

Iberfault 2022

IV Reunión Ibérica

sobre Fallas Activas y Paleosismología

TERUEL · 7 al 10 de septiembre de 2022



VOLUMEN DE RESÚMENES

IBER 
2022 **FAULT**



IV Reunión Ibérica
sobre Fallas Activas y Paleosismología

TERUEL · 7 al 10 de septiembre de 2022

VOLUMEN DE RESÚMENES

Editores:

Iván Martín, Carlos L. Liesa, Pedro Alfaro, Carolina Canora, Lope Ezquerro,
Jesús Galindo, José J. Martínez, Alba Peiro, Óscar Pueyo, José L. Simón

Los trabajos contenidos en el presente volumen deberán citarse como en el siguiente ejemplo:

García-Mayordomo, J. y Martín-Banda, R. (2022). Prospectiva de zonas de interés para el desarrollo futuro de estudios de actividad tectónica reciente en España. *Resúmenes IV Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología*, Teruel, Universidad de Zaragoza, pp. 177-180.

D.L.: Z 1059-2022

ISBN: 978-84-18321-58-0



Servicio de
Publicaciones
Universidad Zaragoza

© Los autores

Editores:

Iván Martín, Carlos L. Liesa, Pedro Alfaro, Carolina Canora, Lope Ezquerro,
Jesús Galindo, José J. Martínez, Alba Peiro, Óscar Pueyo, José L. Simón

Diseño: Alba Peiro

Editado por:

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza.

Fotografía de portada: Falla de Concud en Los Baños, Teruel. Autora: Paloma Lafuente.

Iberfaut 2022

Comité coordinador

José L. Simón Gómez (Universidad de Zaragoza)
Carlos L. Liesa Carrera (Universidad de Zaragoza)
Iván Martín Rojas (Universidad de Alicante)
María Ortuño Candela (Universidad de Barcelona)
Alba Peiro Chamarro (Universidad de Zaragoza)

Comité editorial

Iván Martín Rojas (Universidad de Alicante)
Carlos L. Liesa Carrera (Universidad de Zaragoza)
Pedro Alfaro García (Universidad de Alicante)
Carolina Canora Catalán (Universidad Autónoma de Madrid)
Lope Ezquerro Ruiz (Universidade NOVA de Lisboa – Universidad de Zaragoza)
Jesús Galindo Zaldívar (Universidad de Granada)
José J. Martínez Díaz (Universidad Complutense de Madrid)
Alba Peiro Chamarro (Universidad de Zaragoza)
Óscar Pueyo Anchuela (Universidad de Zaragoza)
José L. Simón Gómez (Universidad de Zaragoza)

Comité organizador

José L. Simón Gómez (Universidad de Zaragoza)
Carlos L. Liesa Carrera (Universidad de Zaragoza)
Iván Martín Rojas (Universidad de Alicante)
María Ortuño Candela (Universidad de Barcelona)
Alba Peiro Chamarro (Universidad de Zaragoza)
Camino Álvarez Fidalgo (Facultad Ciencias Humanas y Sociales, Teruel)
Luis E. Arlegui Crespo (Universidad de Zaragoza)
Pedro Alfaro García (Universidad de Alicante)
José A. Álvarez Gómez (Universidad Complutense de Madrid)
Carolina Canora Catalán (Universidad Autónoma de Madrid)
Lope Ezquerro Ruiz (Universidade NOVA de Lisboa – Universidad de Zaragoza)
Jesús Galindo Zaldívar (Universidad de Granada)
Julián García Mayordomo (IGME, Madrid)
Paloma Lafuente Tomás (ADIF)
Aránzazu Luzón Aguado (Universidad de Zaragoza)
José J. Martínez Díaz (Universidad Complutense de Madrid)
Eulàlia Masana Closa (Universitat de Barcelona)
Óscar Pueyo Anchuela (Universidad de Zaragoza)
Miguel Ángel Rodríguez Pascua (IGME, Madrid)

Comité Científico

José A. Álvarez Gómez
Pedro Alfaro García
Juan C. Balanya Roure
Josep Batlló Ortiz
Marta Béjar Pizarro
Carolina Canora Catalán
Antonio Casas Sainz
Cristina Crespo Martín
José Delgado Marchal
Javier Elez Villar
Lope Ezquerro Ruiz
Jesús Galindo Zaldívar
Julián García Mayordomo
Jorge Gaspar Escribano
Antonio J. Gil Cruz

Laura Gómez De La Peña
Álvaro González Gómez
Juan M. Insua Arévalo
Giorgi Khazaradze Tsilosani
Carlos L. Liesa Carrera
Adolfo Maestro González
Carlos Marín Lechado
Raquel Martín Banda
Fidel Martín González
Iván Martín Rojas
José J. Martínez Díaz
Eulàlia Masana Closa
Iván Medina Cascales
María Ortuño Candela

José A. Peláez
Héctor Perea Manera
Raúl Pérez López
Óscar Pueyo Anchuela
César Rodríguez Ranero
Klaus R. Reicherter
Miguel Á. Rodríguez Pascua
Eduard Roca Abella
Alberto Sánchez Alzola
Mario Sánchez Gómez
Miguel Á. Santoyo Frausto
José L. Simón Gómez
Alejandra Staller Vázquez
Arantza Ugalde Aguirre
Juan T. Vázquez Garrido

ÍNDICE

SESIÓN 1: Tectónica activa y paleosismología de las Cordilleras Béticas (I)

- 1 SEISMOGENIC CONSIDERATIONS ON THE VERTICAL SLIP RATE OF THE FRONTAL STRANDS OF THE CARRASCOY FAULT (SE IBERIAN PENINSULA) FROM P-WAVE TOMOGRAPHY ANALYSIS
J.M. Insua-Arévalo, R. Martín-Banda, J. García-Mayordomo, J.J. Martínez-Díaz, H. Handoyo, I. DeFelipe, D. Martí, T. Teixidó, J. Alcalde, I. Palomeras y R. Carbonell
- 5 NUEVOS DATOS PALEOSÍMICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN TRANSECTO COMPLETO EN LA FALLA DE ALHAMA DE MURCIA (SE ESPAÑA)
M. Ollé, D. Dufour, O. Gómez-Novell, J. Molins-Vigatà, S. Baize, R. Martín-Banda, J.M. Insua-Arévalo, M. Ortuño, R. Pallàs, G. Khazaradze y E. Masana
- 9 TO WHAT EXTENT CAN WE REFINE PALEOSEISMIC DATA? MAIN LIMITATIONS AT THE ALHAMA DE MURCIA FAULT
O. Gómez-Novell, M. Ortuño, J. García-Mayordomo, J.M. Insua-Arévalo, J.J. Martínez-Díaz, T.K. Rockwell, S. Baize y E. Masana
- 13 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA FALLA DEL LLANO DEL ÁGUILA (ALMERÍA). POSIBLE FUENTE DEL TERREMOTO DE DALÍAS 1804
J. Molins-Vigatà, J. García-Mayordomo, M. Ortuño, D. García-Sellés y O. Gómez-Novell

SESIÓN 2: Tectónica activa y paleosismología del resto de la Península Ibérica

- 19 TECTÓNICA ACTIVA (PLIO-CUATERNARIA) EN EL SECTOR OCCIDENTAL DE LA CUENCA CENOZOICA DE MADRID
G. de Vicente, R. Díez Fernández, P.P. Cunha y A. Oláiz
- 23 PROCESOS DE LICUEFACCIÓN EN MATERIALES DEL PLEISTOCENO MEDIO-Holoceno EN EL TRAMO MEDIO DEL RÍO TAJO (DRIEBES, GUADALAJARA, ESPAÑA)
M.A. Rodríguez-Pascua, M.A. Perucha, A. Díez-Herrero y J.F. Mediato
- 27 ACTIVIDAD PLIO-CUATERNARIA DE FALLAS EN EL SISTEMA EXTENSIONAL TERUEL-JILOCA-CALATAYUD (CORDILLERA IBÉRICA CENTRAL)
J.L. Simón, A. Peiro, L.E. Arlegui, L. Ezquerro, A.I. García-Lacosta, P. Lafuente, C.L. Liesa, A. Luzón, L. Martín-Bello, Ó. Pueyo y M.A. Soriano
- 31 NEW INSIGHTS INTO FAULT SYSTEMS OF THE BURGALESA PLATFORM REVEALED BY SEISMIC MONITORING AT THE HONTOMÍN TECHNOLOGY DEVELOPMENT PLANT (BURGOS, SPAIN)
A. Sánchez de la Muela, A. Ramos, J.M. Marín, R. Pérez-López, J.F. Mediato y M.A. Rodríguez-Pascua
- 35 ¿SE PUEDE ASOCIAR LA SISMICIDAD CON LAS FALLAS EN EL NO PENINSULAR?
F. Martín González, C. Crespo-Martín y S. González-Muñoz
- 39 EL TERREMOTO DE BENAVENTE DE 1909: CONSTRIÑENDO LA FUENTE MEDIANTE ESCENARIOS SÍMICOS
Y. de Pro Díaz, S. Vilanova y C. Canora Catalán
- 43 ¿ES MUY ALTO EL *SLIP-RATE* DE LAS FALLAS INTRAPLACA PENACOVA-REGUA-VERÍN Y MANTEIGAS-VILARIÇA-BRAGRANÇA?
S. González-Muñoz, F. Martín-González y C. Crespo-Martín

SESIÓN 3: Sismología y sismicidad inducida

- 49 SEISMOGENIC DEPTH IN IBERIA
Á. González y Á.M. Gómez-García
- 53 DELAYED INDUCED SEISMICITY IN THE YELA GEOLOGICAL GAS STORAGE (CENTRAL SPAIN)
R. Pérez-López, A. Ramos, J.L. Giner Robles y J.J. Martínez-Díaz
- 57 LA RED SÍSMICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA
P. Alfaro, J.M. Andreu, N. Benabdeloued, J. Cuevas, J. Delgado, J.J. Galiana, J. Giner, I. Martín-Rojas, M. Martín, I. Medina, D. Montiel, S. Molina, S. Moliner, J. Rosa, S. Rosa, E. Santamaría, J.L. Soler y J.E. Tent
- 61 SERIE SÍSMICA DEL ALT URGELL-ANDORRA 2021-2022
A. Echeverría, A. Margalef, T. Frontera Genovard y N. Gallego

SESIÓN 4: Arqueosismología

- 67 CÓRDOBA, 21 SEPTIEMBRE 1589: ¿TERREMOTO Y/O TEMPESTAD? EVIDENCIAS ARQUEOSISMOLÓGICAS
R. Pérez-López, A. Sánchez-Hernampérez, P.G. Silva, J. Elez, J.L. Giner-Robles, M.A. Rodríguez-Pascua, E. Roquero, T. Bardají y Y. Sánchez

- 71 ARCHAEOSEISMOLOGICAL EVIDENCE IN CEUTA (SPAIN): A LATE ROMAN EARTHQUAKE IN NORTH AFRICA
K.R. Reicherter, D. Bernal-Casasola y F. Villada-Paredes
- 73 ARCHAEOSEISMOLOGICAL ANALYSIS OF THE LATE 4TH CENTURY CE TSUNAMI EVENT OF BAELO CLAUDIA (GIBRALTAR ARC, SOUTH SPAIN)
P.G. Silva, J. Elez, J.P. Tarruella, Y. Sánchez-Sánchez, G. Santos, P. Carrasco-García, J.L. Giner-Robles, E. Roquero, K.R. Reicherter, I. García-Jiménez, F. Prados Martínez, R. Pérez-López, T. Bardají y M.A. Rodríguez-Pascua
- 77 PRIMERAS EVIDENCIAS ARQUEOSISMOLÓGICAS EN LA CIUDAD ROMANA DE ATEGUA, S. II CE (CÓRDOBA, ESPAÑA)
M.A. Rodríguez-Pascua, C. Fuertes-Santos, M.A. Perucha, J.D. Borrego de la Paz, P.G. Silva, A. Felipe-Colodrero, J.L. Giner-Robles, J. Elez, T. Bardají y E. Roquero
- 81 ¿FUE EL PRIMER EDIFICIO DE SILLERÍA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA DESTRUIDO POR UN TERREMOTO?: EL MAUSOLEO ÍBERO DEL POZO MORO (ALBACETE, ESPAÑA)
M.A. Rodríguez-Pascua, M. Almagro-Gorbea, M.A. Perucha, P.G. Silva, J. Martínez, J.F. Mediato y J.L. Giner-Robles
- 85 LOS TERREMOTOS DE ADEMUZ DEL 7 DE JUNIO DE 1656 Y DEL 10 DE MARZO DE 2006: ¿UNA FUENTE SÍSMICA COMÚN?
J.L. Giner-Robles, J. Elez, P.G. Silva, R. Pérez-López, T. Bardají, M.A. Rodríguez-Pascua, Y. Sánchez-Sánchez y E. Roquero

SESIÓN 5: Tectónica activa y paleosismología de las Cordilleras Béticas (II)

- 91 LA ZONA DE FALLA DE PALOMARES Y SU INFLUENCIA EN LAS CUENCAS ADYACENTES
V. Tendero-Salmerón, G. Ercilla, L. González-Castillo, A. Madarieta-Txurruka, F.J. Martínez-Moreno, F. Estrada y J. Galindo-Zaldívar
- 95 PALAEOSEISMOLOGICAL RECORD OF THE ACTIVE GALERA FAULT (CENTRAL BETIC CORDILLERA, SPAIN)
I. Martín-Rojas, F.J. García-Tortosa, I. Medina-Cascales y P. Alfaro
- 99 SISMICIDAD EN EL GUADIANA MENOR: FALLAMIENTO DEL BASAMENTO IBÉRICO DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR
V. Tendero-Salmerón, J. Galindo Zaldívar, J.A. Peláez, M. Martínez-Martos, J. Henares, C. Marín-Lechado, A.J. Gil, A.C. López-Garrido
- 103 LA SERIE SÍSMICA DE GRANADA DE 2021. ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELOCALIZACIÓN DE LA SERIE, GRAVIMETRÍA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL
A. Madarieta-Txurruka, J.A. Peláez, L. González-Castillo, M. Catalán, J. Henares, F. Lamas y J. Galindo-Zaldívar
- 107 CARACTERIZACIÓN DE LA FALLA DE SIERRA DE LAS NIEVES (CORDILLERA BÉTICA) MEDIANTE ANÁLISIS DEL RELIEVE Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
M. Moreno-Sánchez, D. Ballesteros, G. Booth-Rea, J.V. Pérez-Peña, C. Pérez-Mejías, C. Reyes-Carmona, J.M. Azañón, H. Cheng, J.P. Galve y P. Ruano
- 111 ACTIVE FAULTING THROUGH THE SINISTRAL REACTIVATION OF MIDDLE MIOCENE TRANSFER FAULTS IN IBIZA
G. Booth-Rea, J.M. Azañón, M. Moreno-Sánchez, J.P. Galve, P. Ruano y C. Reyes
- 115 REVELANDO LA GEOMETRÍA EN PROFUNDIDAD DE LAS FALLAS ACTIVAS QUE LIMITAN EL VALLE DEL GUADALENTÍN MEDIANTE SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN: RESULTADOS PRELIMINARES
H. Perea, P. Herrero-Barbero, J. Molins-Vigatà, J. Alcalde, J.A. Álvarez Gómez, M. Berriolopez Llamosas, R. Carbonell, Y. de Pro Díaz, D. Dufour, J. García-Mayordomo, J.L. Granja Bruña, J.M. Insua-Arévalo, D. Martí, R. Martín-Banda, E. Masana, M. Ollé, E. Pascual Sánchez, J.J. Portela, J.S. Rivera Rivera, J.L. Sánchez Roldán, A. Staller y S. Rameez

SESIÓN 6: Tectónica activa en el medio marino

- 121 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA PROFUNDA DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL Y SUS IMPLICACIONES PARA EL RIESGO SÍSMICO Y TSUNAMIGÉNICO
L. Gómez de la Peña, C.R. Ranero, G. Booth-Rea, J.M. Azañón, E. Gràcia, F.E. Maesano, R. Basili, F. Romano y M. Volpe
- 125 CHARACTERIZATION OF THE NORTH-SOUTH FAULT SYSTEM IN THE ALBORAN SEA USING HIGH-RESOLUTION GEOPHYSICAL DATA: THE INITIATION OF A TRANSTENSIONAL FAULT SYSTEM
A. Canari, H. Perea, S. Martínez-Loriente, J. Llopart, D. Fernández-Blanco y E. Gràcia
- 129 POTENCIAL TSUNAMIGÉNICO DE LA FALLA DE CARBONERAS A PARTIR DE MODELOS FÍSICOS DE TERREMOTOS
J.A. Álvarez-Gómez, P. Herrero-Barbero y J.J. Martínez-Díaz
- 133 DEFORMACIÓN DEL FONDO MARINO EN RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD TECTÓNICA CUATERNARIA EN EL CANAL DE MALLORCA, PROMONTORIO BALEAR (MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL)
J.T. Vázquez, O. Sánchez-Guillamón, D. Palomino, M.C. Fernández-Puga, N. Martínez-Carreño, P. Bárcenas, L.M. Fernández-Salas, M.O. Tello y M. Gómez-Ballesteros

- 137 SISTEMAS DE PLIEGUES ACTIVOS EN EL MARGEN CONTINENTAL SEPTENTRIONAL DEL MAR DE ALBORÁN (MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL)
J.T. Vázquez, J. Galindo-Zaldívar, D. Palomino, L. González, M.C Fernández-Puga, S. Naranjo, M.T. Pedrosa, V. Tendero, P. Bárcenas, F. Estrada y G. Ercilla
- 141 SERIE SÍSMICA DEL SUR DEL MAR DE ALBORÁN DEL 2021-2022: RELOCALIZACIÓN DE LOS EVENTOS E IMPLICACIONES SISMOTECTÓNICAS
H. Perea, J.L. Sánchez Roldán, L. Lozano, J.A. Álvarez Gómez, P. Herrero-Barbero, M.J. Jiménez, S. Martínez-Loriente, A. Canari y J. Llopart
- 145 THE HORSESHOE ABYSSAL PLAIN THRUST, THE MOST PLAUSIBLE SOURCE OF THE 1755 LISBON EARTHQUAKE AND TSUNAMI
S. Martínez-Loriente, V. Sallarès y E. Gràcia

SESIÓN 7: Geodesia aplicada a tectónica activa

- 151 PRESENT-DAY 3D CRUSTAL DEFORMATION FIELD OF THE IBERIAN PENINSULA
G. Khazaradze, S. Pena-Castellnou, M. Romanyà-Serrasolsas, X. Matarín-Aguilar y P. Vernant
- 155 EXTENSIÓN ACTIVA EN LA CORDILLERA BÉTICA CENTRAL. APORTACIONES GEODÉSICAS GNSS
I. Martín-Rojas, P. Alfaro, J. Galindo-Zaldívar, C. Sanz de Galdeano, M.J. Borque, F.J. García-Tortosa, I. Medina-Cascales, M. Avilés, P. Ruano, A. Sánchez-Alzola y A.J. Gil
- 159 COMPARACIÓN DE DATOS DE NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN DE LA FALLA DE GRANADA CON NUEVOS DATOS CGNSS EN LA CUENCA DE GRANADA
A. Madarieta-Txurruka, J. Galindo-Zaldívar, L. González-Castillo, A. Ruiz-Armenteros, M.S. Garrido-Carretero, M. Avilés y A.J. Gil
- 163 ACTIVIDAD DE PLIEGUES Y FALLAS EN EL CAMPO DE DALÍAS A PARTIR DE REDES GNSS
J. Galindo-Zaldívar, A.J. Gil, V. Tendero, M.J. Borque, G. Ercilla, L. González-Castillo, A. Sánchez-Alzola, M.C. Lacy, F. Estrada, M. Avilés, P. Alfaro, A. Madarieta-Txurruka y F. Chacón
- 167 DISTRIBUCIÓN DE LA DEFORMACIÓN EN EL SE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. APORTACIONES GEODÉSICAS
I. Martín-Rojas, A. Sánchez-Alzola, I. Medina-Cascales, M.J. Borque, P. Alfaro y A.J. Gil
- 171 ACTUALIZACIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDADES GNSS EN LAS BÉTICAS ORIENTALES. RESULTADOS PRELIMINARES
A. Staller Vázquez, J.J. Portela-Fernández, M. Béjar-Pizarro, J.A. Álvarez-Gómez, J.J. Martínez-Díaz, R. Pérez-López, G. Khazaradze

SESIÓN 8: Modelización sismotectónica

- 177 PROSPECTIVA DE ZONAS DE INTERÉS PARA EL DESARROLLO FUTURO DE ESTUDIOS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE EN ESPAÑA
J. García-Mayordomo y R. Martín-Banda
- 181 METHODS FOR COMBINING SEISMOLOGICAL AND GEOLOGICAL INFORMATION FOR SEISMIC HAZARD PURPOSES
A.F. Ornelas-Agrela, C.J. Gamboa-Canté, M.A. Arroyo-Solórzano, J.S. Rivera-Rivera, C. Lindholm y M.B. Benito
- 183 TOWARD UNDERSTANDING THE ROLE OF POSTSEISMIC STRESS TRANSFER FOR LONG-TERM EARTHQUAKE TRIGGERING IN EASTERN BETICS, SPAIN
P. Yazdi y J. García-Mayordomo
- 187 ESCENARIOS DE ROTURA SÍSMICA EN EL SISTEMA DE FALLAS DE LA SIERRA DE CARRASCOY (BÉTICAS ORIENTALES)
R. Martín-Banda, J. García-Mayordomo y J. Insua-Arévalo
- 191 ¿QUÉ INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESO SÍSMICO SE PUEDE OBTENER DEL CATÁLOGO SÍSMICO? EL CASO DEL NOROESTE PENINSULAR
C. Crespo-Martín, F. Martín-González y S. González-Muñoz
- 195 MODELOS FÍSICOS DE SIMULACIÓN DE TERREMOTOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE LA AMENAZA SÍSMICA EN LAS BÉTICAS ORIENTALES (SE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA)
P. Herrero-Barbero, J.A. Álvarez-Gómez, M. Tsige y J.J. Martínez-Díaz
- 199 INVERSIÓN DE HIPOCENTROS MEDIANTE UN MODELO 3D DE VELOCIDADES E INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA: LA SERIE DE MULA-ARCHENA DE 2018 (MURCIA)
J.L. Sánchez-Roldán, J.A. Álvarez-Gómez, J.V. Cantavella, P. Herrero-Barbero, L. Lozano y J.J. Martínez-Díaz
-
- 203 EVIDENCIA PALEOSÍSMICA EN LAGOS: TERREMOTO DE LA RIBAGORZA, 1373.
T. Briceño-Sarmiento, A. Vicente de Vera, A. Moreno, B. Valero-Garcés y M. Ortuño



EXTENSIÓN ACTIVA EN LA CORDILLERA BÉTICA CENTRAL. APORTACIONES GEODÉSICAS GNSS

Active extension in the Central Betic Cordillera. Geodetic GNSS constrains

I. Martín-Rojas¹, P. Alfaro¹, J. Galindo-Zaldívar^{2,3}, C. Sanz de Galdeano³, M.J. Borque^{4,5},
F.J. García-Tortosa^{5,6}, I. Medina-Cascales¹, M. Avilés⁶, P. Ruano², A. Sánchez-Alzola⁷, A.J. Gil^{4,5}

¹ Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080, Alicante. Ivan.martin@ua.es, pedro.alfaro@ua.es, ivan.medina@ua.es

² Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071, Granada. jgalindo@ugr.es, pruan@ugr.es

³ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC e Univ. de Granada), 18071 Granada. csanz@ugr.es

⁴ Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas, 23071 Jaén. mjborque@ujaen.es, maviles@ujaen.es, agil@ujaen.es

⁵ Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente (CEACTEMA), Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas, 23071 Jaén.

⁶ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Jaén, 23071 Jaén. gtortosa@ujaen.es

⁷ Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Cádiz, 11510 - Puerto Real. alberto.sanchez@gm.uca.es

Resumen: La Cordillera Bética Central se encuentra sometida actualmente a una extensión ENE-OSO. En este trabajo presentamos los resultados de una red GNSS consistente en seis estaciones distribuidas a lo largo de un perfil paralelo a esta extensión y perpendicular a las principales fallas activas. Los datos obtenidos indican que la extensión total en la Cordillera Bética Central es de 2.0 ± 0.3 mm/año. Esta extensión se distribuye de forma heterogénea, concentrándose en dos zonas que coinciden con las cuencas de Granada y Guadix-Baza. Entre ambas zonas sometidas a extensión se sitúa una región donde la deformación es muy pequeña o nula. El campo de velocidades que hemos obtenido nos permite además cuantificar las siguientes tasas de deslizamiento de las principales fallas activas: falla de Baza entre 0.9 ± 0.3 y 1.3 ± 0.4 mm/año (asumiendo buzamientos de 45° y 60° respectivamente), falla de la Solana del Zamborino ~ 0.1 mm/año, sistema de fallas de Granada entre 1.3 ± 0.6 y 1.8 ± 0.6 mm/año (asumiendo buzamientos de 45° y 60° respectivamente). Proponemos que en el sector occidental de la cuenca de Granada podría existir una falla normal de bajo ángulo no aflorante que acomodaría 0.5 ± 0.4 mm/año (asumiendo un buzamiento de 30°).

Palabras clave: Béticas, geodesia, fallas normales, fallas activas.

Abstract: The Central Betic Cordillera undergoes ENE-WSW extension. We present here GNSS data derived from a network involving six stations. These stations are distributed along a profile parallel to the extension direction and orthogonal to the main active faults. Our data indicate 2.0 ± 0.3 mm/year of overall extension in the Central Betic Cordillera. Extension partitioning is heterogeneous, as deformation concentrates in the Granada and Guadix-Baza Basins. Between these two basins is located an area where extension is very small or non-significant. Our data also permit to quantify fault slip rates: 0.9 ± 0.3 mm/yr and 1.3 ± 0.4 mm/yr for Baza Fault; (assuming a dip of 45° and 60° , respectively); ~ 0.1 mm/yr for Solana del Zamborino Fault, and for Granada Faults System 1.3 ± 0.6 and -1.8 ± 0.6 mm/year (assuming a dip of 45° and 60° , respectively). We also hypothesize the existence of a non-outcropping low angle normal fault in the western sector with a slip rate of 0.5 ± 0.4 mm/ year (assuming a dip of 30°).

Key words: Betics, geodesy, normal faults, active faults.

Introducción

El régimen tectónico del sur de la Península Ibérica y el norte de África está condicionado por los 5-7 mm/año de convergencia entre las placas de Nubia y Eurasia (e.g., Serpelloni *et al.*, 2007). Este cuadro tectónico general hace que los sectores occidental y oriental de la Cordillera Bética estén sometidos a un campo de deformación dominado por acortamiento. Sin embargo, el sector central de la Cordillera Bética (CBC) está caracterizado por una extensión ENE-OSO que da lugar a varias fallas normales activas con una moderada peligrosidad sísmica e.g., (Alfaro *et al.*, 2007; Galindo-Zaldívar *et al.*, 2003).

La extensión total en la CBC ha sido cuantificada por estudios geodésicos regionales, que indican tasas de extensión entre 2.1 ± 0.7 y ~ 3.7 mm/año (Galindo-Zaldívar *et al.*, 2015; Pérez-Peña *et al.*, 2010; Stich *et al.*, 2006).

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos de una red GNSS distribuida a lo largo de un perfil paralelo a la dirección de extensión en la CBC.

Estos datos nos permiten refinar la tasa de extensión total y analizar cómo se distribuye esta extensión a lo largo de la CBC. Además, estos datos también nos permiten asignar tasas de desplazamiento a algunas de las fallas activas de esta región.

Contexto geológico

En la CBC (Fig. 1) afloran materiales pertenecientes a las Zonas Externas y a las Zonas Internas de la Cordillera Bética. Además, también aparecen rocas sedimentarias depositadas a partir del Mioceno en dos grandes cuencas intramontañosas: la cuenca de Granada y la de Guadix-Baza.

Desde el punto de vista de la tectónica activa, la CBC está dominada por grandes pliegues levantados de orientación ENE-OSO y por fallas normales de dirección NNO-SSE, así como otras fallas de orientación ENE-OSO (Sanz de Galdeano *et al.*, 2012). Entre estas fallas normales destacan las de Baza, Solana del Zamborino o el sistema de fallas de Granada. La falla de Baza y el sistema de fallas de

Granada controlan desde el Mioceno el depósito de materiales sedimentarios en las cuencas de Guadix-Baza y Granada respectivamente, ya que estas cuencas sedimentarias se desarrollan en sus bloques hundidos.

Las fallas activas de la CBC son la fuente sismogénica de eventos muy significativos, como el terremoto de Andalucía de 1884 (I = VIII-IX, Mms = 6.5), el de Baza de 1531 (I = VIII-IX, Mms = 6.0) o el reciente enjambre sísmico de Granada de 2021.

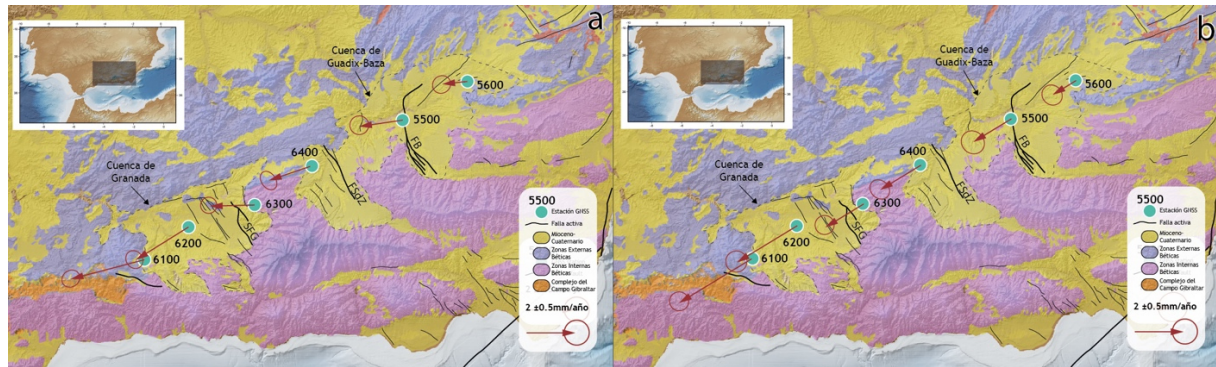


Fig. 1.- Vectores de velocidad horizontal. A) Vectores relativos respecto a Eurasia fija (modelo de movimiento de placas ITRF2014 PMM). B) Componentes N060°E.

Fig. 1.- Horizontal velocity vectors. a) Relative to fixed Eurasia (ITRF2014 Plate Motion Model). b) N060°E components.

Estaciones GNSS y procesado de datos

La red GNSS analizada (Fig. 1) consta de seis estaciones distribuidas a lo largo de un perfil de 170 km de longitud y con una dirección ENE-WSW (~N070E). Estas estaciones han sido medidas episódicamente una vez al año entre los años 2009 y 2017. El procesado de los datos se realizó mediante *Precise Point Positioning* utilizando el programa GipsyX (Bertiger *et al.*, 2020). A partir de estos datos se derivaron unas series temporales en el marco de referencia IGB14 y se obtuvo un campo de velocidades utilizando el programa SARI (Santamaría-Gómez, 2019). Las incertidumbres fueron calculadas aplicando

un modelo de ruido de color. Con todo ello calculamos un campo de vectores de velocidad absolutos y otro relativo (Fig. 1, Tabla 1) con respecto a Eurasia fija (utilizando el modelo de movimiento de placas consistente con el marco ITRF2014) (Altamimi *et al.*, 2017). Para analizar el campo de velocidades obtenido en términos de tectónica activa calculamos además la componente N060°E de cada vector, es decir la componente sub-paralela a la dirección de extensión regional y sub-perpendicular a las principales fallas activas (Fig. 1).

Estación	Velocidad (mm año ⁻¹)		Desv Típica (mm año ⁻¹)		Vel. residual (mm año ⁻¹)	
	East	North	East	North	East	North
6100	16.93	15.80	±0.23	±0.21	-2,98	-0,75
6200	17.77	15.22	±0.26	±0.24	-2,15	-1,32
6300	18.09	16.47	±0.23	±0.27	-1,86	-0,06
6400	18.29	15.96	±0.22	±0.27	-1,67	-0,57
5500	18.24	16.26	±0.28	±0.28	-1,76	-0,25
5600	18.99	16.39	±0.21	±0.24	-1,04	-0,11

Tabla 1.- Velocidades absolutas y relativas respecto a Eurasia fija (ITRF2014).
Table 1.- Absolute and relative velocities with respect to fixed Eurasia (ITRF2014).

Extensión en la CBC

Extensión total

Si analizamos los vectores de velocidad obtenidos vemos como se observa un incremento general de su componente N060°E hacia el SO, lo que pone de manifiesto que la CBC está actualmente sufriendo extensión. Si restamos las componentes N060°E de las estaciones 5600 y 6100 obtenemos que la extensión total a lo largo de este perfil es de 2.0 ± 0.3 mm/año. Este valor es coherente con los obtenidos por autores previos, que cuantifican la extensión general de la Cordillera Bética entre 2.1 ± 0.7 y ~ 3.7 mm/año

(Galindo-Zaldivar *et al.*, 2015; Pérez-Peña *et al.*, 2010; Stich *et al.*, 2006).

Distribución de la deformación

La disposición de las estaciones a lo largo del perfil analizado nos permite llevar a cabo un análisis de cómo se distribuye la deformación en la CBC (Fig. 2).

Para cuantificar la extensión en la cuenca de Guadix-Baza utilizamos las componentes N060°E de las estaciones 5600, 5500 y 6400. Si restamos las componentes de las estaciones 5600 y 6400 obtenemos que la extensión total en la cuenca de Guadix-Baza es de 0.8 ± 0.3 mm/año. Esta extensión es

mayoritariamente absorbida por la falla de Baza (0.7 ± 0.4 mm/año, estaciones 5600-5500), mientras que la falla del Zamborino acomoda muy poca deformación (0.1 ± 0.4 mm/año, estaciones 5500-6400).

En la cuenca de Granada utilizamos las estaciones 6300, 6200 y 6100. La resta de las componentes N060E de las estaciones 6300 y 6100 nos indica que la extensión en la cuenca de Granada es de 1.3 ± 0.3 mm/año. Esta extensión se acomoda principalmente en el sistema de fallas de Granada (0.9 ± 0.3 mm/año, estaciones 6300-6200), mientras que en el sector

occidental de la cuenca (donde no hay descrita ninguna falla activa) se acomodan 0.4 ± 0.3 mm/año (estaciones 6200-6100). Tras la comparación de las componentes N060E de las estaciones 6400 y 6300 obtenemos un valor de -0.1 ± 0.3 mm/año. Esto indica que la deformación en la zona comprendida entre las dos cuencas sedimentarias de la CBC está por debajo del error obtenido, lo que interpretamos como que la extensión en esta zona es muy pequeña o nula.

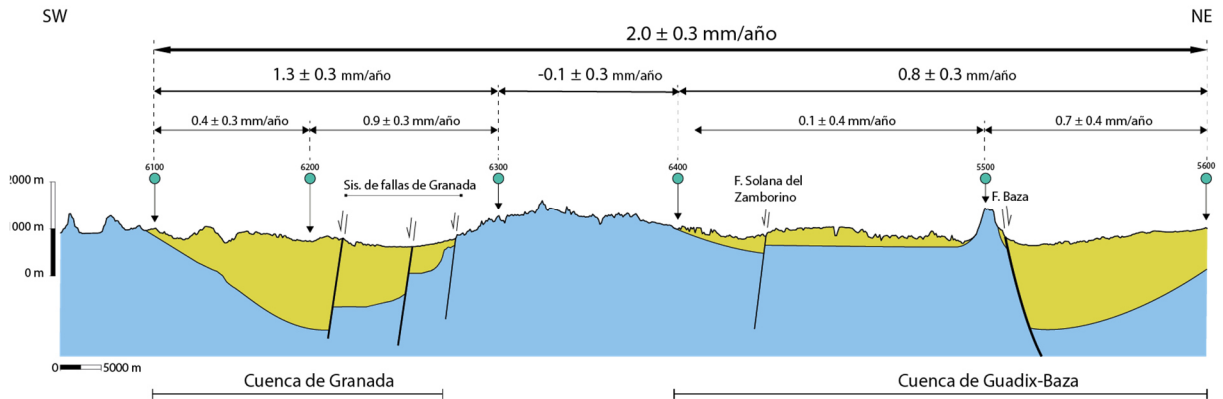


Fig. 2.- Corte esquemático mostrando la distribución de la extensión calculada a partir de nuestra red GNSS. Nótese la escala vertical exagerada.
Fig. 2.- Sketch showing the extension distribution derived from our GNSS network. Please, note the vertical exaggeration.

Por tanto, el análisis de los datos obtenidos de nuestro perfil GNSS indica que la distribución de la extensión en la CBC es heterogénea. Esta extensión se concentra en dos zonas, las cuencas de Granada y de Guadix-Baza, dejando entre ambas un sector con muy baja o nula deformación. Además, nuestro análisis también indica que, dentro de cada una de las cuencas, la deformación también es heterogénea, concentrándose en el borde oriental de la cuenca de Granada (sistema de fallas de Granada) y en la falla de Baza en la cuenca de Guadix-Baza.

Tasas de deslizamiento de fallas

Los datos obtenidos de nuestra red GNSS nos permiten cuantificar las tasas de deslizamiento *short term* de las principales fallas activas de la CBC.

En el caso de la falla de Baza, nuestros datos GNSS indican una tasa de deslizamiento de 0.9 ± 0.3 y 1.3 ± 0.4 mm/año (asumiendo buzamientos de 45° y 60° respectivamente). Estos datos coinciden con los publicados por autores previos para esa misma falla (Alfaro *et al.*, 2021).

En el caso de la falla de la Solana del Zamborino, nuestros datos están por debajo del error de la medida (extensión horizontal de 0.1 ± 0.4 mm/año). Por tanto, creemos que esta falla podría tener una tasa de deslizamiento aproximada de ~ 0.1 mm/año.

En el sistema de fallas de Granada nuestros datos indican una tasa de deslizamiento que varía entre 1.3 ± 0.6 y 1.8 ± 0.6 mm/año (asumiendo buzamientos de 45° y 60° respectivamente).

El sector occidental de la cuenca de Granada está acomodando una extensión horizontal de 0.4 ± 0.3 mm/año, pero en ese sector no se ha descrito ninguna falla activa aflorante. Madarieta *et al.* (2021) afirman que las fallas activas de la cuenca de Granada se unen en profundidad en una falla normal de bajo ángulo buzante al O. De ser cierta esta hipótesis, nuestros datos GNSS indicarían que esa falla de bajo ángulo

presenta una tasa de deslizamiento de 0.5 ± 0.4 mm/año (asumiendo un buzamiento de 30°).

Conclusiones

Los resultados obtenidos de nuestro perfil GNSS demuestran que en la CBC se acomodan actualmente 2.0 ± 0.3 mm/año de extensión en la dirección N060°E. Esta extensión se distribuye de manera heterogénea, de forma que se acomoda principalmente en las cuencas de Granada y Guadix-Baza, quedando entre ambas una zona con muy baja o nula deformación.

Por otro lado, nuestros datos nos permiten cuantificar las tasas de deslizamiento de las principales fallas activas, poniendo de manifiesto que las estructuras más activas son el sistema de fallas de Granada (1.3 ± 0.6 y -1.8 ± 0.6 mm/año) y la falla de Baza (0.9 ± 0.3 y -1.3 ± 0.4 mm/año).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación RTI2018-100737-B-I00 y CGL2016-80687-R (Ministerio de Ciencia e Innovación), AICO/2021/196 (Generalitat Valenciana), G.I. RNM282 (Junta de Andalucía), POAIUJA 2021-2022 (Universidad de Jaén), Programa Operativo FEDER Andalucía 2014/20 - Ref. 1263446 y VIGROB053 (Universidad de Alicante).

Referencias

Alfaro, P., Sánchez-Alzola, A., Martín-Rojas, I., García-Tortosa, F. J., Galindo-Zaldívar, J., Avilés, M., Garrido, A. C., Sanz de Galdeano, C., Ruano, P., Martínez-Moreno, F. J., Pedrera, A., Lacy, M. C., Borque, M. J., Medina-Cascales, I., & Gil, A. J. (2021). Geodetic fault slip rates on active faults in the Baza sub-Basin (SE Spain): Insights for seismic hazard assessment. *Journal of Geodynamics*, 144, 101815. 10.1016/j.jog.2021.101815

- Alfaro, P., Delgado, J., Sanz de Galdeano, C., Galindo-Zaldívar, J., García-Tortosa, F. J., López-Garrido, A. C., López-Casado, C., Marín-Lechado, C., Gil, A., & Borque, M. J. (2007). The Baza Fault: a major active extensional fault in the central Betic Cordillera (south Spain). *International Journal of Earth Sciences: Geologische Rundschau*, 97(6), 1353-1365. 10.1007/s00531-007-0213-z
- Altamimi, Z., Métivier, L., Rebischung, P., Rouby, H., & Collilieux, X. (2017). ITRF2014 plate motion model. *Geophysical Journal International*, 209(3), 1906-1912. 10.1093/gji/ggx136
- Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Dorsey, A., Haines, B., Harvey, N., Hemberger, D., Hefflin, M., Lu, W., Miller, M., Moore, A. W., Murphy, D., Ries, P., Romans, L., Sibois, A., Sibthorpe, A., Szilagyi, B., Vallisneri, M., & Willis, P. (2020). GipsyX/RTGx, a new tool set for space geodetic operations and research. *Advances in Space Research*, 66(3), 469-489. 10.1016/j.asr.2020.04.015
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A. J., Borque, M. J., González-Lodeiro, F., Jabaloy, A., Marín-Lechado, C., Ruano, P., & Sanz de Galdeano, C. (2003). Active faulting in the internal zones of the central Betic Cordilleras (SE, Spain). *Journal of Geodynamics*, 36(1), 239-250. 10.1016/S0264-3707(03)00049-8
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A. J., Sanz de Galdeano, C., Lacy, M. C., García-Armenteros, J. A., Ruano, P., Ruiz, A. M., Martínez-Martos, M., & Alfaro, P. (2015). Active shallow extension in central and eastern Betic Cordillera from CGPS data. *Tectonophysics*, 663, 290-301. 10.1016/j.tecto.2015.08.035
- Madarieta-Txurruka, A., Galindo-Zaldívar, J., González-Castillo, L., Peláez, J. A., Ruiz-Armenteros, A. M., Henares, J., Garrido-Carretero, M. S., Avilés, M., & Gil, A. J. (2021). High and Low Angle Normal Fault Activity in a Collisional Orogen: The Northeastern Granada Basin (Betic Cordillera). *Tectonics*, 40(7), 10.1029/2021TC006715
- Pérez-Peña, A., Martín-Davila, J., Gárate, J., Berrocoso, M., Buforn, E. (2010). Velocity field and tectonic strain in Southern Spain and surrounding areas derived from GPS episodic measurements. *Journal of Geodynamics*, 49(3), 232-240. 10.1016/j.jog.2010.01.015
- Santamaría-Gómez, A. (2019). SARI: interactive GNSS position time series analysis software. *GPS Solutions*, 23(2), 1-6. 10.1007/s10291-019-0846-y
- Serpelloni, E., Vannucci, G., Pondrelli, S., Argnani, A., Casula, G., Anzidei, M., Baldi, P., & Gasperini, P. (2007). Kinematics of the Western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data. *Geophysical Journal International*, 169(3), 1180-1200. 10.1111/j.1365-246X.2007.03367.x
- Stich, D., Serpelloni, E., de Lis Mancilla, F., & Morales, J. (2006). Kinematics of the Iberia-Maghreb plate contact from seismic moment tensors and GPS observations. *Tectonophysics*, 426(3), 295-317. 10.1016/j.tecto.2006.08.004