

## Análisis arqueosismológico del conjunto arqueológico romano de Mulva-Munigua (Sevilla, España). Resultados preliminares

### *Archaeoseismological analysis of Mulva-Munigua roman archaeological site (Sevilla, Spain). Preliminary results*

J.L. Giner-Robles<sup>1</sup>, T. Bardaji<sup>2</sup>, M.A. Rodríguez-Pascua<sup>3</sup>, P.G. Silva<sup>4</sup>, E. Roquero<sup>5</sup>, J. Elez<sup>4</sup>, M.A. Perucha<sup>3</sup>, R. Baena<sup>6</sup>, I. Guerrero<sup>6</sup>, J.J. Fernández-Caro<sup>6</sup>, R. Pérez-López<sup>4</sup> y E. Rodríguez-Escudero<sup>1</sup>

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid 28049 Madrid. [jorge.giner@uam.es](mailto:jorge.giner@uam.es)

2 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), España. [teresa.bardaji@uah.es](mailto:teresa.bardaji@uah.es)

3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid. España; [ma.rodriguez@igme.es](mailto:ma.rodriguez@igme.es), [r.perez@igme.es](mailto:r.perez@igme.es)

4 Dpto. Geología. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad Salamanca. 05003-Ávila. España; [pgsilva@usal.es](mailto:pgsilva@usal.es)

5 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. [elvira.roquero@upm.es](mailto:elvira.roquero@upm.es)

6 Dpto. Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/nº. 41004-Sevilla. [baena@us.es](mailto:baena@us.es), [imgaer@us.es](mailto:imgaer@us.es), [posada@us.es](mailto:posada@us.es)

**Resumen:** El conjunto arqueológico romano de Mulva-Munigua (Sevilla, España) presenta daños en las edificaciones que pueden ser interpretadas como resultado de la ocurrencia de un evento sísmico (Efectos Arqueológicos de los Terremotos: EAEs) a finales del siglo III A.D., fecha coincidente con el inicio del periodo de declive económico de este asentamiento romano. Para intentar establecer el posible origen sísmico de las deformaciones, se ha procedido al inventario y análisis de las estructuras deformadas presentes en el yacimiento. No obstante, algunas de estas deformaciones también se pueden interpretar como resultado de procesos gravitacionales asociados a la ladera Este de la colina sobre la que se sitúa parte del yacimiento. Las direcciones de máxima deformación (ey) obtenidas del análisis de EAEs indica dos direcciones preferentes de la deformación (o movimiento preferente del terreno): NNO-SSE y ENE-OSO. Aunque los datos presentan una dispersión importante, se puede establecer que la orientación principal NNO-SSE es compatible con un evento sísmico situado en el borde norte del Valle del Guadalquivir. La orientación ENE-OSO podría relacionarse con un evento posterior, o más seguramente con procesos de ladera de carácter cosísmico o no.

**Palabras clave:** arqueosismología, terremoto, yacimiento arqueológico de Mulva-Munigua, Sevilla, España

**Abstract:** *The Roman archaeological site of Mulva-Munigua (Sevilla, Spain) displays building damage features suggesting a seismic origin (Earthquake Archaeological Effects: EAEs). The proposed seismic event could be tentatively dated in the late 3<sup>rd</sup> century AD, coinciding with the beginning of the economic fall of the Roman Empire at Iberia. However, some of the recorded EAEs can be also interpreted as a result of intervening slope movements in the eastern hillslope of this roman site. The inventory and analysis of the proposed EAEs make possible to discern between seismic oriented damage and other causes. In spite of the data show a significant dispersion, their analysis result in two different orientations of maximum deformation (ey) or preferential ground movement: NNW-SSE and ENE-WSW. The main ey orientation (NNW-SSE) can be tentatively related to a seismic event occurred in the environs of the northern border of the Guadalquivir Depression. The secondary orientation (ENE-WSW) can be interpreted as a consequence of latter slope movements triggered (or not) by other ancient earthquakes.*

**Key words:** *archaeoseismology, earthquake, Mulva-Munigua archaeological site, Sevilla, Spain.*

## INTRODUCCIÓN

El conjunto arqueológico romano de Mulva-Munigua está situado en Sierra Morena en la provincia de Sevilla (España) en las proximidades de la localidad de Villanueva del Río y Minas (Fig. 1). Este asentamiento romano surge a finales del siglo I a.C. sobre un asentamiento íbero previo, convirtiéndose en el centro económico, político y religioso de una amplia zona durante los cuatro primeros siglos de nuestra era.

En principio su existencia está ligada a la explotación de recursos mineros en la zona, pero posteriormente se convierte en el centro religioso de la zona con la construcción varios templos, destacando el

santuario en terrazas que domina el asentamiento desde la pequeña colina alrededor de la cual se desarrolla en asentamiento. De mediados del siglo I d.C., datan los principales edificios públicos del enclave: foro, termas, Templo de Podio, etc. Su declive económico se inicia en la segunda mitad del siglo III d.C., perdiendo poco a poco su papel de centro económico y religioso, siendo abandonada definitivamente en el siglo VIII.

Los trabajos de excavación realizados en el yacimiento en los últimos 40 años parecen indicar la ocurrencia de un evento sísmico que afectó al asentamiento en la segunda mitad del siglo III d.C. (Schattmer, 2003), coincidiendo aproximadamente con

el inicio del periodo de declive económico de este asentamiento.

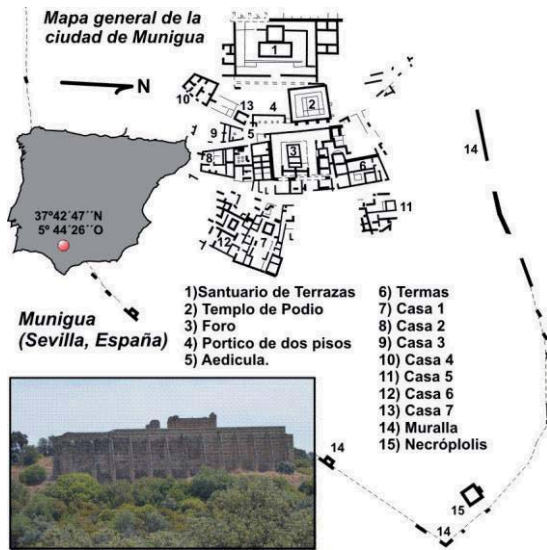


FIGURA 1. Localización del conjunto arqueológico de Mulva-Munigua (Sevilla, España) y situación de las principales construcciones excavadas. Vista desde el oeste del Santuario de terrazas situado en la colina que domina el yacimiento.

**ANÁLISIS ARQUEOSISMOLÓGICO**

En el yacimiento son visibles numerosas estructuras deformadas susceptibles de haberse producido por un evento sísmico (Fig. 2). No obstante estas deformaciones pueden haberse producido por otros procesos naturales (e.g. deslizamientos), y más teniendo en cuenta que parte del yacimiento se sitúa en la ladera de la colina que preside el yacimiento.



FIGURA 2. Ejemplo de una de las deformaciones presentes en el yacimiento: rotación y desplazamiento de un arco de ladrillo en las termas de la ciudad (ver Fig.1).

Para poder establecer el origen de las deformaciones aplicamos la metodología propuesta por

Giner-Robles et al. (2011, 2012), análisis aplicado en otros yacimientos arqueológicos (e.g. Baelo Claudia, Cádiz, España) (Silva et al., 2016). Esta metodología consiste en primer lugar en identificar e inventariar todas las deformaciones observables en las diferentes edificaciones y estructuras del yacimiento (Rodríguez-Pascua et al., 2011) (Fig. 3). En segundo lugar, analizarlas mediante técnicas de análisis estructural geológico para obtener las orientaciones de máxima deformación (ey) que han producido los daños (dirección y/o sentido de la deformación). Y finalmente se analizan las orientaciones de forma individual y colectiva de forma que se pueda establecer la presencia de modas en la orientación de ey: la homogeneidad de los resultados permite inferir el posible origen sísmico de las estructuras de deformación presentes.

Por deformación permanente del sustrato	Simbología cartográfica y de análisis
- Pavimentos de argamasa plegados	<p>la traza del plegue marca la orientación del eje</p>
- Impactos entre el enlosado	<p>045° acimut el valor numérico marca el acimut del impacto entre las losas, paralelo a la dirección de ey</p>
- Contrafuertes desplazados y girados	<p>la línea define la orientación sobre la cual se ha producido el desplazamiento, la flecha marca el sentido relativo del movimiento</p>
- Muros basculados	<p>dirección la dirección marca la orientación del muro, el acimut define el sentido de basculamiento del muro (6° ángulo de inclinación).</p>
- Muros desplazados	<p>la línea define la orientación sobre la cual se ha producido el desplazamiento, la flecha marca el sentido relativo del movimiento.</p>
- Muros Plegados	<p>la traza del plegue marca la orientación del eje</p>
- Subsidiencias y hundimientos	<p>área subsidente sentido de subsidencia</p>
Deformaciones instantáneas a la vibración	Simbología cartográfica y de análisis
- Fracturas penetrativas en bloques de sillería	<p>el símbolo debe situarse encima del muro afectado</p>
- Fracturas conjugadas en muros de estuco o ladrillo	<p>dirección la dirección marca la orientación del muro</p>
- Columnas caídas y orientadas	<p>azimut 217° la línea define el acimut de caída de la columna, se incluye el valor numérico</p>
- Giros en bloques de sillería y columnas	<p>giro en el sentido de las agujas del reloj (destró) giro en sentido contrario a las agujas del reloj (siestro)</p>
- Bloques de sillares desplazados	<p>valor (cm) 19 el vector marca el sentido de movimiento del bloque más alejado del suelo, el valor numérico representa el desplazamiento en cm</p>
- Arcos desplazados	<p>movimiento vertical de dovelas movimiento horizontal de dovelas</p>
- Muros colapsados	<p>la dirección marca la orientación del muro, el acimut define el sentido hacia el cual colapsa el muro</p>
- Roturas en esquinas de bloques	<p>45/255 zona inferior bloque 45/255 el valor numérico define el sentido de buzamiento de la fractura 45/255 zona superior bloque</p>
<p>muros deformados con orientación: E-O /ENE-OSO N-S / NNO-SSE efecto arca (Giner-Robles et al., 2011) posibles reparaciones de daños sísmicos en edificaciones</p>	

FIGURA 3. Clasificación (Rodríguez-Pascua et al., 2011) y simbología de efectos arqueológicos de terremotos (EAEs) (Giner-Robles et al., 2011) analizados en el yacimiento de Mulva-Munigua (únicamente se han representado los efectos presentes en el yacimiento).

Se ha realizado la cartografía de los efectos arqueológicos de terremotos (EAEs) en el yacimiento (Giner-Robles et al., inédito), inventariando un total de 85 EAEs, distribuidos en las principales estructuras del yacimiento: Santuario de Terrazas, Foro, Pórtico de dos pisos, Templo del Podio, Termas (Fig.2), necrópolis y las 7 casas excavadas hasta la actualidad (Fig.4 y 5). Los EAEs más comunes en el yacimiento son fundamentalmente: muros basculados y colapsados, caídas orientadas (pilares y columnas),



desplazamientos y rotaciones de bloques y fracturas penetrativas.

Las estructuras que presentan mayor número de daños y en las que se han inventariado más EAEs son las casas 1 y 2 (Fig.1). Además, es en estas dos edificaciones donde se han definido, a partir de las excavaciones arqueológicas, mayor número de evidencias del terremoto de finales del siglo III (Schattmer, 2003).

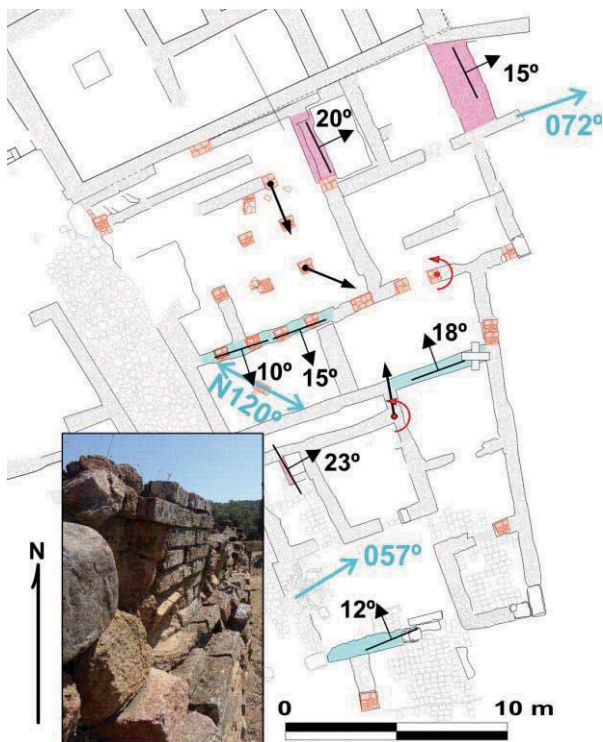


FIGURA 4. a) Cartografía de EAEs en la casa 2 (ver Fig.1) (Giner-Robles et al., inédito). Las principales estructuras cartografiadas en esta edificación son basculamientos y colapsos de muros, rotaciones y desplazamientos de bloques y caídas orientadas (leyenda en Fig.3). b) Imagen de uno de los muros de la casa desplazados.

Se han obtenido las direcciones de máxima deformación (ey) a partir de las orientaciones de los daños establecidas en el yacimiento. La relación angular entre la orientación de los datos y la orientación de ey deducida de su análisis depende de la interpretación cinemática teórica de cada una de las estructuras (Giner-Robles et al., 2011).

Las deformaciones que presentan las casas que se localizan en las zonas más planas del yacimiento (todas excepto las casas 4 y la 7) presentan orientaciones de máximo acortamiento horizontal según NNW-SSE (Figs. 4 y 5). En cambio el resto de edificaciones, incluyendo los templos principales (Templo de Terrazas y Templo de Podio) presentan orientaciones de daños (caídas y basculamientos de muros y columnas) hacia el este (Fig.6), es decir a favor de la pendiente de la colina en la que se encuentra el Templo de Terrazas.

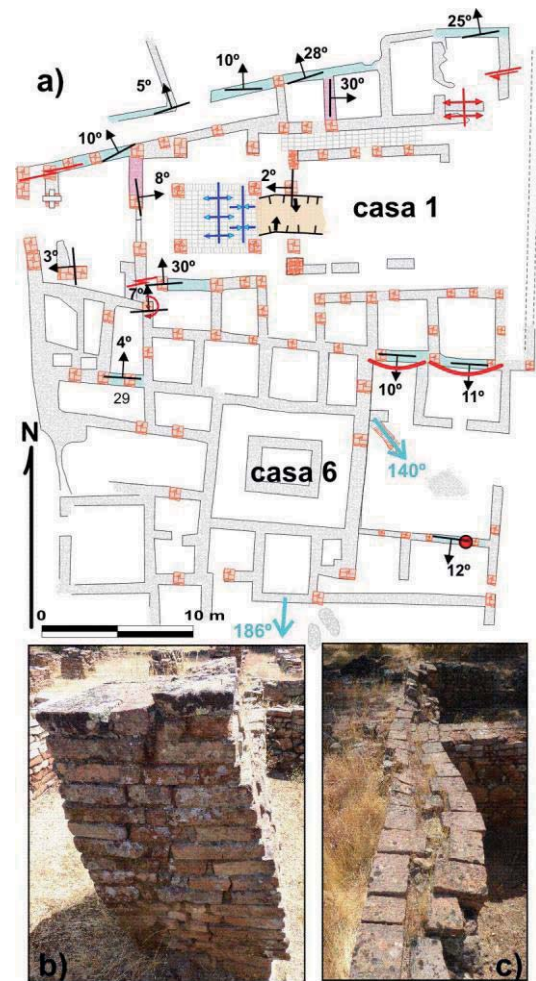


FIGURA 5. a) Cartografía de los EAEs en las casas 1 y 6 (Giner-Robles et al., inédito). Las principales estructuras inventariadas en esta casa son basculamientos y colapsos de muros y caídas orientadas (pilares de ladrillo). b) Basculamiento de uno de los pilares de ladrillo de la casa 1. c) Muro plegado y desplazado en el límite de la casa 1 con la casa 6 (ver Fig.1).

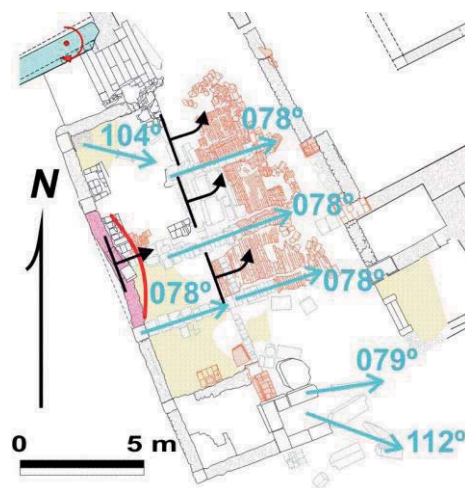


FIGURA 6. a) Cartografía de los EAEs en el Pórtico de dos pisos (ver Fig.1) (Giner-Robles et al., inédito). Las principales estructuras inventariadas en esta casa son colapsos de muros y caídas orientadas (pilares de ladrillo) hacia el este.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los datos en función del tipo de EAE (Fig.6 a y b), muestra orientaciones muy homogéneas para cada uno de ellos. En el caso de los muros basculados y colapsados la rosa de orientaciones muestra una orientación muy homogénea según N-S. En cambio las caídas orientadas de columnas y pilares de ladrillo muestran orientaciones de colapso hacia N70°E y N110°E.

Las direcciones de máxima deformación (ey) obtenidas del análisis de todos los daños inventariados en el yacimiento (Fig. 6c) muestra dos direcciones preferentes de la deformación: NNO-SSE y ENE-OSO. Y aunque los datos presentan una dispersión importante, se puede establecer que la orientación principal de la deformación según NNO-SSE es compatible con un evento sísmico (Fig. 6d). La orientación según ENE-OSO puede estar relacionada con la orientación de las pendientes en la base de la colina en la que se asienta el yacimiento, o bien estar relacionada con otro evento posterior.

Los resultados permiten apoyar la hipótesis propuesta por otros autores (Schattmer, 2003) sobre la ocurrencia de un evento sísmico que afectó al asentamiento. Con el estudio preliminar realizado no se puede establecer la edad de las deformaciones, aunque la mayor parte de los daños analizados en la zona baja de la ciudad (casas 1, 2, 3, 5 y 6) están datados arqueológicamente hacia finales del siglo III.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación: CATESI-07 (IGME), CGL2012-37281-C02.01 y CGL2015-67169-P (USAL). Una contribución del Grupo de trabajo QTECT-AEQUA.

## REFERENCIAS

- Giner-Robles, J.L., Silva Barroso, P.G., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Bardají Azcárate, T., Garduño-Monroy, V.H., y Lario Gómez, J. (2011): *Evaluación del daño sísmico en edificios históricos y yacimientos arqueológicos. Aplicación al estudio del riesgo sísmico*. Proyecto EDASI. Serie Investigación. Fundación MAPFRE, 96 pp.
- Giner-Robles, J.L., Pérez-López, R., Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A., Martín-González, F. y Cabañas, L. (2012): Análisis estructural de daños orientados en el terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. *Aplicaciones en Arqueosismología. Boletín Geológico y Minero*, 123 (4), 503-513.

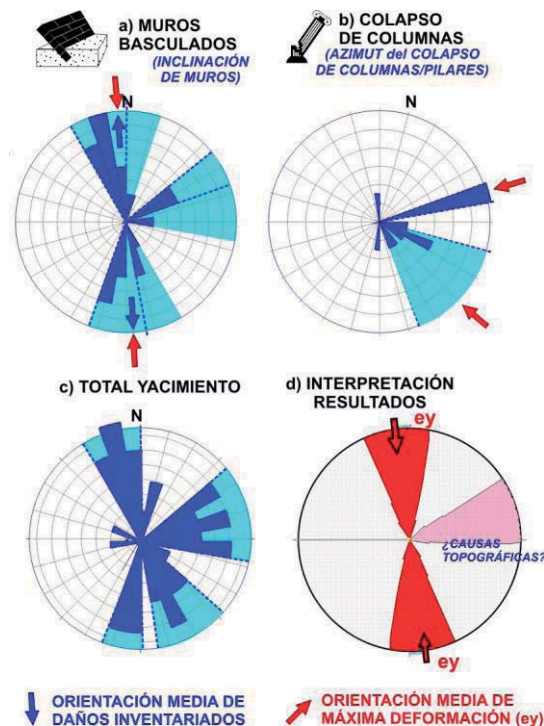


FIGURA 6. Resultados del análisis de las orientaciones de daños. a) Rosa de orientaciones de daños (en azul) y orientaciones de máxima deformación (ey) deducidas (en rojo) para: a) muros basculados y b) para caídas orientadas (colapso de columnas y pilares). c) Rosa de orientaciones de daños para todo el yacimiento (todos los EAEs). d) Interpretación de los resultados, definición de orientaciones de ey.

- Giner-Robles, J.L., Bardají, T., Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., Roquero, E., Elez, J., Perucha, M.A., Baena, R., Guerrero, I., Fernández-Caro, J.J., y Pérez-López, R. (inédito): *Mapa de efectos arqueológicos de terremotos (EAE) en la ciudad romana de Munigua (Sevilla, España)*, QTECT-AEQUA.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Silva, P.G., Giner-Robles, J.L., Garduño-Monroy, V.H., and Reicherter, K., (2011): A Comprehensive Classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) for Archaeoseismology. *Quaternary International*, 242: 20-30.
- Schattner, T.G. (2003) *Munigua. Cuarenta años de investigaciones*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura. Instituto Arqueológico Alemán, 335 p.
- Silva, P.G., Reicherter, K., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Grützner, C., García-Jiménez, I., Carrasco García, P. y Pérez-López, R. (2016): Arqueosismología del Conjunto Arqueológico Romano de Baelo Claudia (Cádiz, Sur de España). *Estado de la cuestión. En: II Jornadas Internacionales de Baelo Claudia. Nuevas investigaciones*, 63-91.