4% (e.g. ITGE, 1993).

En la depresión del Guadalentín al SE de Lorca se localiza el abanico fluvial de Lorca (AFL) (Figura 1). Este abanico coincide en parte con los referidos por Silva *et al.* (2008) como abanicos de Lorca antiguo y moderno, cuyo límite NE en el primero llega hasta Totana. Aquí restringimos el AFL a la morfología actual de abanico que se encuentra en el valle del Guadalentín al SE de Lorca, con vértice en el río Guadalentín y en la propia ciudad (Figura 2A). El abanico se encuentra actualmente excavado por el río, siendo el paso de abanico a río atribuido a causas climáticas durante el Holoceno tardío por Silva *et al.* (*op. cit.*). En este trabajo defendemos lo avanzado en García-Mondéjar *et al.* (2018) sobre causas tectónicas para dicho tránsito, que proponemos ocurrido en el Holoceno temprano. Para ello aportamos datos de los depósitos del abanico, tomados de 17 excavaciones repartidas por la ciudad y el valle del Guadalentín, complementados con datos existentes de geofísica y sondeos hidrogeológicos.

Objetivos del presente trabajo son, en primer lugar, describir la morfología, depósitos y paleo-corrientes del abanico e interpretar su sedimentología. En segundo lugar establecer su edad, recopilando dataciones anteriores y aportando una nueva datación de su techo. Después describir la incisión del río Guadalentín con formación de terrazas y la correlación de éstas en diversos puntos. A continuación, discutir el origen del abanico relacionando subsidencia, efectos de carga/descarga, compactación de materiales, y actividad tectónica en la depresión del Guadalentín. Finalmente, aportar argumentos para explicar la transición abanico-río.

2. Antecedentes

En las últimas décadas se han efectuado estudios sobre el Cuaternario reciente (Pleistoceno superior y Holoceno) de la depresión del Guada-

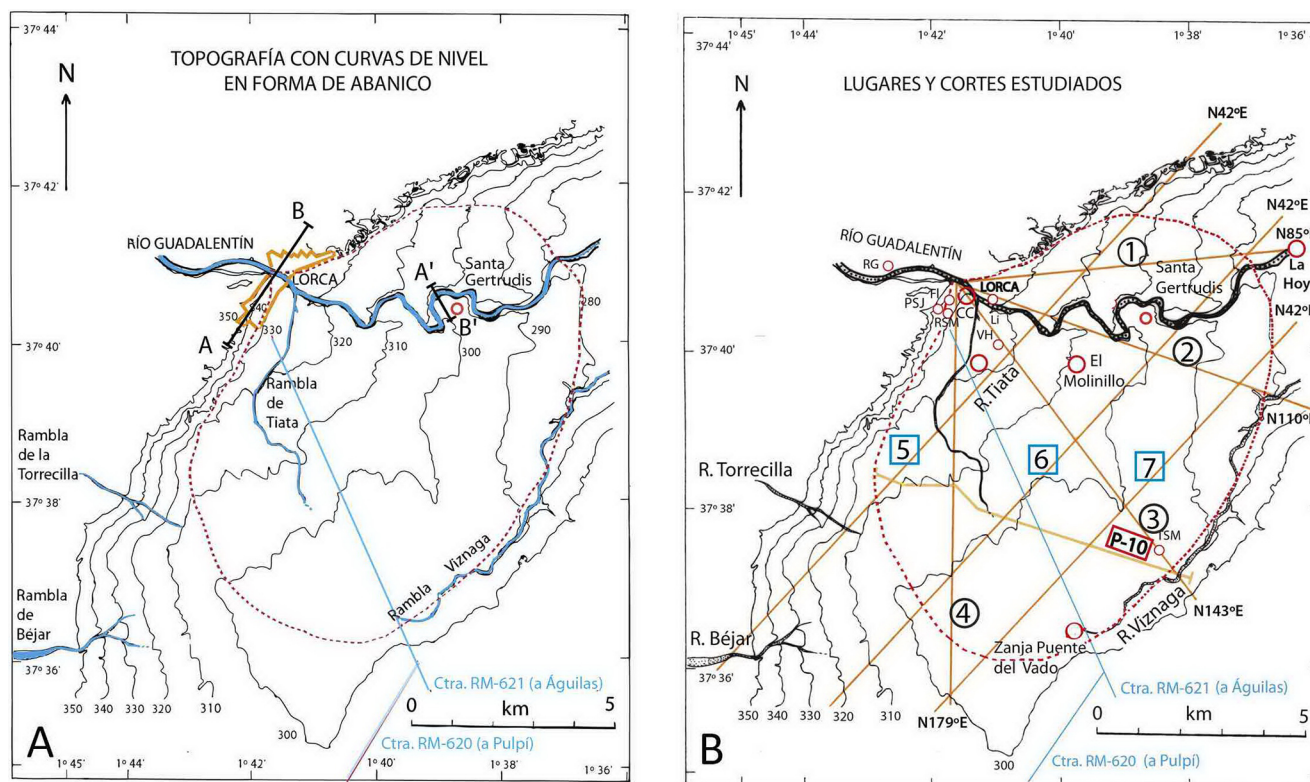


Figura 2. Topografía de la depresión del Guadalentín al SE de Lorca (ING, 1999). 2A: Curvas de nivel en forma de abanico (AFL) con equidistancia 10 m. Límites del abanico en trazos rojos. Cortes A-B y Á-B' en figuras 15 y 11, respectivamente. 2B: Situación de lugares estudiados, cortes topográficos radiales y transversales y corte geoelectrico P-10 (IGME, 1976). Explicación de siglas en el texto.

Figure 2. Topography of the Guadalentín depression to SE of Lorca (ING, 1999). 2A: Fan-shaped contour lines separated 10 m. Fan perimeter marked with a red dash line. Sections A-B and Á-B' in figures 15 and 11, respectively 2B: Lorca fan with studied places, radial and cross profiles, and geoelectric P-10 section (IGME, 1976). Acronyms explained in text.

lentín con dataciones precisas. En la rambla de Librilla citamos a Cuenca Payá y Walker (1985, 1986); Cano Gomáriz *et al.* (1993); Calmel-Ávila (1999, 2000) y Calmel-Ávila *et al.* (2009). Calmel-Ávila (1999) puso de manifiesto la captura final de la zona de drenaje del Guadalentín-Librilla por el río Segura durante el Calcolítico (~ 4500-3700 yr BP).

En el sector de Lorca-Totana citamos a Silva (1994, 2014), Silva *et al.* (2008) y Roquero *et al.* (2019). En Totana-Alhama-Librilla, Silva *et al.* (*op. cit.*) establecieron un área endorreica con sedimentación de lacustre a palustre y *playa-lake* durante la mayor parte del Holoceno. En el área de Lorca, Silva *et al.* (2008) describieron el abanico aluvial de Lorca, compuesto por el abanico antiguo al E y NE de la ciudad, atribuido al Pleistoceno final-Holoceno medio (Booth Rea y Silva, 2010), y el abanico moderno al SE y S de la ciudad, considerado como el sistema distribuidor actual de la rambla de Tiata. Esta rambla está citada en documentos históricos, como desvia-

ción artificial del río Guadalentín, desde el siglo XVIII (e.g. estampa de Espinalt y García/Palomino, 1778). Silva *et al.* (2008) incluyeron para el sector de Lorca la estratigrafía y datación de la sección de control antrópico de la calle Florida-blanca, de 6,65 m de potencia, previamente descrita por Martínez Rodríguez y Ponce García (1997, 1999), Ponce García (1998) y Strydomk *et al.* (2001), a la que añadieron un calibrado de los datos previos del C¹⁴. En el mismo trabajo, Silva *et al.* (2008), considerando todo el abanico antiguo hasta la cuenca de Totana, sugirieron que hubo agradación del abanico interno durante el Holoceno temprano, desde antes de ~ 7900-7700 yr cal BP, hasta el Neolítico Superior-Calcolítico (~ 5500-4200 yr cal BP), y propusieron diversas fases de relleno y excavación del río Guadalentín. Finalmente atribuyeron el tránsito abanico de Lorca-río Guadalentín a la dinámica del propio abanico, controlada por el clima a través de ciclos de incisión y relleno durante el Holoceno tardío.

La tectónica reciente de la Depresión del Guadalentín (Pleistoceno superior-Holoceno) ha estado condicionada principalmente por movimientos de desgarre sinistral de la falla de Alhama de Murcia, limitante de dicha depresión por el NO. Esta falla fue descrita primeramente por Bousquet y Montenat (1974) y posteriormente fue estudiada por diversos autores (e.g. Bousquet, 1979; Montenat *et al.*, 1990; Martínez-Díaz y Hernández Enrile, 1991; Martínez-Díaz, 2002; Masana *et al.*, 2004; Martínez del Olmo *et al.*, 2006; Martínez-Díaz *et al.*, 2012; Ferrater *et al.*, 2016; y Rodríguez-Escudero, 2017).

Respecto a la información de subsuelo en la depresión del Guadalentín, sector de Lorca, los datos existentes provienen de métodos geofísicos y sondeos. Entre los primeros citamos cortes geoelectrónicos transversales a la cuenca (IGME, 1976), cortes gravimétricos (Martínez-Díaz, 1998), cortes geológicos basados en afloramientos y geofísica (Alcalá *et al.*, 2012), y datos de subsidencia superficial actual por interferometría de radar (González *et al.*, 2012). Entre los datos de sondeos citamos croquis de pozos (CHS, 1990; fuente Turrión Peláez, 2012); mapa de isopacas del relleno Plio-cuaternario (ITGE, 1993; Cerón y Pulido Bosch, 1996), y cortes hidrogeológicos (CHS, 1990).

En este trabajo documentamos geológica y arqueológicamente excavaciones de solares para construcción de edificios en el subsuelo de la ciudad, y estudiamos afloramientos geológicos naturales o de excavación diversa en Lorca y alrededores. Resultados de esa labor de interés en este estudio son Martínez Rodríguez y Ponce García (1997, 1999), Ponce García (1998), Martínez Rodríguez (1990), Ponce García *et al.* (2005), García-Mondejar (2012), Sanz de Galdeano *et al.* (2012) y García-Mondejar *et al.* (2014a, 2014b, 2017, 2018, y 2019). En García-Mondejar *et al.* (2018), en un avance de lo que aquí desarrollamos, defendimos que el río Guadalentín se excavó en Lorca antes del Holoceno tardío (antes de ~ 5054 yr cal BP), debido a causas fundamentalmente tectónicas, concretamente actuación de fallas y basculamiento de bloques del basamento.

3. Abanico Fluvial de Lorca (AFL). Morfología

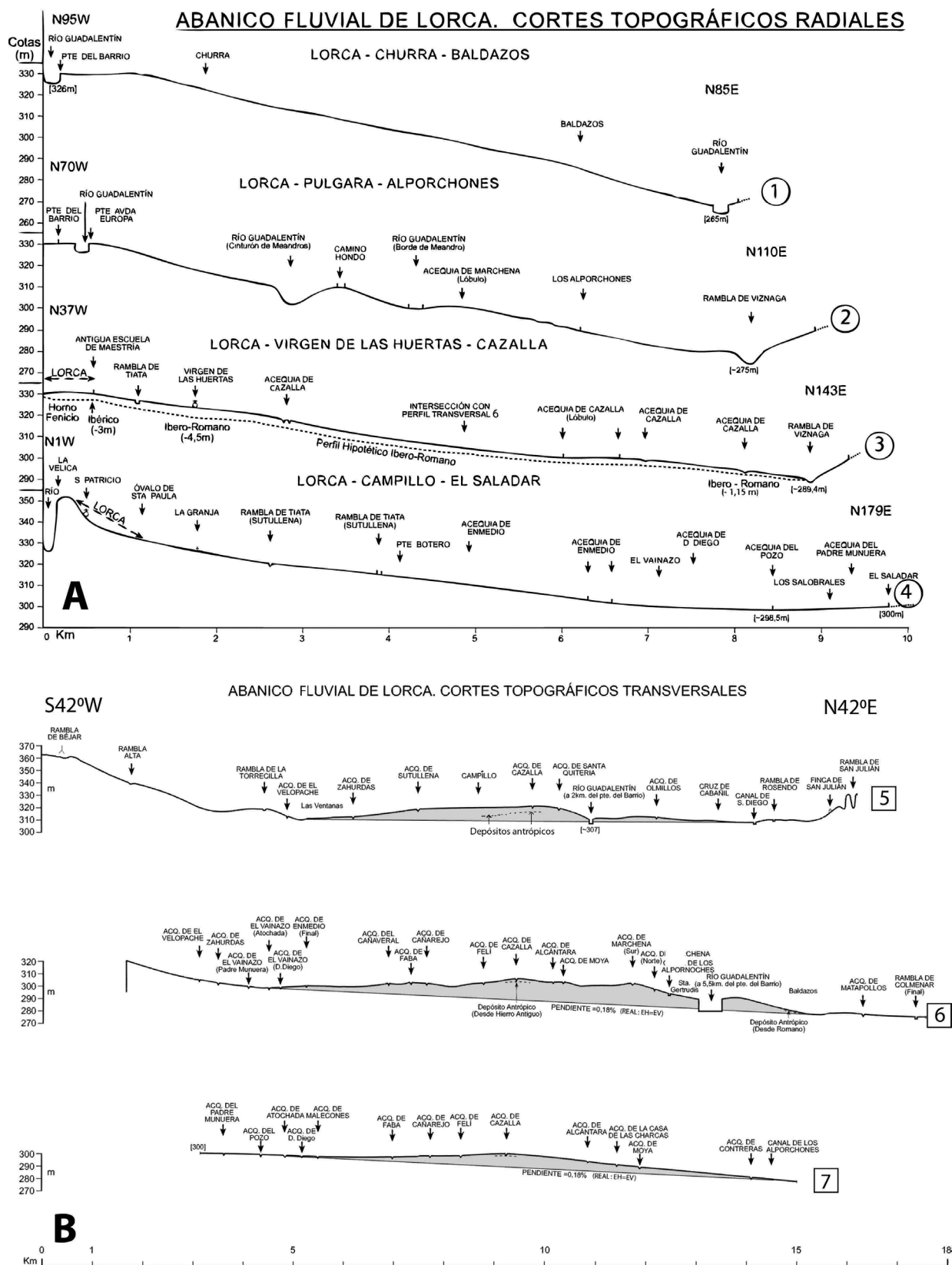
El mapa de curvas de nivel con información digital de la Figura 2A, obtenido del Mapa Topográfico Nacional de España E: 1:25000, Hojas

953 (III y IV) y 975 (I y II) (ING, 1999), muestra una superficie en forma de abanico al SE de Lorca con vértice en el puente de la Alberca (o del Barrio) del río Guadalentín a su paso por la ciudad. Con línea de puntos hemos establecido los límites externos del AFL, que presenta forma elipsoidal con eje mayor orientado SO-NE, de ~ 11,5 km de longitud, y eje menor orientado NO-SE, de ~ 9 km de longitud.

3.1. Cortes topográficos

Para caracterizar tridimensionalmente el relieve estudiado hemos dibujado cuatro perfiles topográficos radiales (1 a 4) y tres transversales (5 a 7) (Figura 2B). Los radiales nacen del puente de la Alberca de Lorca con direcciones N85°E, N110°E, N143°E y N179°E (Figura 3A). Destaca en la mayoría de ellos su forma cóncava, especialmente la del perfil 4 (N179°E). La incisión del río Guadalentín en el abanico se evidencia en los perfiles 1 y 2. En el perfil 2, en Camino Hondo a 3 km de distancia del vértice, la excavación alcanza 8 m. En el perfil 3 se ha representado un nivel ibero-romano, deducido de excavaciones arqueológicas con unidades de esa datación en las partes proximal y distal del abanico (Martínez Rodríguez y Ponce García, 1996-2002; Ponce García *et al.*, 2005). La incisión de la rambla Viznaga en el perfil 2 es de ~ 4,5 m.

Los tres perfiles transversales efectuados son paralelos y tienen dirección N42°E. De NO a SE están separados del vértice del abanico por 2 km (perfil 5), 4,6 km (perfil 6) y 6,6 km (perfil 7) (Figuras 2B y 3B). En todos ellos destaca el carácter convexo de la curva formada. Para resaltar la geometría del abanico hemos trazado una línea recta tangente a las terminaciones asintóticas del perfil en cada corte. En los perfiles intermedio y distal, las líneas dibujadas tienen una pendiente idéntica: 0,18 % hacia el NE, muy próxima al ~0,25% de pendiente del eje de la depresión del Guadalentín en los 25 Km de su cabecera. Obtenemos así formas plano-convexas cuya máxima altura representa el resalte máximo topográfico, o sea, la potencia aproximada deposicional del abanico en cada uno de los sectores proximal, medio y distal. El espesor máximo, ~18,4 m, se encuentra en el corte transversal intermedio (6), entre las acequias de Cazalla y Marchena-sur (Figura 3B). Destacamos aquí que el eje de máxima potencia del abanico, desde su parte proximal a su parte distal, discurre entre las acequias de Cazalla y Alcántara, es decir, próximo



al corte topográfico radial 3 de la Figura 2B. A ambos lados de dicho eje existen disminuciones de potencia aproximadamente simétricas (Figura 3B). En el perfil intermedio 6, 5,5 km al SE de Lorca, el río aparece excavado ~10,5 m bajo la superficie del abanico. En la Figura 2B está representado otro corte transversal de la depresión del Guadalentín que no pasa por el vértice, de orientación N108°E, a una distancia de 5 km al sur de Lorca. Es el corte geofísico P-10 del IGME (1976) (Figura 4), cuya unidad superior, aproximadamente tabular y con un espesor promedio de alrededor de 20 m, corresponde a la parte sur del AFL.

4. Depósitos

Exponemos en esta sección datos de facies del AFL obtenidos de diversas excavaciones. Estimamos que el abanico de Lorca “moderno” de Silva *et al.* (2008), nutrido por la rambla de Tiata, forma parte del AFL. Debido a que la única columna estratigráfica de referencia que citan los autores (Huerto Ruano, 6,53 m de espesor en el casco urbano de Lorca), tiene restos prehistóricos desde la base datados de hace ~5500 años, consideramos que tal abanico “moderno” es el recubrimiento superior del AFL condicionado por actividad humana a lo largo del Holoceno tardío.

4.1. Río Guadalentín

El río Guadalentín se muestra actualmente meandriforme con erosión en dirección E y NE aguas abajo de la ciudad (Figura 2A). Una exca-

vación adyacente al río en su margen izquierda, practicada en el año 2000 y situada 1,75 km aguas arriba de la ciudad (RG en Figura 2B), permitió estudiar sus sedimentos recientes. La excavación, de 35 m de anchura y 5 m de profundidad reveló dos unidades superpuestas: grava y arena debajo (4 m) y limo y arena encima (1 m). La grava está caracterizada por bloques de diámetro máximo de clasto ($\varnothing$) de hasta 0,5 m, de litologías similares a las del río actual adyacente: caliza crema, cuarzo filoniano, filitas, pizarras, cuarcitas, conglomerados, sílex de varios colores, limolitas y areniscas. En general, los clastos presentan buen índice de redondez, sobre todo los de mayor tamaño. La estratificación, predominantemente horizontal, está formada por capas de bases erosivas suavemente cóncavas en la grava gruesa, cortando capas de grava de grano más fino o arena gruesa de color gris; internamente domina una gradación positiva de tamaño de grano, desde grava gruesa a arena. A techo de la serie, la unidad superior formada por limos, arcillas y arena, descansa en tránsito gradual sobre grava fina de la unidad inferior.

4.2. Abanico proximal

Consideramos depósitos de abanico proximal los situados a menos de 2 km del vértice del abanico, caracterizados por facies de grava además de facies detríticas más finas. Se han estudiado en los afloramientos que siguen, representados con siglas en la Figura 5. Todos ellos están actualmente cubiertos por edificaciones.

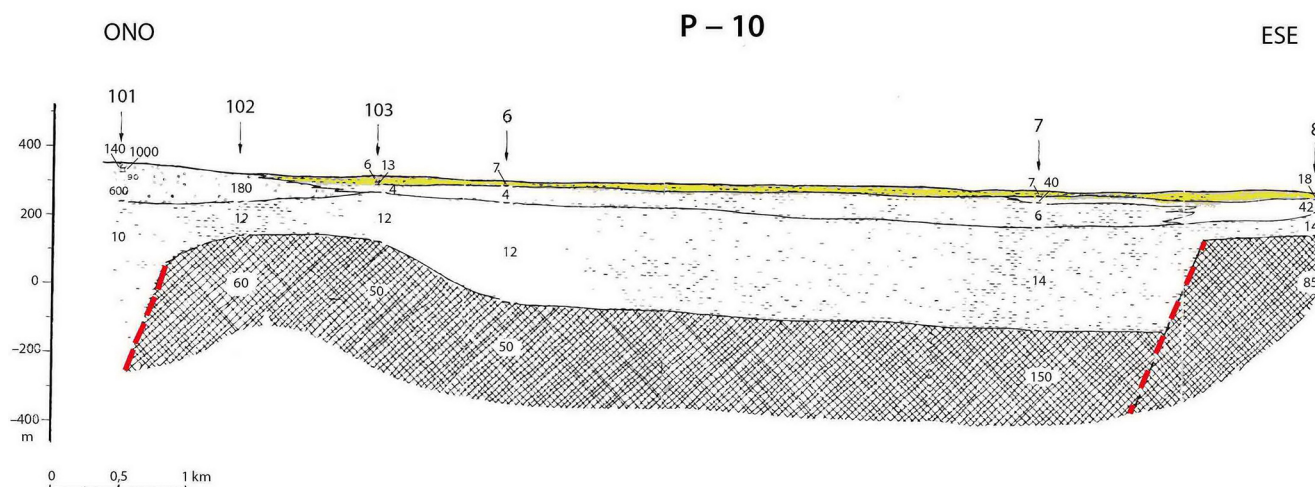


Figura 4. Corte geoelectrónico P-10 del IGME (1976) con el basamento fallado y el abanico de Lorca a techo (unidad coloreada de amarillo). Números en la sección representan valores de resistividad. Reproducido con permiso de IGME.

Figure 4. Geoelectric P-10 section from IGME (1976), with a faulted basement and the Lorca fan at top (yellow-colored unit). Numbers in section mean resistivity values. Reproduced with permission from IGME.

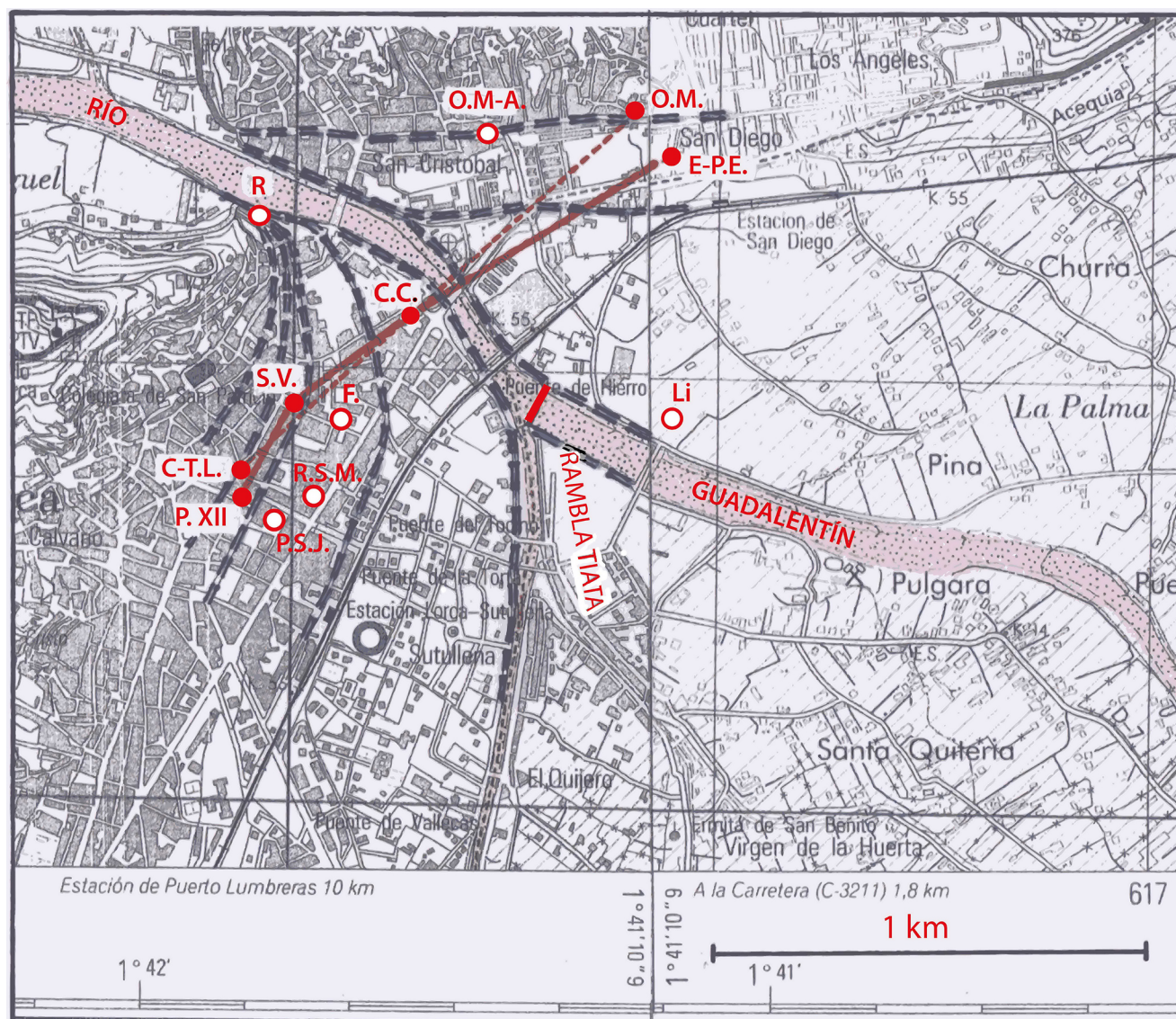


Figure 5. Excavaciones de solares estudiados en el casco urbano de Lorca y localización de los cortes transversales N50°E de la Figura 16. Líneas a trazos negras: reflejo topográfico en la ciudad de terrazas del río Guadalentín. Segmento rojo en el río: dique actual de desvío de agua a la rambla de Tiata. Explicación de siglas en el texto.

Figure 5. Excavation sites studied in Lorca urban area and location of the N50°E cross-sections shown in Figure 16. Black dash lines: topography in the city reminiscent of buried terraces of the Guadalentín river. The red segment across the river represents a present ditch diverting water to the Tiata watercourse. Acronym explanations in text.

4.2.1. Calle de Los Pozos

Es el afloramiento más proximal del abanico fluvial de Lorca. Se ha identificado en las proximidades de La Velica, en la parte interna de la muralla medieval (R en Figura 5). Consiste en un nivel de 4 m de espesor –mínimo– de grava de cantos similares a los del río Guadalentín actual, de (Ø) hasta 21 cm, con matriz arenosa y limosa. Clastos imbricados sugieren paleocorriente hacia el SE. El nivel está a 340 m de cota absoluta. Casi al pie del mismo, en el lado exterior de la muralla, en la calle Rambla, se encuentran dos niveles de

ocupación calcolíticos con carbones, el inferior con grandes piedras de cerca de 1 m de diámetro. La cota absoluta de estos últimos niveles es de 326,53 m, por lo que hay ~13,5 m de desnivel respecto al afloramiento descrito.

4.2.2. Corredera-Terrer Leonés

El afloramiento de C/Corredera-C/Terrer Leonés, de cota 333,15 m (C.-T.L. en Figura 5), consta de grava gris de tipo río Guadalentín (clastos de Ø=20 cm), arenas amarillas y limos amarillos.

Niveles alternantes de grava y arena amarilla descansan sobre una superficie de excavación canaliforme, cuya orientación, mas la imbricación de cantos sugieren una paleocorriente N215°E. Las arenas amarillas, de grano fino, medio y grueso muestran abundante laminación cruzada de surco. Los limos amarillos, horizontales, se encuentran bajo ~0,60 m de materiales antrópicos contemporáneos en la C/Corredera (Figura 6).

4.2.3. Ortega Melgares

Hay en esta calle dos afloramientos, que se localizan con las siglas O.M. y O.M-A en la Figura 5. Están a cotas ~332,5 y ~331 m, respectivamente. Presentan grava de tipo río Guadalentín con estratificación horizontal, potencia mínima 3 m (O.M.-A) y clastos con $\varnothing=35$ cm. En ambos afloramientos la unidad de grava descansa en discordancia sobre una superficie de erosión excavada en litologías detríticas del Mioceno.

4.2.4. Calle de Pío XII

El afloramiento de C/ Pío XII nº 29 (P.XII en Figura 5), tiene el techo a 330,5 m de cota. En la parte superior presenta arcilla arenosa de color crema (0,5 m) y debajo, arena amarilla con granos desde finos a gruesos (1,5 m); lateralmente a esta arena, por la parte este, existe grava gris de tipo río Guadalentín (1 m), con cantos de $\varnothing=8$ cm e imbricación, sugiriendo paleocorriente al SSO. Adyacente a la arena amarilla por el oeste hay, interdigitada, grava y cascajo matriz-soportada, de cantos angulosos, $\varnothing=10$ cm y matriz

arcillosa y arenosa roja sin ninguna organización interna; los clastos son de caliza crema, filita, cuarcita, pizarra, arenisca y sílex.

4.2.5. Glorieta de San Vicente

En la Glorieta de San Vicente (S.V. en Figura 5), a cota de 327,80 m, existe grava ligeramente litificada ($\varnothing=20$ cm) con matriz roja similar a la de igual color descrita en Pío XII. La unidad tiene una potencia de 0,8 m y su base es erosiva. Debajo se encuentran sucesivamente arcillas grises (1,10 m), grava de matriz roja (0,3 m), y limos amarillos (1,5 m, mínimo).

4.2.6. Palacio de los Condes de San Julián

En el jardín del palacio de los Condes de San Julián, de cota en superficie 329,18 m (P.S.J. en Figura 5), el techo del nivel geológico se encontró a 4 m de profundidad. Bajo una unidad de limos amarillos compactos (0,5 m) existen arenas amarillas lateralmente adyacentes a grava canalizada (1 m, mínimo) (Figura 7). La grava, de tipo río Guadalentín, presenta cantos de $\varnothing=15$ cm y estratificación cruzada de acreción lateral en relleno de canal. Bajo ella se encuentra otra grava de matriz rojiza de tipo Pío XII descansando sobre una superficie de erosión (3,3 m). Debajo de todo aparecen de nuevo arenas y limos amarillos (0,5 y 3,5 m, según lugares). Sobre la serie geológica, la serie antrópica de ocupación da comienzo con restos de época romano-republicana (Rubén Sánchez y María Chávet, comunicación personal, 2010).

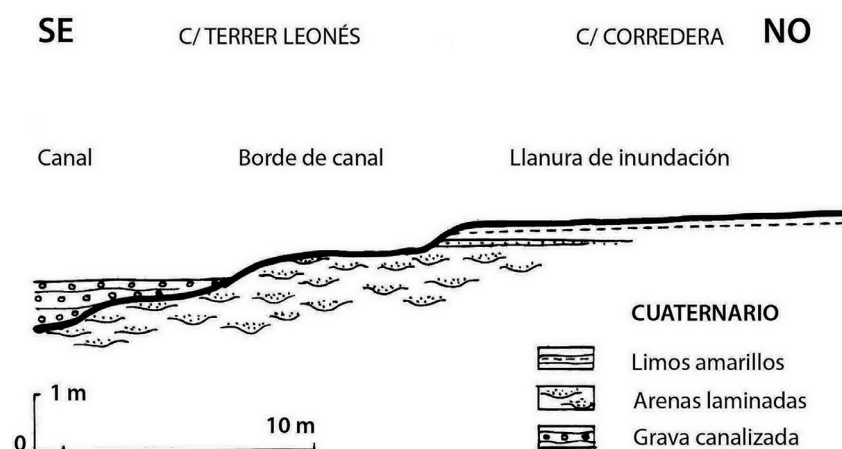


Figura 6. Corte geológico en la confluencia de las calles Terrer Leonés y Corredera, con facies de canal distribuidor de abanico y una terraza antigua en Lorca.

Figure 6. Geological section in the Terrer Leonés-Corredera cross streets, with facies from a fan distributary channel and an old terrace in Lorca.

JARDÍN DEL PALACIO DE LOS
CONDES DE SAN JULIÁN
[Cota: 329,18 m]

JARDÍN DEL HUERTO RUANO
(C/ FLORIDABLANCA)
[Cota: 329,27 m]

S33W

N33E

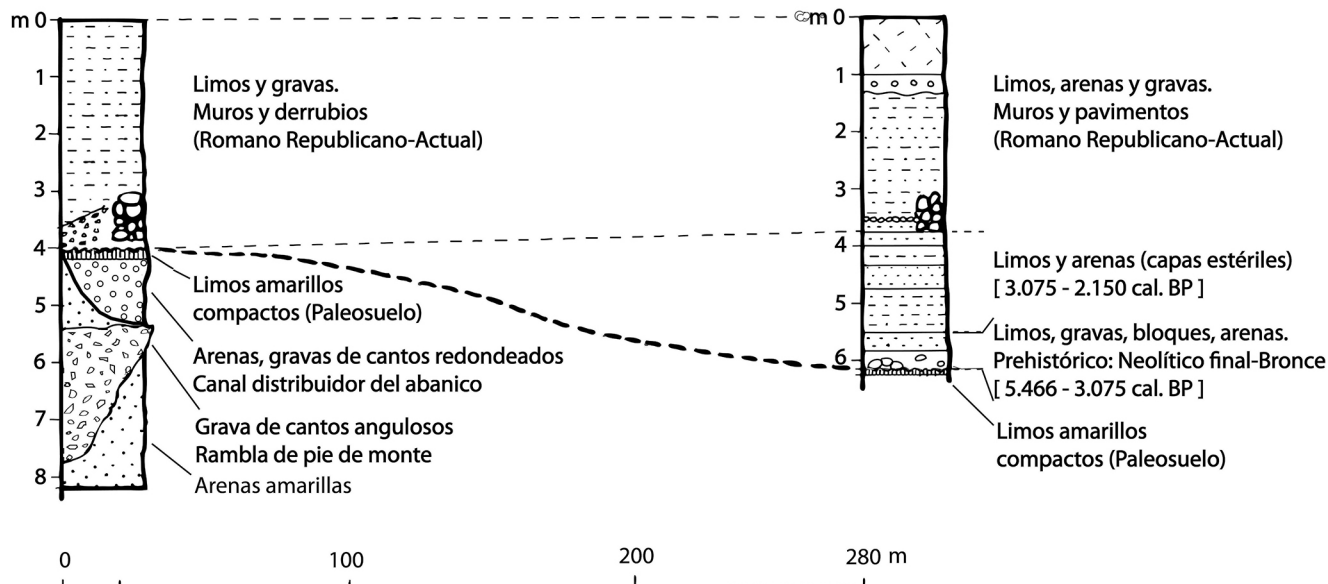


Figura 7. Columnas estratigráficas de los jardines del palacio de los Condes de San Julián y del Huerto Ruano, con facies de abanico y terrazas del río Guadalentín bajo sedimentos antrópicos de diversas culturas.

Figure 7. Vertical sections from the San Julián counts and Huerto Ruano palace gardens, with fan facies and terraces of the Guadalentín river covered by anthropogenic deposits from different cultures.

4.2.7. Residencial San Mateo

En el solar de Residencial San Mateo (R.S.M. en Figura 5) la excavación alcanzó 12 m bajo la cota de la Avenida de Juan Carlos I (327,15 m), es decir bajó a una cota absoluta de 315,15 m. Los 5,5 m basales consisten en una alternancia de tramos litológicos rojos, grises y amarillos (Figura 8). Los rojos (hasta 2 m) son de grava arcillosa de tipo Pío XII y $\varnothing=15$ cm. Los tramos grises y amarillos (de 1 a 4 m) consisten mayoritariamente en arenas, limos, arcillas y gravas, las últimas del tipo río Guadalentín con clastos de $\varnothing=25$ cm, bases erosivas cóncavas y, al menos en un caso, estratificación cruzada (Figura 8). Un canal en planta de 3 m de anchura y 0,5 m de profundidad dio paleocorriente N160°E.

4.2.8. Huerto Ruano en la calle Floridablanca

A unos 300 m al NE del patio del palacio de los Condes de San Julián, en el jardín del Huerto Ruano de la C/ Floridablanca (F en Figura 5, a cota en superficie de 329,27 m), el techo del nivel geológico se encontró a ~6,53 m de profundidad, a cota

absoluta de 322,74 m. Consiste en limos amarillos compactos en la base y, sobre éstos, un tramo de 6,53 m de espesor de grava fina basal ($\varnothing=4$ cm) y arenas y limos alternantes encima. Este tramo contiene restos antrópicos desde niveles prehistóricos de datación 5466 yr cal BP hasta rellenos modernos de calle actual (Martínez Rodríguez y Ponce García, 1997, 1999; Ponce García, 1998; Strydomck *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2008) (Figura 7).

4.2.9. Avenida Europa-Calle del Paso Encarnado

En el solar de esta localización del Barrio de San Cristóbal (E.-P.E. en Figura 5), la sucesión geológica observada bajo depósitos antrópicos de ~2,75 m y techo a cota ~327,80 m, consiste en las siguientes litologías en sentido descendente: limos compactos (~0,75 m); grava con $\varnothing=5$ cm (~1,1 m); limos compactos (~0,40 m); grava con $\varnothing=10$ cm (~1,25 m); y limos y arenas compactas (~1,75 m). En dirección sur, hacia la Avenida de Europa, toda la serie geológica descrita cambia a limos monótonos de color marrón claro en menos de 100 m.



Figura 8. Facies de canal distribuidor en Residencial San Mateo. Grava canalizada con estratificación cruzada (arriba), y facies de grava roja desorganizada de ramblizo de talud (abajo). Martillo geológico (33 cm) para escala.

Figure 8. Fan distributary facies in San Mateo Residential, made up of cross-stratified channelized gravel (above) and disorganized gravel within red matrix from a talus-rambla (below). Geological hammer (33 cm) for scale.

4.2.10. Carril de Caldereros-esquina de Santa Clara

En este solar (C.C. en Figura 5) una excavación arqueológica profundizó hasta -10,5 m respecto al nivel de calle. La amplitud del hoyo creado permitió dibujar un corte estratigráfico de 33 m de longitud en dirección OSO-ENE y de 4 m de espesor desde -6,5 a -10,5 m (Figura 9). Ese corte extraordinario muestra el cauce del río Guadalentín antiguo, de 13 x 2,5 m, colmatado por se-

dimentos del tipo río Guadalentín actual, con base a cota absoluta de 317,0 m y techo en los primeros restos antrópicos de la sección (base del martillo dentro de un círculo, línea roja en la Figura 9). Esos restos antrópicos se dataron en fases prehistóricas del Neolítico final y del Calcolítico (López *et al.*, 2008). La terraza con restos antrópicos está situada a 8 m de profundidad respecto a la calle de Carril de Caldereros y a cota absoluta de 320,80 m. Una paleocorriente excelente obtenida del margen del canal en planta, da un sentido N163°E. Los depósitos de canal, con grava de $\varnothing=10$ cm, están adyacentes a una facies de limos y arcillas amarillas. Otros depósitos de grava de canal en la esquina oeste de la sección, muestran cantos de $\varnothing=20$ cm e imbricación en el sentido N220°E. En la sucesión antrópica de esta excavación, dentro de los niveles calcolíticos a -7,15 m de cota, se observa una estructura de grandes piedras angulosas de caliza de $\varnothing=50$ cm y matriz de arcilla, formando la base de un muro de hasta 3 m de anchura y 5 m (mínimo) de longitud. Alargado en dirección N18°E, presenta una abertura rectilínea de 1,5 m de anchura orientada N123°E, con el fondo tapizado por arena y grava fina (señalado con flecha encima del martillo).

4.2.11. Solar de Limusa

En el solar de excavación señalado Li en la Figura 5, de cota en superficie ~321,5 m, se alcanzó una profundidad de 9 m. Existen allí dos unida-

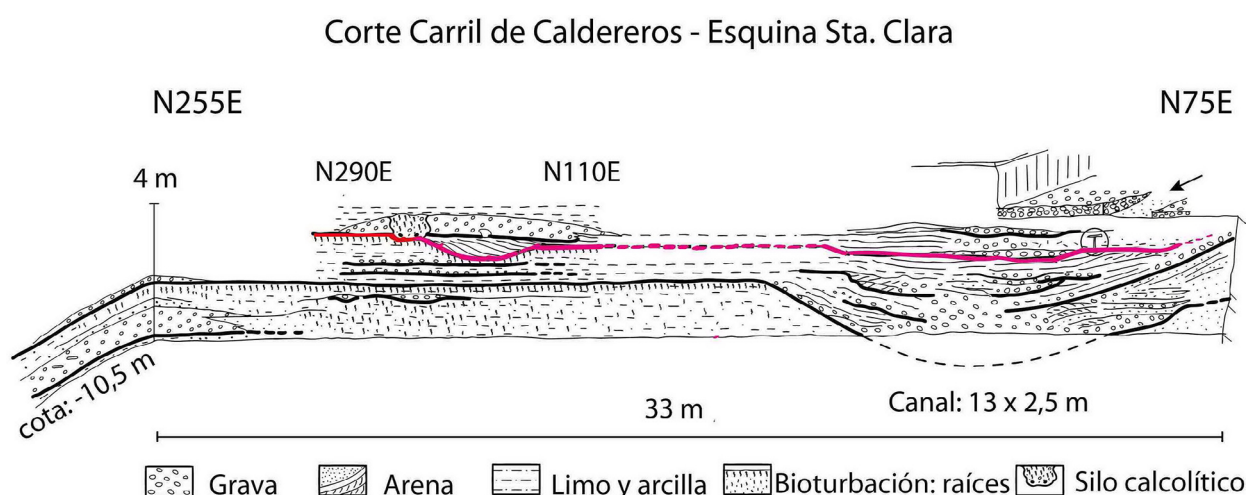


Figura 9. Solar de Carril de Caldereros-Esquina de Santa Clara a -10,5 m de la calle actual. Facies de gravas y arenas con estratificación cruzada de canal y limos y arcillas bioturbadas de llanura de inundación, de abanico proximal. Sobre la línea roja depósitos antrópicos calcolíticos con boquera de agua orientada N123°E en la base de un muro (flecha).

Figure 9. Carril de Caldereros-Santa Clara junction at -10,5 m from present street level. Channel facies of cross-stratified gravels and sands and floodplain facies of bioturbated silts and clays, belonging to the proximal fan. Anthropogenic Calcolithic deposits above the red line, with a wall base showing a sluice oriented N123°E (arrow).

des: una inferior de grava de potencia ~5,2 m (mínimo) con techo a cota absoluta de ~317,7 m, de facies río Guadalentín actual y $\phi=40$ cm, y una superior en tránsito gradual desde la anterior de potencia ~3,8 m de limos grises, con base de arena y grava fina y techo de limos desorganizados.

4.3. Abanico intermedio

Describimos aquí facies de afloramientos situados aproximadamente entre 2 y 5 kilómetros del vértice, caracterizados por ausencia casi total de grava y dominio de arenas y limos.

4.3.1. Rambla de Tiata (Valle del Guadalentín School)

Como hemos comentado en antecedentes, la rambla de Tiata aparece ya en un grabado de 1778 como desviación artificial del río Guadalentín. Para construir el colegio del Valle del Guadalentín se practicó una excavación adyacente a dicha rambla, 2 km al sur del vértice del abanico en Lorca (R.Tiata en Figura 2B). Su cara NE, orientada N120°E, permitió dibujar una sección de 70 m de largo por 9 m de altura (Figura 10). Únicamente los 2 m basales pueden considerarse nivel geológico natural, ya que los 7 m superiores fosilizan la base de un muro de mampostería antrópico de 1 m de altura y otros restos de muros similares a igual cota. La facies observada en la parte inferior es de limos arcillosos rosáceos, de 2 a 3 m de potencia, con laminación paralela, truncados por una superficie de erosión. Encima descansan arenas de grano fino-muy fino, arcillosas, amarillas, de 4 a 5 m de espesor, con estratificación paralela. Finalizan-

do la sección hay limos grises de cultivo actual (1 m). Adyacente a esta excavación, a orilla de la rambla de Tiata, un pozo hecho a mano en búsqueda de agua, encontró arcilla con gasterópodos a 22 m de profundidad (comunicación personal de un trabajador del equipo de reforma del colegio de San Francisco, 29 Julio de 2005).

4.3.2. Santa Gertrudis

Este afloramiento se sitúa frente a la ermita de Santa Gertrudis (Figura 11A). Se encuentra a 4 km del vértice del abanico. El escarpe estudiado se originó por excavación del río Guadalentín en el margen izquierdo de su cauce (Figura 11B). La columna estratigráfica representada en la figura muestra una potencia total de ~13,5 m. De abajo a arriba contiene facies de grava rellenando pequeños canales de entre 1 y 4 m de anchura y 0,2 – 0,3 m de profundidad. Los clastos tienen $\phi=8$ cm, matriz de arena y litologías similares a las del río Guadalentín actual. La arena acompañante, de grano muy grueso a fino, tiene estratificación cruzada de surco y algún *set* planar con paleocorriente al este. Potencia total 2,5 m. La parte central de la serie, de 10 m de espesor, presenta arena de grano fino–muy fino y limo, con laminación cruzada abundante. El techo de la columna consiste en 1 m de limo desorganizado por cultivo actual (Figura 11B).

4.3.3. Los Molinos (El Molinillo)

A 3,6 km al SE del vértice del abanico de Lorca se practicó un sondeo hidrogeológico en el paraje del Molinillo (Figura 2B, Cazalla, magrama:

VALLE DEL GUADALENTÍN SCHOOL (RAMBLA DE TIATA)

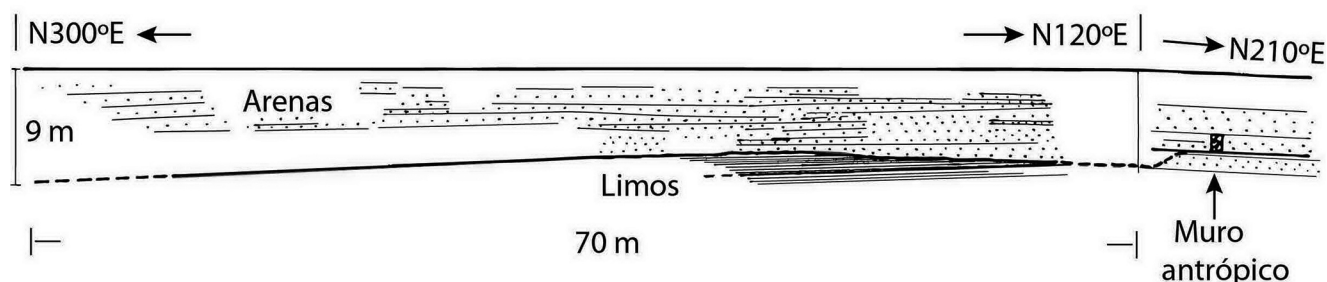


Figura 10. Corte geológico en la excavación Valle del Guadalentín School (rambla de Tiata), mostrando facies naturales de limos (abajo, abanico interno-medio) y facies de arenas de control antrópico (arriba).

Figure 10. Geological section from the Guadalentín Valley School (Tiata watercourse), showing natural silts from proximal-mid fan (below) and anthropogenically- controlled sands (above).

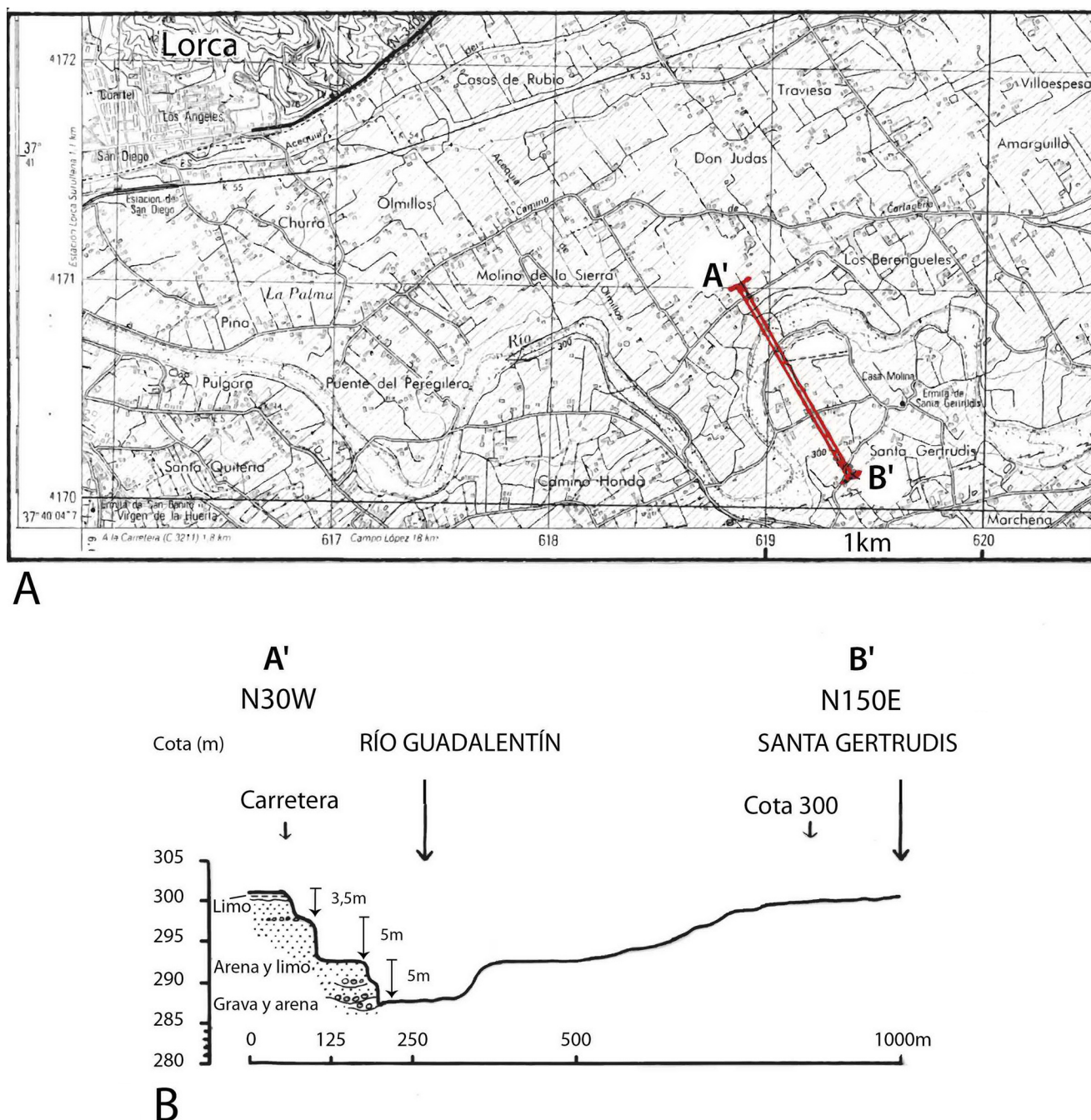


Figura 11. Sección Á-B' de Santa Gertrudis. 11A: Localización en el mapa topográfico de Lorca E 1:25.000. 11B: Perfil topográfico del río Guadalentín, con sucesión estratigráfica del abanico y terrazas de excavación del mismo.

Figure 11. Á-B' Santa Gertrudis section. 11A: Location on the Lorca E 1:25.000 topographic map. 11B: Topographic profile of Guadalentín river with the fan stratigraphic succession and erosional terraces.

PO7096204P-C, Confederación Hidrográfica del Segura; en Turrión Peláez, 2012). La sección estratigráfica atravesada, de 250 m, representa el Cuaternario y se caracteriza por dos litologías principales: arcillas y gravas. Consideramos el tramo superior, de 19 m de potencia y constituido por arcilla, correspondiente al AFL. Destacamos que, en toda la sección vertical, la grava suma 41 m de los 250 m totales, por lo que la arcilla, con

209 m de espesor, representa el 84 % de la serie atravesada.

4.4. Abanico distal

Consideramos de abanico distal los afloramientos más externos estudiados, Puente del Vado y Torre de Sancho Manuel, así como el corte geoelectrico P-10 del IGME (1976). Se ca-

racterizan por facies de limo y arcilla y, en los depósitos de control antrópico de techo, facies de arena y limo.

4.4.1. Puente del Vado

La excavación de la zanja del Puente del Vado está a 9 km al SSE del vértice del abanico (Figura 2B). Una sección OSO-ENE de 150 m de longitud y ~3,4 m de profundidad se muestra en la Figura 12. En la parte inferior, de 2 m de potencia, destaca una sucesión alternante de arcillas limosas y limos arcillosos, con capas inclinadas 0,2 % hacia el NE. Su techo está erosionado bajo depósitos horizontales. Éstos, de ~1,4 m de espesor, consisten en una alternancia de arenas amarillas con base erosiva y limos grises con estratificación horizontal. En el Puente del Vado nace la rambla Viznaga en dirección NE, afluente del río Guadalentín en su margen derecha. Esta rambla muestra terrazas incipientes en su parte media-distal y una cabecera aguda con rasgos de erosión remontante.

4.4.2. Torre Sancho Manuel

En Torre Sancho Manuel (TSM en Figura 2B) a 8 km al SE de Lorca, en un solar situado 100 m al SE de la villa romana conservada, la sección vertical (3 m) está constituida por limos grises monótonos. A ~1,5 m por debajo de la superficie de cultivo actual, en una superficie horizontal débilmente marcada, se encontró un trozo de cerámica de ánfora ibérica, y más arriba otros fragmentos de

cerámica dispersos. Al pie de la propia Torre Sancho Manuel, a 1,15 m por debajo del nivel de cultivo actual de su entorno, se identificó un nivel de ocupación humana datado en el Hierro antiguo, siglos VII-VI a.C. (Martínez Rodríguez, 1990).

4.5. Periferia del abanico

Fuera de los límites del abanico establecidos en la Figura 2 referimos aquí la sección de La Hoya al E de Lorca, descrita anteriormente.

4.5.1. La Hoya

En la sección estratigráfica levantada en La Hoya, 8 km al este de Lorca (localización en Figura 2B de este trabajo), Silva, *et al.* (2008, Figura 6) representan una sucesión estratigráfica de carácter granocreciente hacia arriba (“*coarsening upwards*”). En la parte izquierda de su columna, de 10 m de espesor, a una unidad basal de limos y arcillas moteadas (encharcamiento, cuenca), suceden arenas y limos de corrientes expandidas en lámina (“*sheetflood*”), con hasta cuatro suelos, y a techo limos, arenas y gravas de corrientes canalizadas y desbordamientos. Las arenas de su unidad intermedia se datan en el Holoceno temprano, entre 7706 y 7981 yr cal BP. (Silva *et al.*, *op. cit.*).

5. Paleocorrientes

La geometría del abanico, mostrada en planta y cortes en las figuras 2A y 3, sugiere un sistema

ZANJA DE PUENTE DEL VADO

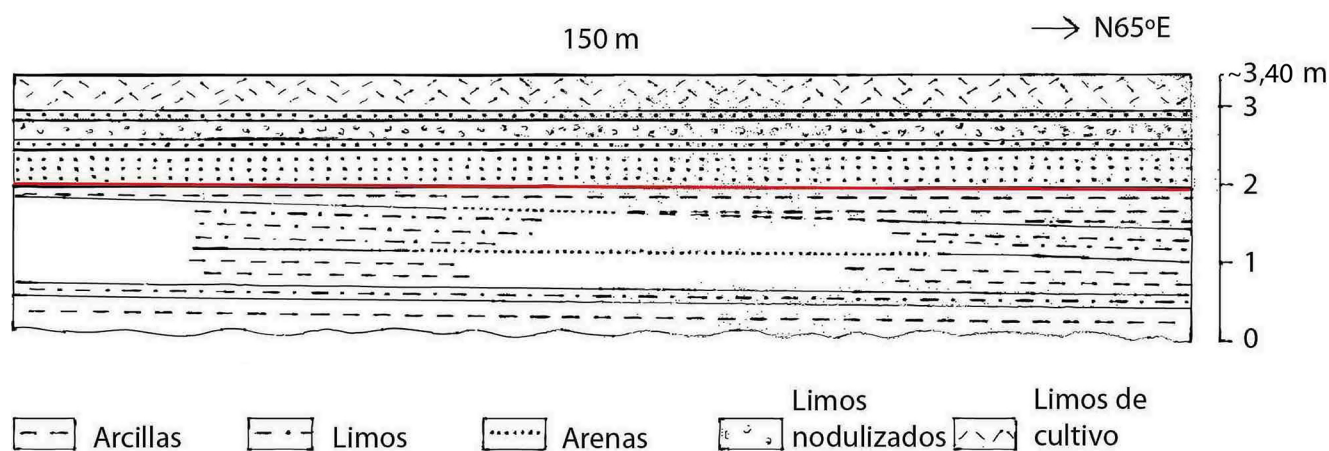


Figura 12. Corte geológico de Puente del Vado. Mitad inferior (0-2 m): limos y arcillas de abanico distal con buzamiento al NE (0,20%). Parte superior (2-3,40 m): arenas y limos horizontales de control antrópico.

Figure 12. Geological section of Puente del Vado. A red line separates distal fan deposits of silts and clays (2 m) dipping to NE (0,2%), from horizontal anthropogenically-controlled sands and silts (2-3.40 m).

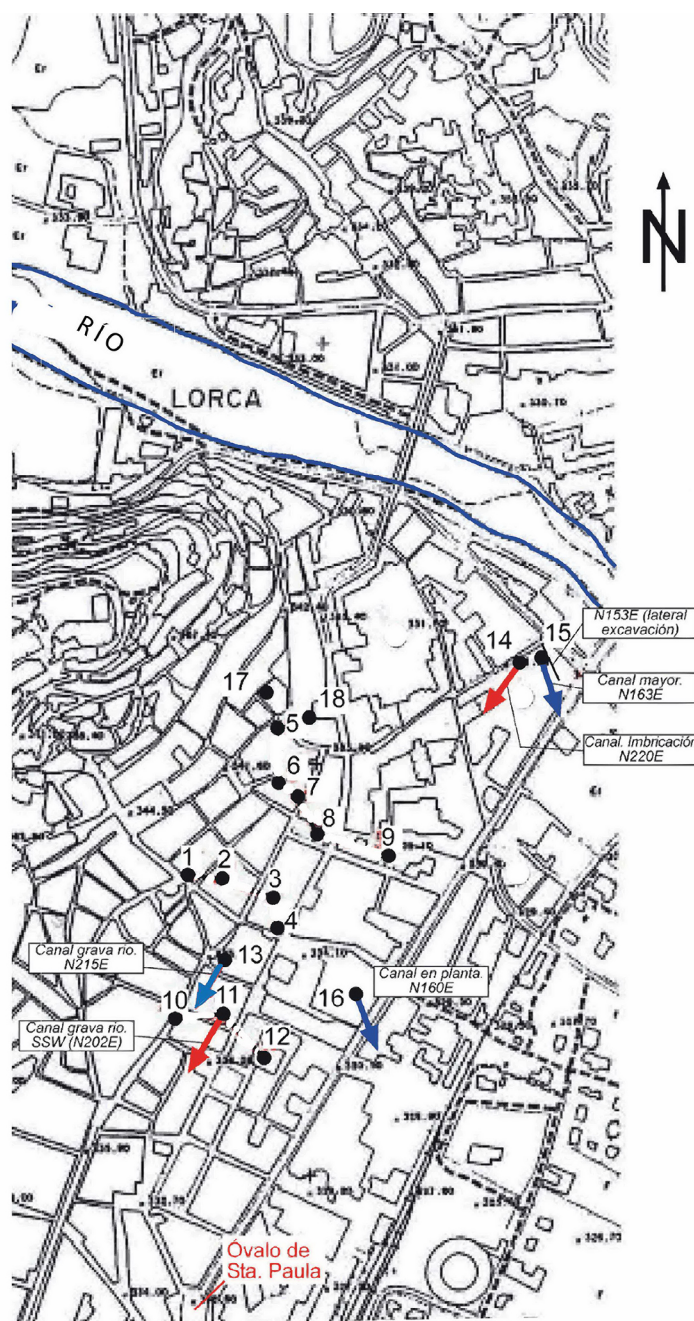
de dispersión de partículas clásticas radial, con eje situado aproximadamente en el corte 3 de la Figura 2B. En el abanico proximal en la parte antigua de Lorca se han deducido paleocorrientes hacia el sur en canales observados en planta (Figura 13, flechas azules) y en estructuras sedimentarias de imbricación (Figura 13, flechas ro-

jas). Por otra parte, *sets* de estratificación cruzada en el abanico medio al este de Lorca, en Santa Gertrudis, sugieren paleocorrientes al este. Finalmente, las facies arenosas de control antrópico en Rambla de Tiata (abanico medio) y Puente del Vado (abanico distal) sugieren dispersión de partículas clásticas hacia el sur de Lorca.

PALEOCORRIENTES ABANICO INTERNO

- Flechas azules:
margen de canal
- Flechas rojas:
imbricación de cantos

- 11: Calle Pío XII
- 13: Corredera-Terrer Leonés
- 14: Carril de Caldereros (NO)
- 15: Carril de Caldereros (NE)
- 16: Residencial San Mateo



1 Km

Figura 13. Paleocorrientes medidas en depósitos de abanico proximal bajo el casco urbano de Lorca. Flechas azules: márgenes de canal en planta. Flechas rojas: imbricación de cantos.

Figure 13. Palaeocurrents measured from proximal fan deposits in Lorca subsurface. Blue arrows: channel margins in plan view. Red arrows: clast imbrications.

6. Datación

La datación del abanico se basa en datos existentes en la bibliografía sobre 1) datación numérica de terrazas del Pleistoceno final; 2) datación numérica de materiales antrópicos en Lorca; 3) posición estratigráfica del abanico a techo del Cuaternario del valle del Guadalentín; 4) datación numérica de facies aluviales en la periferia del abanico; y 5) nueva datación arqueológica de facies de control antrópico a techo del abanico distal (este trabajo).

- 1) Atribuimos la terraza más antigua presente en el vértice del abanico, Los Pozos, a la terraza "A" de Cuenca Payá y Walker (1985, 1986), datada desde 20690 ± 350 yr BP hasta 12220 ± 130 yr BP. Dichos autores identificaron esa terraza a +10 m sobre el *talweg* actual, y la consideraron la más baja de las cuatro terrazas del Pleistoceno reconocidas en las provincias de Almería, Murcia, Alicante y Valencia. En Lorca se encuentra a $\sim +13$ m sobre el nivel de ocupación calcolítico a orillas del río.
- 2) La datación de la primera ocupación humana en Lorca sobre depósitos del abanico es Neolítico final, según datos del solar del Huerto Ruano en la C/ Floridablanca (5466 yr cal BP) (Martínez Rodríguez y Ponce García, 1997, y trabajos sucesivos). Además, en un solar adyacente al de Carril de Caldereros - esquina Santa Clara, el de Avenida Juan Carlos I nº 79 - C/ Carril de Caldereros, adyacente también al río Guadalentín actual, se obtuvieron dataciones de C^{14} en niveles de ocupación humana entre 5054 y 4623 yr cal BP, a unos 3,5 m por encima de la base del río en el Calcolítico (Fuentes *et al.*, 2005). Es decir, el río Guadalentín estaba más de 10 m bajo la superficie del abanico proximal en Lorca hace más de 5000 años.
- 3) El AFL de Lorca, con su forma convexa deposicional, corona la serie estratigráfica del valle del Guadalentín al SE de la ciudad. En el Mapa Geológico de España Escala 1:50000, hoja nº 953 (Lorca), Booth Rea y Silva (2010) atribuyen el abanico antiguo de Lorca al intervalo Pleistoceno Superior (parte final) - Holoceno medio, y el abanico moderno al Holoceno tardío.
- 4) En la periferia del abanico, 8 km al este de Lorca, en la sección de La Hoya, Silva *et*

al. (2008, Figura 6) dataron arenas de su unidad intermedia entre 7706 y 7981 yr cal BP. Nosotros atribuimos dichas arenas a un lóbulo de la fase de excavación natural y abandono del AFL.

- 5) Aportamos aquí una edad de ocupación humana de la cultura Ibérica en depósitos antrópicos a $\sim 1,5$ m de profundidad, al SE de Torre de Sancho Manuel. Uniendo este dato a la datación de Hierro antiguo (siglos VII-VI a.C., Martínez Rodríguez, 1990) en la excavación adyacente de Torre de Sancho Manuel, a 1,15 m de profundidad, concluimos que los depósitos finales del abanico distal al SE de Lorca tienen una edad desde ~ 2600 yr BP a la actualidad.

En resumen, el AFL se formó durante el Pleistoceno terminal (~ 21000 – 12000 yr BP) y recibió sedimentos de forma decreciente durante su excavación en el Holoceno basal (~ 12000 – 8000 BP). Una vez excavado hasta $\sim 13,5$ m en el vértice antes del Calcolítico (~ 5000 yr BP), permaneció abandonado por el río Guadalentín al menos el área proximal durante parte del Holoceno temprano (~ 8000 – 5500 yr BP). Por último recibió sedimentación otra vez del río, ya con control humano, durante el Holoceno tardío (5500 yr BP – actualidad). Esto se produjo mediante un desvío de aguas hacia el sur. El estudio de depósitos del río asociados a series arqueológicas permite documentar esta desviación durante el Calcolítico en el casco urbano de Lorca; y durante el Hierro Antiguo, Ibérico, Romano y edades Media, Moderna y Contemporánea en diversos puntos del casco urbano, abanico interno y abanico externo.

7. Terrazas en el río Guadalentín

Un corte topográfico orientado N34°E, perpendicular al río Guadalentín a su paso por la ciudad de Lorca (A-B, Figura 14), realizado con ayuda del Mapa Topográfico Nacional de España, E: 1:25000, Hoja 953 (III) (ING, 1999), muestra una serie de terrazas escalonadas que permiten establecer la excavación del río durante el Pleistoceno superior y Holoceno en la ciudad.

Para entender mejor el fenómeno erosivo hemos representado el nivel del Calcolítico (5054 yr cal BP) en las proximidades del río (Figura 15). La terraza más alta observada, tapizada de conglomerados de tipo río Guadalentín, está a cota 365 m en la parte NE del corte y no se ha identi-

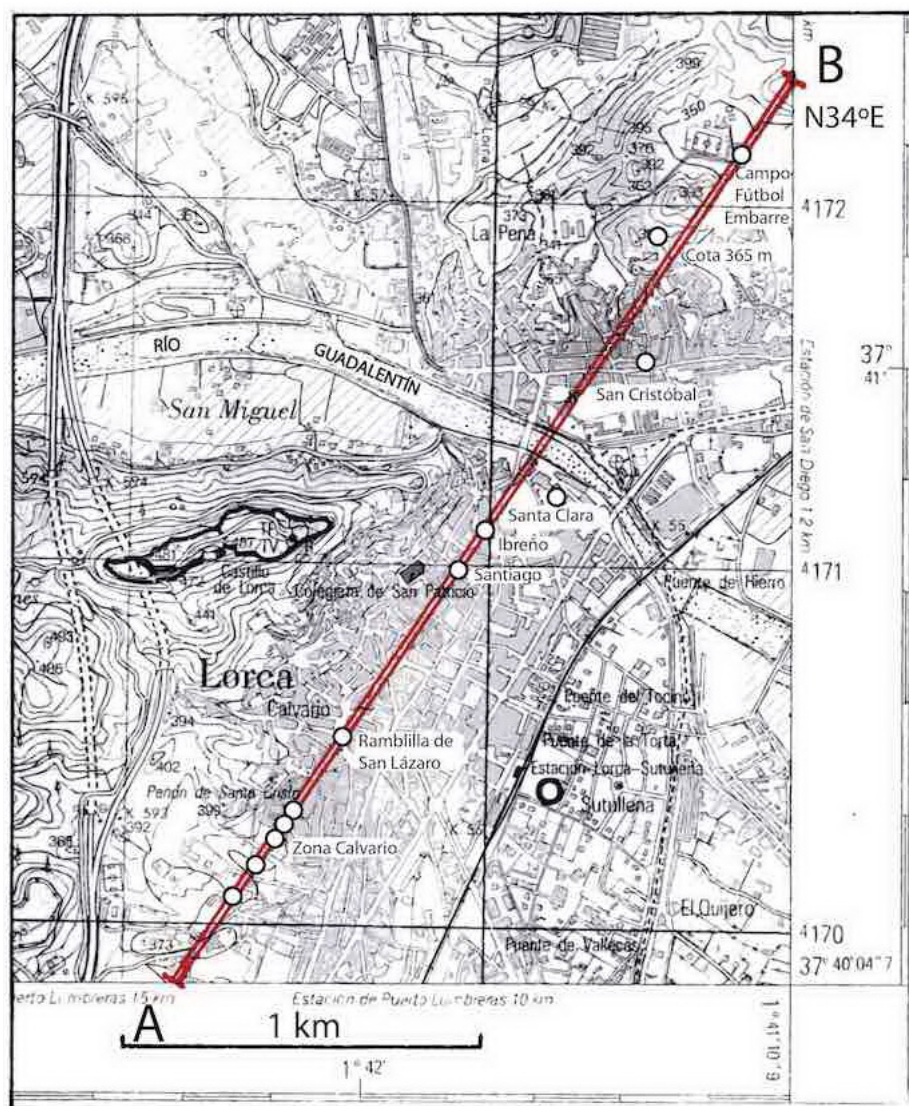


Figura 14. Sección topográfica A-B de Lorca ciudad (N34°E) en el mapa topográfico de Lorca E: 1:25.000.

Figure 14. Topographic A-B section of Lorca city (N34°E) in the Lorca E: 1:25.000 topographic map.

ficado en la parte SO del mismo. Con la sigla C (Calvario) hemos representado la terraza de 350 m de altitud, que se encuentra próxima al Calvario en la parte SE del corte y próxima al campo de fútbol Embarre en su parte NE. Con la sigla S (Santiago) designamos una terraza a ~338,5 m de altitud, presente en la plaza de Santiago y alrededores. Con la sigla IBR (Ibrenño) referimos la terraza de ~330 m que se encuentra en la plaza del Ibrenño y alrededores (*e.g.* Cárceles *et al.*, 2018). La sigla SCL (Santa Clara), de ~322 m, identifica una terraza antigua a orilla del río próxima al puente de La Alberca (160 m al SE, *e.g.* Gallardo Carrillo *et al.*, 2007). Finalmente, la terraza de San Cristóbal (SCR, 330-331 m), en el barrio del mismo nombre, se encuentra en la ladera NE del valle excavado por el río. El perfil

actual de Lorca ciudad, en las proximidades del río Guadalentín, es notablemente más alto que el referido de la base del Calcolítico. Se debe al relleno que ha sufrido el valle del río durante el Holoceno tardío, fundamentalmente por control antrópico.

La topografía del valle del río Guadalentín en Lorca bajo materiales antrópicos, muestra una serie de terrazas escalonadas que tienen un reflejo amortiguado en superficie en las calles incurvadas de la ciudad, que se observan en la Figura 5. Diversos afloramientos en solares excavados han permitido caracterizar esas terrazas, de manera que se ha podido construir una sección transversal de orientación SO-NE perpendicular al río (Figura 16, modificada de García-Mondéjar *et al.*, 2018). Esta figura se incluye aquí comple-

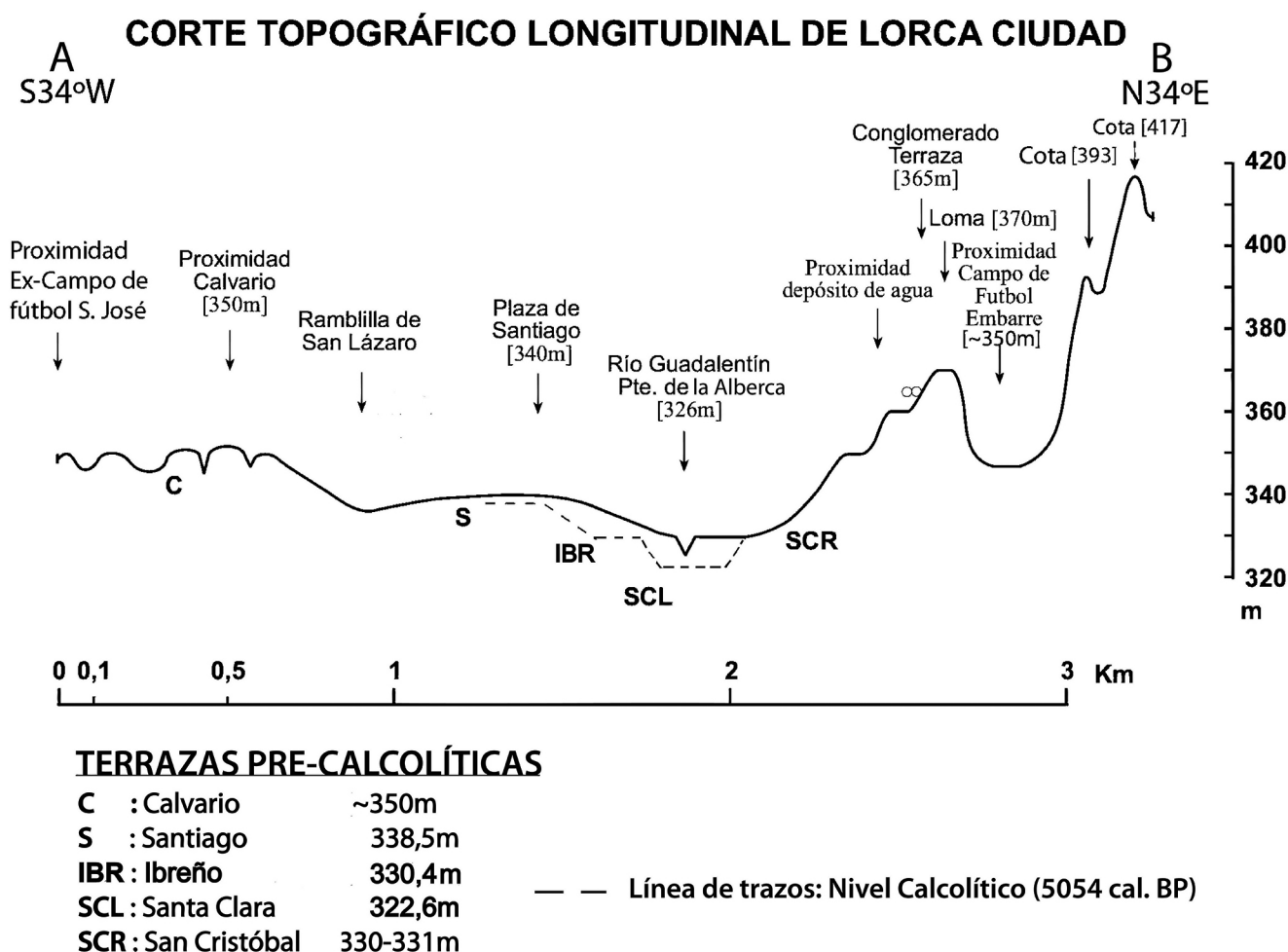


Figura 15. Sección topográfica N34°E de Lorca con representación de terrazas calcolíticas del río Guadalentín.

Figure 15. Topographic section of Lorca city oriented N34°E, with Calcolithic terraces of the Guadalentín river.

tada con nuevos datos de afloramientos. Las cotas absolutas de sus terrazas se han obtenido de los planos a escala 1:500 del Ayuntamiento de Lorca (PEPRI, 2000) y de la cartografía a escala 1:25000 del Mapa Topográfico Nacional (ING, 1999). La sección A, entre los solares de C/ Corredera-C/ Terrer Leonés (C-T.L.) y C/ Ortega Melgares (OM), proporciona el perfil actual del río y el perfil hipotético del abanico de Lorca al final del Pleistoceno. Por otra parte, la sección B y siguientes entre C/ Pío XII nº 29 (P.XII) y Avda. Europa-Paso Encarnado (E.P.E.), muestran las terrazas y rellenos formados en el Holoceno. La sección B (Holoceno temprano) representa una excavación de ~2,7 m, y la sección C (techo del Holoceno temprano) una excavación de ~9,8 m. Por su parte las secciones D, E y F muestran rellenos antrópicos durante el Holoceno tardío: D, relleno máximo de 2,4 m durante el Calcolítico (5054-4620 yr cal BP); E, relleno máximo de 3,3 m entre el techo del Calcolítico y el Romano

Altoimperial (4620 yr cal BP - s. I d.C.); y F, relleno máximo de 3,25 m entre Romano Altoimperial y hoy día (s. I d.C. – Actualidad). En la sección estratigráfica final F destaca el solapamiento expansivo de las facies de control antrópico en Lorca sobre el valle previamente excavado.

La sección transversal del río Guadalentín en Santa Gertrudis (Figura 11) se encuentra en el abanico intermedio (Figura 2B). Muestra un lado abrupto de erosión (NO) que revela la existencia de 3 terrazas de erosión principales: 1) ~3,5 m por debajo de la superficie de techo del abanico, ésta a cota absoluta de 301 m, existe una repisa-margen de canal; 2) terraza principal que tiene correspondencia amplia en la ladera SE, situada 5 m bajo la repisa anterior; y 3) fondo plano del cauce actual del río, situado 5 m por debajo de la terraza precedente.

En la sección de La Hoya descrita por Silva *et al.* (2008, Figura 6), el río Guadalentín también aparece inciso en materiales del exterior del aba-

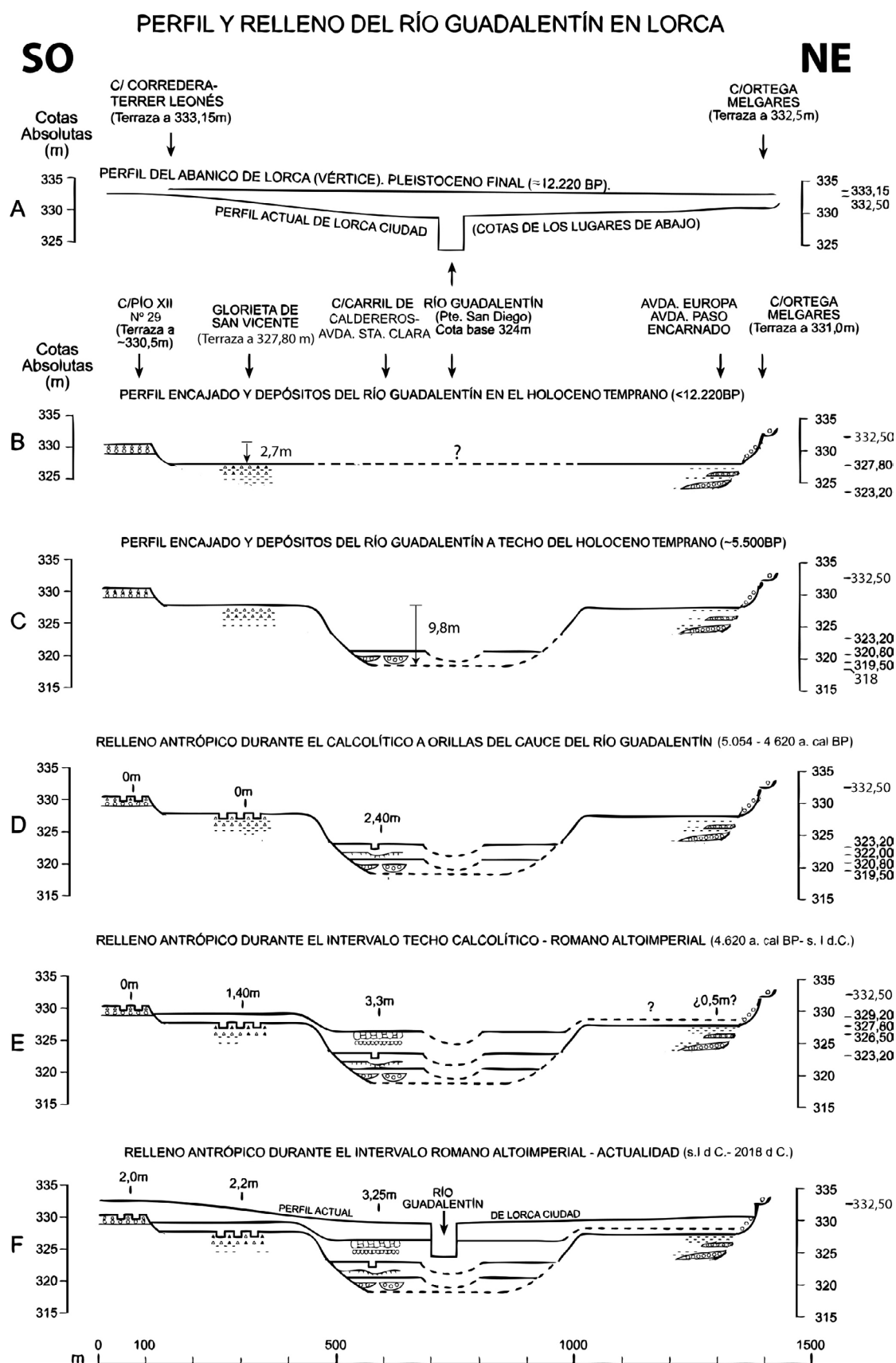


Figura 16. Perfil oriental N50°E del río Guadalentín en Lorca mostrando terrazas de erosión escalonada en el Holoceno inferior, y rellenos de control antrópico de diversas culturas en el Holoceno superior.

Figure 16. N50°E oriental section of the Guadalentín river in Lorca city showing erosion terraces in the early Holocene, and man-controlled infills from different cultures in the late Holocene.

nico. Presenta: 1) una terraza 2 m por debajo del techo del terreno formada después de ~8000 yr cal BP; se construyó por agradación de facies de canal tras una incisión previa del río de 5 m desde el techo; 2) una terraza situada 5 m bajo la superficie exterior del terreno, formada a ~1000 yr cal BP, que procede de agradación de facies de canal tras una incisión previa del río de hasta 9 m bajo la superficie del terreno; y 3) una terraza basal situada 9 m por debajo de la superficie del terreno, formada en la actualidad por agradación de facies tras una incisión del río de 10,5 m (mínimo) desde la superficie del terreno.

8. Discusión

8.1. Interpretación sedimentaria

Los depósitos descritos en el río Guadalentín, aguas arriba de Lorca, contienen facies tractivas de alta energía (gravas, arenas gruesas) y otras de muy baja energía y decantación (arenas finas, limos, arcillas). El relevo vertical de estas facies sugiere migración lateral de ambientes de fondo de canal, margen de canal y llanura de inundación (e.g. Bridge, 2006). Estratificación horizontal y cruzada, presentes en la grava y arena, sugieren un origen a través de migración de barras longitudinales y barras transversales, respectivamente, dentro del canal fluvial principal. Por último, los limos grises de techo son depósitos de decantación sobre áreas de llanura de inundación adyacentes al canal. Todos los procesos deducidos para estos sedimentos se basan en los procesos operantes hoy día en el cauce del río Guadalentín, adyacente a la sección descrita y con similares materiales depositados. El resultado de lluvia torrencial con riada asociada es un intervalo sedimentario de grava-arena con estratificación horizontal y gradación positiva, típico de áreas de canal de ríos trenzados (e.g. Bridge, 2006).

Interpretamos la superficie convexa del AFL descrita en la Figura 2A como el techo de un depósito del sistema fluvial-aluvial del Guadalentín. Las facies descritas en las diferentes excavaciones estudiadas al sur y este de Lorca se integran bien en dominios proximal, intermedio y distal, dentro de un abanico fluvial con vértice en la ciudad. En el dominio proximal, los afloramientos cercanos al vértice se caracterizan por dos tipos principales de facies: a) arenas y limos amarillos con grava clasto-soportada, canalizada, de cantos redondeados y matriz arenosa, y b) grava des-

organizada de cantos angulosos y redondeados con matriz arcillosa roja. En el primer conjunto domina la fracción de grano fino, es decir, arenas y limos (figuras 8 y 9). La grava se considera un relleno de canal distribuidor nacido del río Guadalentín en el vértice del abanico, con paleocorrientes hacia el sur (Figura 13). En el segundo conjunto la facies de grava de matriz arcillosa roja se atribuye a erosión de los relieves en cuyas laderas se asienta Lorca, y cuyas unidades miocenas contienen conglomerados, areniscas y lutitas rojas además de calizas arrecifales y calcarenitas pardo-amarillas (Figura 8) (e.g. García-Mondéjar *et al.*, 2017).

En el abanico intermedio dominan a) facies de decantación en aguas lentas o quietas -limos y arcillas amarillas-, procedentes de desbordamiento en margen de canal, y b) facies de canal y expansión de flujo en lóbulos -arenas de grano fino-muy fino, arenas gruesas y grava anecdótica-. Todas las litologías se consideran traídas por canales distribuidores en épocas de fuertes lluvias. Ejemplos son Tiata, pozo del Molinillo y Santa Gertrudis (Figura 2B). La unidad final de la sección geofísica P-10 (Figura 4), con valores de resistividad menores de 10 Ω .m., sugiere también un carácter litológico arcilloso (e.g. Auge, 2008). En Tiata, las arcillas con gasterópodos a 22 m de profundidad sugieren condiciones endorreicas de encharcamiento al sur de Lorca, en la etapa pre-abanico.

En el abanico distal los sedimentos constan de alternancia de limos y arcillas (e. g. Puente del Vado, Figura 12). Responden a condiciones de inundación y decantación de partículas en suspensión. En Tiata y Puente del Vado los depósitos de abanico superiores, controlados por acción humana, son más energéticos: arenas amarillas de grano fino y limos grises a techo. Este recubrimiento superior del abanico coincide con el “modern fan” o abanico moderno de Silva *et al.* (2008). La sedimentación de arenas y limos de control antrópico en el abanico se ha producido hasta la actualidad, intermitentemente, a consecuencia de grandes riadas llevadas a Lorca por el canal principal del río. Las aguas eran desviadas hacia el sur de la ciudad por sucesivos diques transversales al río en diversas culturas, entre ellos el “muro” de época calcolítica representado en la Figura 9. Un dique actual de hasta 7 m de altura se muestra con trazo rojo en la Figura 5, junto al Puente de Hierro (Sangradores). Las aguas de riada cargadas de limo y arcilla (tarquín) se han aprovechado

para inundar campos de cultivo y retener su depósito, aumentando la fertilidad de las tierras.

Para la sección de La Hoya, en la periferia del AFL (localización en Figura 2B), interpretamos la sucesión descrita por Silva *et al.* (2008, Figura 6) como resultado de la progradación “en cascada” o “telescópica” de un lóbulo de abanico sobre la cuenca encharcada adyacente. Primero se produjo la llegada del lóbulo distal e intermedio (limos, arenas, facies de expansión de flujo “*sheetflood*”) en el Holoceno temprano y, después, la llegada del lóbulo proximal (gravas canalizadas y limos), probablemente hacia el Holoceno medio. Finalmente, se emplazaron facies de encajamiento del río Guadalentín en el lóbulo descrito, arenas y gravas de corrientes fluviales.

En relación con los cortes topográficos del abanico, la forma cóncava de la mayoría de los radiales (Figura 3A) es típica de los cortes similares de abanicos aluviales y fluviales (*e. g.* Spearing, 1974). En los cortes transversales (Figura 3B), el carácter convexo también concuerda con el perfil transversal característico de los abanicos aluviales y fluviales (*e. g.* Spearing, 1974). El abanico de Lorca posee un dominio importante de las facies de grano fino (limos y arcillas) respecto a las de grano más grueso (gravas y arenas). Se explica este hecho por el tipo de área fuente de este abanico, que consiste fundamentalmente en facies arcillosas de la cuenca terciaria al NW de Lorca (Serrata, Figura 1). Para comparación un ejemplo de modelo de abanico fluvial lo ofrecen Nichols y Fisher (2007).

8.2. Correlación de terrazas

Después de la formación del abanico natural de Lorca comenzó la excavación del mismo en su parte proximal, siguiendo un modelo de tipo telescópico (Bowman, 1978). Simultáneamente, las paleocorrientes de distribuidores dirigidas al sur y este (Figura 13) rotaron y se orientaron al este y noreste. Basamos esta interpretación en el proceso de avulsión, con relevo lateral brusco hacia el E de la facies de canal, que se deduce de la sección del Carril de Caldereros - esquina Santa Clara (Figura 9). Igualmente, nos basamos en la continuidad hacia el ESE de las facies de canal del río excavado, desde Carril de Caldereros a Limusa (CC y Li, Figura 5), en una trayectoria similar a la que sigue el río actualmente en ese sector. Antes de 5054 yr cal BP, el río Guadalentín estaba ya excavado ~13,5 m en el vértice del

abanico y se dirigía hacia N110°E, trayectoria demostrada por la línea Carril de Caldereros-Limusa (Figura 5).

Las terrazas descritas del río Guadalentín, aguas abajo de Lorca, pueden ser correlacionadas. En el corte más noroccidental de la ciudad (Figura 15) la terraza de la zona del Calvario (C, 350 m) es equivalente a la del campo de fútbol Embarre en el otro margen del río. La diferencia de cota de esta terraza con la terraza más baja del mismo corte (Santa Clara, SCL, ~323 m, *e.g.* Gallardo Carrillo *et al.*, 2007) es de 27 m. Esta diferencia permite sugerir una equivalencia de la terraza del Calvario con la terraza “B” establecida por Cuenca Payá y Walker (1985) en el interior de las provincias de Almería, Murcia, Alicante y Valencia. La terraza “B”, situada a + 35 m sobre el nivel actual (*talweg*) de los ríos, fue datada en 39500 ± 2600 yr BP. Según los mismos autores empezó a dismantelarse a partir de 29000 yr BP. La terraza de Santiago (S, ~338,5 m) puede correlacionarse con la base de la terraza de la calle de Los Pozos (340 m), perteneciente al mismo margen derecho del río Guadalentín (R en Figura 5).

Dentro de la serie de pequeñas terrazas escalonadas situadas pendiente abajo de la ciudad de Lorca, a cota menor que la terraza de Santiago (~338,5 m), destacamos las de C/ Corredera-Terrer Leonés (333 m), C/ Pío XII nº 29 (~330,5 m) y San Vicente (328 m) (figuras 5, 15 y 16). Las tres se encuentran aproximadamente a + 15, + 12,5 y + 10 metros, respectivamente, sobre el nivel más bajo alcanzado por el río en el Holoceno temprano, antes del Calcolítico (318 m, excavación en Carril de Caldereros, 5054 yr cal. BP). Creemos por ello que todas en conjunto, o al menos la terraza de San Vicente puede asociarse al nivel “A” de Cuenca Payá y Walker (1985, 1986) en el SE de España, situado a + 10 m sobre el *talweg* de los ríos actuales. Este nivel fue datado por dichos autores en 20690 ± 350 yr BP y estuvo formándose hasta 12220 ± 130 yr BP (Versiliense medio). Correlacionando las terrazas de los cortes Lorca W y Lorca E, podemos hacer equivalentes las terrazas de Ibrenño (W) y Pío XII (E), en cotas similares, y las de Santa Clara (W) y Carril de Caldereros (E) pendiente abajo del río (figuras 14 y 15).

La terraza más alta del corte de Lorca NW (zona Calvario, Figura 15), no tiene equivalencia con las terrazas asociadas al abanico. Sin embargo, las terrazas erosivas del corte de Lorca SE (Figura 16) pueden correlacionarse con las simi-

lares procedentes de la excavación del corte de Santa Gertrudis en el abanico medio (Figura 11B). Así, la primera excavación de ~2,7 m en Lorca es aproximadamente equivalente a la primera excavación de ~3,5 m en Santa Gertrudis, y la segunda en Lorca de ~9,8 m, puede hacerse equivalente a la segunda de 5 m en Santa Gertrudis. La excavación más baja y reciente en Santa Gertrudis, 5 m, tiene por equivalente en Lorca el cauce actual del río por la ciudad, de 5 m de profundidad. Para las excavaciones que dieron lugar a terrazas en La Hoya, en la periferia del abanico (Silva *et al.*, 2008, Figura 6), hacemos equivalente la primera de ellas, de 5 m de profundización (entre ~ 8000 y 1000 yr cal BP), a parte de la excavación mayor pre-Calcolítico del AFL (~9,8 m, Carril de Caldereros). Después hacemos equivalentes las excavaciones segundas (9 m) y tercera (1,5 m) de La Hoya, datadas desde antes de ~1000 yr cal BP hasta la actualidad, a la excavación más profunda o *talweg* actual del corte de Santa Gertrudis, de datación atribuida aquí desde el Calcolítico a la actualidad.

En resumen, el río Guadalentín excavó el AFL durante el Holoceno, con máxima profundización en el vértice. La secuencia vertical de abanico en el corte de Santa Gertrudis, en el abanico medio, es granodecreciente retrogradacional. Sin embargo, la secuencia vertical en la periferia del abanico (La Hoya, Silva *et al.*, 2008, Figura 6) es granocreciente progradacional, opuesta a la anterior. Suggerimos por ello que ambas secciones son en gran parte diacrónicas, de manera que primero se formó la del abanico y luego, a consecuencia de la incisión del río Guadalentín, la periférica de La Hoya.

8.3. Origen y evolución del abanico AFL

Conforme ocurre en la mayoría de los abanicos aluviales y fluviales, el AFL se formó al pie de una falla activa importante, la falla de Alhama de Murcia. Igualmente se alimentó de aportes de un río llegado transversalmente a una fosa en hundimiento, la depresión del Guadalentín (Figura 1). En los apartados que siguen discutimos las causas de la aparición, desarrollo y abandono de este abanico.

8.3.1. Clima

El paso del período glacial del Pleistoceno superior al período interglacial actual empezó a producirse hace aproximadamente 21000 años (e.g. Peltier y Fairbanks, 2006). Por otra parte, la

terrazza aluvial “A” establecida por Cuenca Payá y Walker (1985,1986) en el SE de España, fue datada en 20690 ± 350 yr BP, comenzando su destrucción en 12220 ± 130 yr BP. A esa fase de tránsito representada por el interglacial pre-Holoceno atribuimos la formación de la mayor parte del AFL, por lo que sugerimos una relación estrecha entre el cambio de clima a más cálido y húmedo y aporte abundante de sedimentos de grano fino creadores del abanico.

8.3.2. Carga/descarga sedimentaria

El Plio-Cuaternario en el sector de Lorca es mayoritariamente arcilloso; por ejemplo el 84 % de los 250 m totales de la columna del sondeo de Los Molinos es arcilla (CHS, en Turrión Peláez, 2012) (Figura 2B). Teniendo en cuenta la importante compactación de la arcilla (e.g. Sen, 2013), estimamos una reducción de espesor de al menos el 10 % en la serie pre-abanico desde su depósito, es decir unos 26 m. Por otra parte, si los materiales aluviales del Plio-Cuaternario pre-abanico tienen compensación isostática local y han alcanzado equilibrio, podemos estimar un relieve negativo, aunque pequeño, creado por carga sedimentaria responsable en parte de la localización del abanico. Por otra parte, la ruptura de pendiente en el vértice del abanico estuvo mantenida por la elevación del bloque NO de la falla de Alhama de Murcia, a causa de esfuerzos de desgarre (transpresión, e.g. Martínez-Díaz, 1998, García-Mondéjar *et al.*, 2017). A ello se sumó la erosión post-glacial de amplias terrazas del Pleistoceno superior, que llegaron a estar 47 m y 35 m sobre el *talweg* holoceno. La erosión de la terraza de +47 m, más la erosión de la de +35 m que se había desarrollado en el Tirreniense superior (39500 ± 2600 BP, Cuenca Payá y Walker, 1985), debió de provocar descompresión y elevación que, aunque pequeñas, probablemente ayudaron a la activación de la falla de Alhama de Murcia a partir del tiempo citado. Un ejemplo de este tipo de cambio de esfuerzos es descrito por Calais *et al.* (2010) en la New Madrid Seismic Zone (NMSZ, Missouri, USA), con activación de fallas hace aproximadamente 10 ky por descarga sedimentaria post-glacial.

8.3.3. Causas tectónicas

La subsidencia tectónica en la depresión del Guadalentín está activa desde el Mioceno supe-

rior, como resultado de actividad transpresiva y transtensiva en un corredor de desgarre cortical (e.g. Montenat *et al.*, 1990). Diversos estudios de superficie y subsuelo han demostrado que dicha subsidencia continuó durante el Plio-Cuaternario (e.g. Bousquet y Montenat, 1974; IGME, 1976; CHS, 1990; ITGE, 1993; Cerón y Pulido-Bosch, 1996; Martínez-Díaz, 1998). Finalmente, medidas de hundimiento reciente de la superficie del terreno por interferometría de radar en el sector de Lorca, atestiguan una fuerte subsidencia derivada de la extracción de agua en la depresión actualmente (e.g. González *et al.*, 2012). Un ejemplo del hundimiento de la depresión se muestra en el corte geofísico P-10 del IGME (1976) (figuras 2B y 4). Los esfuerzos tectónicos transpresivos y transtensivos prevalentes durante todo el Plio-Cuaternario, deducidos de la geometría de fosa que aparece en varios cortes seriados como el de la Figura 4, llevan a considerar que ellos fueron responsables importantes del hundimiento y de las diferencias de cota necesarias para la formación del abanico.

La depresión del Guadalentín ha sido explorada mediante geofísica y sondeos y sus resultados se han utilizado para obtener información hidrogeológica, distribución de isopacas y redes de fallas en subsuelo (e.g. ITG, 1993; Cerón y Pulido Bosch, 1996, Martínez-Díaz, 1998). Aquí utilizamos la información de subsuelo existente para proponer un esquema tectosedimentario que ayude a explicar la localización del AFL. En la Figura 17 representamos la traza aflorante de la falla de Alhama de Murcia en el sector de Lorca (modificada de García-Mondejar *et al.*, 2014b), y una red de fallas de basamento deducida a partir de los datos geofísicos y de sondeos expuestos en IGME (1976, cortes seriados P-5 a P-10), CHS (1990, cortes seriados IV a VII), y Martínez-Díaz (1998, perfil gravimétrico P.G.Lorca). Todos los cortes citados muestran fallas de basamento, muchas de ellas afectando al Plio-Cuaternario. Para su dibujo en superficie y dado que muchas tienen planos altamente buzantes y están fosilizadas, hemos proyectado verticalmente el extremo superior de cada falla en su corte correspondiente, de manera que representamos el punto obtenido con un signo estándar de dirección y buzamiento. En este signo el trazo de dirección define la orientación que atribuimos a la falla uniendo puntos adyacentes, que interpretamos correspondientes al mismo plano, y el trazo de buzamiento señala el bloque hundido de falla; por último, los signos

de dirección y buzamiento con trazo grueso representan las fallas más importantes. En resumen, con línea discontinua de doble trazo proponemos la continuación lateral de cada falla según los puntos de proyección en superficie citados. Destacamos la línea o zona de falla del río Guadalentín, que sigue el cauce de ese río.

La hipótesis de que la zona de falla del río Guadalentín ha podido experimentar esfuerzos de desgarre sinistral en época reciente, viene apoyada por el esquema de fallas establecido a partir de la información de subsuelo (Figura 17). En efecto, dicha zona de falla más las fallas propuestas de dirección SSO-NNE, altamente oblicuas a ella (45° - 55°), dibujan un área romboidal que sugiere hundimiento por transtensión. Este hundimiento podría haber condicionado la localización del AFL, y por otra parte podría tener alguna relación, aunque indirecta, con el fortísimo descenso actual de la superficie del terreno al SE de Lorca, ya que éste se sitúa dentro del perímetro del abanico y del área romboidal.

8.4. Transición abanico AFL-río Guadalentín

La Figura 3B muestra secciones transversales del abanico con el río Guadalentín excavado. A dichas secciones se han añadido bases planas dibujadas tangentes a las terminaciones asintóticas de los perfiles. Los espesores de abanico obtenidos concuerdan con los espesores reales de la unidad en los lugares de El Molinillo, Santa Gertrudis (Figura 11) y parte del perfil geofísico P-10 (Figura 4). En los cortes intermedio y distal (6 y 7, Figura 3B) las bases tienen una inclinación hacia el NE idéntica: 0,18 %, muy similar a la del eje de la cabecera del valle del Guadalentín (0,25%). Aceptando que las bases planas representan aproximadamente el muro de la unidad, por la concordancia de espesores citada, su inclinación hacia el NE puede explicarse mediante un basculamiento tectónico ocurrido después de la formación de la mayor parte del abanico, que habría dado lugar al abandono de éste por el río Guadalentín antes del Holoceno tardío, es decir, antes de la llegada del hombre neolítico a Lorca (Figura 18A). Tal basculamiento también habría quedado reflejado en la inclinación del eje del valle del Guadalentín hacia el NE en su cabecera. Los argumentos que siguen apoyan esta hipótesis.

Las secciones topográficas transversales del abanico en la Figura 3B muestran convexidades cuyas partes más altas sugieren un eje de abani-

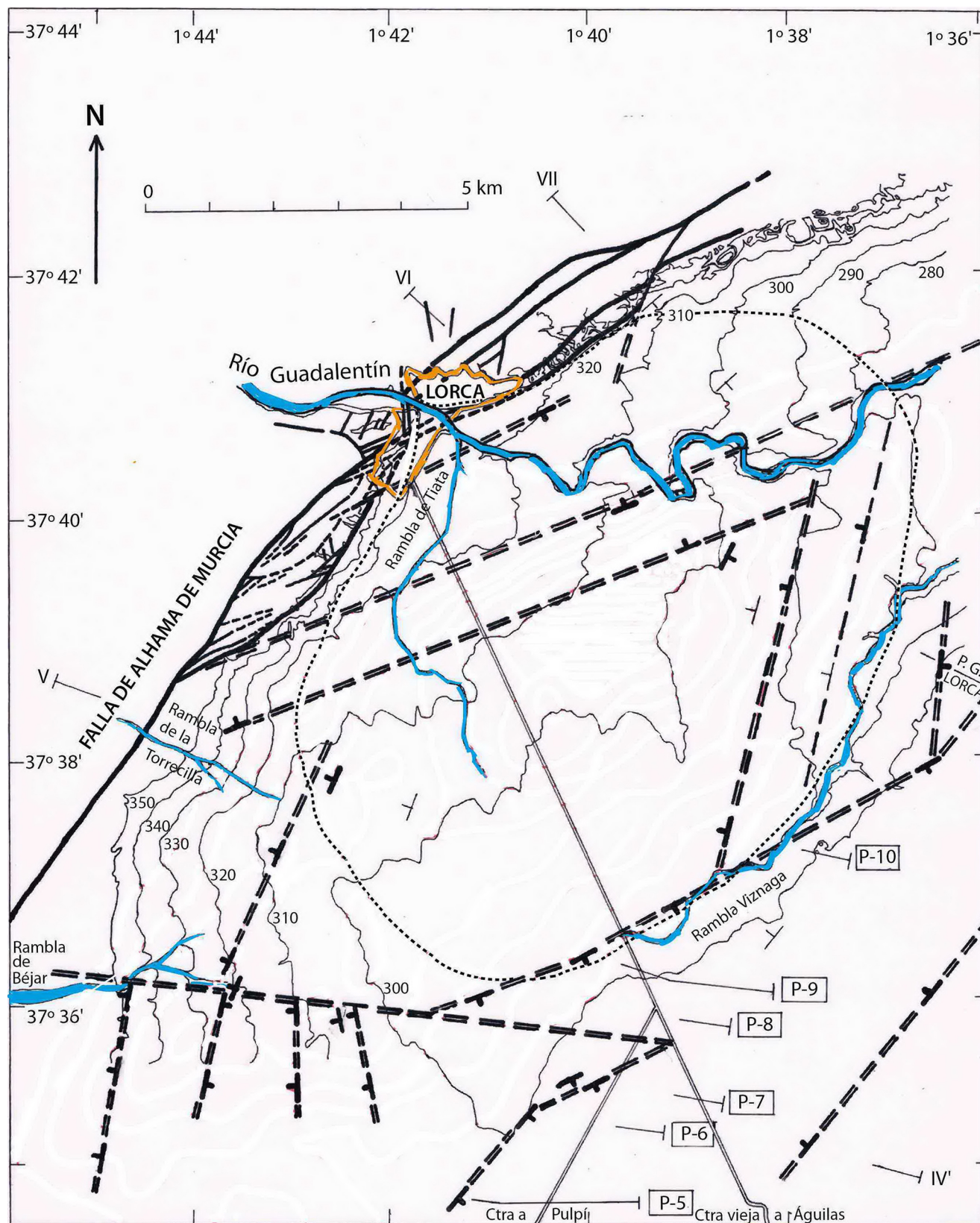


Figura 17. Falla de Alhama de Murcia en Lorca, modificada de García-Mondéjar *et al.* (2014, 2017), y red de fallas de basamento interpretada a partir de datos de IGME (1976, cortes P-5 a P-10), CHS (1990, cortes IV' a VII) y Martínez-Díaz (1998, perfil gravimétrico Lorca). En línea de trazos finos el AFL.

Figure 17. Alhama de Murcia fault in Lorca, modified from García-Mondéjar *et al.* (2014, 2017), and basement fault grain interpreted with subsurface data from IGME (1976, P-5 to P-10 sections), CHS (1990, IV' to VII sections) and Martínez-Díaz (1998, gravimetric profile). The Lorca fan (AFL) represented with a fine dash line.

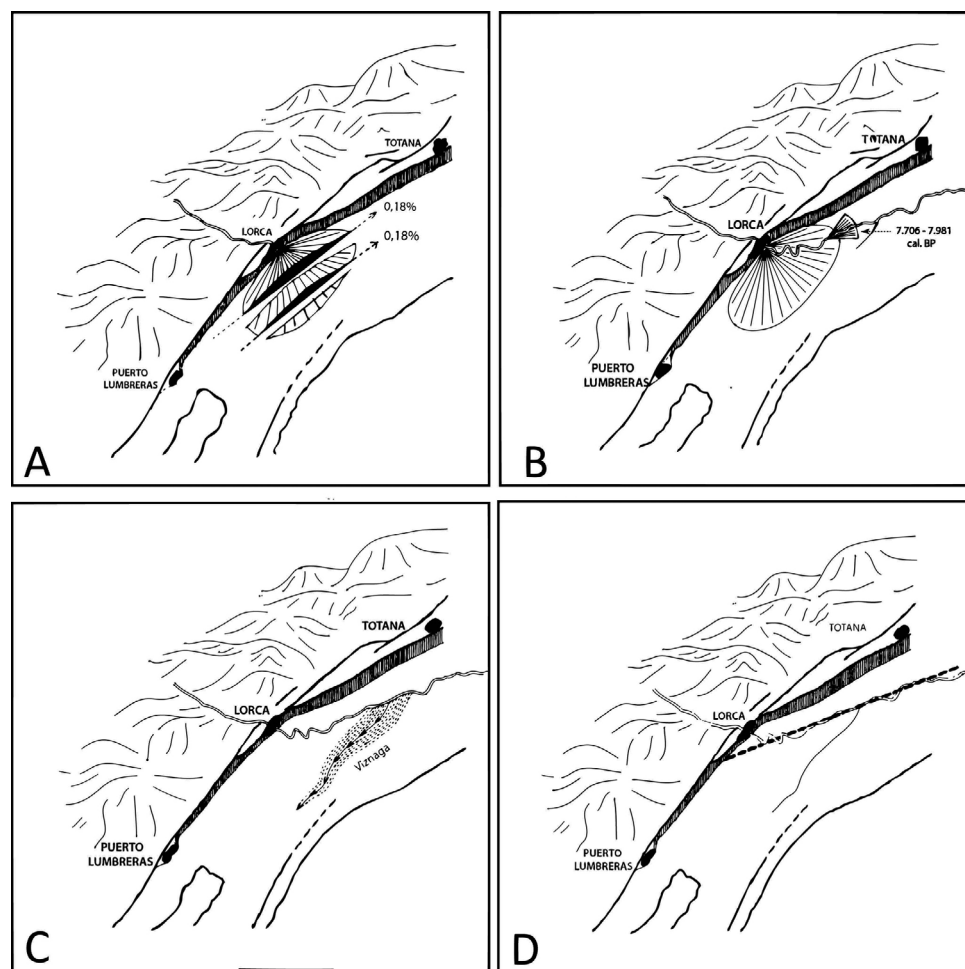


Figura 18. Diagramas conceptuales sobre evolución del AFL y la depresión del Guadalentín en el sector de Lorca. Falla de Alhama de Murcia con escarpe sombreado para resaltar el relieve. Distancia Puerto Lumbreras-Lorca 16 km. Distancia Lorca-Totana 20 km. 18A: Pendiente hacia el NE de la base del abanico según cortes 6 y 7 de la Figura 2B (0.18%). 18B: Excavación del abanico por el río Guadalentín y formación del lóbulo de La Hoya en el Holoceno inferior. Datación radiométrica de Silva *et al.* (2008). 18C: Formación holocena de la rambla Viznaga por erosión remontante. 18D: Curso rectilíneo del río Guadalentín al NE de Lorca atribuido a actuación de una falla oculta.

Figure 18. Conceptual diagrams on the evolution of the Lorca fan and Guadalentín depression in Lorca sector. Alhama de Murcia fault scarp left uncovered and shaded to stand out relief in the depression. Puerto Lumbreras-Lorca distance 16 km. Lorca-Totana distance 20 km. 18A: NE dip of the fan-base (0.18%) according to sections 6 and 7 in Figure 2B. 18B: Fan entrenchment of the Guadalentín river and La Hoya lobe formation in the early Holocene. Radiometric dating from Silva *et al.* (2008). 18C: Holocene formation of the Viznaga watercourse by headward erosion after a base-level drop. 18D: Straight course of the Guadalentín river to NE of Lorca attributed to fault action in the basement.

co alineado entre las acequias de Cazalla y Alcántara y orientado $\sim N140^{\circ}E$. A ambos lados del eje los márgenes del abanico descienden de forma aproximadamente simétrica. Estimamos que no hubo ningún relieve amplio negativo en el sustrato transversal a la depresión del Guadalentín bajo el eje, antes de la formación del abanico. Nos basamos en que no apoyan esa posibilidad ni la topografía de la depresión del Guadalentín, ni la potencia de la unidad en El Molinillo cercano a dicho eje, idéntica a la figurada en el corte 6 de la Figura 3B, ni la forma tabular de la unidad del abanico mostrada en el corte oblicuo P-10 del

IGME (1976), cercano al eje por el este. Teniendo en cuenta todo lo anterior, para obtener una construcción sedimentaria con la simetría citada es necesario que el nivel receptor de sedimentos en el corte perpendicular al eje del abanico sea básicamente horizontal. Aunque es una cifra pequeña la pendiente de 0,18% hacia el NE, si el sustrato hubiera tenido tal pendiente previamente a la formación del abanico, el extremo NE del corte central 6 de la Figura 3B habría tenido una cota 19 m más baja que el extremo opuesto SW. Es decir, dicho extremo NE habría recibido sedimentos con preferencia, dado que las aguas y partí-

culas transportadas en un ambiente desconfinado como el del abanico van a las zonas topográficamente más bajas por acción de la gravedad. El AFL, por tanto, se habría formado indefectiblemente más al NE, al fluir las corrientes de canales distribuidores y localizarse lóbulos pendiente abajo en esa dirección. Deducimos por tanto que la pendiente 0,18% citada se produjo con posterioridad a la formación del abanico.

Una interpretación sedimentaria de la secuencia estratigráfica de Puente del Vado (Figura 2B) es la de que depósitos naturales de abanico distal de naturaleza arcillosa y limosa, en un área hoy casi endorreica (e.g. Booth Rea y Silva, 2010), se depositaron horizontalmente por encharcamiento y decantación. Sin embargo, la ligera pendiente que muestran las capas hacia el NE (~ 0,2 %) (Figura 12) pudo ser causada por el basculamiento citado del abanico en esa dirección. Después, los tramos superiores arenosos y limosos del mismo lugar, que atribuimos a control antrópico por correlación con la serie vecina de Torre de Sancho Manuel (Hierro antiguo-actual, Martínez Rodríguez, 1990), se depositaron y conservaron horizontales (Figura 12). La parte SO del corte transversal 7 del AFL de la Figura 3B, muestra que el abanico tuvo primitivamente una pendiente hacia el SO de 0,26 %, debido a su morfología deposicional original. Tal pendiente cambió a sub-horizontal (0,08 %), después del basculamiento del sustrato hacia el NE (0,18 %). Así se refleja en los depósitos recientes, que descansan sobre una sutil discordancia angular (Figura 12), y así se explica la situación casi endorreica del lugar en la actualidad.

Un cambio brusco de orientación del distribuidor principal de un abanico en su parte proximal, con excavación profunda del abanico, si presenta desplazamiento irreversible del punto de intersección aguas abajo del abanico, e imposibilidad de sedimentar materiales en las terrazas adyacentes, es más probable que ocurra por levantamiento tectónico que por factores climáticos o autocíclicos (Hooke, 1967, p.458). El río Guadalentín excavó hacia el NE durante el Holoceno cada vez más lejos del vértice (*downstream entrenchment*, Bridge, 2006), hasta llegar a la cuenca de Totana ya en tiempos históricos (e.g. Silva *et al.*, 2008).

Enlazando con el punto anterior, en la cabecera del abanico fuera del canal principal de la calle Carril de Caldereros, hubo interrupción mantenida de sedimentación en las terrazas adyacentes (tectonismo con preferencia a otros factores,

Hooke, 1967). En el solar del Huerto Ruano en C/ Floridablanca (F en figuras 5 y 7) se alcanzó un registro de materiales de 0,6 m, entre restos prehistóricos, en el intervalo de 5466 - 3075 yr cal BP (~ 2400 años); es decir, hubo práctica interrupción de la sedimentación en esa terraza adyacente, que suponemos equivalente a la de Santa Clara, situada 300 m al norte (figuras 14 y 16). En Huerto Ruano el control antrópico posterior hizo que en los siguientes 1000 años el registro de materiales subiera a casi 2 m (Figura 7).

El siguiente argumento tiene que ver con los abanicos aluviales asociados a la falla de Alhama de Murcia entre Lorca y Totana (e.g. Booth Rea y Silva, 2010), catalogables como “telescopicos” (Bowman, 1978) o “en cascada” (Nemec y Postma, 1993). Dichos abanicos sugieren una inclinación tectónica hacia el SE contemporánea a su formación y, como la parte distal de muchos de ellos se incurva hacia el NE, deducimos también una inclinación tectónica hacia el NE. En este proceso integramos el desarrollo del lóbulo exterior al abanico AFL en La Hoya (Figura 18B), datado en 7706 – 7981 yr cal BP (Silva *et al.*, 2008). Aquí atribuimos la formación de ese lóbulo a basculamiento hacia el NE y excavación del abanico de Lorca durante el Holoceno temprano.

Una prueba del tectonismo operante durante el Holoceno la proporciona la rambla Viznaga (Figura 2A). Se han descrito modelos de incisión de canal, retroceso del extremo superior de erosión (*knickpoint*), retroceso de los márgenes del río y formación de terrazas, como resultado de un descenso del nivel de base (e.g. Bridge, 2003). En nuestro caso interpretamos que un basculamiento tectónico del basamento de la depresión del Guadalentín, hacia el NE, creó dicho descenso del nivel de base y la aparición de la rambla Viznaga por erosión remontante (Figura 18C).

El paso de trayectoria rectilínea a meandriforme excavada del río Guadalentín aguas abajo de Lorca, puede compararse a cambios similares ocurridos a lo largo del curso de un río, interpretados como adaptación de la corriente fluvial a un sector del terreno que experimenta un aumento brusco de pendiente. El serpenteo del río tiende a mantener un gradiente constante en el cauce, aumentando la longitud de éste (e.g. Schumm *et al.*, 2000, Figura 2.13). El pulso de inclinación finalizó la historia deposicional natural del AFL.

El cauce actual del río Guadalentín al NE de Lorca, después de los meandros, sigue una trayectoria que se puede asimilar a una línea casi

recta (Figura 18D). Líneas similares en otros cauces de ríos fluyendo libremente por llanuras aluviales, se han atribuido a la actividad de fallas ocultas (e. g. Schumm *et al.*, 2000, p. 31). La hipotética falla, o más bien zona de falla del río Guadalentín según CHS (1990), radicada en el basamento, estaría dejando su impronta de actuación holocena en superficie, salvando un apreciable espesor de sedimentos poco consolidados de edad Plio-Cuaternario (CHS, *op. cit.*). Esta falla fue sugerida primeramente por teledetección (Fresneda *et al.*, 1977), y Martínez-Díaz (1998) la propuso como posible falla oculta con epicentros sísmicos. Pensamos que su traza puede seguirse en el subsuelo hasta el SO de Lorca (Figura 18D), y que su actividad habría contribuido al basculamiento descrito de bloques de basamento hacia el NE.

El tectonismo activo del Pleistoceno superior-Holoceno no se restringió al interior de la depresión del Guadalentín. La falla de Alhama de Murcia (FAM), límite norte de dicha depresión, tuvo actividad notable en ese periodo. Hernández-Enrile *et al.* (2000), en su estudio de la FAM en el segmento Lorca-Totana, refirieron una discordancia angular y erosiva entre depósitos de abanico inferiores, deformados por la FAM, y depósitos superiores de edades holocenas obtenidas por radiocarbono 14, entre 6000 y 8000 años. En un trabajo previo, Martínez-Díaz y Hernández-Enrile (1991) describieron un cambio de la componente principal de compresión (σ_1) en el tránsito Pleistoceno-Holoceno, de N150E a NNE-SSO. Ese cambio, quizás favoreciendo esfuerzos de transtensión en la depresión del Guadalentín, lo podemos relacionar con la modificación holocena del nivel de base de dicha depresión en el sector de Lorca, atribuido aquí a basculamiento de bloques.

Finalmente, en el sector central de la depresión del Guadalentín, en la zona de Librilla (Figura 1), hubo tectonismo activo importante durante el Holoceno. Calmel-Ávila (2000, p. 76) reveló que “los depósitos que componen las primeras secuencias del glacis holoceno (6340 – 3885 yr BP) se encuentran basculados en el eje del Guadalentín en la zona de la garganta del Romeral”. Más recientemente Calmel-Ávila *et al.* (2009, p. 461) precisaron que lo más determinante de la evolución holocena del sector descrito fue la actividad de la falla ciega del Romeral, “provocando cambios de nivel de base intracuencales que aceleraron el proceso de erosión remontante e inversión del drenaje en el interior de la Depresión”. En Lorca

tuvieron lugar procesos similares, pero desde el Holoceno temprano. Según Calmel-Ávila (1999, 2000) el exorreísmo completo del Bajo Guadalentín (Librilla-Murcia) se obtuvo por actuación tectónica alrededor de 2500 yr BP. En conclusión, sumando a lo descrito en la zona de Librilla el caso de Lorca expuesto en este trabajo, podemos decir que prácticamente toda la depresión del Guadalentín tuvo tectonismo activo durante el Holoceno. Los esfuerzos de transpresión y transtensión ligados a la actuación de la falla de Alhama de Murcia fueron determinantes en ello. Pero además es posible que esa actividad de la falla estuviera también influida por los esfuerzos de flexión del margen continental que, según Neves *et al.* (2014), debieron crearse por carga oceánica en la plataforma mediterránea tras la fusión de los hielos del Pleistoceno (e.g. Figura 1).

9. Conclusiones

Se ha caracterizado el abanico fluvial de Lorca y su transición al río Guadalentín durante el Pleistoceno final y Holoceno. El abanico presenta dimensiones superficiales de 11,5 x 9 km y un espesor aproximado de 19 m. El estudio de facies ha permitido diferenciar zonas proximal, intermedia y distal, desde el vértice a la orla del abanico, así como litologías de grava (minoritaria, en abanico proximal), arena, limo y arcilla. La edad de formación del abanico, obtenida de dataciones numéricas existentes y arqueológicas propias, es Pleistoceno final y Holoceno tardío, con influencia antrópica durante esta última etapa. Su excavación se produjo a lo largo del Holoceno, con formación de tres terrazas erosivas principales en el río Guadalentín. Se atribuye la aparición y desarrollo del abanico a tectónica transtensiva y transpresiva ligada a la falla de Alhama de Murcia, con influencia de descarga de materiales en zonas elevadas, carga y compactación de series en el valle del Guadalentín, y cambio de condiciones climáticas de glaciar a interglaciar durante el Pleistoceno final. El tránsito abanico-río Guadalentín, finalmente, se explica mediante un descenso del nivel de base en la Depresión del Guadalentín al NE de Lorca durante el Holoceno, provocado por un basculamiento tectónico. Esta hipótesis se basa en: inclinación de la unidad y capas interiores hacia el NE, giro de paleocorrientes, formación de meandros erosivos, actividad de las fallas de Alhama de Murcia y río Guadalentín, y erosión remontante de la rambla de Viznaga.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a D. Teófilo Molina y a D. José Antonio Martínez, responsables del Archivo General de la Confederación Hidrográfica del Segura, O.A., su amabilidad al suministrarnos información de su organismo relevante para la escritura del presente artículo. Igualmente agradecemos los comentarios constructivos de los revisores Carlos Sanz de Galdeano y María Ortuño Candela, que han permitido mejorar el manuscrito original. Expresamos nuestra gratitud al editor de la revista del IGME, D. Eulogio Pardo-Igúzquiza, por su labor de revisión y apoyo, y al IGME por conceder permiso para reproducir las figuras 1 y 4. Finalmente, mostramos nuestro reconocimiento a todos los arqueólogos que, a lo largo de varias décadas, han estudiado los lugares de excavación descritos en este trabajo.

Referencias

- Alcalá, F. J., Navarro, M., García-Jerez, A., Vidal, F., Creus, C., and Enomoto, T. (2012). Geología de la ciudad de Lorca (Murcia, España). Una base para evaluar el riesgo sísmico. 7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Donostia-San Sebastián, 1-7.
- Auge, M. (2008). Métodos geoelectrónicos para la prospección de agua subterránea. Universidad de Buenos Aires, 27 pp. (rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccionGeoelec.pdf, consultado el 20 de junio de 2020).
- Booth Rea, G., and Silva, P. (2010). Mapa Geológico de España E 1: 50.000, Hoja nº 953 (Lorca), Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 159 p.
- Bousquet, J. C. (1979). Strike-slip faults in southeastern Spain. *Tectonophysics*, 52, 277-286.
- Bousquet, J. C., and Montenat, C. (1974). Présence de décrochements nord-sud-ouest plio-quaternaires dans les Cordillères Bétiques orientales (Espagne). *Comptes rendus Académie des Sciences*, 278, 2617-2620.
- Bowman, D. (1978). Determination of intersection points within a telescopic alluvial fan complex. *Barth surface processes*, 3, 265-276.
- Bridge, J. S. (2003). *Rivers and Floodplains*: Oxford, U.K. Blackwell, 491 pp.
- Bridge, J. S. (2006). Fluvial facies models: Recent developments. In: H.W. Posamentier, and R.G. Walker (eds.), *Facies Models revisited*. Society for Sedimentary Geology, 84, 85-170.
- Calais, E., Freed, A. M., Van Arsdale, R., and Stein, S. (2010). Triggering of New Madrid seismicity by late-Pleistocene erosion. *Nature*, 466, 608-611.
- Carmel-Avila, M. (1999). Géomorphogenèse holocène dans le bas-Guadalentín, bassin du Segura, Murcie, Espagne. Thèse doctorale. Presses universitaires du septentrion, Lille. 323 pp.
- Carmel-Avila, M. (2000). Procesos hídricos holocenos en el Bajo Guadalentín (Murcia, España). *Cuaternario y Geomorfología*, 14(1-2), 65-78.
- Carmel-Avila, M., Silva, P. G., Bardají, T., Goy, J. L., and Zazo, C. (2009). Drainage system inversion in the Guadalentín Depression during the Late Pleistocene-Holocene (Murcia, Spain). In: C. Romero, F. Belmonte, F. Alonso, and F. López-Bermudez (eds.), *Advances in studies on desertification*. Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia, Murcia, 461-464.
- Cano Gomáriz, M., Lomba Maurandi, J., and Sánchez González, M. J. (1993). Procesos postdeposicionales en el valle del Guadalentín: La Rambla de Librilla (Librilla, Murcia). *Procesos Postdeposicionales Arqueología Espacial*, 16-17, 169-179.
- Cárceles, E., Soler, A., and López, C. (2018). De la Prehistoria al Medioevo: Los hallazgos arqueológicos de la calle Marsilla 12 de Lorca (Murcia). *Alberca*, 16, 49-79.
- Cerón, J. C., and Pulido-Bosch, A. (1996). Groundwater problems resulting from CO₂ pollution and overexploitation in Alto Guadalentín aquifer (Murcia, Spain). *Environmental Geology*, 28, 223-228.
- CHS (1990). Estudio y redacción del Plan de Ordenación del Acuífero del Alto Guadalentín. Tomo XXIII, Plano nº 2: Cortes Hidrogeológicas. Confederación Hidrográfica del Segura. Inédito.
- Cuenca Payá, A., and Walker, M. J. (1985). Consideraciones generales sobre el Cuaternario continental en Alicante y Murcia. *Cuadernos de Geografía*, 36, 21-32.
- Cuenca Payá, A., and Walker, M. J. (1986). Paleoclimatic oscillations in continental upper Pleistocene and Holocene formations in Alicante and Murcia. In: López-Vera (ed.), *Quaternary climate in Western Mediterranean, symposium on climatic fluctuations during the Quaternary in the Western Mediterranean Regions*. Universidad Autónoma de Madrid, pp. 365-375.
- Espinalt y García, B., and Palomino, J. F. (1778). *Vista meridional de la ciudad de Lorca (Murcia)*. De la obra: *Atlante Español*, V. 1: Estampa 5, Madrid.
- Ferrater, M., Ortuño, M., Masana, E., Pallàs, R., Perea, H., Baize, S., García-Meléndez, E., Martínez-Díaz, J. J., Echeverría, Rockwell, T. K., Sharp, W. D., Medialdea, A., and Rhodes, E. J. (2016). Refining seismic parameters in low seismicity areas by 3D trenching: The Alhama de Murcia fault, SE Iberia. *Tectonophysics*, 680, 122-128.
- Fresneda, V. S., Sánchez, J. A., and Artés, F. (1977). Aplicación científica de las fotografías de la superficie terrestre obtenidas mediante satélites artificia-

- les.- I- Gran accidente geotectónico en la Zona Central de la provincia de Murcia (España). *Tecniterrae*, 16, 8-18.
- Fuentes, N., García-Martínez, M. S., González-Sampériz, P., Fernández, S., Carrión, J. S., López-Campuzano, M., and Medina, J. (2005). Degradación ecológica y cambio cultural durante los últimos cuatro mil años en el sureste ibérico semiárido. *Anales de Biología*, 27, 69-84.
- Gallardo Carrillo, J., González Ballesteros, J. A., and Oteo Cortázar, M. (2007). La actividad alfarera en Lorca: pervivencia artesanal desde la época ibérica hasta el siglo XIX. *Alberca*, 5, 135-152.
- García-Mondéjar, J. (2012). Lorca entre fallas. *Alberca*, 10, 289-292.
- García-Mondéjar, J., Martínez Rodríguez, A., Ponce García, J. (2014a). Datos de tectónica activa, sismicidad y arqueología en el subsuelo de Lorca (Murcia). Resúmenes de la 2a Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Lorca, España, 135-138.
- García-Mondéjar, J., Sanz de Galdeano, C., and Ferrairó Salvador, J. M. (2014b). Relación entre sedimentación y tectónica Neógeno-Cuaternaria en el sector de Lorca. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27, 253-269.
- García-Mondéjar, J., Sanz de Galdeano, C., Martínez Rodríguez, A., and Ponce García, J. (2017). Fault-induced deformation in houses and streets of Lorca city (Spain) during the last centuries. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 30(1), 3-19.
- García-Mondéjar, J., Martínez Rodríguez, A., Ponce García, J. (2018). Incisión y relleno del río Guadalentín en Lorca durante el Holoceno: causas tectónicas y antrópicas. Resúmenes de la III Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Alicante, España, 165-169.
- García-Mondéjar, J., Martínez Rodríguez, A., and Ponce García, J. (2019). Deformaciones en un área exterior del convento de la Virgen de las Huertas (Lorca, Murcia) atribuibles al terremoto local de 1579. *Geogaceta*, 66, 135-138.
- González, P. J., Tiampo, K. F., Palano, M., Cannavó, F., and Fernández, J. (2012). The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater crustal unloading. *Nature Geoscience*, 5, 821-825.
- Hernández-Enrile, J. L., Martínez-Díaz, J. J., Masana, E., and Santanach, P. (2000). Resultados preliminares del estudio paleosísmico mediante trincheras de la falla de Alhama de Murcia (Cordillera Bética). *Geotemas*, 1(4), 335-339.
- Hooke, R. LeB. (1967). Processes on arid-region alluvial fans. *Journal of Geology*, 75, 438-460.
- IGME (1976). Cortes geoelectrónicos. Prospección geofísica en el alto Guadalentín. Plan sectorial de aguas subterráneas. Subsector Cuenca del Segura. Centro de Documentación del IGME, Madrid, Planos 28 y 29.
- IGME (2015). Mapa Geológico de España y Portugal E 1:1.000.000. R. Rodríguez Fernández (IGME) y Tomás Oliveira (LNEG) (eds.).
- ING (1999). Mapa Topográfico Nacional de España. E: 1: 25.000, Hojas 953 (III-IV) y 975 (I-II). Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional.
- ITGE (1993). Mapa geológico de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Escala 1:200.000. Madrid.
- López Martínez, M. V., López Martínez, C. M., and Haber Uriarte, M. (2008). Intervención arqueológica en la Calle Carril de Caldereros, Lorca. XIX Jornadas de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia, 291-294.
- Martínez Díaz, J. J. (1998). Neotectónica y Tectónica Activa del sector centro-occidental de la región de Murcia y sur de Almería. 2 tomos. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 466 p.
- Martínez Díaz, J. J. (2002). Stress field variation related to fault interaction in a reverse oblique-slip fault: the Alhama de Murcia fault, Betic Cordillera, Spain. *Tectonophysics*, 356 (1/3), 291-305.
- Martínez Díaz, J. J., and Hernández Enrile, J. L. (1991). Reactivación de la Falla de Alhama de Murcia (sector de Lorca-Totana): Cinemática y campos de esfuerzos desde el Messiniense hasta la Actualidad. *Geogaceta*, 9, 38-42.
- Martínez-Díaz, J. J., Massana, E., and Ortuño, M. (2012). Active tectonics of the Alhama de Murcia fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Iberian Geology*, 38(1), 253-270.
- Martínez del Olmo, W., Klimowitz, J., and Hernández, E. (2006). El despegue extensional mioceno de la zona de falla de Alhama de Murcia. *Boletín Geológico y Minero*, 117, 363-377.
- Martínez Rodríguez, A. (1990). Primera campaña de excavaciones en la villa romana de la Torre de Sancho Manuel (Lorca). *Memorias de Arqueología de la Región de Murcia*, 5, 141-158.
- Martínez Rodríguez, A., and Ponce García, J. (1996). Aportaciones a los orígenes de la alfarería en Lorca a partir del horno ibérico hallado en la calle Alonso Fajardo, nº 1. *Memorias de Arqueología*, 11, 379-390.
- Martínez Rodríguez, A., and Ponce García, J. (1997). Excavaciones arqueológicas de urgencia en un enclave romano y un asentamiento del neolítico final en la calle Floridablanca, espalda Huerto Ruano (Lorca, Murcia). *Memorias de Arqueología*, 12, 291-306.
- Martínez Rodríguez, A., and Ponce García, J. (1999). Evolución del poblamiento desde época Ibérica hasta los inicios de la romanización en el casco urbano de Lorca (Murcia). XXVI Congreso Nacional de Arqueología, 4 (1999), 227-238.
- Masana, E., Martínez Díaz, J. J., Hernández-Enrile, J. L., and Santanach, P. (2004). The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse

- plate boundary. Seismotectonic implications for the Ibero-Maghrebian region. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 109, B01301, 1-17.
- Montenat, C., Masse, P., Coppier, G., and Ott d'Estevou, P. (1990). The sequence of deformations in the Betic Shear Zone (S.E. Spain). *Annales Tectonicae*, Special Issue, IV(2), 96-103.
- Nemec W., and Postma, G. (1993). Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. In: M. Marzo, and C. Puigdefábregas, *Alluvial Sedimentation*. International Association of Sedimentologists, Special Publication 17, 235-276.
- Neves, M. C., Cabral, J., Figueiredo, P. M., Luttrell, K., Neves, R., Rockwell, T. K., and Sandwell, D. (2014). Stress changes in Iberia induced by eustatic sea level rise. *Resúmenes de la 2a Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología*, Lorca, España, 209-212.
- Nichols, G. J., and Fisher, J. A. (2007). Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195(1-2), 75-90.
- Peltier, W. R., and Fairbanks, R. G. (2006). Global Glacial Ice Volume and Last Glacial Maximum Duration from an Extended Barbados Sea Level Record. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322-3337.
- PEPRI (2000). Plan especial de protección y rehabilitación integral en el conjunto histórico artístico de Lorca. Excelentísimo Ayuntamiento de Lorca, Plano 18.4, Escala 1:500.
- Ponce García, J. (1998). Excavaciones de urgencia en el Carril de Caldereros, edificio Plaza real nº 5 (Lorca, Murcia). *Memorias de Arqueología*, 7, 267-276.
- Ponce García, J., Martínez Rodríguez, A., and Pérez Richard, E. (2005). Restos de un "palacio islámico en el convento de Ntra. Sra. La Real de las Huertas (Lorca, Murcia). *Alberca*, 3, 85-105.
- QAFI: <http://info.igme.es/qafi/> Quaternary Active Fault Database of iberia v.2.0 – december 2011 (García-Mayordomo, J. *et al.*, eds.) IGME, Madrid.
- Rodríguez-Escudero, E. (2017). Implicaciones de la estructura interna de una zona de falla activa en la génesis de terremotos. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, 304 pp.
- Roquero, E. Silva, P. G., Élez, J., Rodríguez-Pascua, M. A., Medialdea, A., Giner, J. L., Pérez López, R., and Bardají, T. (2019). Registro edáfico de los cambios paleoambientales en la depresión del Guadalentín durante el Holoceno (Murcia, SE España). *XV Reunión Nacional de Cuaternario Bizkaia Areatoa*. Bilbao, Libro de resúmenes p. 235-238.
- Sanz de Galdeano, C., García-Mondéjar, J., and Ferrairó, J. M. (2012). Evolución tectónica del sector de Lorca desde el Mioceno superior al Cuaternario. *Física de la Tierra*, 24, 193-211.
- Schumm, S. A., Dumont, J. F., and Holbrook, J. M. (2000). *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge University Press, 276 pp.
- Sen, G. (2013). *Petrology, principles and practice*. Springer Science and Business Media, 368 pp.
- Silva, P. G. (1994). Evolución Geodinámica de la Depresión del Guadalentín desde el Mioceno Superior hasta la actualidad. *Neotectónica y Geomorfología*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 642 pp.
- Silva, P. G. (2014). The Guadalentín Tectonic Depression, Betic Cordillera, Murcia. F. Gutiérrez and M. Gutiérrez (eds.). *Landscapes and landforms of Spain, World Geomorphological Landscapes*. Springer, 25-35.
- Silva, P. G., Bardají, T., Calmel-Avila, M., Goy, J. L., and Zazo, C. (2008). Transition from alluvial to fluvial systems in the Guadalentín Depression (SE Spain) during the Holocene: Lorca Fan versus Guadalentín River. *Geomorphology*, 100, 140-153.
- Spearing, D. A. (1974). Alluvial fan deposits. *Geological Society of America. Summary sheets of sedimentary deposits*, Sheet I, Boulder, Colorado, MC-8.
- Strydonck, M. V., Landrie, M., Hendrix, V., Maes, A., Klaas, B. Vd., Jong, A. F. M., Alderliesten, C., and Keppens, E. (2001). Lorca series, Radiocarbon Dates XVII. *Royal Institute for Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, 34-35.
- Turrión Peláez, F. (2012). Nuevas aportaciones al conocimiento hidrogeológico del valle del Guadalentín y su evolución en los últimos 30 años. <http://www.franciscoturrión.com/2012/12/el-acuífero-de-Lorca-no-esta.html>. Información obtenida el 23 de Octubre de 2019.

