

Revista de la Sociedad Española de Geomorfología (SEG) y
Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA)

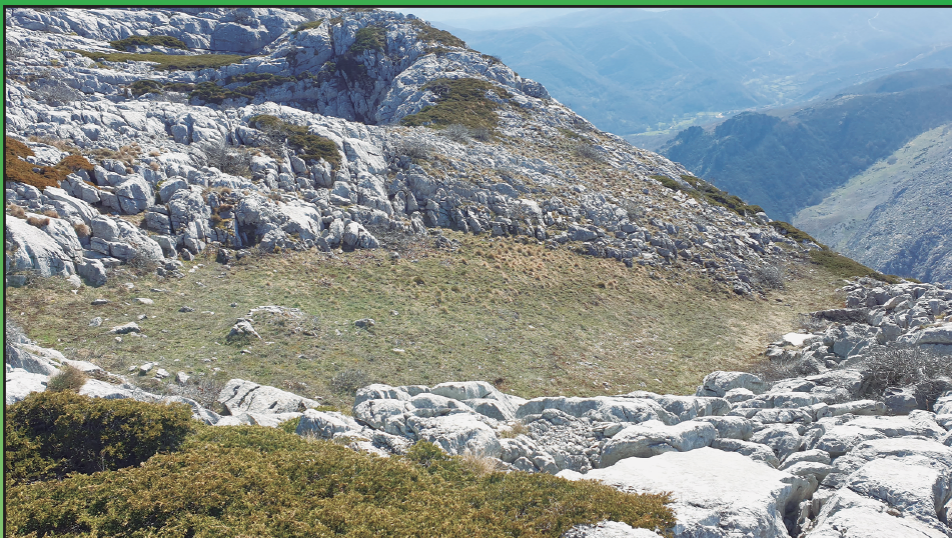
C_yG

Vol. 39 (3-4)

Diciembre 2025

ISSN: 0214-1744

ISSNe: 2695-8589



Spanish Journal of Quaternary and Geomorphology

 **CUATERNARIO**
GEOMORFOLOGÍA^y





CUATERNARIO y GEOMORFOLOGÍA

SPANISH JOURNAL OF QUATERNARY & GEOMORPHOLOGY

Revista de la Sociedad Española de Geomorfología (SEG) y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA)

Editores Principales - Editors in-Chief:

Askoa Ibisate González de Matauco (SEG). Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea. askoa.ibisate@ehu.eus

Javier Élez Villar (AEQUA). Dpto. Geología. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad de Salamanca.
Calle Hornos Caleros, nº 50. 05003, Ávila. j.elez@usal.es

Editores Adjuntos - Associated Editors:

David Regüés Muñoz (SEG). Dpto. de Procesos Geoambientales y Cambio Global. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC).
Avda. de Montañana, 1005. 50059, Zaragoza. dregues@ipe.csic.es

Jesús Francisco Jordá Pardo (AEQUA). Dpto. Prehistoria y Arqueología. Facultad de Geografía e Historia. UNED.
Paseo Senda del Rey 7. 28040, Madrid. jjorda@geo.uned.es

Gestor de la Revista - Editorial Manager:

María Begoña Bautista Davila. Administración. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad de Salamanca.
Calle Hornos Caleros, nº 50. 05003, Ávila. begovigo@usal.es

Comité Asesor – Advisory Board:

Benito Ferrández, G. (Museo de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid)
García Ruiz, J.M. (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza)
Gracia Prieto, J. (Universidad de Cádiz)
Jiménez Sánchez, Montserrat (Universidad de Oviedo, España)

Mather, Anne E. (Plymouth University, Reino Unido)
Rodríguez Vidal, J. (Universidad de Huelva, España)
Serrano Cañadas, E. (Universidad de Valladolid)
Silva Barroso, Pablo G. (Universidad de Salamanca, España)

Comité Editorial - Editorial Board

Alcántara-Ayala, Irasema (Universidad Nacional Autónoma de México)
Alcaraz Castaño, Manuel (Universidad de Alcalá de Henares, España)
Audemard, Franck (Universidad Central de Venezuela, Venezuela)
Baena Escudero, Rafael (Universidad de Sevilla, España)
Bardají Azcárate, Teresa (Universidad de Alcalá de Henares, España)
Carrasco González, Rosa María (Universidad de Castilla-La Mancha, España)
Cearreta Bilbao, Alejandro (Universidad del País Vasco, España)
Faust, Dominik (Technische Universität Dresden, Alemania)
Galve Arnedo, Jorge Pedro (Universidad de Granada, España)
García García, Jesús Horacio (Universidad de Santiago de Compostela)
González Amuchastegui, María José (UNED)
Iriarte Avilés, Eneko (Universidad de Burgos, España)
Iroumé, Andrés (Universidad Austral de Chile)
Keizer, Jan Jacob (Universidade Aveiro, Portugal)
Nadal Romero, Estela (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza)

Peña Monné, José Luis (Universidad de Zaragoza)
Pérez Alberti, Augusto (Universidade de Santiago de Compostela)
Pérez López, Raúl (IGME, Madrid, España)
Pérez Torrado, Francisco J. (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España)
Porfido, Sabina (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia)
Proença Cunha, Pedro (Universidade de Coimbra, Portugal)
Reynard, Emmanuel (Université de Lausanne)
Romero Díaz, María Asunción (Universidad de Murcia, España)
Roquero García-Casal, Elvira (Universidad Politécnica de Madrid, España)
Rosas González, Antonio (M. Nac. CC. Naturales, CSIC, España)
Sampietro Vattuone, María Marta (CONICET)
Schnabel, Susana (Univ. Extremadura)
Seeger de la Muela, Manuel (Universität Trier)
Soldati, M. (Universidad de Módena, Italia)
Vieira, António (Universidade do Minho)

Cuaternario y Geomorfología (CyG) es una revista científica periódica, de carácter semestral, co-editada por la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA) y la Sociedad Española de Geomorfología (SEG). Incluye trabajos de investigación originales acerca de cualquiera de los campos puros o aplicados del Cuaternario y la Geomorfología, que hayan sido seleccionados por los editores previa revisión y asesoramiento por el Comité editorial y especialistas anónimos. AEQUA y SEG no se hacen responsables de las opiniones vertidas por los autores en los artículos publicados. La propiedad intelectual atribuye al autor la plena disposición y explotación de la obra creada, de acuerdo con las leyes vigentes. La revista se distribuye entre los cerca de 600 socios que suman AEQUA y SEG, así como entre las bibliotecas de los departamentos de Geología, Geodinámica, Geografía y Ciencias de La Tierra de diferentes universidades e instituciones científicas nacionales e internacionales. La revista se encuentra indexada en: **GeoRef; DICE; YCIT-Ciencia y Tecnología**, CSIC (Humanidades); **Latindex; Ulrichs Web; Geoscience e-journals, SCIMAGO** (Scopus) y **REDIB**.

Información On-line: <http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/> **AEQUA:** www.aequa.es **SEG:** www.segeomorfologia.es

Envío de manuscritos y repositorio de volúmenes publicados: <http://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/>

Cuaternario y Geomorfología (CyG) is a **periodical scientific journal** co-edited by the Spanish Quaternary Research Association (AEQUA) and the Spanish Society of Geomorphology (SEG). Our journal publishes innovative papers covering the full range of pure and applied fields on **Quaternary and Geomorphology** preferentially focused on the **Iberian Peninsula and iberoamerican countries**. All the submitted **manuscripts will be refereed by at least two reviewers**, members of the editorial board or anonymous reviewers selected by the editors. The Journal is indexed in: **GeoRef; DICE; YCIT-Ciencia y Tecnología**, CSIC (Humanidades); **Latindex; Ulrichs Web; Geoscience e-journals, SCIMAGO** (Scopus) and **REDIB**.

Foto Portada / Cover:

Dolina capturada por la red de drenaje en el macizo de Fresneda-Correcillas (Cordillera Cantábrica).

Doline captured by the drainage network in the Fresneda-Correcillas massif (Cantabrian Mountains).

ÍNDICE / INDEX

Prólogo CyG

<i>Poblete Piedrabuena, M.A.</i> Contribución al conocimiento geomorfológico del Camp d'Alacant	3
---	---

Artículos de Investigación / Research Papers

<i>Silva, P.G.; Bardají, T.</i> La Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario Parte III: AEQUA en los inicios del siglo XXI (2006 - 2017)	7
<i>Estaca-Gómez, V. y Major-González, M.</i> Primeras evidencias zooarqueológicas del yacimiento prehistórico del Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz, Madrid, España)	39
<i>Soares, A.M.M.; Valério, P.</i> The conversion into calendar dates of radiocarbon ages of marine organisms collected on the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz - the new Marine20 calibration curve	55
<i>Pain, C.F.</i> Recent morphological changes (2009-2022) on the floodplain of the Guadalporcún River, province of Cádiz (Southern Spain)	65
<i>Puente-Sierra, M. y González-Gutiérrez, R.B.</i> Cartografía geomorfológica y análisis morfométrico de las dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas, Cordillera Cantábrica (León)	79
<i>Gómez-Pazo, A.; Pérez-Alberti, A.</i> Estudio de la dinámica de una playa de bloques en el sur de Galicia mediante el uso de sensores RFID en el período 2016-2025	103



FECYT-068/2024

Fecha de certificación: 14 de mayo de 2012 (3ª convocatoria)
Válido hasta: 24 de julio de 2025

CUATERNARIO y GEOMORFOLOGÍA



This Journal is also supported by International union for Quaternary Research (INQUA) and International Association of Geomorphologists (IAG)

© SEG, AEQUA

*Derechos de reproducción bajo licencia Creative Commons 3.0.
Se permite su inclusión en repositorios sin ánimo de lucro.*



ISSN: 0214-1744

ISSNe: 2695-8589

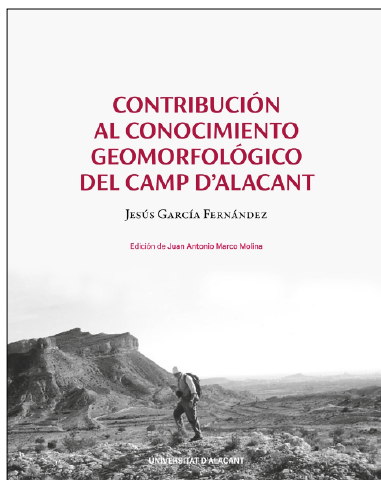
Depósito Legal: Z-113-1996

Impresión:

Talleres Editoriales Cometa, S.A.

Prólogo CyG

noticias de interés • información • opinión • debate • nuevas metodologías • proyectos • programas de doctorado • nuevas tendencias • universidades
• política científica • eventos • actividades • grupos de trabajo • actualidad
una sección abierta a todos los entusiastas de las ciencias del Cuaternario y Geomorfología.
Sección coordinada por Askoa Ibisate (askoa.ibisate@ehu.eus) y Javier Elez (j.elez@usal.es)



RECENSIÓN DEL LIBRO

Contribución al conocimiento geomorfológico del Camp d'Alacant

Contribution to the geomorphological knowledge of Camp d'Alacant

Miguel Ángel Poblete Piedrabuena
Universidad de Oviedo

Sirva esta breve reseña también para recordar y rendir homenaje, con la debida gratitud, a la figura y el legado de Don Jesús y, por extensión, de sus compañeros de generación, todos ellos sabios maestros que contribuyeron significativamente a la enseñanza y desarrollo del conocimiento de la Geografía Física.

This brief overview serves to remember and pay tribute, with due gratitude, to the figure and legacy of Dr. Jesús and, by extension, his peers, all of whom were wise masters who contributed significantly to the teaching and development of knowledge of Physical Geography.

Se cumple el cuadragésimo aniversario del inicio de la campaña de los trabajos de campo emprendidos por el profesor Jesús García Fernández, en tierras alicantinas, allá por noviembre de 1985 y que dieron como resultado la publicación de la obra titulada *Contribución al conocimiento geomorfológico del Camp d'Alacant* en 1986. Aunque la memoria de tales trabajos de campo se plasmó en un libro, no obstante, apenas tuvo difusión en su época, al tratarse no de una edición al uso sino más bien de un texto xerografiado y con una tirada limitada, razón por la cual sólo unos pocos, los más allegados, tuvieron la fortuna de llegar a conocer.

La efeméride se conmemora con el mejor de los presentes, a saber, con la reedición del libro, merced al afán e inquietud del profesor Juan Antonio Marco Molina, Catedrático de Geografía Física de la Universidad de Alicante, y discípulo ejemplar de Don Jesús, como era conocido cariñosamente en el ámbito académico. La finalidad última no es otra que dar a conocer este trabajo prácticamente

desconocido, por las razones expuestas, al conjunto de la comunidad científica y, en especial, de la geomorfológica, si bien es cierto que algunos elementos del relieve del Camp d'Alacant son bien conocidos, pues se analizan y sirven de ejemplo en su obra póstuma *Geomorfología Estructural*, anhelado y excelente manual publicado por la editorial Ariel en 2006.

Sirva esta breve reseña también para rememorar y rendir homenaje, con la debida gratitud, a la figura y el legado de Don Jesús y, por extensión, de sus compañeros de generación, todos ellos sabios maestros que contribuyeron significativamente a la enseñanza y desarrollo del conocimiento de la Geografía Física, entre los que cabe mencionar a Maria del Tura de Bolòs i Capdevila, Vicenç Maria Rosselló, José María Rubio Recio y Eduardo Martínez de Pisón, de los que somos directos herederos y a los que profesamos una enorme admiración, pues se cumple la máxima del célebre estadista británico: «Nunca tantos debieron tanto a tan pocos».

Jesús García Fernández, formado en la Universidad Central de Madrid y becario colaborador en el Instituto de Geografía Juan Sebastián Elcano, bajo los auspicios de Manuel de Terán, obtiene la cátedra de Geografía en la Universidad de Valladolid en 1959 -de Geografía Física desde 1980-, en la que desarrolló una intensa labor docente e investigadora que se prolongó durante cuatro decenios hasta su jubilación como profesor emérito en 1998. De la brillante y meritoria trayectoria académica cabe destacar, sin duda, la tarea docente y, en particular, la dirección de los *Cursos de Trabajo de Campo en Geomorfología*, impartidos en Las Loras (Cordillera Cantábrica) y en «la Sierra» (Cordillera Ibérica), de los que llegaron a celebrarse una treintena de ediciones y en los que se instruyeron a varias generaciones de geógrafos, prestando especial atención a los métodos de observación en el trabajo de campo y a las formas estructurales como elementos que articulan el entramado del relieve. Aplicó los mismos postulados en las investigaciones, en particular, en las iniciadas en el sector alicantino de la cordillera Bética, al advertir con asombro que la complejidad de las morfoestructuras montañosas rompía por completo los esquemas habituales, lo cual le dejó profundamente «adardado» y le planteó una difícil «recuesta».

El libro de Jesús García Fernández titulado *Contribución al conocimiento geomorfológico del Camp d'Alacant*, reeditado por la Universidad de Alicante y el Instituto Interuniversitario de Geografía, a propuesta del profesor Juan Antonio Marco Molina, recupera para el acervo geomorfológico una obra de gran interés y completa vigencia, pues en ella no sólo se analizan y detallan las morfoestructuras del extremo nororiental de la cordillera Bética, sino que se revela y explica la preponderancia que la tectónica de fractura tiene sobre la de plegamiento, la cual juega un papel subordinado, en la configuración de los elementos morfológicos del relieve.

La obra se compone de seis apartados y una presentación previa en la que lleva a cabo la contextualización geomorfológica del Camp d'Alacant, cuyo paisaje, descrito por la prosa lírica de Azorín, se caracteriza, en palabras de D. Jesús, por el impresionante contraste entre las llanuras y los relieves montañosos (*serras*). En concreto, en este trabajo se analizan las seis unidades morfoestructurales que se extienden, en dirección NE-SO, desde el Maigmó hasta las Llomes d'Espí.

La primera de las seis unidades es la fosa tectónica del Barranc Blanc, una depresión de 550 a 600 m de altitud de suma complejidad en cuyo fondo, muy anfractuoso, afloran mezclados e intercalados sedimentos del Trías, calizas del Turoniense y margas y calizas blanquecinas miocenas fruto de la perforación diapírica (de las arcillas abigarradas del Buntsandstein) acontecida, a finales del Mioceno, y canalizada a través del plano oblicuo de una falla de distensión cortical; la cual determina la configuración de los principales elementos morfológicos, en especial, de sus bordes, al generar el levantamiento del Maigmó y la deformación del Ventós a modo de pliegue anticlinal volcado hacia al norte, así como las crestas de calcoarenitas cenomanienses denominadas «alóctonas». La evolu-

ción posterior de la fosa se resume en: fase de disección pliocena con un arrasamiento-nivelación perfecta; formación del glacis de recubrimiento encostrado correspondiente al Pleistoceno inferior; movimientos tectónicos póstumos, avanzado ya el Pleistoceno, que desnivela la fosa; y finalmente la etapa de excavación finpleistocena y holocena.

El Ventós, la segunda unidad, es en esencia un bloque levantado a finales del Mioceno, esto es, un horst estrecho y alargado de unos 3,5 km en dirección ENE-OSO, basculado hacia el oeste y escalonado al este, en el que las fallas que lo jalonan deforman las calizas turonienses, razón por la cual goza de una peculiar cualidad polimórfica: se asemeja, según la perspectiva, tanto a una bóveda anticlinal disimétrica como a una cresta monoclinal con su frente septentrional en forma de pliegue volcado e incluso también a un sinclinal colgado.

La tercera unidad es la depresión parasinclinal de Agost, denominada así por su similitud con una cubeta sinclinal, que configura un espacio circular hundido, esto es, una cubeta-depresión tectónica fruto de una actividad tectónica finmiocena que prosigue «adentrado el Pleistoceno, hundiendo el fondo y levantado sus bordes». Por esta razón, en ella se pueden distinguir tres elementos morfológicos: la semicubeta de la Revolta, en el centro, que obra como una dovela hundida en la que afloran las calizas senonienses replegadas y falladas; la Sierra del Castellar, en el borde oriental, que cierra por este extremo la cubeta, al elevarse las calizas supraturonienses hasta los 700 m en forma de sucesivos peldaños, adoptando una forma semicircular y similar a un levantamiento perisinclinal; y finalmente, en el borde occidental, les Llomes de la Beata que, pese a su apariencia de cresta monoclinal, constituye un alargado y estrecho horst, en concreto, el último peldaño del graderío en que se resuelve por el oeste el basculamiento de Agost.

La Murta, la cuarta unidad, es un alargado corredor situado entre las sierras del Castellar, al norte, y dels Talls, al sur, en el que la serie del Albiense se halla por encima de las del Cenomaniense y del Turoniense, por lo que estructuralmente no es un anticlinal disimétrico, como había sido interpretado, sino un horst y morfológicamente un horst inverso, al estar erosionados los materiales más blandos del Albiense correspondientes al bloque levantado. Además, la reactivación tectónica acontecida en el Pleistoceno, esta vez en sentido opuesto, ha hundido el fondo del horst inverso varias decenas de metros (de modo que paradójicamente también es una fosa tectónica) y originado no sólo los gancheamientos de la serie del Albiense en sus bordes, sino también la desnivelación del glacis de la partida de Girau-la Murta.

La quinta unidad es el horst de crestas de la Serra dels Talls (400 m) que ha tenido un comportamiento tectónico contrario al de La Murta, por lo que si resalta sobre éste es debido a la erosión diferencial de los bancos de calizas cenomanienses y turonienses que han protegido las margas infrayacentes, pues estructuralmente se trata de un bloque hundido. No obstante, al final ha experimentado un levantamiento como se aprecia en los gancheamientos presentes en Moralet, donde la serie senoniense está hundida por debajo de las calizas turonienses y supraturonienses.

La sexta unidad, la depresión parasinclinal del Moralet, es un espacio deprimido de 250 m de altitud, donde la cobertera cretática no ha sido deformada en forma de sinclinal disimétrico vergente al sur, tal y como se había interpretado, sino que se encuentra hundida por lo que se trata de una fosa tectónica. Ahora bien, como resultado de la actividad tectónica las capas de los bordes se han combado presentando una disposición similar a una estructura sinclinal.

De la lectura de este libro se extraen, entre otras, las siguientes conclusiones: el interés y la complejidad geomorfológica que tiene el relieve del Camp d'Alacant; la importancia de la observación y el análisis de las litofacies en el trabajo de campo; la relevancia que cobra la morfotectónica (relación

entre tectónica y erosión) y la neotectónica en la interpretación de los elementos del relieve y su evolución; y, finalmente, la original catalogación de este tipo de relieve como fallado en cobertera sedimentaria mesocenoica.

El rescate de esta obra de los piélagos del olvido, merced a la iniciativa, empeño y resolución del profesor Juan Antonio Marco Molina es todo un acierto al reivindicar y poner de relieve la valía de esta contribución al conocimiento geomorfológico, máxime si tenemos presente la relevancia y originalidad de sus aportaciones desde el punto de vista morfoestructural. Que la edición del libro corra a cargo del susodicho profesor quizá estaba predestinado, pues tuvo la ventura de acompañar a D. Jesús durante las largas jornadas de campo. Sea como fuere, la labor de reimpresión ha sido realizada con notable esmero y pericia, procediendo siempre desde el respeto y en pro de preservar el texto original. El formato elegido, amplio y muy manejable, realza las novedades que el editor ha incluido de forma oportuna, en concreto, varios mapas y 42 láminas (56 fotos), muy ilustrativas y de excelente calidad, que facilitan la localización e identificación de las diferentes morfoestructuras y, sobre todo, de los elementos del relieve; además la incorporación de la toponimia vernácula y las apostillas semánticas a pie de página permiten un mejor seguimiento espacial y la comprensión del discurso, pues el autor como es sabido se servía en sus textos de un léxico poco común y casi olvidado.

En puridad, la lectura de esta obra nos permite, como diría Quevedo, escuchar con los ojos las ideas reveladoras expresadas por el sabio maestro, Don Jesús; y comprobar el certero aforismo del gran Baltasar Gracián, al advertir que en «...ver y conocer consiste el remedio» aunque en ocasiones hay que «...mirar las cosas al revés para verlas al derecho», máxima pintiparada pues la cobertera sedimentaria mesocenoica del Camp d'Alacant configura, en realidad, un relieve fallado propio de una actividad tectónica de fractura: intensa y reciente (García Fernández, 2025).



La Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario Parte III: AEQUA en los inicios del siglo XXI (2006 - 2017)

*The History of the Spanish Society for Quaternary Research.
Part III: AEQUA at the dawn of the 21st century (2006 - 2017)*

Silva, P.G. ⁽¹⁾; Bardají, T. ⁽²⁾

(1) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila. 05003-Ávila.
pgsilva@usal.es

(2) Unidad Docente de Geología, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid. teresa.bardaji@uah.es

Resumen

El presente artículo cubre el periodo entre 2006 y 2017, el cual estuvo comandado por dos tandems, uno femenino (Bardají y Roquero; 2006-2009) y otro masculino (Silva y Rodríguez-Pascua, 2010-2017). Al igual que en el tandem anterior la renovación de estatutos permitió a este segundo tandem repetir en la directiva de AEQUA, cuyo mandato se extendería, todavía más allá de forma interina (a causa de la pandemia COVID-19), hasta 2021. Durante el periodo que analiza el presente artículo se celebran las Reuniones Nacionales de Cuaternario de Ávila (2007; Pablo G. Silva); Andorra (2011; Valentí Turú i Michels); Granada (2015; José Miguel Azañón) y las Reuniones de Cuaternario Ibérico de Faro (2009 y 2017) y Sevilla-La Rinconada (2013; Rafael Baena). La IX Reunión de Cuaternario Ibérico organizada por Tomasz Boski y Delminda Moura, de la Universidad del Algarve (Faro) en 2017, resultó ser la última de la serie REQUI comenzada en Lisboa en 1985. En la REQUI de Sevilla se le concedió el Arquero de Oro al ilustre prehistoriador de la Universidad de Sevilla D. Enrique J. Vallespí. Durante este periodo se constituyen los nuevos grupos de trabajo de AEQUA: El Madrileño (GQM) en 2007 impulsado por P.G. Silva (USAL) y J. Baena Preysler (UAM) y el de Tectónica Cuaternaria (QTECT, 2010) impulsado por M.A. Rodríguez Pascua y Raúl Pérez-López (IGME). Este nuevo grupo se involucra, desde su inicio, en la organización de los Congresos Ibéricos de Fallas Activas (IBERFAULT). Durante este periodo se instauran las actuales webs de AEQUA y de la Revista Cuaternario y Geomorfología que obtiene el Sello de Calidad de RECYT, gestionándose desde entonces electrónicamente desde esta plataforma. A partir de 2009 tiene lugar una intensa labor internacionalizadora del Cuaternario hispano: Se organiza el primero de los INQUA Workshops on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active tectonics en Baelo Claudia (Cádiz, 2009), que sería el primero de la serie PATA Days en las que el QTECT-AEQUA participaría activamente en la organización de los de Corinto (Grecia, 2011); Morelia (México 2012) y Aachen (Alemania, 2013). En 2010 se organiza el INQUA Workshop "Decoding the Last Interglacial in Western Mediterranean" en Cerdeña (Italia) capitaneado por Teresa Bardají (UAH) y Salvatore Carboni (Univ. Cagliari). El Comité Español de INQUA acude a los congresos internacionales de Berna (Suiza, 2011) y Nagoya (Japón), donde se presenta candidatura es-



pañola para proponer Zaragoza como sede de un congreso INQUA en 2015 y 2019, bajo la dirección de *Blas Valero Garcés* y su equipo del IPE-CSIC. En las dos ocasiones no se estima la candidatura española y se desiste de un nuevo intento. Por tal motivo, en 2016, AEQUA deja de pagar la cuota INQUA, que llevaba pagando desde 2011 ante la retirada de fondos del Ministerio de Educación y Ciencia y sus sucesores.

Palabras clave: Cuaternario, Historia, AEQUA, INQUA, España.

Abstract

This work covers the period between 2006 and 2017, which was led by two tandems, one feminine (Bardají and Roquero; 2006-2009) and another masculine (Silva and Rodríguez-Pascua, 2010-2017). As occurred previously with the women's tandem, the renewal of the statutes allowed the subsequent male tandem to remain in the AEQUA board for two consecutive periods, which will be extended because of the COVID-19 pandemic until 2021. During the period analysed in this article, three National Quaternary Meetings were held in Ávila (2007; Pablo G. Silva); Andorra (2011; Valentí Turú i Michels); Granada (2015; José Miguel Azañón) and other three Iberian Quaternary Meetings in Faro (2009 and 2017; Tomasz Boski y Delminda Moura) and Seville-La Rinconada (2013; Rafael Baena). The 9th Iberian Quaternary Meeting, organised by Tomasz Boski and Delminda Moura, from the University of Algarve (Faro) in 2017, was the last in the REQUI series that began in Lisbon in 1985. At the Seville REQUI (2013), the distinguished prehistorian from the University of Seville, Enrique J. Vallespí was granted with the AEQUA Golden Archer award. During this period, new AEQUA working groups were formed: El Madrileño (GQM) in 2007, promoted by P.G. Silva (USAL) and J. Baena Preysler (UAM) and Quaternary Tectonics (QTECT, 2010), promoted by M.A. Rodríguez-Pascua and R. Pérez-López (IGME). From the beginning, this new group has been involved in organising the series of Iberian Congresses on Active Faults (IBERFAULT). During this period both, AEQUA and the journal Cuaternario y Geomorfología websites were launched, the latter obtaining the RECYT Quality Mark in 2011, since been managed electronically from this institutional scientific platform. From 2009, there has been intense internationalisation work on the Spanish Quaternary sciences. The first *INQUA Workshop on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics* was organised in *Baelo Claudia* (Cádiz, 2009) by P.G. Silva (USAL) and K. Reicherter (RWTH Aachen). This event would be the first in the *INQUA PATA Days series* in which QTECT-AEQUA will actively participate in the organisation of those held in Corinth (Greece, 2011); Morelia (Mexico, 2012) and Aachen (Germany, 2013). In 2010, the *INQUA Workshop 'Decoding the Last Interglacial in Western Mediterranean'* was organised in Sardinia (Italy), led by *Teresa Bardají* (UAH) and *Salvatore Carboni* (University of Cagliari). The Spanish INQUA Committee attended the international congresses in Bern (Switzerland, 2011) and Nagoya (Japan, 2015), where Spain's candidature was presented to propose Zaragoza as the venue for an INQUA congress in 2015 and 2019, under the direction of *Blas Valero Garcés* and his team at IPE (CSIC). On both occasions, the Spanish bid was unsuccessful, and no further attempts were made to the date. For this reason, in 2016, AEQUA stopped paying the INQUA membership fee, which it had been doing since 2011, due to the withdrawal of funds from the Spanish Government since then.

Key words: Quaternary, History, AEQUA, INQUA, Spain.

1. Introducción

Este año 2025 es el 40 aniversario de AEQUA desde su creación como sociedad científica y, con tal motivo, continuamos con el que pretendía ser el último de los tres artículos que glosan la historia de nuestra asociación tras estos cuarenta años de existencia y supervivencia en el cada vez más complejo mundo

de la Ciencia en los albores del siglo XXI. No obstante, debido al importante volumen de información y actividades desarrolladas, y vividas en primera persona por los autores del periodo posterior a 2005 hasta 2025 (veinte años), nos vemos obligados a desarrollar este volumen tan solo en una primera década (2006-2017) y acometer un último cuarto volumen para el último periodo de la AEQUA

hasta el año próximo (2026), en el que tendrá lugar un nuevo cierre de ciclo con la celebración de los actos del 40 Aniversario durante la XVI Reunión Nacional de Cuaternario, que se celebrará en Huéscar (Granada) durante la primera semana de julio.

Tras la Reunión de Cuaternario Ibérico celebrada en Gibraltar en el año 2005, prosigue el mandato continuado del tándem formado por **Teresa Bardají** (Presidenta) y **Elvira Roquero** (Secretaria). Este segundo mandato continuado se hizo posible debido a que se renovaron los Estatutos de la asociación y permitían la continuación de la misma directiva. Como se indicó en el anterior capítulo, en la Asamblea General Ordinaria celebrada en Gibraltar se renovó automáticamente la anterior Junta Directiva. Este último artículo de la serie resume las actividades de la asociación entre 2006 y 2021, nada más y nada menos que quince años. En esta época se transita desde el tándem Teresa Bardají - Elvira Roquero (2001-2009) a un nuevo tándem que dirigió la asociación durante un periodo de doce años (2010-2022): **Pablo G. Silva Barroso** (Presidente) – **Miguel Ángel Rodríguez-Pascua** (Secretario). Un nuevo cambio de Estatutos permitió igualar los mandatos de Presidente y Secretario a dos periodos consecutivos de cuatro años (como ya lo hacía el Tesorero). Desafortunadamente, la pandemia de la COVID-19 prolongó este mandato dos años más de lo dispuesto. Hasta Julio de 2021, en el Congreso Geológico de Vitoria, no se consiguió convocar una Asamblea General Ordinaria presencial que pudiera dar validez oficial a los cambios que tenían que hacerse en la Junta Directiva.

2. El Periodo 2006 - 2009: La segunda etapa del tándem Teresa Bardají (UAH) y Elvira Roquero (UPM) al frente de la asociación

El año 2005 culmina con la celebración del **6th International Geomorphological Congress** de la IAG en Zaragoza, promovido y dirigido por el Profesor D. **Mateo Gutiérrez Elorza**, con la colaboración de Francisco Gutiérrez

Santolalla y Gloria Desir Valen, todos del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza y miembros de SEG y AEQUA. A la reunión asistieron 851 investigadores de 61 países. El congreso tuvo 25 sesiones de temáticas diferentes, muchas de ellas (glaciarismo, fluvial, eólico, Geomorfología tectónica, etc.) estrechamente relacionadas con la Geología y Geomorfología del Cuaternario. En estas sesiones científicas participaron una nutrida representación de asociados SEG-AEQUA, algunas de ellas también coordinadas por algunos de ellos. También se realizaron 24 diferentes excursiones de campo que cubrieron importantes temáticas sobre Geología y Geomorfología del Cuaternario. En cierta manera, el evento supuso un nuevo encuentro internacional para los muchos cuaternaristas y geomorfólogos (*tanto monta, monta tanto*) que nos reunimos allí, bajo la dirección de ese importante personaje que fue, y continúa siendo, **D. Mateo Gutiérrez Elorza** que nos dejó en el año 2022. En su memoria nos queda su incansable lucha por la autonomía y presencia de la Geomorfología y la Geodinámica Externa en los campos de las Ciencias de la Tierra, a la que tanto le debemos, pero también su pasión por la Geología y la Geomorfología del Cuaternario reflejada en toda su obra, especialmente en esos extensos e intensos libros de Geomorfología que todavía seguimos utilizando como biblias de referencia básica en nuestros estudios, o el capítulo de Cuaternario que coordinó para el libro de **“Geology of Spain”** publicado por la Sociedad Geológica de Londres (GSL) en 2002 (Gutiérrez Elorza, 2002).

El **año 2006** transcurre sin grandes sobresaltos. Durante el mismo se desarrolla una importante actividad de reuniones con las sociedades amigas *Grupo de Trabalho Portugues para o estudo do Quaternario* (GPTQ) para comenzar a elaborar un reglamento que regule las *Reuniones de Cuaternario Ibérico* (REQUI) y con la *Sociedad Española de Geomorfología* (SEG) para el *Premio María Jesús Ibáñez* (MJIB). Hacía ya varios años que habían desaparecido la fundación y fondos que sostenían el premio y no existía todavía ningún regla-

mento SEG-AEQUA que lo regulara. Las líneas básicas se trazaron en la Asamblea General celebrada en el nuevo edificio de Escuela Politécnica Superior de Ávila (USAL) a la que asistió muy poca gente, pero las responsables de la Junta Directiva traían un gran número de votos delegados. Entonces Internet todavía era un recurso emergente y las reuniones on-line ni de lejos pasaban por la mente de la mayoría de la gente. **La Escuela Politécnica Superior de Ávila** (USAL) había sido propuesta por Pablo G. Silva, entonces editor principal de CyG, como sede de la siguiente Reunión Nacional de Cuaternario a celebrar en Julio de 2007 (Fig. 1). Durante la mencionada asamblea también se perfilaron los comités científicos, organizadores, así como las sesiones, formatos de las presentaciones, etc. Se

acordó el siguiente comité de organización: Pablo G. Silva, USAL (Presidente); Elvira Roquero, UPM (Secretaria de Organización); Javier Lario (UNED), Tesorería y Publicaciones; además de un comité de organización local formado por personal docente y de servicios de la Escuela Politécnica Superior de Ávila formado por Loreto Rodríguez Bouzo, Inmaculada Picón Cabrera, Carlos Pérez Gutiérrez, Rosa Reguilón Bragado, María Begoña Bautista Davila y Óscar Pérez Peña.

En el **año 2007** tiene lugar la celebración de la **XII Reunión Nacional de Cuaternario en Ávila** durante el mes de Junio. Asistieron cerca de 140 participantes, cuyas aportaciones se materializaron en 107 comunicaciones (67 orales y 39 póster), agrupadas en cinco Se-



Figura 1. Participantes en la excursión post-congreso a la Sierra de Béjar durante la Reunión Nacional de Cuaternario celebrada en Ávila en 2007.

Figure 1. Participants in the post-conference excursion to the Sierra de Béjar during the National Quaternary Meeting held at Ávila in 2007.

siones Científicas y dos Simposios Temáticos. Las sesiones cubrieron aspectos tales como: Evolución de Valles Fluviales; Secuencias Continentales y Glaciario; Secuencias Litorales y Cambios del Nivel del Mar; Geoarqueología, Prehistoria y Poblamiento Humano; y Tectónica y Vulcanismo Cuaternarios. Los dos simposios trataron sobre Registros Ambientales y Climáticos Cuaternarios; y Cartografía geológica y geomorfológica del Cuaternario. La Conferencia Inaugural corrió a cargo del **Dr. Claude Hillaire Marcel** de la Université du Québec à Montréal (Canadá), sobre “*Las inestabilidades de la Circulación Termohalina del Atlántico Norte*”, ilustrándonos sobre algunos errores interpretativos de los modelos climáticos que han llevado a conclusiones inexactas en el pasado sobre el comportamiento futuro de la circulación oceánica en el Atlántico Norte y sus efectos sobre el clima. La reunión tuvo una excursión post-congreso sobre el Glaciario de la Sierra de Béjar, dirigida por Raquel Cruz y José Luis Goy (USAL), en la que participaron 28 asistentes (Fig. 1). Todas las contribuciones quedaron recogidas en el volumen de abstracts del congreso “**Contribuciones al Estudio del Periodo Cuaternario**” editado por la UNED (Lario y Silva, 2009). Durante el congreso se distribuyó entre los asistentes la primera versión de la Tabla Geocronológica del Cuaternario en la Península Ibérica elaborada por Silva *et al.* (2007).

Por lo demás, durante el congreso tuvo lugar el **Acto de Constitución del Grupo Madrileño de Cuaternario (GQM)** con Pablo G. Silva (USAL) y Javier Baena Preysler (UAM) como Presidente y Secretario fundadores respectivamente, y con un impulso inicial de 23 miembros. Por último, tuvo lugar la **Asamblea General de AEQUA** durante la cual se procedió a **renovar la Junta Directiva**, afrontando así su último periodo el tándem Bardají - Roquero. **Inmaculada Guerrero Amador** (US) se incorporó como nueva Tesorera. Dejaron la Junta Directiva Francisco Giles (Museo Pto. de Sta. María), Angela Alonso (UdC) y Francisco Gutiérrez (UNIZAR), ya que Javier Lario (antiguo Tesorero) y Joaquín Rodríguez Vidal (antiguo representante próxima reunión) sa-

lieron elegidos nuevos vocales (Tabla 1). Miguel Cortés Sánchez (Presidente GAC), de la Universidad de Sevilla, se incorporó como representante de Grupos de Trabajo y **Valentí Turú i Michels** (Andorra) se incorporó como representante de la próxima reunión nacional que se celebraría en Andorra en el año 2011. La próxima Reunión de Cuaternario Ibérico se celebraría en 2009, a cargo de nuestros amigos portugueses en la Universidade do Algarve (Faro). Un hecho relevante que tuvo lugar en la Asamblea General de Ávila es que se acordó la creación de una figura técnica para la **administración aequa** que colaborara en temas de tesorería, secretaría y relaciones con los socios, mediante la creación de una pequeña beca-colaboración para algún joven asociado que quisiera colaborar. Finalmente, se resolvió incorporar a **María Begoña Bautista Davila**, del Servicio de Bibliotecas de la Universidad de Salamanca, a las funciones de administración en la asociación, labor que ha continuado realizando durante estos últimos 18 años.

Con anterioridad al congreso, los días 18, 19 y 20, se celebró en Ávila el **primer curso aequa** sobre **Cuaternario, Cambio Climático y Peligros Naturales Asociados**. El curso, coordinado por Pablo G. Silva (USAL) y Teresa Bardají (AEQUA, UAH), contó con la participación de 54 alumnos y un elenco de 22 conferenciantes. El mismo se incluyó en el programa de **Cursos de Verano de la Universidad de Salamanca** con reconocimiento de 2 créditos de libre configuración a los alumnos de la USAL (Fig. 2). En el curso se impartieron 21 seminarios de 50 minutos de duración, estructurados en tres bloques principales: En el **primer Bloque (Cuaternario: Estratigrafía, Paleontología y Arqueología)** se intentaba hacer una puesta al día de aspectos fundamentales del estudio del Cuaternario, revisando la Cronología y Registros del Cuaternario (Teresa Bardají, UAH), la aportación de la Arqueología y Prehistoria (Javier continentales (Enrique Soto, MNCN-CSIC) como Microfauna de vertebrados continentales (Carmen Sesé, MNCN-CSIC), los nuevos descubrimientos sobre Evolución Humana (Antonio Rosas, MNCN-CSIC),

Tabla 1. Composición de la Junta Directiva de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario para el periodo 2007 – 2009, resultante de la Asamblea General celebrada en la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

Table 1. Composition of the Executive Board of the Spanish Association for Quaternary Studies for the period 2007–2009, resulting from the General Assembly held at the Escuela Politécnica Superior de Ávila (USAL).

Presidente:	Teresa Bardají Azcárate (Dpto. Geología, Universidad de Alcalá, UAH, Madrid)
Vicepresidente:	Rafael Baena Escudero (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
Secretaria:	Elvira Roquero García-Casal (Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid, UPM, Madrid)
Tesorería:	Inmaculada Guerrero Amador (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
Vocales:	Javier Baena Preysler (Dpto. Prehistoria, Universidad Autónoma de Madrid, UAM, Madrid)
	Fernando Díaz del Olmo (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
	Juan Usera Mata (Dpto. Geología, Universidad de Valencia, UV, Valencia)
	Javier Lario Gómez (Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, Madrid)
	Marco de la Rasilla Vives (Dpto. Historia, Universidad de Oviedo, UNIOVI, Oviedo)
	Joaquín Rodríguez Vidal (Dpto. Geología, Universidad de Huelva, UHU, Huelva)
	----- representativos -----
	Pablo G. Silva Barroso (Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, USAL, Ávila, CyG)
	Caridad Zazo Cardeña (Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, INQUA)
	Miguel Cortés Sánchez (Museo Arqueológico de El Puerto de Santa María, Cádiz, GT-GAC)
	Valentí Turú i Michels (Fundación Maurice Chevalier, Andorra). Representante XIII Reunión Nacional de Cuaternario: Andorra 2011.

la aportación de la Geoarqueología (Jesús Jordá, UNED) y la Cartografía Geológica y Geomorfológica del Cuaternario (Ángel Martín Serrano, IGME).

En un **segundo bloque**, centrado en el **Cambio Climático durante el Cuaternario**, se impartieron seminarios específicos con aplicación de diferentes metodologías sobre el Análisis de Terrazas Fluviales y Evolución de los Valles en la Península Ibérica (Pablo G. Silva, USAL); Suelos y Paleosuelos como Indicadores Paleoambientales (Elvira Roquero, UPM); el Registro del Cambio Climático en Secuencias Polínicas (Blanca Ruiz Zapata, UAH), Secuencias Kársticas (Juan Vázquez, IGME), Sondeos Oceánicos (Juan Usera, UV), en Sistemas Glaciares de Montaña (Carlos Martí Bono, IPE-CSIC) y en Secuencias Lacustres

(Ana Moreno, IPE-CSIC), terminando con el seminario magistral sobre el Uso de Criterios Geomorfológicos en la Investigación Geológica del Cuaternario a cargo de Joaquín Rodríguez Vidal, (UHU). **El tercer bloque** enfocado al estudio de la **Peligrosidad de los fenómenos naturales y su registro geológico durante el Cuaternario**, incluía seis seminarios sobre Inundaciones y Paleoinundaciones (Gerardo Benito, CCMA-CSIC), Tsunamis, Storm-surges (Javier Lario, UNED), los Cambios del Nivel del Mar en las Costas Peninsulares e Insulares Españolas (Cari Zazo, MNCN-CSIC); el Vulcanismo Cuaternario de las Islas Canarias (Francisco Pérez Torrado, ULPGC), la Neotectónica en la Península Ibérica (José Luis Goy, USAL), Paleosismología: Terremotos, Paleoterremotos y Peligrosidad Sísmica en España (Miguel Ángel Rodríguez Pascua, USP-CEU). El curso

se cerró con una conferencia de **Alfonso Meléndez Hevia** (UNIZAR), entonces Presidente de la Sociedad Geológica de España, sobre el **Año Internacional del Planeta Tierra** (Fig. 2). Desde entonces no se ha vuelto a organizar ningún curso semejante por parte de la asociación.

El año 2008, como año intercongreso, transcurre sin demasiadas novedades respecto a nuestra asociación, ahora bien, tienen lugar diversos eventos en los que participan activamente miembros de AEQUA, como es el Congreso Geológico de España celebrado en la isla de Gran Canaria bajo la dirección de Francisco José Pérez-Torrado y María del Carmen Cabrera (ULPGC), en el que hubo una nutrida participación de cuaternaristas y se organizó la excursión post-congreso dedicada al Análisis de Niveles Marinos y su Relación con el Vulcanismo Reciente en las Islas de Fuerteventura y Lanzarote, que fue publicada en la serie de Geo-Guías (Zazo *et al.*, 2008). Durante el congreso se distribuyeron entre los asistentes 300 ejemplares impresos (A3) de la primera versión de la Tabla Cronoestratigráfica del Cuaternario de la Península Ibérica. Ese año también tuvo lugar el Congreso Geológico Internacional (IGC) celebrado en Oslo (Noruega) en el que se presentaron numerosos trabajos sobre paleoclima y paleosismicidad por parte de miembros de AEQUA. Ese año se convocó una Asamblea General Ordinaria para tratar asuntos de trámite que tuvo lugar en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la UPM en Madrid.

El **año 2009** fue un año intenso lleno de actividades organizadas o participadas por nuestra asociación. Se obtuvo financiación con una de las antiguas Acciones Integradas Internacionales (ACI) del Ministerio de Educación y Ciencia para la organización de un Evento INQUA en España. Este fue el **1st INQUA Workshop on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics**, que más adelante continuaría bajo el acrónimo **PATA Days**, celebrándose hasta quince de ellos a fecha de hoy (Fig. 3). El Workshop, promovido por la Subcomisión

[illegible]

Figura 2. Cartel del Curso sobre Cuaternario organizado por AEQUA previo a la XII Reunión Nacional de Cuaternario celebrada en Ávila en 2007.

Figure 2. Poster for the Quaternary Course organised by AEQUA prior to the 12th National Quaternary Meeting held in Ávila in 2007.

de Paleosismología de la Comisión de Procesos Terrestres de INQUA (TERPRO), se celebró durante el mes de Septiembre en el **Conjunto Arqueológico Romano de Baelo Claudia** en la Bahía de Bolonia (Tarifa, Cádiz). El workshop estuvo organizado por **Pablo G. Silva** (USAL) y **Klaus Reicherter** (RWTH Aachen, Alemania) y contó con el apoyo del **IGCP 567 (Earthquake Archaeology)** liderado por **Manuel Sintubin** (ULOV, Bélgica). Todas las actividades del congreso (campo, sesiones, curso de arqueosismología, etc.) contaron con la indispensable colaboración de los especialistas en tectónica cuaternaria **Miguel Ángel Rodríguez-Pascua** (IGME), **Raúl Pérez-López** (IGME) y **Jorge Luis Giner-Robles** (UAM), por entonces profesores de la Universidad San Pablo-CEU de Madrid. Estos desarrollaron un **curso sobre arqueosismología** anexo al congreso, para lo cual edita-

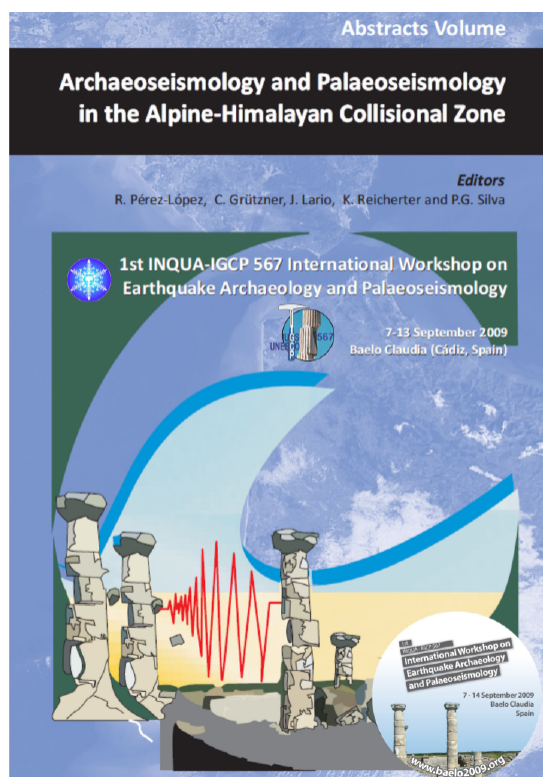


Figura 3. Portada volumen de Abstracts del 1st International Workshop on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics, celebrado en Baelo Claudia (Tarifa, Cádiz) en septiembre de 2009.

Figure 3. Covers of the Abstract Vol. of the 1st International Workshop on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics, held at Baelo Claudia (Tarifa, Cádiz), September 2009.

ron una interesante guía metodológica sobre el análisis de efectos arqueosismológicos de los terremotos (EAEs; Giner *et al.*, 2009), que posteriormente cristalizaría en la **clasificación de EAEs** publicada en *Quaternary International* por Rodríguez-Pascua *et al.* (2011). A este primer PATA Days asistieron 101 investigadores de 22 países (Alemania, España, Italia, Francia, Grecia, Austria, Inglaterra, Portugal, Hungría, Noruega, Republica Checa, Lituania, Rusia, Israel, Estados Unidos, México, Bélgica, Japón, Corea del Sur, Turquía, Irán), y se editó un volumen de abstracts con 44 contribuciones y cuatro conferencias (Pérez-López *et al.*, 2009), además de las guías de campo que recogían las diferentes excursiones realizadas durante el workshop (Fig. 4). Entre

los conferenciantes más ilustres estuvieron **James P. McCalpin** (USA) con “paleoseismología”, **Thomas Rockwell** (USA) con “investigación de trincheras de falla” y **Amotz Agnon** (Israel) con “arqueosismología”. Durante este workshop se formalizó el Grupo de Trabajo Español del Proyecto **IGCP 567 Earthquake Archaeology** y se trazaron las líneas básicas para la creación del **Grupo de Trabajo en AEQUA** sobre Paleoseismología, Arqueosismología y Tectónica activa (**QTECT**), con gran consenso entre los más de 30 investigadores españoles que asistieron a este evento internacional.

En el mes de octubre de 2009 tuvo lugar la **VII Reunión de Cuaternario Ibérico** organizada en Faro (Portugal) por los profesores de la **Universidade do Algarve** Tomasz Bosky, Delminda Moura y Anna Gomes. Aunque la participación española no fue especialmente nutrida (22 asistentes), sí que hubo un importante número de participantes portugueses, completándose un total de 86 asistentes y 62 contribuciones que se editaron en un volumen de resúmenes titulado **“O futuro do ambiente da Península Ibérica – as lições do passado geológico recente”** (Bosky *et al.*, 2009). La Conferencia de Clausura corrió a cargo de Caridad Zazo con la charla titulada: **“Interconexiones Atlántico-Mediterráneo: Respuesta de la Costa a los Cambios Climáticos y del Nivel del Mar durante los últimos 130 Ka”**. Durante el congreso se le concedió a esta investigadora la **“Golden Chondrite of Merit”** una distinción otorgada por el Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA) de la Universidade do Algarve en reconocimiento de su labor investigadora.

Durante esta reunión tuvo lugar la celebración de la Asamblea General AEQUA durante la cual se formalizaron los Reglamentos del Premio María Jesús Ibáñez (junto con la SEG) y de las reuniones de Cuaternario Ibérico (Junto con el GTPQ). También se procedió a la renovación de los cargos de la Junta Directiva, saliendo elegidos nuevos Presidente y Secretario, **Pablo G. Silva (USAL)** y **Miguel Ángel Rodríguez Pascua (IGME)**. Las anterio-



Figura 4. Fotomontaje con muchos de los participantes en el INQUA Workshop de *Baelo Claudia* 2009 en el Cabo de Trafalgar durante la excursión de Campo de workshop. En primer plano Ana Cabero (UNED), asistida por Begoña Bautista (USAL), presentando la parada.

Figure 4. Photo-collage showing many of the participants in the Baelo Claudia 2009 INQUA Workshop at in Cape Trafalgar during one of the field trip workshops. To the left, Ana Cabero (UNED), assisted by Begoña Bautista (USAL), presenting the stop.

res dirigentes pasaron a ocupar vocalías de past-president (T. Bardají) y adjunta a Secretaria (E. Roquero) y se eligieron como nuevos vocales a Mario López-Recio (AUDEMA) y Carlos Ferrer García (DIVAL). Con estos cambios, Pablo G. Silva dejaría la edición de la revista *Cuaternario y Geomorfología* a cuyo cargo estuvo diez años desde 1999. El nuevo editor principal pasaría a ser Javier Lario Gómez (UNED) a partir de 2010, que junto con Javier Gracia Prieto (UCA; SEG) dirigirían la revista hasta 2012. La nueva composición de la Junta Directiva para el periodo 2009-2011 se lista en la Tabla 2.

En Noviembre de 2009 tiene lugar en la **Fundación Dinópolis de Teruel** un acto **Homenaje al Profesor Emiliano Aguirre Enríquez**, denominado “El Linaje de Emiliano” organizado por su director Luis Alcalá (también miembro de AEQUA por entonces). Con motivo de tal homenaje, la Junta Directiva decide crear el premio **“Arquero de Oro”** para distinguir con tal máximo honor al fundador de AEQUA y promotor de los estudios de Cuaternario en España. Al homenaje acudieron 55 personas,

todas ellas hijos, nietos o biznietos científicos de Emiliano Aguirre (Fig. 5). Por iniciativa de Nieves López (UCM) se realizó un árbol genealógico que arrancaba con D. José McPherson (1839-1902) y pasaba por su doctorando D. Eduardo Hernández-Pacheco (CSIC) y el doctorando de este Miquel Crusafont (UB) hasta llegar a Emiliano Aguirre, de donde nacían numerosas ramificaciones. Entre los primeros troncos del árbol (sus doctorandos) se encuentran figuras muy importantes en AEQUA como Mayte Alberdi (MNCN-CSIC); Nieves López (UCM); Manolo Hoyos (MNCN-CSIC); Caridad Zazo (MNCN-CSIC); Eloy Molina (USAL); Margarita Díaz-Molina (UCM); y Alfredo Pérez-González (UCM-CNIEH). Cuando se realizó el árbol genealógico en 2009 contaba con una descendencia de 96 hijos y nietos científicos doctorados en campos tan diversos como Geología del Cuaternario, Paleontología de Vertebrados (Macro y Micro), Paleoantropología, Paleoecología, Paleoclimatología, Geomorfología, Edafología, Biología Evolutiva, Prehistoria, y un extenso etcétera relacionado con las Ciencias del Cuaternario. Hoy en día son más de 150 científicos,



Figura 5. Foto de los asistentes al Homenaje de Emiliano Aguirre en la Fundación Dinópolis de Teruel en noviembre de 2009 donde se concedió el primer “Arquero de Oro” de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA).

Figure 5. Photo of those attending the tribute to Emiliano Aguirre at the Dinópolis Foundation in Teruel in November 2009, where the first “Golden Archer Award” was granted by the Spanish Union for Quaternary (AEQUA).

incluyendo tataranietos, los que han surgido de la raíz que plantó Emiliano desde que sus dos primeras doctorandas (Nieves López y Mayte Alberdi) leyeron sus tesis doctorales en el año 1972, hace tan solo poco más de 50 años. Un amplio resumen del acto homenaje celebrado en Dinópolis puede consultarse en Silva *et al* (2009).

Para concluir con este segundo periodo del tándem Bardají-Roquero (Fig. 6), glosaremos brevemente la figura de Elvira Roquero Gar-

cía-Casal (1963 – 2024), tristemente fallecida a los 61 años, que ejerció como Secretaria de nuestra asociación desde 2001 hasta 2009 y que continuó en diversos cargos hasta que su enfermedad se lo impidió en 2022.

Elvira Roquero García-Casal (Madrid, 1963). Doctora en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, donde defendió su tesis doctoral en 1994 sobre “*Relaciones Geomorfología-Suelos en el Valle del Tajo*” en el sector comprendido entre Aranjuez y

Tabla 2. Composición de la Junta Directiva de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (periodo 2009 – 2011) resultante de la Asamblea celebrada en Faro durante la VII Reunión de Cuaternario Ibérico.

Table 2. Composition of the Executive Board of the Spanish Association for Quaternary Studies for the period 2009 – 2011 resulting from the Assembly held in Faro during the VII Iberian Quaternary Meeting.

Presidente:	Pablo G. Silva Barroso (Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, USAL, Ávila)
Vicepresidente:	Rafael Baena Escudero (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
Secretaría:	Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid)
Tesorería:	Inmaculada Guerrero Amador (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
Vocales:	Javier Baena Preysler (Dpto. Prehistoria, Universidad Autónoma de Madrid, UAM, Madrid)
	Marco de la Rasilla Vives (Dpto. Historia, Universidad de Oviedo, UNIOVI, Oviedo)
	Carlos Ferrer García (Servicio Arqueología, Diputación de Valencia, Valencia)
	Mario López-Recio (Consulting Geoarqueología AUDEMA, Madrid)
	Elvira Roquero García-Casal (Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid, UPM, Madrid)
	Tersa Bardají Azcárate (Dpto. Geología, Universidad de Alcalá, UAH, Madrid)
	----- representativos -----
	Javier Lario Gómez (Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, Madrid, CyG)
	Caridad Zazo Cardeña (Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, INQUA)
	Joaquín Rodríguez Vidal (Dpto. Geología, Universidad de Huelva, UHU, Huelva, GT-GAC)
	Valentí Turú i Michels (Fundación Maurice Chevalier, Andorra). Representante XIII Reunión Nacional de Cuaternario: Andorra 2011.



Figura 6. El tándem Teresa Bardají y Elvira Roquero que dirigió AEQUA durante el periodo 2001-2009, sentadas en el escarpe de falla del terremoto de Kaikoura de 2016 (PATA Days NZ, 2017).

Figure 6 Teresa Bardají and Elvira Roquero, who led AEQUA from 2001 to 2009, sitting on the fault scarp of the 2016 Kaikoura earthquake (PATA Days NZ, 2017).

Toledo, obteniendo un Sobresaliente “Cum Laude”. Con este mismo perfil y los mismos directores, defendió previamente su tesis de grado en 1987. Su vida académica e investigadora transcurrió por completo en el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la ETSI Agrónomos de la UPM, donde obtuvo el puesto de Profesora Titular de Universidad en el año 1998, labor que desempeñó con dedicación hasta su jubilación forzosa por enfermedad en 2022. Socia de AEQUA desde 1991, ha ocupado la **Secretaría Científica** de la Asociación durante ocho años (2001-2009); Vocal adjunta a la Secretaría (2009-2012) y Presidenta del **Grupo de Cuaternario Madrileño (GQM)** entre 2012 y 2016. En la Sociedad Española de Ciencias del Suelo (SECS) fue presidenta de la Sección de Génesis de los Suelos (2018-2024). En INQUA participó activamente en las comisiones y proyectos sobre suelos y paleosuelos dentro de la Comisión de Procesos Terrestres (TERPRO) como, por ejemplo, el **Proyecto Past Soils** (2013-2019) en el que

Elvira figuraba como representante español. También fueron importantes sus contribuciones en el estudio de los suelos en relación con cambios climáticos en el litoral atlántico de la península ibérica (Cádiz, Huelva y SO de Portugal), en cronosecuencias edáficas en terrazas fluviales, donde generó diferentes índices de evolución de suelos (Cuencas del Tajo y Duero; Roquero *et al.*, 2015) y análisis paleosismológicos utilizando los suelos como marcadores de antiguos terremotos fuertes que desplazaron antiguos suelos de la superficie terrestre en la Cordillera Bética (Roquero *et al.*, 2019). Dentro de este último campo, durante los últimos tiempos se encontraba desarrollando una metodología de estudio al microscopio de micro-evidencias de deformación sin-sedimentaria en depósitos arcillo-limosos y arenosos que permitieran detectar terremotos por debajo de un umbral de magnitudes 5.5 -6,0 Mw, de los que ya nos había adelantado algo en años previos (Roquero *et al.*, 2017). Esto es, terremotos muy dañinos pero difíciles de detectar en los estudios de geología de terremotos convencionales. La enfermedad dilató y pausó estas últimas investigaciones, pero no sus resultados, que serán publicados por sus colaboradores en un futuro. Tras su muerte fue nombrada Socia Honorífica de AEQUA en la Asamblea General celebrada durante el II Simposio de Cuaternario Ibérico que tuvo lugar en Ávila el 3 de julio de 2024 (XII Congreso Geológico de España). Falleció en Madrid el 6 de abril de 2024. Un resumen más extenso de las actividades y publicaciones de Elvira Roquero puede consultarse en Silva y Bardají (2024).

3. El Periodo 2010 - 2016: La primera etapa del tándem Pablo G. Silva Barroso (USAL) y Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (IGME) al frente de la asociación

A partir de **2010**, este nuevo tándem masculino sustituye al tándem femenino que había estado al frente de AEQUA durante los diez años anteriores. El primer acto fue acudir al **Registro Nacional de Asociaciones (RNA)** del Ministerio del Interior a formalizar el cambio

de directiva en enero de 2010. Al proceder a tal modificación se advirtió el error que desde su creación en 1985 se encontraba inscrita como “*Asociación Cultural*”, con el número 60180. El error arrastrado durante los primeros 35 años de la asociación quedó subsanado y con el mismo número de registro se inscribió en la Sección de Ciencias como “**Asociación Científica**”. Tras el atareado año 2009, el año 2010 no presentó mucha actividad y la Asamblea General Ordinaria se celebró en el mes de octubre en el Museo Nacional de CC. Naturales. Entre otros puntos tratados, se iniciaron las gestiones para modificar los Estatutos de AEQUA de manera que Presidente y Secretario pudieran optar a dos periodos consecutivos de cuatro años, para así normalizar y estabilizar la gestión de la asociación; se institucionalizó el **premio “Arquero de Oro”** como máximo galardón que otorga AEQUA; y se renovó el comité editorial de la revista CyG. En esa asamblea también se aprobó formalmente la constitución del **Grupo de Trabajo QTECT-AEQUA** constituido durante la primera Reunión Ibérica de Fallas Activas (**iberfault**) celebrada en Sigüenza (Guadalajara) ese mismo mes de octubre. El Presidente y Secretario fundadores del Grupo de Tectónica Cuaternaria fueron Miguel Ángel Rodríguez-Pascua y Raúl Pérez-López, ambos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), creándose el grupo con 24 afiliados, en su mayoría asistentes a esa primera reunión iberfault. En el año 2010 se crea el correo institucional de AEQUA desde el servidor de la Universidad de Salamanca (aequa@usal.es) como canal único para comunicación de los socios que es mantenido y atendido desde sus inicios por la administración de aequa (Begoña Bautista). También se crea en ese año una página de AEQUA en Wikipedia (https://es.wikipedia.org/wiki/Asociación_Española_para_el_Estudio_del_Cuaternario) donde se ofrecen los datos sobre la asociación, su historia y sus actividades, así como información básica sobre el Periodo Cuaternario. En el plano internacional, durante 2010 se organiza el INQUA Workshop “*Decoding the Last Interglacial in Western Mediterranean*” en Cerdeña (Italia)

capitaneado por Teresa Bardají (UAH) y Salvatore Carboni (Univ. Cagliari) que lideraban el INQUA Project 0911-CMP (del mismo nombre) de la Comisión de Procesos Marinos (Cabrero *et al.*, 2010).

El año 2011 alberga la celebración de la **XIII Reunión Nacional de Cuaternario en Andorra la Vella**, bajo la dirección de **Valentí Turú i Michels** y la tutela de la **Fundación Maurice Chevallier**. Era la primera ocasión que una reunión nacional AEQUA se realizaba fuera de territorio español, en el país amigo de los Pirineos. En la organización del evento también participaron el Colegio de Ciencias de la Tierra de Andorra, la Embajada Española y diferentes ayuntamientos de mancomunidades por las que tuvieron lugar las salidas de campo (Fig. 7). El evento reunió a 102 investigadores de España, Andorra, Francia e Inglaterra. Aunque la reunión tuvo diferentes sesiones temáticas sobre las Ciencias del Cuaternario, estuvo esencialmente centrada en el Glaciarismo en la Península Ibérica y Pirineos. De hecho, se celebró un simposio específico sobre *“Glaciarismo pleistoceno en la Península Ibérica”*, coordinado y moderado por David Serrat (UB), José Martí Bono (IPE), Antonio Gómez (UB) y Valentí Turú (FMC). La Reunión se estructuró en jornadas de campo matinales y sesiones científicas por la tarde. Las jornadas de campo nos ofrecieron una interesante visión e información sobre los riesgos geológicos (Deslizamiento de Forn de Canillo; Jordi Corominas y Xavier Planas) y la Geoarqueología (Valle prehistórico de Andorra; Valentí Turú, Michel Martzluff). Se realizó una excursión post-congreso de 3 días en la que se visitaron los afloramientos más emblemáticos del glaciarismo pirenaico, a la que asistieron 22 personas que discutieron sobre la cronología del proceso glaciar en la región a lo largo de un trayecto record cercano a los 1.000 km. El libro de actas del Congreso *“El Cuaternario en España y áreas afines: avances en 2011”* (Turú y Constante Eds., 2021), contiene los resúmenes de todos los trabajos y conferencias presentadas durante el congreso, así como las guías de campo de las excursiones realizadas durante el mismo.



Figura 7. Visita al Deslizamiento de Forn del Canillo, durante la excursión de Campo de la Reunión de Cuaternario de Andorra, junio 2011.

Figure 7. Visit to the Forn del Canillo landslide in the field trip organized during the Andorra Quaternary Meeting, June 2011.

Durante la reunión, también se celebró la Asamblea General anual Ordinaria de AEQUA, en la que se procedió a la **renovación de los Estatutos** de la asociación y a la **elección de nuevos cargos** de la Junta Directiva. Como nuevos cargos entrantes están Francisco Gutiérrez Santolalla (UNIZAR) como Vicepresidente, Ana Moreno Caballud (IPE-CSIC) y Alfonso Benito Calvo (CENIEH) como vocales. Así mismo se incorporan a la nueva Junta Directiva como vocales representativos Teresa Bardají (UAH) como Past-President y Rafael Baena (US) como representante de la siguiente Reunión de Cuaternario Ibérico que se celebraría en La Rinconada (Sevilla) en 2013. Durante el acto de clausura de la Reunión se procedió a la entrega de los dos nuevos premios Arquero de Oro (AEQUA) y María Jesús Ibáñez (AEQUA-SEG). Los galardonados con el **Arquero de Oro** fueron la Dra. Caridad Zazo Cardeña (MNCN- CSIC) y el Dr. Alfredo Pérez-González (UCM-CENIEH) en reconocimiento a su labor de investigación, difusión y promoción de las Ciencias del Cuaternario, tanto

en España como a nivel internacional dentro de la estructura de la International Union for Quaternary Research (INQUA), y muy en especial a su incansable labor dentro de la organización y estructura de AEQUA. El **premio María Jesús Ibáñez** recayó “*ex aequo*” a los doctores Pedro Lucha López (UNIZAR) y Ana Cabero del Río (UNED-CSIC), por sus respectivas tesis doctorales.

A finales del mes de julio de 2011 tuvo lugar el **XVIII INQUA International Congress (Berna, Suiza)**. El evento contó con la asistencia de casi 1.800 investigadores procedentes de diversas partes del globo. La participación española fue nutrida, contando con la presencia de investigadores de las Universidades de Alcalá de Henares, Salamanca, UCM (Madrid), Barcelona y Zaragoza, entre otras, así como de diferentes centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ta-

les como el Instituto Pirenaico de Ecología y el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. El Comité Nacional de INQUA estuvo representado por su entonces Secretaria, Teresa Bardají (UAH), y los vocales Gerardo Benito (CCMA-CSIC), Yolanda Fernández-Jalvo (MNCN—CSIC), Blas Valero Garcés (IPE-CSIC), Lothar Schülte (UB) y P.G. Silva (USAL). Era la primera vez que la Presidenta del Comité (C. Zazo) no asistía a un congreso INQUA desde su primera participación en el celebrado en Moscú en 1982. Debido a problemas familiares de salud ya no volvió a asistir a ningún otro Congreso INQUA, aunque continuó ejerciendo como Presidenta del Comité Español de INQUA hasta 2015. Durante el Congreso de Berna, el Comité Español presentó **la Candidatura de Zaragoza 2015** como sede para el próximo Congreso INQUA, coordinado por **Blas Valero Garcés** (Fig. 8). La presentación de la candidatura a última hora y el aconte-



Figura 8. Exposición de la Candidatura Española Zaragoza-2015 por parte de Blas Valero durante el INQUA International Council celebrado en Berna (Suiza) en 2011.

Figure 8. Presentation of Spain's Bid for Zaragoza 2015 by Blas Valero during the INQUA International Council held in Bern (Switzerland) in 2011.

cimiento del desastroso terremoto-tsunami que asoló Japón en la primavera de 2011, volcaron los votos como próxima sede hacia la candidatura japonesa de Nagoya. Nos quedamos fuera y, también durante el congreso, nos enteramos de que el Gobierno de España había suprimido las **Acciones Complementarias Internacionales "ACI-Comités"** con las que normalmente se cubrían parcialmente gastos de los asistentes del Comité Español, y también que el mismo Gobierno había **suspendido el pago de cuotas a las asociaciones científicas internacionales**. Esto nos dejó fuera de INQUA como socios de pleno derecho y nos trajo no pocos problemas en los años venideros.

Tras el terremoto financiero en el que nos vimos sumidos y el desastre sísmico y nuclear que asoló Japón, hay que recordar que el 11 de Mayo de 2011 tuvo lugar el último terremoto importante ocurrido en España hasta la fecha. Este fue el **Terremoto de Lorca (5,1 Mw)**, ocasionado por la Falla de Lorca-Alhama de Murcia y que generó un despertar en las investigaciones sobre Geología de Terremotos en España, y muy especialmente, entre los miembros de QTECT-AEQUA. A la emergencia acudieron numerosos miembros de este Grupo de Trabajo bajo el paraguas de sus respectivas instituciones (IGME, UCM, UAM, UPM, USAL, UGR y UA, entre otras). Era la primera vez que se elaboraba un informe geológico científico de campo que fue publicado casi inmediatamente por el IGME (2011). Posteriormente aparecerían numerosos trabajos temáticos como el publicado en el Bol. Geol. Minero, coordinado por Miguel A. Rodríguez-Pascua, Raúl Pérez-López (IGME) responsables ambos del Grupo de trabajo QTECT-AEQUA y Concha Cirujano del Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE) (Rodríguez-Pascua *et al.*, 2012).

El año 2011 termina con un bonito regalo navideño cuaternarista. En el mes de diciembre fue puesta en marcha de la nueva página web de AEQUA (<http://www.aequa.es/>), diseñada y creada por Pablo G. Silva y Óscar Pérez Peña, actual Tesorero de AEQUA, desde la Escuela

Politécnica Superior de Ávila de la Universidad de Salamanca. La nueva web sustituyó a la anterior página web ofreciendo contenidos e información sobre la asociación, líneas de investigación, congresos, publicaciones, grupos de trabajo, premios y ayudas, el Periodo Cuaternario y enlaces de interés con otras asociaciones. La página principal (Fig. 9) posee enlaces directos a la Revista Cuaternario y Geomorfología, tanto a la página web de la revista implementada en 2007, como posteriormente a la plataforma editorial en RECYT, (<https://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/>), donde puede accederse al repositorio completo de los artículos publicados en CyG desde 1987. También tiene enlaces a los grupos de trabajo, próximos eventos y congresos y a la página web de INQUA y diferentes comisiones y/o proyectos en los que se encuentran involucrados investigadores de AEQUA. La barra de la derecha está dedicada a noticias en las que se incluyen y actualizan noticias e información de interés para los socios. Desde su creación la página web de la asociación es mantenida y actualizada por **Óscar Pérez Peña** (USAL), Ingeniero Técnico de Minas y Tesorero actual de AEQUA.

Durante el **año 2012** tienen lugar tres hechos destacables: (1) La revista Cuaternario y Geomorfología logra el Sello de Calidad de la FECYT; (2) se celebra el 25 aniversario de AEQUA en el CENIEH (Burgos); y (3) tiene lugar el 3rd International Workshop on Paleoseismology en México (Morelia) promovido por los responsables del QTECT-AEQUA. El **Sello de Calidad de la FECYT** tramitado por los editores principales Javier Lario (AEQUA) y Javier Gracia (SEG) permite a la **Revista CyG** entrar en el Repositorio Español de Ciencia y Tecnología de la RECYT. A partir de entonces la revista se gestiona y publica digitalmente con el sistema **"Open Journal System"** (OJS) de la **plataforma de la RECYT** y comienza a aparecer en diferentes índices de citación nacionales e internacionales. Hay que destacar que fue la primera revista científica española de Geología que obtuvo tal sello de calidad y entró a gestionarse electrónicamente. La incorporación a la RECYT conllevó la digitalización completa de todos los volú-

Asociación Española para el Estudio del

Cuaternario

AEQUA . The Spanish Quaternary Research Association

AEQUA INVESTIGACIÓN CONGRESOS PUBLICACIONES GRUPOS DE TRABAJO PREMIOS Y AYUDAS CUATERNARIO ENLACES INQUA

Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. AEQUA

Noticias



AEQUA es una asociación científica multidisciplinar que integra geólogos, geomorfólogos, paleontólogos, arqueólogos, antropólogos, geógrafos, edafólogos y biólogos interesados en la evolución climática, paleogeográfica, tectónica, faunística y humana del territorio español durante el Periodo Cuaternario (2,558 últimos M.a.).



Si desea enviar alguna sugerencia contacte con aequa@usal.es

NUEVO. Noviembre 2025: Primera Circular del XVI Reunión Nacional de Cuaternario que se celebrará en HUÉSCAR (GRANADA), 6-9 julio de 2026.
[Descargar AQUÍ.](#)

NUEVO. Octubre 2025: Publicada la web de la XVI Reunión Nacional de Cuaternario, HUÉSCAR (GRANADA), 6-9 julio de 2026.
[Acceder AQUÍ](#)

Mayo 2025: Primera Circular del XVI Reunión Nacional de Cuaternario que se celebrará en HUÉSCAR (GRANADA), 6-9 julio de 2026.
[Descargar AQUÍ.](#)

Mayo 2025: Publicada la web de todos los investigadores premiados con el Premio María Jesús Ibañez
[Más información AQUÍ](#)

[Ver todas las Noticias](#)

Rev. Cuaternario y Geomorfología



La Revista Cuaternario y Geomorfología se edita conjuntamente con la Sociedad Española de Geomorfología y es la publicación oficial de ambas asociaciones.

Se encuentra disponible On-line con acceso libre a todos los artículos publicados desde 1987.

- [Página web de la Revista](#)
- [Acceso al último número disponible](#)
- [Cuaternario y Geomorfología en RECYT](#)
- [Página web de la SEG](#)

AEQUA en la International Union for Quaternary Research (INQUA)



AEQUA es miembro de INQUA desde el año 1980. Existe un Comité Nacional del Cuaternario ligado al Ministerio de Ciencia e Innovación dependiente de la ICSU.

- [INQUA web site](#)
- [Commission on Terrestrial Processes, Deposits and History \(TERPRO\)](#)
- [Focus Area on Paleoseismology and Active Tectonics](#)
- [Focus Area on Paleohydrological Change and Fluvial Archives](#)

Grupos de Trabajo



AEQUA mantiene y promueve diferentes grupos de trabajo regionales y temáticos sobre el Periodo Cuaternario en España. En la actualidad se encuentran vigentes los siguientes grupos:

- Grupo Andaluz de Cuaternario (GAC)
- Grupo Valenciano de Cuaternario (GVC)
- Grupo de Cuaternario Madrileño (GQM)
- Grupo de Tectónica Activa, Paleosismología y Arqueosismología (QTECT)

Próximos Eventos

- [Página web de la XVI Reunión Nacional de Cuaternario, HUÉSCAR \(GRANADA\), 6-9 julio de 2026.](#)
[Acceder AQUÍ.](#)
- [Segunda Circular del XVI Reunión Nacional de Cuaternario, HUÉSCAR \(GRANADA\), 6-9 julio de 2026.](#)
[Descargar AQUÍ.](#)

Figura 9. Página principal de la web de AEQUA (<http://www.aequa.es/>), en funcionamiento desde diciembre de 2011 alojada en el portal institucional de la red académica y de investigación española (redIRIS).

Figure 9. AEQUA website (<http://www.aequa.es/>), working since December 2011, hosted on the institutional portal of the Spanish academic and research network (redIRIS).

menes de Cuaternario y Geomorfología publicados desde el año 1986, labor que se financió juntamente con la sociedad co-editora SEG. Hay que indicar que los volúmenes ya habían sido digitalizados (por una empresa de Málaga) entre 2006 y 2007 número a número bajo la supervisión de los entonces editores principales Gerardo Benito y Pablo G. Silva, pero la inclusión en la RECYT requería que todos los volúmenes fueran desgajados en archivos pdf individuales artículo a artículo. Esta labor la llevó a cabo **Begoña Bautista**, que posteriormente (a partir de 2016) ejercería las labores de **editorial manager** de la revista **CyG** en la plataforma de la RECYT.

En mayo de 2012 se celebra el **25 aniversario de AEQUA** (1985) y el 40 aniversario de Estudios de Cuaternario en España desde la Creación del Grupo de Trabajo Español de Cuaternario (GTEQ) en 1972. El evento se celebró en Burgos en las instalaciones del **Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana** y asistieron 37 personas entre miembros de la asociación y familiares. El evento estuvo coordinado por Pablo G. Silva y Miguel Ángel Rodríguez-Pascua por parte de AEQUA y Alfredo Pérez-González y Alfonso Benito por parte del CENIEH. El evento comenzó con una “*Visita Guiada Premium*” a los **Yacimientos de Atapuerca**, de la trinchera del Ferrocarril, donde Alfonso Benito, Ana Gracia y Alfredo Pérez González nos ofrecieron numerosas explicaciones *in situ* pudiendo acceder a las diferentes zonas de excavación. Posteriormente, se ofreció una comida en Ibeas de Juarros y por la tarde una visita guiada al Museo de la Evolución Humana. Tras la visita, se ofreció una interesante conferencia sobre la historia de los estudios de Cuaternario en España a cargo de Alfredo Pérez-González, que fue miembro (Secretario) de la primera Junta Directiva del Grupo Español de Trabajo de Cuaternario en 1972 y primer Presidente de AEQUA en 1986. Tras la conferencia, se celebró la Asamblea General Ordinaria de AEQUA, donde se informó a los asistentes de la incorporación de CyG a la RECYT. Al día siguiente, en el viaje de vuelta, se hizo una visita a los **yacimientos neandertales del Clavero**

de la Higuera en Pinilla del Valle, disfrutando de las explicaciones de Enrique Baquedano y Alfredo Pérez-González. En la Asamblea General celebrada en Burgos se produce la dimisión de Javier Lario (UNED) como editor de la revista CyG por motivos personales, y entra a sustituirle interinamente Pedro Huerta, por entonces docente del Área de Geodinámica Externa en la USAL. En noviembre de 2012 tiene lugar la celebración del **3^{er} International Workshop** de la serie **PATA Days** en Morelia (México). El evento lo organizó La Universidad Michoacana de Morelia bajo la dirección de nuestro compañero Víctor-Hugo Garduño Monroy, lamentablemente fallecido en 2022. No obstante, la organización científica y técnica fue en gran medida asumida desde el QTECT-AEQUA, donde diferentes miembros formaban parte de los comités científico y de organización del workshop. Así es, junto a Víctor Hugo, Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (IGME), Raúl Pérez-López (IGME), Jorge Giner Robles (UAM) y Pablo G. Silva (USAL) asumieron distintas labores de organización del evento y salidas de campo asociadas.

En el **año 2013** se celebra la **VIII Reunión De Cuaternario ibérico en Sevilla**, a caballo entre la Facultad de Geografía de la Universidad de Sevilla y el Centro Cultural de La Rinconada, entre el 3 y el 6 de octubre. El evento estuvo organizado por Rafael Baena Escudero (US), José Juan Fernández Caro (Dip. Sevilla) e Inmaculada Guerrero Amador (US) y contó con la asistencia de alrededor de 100 investigadores de diferentes nacionalidades (españoles, portugueses, alemanes y franceses) y un total de 70 contribuciones que quedaron recogidas en el libro de resúmenes del Congreso, titulado “**El Cuaternario Ibérico: Investigación en el Siglo XXI**” (Fig. 10; Baena *et al.*, 2013). La reunión estuvo estructurada en dos jornadas de comunicaciones (Sevilla y La Rinconada) y dos salidas de campo de un día: la primera dedicada al análisis de los sistemas de terraza en el sector comprendido entre Carmona y Sevilla, y la segunda a la arqueosismología del yacimiento romano de *Baelo Claudia* en el litoral de Cádiz. La conferencia inaugural estuvo a cargo del prehistoriador francés Alain



Figura 10. Portada del libro de abstracts de la VIII Reunión de Cuaternario Ibérico (2013) mostrando el cráneo y colmillos de Hipopótamo recuperado de las terrazas del Guadalquivir.

Figure 10. Cover of the abstract book of the 8th Iberian Quaternary Meeting (2013) showing the skull and tusks of a hippopotamus recovered from the terraces of the Guadalquivir River.

Tuffreau (Univ. Lille-1) impartida en el Paraninfo de la Universidad de Sevilla con el título “*El Hombre y su industria en el Cuaternario europeo*”. La conferencia de clausura se llevó a cabo en el Centro Cultural de La Rinconada a cargo del profesor alemán Dominique Faust (Univ. Dresden) con la temática de “*El Holoceno en el sur de Europa y norte de África*”. Durante la reunión se pudo visitar libremente Museo de Paleontología y Arqueología de La Rinconada que, dirigido por José Juan Fernández Caro, posee una importante colección de industria lítica y restos de vertebrados fósiles del Valle del Guadalquivir. Al finalizar la reunión tuvo lugar la concesión del cuarto **Arquero de Oro AEQUA** al Profesor **D. Enrique Vallespí Pérez** que fue recogido por su hijo.

También tuvieron lugar las elecciones a representantes de la Junta Directiva, en las que salieron reelegidos de acuerdo con los nuevos Estatutos P.G. Silva (Presidente) y Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (Secretario) y se incorporaron como vocales Alejandro Cearreta (UPV-EHU), Penélope González Sampériz (IPE-CSIC) y Pilar Carmona (UV). Teresa Bardají entra a formar parte como nueva Presidenta del Comité Español de INQUA en sustitución de Cari Zazo y Pedro Huerta toma el relevo en la revista CyG tras la dimisión de Javier Lario por motivos personales (Tabla 3).

En el **año 2014** tuvo lugar la celebración de la **2ª Reunión Ibérica de Fallas activas** (IBERFAULT II) en la ciudad de Lorca durante el mes de octubre. Esta ciudad había sufrido recientemente (Mayo de 2011) un terremoto 5,1Mw que generó gran cantidad de daños estructurales y ambientales, que fueron detalladamente analizados desde la vertiente de la arqueosismología y de la paleosismología por miembros del QTECT-AEQUA (Alfaro *et al.*, 2011; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2013). De esta forma este grupo de trabajo de AEQUA queda encargado de la organización de una de las salidas intra-congreso y de la Reunión post-congreso. Esta última fue coordinada por P.G. Silva (USAL), T. Bardají (UAH), M.A. Rodríguez-Pascua (IGME) y E. Roquero (UPM) y, con una duración de tres días, se visitaron diversos afloramientos a lo largo de las fallas de Lorca-Alhama de Murcia y Palomares, y deformaciones cuaternarias en el ámbito de los depósitos litorales de Cabo Cope (Fig. 11). También se visitaron efectos del reciente terremoto del 2011 en la Torre del Castillo de Lorca (Parador Nacional), así como efectos de terremotos históricos de 1518 en la localidad de Vera (Cerro del Espíritu Santo) y de 1864 en Huércal-Overa (Antigua Overa y Valle del Almanzora). Aprovechando esta ocasión, por iniciativa de Miguel Ángel Rodríguez-Pascua, AEQUA lanzó la colección de **Cuadernos de Campo de Cuaternario (C³)**, cuyo primer número recogía precisamente, la guía de campo de la excursión post-congreso de iberfault 2 (Fig. 11; Silva *et al.*, 2014).

Tabla 3. Composición de la Junta Directiva de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (Periodo 2013-2015) resultante de la Asamblea General celebrada en el Museo de la Rinconada (Sevilla) durante VIII Reunión de Cuaternario Ibérico.

Table 3. Composition of the Executive Board of the Spanish Association for Quaternary Studies for the period 2013-2015 resulting from the General Assembly held at the Museo de la Rinconada (Seville) during the 8th Iberian Quaternary Meeting.

Presidente:	Pablo G. Silva Barroso (Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, USAL, Ávila)
Vicepresidente:	Francisco Gutiérrez Santoalla (Dpto. CC. de la Tierra, Universidad de Zaragoza, UNIZAR, Zaragoza)
Secretaria:	Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid)
Tesorería:	Inmaculada Guerrero Amador (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
Vocales:	Javier Baena Preysler (Dpto. Prehistoria, Universidad Autónoma de Madrid, UAM, Madrid)
	Ana Moreno Caballud (Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Zaragoza)
	Alejandro Cearreta Bilbao (Dpto. Geología, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Bilbao)
	Pilar Carmona (Dpto. Geografía, Universidad de Valencia (UV), Valencia)
	Penélope González Sampériz (Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Zaragoza)
	----- represent -----
	Teresa Bardají Azcárate (Dpto. Geología, Universidad de Alcalá, UAH, Madrid, INQUA)
	Joaquín Rodríguez Vidal (Dpto. Geología, Universidad de Huelva, UHU, Huelva, GT-GAC)
	Pedro Huerta (Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, Burgos, CyG)
	José Miguel Azañón (Dpto. Geología, Universidad de Granada, UGR, Granada, Representante. Próxima Reunión)

Durante esta reunión tuvo lugar la presentación de la 1ª Edición del **“Catálogo de Efectos Geológicos de los Terremotos en España”**, obra editada por IGME-AEQUA, e incluida en la Serie de Riesgos Geológicos/Geotecnia del Instituto Geológico y Minero de España (Silva y Rodríguez-Pascua, 2014). Esta serie incluye el análisis de los 45 terremotos más importantes sufridos en España desde la antigüedad, incluyendo 4 terremotos antiguos (< 1000 AD, 31 históricos (1000-1900 AD) y 13 instrumentales (>1900 AD). La obra supone la implementación de la escala Macrosísmica de los efectos ambientales (geológicos) de los terremotos ESI-07 elaborada desde el antiguo Grupo de Trabajo de Paleosismología de la INQUA TERPRO Commission (Michetti *et al.*, 2007). Provee de una evaluación macrosísmica diferente, pero comple-

mentaria, a la EMS-98 vertida en los catálogos sísmicos convencionales editados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Supone la primera vez que se aplica un estudio detallado y estructurado de los efectos geológicos de los terremotos, elaborando una ficha individual para cada uno de los efectos en los que se aportan datos gráficos, históricos o arqueológicos (cuando fue preciso) para la asignación de intensidades. En esta primera edición se elaboraron cerca de 250 fichas sobre efectos geológicos individuales para cada terremoto, se realizaron mapas de intensidades híbridos ESI07/EMS98 para cada terremoto y se produjeron escenarios sísmicos (*ShakeMaps*) en términos de aceleraciones del terreno y sus respectivas fuentes sísmicas para los eventos analizados, siguiendo la metodología del *USGS ShakeMap Program*

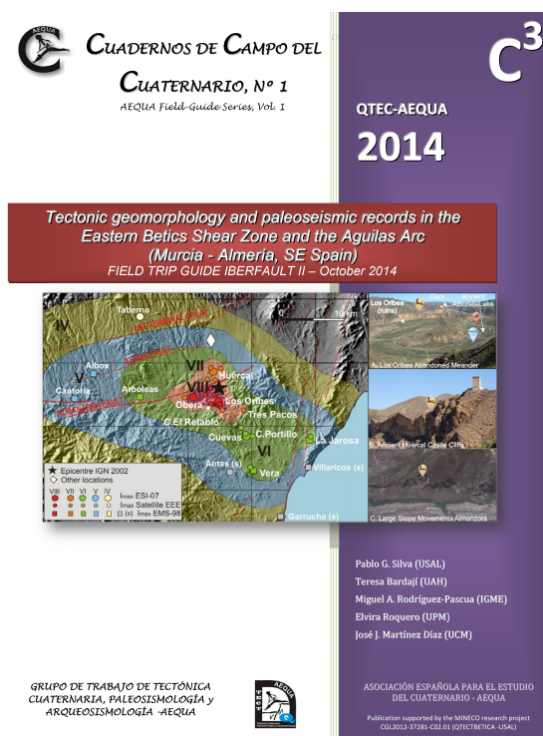


Figura 11. Portada del primer volumen de la publicación Cuadernos de Campo de Cuaternario (C3) que recoge las salidas de campo realizadas durante IBERFAULT II (2014).

Figure 11. Cover of the first published volume of Cuadernos de Campo de Cuaternario (C3), which collects the guides of the field trips carried out during IBERFAULT.

adaptada a las particularidades geológicas, topográficas e umbrales sísmicos en nuestro territorio, publicada posteriormente por Silva *et al.* (2017).

En el **año 2015** tiene lugar la celebración de la **XIV Reunión Nacional de Cuaternario en Granada**, en el mes de julio, bajo la dirección de José Miguel Azañón y su grupo de trabajo de “Análisis del Relieve y Procesos Activos” de la UGR. En la organización también participaron otras administraciones como el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra del CSIC, la Oficina del Instituto Geológico y Minero (IGME) de Granada y la Consejería de Educación y Cultura de la Junta de Andalucía (Patronato de la Alhambra y Generalife). En el congreso participaron a aproximadamente 70 personas, presentándose un total de 67 contribu-

ciones científicas repartidas entre las ocho sesiones y dos simposios que tuvieron lugar, las cuales quedan recogidas en las actas del congreso (Galve *et al.*, 2015). Dentro de las sesiones hubo especial participación en la de “Tectónica Cuaternaria y Paleosismicidad”, coordinada por José Miguel Azañón (UGR) y en la dedicada a la huella geológica de los “Peligros Naturales” coordinada por Rosa María Mateos (IGME). Durante los cuatro días de duración del congreso hubo dos excursiones cortas (Sierra Nevada y La Alhambra) y una excursión post-congreso a la Cuenca de Guadix (Fig. 12). Las guías de campo de las excursiones quedaron recogidas en el Vol. 2 de Cuadernos de Campo de Cuaternario (Azañón *et al.*, 2015). El evento tuvo una magnífica sede en el Palacio de la Madraza, sede de la universidad árabe del antiguo Reino Nazarí de Granada y rectorado de la actual Universidad. Además, estuvo acompañado con una visita nocturna guiada a la Alhambra y la cena del congreso, celebrada en el corazón flamenco del Albaicín, que nos permitieron disfrutar de unas esplendorosas vistas de la ciudad y deleitarnos con todo su arte y ambiente. El Acto de Apertura estuvo presidido por la Rectora de la Universidad de Granada Dña. Pilar Aranda y el entonces Director del Instituto Geológico y Minero, D. Jorge Civis Llovera. Entre las conferencias invitadas hay que destacar la inaugural impartida por la Profesora Marta de la Seta (Università de La Sapienza, Roma) sobre “Climatic vs. Tectonic signatures In Quaternary alluvial terraces: Potentials of morphometric tools”. Durante la Asamblea General anual que siguió al congreso tuvo lugar la renovación de cargos de la Junta Directiva saliendo elegidos D. Blas Valero (IPE, CSIC) como nuevo Vicepresidente, D. Antonio Martínez-Graña (USAL) como nuevo Tesorero y Penélope González Sampériz (IPE, CSIC) e Inmaculada Guerrero (US) como nuevos vocales (Tabla 4). En esta asamblea también se decidió que la próxima Reunión de Cuaternario Ibérico se celebraría nuevamente en Faro (2017) y la XV Reunión de Cuaternario tendría lugar en Bilbao (Universidad del País Vasco), organizada por Alejandro Cearreta (UPV/EHU).



Figura 12. Asistentes a una de las salidas inter-congreso de la XIV Reunión Nacional de Cuaternario en Granada (2015).

Figure 12. Participants in one of the inter-conference field trips of the 14th National Quaternary Meeting held in Granada (2015).

Tabla 4. Composición de la Junta Directiva de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (2015 – 2017) resultante de la Asamblea General celebrada en EL Palacio de La Madraza (Granada) durante XIV Reunión Nacional de Cuaternario

Table 4. Composition of the Executive Board of the Spanish Association for Quaternary Studies for the period 2015–2017 resulting from the General Assembly held at the La Madraza Palace (Granada) during the 14th National Quaternary Meeting.

Presidente:	Pablo G. Silva Barroso (Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, USAL, Ávila)
Vicepresidente:	Blas Valero Garcés (Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC Zaragoza)
Secretaria:	Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid)
Tesorería:	Antonio Martínez Graña (Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, USAL, Salamanca)
Vocales:	Javier Baena Preysler (Dpto. Prehistoria, Universidad Autónoma de Madrid, UAM, Madrid)
	Inmaculada Guerrero Amador (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
	Alejandro Cearreta Bilbao (Dpto. Geología, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Bilbao)
	Pilar Carmona (Dpto. Geografía, Universidad de Valencia (UV), Valencia)
	Penelope González Sampériz (Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Zaragoza)
	----- representativos -----
	Teresa Bardají Azcárate (Dpto. Geología, Universidad de Alcalá, UAH, Madrid, INQUA)
	Cesar Borja Barrera (Dpto. Geografía Física, Universidad de Sevilla, US, Sevilla)
	Pedro Huerta (Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, Burgos, GyG)
	Alejandro Cearreta Bilbao (Dpto. Geología, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Bilbao), Representante. Próxima reunión.

Previamente, en agosto de 2015, tuvo lugar el **XX INQUA International Congress en Nagoya (Japón)**, al que asiste una nutrida representación española (Fig. 13)., dado que por segunda vez se presentaría la candidatura de Zaragoza para la celebración del próximo congreso INQUA en 2019. Con tal motivo AEQUA había estado pagando las cuotas reducidas INQUA desde el año 2011 para mantener su representatividad y derecho a voto. En esta ocasión los ponentes del IPE-CSIC encabezados por Blas Valero, Ana Moreno, y Penélope González Sampériz (IPE-CSIC) y la presidenta del Comité Español de INQUA Teresa Bardají (UAH), organizaron un stand donde se repartía información de la sede española y se mantuvieron diferentes reuniones con los responsables de los comités de otros países. Tras la Reunión del International Council de INQUA, la candidatura española quedó desestimada, saliendo elegida por mayoría abrumadora la Candidatura de Dublín (Irlanda), donde tuvo lugar efectivamente el Congreso en agosto de

2019. Tras este segundo traspies el Comité Español de INQUA no vuelve a presentar candidatura y AEQUA deja de pagar la cuota INQUA, quedando España como miembro asociado sin derecho a voto. A pesar de las distintas negociaciones con el Ministerio de Ciencia (o sus distintas denominaciones) la cuota internacional de INQUA, como la de otras sociedades científicas en la misma situación ha quedado impagada Gobierno tras Gobierno desde 2012. Esta situación se mantiene hasta abril de 2025, cuando el Comité Español busca soluciones para pagar una cuota mínima, la cual es abonada de manera altruista por el “*Grupo de Investigación de Paleoambientes Cuaternarios*” del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), gestionando el asunto Ana Moreno Caballud.

Durante el **año 2016** tiene lugar el **IX Congreso Geológico de España** en Huelva, dentro de este se celebra un **Simposio sobre Geoarqueología** patrocinado por AEQUA y organizado por *Joaquín Rodríguez Vidal* (UHU) al que también iba asociada una salida de campo por el entorno de las marismas del Tinto y Odiel y la Flecha del Rompido. Tanto el simposio como la excursión tuvieron especial éxito y desde la organización de AEQUA nos percatamos de que la inclusión de un simposio en el Congreso Nacional de Geología proporcionaba una importante visibilidad de los estudios sobre Cuaternario ante el resto de la comunidad geológica. Sin entonces saberlo, este simposio sería el germen del que posteriormente surgieron los actuales **Simposios de Cuaternario Ibérico** que se celebran dentro del marco de los Congresos Geológicos de España en sustitución de las antiguas Reuniones de Cuaternario Ibérico (REQUI), que se celebraban con nuestros colegas portugueses. Durante el congreso de Huelva se celebró la Asamblea General Ordinaria de AEQUA, de la que únicamente cabe destacar la incorporación de *Javier Elez* (USAL) al equipo de la revista Cuaternario y Geomorfología como editor adjunto, así como el comienzo del debate sobre el futuro de las reuniones hispano-portuguesas REQUI y su posible sustitución por reuniones nacionales conjuntas



Figura 13. Parte de la representación española en el Congreso INQUA de Nagoya (Japón, 2015), en una excursión realizada al Monte Fujiyama. De izquierda a derecha: Rosa Mediavilla, Santi Santiesteban, Pablo G. Silva, Teresa Bardají, Javier Pedraza, Miguel Ángel Rodríguez-Pascua, Rosa Carrasco, Javier Lario.

Figure 13. Part of the Spanish delegation at the INQUA Congress in Nagoya (Japan, 2015), during a fieldtrip to Mount Fuji. From left to right: Rosa Mediavilla, Santi Santiesteban, Pablo G. Silva, Teresa Bardají, Javier Pedraza, Miguel Ángel Rodríguez-Pascua, Rosa Carrasco, Javier Lario.

SEG-AEQUA con la Sociedad Española de Geomorfología, o simposios de Cuaternario en los Congresos geológicos nacionales organizados por la Sociedad Geológica de España (SGE). Por lo demás cabe destacar que, durante el 2016, la reunión de campo del QTECT en las Cordilleras Béticas orientales da lugar a la publicación del tercer volumen de Cuadernos de Campo de Cuaternario (C³), con el título “*Quaternary Tectonics in the Huércal-Overa and Eastern Basins of Almería (Eastern Betic Cordillera, SE España)*” (Pedrera y Martín Lechado, 2016). Para acabar el año, la revista Cuaternario y Geomorfología en su número de diciembre (39; 3-4) incluye un interesante artículo de síntesis sobre la paleontología y paleoantropología de la población neandertal de la Cueva del Sidrón elaborado por Antonio Rosas y un amplio equipo de investigación (Rosas *et al.*, 2016).

El **año 2017** alberga la celebración de la **IX Reunión de Cuaternario Ibérico** en la Universidad del Algarve, Faro (Portugal). La reunión se organizó a última hora y de nuevo en la misma localidad de la anterior reunión celebrada en Portugal en 2009, organizada con mucha voluntad y trabajo de nuevo por Tomás Boszky y Delminda Moura. Debido a esta premura organizativa, la asistencia a la reunión fue baja, no sobre pasando los 50 participantes, y especialmente de la parte española de la que solo acudieron 10 personas. Se presentaron 30 comunicaciones orales y 15 posters y 3 conferencias invitadas, de las que podemos resaltar la conferencia inaugural impartida por el *Dr. Joao Zilhao* sobre “*la transición entre el Paleolítico medio y superior en la parte SO de la Península Ibérica*”. Toda esta decadencia y la disgregación por la jubilación progresiva de muchos de los miembros del Grupo Portugués de Trabajo del Cuaternario (GTPEQ), determinó que esta reunión conjunta fuera efectivamente la última en celebrarse. Durante la reunión se celebró la Asamblea anual Ordinaria de AEQUA (muy disminuida en asistencia) donde tuvo lugar la elección de Presidente, Secretario y tres nuevos vocales. En virtud de los nuevos Estatutos de AEQUA aprobados en

Andorra 2011, tanto Presidente como Secretario quedaban habilitados para un nuevo periodo de cuatro años, por lo que *Pablo G. Silva* y *Miguel A. Rodríguez-Pascua* repitieron en el cargo para el nuevo periodo 2017-2020. Como nuevos vocales fueron elegidos *Montserrat Jiménez* (UNIOVI), *Concepción Torres* (UAM) y *Carlos Ferrer* (DIVAL), quedando la composición de la Junta Directiva prácticamente igual que la del periodo anterior (Tabla 4) con la salvedad de estos tres nuevos vocales. En la Asamblea también se procedió a la proclamación de los ganadores del Premio María Jesús Ibáñez (SEG-AEQUA). No tuvo lugar la entrega ya que ninguno de los agraciados acudió al evento. Con tal motivo se abrió un debate para modificar los Reglamentos del Premio, que posteriormente se debatirían con la SEG, y que finalmente se modificarían tras el largo paréntesis que impuso la pandemia de la COVID-19 en el año 2022.

El año 2017 termina con la publicación de un artículo de síntesis coral sobre el Periodo Cuaternario en castellano (español) en el número 31 (3-4) de la **Revista Cuaternario y Geomorfología**. El artículo titulado “**El Periodo Cuaternario: Historia Geológica de la Prehistoria**” abarca la Estratigrafía, Geomorfología, Paleontología y Geología en general del Cuaternario, con especial referencia a casos y yacimientos de la Península Ibérica (Silva *et al.*, 2017a). El artículo, que nace de la necesidad de tener un pequeño manual en castellano del Periodo Cuaternario, va firmado por un equipo multidisciplinar formado por *Teresa Bardají* (UAH) Niveles marinos y Estratigrafía del Cuaternario; *Elvira Roquero* (UPM) Geomorfología, Edafología y paleosuelos; *Javier Baena Preysler* (UAM) Prehistoria y yacimientos paleolíticos; *Alejandro Cearreta* (UPV-EHU) Antropoceno; *Antonio Rosas* (MNCN-CSIC) Paleoantropología, Paleontología humana; *Miguel Ángel Rodríguez-Pascua* (IGME) paleo y arqueo-sismología; *José Luis Goy* (USAL) y *Caridad Zazo* (MNCN-CSIC) Cartografía geológica y geomorfológica del Cuaternario, coordinados por *Pablo G. Silva* (USAL) que se encarga de aspectos de Geo-

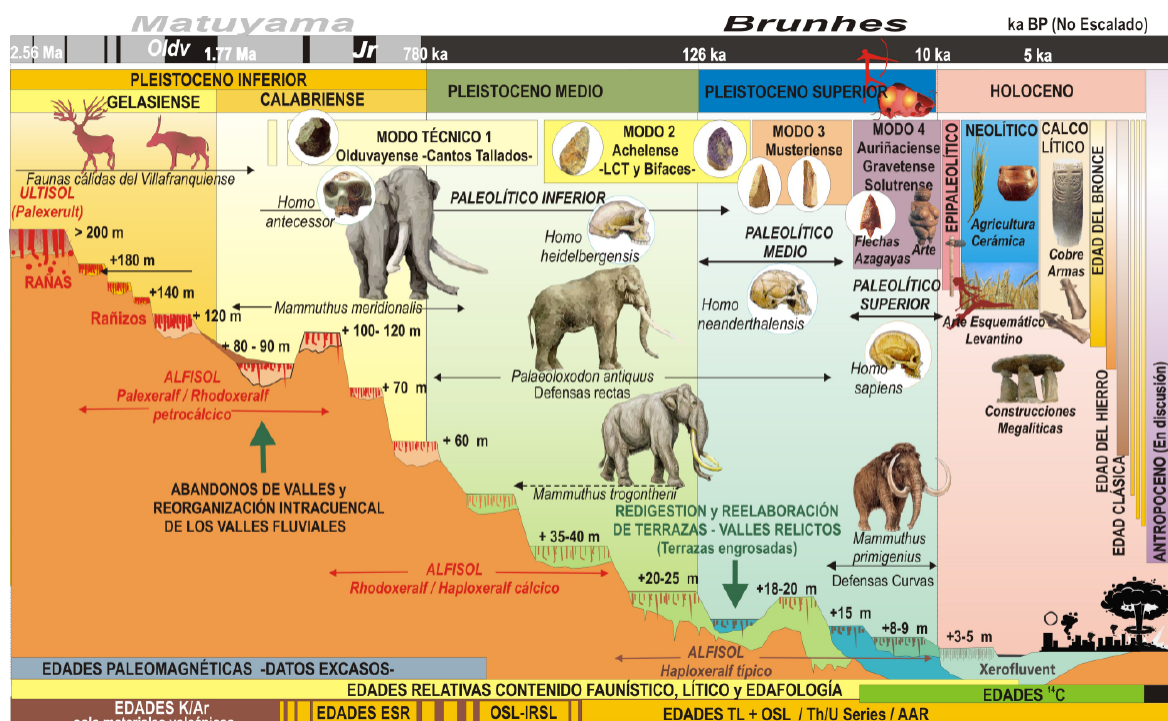


Figura 14. Síntesis del registro geológico, geomorfológico, edafológico, faunístico, lítico y paleoantropológico del Periodo Cuaternario en los valles del centro de la Península Ibérica. En la zona superior se muestran la escala paleomagnética y los periodos prehistóricos convencionales. En la parte inferior se muestra el rango de los métodos de datación más comunes utilizados (K/Ar; Th/U ESR; OSL; TL y C^{14}) para establecer las cronologías durante el Periodo Cuaternario.

Figure 14. Chart summarizing the geological, geomorphological, pedological, faunal, prehistorical (lithics) and palaeoanthropological records of the Quaternary Period within the main river valleys at Central Spain. The upper zone of the chart displays the paleomagnetic scale and the conventional prehistorical periods. The lower zone of the chart illustrates the usual temporal ranges of the most common dating methods (K/Ar; Th/U ESR; OSL; TL; C^{14}) used for the establishment of Quaternary geochronology.

morfología tectónica, tectónica cuaternaria y de sintetizar la historia geológica de la Península Ibérica durante el Cuaternario. El artículo ha tenido una espectacular acogida entre la comunidad hispanohablante y desde que se publicó en la plataforma **ResearchGate** tiene cerca de **22.000 visitas**, siendo unas 12.000 de ellas descargas o accesos full-view. Nos consta que algunos de sus contenidos son ampliamente utilizados con fines docentes o académicos, como es el cuadro que se reproduce en la Figura 14. Para terminar con este primer periodo del tándem Silva-Rodríguez Pascua, glosaremos la figura de su Presidente que se mantuvo al mando de la Asociación durante un largo periodo de 11 años, hasta el año 2021. Los cambios de Estatutos y la pandemia de la COVID-19 alargaron su mandato.

Pablo G. Silva Barroso (Madrid, 1962) es doctor en CC. Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, donde se licenció en 1988 en la especialidad de "Geología Dinámica y Estructural" con la tesina "*El Cuaternario del Sector Centro-Meridional de la Cuenca de Madrid*" dirigida por José Luis Goy y Caridad Zazo (UCM), que obtuvo la calificación de sobresaliente y la Mención de Grado. En 1989 consigue una beca de investigación FPI (MEC) en el Departamento de Geodinámica de la UCM y posteriormente obtiene un contrato de Profesor Ayudante en el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca (USAL) en 1992. En 1994 defiende su tesis en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) sobre "*Evolución Geodinámica de la Depresión del Guadalentín desde el Mioceno*

superior hasta la actualidad: Neotectónica y Geomorfología” codirigida por los mismos directores (J.L. Goy y C. Zazo). La tesis fue galardonada con el premio extraordinario de doctorado de la UCM y, posteriormente, con el Premio María Jesús Ibáñez (SEG-AEQUA) en su tercera edición al mejor trabajo de investigación sobre Cuaternario y Geomorfología en España durante el periodo 1994-1996. Durante el periodo pre y post-doctoral realiza varias estancias en el Departamento de Geografía de la Universidad de Liverpool (UK), bajo la supervisión del Prof. Adrian Harvey. Tras su breve paso por la Facultad de Ciencias de Salamanca, en 1995 obtiene la plaza de Profesor Titular de Universidad en la Escuela Politécnica Superior de Ávila (USAL), donde ha transcurrido en su mayor parte su labor académica e investigadora con docencia en Geomorfología, Geofísica y Geología General en diferentes Grados de Ingeniería en Topografía y Geomática, Ingeniería de Minas, Ingeniería Civil e Ingeniería Superior en Geodesia, donde impartió asignaturas ad-hoc tales como “Dinámica Terrestre y Sismicidad” o “Análisis Geomático del Relieve”. Desde 2013 también imparte asignaturas de Geomorfología y Riesgos Geológicos en los Grados de Geología e



Figura 15. Pablo G. Silva, Presidente de AEQUA durante el periodo 2010 -2021. Foto de 2006 sobre la zona de ruptura de la Falla de San Andrés (Earthquake Trail) en el centenario del Terremoto de San Francisco de 1906.

Figure 15. Pablo G. Silva, President of AEQUA 2010 -2021. Photo taken in 2006 on the San Andreas Fault rupture zone (Earthquake Trail) in the centenary of the 1906 San Francisco Earthquake.

Ingeniería Geológica, así como la asignatura de “Cuaternario y Geomorfología Tectónica” que se imparte en el Máster de Ciencias de La Tierra de la USAL. En el año 2018 promociona a Catedrático de Universidad de Geodinámica Externa con el perfil de “Geomorfología y Riesgos Geológicos”. Desde entonces alterna docencia e investigación entre la Facultad de Ciencias de Salamanca y la Escuela Politécnica Superior de Ávila. Pablo G. Silva, se asoció a AEQUA en 1986, con ocasión de su asistencia a la **VII Reunión de Cuaternario**, celebrada en Santander, cuando aún estaba cursando la carrera. Ingresó en la Junta Directiva de AEQUA en 1998 al hacerse cargo de la Revista Cuaternario y Geomorfología, como consecuencia del inesperado fallecimiento de la antigua editora principal de AEQUA Pilar Fumanal (UV). Poco antes, ese mismo año había accedido al comité editorial de “*Geomorphology*” (Elsevier) donde se ha mantenido hasta el año 2023. Como editor principal CyG entra a formar parte de la Junta Directiva de AEQUA, en la que permanece como tal hasta el año 2009 cuando es elegido Presidente de la asociación. Debido a la modificación de Estatutos promovida por sus juntas directivas es nuevamente reelegido por dos periodos consecutivos entre 2011 y 2019. Finalmente, la pandemia de la COVID-19 prolonga su mandato como Presidente interino hasta el año 2021. En la actualidad permanece en la Junta Directiva como past-president coordinando diversas actividades (simposios, field-trips, publicaciones, etc.).

Su actividad dentro de AEQUA condujo a la remodelación y rediseño de la **Revista Cuaternario y Geomorfología**, junto con el editor SEG Gerardo Benito (CSIC), a partir de que la antigua **editorial Geoforma** dejara su edición en el año 2000. Posteriormente, se han llevado a cabo modificaciones en los Estatutos de AEQUA (2011); la implementación y diseño de las nuevas webs de la asociación y de la revista en la plataforma redLIS; la creación de la nueva publicación de Cuadernos de Campo del Cuaternario (C³); promotor de los nuevos grupos de trabajo GQM y QTECT; la instauración de los nuevos

Simposios de Cuaternario Ibérico en el marco de los Congresos Nacionales de Geología (Vitoria-Gasteiz 2021 y Ávila 2024) mediante un convenio SGE-AEQUA; la modificación del Reglamento de los Premios María Jesús Ibáñez (MJIb) junto con Gloria Desir (Presidenta SEG 2018-2022); la organización de la Reunión Nacional de Cuaternario en Ávila (2007) y un largo etc. de colaboraciones para la organización de otras reuniones durante su mandato, como las de Andorra (2011), Sevilla (2013), Granada (2015) y Bilbao (2019). También es de destacar su actividad editorial, como la creación de las **Tablas Cronoes-tratigráficas del Cuaternario de la Península Ibérica** en sus tres versiones de 2007, 2009 y 2021 (Silva *et al.*, 2007; 2009; 2021) y de las dos ediciones del **Catálogo de Efectos Geológicos de los terremotos en España** IGME-AEQUA (Silva y Rodríguez-Pascua, Eds., 2014 y 2019). Dentro de estas labores, la publicación del artículo **“El Cuaternario: Historia Geológica de la Prehistoria”** (Silva *et al.*, 2017a) y la edición del Vol. Especial de Cuaternario y Geomorfología sobre geocronología: **“Métodos de datación en el Cuaternario”** (Fig. 16; Silva Ed., 2022), están alcanzando volúmenes de visitas/descargas muy importantes en plataformas como **ResearchGate**.

En su labor investigadora cabe destacar su involucración en la introducción en España de disciplinas emergentes tales como la Paleosismología y la Arqueosismología con la celebración del **“1st Workshop on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics”** en Baelo Claudia (Cádiz, 2009) desde la INQUA TERPRO Comm., así como en su posterior consolidación en la serie de workshops **PATA Days**. En ellos colaboró de forma activa durante el periodo 2011-2015 (Corinth, Morelia, Aachen y Fucino) como **Presidente del INQUA Focus Area on Paleoseismology** junto con Klaus Reicherter (RTWH Aachen, Alemania) y Luca Guerrieri (ISPRA, Italia). A la vez, durante el periodo 2008-2012 fue el representante español del **IGCP Project 567 on Earthquake Archaeology**, formando parte del Comité Español del IGCP y actuando como miembro del

Figura 16. Portada del Vol. Especial de Cuaternario y Geomorfología sobre Métodos de datación en el Cuaternario editado por Pablo. G. Silva (2022).

Figure 16. Front-cover of the Special Issue of Cuaternario y Geomorfología on Dating Methods in the Quaternary edited by Pablo G. Silva (2022).

Bureau Internacional de la UNESCO (IGCP) on Geological Hazards. De forma paralela participó como **Experto de la IAEA** en la elaboración de la Guía Técnica de la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) de la ONU, sobre estudios paleosismológicos aplicados a análisis peligrosidad sísmica para instalaciones nucleares (IAEA-TECDOC-1767; Guerrieri *et al.*, 2015). En estas temáticas destaca su participación, junto con otros investigadores, en la creación y aplicación de la Escala Macrosísmica de efectos ambientales de los terremotos ESI-07 en el seno de INQUA (Serva *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015) y el diseño de la tabla gráfica que sintetiza la esta escala Macrosísmica (Fig. 17), así como el desarrollo de una clasificación y guía metodológica para el estudio de efectos arqueosismológicos de los terremotos junto con otros miembros del QTECT-AEQUA (Rodríguez-Pascua *et al.*, 2011).

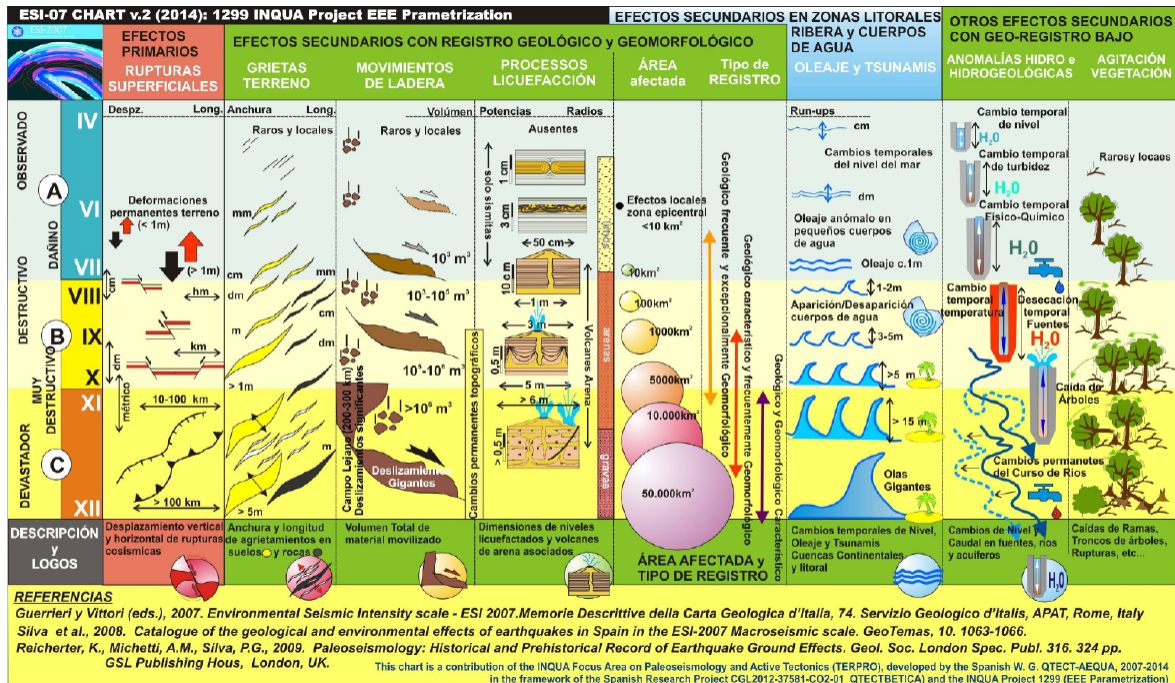


Figura 17. Versión Española de la Tabla síntesis gráfica de la Escala Macrosísmica de los Efectos ambientales de los Terremotos ESI-07 diseñada por Pablo G. Silva y Raúl Pérez-López, junto con otros miembros del QTECT-AEQUA con motivo del Workshop celebrado en Baelo Claudia en 2009. La versión original se realizó en inglés, posteriormente se tradujo al español y alemán.

Figure 17. Spanish version of the graphic summary-table of the ESI-07 Macroseismic Scale of Environmental Effects of Earthquakes designed by Pablo G. Silva and Raúl Pérez-López, together with other members of QTECT-AEQUA, in occasion of the workshop held in Baelo Claudia in 2009. The original version was produced in English and subsequently translated into Spanish and German.

Junto a esta actividad internacional también cabe destacar su autoría de numerosas cartografías Geomorfológicas, de la Geología del Cuaternario y Procesos Activos (1:50.000) de la segunda y tercera edición del Plan MAGNA editados por el IGME, cubriendo fundamentalmente el Cuaternario de la Región de Murcia y de la Cuenca Cenozoica de Madrid. Dentro de esta última cabe mencionar la reciente publicación de la hoja 1:200.000 de Madrid, que incluye un Mapa 1:125.000 (Martín Serrano *et al.*, en prensa) de todos los sistemas de terrazas del Tajo, Jarama, Henares, Manzanares, Guadarrama, Tajuña, Sorbe y Torote unificadas bajo las directrices que ofrecen las ecuaciones geocronológicas para terrazas fluviales publicadas por Silva *et al.*, (2017b) y Silva y Roquero (2022). En la actualidad continúa con sus actividades dentro de AEQUA en su labor de Past-President y se encuen-

tra enrolado en el apoyo y organización de la próxima Reunión Nacional de Cuaternario que tendrá lugar en Huéscar (Granada) en 2026, en la edición del libro sobre los Sitios más importantes en la Península Ibérica para la Historia del Estudio del Cuaternario en España (QSites), que se lanzará con motivo del 40º Aniversario de AEQUA (en preparación), y en la redacción de esta serie de artículos sobre la historia de nuestra asociación en colaboración con otras personas que han pasado por la Junta Directiva de AEQUA (e.g. Silva *et al.*, 2024; 2025).

8. Corolario

Los comienzos del siglo XXI en nuestra asociación trajeron consigo mucha actividad y muchos cambios sobre todo en su entorno digital, como la actualización de la página webs

de la revista CyG y la de la propia asociación, el establecimiento de una dirección mail institucional para la comunicación con los socios o la generación de una página de AEQUA en Wikipedia. Se volvieron a modificar los Estatutos para que Presidente y Secretario pudieran repetir dos mandatos consecutivos como ya lo hacía la Tesorería. Este periodo estuvo comandado por dos tandems **Teresa Bardají (UAH)** y **Elvira Roquero (UPM)** entre 2006 y 2009; y **Pablo G. Silva (USAL)** y **Miguel Ángel Rodríguez-Pascua (IGME)** entre 2010 y 2017. La asociación mantuvo el número de asociados entorno a las 300 personas, aunque siempre con tendencia a la baja desde 2005, tendencia que, a pesar de todos nuestros esfuerzos, se sigue manteniendo actualmente. En este periodo se celebraron seis reuniones bianuales, correspondiendo tres a las **Reuniones Nacionales de Cuaternario (AEQUA)** de **Ávila** (2007); **Andorra** (2011) y **Granada** (2015), mientras que las otras tres corresponden a las **Reuniones de Cuaternario Ibérico**. Una de ellas a cargo de AEQUA celebrada en **Sevilla-La Rinconada** en 2013, mientras que las otras dos estuvieron a cargo de nuestros colegas portugueses del GTPQ en **Faro 2009** y **2017**. Ambas fueron organizadas por Tomas Boszki y Delminada Moura de la Universidade do Algarve. La de 2017 resultó ser la última Reunión de Cuaternario Ibérico (REQUI) que se celebró.

En este periodo se produce la creación de dos nuevos grupos de trabajo: **Grupo de Trabajo Madrileño (GQM)** en 2007 durante el congreso de Ávila promovido por Pablo G. Silva (USAL) y Javier Baena (UAM); y el **Grupo de Trabajo de Tectónica Cuaternaria, Paleosismología y Arqueosismología (QTECT)** impulsado por Miguel Ángel Rodríguez-Pascua y Raúl Pérez-López (IGME) en 2009. Con motivo de la creación de este último grupo de trabajo, AEQUA comienza a colaborar activamente en otros eventos científicos relacionados con esta temática a nivel internacional, como son los **Congresos Ibéricos de Fallas Activas (IBERFAULT)** y los **INQUA Workshops on Paleoseismology, Archaeoseismology and Active Tectonics (PATA Days)**. En cuanto a los

Iberfaults, en el primero organizado en 2010 (Sigüenza) el QTECT-AEQUA entra en la organización con la Junta Directiva del QTECT, y para el segundo de ellos celebrado en 2014 (Lorca), el grupo de trabajo se involucra en la organización tanto del evento, como de las excursiones científicas asociadas, y con tal motivo se edita el primer número de una nueva publicación AEQUA: **Cuadernos de Campo de Cuaternario C³** (Silva *et al.*, 2014). Respecto a los PATA Days, AEQUA organiza junto con la RWTH Aachen University (Alemania) el primero de la serie en 2009 en el Conjunto Arqueológico Romano de *Baelo Claudia* (Cádiz), y se involucra en distinto grado en los siguientes workshops celebrados en Grecia (Corinth, 2011); México (Morelia 2012); Alemania (Aachen, 2013); e Italia (Fucino, 2015). Las labores en estas temáticas culminan con la publicación de la primer edición **Catálogo de Efectos Geológicos de los Terremotos en España** co-editada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y AEQUA (Silva y Rodríguez-Pascua, Eds., 2014). Las colaboraciones en estas temáticas y participación en congresos **IBERFAULT** e **INQUA PATA Days** continúa durante el siguiente periodo de la Asociación (2018 – 2025) que glosaremos en una cuarta y última tirada de esta serie de artículos sobre la Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario en su 40 Aniversario.

Agradecimientos

Este trabajo constituye la **tercera parte** de la serie de (finalmente) cuatro artículos que glosan y revisan la Historia de los Estudios de Cuaternario en España (y por extensión de la península ibérica), con motivo del 40 aniversario de la creación de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. Los autores de la serie están agradecidos a todas aquellas personas que han impulsado AEQUA durante sus distintos periodos, en particular a los responsables de sus Juntas Directivas y, muy especialmente, a la memoria de todas aquellas personas que tuvieron un desempeño importante y que desgraciadamente ya nos han

dejado. La mayoría de ellos, ilustres asociados/as y que sería muy largo de listar en estos agradecimientos. Agradecemos las revisiones y comentarios realizados por dos revisores anónimos que nos han ayudado a esclarecer diferentes puntos.

Bibliografía

- Azañón, J.M., Pérez-Peña, J.V., Galve, J.P., Mateos, R. M., Roldán F.J. (2015). Geomorfología Tectónica y Deformaciones Cuaternarias en Sierra Nevada y la Cuenca de Guadix (Granada, SE España). *Cuadernos de Campo del Cuaternario (C³)*, 2. 46 pp.
- Baena, R., Fernández, J.J., Guerrero, I. (2013). *El Cuaternario Ibérico: Investigación en el Siglo XXI*. Actas VIII Reunión de Cuaternario Ibérico. Universidad de Sevilla, La Rinconada, Sevilla. GTPEQ-AEQUA 318 pp <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Boski, T., Moura, D., Gomes, A. Eds. (2009). *O futuro do ambiente da Península Ibérica: as lições do passado geológico recente. Livro Resumos VIII Reunião do Quaternario Ibérico*. Universidade do Algarve, Faro (Portugal). GTPEQ-AEQUA. 322 pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Cabero, A., Bardají, T., Carboni, S. Eds. (2010). *Decoding the Last Interglacial in Western Mediterranean*. Abstract Vol. INQUA Project 0911-CMP Commission Workshop. Calgiari, Cerdeña, Italia. UNED. 67 pp.
- Galve, J. P., Azañón, J. M., Pérez Peña J. V., y Ruano, P. Eds. (2015). *Una visión global del Cuaternario. El hombre como condicionante de procesos geológicos*. Actas XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada (España). UGR-AEQUA, Granada, 251 pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Giner-Robles J.L., Rodríguez-Pascua M.A., Pérez-López R., Silva P.G., Bardají T., Grützner C., Reicherter K. (2009). *Structural analysis of earthquake archaeological effects (EAE): Baelo Claudia examples (Cádiz, South Spain)*. Field Training Course Notebook. IGME-AEQUA, Madrid, 130 pp. <http://pata-days.org/downloads/>
- Gomes, A. Gonçalves, C., André, I., Bicho, N, Boski, T. (2017). *Mudanças em Sistemas Ambientais e sua Expressão Temporal*. Livro de Resumos da IX Reunião do Quaternário Ibérico. Universidade do Algarve, Faro, (Portugal). GTPEQ-AEQUA. 178 pp. <http://hdl.handle.net/10400.1/10066> <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Gutiérrez Elorza, M. (2002). The Quaternary. En: *The Geology of Spain* (Gibbons, W. y Moreno, T. Eds.). Geological Society of London - Science – GSL, London, 649 pp. <https://doi.org/10.1017/S001675680322834X>
- Guerrieri, L., Vittori, E., Blumetti, A.M., Michetti, A.M., Reicherter, K., Serva, L., Silva, P.G., Fukushima, Y. (2015). The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations. INGV, Roma, Italy Miscelanea INGV, 27 199-202 <http://www.ingv.it/editoria/miscelanea/2015/miscelanea27/>
- Lario, J. y Silva, P. G., Eds. (2007). *Contribuciones al Estudio del Periodo Cuaternario*. Actas de la XII Reunión Nacional de Cuaternario, UNED-AEQUA, Ávila. 243 pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Martín-Serrano, A., Montes, M. y Silva, P.G. (en prensa): Mapa 1:125.000 de depósitos cuaternarios de la Hoja 220k de Madrid. En: Mapa Geológico de España a escala 1:200.000, Hoja nº 45, (Madrid). 2ª Serie, IGME-CSIC, Madrid.
- Pedrerá, A. y Martín Lechado, C. (2016). Quaternary Tectonics in the Huerca-Overa and Eastern Basins of Almería (Eastern Betic Cordillera, SE Spain)". *Cuadernos de Campo de Cuaternario (C³)* 3, 22 pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/cealcubo.html>
- Pérez-López, R. Grützner, C., Lario, J., Reicherter, K., Silva, P.G. (2009). *Archaeoseismology and Palaeoseismology in the Alpine-Himalayan Collisional Zone*. Proceedings 1st INQUA-IGCP 567 International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology. Baelo Claudia, Cádiz (Spain). UNED-AEQUA. 310 pp. <http://pata-days.org/downloads/>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy V.H., Reicherter K. (2011). A comprehensive classification of earthquake archaeological effects (EAE) in archaeoseismology: application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. *Quaternary International*, 242. 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.04.044>
- Roquero, E., Silva, P.G., Zazo, C., Goy, J.L., Masana, J. (2015). Soil evolution indices in fluvial terrace chronosequences of Central Spain (Tagus and Duero fluvial basins). *Quaternary International*, 376, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.036>

- Roquero, E., Silva, P.G., Elez, J., Rodríguez-Pascua, M.A., Perucha, M.A. (2018). Micromorphology of Seismic Liquefaction Structures: A Tool to record lost seismic events (Betic Cordillera, Spain). Resúmenes de la 3ª Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Iber-fault III, Alicante, España. pp. 195 – 198.
- Roquero, E., Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A., Bardají, Elez, J., Carrasco-García, P., Giner Robles, J.L. (2019). Analysis of faulted fan surfaces and paleosols in the Palomares Fault Zone (Betic Cordillera, SE Spain). *Geomorphology*, 342, 88 – 102. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.003>
- Rosas, A.; Estalrich, A.; García-Tabernero, A.; Hguet, R.; Lalueza-Fox, C. *et al.* (2016). Investigación paleoantropológica de los fósiles neandertales de El Sidrón (Asturias, España). *Cuaternario y Geomorfología*, 29 (3-4), 77-94. <https://doi.org/10.17735/cyg.v29i3-4.40066>
- Serva, L., Blumetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Michetti, A.M., Okomura, K., Porfido, S., Reicherter, K., Silva, P.G., Vittori, E. (2015). Environmental Effects, intensity and seismic hazard assessment: the lesson of some recent large earthquakes. En: *Earthquake Environmental Effects for seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue* (L. Guerrieri, Ed.). Memoria ISPRA 97 (Geological Survey of Italy) Roma, Italy 05 -08.
- Silva, P.G. Ed. (2022). Métodos de datación en el Cuaternario (Vol. Especial). *Cuaternario y Geomorfología*, 36 (3-4), 286 pp. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/article/view/96997>
- Silva, P.G. Bardají, T. (2024). Elvira Roquero García-Casal: In memoriam. *Cuaternario y Geomorfología*, 38 (3-4), 3-8. Prólogos.
- Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A. Eds. (2014). Catálogo de los Efectos Geológicos de los Terremotos de España, 1ª Ed; *Riesgos Geológicos y Geotecnia*. 4. IGME: Madrid, España, 352 pp.
- Silva, P.G., Roquero, E. (2022). Cronofunciones: modelización estadística de conjuntos de dataciones numéricas para el estudio del Cuaternario: Ejemplos para la Península Ibérica. *Cuaternario y Geomorfología*, 36 (3-4), 123-142. <https://doi.org/10.17735/cyg.v36i3-4.93733>
- Silva, P.G., Zazo, C., Bardají, T., Baena, J., Lario, J., Rosas, A., Van der Made, J. (2009). Tabla cronoestratigráfica del Cuaternario de la península Ibérica (v.2). *Actas VII Reunión de Cuaternario Ibérico*, Faro (Portugal). 259 - 263. http://tierra.rediris.es/aequa/doc/libro_de_resumenes.pdf
- Silva, P.G., López, N., Sesé, C., Bardají, T. (2010). Acto Homenaje a Emiliano Aguirre: El Linaje de Emiliano. Teruel, noviembre 2009. *Cuaternario y Geomorfología*. 24, 3-6.
- Silva, P.G. Bardají, T. Rodríguez-Pascua, M. A., Roquero, E., Martínez Díaz, J.J. (2014). Tectonic Geomorphology and paleoseismic records in Eastern Betic Shear Zone and Aguilas Arc (Murcia - Almería, SE Spain). *Cuadernos de Campo del Cuaternario (C³)*, 2. 36 pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/cealcubo.html>
- Silva, P. G., Guerrieri, L., Michetti, A. M. (2015). Intensity scale ESI 2007 for assessing earthquake intensities. En: *Springer Encyclopedia of Earthquake Engineering* (M. Beer *et al.*, Eds). Springer-Verlag. Berlin, Germany. PP. 17 -27. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_31-1
- Silva, P.G. Bardají, T., Roquero, E., Baena, J., *et al.* (2017a). El Periodo Cuaternario: La Historia Geológica de la Prehistoria. *Cuaternario y Geomorfología*, 31 (3-4), 113-154. <https://doi.org/10.17735/cyg.v31i3-4.55588>
- Silva, P.G., Roquero, E., López-Recio, M. *et al.* (2017b). Chronology of fluvial terrace sequences for large Atlantic rivers in the Iberian Peninsula (Upper Tagus and Duero basins, Central Spain). *Quaternary Science Reviews*, 166, 188-203. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.05.027>
- Silva, P. G., Rodríguez-Pascua, M. A., Giner Robles, J. L., Elez, J., Pérez-López, R., & Bautista Davila, M. B. (2019). Catalogue of the Geological Effects of Earthquakes in Spain Based on the ESI-07 Macroseismic Scale: A New Database for Seismic Hazard Analysis. *Geosciences*, 9(8), 334. <https://doi.org/10.3390/geosciences9080334>
- Silva, P.G., Bardají, T., Baena-Preysler, J., Giner Robles, J.L. Van der Made, J. Zazo, C., Rosas, A., Lario, J., (2021). Tabla cronoestratigráfica del Cuaternario de la península ibérica (v 3.0): Nuevos datos estratigráficos, paleontológicos y arqueológicos. *Cuaternario y Geomorfología*, 35 (3-4), 121 – 145. <https://doi.org/10.17735/cyg.v35i3-4.89346>
- Silva, P.G., Pérez-González, A., Aleixandre Campos, T. (2024). La Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. Parte I: AEQUA antes de AEQUA (1973 – 1990). *Cuaternario y Geomorfología*, 38 (3-4), 7-24. <https://doi.org/10.17735/cyg.v38i3-4.110043>
- Silva, P.G., Bardají, T., Rodríguez-Vidal, J. (2025). La Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. Parte II: AEQUA en el

- cambio de siglo (1990 - 2005). ***Cuaternario y Geomorfología***, 39 (1-2), 13-34. <https://doi.org/10.17735/cyg.v39i1-2.114954>
- Turú, V. y Constante, a. Eds., (2011). ***El Cuaternario en España y Áreas afines. Avances en 2011***. Actas XIII Reunión Nacional de Cuaternario. FMC-AEQUA, Andorra. 380pp. <http://tierra.rediris.es/aequa/opublicaciones.html>
- Zazo, C., Hansen, A., Goy, J.L., Criado, C., González Delgado J.A., Dabrio C.J., Hillaire-Marcel, C., Bardají, T., Silva P. G., Cabero, A., Civis, J., Soler, V. (2008). Geomorfología Volcánica y variaciones del nivel del mar en Lanzarote y Fuerteventura (Plio-Cuaternario). En: Itinerarios Geológicos por las Islas Canarias (F.J. Pérez Torrado, M.C. Cabrera, Eds). ***Geo-Guías*** Vol., 6, 143 - 172.

Recibido el 10 de noviembre de 2025

Aceptado el 2 de diciembre de 2025



Primeras evidencias zooarqueológicas del yacimiento prehistórico del Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz, Madrid, España)

*The first zooarchaeological evidence from the prehistoric site of
Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz, Madrid, Spain)*

Estaca-Gómez, V. (1) y Major-González, M. (2)

(1) Departamento de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Facultad de Geografía e Historia. Calle Profesor Aranguren, s/n. 28040. Madrid. España. Grupo de Investigación de Arqueología Prehistórica (GIAP), vestaca@ucm.es
(2) Áqaba arqueólogos, s.l., 28007, Madrid, Spain; info@arqueologosaqaba.com

Resumen

En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio zooarqueológico del yacimiento prehistórico de Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz, Madrid), ubicado dentro del complejo de Aldovea, que también ha proporcionado evidencias de la época calcolítica y de la Edad del Bronce. El sector del Barrio del Castillo muestra un patrón de ocupación característico de la prehistoria madrileña, asociado a campos de hoyos y silos. Las ocupaciones identificadas en este yacimiento corresponden al Calcolítico, al bronce Protocogotas y a la fase Cogotas. En todas las etapas, la fauna está dominada por especies domésticas; sin embargo, la representatividad de las diferentes especies varía según el tratamiento dado a la fauna.

Así, en la deposición de la fauna se distinguen dos patrones distintos. Por un lado, se encuentran las acumulaciones de fauna, que hemos denominado “acumulaciones domésticas”, las cuales se hallan en silos o fosas, y en las que se asocian restos de animales, normalmente fracturados, con fragmentos de cerámica, industria lítica, etc. Por otro lado, están las acumulaciones conocidas como “depósitos” que se refieren a conjuntos de fauna articulada de individuos completos o elementos anatómicos en conexión que podrían tener un carácter más simbólico.

En función del tipo de acumulación, se observa que, en el primer caso, destacan los conjuntos de fauna doméstica, dominados por caprinos (oveja y cabra) y vacas. Otras especies domésticas, como el cerdo y el perro, aparecen de manera minoritaria, al igual que los animales salvajes, como el caballo, el ciervo, el corzo o el conejo. En cuanto a los “depósitos”, destaca la presencia del perro en el Calcolítico, del cerdo y la vaca en la fase Protocogotas, y del cerdo en la fase Cogotas.

Este estudio pone de manifiesto el contraste existente entre los dos tipos de acumulaciones –domésticas y depósitos– y resalta las implicaciones que podría tener.

Palabras Clave: Calcolítico, Edad del Bronce, Zooarqueología, Depósitos Rituales, Silo.



Abstract:

This paper presents the first results of the zooarchaeological study of the prehistoric site of Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz), located within the Aldovea complex, which has also provided evidence from the Chalcolithic and the Bronze Age. The Barrio del Castillo sector shows a characteristic pattern of occupation from Madrid's prehistory, associated with pits and silos. The occupations identified at this site correspond to the Chalcolithic, the Protocogotas Bronze Age, and the Cogotas phase. In all stages, the fauna is dominated by domestic species; however, the representation of different species varies according to the treatment given to the fauna.

Thus, two distinct patterns can be distinguished in the deposition of fauna. On one hand, there are the accumulations of fauna, which we have termed domestic accumulations, found in silos or pits. On the other hand, there are the accumulations known as deposits. The former usually consists of fractured animal remains, associated with all kinds of materials, such as bones from different species, fragments of pottery, lithic industry, etc. The deposits, on the other hand, refer to sets of articulated fauna of complete individuals or anatomical elements in connection that could have a more symbolic character.

Depending on the type of accumulation, it is observed that, in the first case, domestic fauna sets stand out, dominated by caprines (sheep and goat) and cattle. Other domestic species, such as pigs and dogs, appear in a minor role, as do wild animals like horses, deer, roe deer, or rabbits. Regarding the deposits, the presence of dogs in the Chalcolithic, pigs and cattle in the Protocogotas phase, and pigs in the Cogotas phase is notable.

This study highlights the contrast between the two types of accumulations –domestic and deposits– and emphasizes the implications that this type of evidence could have.

Keywords: Chalcolithic, Bronze Age, Zooarchaeology, Ritual Deposits, Silo.

1. Introducción

Hasta hace poco, las evidencias zooarqueológicas conocidas para el Calcolítico y la Edad del Bronce en el interior de la península ibérica presentaban una serie de limitaciones importantes, caracterizándose principalmente por la escasez de datos disponibles y el reducido tamaño de las muestras existentes (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994). Sin embargo, los estudios realizados en los últimos años han permitido ampliar considerablemente el corpus de evidencias disponibles, propiciando avances significativos gracias a la documentación de nuevos asentamientos del Calcolítico y la Edad del Bronce, como Zanjillas (Estaca-Gómez *et al.*, 2023a), Aldovea (Estaca-Gómez *et al.*, 2023b, 2024a), Val de la Viña (Yravedra, 2011), Camino de las Yeseras (Liesau von Lettow-Vorbeck, 2011), Castillejo del Bonete (Galindo-Pellicena *et al.*, 2025), El Portalón (Galindo-Pellicena *et al.*, 2017), Soto

de Henares (Galindo-Pellicena *et al.*, 2009), La Loma del Lomo (Valiente Malla, 2003), la Fábrica de Ladrillos de Getafe (Liesau von Lettow-Vorbeck *et al.*, 2004), y Pista de Motos (Estaca-Gómez *et al.*, 2024b), entre otros (Figura 1). Esto ha permitido ampliar el conocimiento sobre la gestión de los recursos faunísticos durante estos periodos y atisbar diferentes tratamientos que pudo tener la fauna a lo largo de la Prehistoria reciente.

Sin embargo, y a pesar de estos avances, sigue siendo fundamental documentar nuevos asentamientos que ofrezcan más evidencias de diferentes periodos cronológicos que permitan evaluar cómo fue la gestión de los recursos faunísticos a lo largo del tiempo.

En este trabajo presentamos las evidencias de un nuevo yacimiento excavado en los últimos años, conocido como Barrio del Castillo (Complejo Aldovea, en Torrejón de Ardoz), que

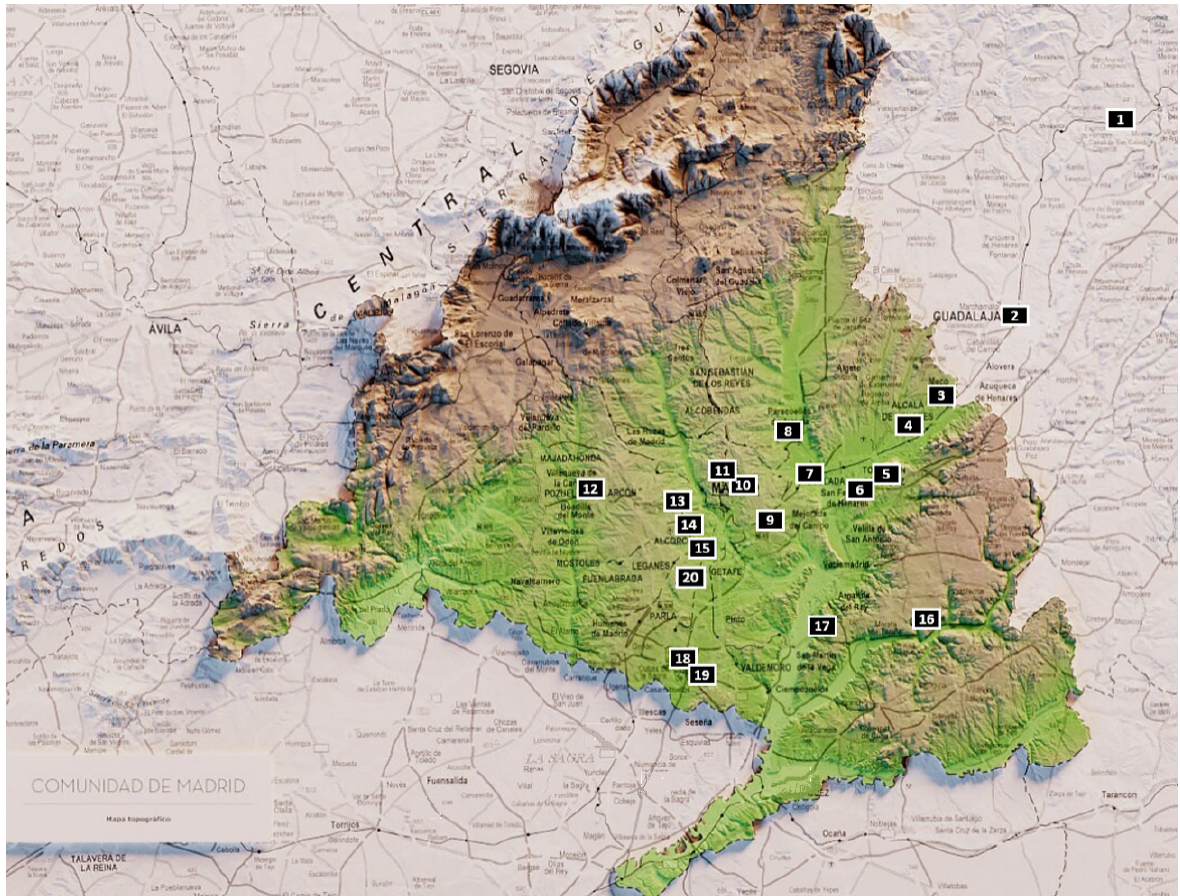


Figura 1. Localización de los yacimientos que van a ser citados en el texto: 1. Loma del lomo (Cogolludo), 2. Aguas Vivas y Val de las Viñas (Guadalajara), 3. La Esgaravita (Alcalá de Henares), 4. Las Matillas (Alcalá de Henares), 5. Soto de Henares (Torrejón de Ardoz), 6. Aldovea and Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz), 7. Camino de las Yeseras (Coslada), 8. El Capricho (Barajas), 9. Los Berrocales (Vicálvaro), 10. Loma de Chicalana (Madrid), 11. Angosto de los Moncebos (Madrid), 12. La Cabeceras (Pozuelo de Alarcón), 13. El Espinillo (Villaverde), 14. Fábrica de Euskalduna and Tejar del Sastre (Villaverde), 15. El Ventorro (Villaverde), 16. Barranco del Herrero (San Martín de la Vega), 17. Juan Barbero (Tielmes de Tajuña), 18. La Cuesta and Humanejos (Torrejón de Velasco), 19. Las Zanjillas (Torrejón de Velasco), 20. Fábrica de Ladrillos (Getafe).

Figure 1. Location of the sites that will be cited in the text: 1. Loma del lomo (Cogolludo), 2. Aguas Vivas y Val de las Viñas (Guadalajara), 3. La Esgaravita (Alcalá de Henares), 4. Las Matillas (Alcalá de Henares), 5. Soto de Henares (Torrejón de Ardoz), 6. Aldovea and Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz), 7. Camino de las Yeseras (Coslada), 8. El Capricho (Barajas), 9. Los Berrocales (Vicálvaro), 10. Loma de Chicalana (Madrid), 11. Angosto de los Moncebos (Madrid), 12. La Cabeceras (Pozuelo de Alarcón), 13. El Espinillo (Villaverde), 14. Fábrica de Euskalduna and Tejar del Sastre (Villaverde), 15. El Ventorro (Villaverde), 16. Barranco del Herrero (San Martín de la Vega), 17. Juan Barbero (Tielmes de Tajuña), 18. La Cuesta and Humanejos (Torrejón de Velasco), 19. Las Zanjillas (Torrejón de Velasco), 20. Fábrica de Ladrillos (Getafe).

contiene abundantes muestras zooarqueológicas correspondientes al Calcolítico, la Edad del Bronce en la fase Protocogotas y la fase Cogotas. La singularidad de este yacimiento

es que no solo muestra importantes muestras óseas, sino distintos tratamientos en la gestión de los recursos animales que merecen ser analizados.

2. El Barrio del Castillo

El Barrio del Castillo es uno de las tres áreas arqueológicas que engloba el complejo de Aldovea situado en Torrejón de Ardoz (Madrid, España). Las otras dos zonas arqueológicas son Camino de Barcalde y Aldovea, que a nivel zooarqueológico ya ha sido analizado en Estaca-Gómez *et al.* (2023b, 2024a). Todo este complejo es un polígono irregular con una extensión de 36,59 ha, con un marco cronológico que va desde el período Neolítico hasta el mundo romano (Major-González *et al.*, 2019) (Figura 2). Por otro lado, estas tres áreas se pueden considerar como un único enclave arqueológico, pero como ya se expuso en el trabajo Major-González *et al.*, 2019: 51, por cuestiones de trabajo se diferenciaron tres áreas, denominadas Aldovea, Barrio del Castillo y Camino de Barcalde.

En el yacimiento de Barrio del Castillo se han localizado más de 800 estructuras negativas “tipo silo”, caracterizadas por un perfil o sección en forma de saco (Major-González *et al.*, 2019: 53). De estas estructuras al menos 223 se han atribuido a la fase Calcolítica, 218 fueron atribuidas a la fase Protocogotas y 167 a

la fase de Cogotas I, basado estas asignaciones principalmente en la tipología cerámica (Major-González *et al.*, 2019, y algunas dataciones radiocarbónicas, como la correspondiente a un esqueleto de perro hallado en el depósito ritual SU 6830, que arrojó una fecha calibrada de 4570 ± 15 BP años correspondiente a la fase Calcolítica (Blázquez Orta *et al.*, 2024).

Además de estos periodos también se han localizado algunas estructuras de época neolítica, pero son muy escasas y poco significativas. En contraste tanto la fase calcolítica como las de la Edad del Bronce tienen una mayor cantidad de material. Por ejemplo, el conjunto cerámico de los niveles calcolíticos de Barrio del Castillo comprende 43.124 fragmentos, de los cuales 7.902 son diagnósticos, siendo atribuidos a vasijas completas y semicompletas, bordes, asas, bases, carenas, mamelones con apliques redondeados diagnósticos, y algunos fragmentos decorados (menos del % de la cerámica encontrada).

Entre el material calcolítico destacan vasijas globulares para almacenamiento y cocción (80%), mientras que el resto consiste en cuen-

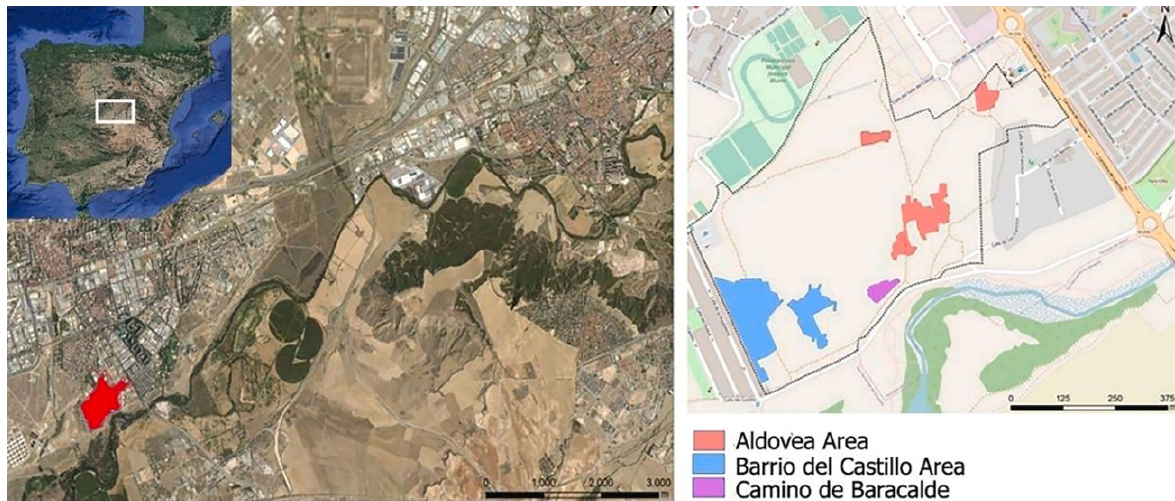


Figura 2. Localización del Área de Aldovea situada en Torrejón de Ardoz, y localización de los tres sectores: Aldovea, Barrio del Castillo y Camino de Barcalde.

Figure 2. Location of the Aldovea Area situated in Torrejón de Ardoz, and locations of the three sectors: Aldovea, Barrio del Castillo, and Camino de Barcalde.

cos, ollas pequeñas, platos, coladores de queso y tazas. Desde una perspectiva técnica la cerámica se coció principalmente en atmósferas reductoras o mixtas. El 95,5% del conjunto no presenta decoración, mientras que el 4,5% presenta diversas técnicas decorativas, incluyendo impresiones, incisiones y apliques. Los artefactos líticos también abundan en el yacimiento, con ejemplos notables que incluyen puntas de proyectil, azuelas de fibrolita y azuelas pulidas en el Calcolítico.

Por el contrario, en las estructuras del Bronce, se observa una reducción del utillaje en forma de puntas. En todo el periodo predomina el utillaje con sílex y cuarcita que son las materias primas principales, aunque la cuarcita está mejor representada, la cual se utiliza en forma de cantos para producir bases de fosas y silos, siendo frecuentes las estructuras con este tipo de material en su base o como elemento de sellado, llegando en algún caso a cubrir los restos de un perro joven en lo que podría ser un contexto ritual. Además de la cuarcita y el sílex, otras materias como el granito es utilizado para molinos manuales y para piedras de moler. Junto a los restos de cultura material cerámica y lítica hay que añadir que la industria ósea es escasa en todo el yacimiento, apareciendo solo en forma de pequeños punzones y alguna aguja, y finalmente han aparecido algunos enterramientos humanos que no serán tratados en este trabajo. Nosotros tan solo nos centraremos en un estudio preliminar sobre los restos de fauna que a continuación procedemos a presentar.

3. Materiales y métodos

Este estudio se ha centrado en el análisis de los restos óseos de fauna recuperados por la empresa Áqaba Arqueólogos S.L., responsable de los trabajos arqueológicos durante el año 2019. Los restos faunísticos de Barrio del Castillo se han clasificado en dos tipos de acumulaciones: aquellas procedentes de conjuntos domésticos y aquellas correspondientes a depósitos que contienen animales articula-

dos o semiarticulados, dispuestos de manera intencional. En total, se han analizado 22.771 restos, de los cuales 13.172 provienen de los conjuntos domésticos y 9.599 de los depósitos.

Metodológicamente, se ha seguido un análisis zooarqueológico centrado en la documentación taxonómica, con el objetivo de analizar las especies presentes, su representación, los patrones de mortandad y cómo contrastan los tipos de acumulaciones faunísticas según estén en los conjuntos domésticos o en los depósitos.

Para la identificación de las especies hemos utilizado la colección de referencia de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad Complutense de Madrid y hemos seguido a Pales y Lambert (1971), Schmid (1972), Barone (1986), Prummel (1988) y Hilson (1992), así como otros autores para identificaciones más específicas, como las de oveja y cabra (Boesseneck, 1969; Payne, 1985; Prummel y Frisch, 1986; Fernández, 2001), o la de cerdo y jabalí (Rolett y Chiu, 1994). Una vez identificados los restos, se han cuantificado mediante el Número de Restos (NR) y el Mínimo Número de Individuos (MNI), considerando los patrones de mortandad en función de si los individuos son adultos o juveniles-infantiles.

Aquellos restos que no han podido ser asignados a ninguna especie se han agrupado en categorías según el tamaño: grande (ej. *Equus* sp., *Bos taurus*), media (ej. *Cervus elaphus*) y pequeña (ej. *Ovis aries*, *Capra hircus*, *Capreolus capreolus*, *Sus scrofa-domesticus*, *Canis familiaris*). Solo se ha considerado como indeterminados aquellos restos que no pudieron ser identificados taxonómica ni anatómicamente, ni asignados a ninguna categoría de talla de animal.

Los patrones de mortandad se han analizado a partir de los dientes considerando el desgaste dental y la emergencia de los dientes definitivos en comparación con los deciduales, así como el grado de osificación de las epífisis de los huesos largos. Posteriormente,

los individuos fueron clasificados en tres grupos: infantiles, juveniles y adultos, aun así. En este trabajo no se va a realizar un análisis detallado de los patrones de mortandad.

Dado que este trabajo solo se pretende mostrar los patrones de representación taxonómica, el resto de analíticas como son los perfiles esqueléticos o los análisis tafonómicos se desarrollarán en futuros trabajos más específicos dedicados a cada periodo.

4. Representación faunística para el período Calcolítico

Ante la numerosa muestra taxonómica de Barrio del Castillo se observa en las siguientes tablas que este yacimiento presenta evidencias faunísticas de distintas épocas.

Para la época más antigua identificada en el yacimiento, el Neolítico, se han observado 11 restos de ovicaprinos y 67 restos indeterminados

que demuestran que el poblamiento de este yacimiento comenzó en el periodo Neolítico, aunque las evidencias han sido muy débiles y no se tratarán en este trabajo.

Frente al Neolítico, el periodo Calcolítico ha mostrado una importante acumulación ósea, con 3.978 restos de fauna en 148 Unidades Estratigráficas (UUEE) de contextos domésticos. Los resultados indican que caprinos y bovinos son las especies más representadas, tanto en número de restos como en el MNI. En particular, la vaca representa el 15.5% del NR y el 35% del MNI, mientras que los caprinos, representados por ovejas y cabras, suponen más del 16% de los restos y el 44% de los individuos. Otras especies documentadas en esta fase incluyen el cerdo y el perro, cuya representación es inferior al 5% del NR y al 10% del MNI en ambos casos. Finalmente, se han identificado especies silvestres como el caballo y el ciervo, aunque estas están escasamente representadas, con menos del 10% del MNI (tabla 1).

Tabla 1. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) de las 148 Unidades Estratigráficas de contextos domésticos de Barrio del Castillo en su fase Calcolítica.

Table 1. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) from the 148 stratigraphic units of domestic contexts in Barrio del Castillo during its Chalcolithic phase.

Calcolítico	NR	%	MNI	%MNI	Adulto	Infantil-juvenil	% Adultos
<i>Bos taurus</i>	618	15,5	81	35,1	75	6	92,6
<i>Equus</i> sp.	2	0,1	2	0,9	2		100,0
<i>Ovis / Capra</i>	629	15,8	95	41,1	83	12	87,4
<i>Ovis aries</i>	15	0,4	4	1,7	4		100,0
<i>Capra hircus</i>	13	0,3	3	1,3	2	1	66,7
<i>Canis familiaris</i>	118	3,0	10	4,3	8	2	80,0
<i>Sus domesticus</i>	54	1,4	20	8,7	20	2	91,0
<i>Cervus elaphus</i>	51	1,3	16	6,9	16		100,0
T. Grande	409	10,3					
T. Grande/Media	16	0,4					
T. Media	2	0,1					
T. Media/Pequeña							
T. Pequeña	145	3,6					
Indeterminado	1906	47,9					
Total	3978	100,0	231	100,0	208	23	

Tabla 2. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) pertenecientes a las 8 estructuras con depósitos del Barrio del Castillo en su fase Calcolítica.

Table 2. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) belonging to 8 structures with deposits from the Barrio del Castillo during its Chalcolithic phase.

Depósitos Calcolíticos	NR	%	MNI	%MNI	Adulto	Infantil	% Adulto
<i>Bos taurus</i>	280	9,4	5	12,8	5		100,0
<i>Ovis / Capra</i>	81	2,7	9	23,1	6	3	66,7
<i>Ovis aries</i>	12	0,4	1	2,6	1		100,0
<i>Canis familiaris</i>	1649	55,1	17	43,6	6	11	35,3
<i>Sus domesticus</i>	178	5,9	7	17,9	4	3	57,1
T. Grande	48	1,6		0,0			
T. Pequeña	734	24,5		0,0			
Indeterminado	10	0,3		0,0			
Total	2992	100,0	39	100,0	22	17	

Tabla 3. Representación faunística encontrada en los depósitos con animales representados completa o parcialmente y restos de otras especies asociados circunstancialmente a los depósitos. Donde Ad. (Adulto), Inf (Infantil). Y donde Bos hace referencia a vaca, Canis a perro, Sus a cerdo y OC a caprino.

Table 3. Faunal representation found in the deposits, with animals represented either completely or partially, and remains of other species circumstantially associated with the deposits. 'Ad.' refers to adult, 'Inf.' to infant. 'Bos' refers to cattle, 'Canis' to dog, 'Sus' to pig, and 'OC' to caprine.

	<i>Bos taurus</i>	<i>Canis familiaris</i>	<i>Ovis/ Capra</i>	<i>Ovis aries</i>	<i>Sus domesticus</i>	T. Grande	T. Pequeña	Indet.	Individuos que forman los Depósitos
UE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
10893	2		2		1	33			Asociado a Humano
11233			39	12		1	89		OC parcial (apendicular)
6834		188							<i>Canis</i> (ad) completo
6836		174							<i>Canis</i> (inf) completo
6976A		206							<i>Canis</i> (inf) completo
6976B		17	3				58		
6976C		5	2		4		234		<i>Canis</i> (ad) parcial
6976F		150							<i>Canis</i> (inf) completo
6976G		80					11		
6976H		226							<i>Canis</i> (ad) completo
6976I	10	20	13		2		115	1	<i>Canis</i> (1ad y 1inf) parcial
6976J		37			112		172		<i>Sus</i> (1 ad 1 inf), parcial
6976L		240							<i>Canis</i> (inf) completo
6976N		11							
6976O		107							<i>Canis</i> (inf) completo
6976P		31					1		
6976Q		139							<i>Canis</i> (inf) completo
6976R		2							
7551	183		1				2		<i>Bos</i> (ad) completo
8231	9	16	21		53	12	44		<i>Sus</i> (ad) parcial
8261	76					2	8	9	<i>Bos</i> (ad) parcial
Total	280	1649	81	12	178	48	734	10	

En contraste con lo observado en los contextos domésticos, en los depósitos destaca el perro como la especie más abundante, tanto en NR como en MNI. De este modo, representa más del 55% de la muestra y el 43,5% del MNI. Le siguen en importancia los caprinos, suidos y bovinos, dependiendo de si nos referimos al NR o al MNI, ya que los suidos ocupan el segundo lugar por NR, pero los caprinos lo son por el MNI (tabla 2). Es importante señalar que algunas especies representadas en la tabla 2 no corresponden a depósitos en el sentido estricto, sino que son huesos de animales asociados espacialmente a los depósitos, pero esos huesos de esos animales no tuvieron un tratamiento diferencial que permita relacionarlo como animales ritualizados. En la tabla 3 se muestran las especies y los individuos que realmente constituyeron depósitos, es decir, aquellos que aparecieron articulados o semiarticulados, o representados casi completos o parcialmente. Según este criterio, se observa que, para este periodo, solo el perro (con 10 individuos), la vaca y el cerdo (con dos individuos cada uno), y una oveja parcialmente conservada, constituyen depósitos. Los demás individuos son restos de animales con presencia circunstancial asociados a estos depósitos de fauna, o incluso a enterramientos de seres humanos, como el caso de la UE10893.

En función de estas observaciones, se aprecia una doble representación: dominada por vacas y rebaños mixtos de caprinos, formados por ovejas y cabras, en las unidades domésticas, lo que contrasta con la representación encontrada en los conjuntos considerados depósitos, donde domina el perro (tabla 1 frente a tablas 2 y 3).

En cuanto a los patrones de mortandad, también se observan diferencias entre ambos tipos de acumulaciones. En los conjuntos domésticos predominan los adultos en todos los taxones, lo que contrasta con la abundancia de individuos infantiles encontrados en los depósitos de perros y cerdos.

Así, parece observarse una tendencia diferencial entre los animales seleccionados para los

depósitos, siendo el perro la especie más representada, seguida por el cerdo y la vaca, que contrasta con la taxonomía general de los conjuntos domésticos, centrada en los usos mixtos de ganado de vacas con ovejas y cabras, los cuales, debido a sus patrones de mortandad, podrían estar asociados al aprovechamiento de recursos alternativos al consumo cárnico, como la leche o la lana, cuestión que por otro lado no se abordará en este trabajo y que será objeto de análisis en otros trabajos.

5. Representación faunística para la fase Protocogotas

Esta nueva fase de ocupación es la que ha proporcionado el mayor número de unidades estratigráficas y la mayor cantidad de restos. En total, se han observado 5.548 restos procedentes de 199 unidades estratigráficas en contextos domésticos. Entre ellos, destacan los bovinos, con la vaca como especie principal, seguida de los caprinos, representados por rebaños mixtos de oveja y cabra. A continuación, se encuentran otras especies domésticas como el perro y el cerdo, aunque con una presencia muy reducida. Tras la fauna doméstica, aparece la fauna salvaje, con el ciervo, el corzo, el jabalí, el caballo y el conejo con una representación colectiva inferior al 10% del MNI (tabla 4).

La muestra ósea de la fase Protocogotas se completa con las muestras encontradas en los depósitos de fauna de la tabla 5 con 5.982 restos repartidos en 19 unidades, entre las que destacan los cerdos y los bóvidos, aunque en el MNI y el NR los caprinos sean muy abundantes, en realidad muchos de sus restos son huesos asociados circunstancialmente a los restos de otros depósitos (tabla 5 y 6). En total en la tabla 6 puede observarse que hay 1 depósito de un gran bóvido (posiblemente uro), 12 de vaca, 9 de cerdo, 4 de ovejas o cabras, 1 de caballo y otro parcial con un cráneo de perro, lo cual da un claro protagonismo a la vaca y el cerdo que viene acompañado de un incremento de los caprinos frente al perro que solo ha mostrado un cráneo en un depósito.

Tabla 4. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) de las 199 Unidades Estratigráficas de contextos domésticos de Barrio del Castillo en su fase Protocogotas.

Table 4. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) from the 199 stratigraphic units associated with domestic contexts in the Barrio del Castillo during its Protocogotas phase.

Protocogotas	NR	%	MNI	% MNI	Adulto	Infantil	% Adultos
<i>Bos taurus</i>	1590	28,7	174	41,43	162	12	93,1
<i>Equus</i> sp.	8	0,1	7	1,67	6	1	85,7
<i>Ovis / Capra</i>	535	9,6	131	31,19	116	15	88,5
<i>Ovis aries</i>	57	1,0	16	3,81	16		100,0
<i>Capra hircus</i>	14	0,3	6	1,43	6		100,0
<i>Canis familiaris</i>	118	2,1	28	6,67	26	2	92,9
<i>Sus domesticus</i>	90	1,6	32	7,62	26	6	81,3
<i>Sus scorfa</i>	14	0,3	5	1,19			
<i>Cervus elaphus</i>	19	0,3	15	3,57			
<i>Capreolus capreolus</i>	2	0,0	2	0,48			
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	10	0,2	4	0,95			
T. Grande	569	10,3					
T. Media	40	0,7					
T. Pequeña	347	6,3					
Indeterminado	2135	38,5					
Total	5548	100,0	420		257	36	

Tabla 5. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) de las 19 Unidades Estratigráficas pertenecientes a 14 estructuras con depósitos del Barrio del Castillo en su fase Protocogotas.

Table 5. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) of the 19 stratigraphic units belonging to 14 structures with deposits from the Barrio del Castillo in its Protocogotas phase.

Protocogotas	NR	%	MNI	% MNI	Adulto	Infantil	% Adulto
<i>Bos taurus</i>	2677	44,8	16	29,6	14	2	87,5
<i>Equus</i> sp.	29	0,5	2	3,7	2		100,0
<i>Ovis / Capra</i>	406	6,8	17	31,5	11	6	64,7
<i>Ovis aries</i>	39	0,7	2	3,7	2	1	50
<i>Capra hircus</i>	242	4,0	1	1,9	1		100,0
<i>Canis familiaris</i>	16	0,3	2	3,7	2		100,0
<i>Sus domesticus</i>	2270	37,9	14	25,9	4	10	28,6
T. Grande	156	2,6					
T. Pequeña	32	0,5					
Indeterminado	115	1,9					
Total	5982	100,0	54		38	16	

Las diferencias entre los patrones taxonómicos de los conjuntos domésticos y los depósitos también se aprecian entre los patrones de mortandad, de modo que en la tabla 4 se observa que el conjunto doméstico está dominado por individuos adultos en todos los taxones, por el contrario, los conjuntos asociados a los depósitos tienen una mayor representación de individuos infantiles o juveni-

les en el cerdo y una disminución de los adultos en los caprinos (tabla 5 y 6). De hecho, los individuos que constituyen los depósitos de cerdo son en todos los casos infantiles y en los caprinos hay dos adultos y dos infantiles, y en la vaca hay 2 infantiles de los 8 depósitos que se han encontrado. Lo cual sugiere diferencias en el tratamiento de la fauna entre los conjuntos domésticos y los depósitos.

Tabla 6. Representación faunística encontrada en los depósitos con animales representados completa o parcialmente y restos de otras especies asociados circunstancialmente a los depósitos. Donde Ad. (Adulto), Inf (Infantil). y donde Bos hace referencia a vaca, Canis a perro, Sus a cerdo y OC a caprino. En el caso de los depósitos de Bos, en un caso se trata de *Bos primigenius* y no de *Bos taurus*.

Table 6. Faunal representation found in the deposits includes animals represented either completely or partially, along with remains of other species that are circumstantially associated with the deposits. 'Ad.' stands for adult, 'Inf.' for infant, and 'Bos' refers to cattle, 'Canis' to dog, 'Sus' to pig, and 'OC' to caprine. In the case of the Bos deposits, one instance corresponds to *Bos primigenius* rather than *Bos taurus*.

	Bos	Canis familiaris	Equus sp	Ovis/ Capra	Ovis aries	Capra hircus	Sus dom.	Cervus elaphus	T. Grande	T. Pequeña	Indet	Individuos que forman los Depósitos
UE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
2172	355	6		1					28		2	2 Bos ad. completo
2851	11		21						28			1 Equus ad. parcial
3344			8				277		9			1 Sus inf completo
3374A	3			8			245		1		2	1 Sus inf. Completo
3374B					160						36	1 Ovis inf. completa
3374C							541					1 Sus juv. completo
3374D						242	17					1 Cap. Ad. completa
3374E							285				40	1 Sus inf. completo
3376							46					1 Sus inf. parcial
3377-9							726				2	3 Sus inf. completos
4862	303											1 Bos ad. completa
5361-62	508 (uro)			14					67			1 Bos ad. completo
5962	743			2								1 Bos ad. completo
5983	94											1 Bos ad. parcial asociada a humano
6222	312			2								1 Bos ad. Completo Y 1 inf. parcial
6382	573			1								1 Bos ad. Completo Y 1 inf. completo
6581-2	7	10		6			4		4	4	20	1 Cabeza Canis
7413	50				29		158		12			1 Bos ad parcial y 1 Sus inf completo asociada a humano
8521 y 22	9				248				5			1 OC ad. Completo Y 1 inf. completo
8782	34										15	1 Bos ad parcial

6. Representación faunística para la fase Cogotas

La fase Cogotas es la última que ha mostrado una gran acumulación faunística en el yacimiento de Barrio del Castillo, con un total de 3.568 restos pertenecientes a 161 unidades estratigráficas asociadas a contextos domésticos. Entre las especies identificadas, destacan los rebaños mixtos de ovejas y cabras, seguidos por el ganado bovino, tanto en NR como en MNI. A continuación, se encuentran el cerdo y el perro, con valores muy similares en NR y MNI, ambos con frecuencias inferiores al 10%. Las especies silvestres representadas son el ciervo, el jabalí, el conejo y el gato montés, con valores bastante escasos, alcanzando únicamente el ciervo casi el 10 % de los individuos (tabla 7).

Junto a estos restos, se deben añadir los correspondientes a los depósitos, que en este

caso suman 625 restos procedentes de 6 (tablas 8 y 9). En los depósitos, los tres taxones más representados son el cerdo, seguido del perro y la vaca, en ese orden. En los depósitos, el cerdo, seguido del perro y la vaca, son los tres taxones principales, por este orden. Sin embargo, solo el cerdo muestra dos depósitos completos, mientras que en la vaca son dos depósitos parciales (tabla 9). La representación de los demás animales son asociaciones circunstanciales, bien a los propios depósitos de fauna o a enterramientos humanos como los de las UE4263 y UE 3149.

En cuanto a los patrones de mortandad, en las muestras de los conjuntos domésticos predominan los individuos adultos, aunque, a diferencia de los otros periodos, se observa un aumento de individuos infantiles en casi todas las especies (tabla 7). En los depósitos, los dos cerdos son individuos infantiles y las vacas, adultas (tabla 9).

Tabla 7. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) de las 161 Unidades Estratigráficas de contextos domésticos de Barrio del Castillo en su fase Cogotas.

Table 7. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) from the 161 Stratigraphic Units of domestic contexts in Barrio del Castillo during its Cogotas phase.

Cogotas	NR	%	MNI	% MNI	Adulto	Infantil	% Adulto
<i>Bos taurus</i>	311	8,7	90	24,93	70	20	77,78
<i>Equus</i> sp.	89	2,5	21	5,82	18	3	85,71
<i>Ovis / Capra</i>	532	14,9	118	32,69	81	37	68,64
<i>Ovis aries</i>	31	0,9	11	3,05	11		100
<i>Capra hircus</i>	7	0,2	2	0,55	1	1	50
<i>Canis familiaris</i>	74	2,1	32	8,86	28	4	87,5
<i>Sus domesticus</i>	86	2,4	29	8,03	19	10	65,52
<i>Sus scorfa</i>	2	0,1	1	0,28	1		100
<i>Cervus elaphus</i>	105	2,9	34	9,42	26	8	76,47
<i>Felis silvestris</i>	4	0,1	1	0,28	0	1	0
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	87	2,4	22	6,09	19	3	86,36
T. Grande	118	3,3					
T. Grande/Media	27	0,8					
T. Media	162	4,5					
T. Media/Pequeña	131	3,7					
T. Pequeña	915	25,6					
Indeterminado	887	24,9					
Total	3568	100,0	361	100	274	87	

Tabla 8. Representación taxonómica por NR (número de Restos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) de las 6 Unidades Estratigráficas pertenecientes a 7 estructuras con depósitos del Barrio del Castillo en su fase Cogotas.

Table 8. Taxonomic representation by NR (number of remains) and MNI (minimum number of individuals) from the 6 Stratigraphic Units belonging to 7 structures with deposits from the Barrio del Castillo during its Cogotas phase.

Cogotas	NR	%	MNI	% MNI	Adult	Infant	% Adult
<i>Bos taurus</i>	29	4,5	3	21,4	3		100,0
<i>Ovis / Capra</i>	2	0,3	1	7,1	1		100,0
<i>Canis familiaris</i>	73	11,4	3	21,4	3		100,0
<i>Sus domesticus</i>	478	74,6	6	42,9	1	5	16,7
<i>Cervus elaphus</i>	1	0,2	1	7,1	1		100,0
T. Grande	32	5,0					
T. Pequeña	26	4,1					
Total	641	100,0	14		9	5	

Tabla 9. Representación faunística encontrada en los depósitos con animales representados completa o parcialmente y restos de otras especies asociados circunstancialmente a los depósitos. Donde Ad. (Adulto), Inf (Infantil). y donde Bos hace referencia a vaca, Canis a perro, Sus a cerdo y OC a caprino.

Table 9. Faunal remains found in the deposits include animals represented either completely or partially, along with remains of other species that are circumstantially associated with the deposits. 'Ad.' stands for adult, 'Inf.' for infant, and 'Bos' refers to cattle, 'Canis' to dog, 'Sus' to pig, and 'OC' to caprine.

	<i>Bos taurus</i>	<i>Canis familiaris</i>	<i>Ovis/ Capra</i>	<i>Ovis aries</i>	<i>Sus domesticus</i>	<i>Cervus elaphus</i>	T. Grande	T. Pequeña	Indet	Depósitos
UE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
2601	11						27			1 Bos ad (parcial)
3149	4									Restos de Bos asociado a resto humano (casual)
3223	14									1 Bos ad (parcial) extremidad delantera
4263			1						2	Restos de OC asociado a resto humano (casual)
8401		24	1		170	1	2	8		1 Sus infantil completo
8406 y 07		49			292					1 Sus infantil completo

7. Recapitulación

Desde una perspectiva taxonómica, a lo largo de la secuencia se observan varios fenómenos que pueden resumirse en las siguientes ideas:

1. Predominio de la fauna doméstica: A lo largo de toda la secuencia, se destaca el predominio de la fauna doméstica sobre la fauna salvaje. La fauna salvaje está re-

presentada por frecuencias inferiores al 10% de los individuos en todos los casos, lo cual coincide con los hallazgos de otros yacimientos de la Edad del Bronce y el Calcolítico en el interior de la Meseta, como han señalado diversos autores (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994; Liesau von Lettow-Vorbeck *et al.*, 2004; Liesau von Lettow-Vorbeck, 2017; Estaca-Gómez *et al.*, 2023b, 2024a; Galindo-Pellicena *et al.*, 2025).

2. Predominio de caprinos y bovinos en los contextos domésticos: En las acumulaciones de los contextos domésticos, destacan los restos de caprinos, representados por ovejas y cabras, seguidos de la vaca. A continuación, aparecen otras especies como el cerdo y el perro, con frecuencias bajas, inferiores al 10% de los individuos en los tres periodos. Esta representación contrasta con lo observado en los depósitos intencionales de fauna, donde se encuentran animales completos, articulados o semiarticulados. En estos depósitos, el perro destaca en el Calcolítico, mientras que el cerdo y la vaca son prominentes en las fases Protocogotas y Cogotas. Estas observaciones encajan con las observaciones realizadas por Estaca-Gómez *et al.* (2023b) para el sector Calcolítico de Aldovea, así como el de la Edad del Bronce (Estaca-Gómez *et al.*, 2024a). De este modo, para el sector de Aldovea en el Calcolítico destacan los depósitos de cerdo y perro, que porcentualmente se reducen para la Edad del Bronce en la que la vaca gana en importancia y los caprinos también (Estaca-Gómez *et al.*, 2024a), algo parecido a lo observado en la fase de Protocogotas en este trabajo.

Estos patrones, unidos a los perfiles de mortandad caracterizados en perro y cerdos por la abundancia de infantiles, sugieren un carácter simbólico asociado al perro y al cerdo en el Calcolítico y la Edad del Bronce, el cual podría ser extensivo a la vaca, según reflejan la presencia de varios depósitos de esta especie a lo largo de los tres periodos y especialmente en la Edad del Bronce, como reflejan sus depósitos en Aldovea (Estaca-Gómez *et al.*, 2024a) y en la fase Protocogotas descrita en este trabajo.

3. Patrones de mortandad y simbología: Aunque ya se han hecho alusiones a los patrones de mortandad, hay que mencionar que éstos refuerzan el carácter simbólico de los depósitos. En particular, durante la fase calcolítica, el perro y, en toda la secuencia, el cerdo, muestran que la mayo-

ría de los individuos en los depósitos son infantiles, lo cual contrasta con los patrones de mortandad observados en los conjuntos domésticos, donde predominan los adultos. Únicamente el ganado vacuno, en ambos tipos de acumulaciones, presenta un predominio de ejemplares adultos, lo que evidencia el papel diferencial que los bovinos debieron desempeñar en estas sociedades.

8. Valoraciones y propuestas futuras

Este trabajo supone la documentación de un nuevo asentamiento con evidencias faunísticas del Calcolítico y la Edad del Bronce que incluyen dos tipos de acumulaciones distintas con un claro significado diferenciado. Los conjuntos domésticos muestran conjuntos dominados por caprinos y bovinos cuya representatividad puede oscilar porcentualmente, pero que globalmente suelen mostrar un predominio de caprinos seguido de bovinos en la mayor parte de los sitios, así lo reflejan diversidad de sitios como Aguas Vivas sector (Yravedra, 2010; García Somoza, 2010), La Esgaravita (Martínez Navarrete, 1979), Las Matillas (Díaz del Río, 1997), Camino de las Yeseras (Liesau von Lettow-Vorbeck, 2011, 2017; Ríos *et al.*, 2016), Aldovea (Estaca-Gómez *et al.*, 2023b, 2024a), El Capricho (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994), Loma de Chiclana (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994), El Tejar del Sastre (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994), Angosta de los Mancebos (Priego Fernández, 1994), Las Cabeceras (Moreno-García y Cantalapiedra, 2021), El Espinillo (Cerdeño y Herráez, 2000), El Ventorro (Priego y Quero, 1992), La Fábrica de Euskalduna (Morales y Liesau von Lettow-Vorbeck, 1994), El Barranco del Herrero (Yravedra, 2007), Juan Barbero (Molero *et al.*, 1984), Zanjillas (Estaca-Gómez *et al.*, 2023a), Huerta de los Cabreros (Liesau von Lettow-Vorbeck, 1998), Val de la Viña (Yravedra, 2011), Merinas y Velilla (Yravedra, 2005), Castillejo del Bonete (Galindo-Pellicena *et al.*, 2025), Soto de Henares (Galindo-Pellicena *et al.*, 2009), La Loma del Lomo (Valiente Malla,

2001), la Fábrica de Ladrillos de Getafe (Liesau von Lettow-Vorbeck *et al.*, 2004), Pista de Motos (Estaca-Gómez *et al.*, 2024b), y otros. Sin embargo, muchos de estos conjuntos presentan también acumulaciones faunísticas con unas características particulares que confieren a ciertas UE un carácter especial que se los ha considerado Depósitos intencionales.

Estos depósitos han sido objeto de análisis específicos en algunos trabajos como los de Blasco *et al.* (2008), Liesau von Lettow-Vorbeck (2017), Valiente-Malla (2001) o Estaca-Gómez *et al.* (2023b, 2024a, b), los cuales muestran un carácter bastante diferenciado en cuanto a la representación taxonómica de los animales que constituyen estos depósitos, destacando el papel del perro y el cerdo especialmente durante el Calcolítico. Sin embargo, hay bastantes aspectos que aún deben ser abordados con estudios más específicos que podrán desarrollarse con análisis de más sitios, o estudios más especializados.

El caso del Barrio del Castillo, con varios depósitos de distintas cronologías, aporta nueva información que podrá añadirse al corpus de datos considerado por otros investigadores (Liesau von Lettow-Vorbeck, 2017), y permiten avanzar en el tratamiento diferencial de estos depósitos a lo largo del tiempo, ya que como se menciona en Estaca-Gómez *et al.* (2023b), parece percibirse una tendencia hacia una evolución de los depósitos, en los que el perro tiene un papel importante en el mundo simbólico del Calcolítico que va perdiendo peso a medida que avanza la Edad del Bronce y con ello el desarrollo de las sociedades agropecuarias. De este modo, es posible que a medida que el perro pierde protagonismo otras especies como el cerdo, los caprinos y los bovinos adquieren mayor importancia.

Los datos de Barrio del Castillo en sus fases calcolítica y Protocogotas apoyan esta hipótesis, de este modo, en la fase Protocogotas el perro solo representa un depósito, al contrario que el predominio que tenía en la fase calcolítica. Por el contrario, los caprinos suben a 4 depósitos, el bovino se convierte en la espe-

cie con más depósitos y el cerdo mantiene su importancia.

En todo caso estos datos son de momento insuficientes como para extraer una generalidad, pero se ajustan a lo observado en Aldovea Calcolítico y Bronce (Estaca-Gómez *et al.*, 2023b, 2024a), donde el perro y el cerdo predominan en los depósitos del Calcolítico y pierden importancia para el Bronce, al tiempo que caprinos y bovinos aumentan su representatividad en el Bronce. Habrá que esperar a estudiar más conjuntos para poder valorar con mayor robustez estas ideas.

Bibliografía

- Barone, R (1986). Anatomie comparée des mammifères domestiques 1. Ostéologie- Paris Laboratoire d'Anatomie, Ecole Nationale Vétérinaire, 879 pp.
- Blasco, C., Liesau, C., Ríos, P., Vega, J., Menduiña, R., Blanco, J. F., Baena, J., Herrera, T., Petri, A., Gómez, J. L. (2008). Un espacio compartido por vivos y muertos: El poblado calcolítico de fosos de Camino de las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid). *Complutum*, 18 (1), 97-120.
- Blázquez-Orta, R., Rodríguez, L., Major González, M., Estaca-Gómez, V., De Gaspar I., Feranec, R. S., Carretero J. M., Arsuaga, J. L., García, N., (2024). Dogs from the past: Exploring morphology in mandibles from Iberian archaeological sites using 3D geometric morphometrics, *Journal of Archaeological Science: Reports*, Volume 57, 104660, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104660>.
- Boesseneck, J. (1969). Osteological Differences between Sheep (*Ovis aries* Linné) and Goats 75 *Cuaternario y Geomorfología* (2023), 37 (3-4), 59-76 (*Capra hircus* Linné). En: D. Brothwell y Higgs (Eds). *Science in Archaeology*. Thames y Hudson, 331-358.
- Cerdeño, M. E., Herráez, E. (2000). Estudio de la fauna del Yacimiento del Espinillo (Villaverde, Madrid). En E. Baquedano, E., de la Torre, M. P., A. B. Marín (Eds.), *El Espinillo: un yacimiento calcolítico y de la edad del bronce en las terrazas del Manzanares*. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 8, 141-149.
- Díaz del Río, P. (1997). Campesinado y gestión pluriactiva del ecosistema: Un marco teórico para

- el análisis del III y el II milenios a.C. en la Meseta peninsular. *Trabajos de Prehistoria*, 54(2), 99-109. <https://doi.org/10.3989/tp.1997.v54.i2.368>
- Estaca-Gómez, V., López, G., Morín, J. y Yravedra, J. (2023a). Estudio Zooarqueológico y tafonómico del Yacimiento Calcolítico Las Zanjillas (Torrejón de Velasco, Madrid). *Munibe Antropoligía-Arkeología*, 74, 87-104. <https://doi.org/10.21630/maa.2023.74.12>
- Estaca Gómez, V., de la Torre García, A., Señorán Martín, J. M., Martínez Granero, A. B., Major González, M. y Yravedra Sainz de los Terreros, J. (2023b). Aprovechamiento de recursos animales en el yacimiento calcolítico precampañiforme de Aldovea (Torrejón de Ardoz, Madrid). *Complutum*, 34(1), 31-55. <https://doi.org/10.5209/cmpl.88938>
- Estaca Gómez, V., de la Torre, A., Tardaguila-Giacomozzi, S., Major González, M. (2024a). Zooarchaeological study of Aldovea (Torrejón de Ardoz, Madrid), a new Bronze Age archaeological site from the Iberian Peninsula inland. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 57, 104616, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104616>
- Estaca Gómez, V., Cruz-Alcázar, R., Tardaguila-Giacomozzi, S. y Yravedra, J. (2024b). New Evidence for the Bronze Age Zooarchaeology in the Inland Area of the Iberian Peninsula through the Analysis of Pista de Motos (Villaverde Bajo, Madrid). *Animals*, 14(3), 413. <https://doi.org/10.3390/ani14030413>
- Fernández, H., 2001. Osteologie comparee des petties ruminants eurasiatiques sauvages et domestiques (genres *Rupicapra*, *Ovis*, *Capra* et *Capreolus*): diagnose differentielle du squelette apendiculaire Université de Geneva, Facultat de Ciencias.
- Galindo-Pellicena, M. A., Pérez-Romero, A., Francés-Negro, M., Álvarez, A., Iriarte, E., Arsuaga, J. L. y Carretero, J. M. (2017). The equids from the Bronze Age levels of the El Portalón site (Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International*, 433, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.120>
- Galindo-Pellicena, M. Á., San José, V., Sánchez, M., Sánchez, M., Lorente, M. (2009). Soto del Henares. Aproximación a un poblado de recintos. En N. Benet, J. E. Benito López (Eds.), *Actas de las Cuartas Jornadas de Patrimonio Arqueológico de la Comunidad de Madrid*. Museo Arqueológico Regional, 263-271.
- Galindo-Pellicena, M.Á., Pérez-Romero, A., Gómez-Felipe, A., Romero-Ruiz, M., Blázquez-Orta, R., Andreu-Alarcón, S., & Benítez de Lugo Enrich, L. (2025). Animals for the Deceased: Zooarchaeological Analysis of the Bronze Age in the Castillejo del Bonete Site (Terrinches, Ciudad Real, Spain). *Animals*, 15(23), 680. <https://doi.org/10.3390/ani15050680>
- García Somoza, P. (2010). Zooarqueología de los sectores 0 y Vía Pecuaria del yacimiento Ampliación Aguas Vivas. En V. Cantalapiedra-Jiménez, A. Ísmodes-Ezcurra (Eds.), *El yacimiento arqueológico de Aguas Vivas*. Prehistoria Reciente en el Valle del Río Henares (Guadaluja). La Ergástula Ediciones, 133-161.
- Hilson, S. (1992). *Mammal Bones and Teeth: An introductory guide to methods of identification*. London Institute of Archaeology, 119 pp.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C. (1998). Análisis faunístico de los yacimientos de “Huerta de los Cabreros”, “Cantera de la Flamenca” y “Puente Largo del Jarama” (Aranjuez, Madrid). En K. Muñoz (Ed.), *El Poblamiento desde el Neolítico Final a la Primera Edad del Hierro en la Cuenca Media del río Tajo*. UCM, 1418-1444.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C. (2011). La Arqueozoología, un elemento clave en la concepción espacial de Camino de las Yeseras. Los restos de mamíferos del ámbito doméstico y funerario. En C. Blasco, C. Liesau, P. Ríos (Eds.), *Yacimientos calcolíticos con Campaniforme de la región de Madrid*. Nuevos estudios. Patrimonio Arqueológico de Madrid, 6. Universidad Autónoma de Madrid, 167-170.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C. (2017). Fauna in Living and Funerary Contexts of the 3rd Millennium BC in Central Iberia. *Key Resources and Sociocultural Developments in the Iberian Chalcolithic*, 107-128.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C., García García, J., Carrión Santafé, E., Blasco Bosqued, C. (2004). El depósito ritual del fondo 76-78 de La Fábrica de Ladrillos (Getafe, Madrid). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 30-31, 47-56. <https://doi.org/10.15366/cupauam2004.30.003>
- Major-González, M., Señorán Martín, J. M., López-López, G., Martínez Granero, A. B. y Izquierdo Zamora, A. (2019). Los yacimientos prehistóricos de Aldovea. Torrejón de Ardoz, Madrid. *Actas de la RAM*, 50-59.
- Martínez Navarrete, M. I. (1979). El yacimiento de La Esgaravita (Alcalá de Henares, Madrid) y la cuestión de los llamados fondos de cabaña del Valle del Manzanares. *Trabajos de Prehistoria*, 36, 83-118.

- Molero Gutiérrez, G., Brea López, P., y Bustos Pretel, V. (1984). Estudio faunístico de la cueva de Juan Barbero (Tielmes, Madrid). *Trabajos de Prehistoria*, 41, 105-112.
- Morales, A. y Liesau von Lettow-Vorbeck, C. (1994). Arqueozoología del Calcolítico en Madrid. Ensayo crítico de síntesis. En C. Blasco (Ed.), *El Horizonte Campaniforme de la región de Madrid en el centenario de Ciempozuelos*. Madrid, 227-247.
- Moreno-García, M. y Cantalapiedra, V. (2021). Sobre el aprovechamiento de recursos de origen animal en la región de Madrid durante el III milenio cal. AC: la fauna de los contextos calcolíticos del Sector 3 de Las Cabeceras (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología (BSAA)*: LXXXV-LXXXVI, 177-218. <https://doi.org/10.24197/ba.0.2020.177-218>
- Pales, L., Lambert, C. (1971). *Atlas osteologique pour servir à l'identification des mammifères du quaternaire*. Éditions du Centre national de la recherche scientifique. Francia, 177 pp.
- Payne, S. (1985). Morphological distinction between the mandibular teeth of young sheep, ovis and goats, capra. *Journal of Archaeological Science*, 12, 139-147. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(85\)90058-5](https://doi.org/10.1016/0305-4403(85)90058-5)
- Priego Fernández, C. M. (1994). El yacimiento de Angosta de los Mancebos. Nueva contribución al conocimiento de la Edad del Bronce madrileño. *Estudios De Prehistoria y Arqueología Madrileños*, 9, 91-97.
- Priego, M^a.C. y Quero, S. (1992): El Ventorro, un poblado prehistórico de los albores de la metalurgia. *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas* 8 (monográfico). Madrid, 381 pp.
- Prummel, W. (1988). Distinguishing features in postcranial skeletal elements of cattle, Bos primigenius, Bos taurus and red deer, Cervus elaphus. En Schiften, aus der Archaeologisch-Zoologischen Arbeitsgruppe. Schleswig-Kiel. Heft 12, 5-52.
- Prummel, W., Frisch, H. J. (1986). A guide for the distinction of species, sex and body size in bones of sheep and goat. *Journal Archaeological Science*, 13 (6), 567-577. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(86\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0305-4403(86)90041-5)
- Rolett, B.V, Chiu, M. (1994). Age Estimation of Prehistoric Pigs (*Sus scrofa*) by Molar Eruption and Attrition. *Journal of Archaeological Science*, 21, 377-386. <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1036>
- Ríos, P., Daza, A., Ortiz, I., de Chorro, M. Á. y Liesau, C. 2016. La Cabaña 'E' del yacimiento de Camino de las Yeseras. Nuevos datos sobre el espacio doméstico en un Poblado de Hoyos. *Anejos a Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, (2), 73-105. <https://doi.org/10.15366/ane2.blasco2016.008>
- Schmid, E. (1972). *Atlas of Animal Bones for Prehistorians, Archaeologist and Quaternary Geologist*. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, London, New York, 156 pp.
- Valiente Malla, J. (2001). La Loma del Lomo III, Cogolludo Guadalajara. *Patrimonio Histórico. Arqueología*. Castilla la Mancha, 17, 304 pp.
- Valiente Malla, J. (2003). El poblado prehistórico de La Loma del Lomo (Cogolludo, Guadalajara). La organización del hábitat. *Complutum*, 2003, Vol. 14, 107-123.
- Yravedra, J. (2005). Informe arqueozoológico. En J. Morín, I. Expósito, Audema publicaciones (Eds.), *Los yacimientos de Merinas y Velilla (Mocejón, Toledo). Un modelo de estudio para la Edad del Bronce en la Provincia de Toledo. Estudios complementarios: Los yacimientos de Val de la Viña (Guadalajara) y Baños del Emperador (Ciudad Real)*. *Memorias Arqueológicas AUDEMA*, 166-174.
- Yravedra, J. (2007). Arqueozoología y Tafonomía del Yacimiento Calcolítico del Barranco del Herrero (San Martín de la Vega, Madrid). *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas*, 14-15-16, 427-440.
- Yravedra, J. (2010). Zooarqueología de los sectores 1 y 2 del Yacimiento Ampliación Aguas Vivas. En V. Cantalapiedra-Jiménez, A. Ismodes-Ezcurra (Eds.), *El yacimiento arqueológico de Aguas Vivas. Prehistoria Reciente en el Valle del Río Henares (Guadalajara)*. La Ergástula Ediciones, 121-132.
- Yravedra, J. (2011). Estudio Arqueozoológico. En G. López, J. Morín, I. Rus, E. M. De Aragón (Eds.), *Recuperando el Pasado. La Prehistoria Reciente en la Depresión Prados-Guatén*, Audema Editorial, 14, 209-216.

Recibido el 1 de abril de 2025

Aceptado el 19 de septiembre de 2025



The conversion into calendar dates of radiocarbon ages of marine organisms collected on the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz - the new Marine20 calibration curve

La conversión a fechas de calendario de las edades radiocarbónicas de organismos marinos recogidos en la costa andaluza del Golfo de Cádiz: la nueva curva de calibración Marine20

Soares, A.M.M.⁽¹⁾; Valério, P.⁽¹⁾

(1) Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Campus Tecnológico e Nuclear, Estrada Nacional 10 (km 139,7), 2695-066 Bobadela LRS, Portugal.

E-mails: amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt; pvalerio@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Abstract

Recently, a new calibration curve (Marine20) for marine radiocarbon dates has been published. Since the modelling carried out for its setting up, as well as the database used, are different from those used for the previous curves (Marine04, Marine09, Marine13), it becomes necessary to calculate new values of the marine reservoir effect ($\Delta_{20}R$) for the oceanic region under study. This work precisely presents the new $\Delta_{20}R$ values for the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz, determined using the previously published database (i.e. conventional ^{14}C dates of pairs of coeval samples that lived in different carbon reservoirs, namely in the marine and in the terrestrial biospheres). Users of the Marine20 curve are thus provided with the most reliable values so far determined for this Atlantic coast.

Keywords: Marine reservoir effect, Coastal upwelling, Azores Front, Azores Current, Holocene.

Resumen

Recientemente se ha publicado una nueva curva de calibración (Marine20) para dataciones de radiocarbono de muestras marinas. Dado que la modelización realizada para su configuración, así como la base de datos utilizada, fueron diferentes a las empleadas para las curvas anteriores (Marine04, Marine09, Marine13), se hace necesario calcular los nuevos valores del efecto reservorio radiocarbónico marino ($\Delta_{20}R$) para la región oceánica en estudio. Este trabajo presenta precisamente los valores de $\Delta_{20}R$ para la costa andaluza del Golfo de Cádiz, determinados utilizando la base de datos previamente publicada (datas convencionales de ^{14}C de



pares de muestras coetáneas que vivieron en diferentes reservorios de carbono, concretamente en la biosfera marina y en la terrestre). De esta forma, los usuarios de la curva Marine20 disponen de los valores más fiables determinados hasta la fecha para esta costa atlántica.

Palabras clave: Efecto reservorio marino, Afloramiento costero, Frente de las Azores, Corriente de las Azores, Holoceno.

1. Introduction

If radiocarbon (^{14}C) dates from marine biosphere samples are to be used to build up accurate and reliable absolute chronologies for a given oceanic region and/or for a given time interval or epoch, prior research is required, not only regarding the so-called marine or oceanic reservoir effect (ΔR), but also regarding the oceanographic conditions prevailing in the region under study. As is well known, the geochemical reservoir constituted by the ocean is deficient in ^{14}C compared to the geochemical reservoir constituted by the atmosphere. Due to this deficiency in ^{14}C there is a reservoir age for the ocean, i.e. there is a difference in ^{14}C ages between contemporary samples of marine and terrestrial origin. This age difference, also called the ^{14}C reservoir age - $R(t)$ - will therefore be defined, according to Stuiver *et al.* (1986), as the difference between the conventional ^{14}C dates of a pair of contemporary samples of organisms that lived in different carbon reservoirs (atmosphere and ocean). Stuiver and collaborators proposed a value of 405 ^{14}C years for the age difference between the surface layer of the global ocean and the atmosphere. They modelled the response of this surface layer to temporal variations in atmospheric ^{14}C content using a box-diffusion model of ocean-atmosphere interaction (Oeschger *et al.*, 1975). Over time, several calibration curves for ^{14}C dates of marine samples built up using the same box-diffusion model have been published, namely Marine04 (Hughen *et al.*, 2004), Marine09 (Reimer *et al.*, 2009) and Marine13 (Reimer *et al.*, 2013).

However, there are atmospheric and/or oceanographic phenomena on a regional and

even local scale that can cause a difference in the ^{14}C content of the regional surface seawater and the surface seawater of the ocean as a whole. One of these phenomena is the occurrence of upwelling (or coastal upwelling), which consists on the coming to the surface of deep waters that are more deficient in ^{14}C than surface waters. Upwelling is a regional phenomenon, the intensity of which varies from region to region. Taking into account this fact or other specific features from a given oceanographic region, a parameter ΔR , the so-called reservoir effect of that oceanographic region, must be determined prior to the use of a calibration curve for ^{14}C dates of marine samples. ΔR is thus defined as the difference between the reservoir age of the mixed layer of the oceanic region under study and the reservoir age of the mixed layer of the ocean considered as a whole.

In regions with active upwelling, the intensity of this phenomenon, which is a wind-driven process, can vary over time, so it is predictable that the values of ΔR may also vary over time. Along the western Atlantic coasts of Europe coastal upwelling has shown significant activity during the Holocene only on the coasts of the Iberian Peninsula, particularly between Cape Finisterre and Cape S. Vicente, and although with less intensity along the Barlavento (windward) coast of the Algarve, appearing sporadically on the Sotavento (leeward) coast. Research on the marine reservoir effect in the Atlantic coast of the Iberian Peninsula, taking into account not only its variability along time and region, but also its correlation with Iberian coastal upwelling and climatic change, has allowed some synthesis on the phenomenon and, consequently, on the marine reservoir effect (Martins, 2014; Martins and Soares,

2013; Soares, 1993, 2005, 2010, 2011, 2015; Soares and Dias, 2006a, 2006b, 2007; Soares and Martins, 2009, 2010; Soares *et al.*, 2016). The quantification of ΔR is of crucial importance for the correct calibration of ^{14}C ages of marine samples. Moreover, the results of previous research have shown a good correlation between ΔR values and the oceanographic conditions present in the corresponding regions.

The western Portuguese coast, which stretches from the mouth of the River Minho to the Cape S. Vicente (Figure 1), is characterized by an intense upwelling phenomenon. The weighted mean of the ΔR values determined, either with historically dated marine shells (modern value) or with pairs of archaeological samples, are in agreement with the current state of knowledge about the intensity and frequency of the upwelling phenomenon in this stretch of coast: high values of ΔR ($\Delta_{13}\text{R}_{\text{modern}} = +250 \pm 25$ ^{14}C yr) in accordance with an intense upwelling nowadays and a mean value of $\Delta_{13}\text{R}$ of $+95 \pm 15$ ^{14}C yr for the time interval between 3000 to 600 BP, suggesting a significant fluctuation with time in the strength of the phenomenon (Soares and Dias, 2006b).

The western stretch of the southern Iberian Atlantic coast, the so-called Barlavento region of Algarve, located between Cape S. Vicente and Cape Santa Maria (Figure 1), is influenced by the dynamic effect of Cape S. Vicente, which allows the upwelled water present along the western Portuguese coast to move southeastward and eastward, creating a quasi-permanent upwelling area around the cape. A $\Delta_{13}\text{R}$ weighted mean value of $+69 \pm 17$ ^{14}C yr was determined in previous research for this coastal region, which is consistent with the prevailing oceanographic conditions (Soares, 2015).

The central part of the southern Iberian Atlantic coast, the Sotavento region of Algarve, located between Cape Santa Maria and the mouth of the River Guadiana (Figure 1), shows a minor upwelling area offshore to the

east of Cape Santa Maria when the prevailing winds in the Gulf of Cadiz are from west. A $\Delta_{13}\text{R}$ weighted mean value of -26 ± 14 ^{14}C yr was determined, which is also consistent with the prevailing oceanographic conditions (Soares, 2015).

In the eastern region of the southern Iberian Atlantic coast, the Andalusian coast (Figure 1), the wind-driven coastal upwelling is nonexistent due to the configuration of this coast. A $\Delta_{13}\text{R}$ weighted mean value of -108 ± 31 ^{14}C yr was determined in previous research, which is consistent with an absent coastal upwelling, suggesting some stratification of the water column (Soares, 2015).

The Sotavento coastal region can therefore be considered as a transition zone between an area where upwelled waters are important, due to the influence of the western coastal upwelling system, and an area where a wind-driven coastal upwelling regime is nonexistent. The ΔR values mentioned above determined for the three regions are consequently in accordance with the prevailing oceanographic conditions. Positive $\Delta_{13}\text{R}$ values can be correlated with a strong upwelling, while low or very negative values correspond to a weak or even nonexistent upwelling. As a measure of the regional enhancement or depletion of ^{14}C , the parameter ΔR can also be used as an upwelling proxy providing a significant signal of the upwelling activity (Difffenbaugh *et al.*, 2003).

2. The new Marine20 calibration curve

A new calibration curve for ^{14}C dates of marine samples was recently published - Marine20 (Heaton *et al.*, 2020). Unlike the calibration curves mentioned above, the modelling used to build up this latest curve did not use a "box-diffusion" model, but rather a more robust model, the BICYCLE model, which, in addition to considering the variability of ^{14}C content in the atmosphere, also incorporates time-dependent variations in the global carbon cycle. As a result of these changes, the

value obtained with the Marine20 curve for any ΔR ($\Delta_{20}R$) differs by more than one hundred ^{14}C years from that calculated with the Marine13 curve ($\Delta_{13}R$), the difference being approximately -150 ^{14}C years at 0 cal BP (Heaton *et al.*, 2022, Fig. 1). It should also be noted that the calibration of radiocarbon dates from marine samples using either the Marine13 or Marine20 curves leads to non-significantly different results for Holocene samples, provided that the respective ΔR values are used. However, this is only valid for ages between 10500 cal BP and the present, but is not the case for the time interval 55000 - 10500 cal BP, nor for samples from the polar regions older than 11.5 ka cal BP (Heaton *et al.*, 2022, Fig. 1). Furthermore, instead of the value of 405 ^{14}C years for the age difference, between

the surface layer of the global ocean and the atmosphere, used in the “box-diffusion” model for the Marine13, a mean value of 585 ^{14}C years would better fit the difference between the ages of the samples from the two geochemical reservoirs when using the Marine20 curve (Heaton *et al.*, 2020, Figs. 9A and 9B; 2022, p. 259).

Thus, for a reliable and accurate use of the Marine20 curve it is necessary to calculate the $\Delta_{20}R$ values, since the use of the $\Delta_{13}R$ values with the new calibration curve leads to calibrated dates (calendar dates) with significant errors. To estimate the $\Delta_{20}R$ values from the ^{14}C dating of a coeval pair of samples from the terrestrial biosphere and the marine biosphere or from the ^{14}C date of a historically dated sample from the marine biosphere,



Figure 1: Location of the coastal regions analysed and sampled archaeological sites referred in Table 1. Archaeological sites: 1- Papa Uvas; 2 - El Eucaliptal; 3 - Niebla; 4 - La Viña.

Figura 1: Situación de los sectores costeros analizados y sitios arqueológicos muestreados citados en la Tabla 1. Sitios arqueológicos: 1- Papa Uvas; 2 - El Eucaliptal; 3 - Niebla; 4 - La Viña.

the process/calculation provided by the link <http://calib.org/marine/> can be used (Reimer and Reimer, 2017).

The $\Delta_{20}\text{R}$ values determined for the western Portuguese coast as well as for the southern coast of Algarve have already been published (Soares and Valério, 2023-2024, Quadro 8, Fig. 2). The calculated mean $\Delta_{20}\text{R}$ values, using pairs of archaeological samples, are as follows: Western coast $\Delta_{20}\text{R} = -100 \pm 17$ ^{14}C yr ($\Delta_{13}\text{R} = +95 \pm 15$ ^{14}C yr), Barlavento coast $\Delta_{20}\text{R} = -118 \pm 14$ ^{14}C yr ($\Delta_{13}\text{R} = +69 \pm 17$ ^{14}C yr) and Sotavento coast $\Delta_{20}\text{R} = -192 \pm 14$ ^{14}C yr ($\Delta_{13}\text{R} = -26 \pm 14$ ^{14}C yr). It can then be noted that a strong upwelling can be correlated with positive $\Delta_{13}\text{R}$ values or with $\Delta_{20}\text{R}$ values higher than -150 ^{14}C yr, while a weak or nonexistent upwelling correspond to low or negative values of $\Delta_{13}\text{R}$ or to $\Delta_{20}\text{R}$ values lower than -150 ^{14}C yr.

It is therefore advisable to use the Marine20 curve since this new curve was built up from a more robust database and modelling, also considering a greater number of variables that contribute to the variability of the ^{14}C deficiency of the surface layer of the ocean over time.

3. Material and methods

3.1. Sampling

Pairs of closely associated archaeological samples (marine shells/bones) collected from a series of Andalusian archaeological sites (Fig. 1), namely from Neolithic contexts of Papa Uvas (Soares and Martin de la Cruz, 1995), Late Neolithic/Early Chalcolithic contexts of La Viña (Ruiz Gil and Ruiz Fernández, 1987; Ruiz Fernández and Ruiz Gil, 1989), also from a Roman environment at El Eucaliptal (Campos Carrasco *et al.*, 1999b) and from the Historic Center of Niebla (Campos Carrasco *et al.*, 1999a, 2001; Pérez Macías *et al.*, 1997) were radiocarbon dated. Each pair was collected from the same level in a restricted area that corresponds to a well defined archaeological context. A detailed description of the samples (mammal bones and marine shells) can be found in Soares (2005, pp. 142-149).

3.2. Experimental and data processing

Analytical procedures are also described elsewhere (Soares, 2005, Soares and Dias, 2006, 2007). Radiocarbon dates were calculated in accordance with the definitions recommended by Stuiver and Polach (1977). $\Delta_{20}\text{R}$ values were determined using the link <http://calib.org/marine/> as mentioned above, i.e. converting the ^{14}C date of the terrestrial sample into a marine model age, which is then subtracted from the associated marine shell ^{14}C age to yield $\Delta_{20}\text{R}$.

4. Calibration of radiocarbon dates of marine samples collected on the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz

4.1. Results

Table 1 presents all the data carried for this work, including the weighted average of the $\Delta_{20}\text{R}$ values determined for the nine pairs of closely associated samples from the four archaeological sites mentioned above. Each pair, terrestrial and marine, was recorded from a specific archaeological context radiocarbon dated using both samples, which were distributed over the time interval 4600 - 200 BP (terrestrial samples). The calibrated ages presented in this table correspond to those determined with the respective terrestrial samples using the IntCal20 curve (Reimer *et al.*, 2020). The $\Delta_{13}\text{R}$ values obtained with the Marine13 curve (see Soares, 2015, Table 1) are also shown, in order to get an easier comparison between the values obtained for the marine reservoir effect on the Andalusian Atlantic coast with the two quantifications. The bibliographic references in Table 1 are those where the dated archaeological contexts are described and interpreted.

4.2. Discussion and final remarks

The high $\Delta_{20}\text{R}$ values ($\Delta_{20}\text{R} > -150$ ^{14}C yr) or the positive values of $\Delta_{13}\text{R}$ determined for the interval 4400-4000 BP seem to be consistent with a strong upwelling. The inception of this

phenomenon was probably not related to the intensity and the direction of the wind prevailing in the coastal region, but more likely to the position of the Azores Front. A similar situation has been identified in two periods between the Last Glacial Maximum and the Holocene, i.e. just prior to 16 ka BP and during the Younger Dryas, which can be explained by the extension of the Azores Front eastward along the Azores Current into the Gulf of Cadiz (Rogerson *et al.*, 2004).

Figure 2 presents graphically, as a function of time, the values of $\Delta_{20}R$ determined for the southern Atlantic coast of the Iberian Peninsula. To make easier to read and compare the three diagrams, and taking into account

the comparison with the values obtained with the previous calibration curves (see, for example, Soares, 2011, Figs. 1-4; 2015, Fig. 2; Soares and Valério, 2023-2024, Fig. 2), the abscissa axis is anchored to the ordinate axis for $\Delta_{20}R = -150$ ^{14}C yr, since this is approximately the difference, as mentioned above, between the ΔR values calculated with Marine20 and those calculated with the previous curves, notably with Marine13. We will not detail here the inferences that can be drawn from them, since the use of the Marine20 curve does not modify those that were drawn with the previous calibration curves and have already been published (see, for example, Soares, 2011, 2015; Soares & Dias, 2006a; Soares and Valério, 2023-2024).

Table 1: $\Delta_{20}R$ and $\Delta_{13}R$ for the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz.

Tabla 1: $\Delta_{20}R$ y $\Delta_{13}R$ para la costa andaluza del Golfo de Cádiz.

Archaeological context		^{14}C age (BP) (terrestrial)	^{14}C age (BP) (marine)	cal BP (2 σ)	$\Delta_{13}R$ (^{14}C yr)	$\Delta_{20}R$ (^{14}C yr)	Bibliography
Papa Uvas	E15	4574 $\pm$ 108	4820 $\pm$ 70	5573-4882	-117 $\pm$ 114	-297 $\pm$ 158	Soares and Martin de la Cruz, 1995
Papa Uvas	FIV	4475 $\pm$ 49	4760 $\pm$ 55	5307-4887	-103 $\pm$ 80	-262 $\pm$ 96	Soares and Martin de la Cruz, 1995
La Viña	Silo 16	4428 $\pm$ 83	4960 $\pm$ 40	5294-4859	+200 $\pm$ 66	-9 $\pm$ 116	Ruiz Gil and Ruiz Fernández, 1987; Ruiz Fernández and Ruiz Gil, 1989
Papa Uvas	F12	4421 $\pm$ 94	4850 $\pm$ 70	5304-4848	+98 $\pm$ 106	-115 $\pm$ 133	Soares and Martin de la Cruz, 1995
Papa Uvas	B10	4054 $\pm$ 195	4740 $\pm$ 50	5211-3931	+327 $\pm$ 233	+170 $\pm$ 214	Soares and Martin de la Cruz, 1995
Niebla	UE69	2067 $\pm$ 65	2240 $\pm$ 80	2299-1831	-163 $\pm$ 105	-302 $\pm$ 113	Campos Carrasco <i>et al.</i> , 2001
El Eucaliptal	UE4	1751 $\pm$ 84	1960 $\pm$ 30	1862-1414	-142 $\pm$ 73	-265 $\pm$ 84	Campos Carrasco <i>et al.</i> , 1999b
Niebla	UE16	904 $\pm$ 40	1180 $\pm$ 70	911-732	-82 $\pm$ 77	-263 $\pm$ 87	Campos Carrasco <i>et al.</i> , 1999a
Niebla	SA/V	218 $\pm$ 43	550 $\pm$ 40	425-1	-88 $\pm$ 54	-246 $\pm$ 168	Pérez Macías <i>et al.</i> , 1997
Weighted Mean Calculation for $\Delta_{20}R$ (all $\Delta_{20}R$ values) Teste $\chi^2_{0.05}$ $T = 8.75$ ($\chi^2_{0.05} = 15.51$) Weighted Mean: $\Delta_{20}R = -216 \pm 38$ ^{14}C yr							
Weighted Mean Calculation for $\Delta_{20}R$ ($\Delta_{20}R$ values < -150 ^{14}C yr) Teste $\chi^2_{0.05}$ $T = 0.15$ ($\chi^2_{0.05} = 11.07$) Weighted Mean: $\Delta_{20}R = -270 \pm 43$ ^{14}C yr							
Weighted Mean Calculation for $\Delta_{20}R$ ($\Delta_{20}R$ values > -150 ^{14}C yr) Teste $\chi^2_{0.05}$ $T = 1.31$ ($\chi^2_{0.05} = 5.99$) Weighted Mean: $\Delta_{20}R = -23 \pm 81$ ^{14}C yr							

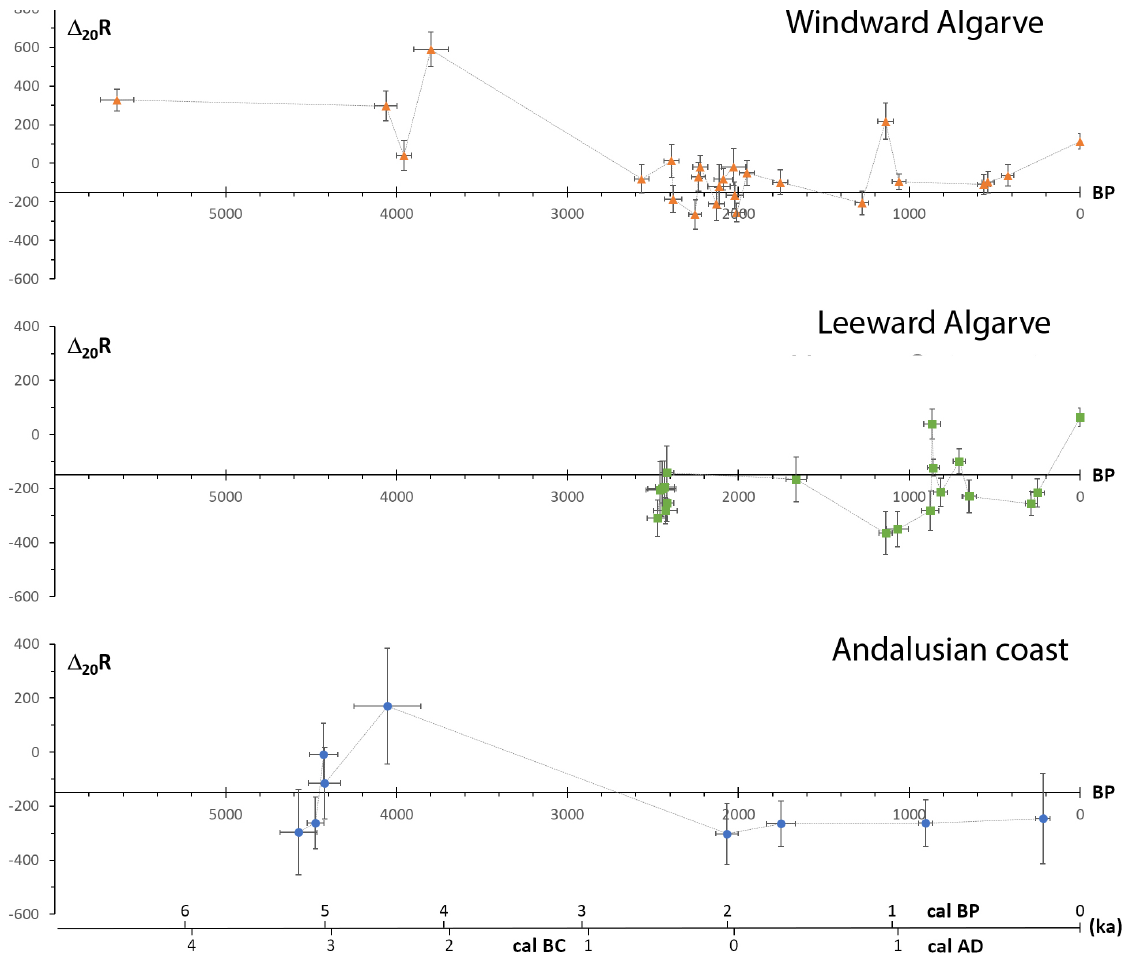


Figure 2: $\Delta_{20}R$ ($\pm 1\sigma$) values for the 3 coastal regions plotted versus terrestrial ^{14}C ages ($\pm 1\sigma$) (Algarve data following Soares and Valério, 2023-2024).

Figura 2: Valores de $\Delta_{20}R$ ($\pm 1\sigma$) de los tres sectores costeros, comparados con edades de ^{14}C ($\pm 1\sigma$) terrestre (datos del Algarve siguiendo a Soares y Valério, 2023-2024).

The use of a more accurate modelling in this work does not modify these inferences, notably those referring to the behaviour of the upwelling phenomenon on the northern coast of the Gulf of Cádiz, but makes them more reliable. In any case, we would like to emphasize that the effect of the oceanic reservoir or the age of the oceanic reservoir, as we wish to call it, in the three stretches of the Atlantic coast under study, and likewise the intensity of coastal upwelling, have varied over time. The weighted averages of the $\Delta_{20}R$ values determined either with histori-

cally dated shells or with pairs of archaeological samples (as we did in this work, which is now published) are in agreement with the current state of knowledge about the intensity and frequency of the upwelling phenomenon in the three marked coastal stretches: high values (many of them positive) of $\Delta_{20}R$ in the Barlavento Coast, in accordance with an intense upwelling; lower values in the Sotavento, corresponding to a less intense and infrequent upwelling; and the lowest values in the Andalusian Atlantic coast, where the coastal upwelling is absent.

It is also worth highlighting the set of high $\Delta_{20}\text{R}$ values determined for marine shells from the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz with an age between approximately 4400 - 4000 BP. A similar situation was also determined for the Barlavento coast of Algarve, apparently for a period of time around 4000 BP (Soares, 2011; Martins & Soares, 2013, Soares and Valério, 2023-2024). These situations are therefore correlated with a very intense upwelling that would have occurred at that time in the Gulf of Cadiz, which would be explained by the extension of the Azores Front in an easterly direction along the Azores Current up to the Pillars of Hercules, as would have happened in two time intervals situated between the Last Glacial Maximum and the Holocene (Rogerson *et al.*, 2004). On the other hand, as referred to above, due to the configuration of the Andalusian coastline of the Gulf of Cadiz the wind-driven coastal upwelling is nonexistent in this coastal region, and the low $\Delta_{20}\text{R}$ values ($\Delta_{20}\text{R}$ weighted mean = -270 ± 43 ^{14}C yr) determined for the interval 2000-200 BP or around 4500 BP agree with this fact.

Finally, it should be taken into account, that although weighted mean values have been calculated, it is recommended, when calibrating ^{14}C dates of marine organisms from a given context (see Heaton *et al.*, 2022, pp. 252-254), to use the values already determined for geographically closed contexts and, if possible, also chronologically closed ones. If these conditions are not met, then the weighted mean value for the stretch of coast where the context to be dated is located should be used. Nevertheless, the available data introduce some uncertainty when performing the calibration of conventional ^{14}C dates of marine shells from the 5th millennium BP collected in the Andalusian coast, namely if the ^{14}C date is between 4600 and 4400 BP. Table 1 shows that the first four ^{14}C dates (Papa Uvas E15, Papa Uvas FIV, La Viña Silo 16, and Papa Uvas F12) are statistically indistinguishable at 2σ level ($T=1.46$; $(X^2_{0.05} = 7.81)$). But to the first two ^{14}C dates corresponds a $\Delta_{20}\text{R} = -270 \pm 43$ ^{14}C yr, while to the other two a $\Delta_{20}\text{R} = -23 \pm 81$ ^{14}C yr. So, *a priori*,

we do not know which $\Delta_{20}\text{R}$ we must use for the calibration of a new ^{14}C date with a value between 4400-4600 BP. If this date is from a sequence of dates and we are using a Bayesian model it will perhaps be possible to choose one of the $\Delta_{20}\text{R}$ weighted mean values taking into account the value obtained for the model agreement. For other cases using marine shell dates from the 5th millennium BP associated to the Andalusian coast it will be hard to choose which of the two $\Delta_{20}\text{R}$ weighted mean values should be used.

Bibliography

- Campos Carrasco, J.M., Pérez Macías, J.A., Gómez Toscano, F., Rodrigo Cámara, J.M., Benabat Hierro, Y. (1999a). Intervención arqueológica de emergencia en la ciudad de Niebla (Huelva): el Solar Plaza de Santa Maria 7. *Anuario Arqueológico de Andalucía 1994. III Actividades de Urgencia*, Sevilla, 221-224.
- Campos Carrasco, J.M., Pérez Macías, J.A., Gómez Toscano, F., Beltrán Pinzón, J.M., Gómez Rodríguez, A. (2001). Arqueología urbana en Niebla: excavación en la zona muralla-desembarcadero de Niebla (Huelva). *Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Informes y Memorias*, Sevilla, 256-262.
- Campos Carrasco, J.M., Pérez Macías, J.A., Vidal Teruel, N. (1999b). *Las cetariae del litoral onubense en época romana*. Huelva: Universidad de Huelva. 75-152.
- Diffenbaugh, N.S., Sloan, L.C., Snyder, M.A. (2003). Orbital suppression of wind-driven upwelling in the California Current at 6 ka. *Paleoceanography*, 18 (2), 1051, <https://doi.org/10.1029/2002PA000865>
- Heaton, T.J., Bard, E., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Hatté, C., Hughen, K.A., Köhler, P., Reimer, P.J. (2022). A response to community questions on the Marine20 radiocarbon age calibration curve: marine reservoir ages and the calibration of ^{14}C samples from the oceans. *Radiocarbon*. 65(1), 247-273. <https://doi.org/10.1017/RDC.2022.66>
- Heaton, T.J., Köhler, P., Butzin, M., Bard, E., Reimer, R.W., Austin, W.E.N., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Hughen, K.A., Kromer, B., Reimer, P.J., Adkins, J., Burke, A., Cook, M.S., Olsen, J., Skinner, L.C. (2020). Marine20. The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55,000

- cal BP). Radiocarbon, 62(4), 779-820. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.68>
- Hughen, K.A., Baillie, M.G.L., Bard, E., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cuttler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., Van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2004). Marine04 Marine Radiocarbon Age Calibration, 0-26 kyr cal BP. Radiocarbon, 46(3), 1059-1086. <https://doi.org/10.1017/S0033822200033002>
- Martins, J.M.M. (2014). A Plataforma Continental Algarvia como arquivo de Paleoambientes e Paleoclimas Holocénicos. O papel do ^{14}C no seu estudo. [PhD Thesis]. Faro: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve.
- Martins, J.M.M., Soares, A.M.M. (2013). Marine Radiocarbon Reservoir Effect in Southern Atlantic Iberian Coast. Radiocarbon, 55(2-3), 1123-1134. <https://doi.org/10.1017/S0033822200048037>
- Oeschger, H., Siegenthaler, U., Schotterer, U., Gugelmann, A. (1975). A box diffusion model to study the carbon dioxide exchange in nature. Tellus, 27(2), 168-192. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1975.tb01671.x>
- Pérez Macías, J.A.; Pozo, F.; Campos Carrasco, J.M.; Gómez Toscano, F. (1997). Arqueología urbana en la ciudad de Niebla (Huelva). El Solar de Santa Maria, 1 (Niebla, Huelva). *Anuario Arqueológico de Andalucía 1993. III Actividades de Urgencia, Informes y Memorias*. Sevilla, 307-312.
- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., Van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). Radiocarbon, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Reimer, R.W., Reimer, P.J. (2017). An Online Application for ΔR calibration. Radiocarbon, 59(5), 1623-1627. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.117>
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., Van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009). IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP. Radiocarbon, 51(4), 1111-1150. <https://doi.org/10.1017/S0033822200034202>
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., Van der Plicht, J. (2013). IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP. Radiocarbon, 55(4), 1869-1887. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Rogerson, M., Rohling, E.J., Weaver, P.P.E., Murray, J.W. (2004). The Azores Front since the Last Glacial Maximum. Earth and Planetary Science Letters, 22(2-3), 779-789. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.03.039>
- Ruiz Fernández, J.A.; Ruiz Gil, J.A. (1989). Calcolítico en El Puerto de Santa Maria. *Revista de Arqueología*, 94, 7-13
- Ruiz Gil, J.A.; Ruiz Fernández, J.A. (1987). Excavaciones de urgencia en El Puerto de Santa Maria, Cadiz. *Revista de Arqueología*, 74, 5-12.
- Soares, A.M.M. (1993). The ^{14}C Content of Marine Shells: Evidence for Variability in Coastal Upwelling off Portugal during the Holocene. In: Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), 471-485.
- Soares, A.M.M. (2005). Variabilidade do “Upwelling” Costeiro durante o Holocénico nas Margens Atlânticas Ocidental e Meridional da Península Ibérica [PhD Thesis]. Faro: Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve, 205 pp.

- Soares, A.M.M. (2010). Comment on "Formation of chenier plain of the Doñana marshland (SW Spain): Observations and geomorphic model" by A. Rodríguez-Ramírez and C.M. Yáñez-Camacho [Marine Geology 254 (2008) 187-196]. Marine Geology, 275, 287-289. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.03.014>
- Soares, A.M.M. (2011). *Upwelling*, efeito de reservatório, radiocarbono: construção de cronologias absolutas e inferências paleoambientais. In A.N.S. Bettencourt, Ana N.S Alves, M. Isabel Caetano; Sérgio Monteiro-Rodrigues (Eds.), *Variações Paleoambientais e Evolução Antrópica no Quaternário do Ocidente Peninsular*. Braga: APEQ/CITCEM, pp. 11-21.
- Soares, A.M.M. (2015). Radiocarbon dating of marine shells from the Gulf of Cadiz: The marine radiocarbon reservoir effect, its variability during the Holocene and palaeoenvironmental inferences. Cuaternario y Geomorfología, 29(1-2), 19-29. <https://doi.org/10.17735/cyg.v29i1-2.29541>
- Soares, A.M.M, Dias, J.M.A. (2006a). Coastal Upwelling and Radiocarbon – Evidence for Temporal Fluctuations in Ocean Reservoir Effect off Portugal during the Holocene. Radiocarbon, 48(1), 45-60. <https://doi.org/10.1017/S0033822200035384>
- Soares, A.M.M, Dias, J.M.A. (2006b). Once upon a time...the Azores Front penetrated into the Gulf of Cadiz. *5th Symposium on the Iberian Atlantic Margin (Universidade de Aveiro). Abstract Book*. pp. 2005-2006.
- Soares, A.M.M, Dias, J.M.A. (2007). Reservoir Effect of Coastal Waters off Western and Northwestern Galicia. Radiocarbon. 49(2), 925-936. <https://doi.org/10.1017/S003382220004279X>
- Soares, A.M.M., Gutiérrez-Zugasti, I., González-Morales, M., Martins, J.M.M., Cuenca-Solana, D., Bailey, G.N. (2016). Marine Radiocarbon Reservoir Effect in Late Pleistocene and Early Holocene Coastal Waters off Northern Iberia. Radiocarbon, 54(4), 869-883. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.71>
- Soares, A.M.M.; Martín de la Cruz, J.C. (1995). Cronologia Absoluta para a Fase do Neolítico Final de Papa Uvas. In *I Congrès del Neolítico a la Península Ibérica (Gav -Bellaterra, 1995). Rubricatum*. 1, 655-658.
- Soares, A.M.M., Martins, J.M.M. (2009). Radiocarbon dating of marine shell samples. The marine radiocarbon reservoir effect of coastal waters off Atlantic Iberia during Late Neolithic and Chalcolithic Periods. Journal of Archaeological Science, 36, 2875-2881. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.09.027>
- Soares, A.M.M., Martins, J.M.M. (2010). Radiocarbon dating of marine samples from Gulf of Cadiz: The reservoir effect. Quaternary International, 221, 9-12. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.10.012>
- Soares, A.M.M., Valério, P. (2023-2024). A convers o em datas de calend rio das datas de radiocarbono de organismos marinhos colhidos na costa atlántica portuguesa: a nova curva de calibra  o Marine20. Revista Portuguesa de Arqueologia, 26-27, 73-89.
- Stuiver, M., Pearson, G.W., Braziunas, T. (1986). Radiocarbon Age Calibration of Marine Samples back to 9000 cal yr BP. Radiocarbon, 28(2B), 980-1021. <https://doi.org/10.1017/S0033822200060264>
- Stuiver, M., Polach, H.A. (1977). Discussion. Reporting of ¹⁴C data. Radiocarbon, 19(3), 355-363. <https://doi.org/10.1017/S0033822200003672>

Recibido el 1 de julio de 2025

Aceptado el 6 de noviembre de 2025



Recent morphological changes (2009-2022) on the floodplain of the Guadalporcún River, province of Cádiz (Southern Spain)

*Cambios morfológicos recientes (2009-2022) en la llanura de inundación
del río Guadalporcún, provincia de Cádiz (Sur de España)*

Pain, C.F. (1)

(1) MED-Soil, Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola,
Universidad de Sevilla, 41012, Sevilla. colinpain@gmail.com

Abstract

In 2009 and 2013 two avulsion events occurred in the Guadalporcún River, a tributary of the Guadalete River, SW Spain. Google Earth and Geomap images acquired between 2002 and 2022 were examined and a timeline of events constructed. Exposed floodplain materials to a depth of up to 2 m reveal about 80 cm of sandy alluvium resting on a firm buried soil formed on older sandy alluvium with occasional pebble and boulder clasts. The avulsions, likely caused by logjams, breached the natural levee, and formed channels, less than 1 m deep in 2009 and more than 2 m deep in 2013. In 2013 the buried soil played an important role in the retreat of a knickpoint, the main process in avulsion channel formation. Following each avulsion event, a local landowner repaired the levee and levelled the floodplain, filling the avulsion channel with building rubble. The occurrence of two avulsion events separated by a few years shows that reestablishment of the original channel after the 2009 event was temporary and that similar events are likely to occur in the future.

Key words: Avulsion, floodplains: evolutionary changes, anthropogenic intervention, Guadalporcún River, Andalucía.

Resumen

En 2009 y 2013 se produjeron dos avulsiones en el río Guadalporcún, un afluente del río Guadalete, al suroeste de España. Se examinaron imágenes de Google Earth y Geomap adquiridas entre 2002 y 2022 y se construyó una cronología de los eventos. Los materiales de la llanura de inundación expuestos a una profundidad de hasta 2 m revelan unos 80 cm de aluvión arenoso que descansa sobre un suelo enterrado firme formado sobre aluvión arenoso más antiguo con clastos ocasionales de guijarros y cantos rodados. Las avulsiones, probablemente causadas por atascos de troncos, rompieron el dique natural y formaron canales,



de menos de 1 m de profundidad en 2009 y más de 2 m de profundidad en 2013. En 2013, el suelo enterrado jugó un papel importante en el retroceso de un punto de contención, el proceso principal en la formación de un canal de avulsión. Después de cada evento de avulsión, un propietario local reparó el dique y niveló la llanura de inundación, llenando el canal de avulsión con escombros de construcción. La ocurrencia de dos eventos de avulsión separados por unos pocos años muestra que el restablecimiento del canal original después del evento de 2009 fue temporal y que es probable que ocurran eventos similares en el futuro.

Palabras clave: Avulsión, llanuras de inundación: cambios evolutivos, intervención antrópica, río Guadalporcún, Andalucía.

1. Introduction

Floodplains are among the most active geomorphic environments in river catchments. Large floodplains, with levees, meanders, cutoffs, oxbow lakes, and avulsion channels, have attracted considerable attention in the geomorphic literature (e.g., Dunne and Aalto, 2013). Small floodplains have attracted less attention. These often lack meanders and associated landforms, with floodplain features

being confined to levees, backplains, and avulsion channels.

Avulsion is a well-known process on floodplains where the whole channel abruptly shifts to another position on the floodplain (O'Connor *et al.*, 2003; Slingerland and Smith, 2004; Bridge and Demicco, 2008). Avulsion occurs when an event (usually a flood) of sufficient magnitude occurs along a reach of a river that is at or near an avulsion threshold

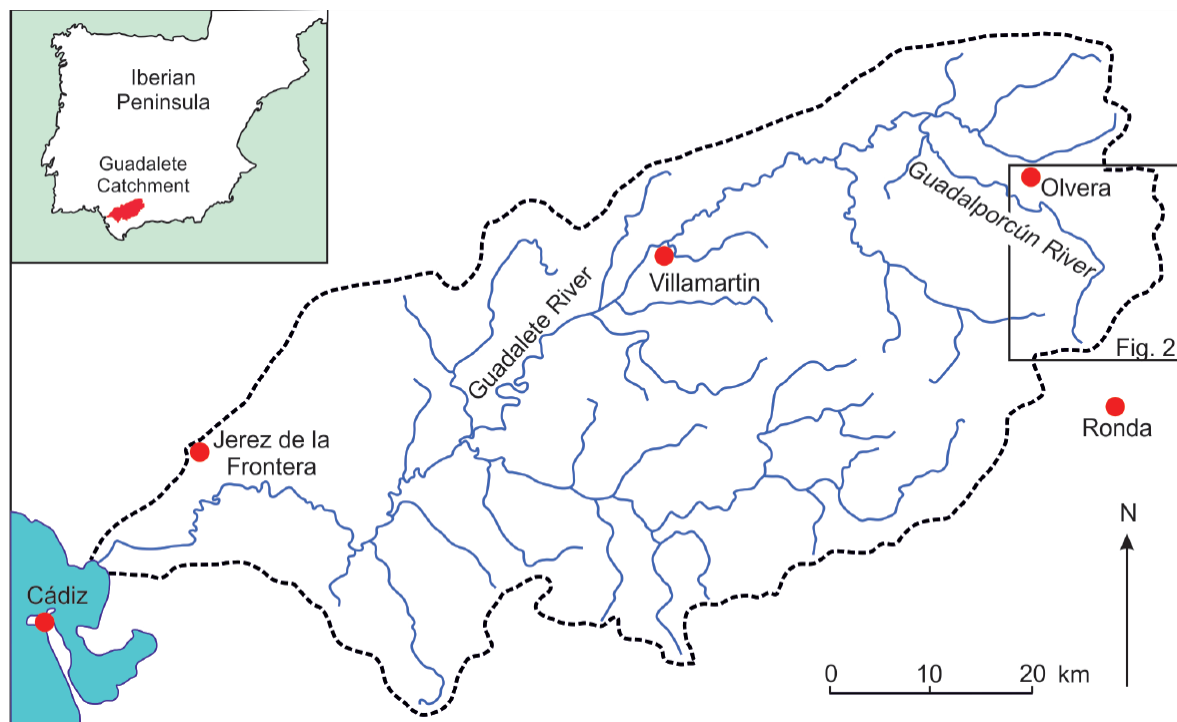


Figure 1. Main drainage lines in the Guadalete River catchment. Location of Figure 2 is shown on the right.
 Figura 1. Principales líneas de drenaje en la cuenca del Río Guadalete. La ubicación de la Figura 2 se muestra a la derecha.

(Jones and Schumm, 1999). Avulsion usually involves a change in the ability of an existing channel to carry sediment and discharge. Such changes may be caused by sedimentation in the channel resulting from increased sediment load or blockages by vegetation and log jams. The river forms a crevasse channel that diverts flow onto the floodplain (Miall, 2014).

Between 2009 and 2013 there was a series of floods in the Guadalporcún River valley. Channel avulsion occurred on one small section of the floodplain. Attempts by a local land holder to return the channel to its former position succeeded briefly, but avulsion occurred again in 2013. Another attempt to restore the original channel was made and was finally successful in 2018. These changes provided an opportunity to study details of recent floodplain changes and to assess the impact of anthropic intervention on channel changes in this part of the Guadalporcún floodplain. The paper describes the floodplain morphology and stratigraphy, and the avulsion events. After the period of this study the river has been returned to its previous course.

2. Study area

The Guadalporcún River is a tributary of the Guadalete River, which flows into the Atlantic just northeast of the city of Cádiz in Cádiz Province, southern Iberian Peninsula (Figure 1). The highest parts of the catchment boundary are between 800 and 900 m asl and lie on the eastern edge of the Guadalporcún River catchment, east of Setenil de las Bodegas. The Guadalporcún River exits the study area at about 390 m asl. Upstream of the study area the Guadalporcún River drains an irregular dissected plateau consisting mainly of Tortonian and Messinian limestone, marls, calcarenite, calcareous sandstones, clay, silts, sands, and conglomerate (Cruz-Sanjulián, 1990; del Olmo Sanz and Serrano, 1990; Medina and Jerez Mir, 1990; Serrano, 1990) (Figure 2). The valley floor consists of a series

of narrow floodplains (Qa on Figure 2) separated by V-shaped valley segments. The same pattern of narrow floodplains and V-shaped valley segments extends downstream from the study area.

The climate is warm, temperate, and typically Mediterranean. The average annual temperature in Setenil de las Bodegas is 15.5 °C with lows below freezing and highs approaching 40 °C. Annual rainfall averages 737 mm, with most falling between October and May. Data are from https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/setenil-de-las-bodegas_spain_2510915.

The study area is a small part of the Guadalporcún River valley south of the village of Olvera (Figure 2) and just upstream of the area described by Martínez Sánchez *et al.* (2019). For most of the study area the Guadalporcún River flows adjacent to steep bedrock slopes on the left (southwest) side of the channel, with the floodplain being confined to the right side (Figures 3, 4). Slopes adjacent to the floodplain on the northeast are gentler. Before the avulsion the only part of the floodplain on the left bank of the river was downstream of the convergence point (Figure 3). The floodplain studied here has two landowners. On Figure 6A the boundary between the two properties is marked by a straight row of trees that separate areas with slightly different tones.

3. Methods and Sources

Following a visit to the site and conversations with the land holders of the upstream part of the floodplain in the study area it was decided to map the changes that occurred, and to characterise the sediments.

Thirteen images acquired between 2002 and 2024 were examined (Table 1). These allowed comparison of channel locations before, during and after the flood events. Liz Aylmer and Jenny Stock, the land holders of the upstream part of the floodplain, also made available

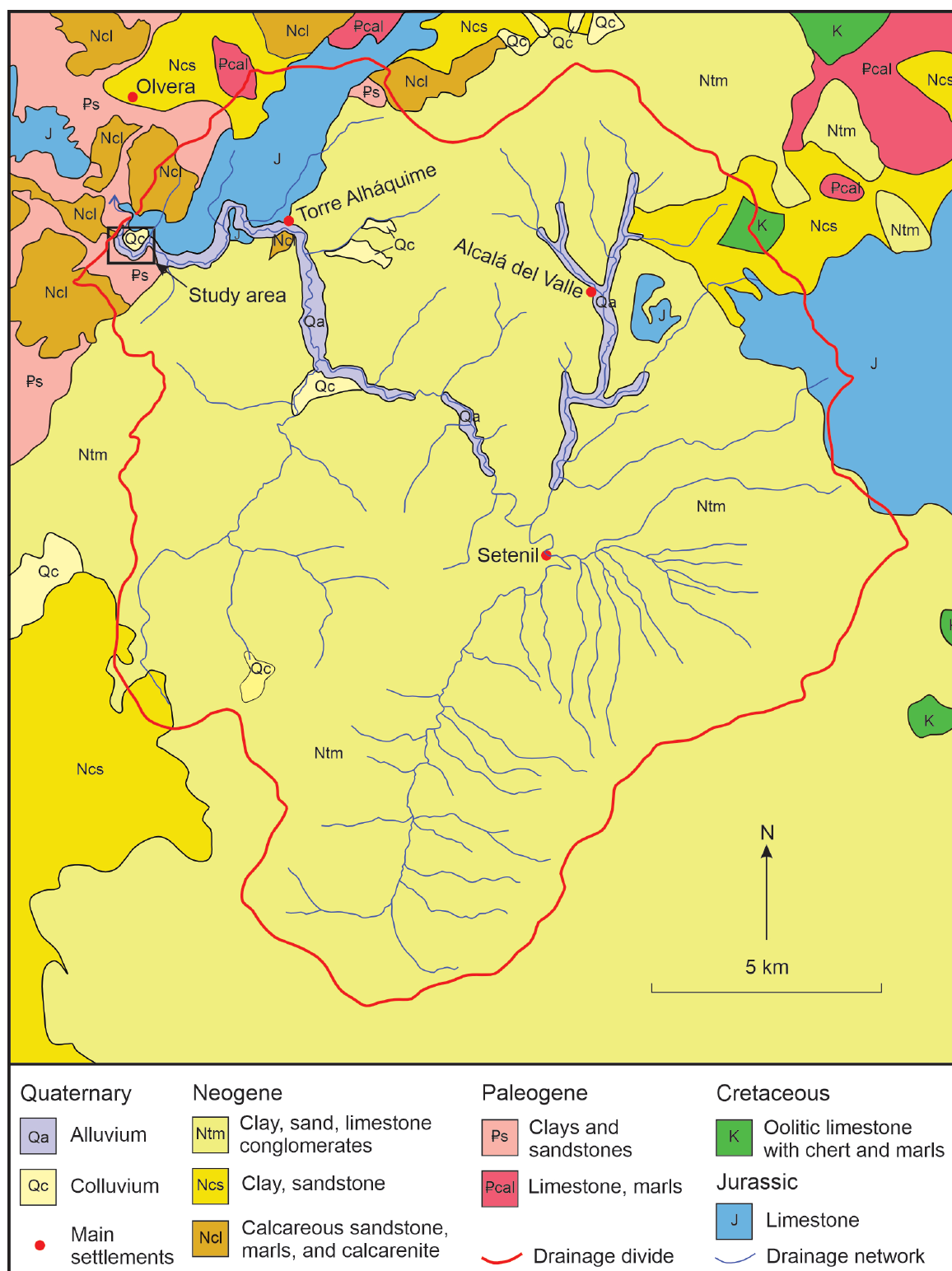


Figure 2. Lithology of the upper Guadalporcún River catchment. The study area is in the northwest.

Figura 2. Litología del alto Río Guadalporcún. El área de estudio está en el noroeste.

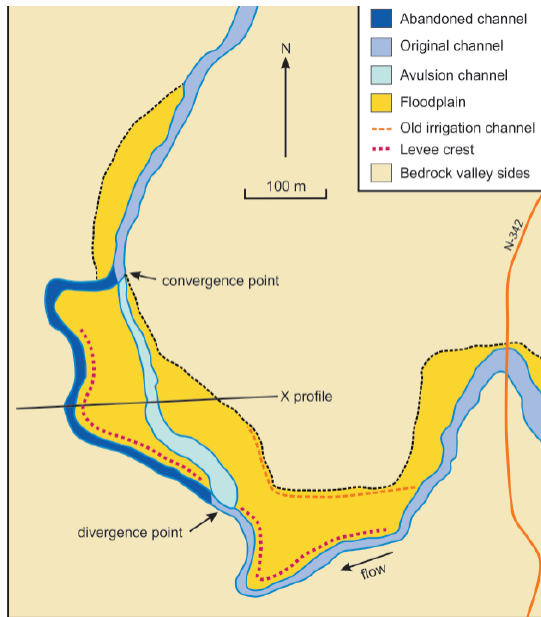


Figure 3. The main features of the study area. The X-profile is in Figure 4.

Figura 3. Principales características del área de estudio. El perfil en X está en la Figura 4.

photos and videos taken during flood events. Together these allowed a timeline of events to be constructed; this timeline was confirmed by Liz and Jenny.

Several field visits provided observations of channel and floodplain conditions at various times. Sections on the banks of the avulsion channel exposed floodplain materials to a depth of up to 2 metres, allowing materials to be examined and Munsell colours, field textures and other attributes described.

4. Results

4.1. Floodplain morphology and sediments

The floodplain has a simple morphology with a levee about 10 m wide and 1-2 m high adjacent to the channel on the right side (Figures 3, 4). The levee is not present for the whole length of the study area and is confined to the right bank of the channel. The left bank is adjacent to bedrock hillslopes, so no levee is formed. A cross profile of the floodplain (Figure 4) shows that the Guadalporcún River is higher than most of the floodplain and is separated from it by a well-developed levee. There is no evidence of splay deposits within the floodplain stratigraphy. However, at and near the divergence point the avulsion produced a thin cover of boulders and stones up to 15 cm in diameter that were derived from the channel upstream from the divergence point.

The banks of the avulsion channel expose more than 2 m of floodplain sediment (Figure 5, Table 2). Unit 1, 50-55 cm thick, is alluvium with a weakly developed soil consisting of AB and BC horizons. The lower boundary is sharp and represents a former floodplain surface. Unit 2, also alluvium, has a firm upper horizon with a blocky structure and a diffuse lower boundary (bA). These characteristics suggest that it is a well-developed buried soil 30-40 cm thick. Horizons bB and C are the lower parts of this buried soil. The lower boundary of unit 2 is sharp and wavy. The basal unit 3 extended below the water level at the time of observation.

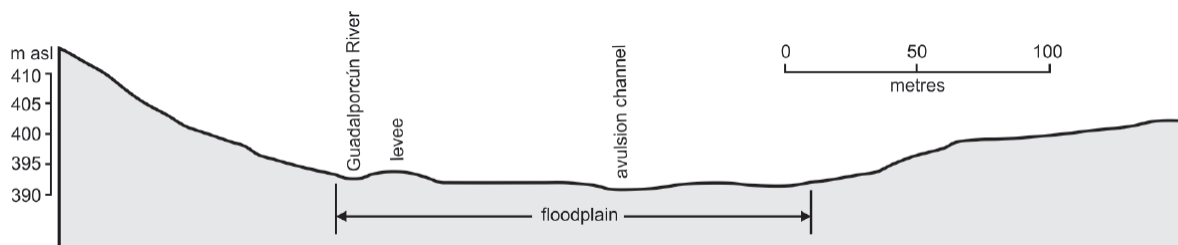


Figure 4. Cross profile of the floodplain (location shown on Figure 3).

Figura 4. Perfil transversal de la llanura de inundación (ubicación mostrada en la Figura 3).

Table 1. Images used to map changes
Tabla 1. Imágenes utilizadas para cartografiar cambios.

Date	Source	Attribution
2002	Google Earth	Maxar Technologies
2008	GeaMap	
2010	GeaMap	
17 Jul 2011	Google Earth	Digital Globe
10 Apr 2012	Google Earth	Landsat/Copernicus
1 Nov 2013	GeaMap	
2013	GeaMap	
28 Jul 2015	Google Earth	Landsat/Copernicus
27 Jan 2016	Google Earth	Digital Globe
3 May 2016	Google Earth	Europa Technologies
2016	GeaMap	
6 Jul 2018	Google Earth	Europa Technologies
15 Mar 2021	Google Earth	Maxar Technologies

GeaMap images were obtained from the Cartographic viewer of Spain web site <http://geamap.com/>. This site specifies only the year of imagery. Google Earth images were obtained using the historical imagery function in Google Earth. The attribution column gives the source of the image data as listed on Google Earth.

Table 2. Description of sediments.
Tabla 2. Descripción de los sedimentos.

Unit	Soil horizon	Thick (cm)	Colour	Description
1	AB	20	Light yellow brown 2.5Y 6/6	Friable sand; weak medium blocky structure; many grass roots; some organic staining.
	Diffuse boundary			
	BC	35	Pale yellow 2.5Y 8/4	Friable to loose sand; some fine gravel particles; massive structure; some roots.
Sharp boundary				
2	bA	30-40	Brown 7.5YR 4/6	Slightly friable to firm clayey sand; well-developed medium to coarse blocky structure; some organic staining.
	Diffuse boundary			
	bB	80-90	Light yellow brown 2.5Y 6/6	Friable sand; some fine gravel particles and rare matrix-supported pebbles and cobbles; massive structure.
	Distinct boundary			
	C	10-15	Light gray 7.5YR 8/1	Loose sand to fine sand, some pebbles and gravels; structureless
Sharp wavy boundary				
3		40-50	Brown 7.5YR 4/6	Clay to fine sandy clay with rare gravels and pebbles.
Water level				

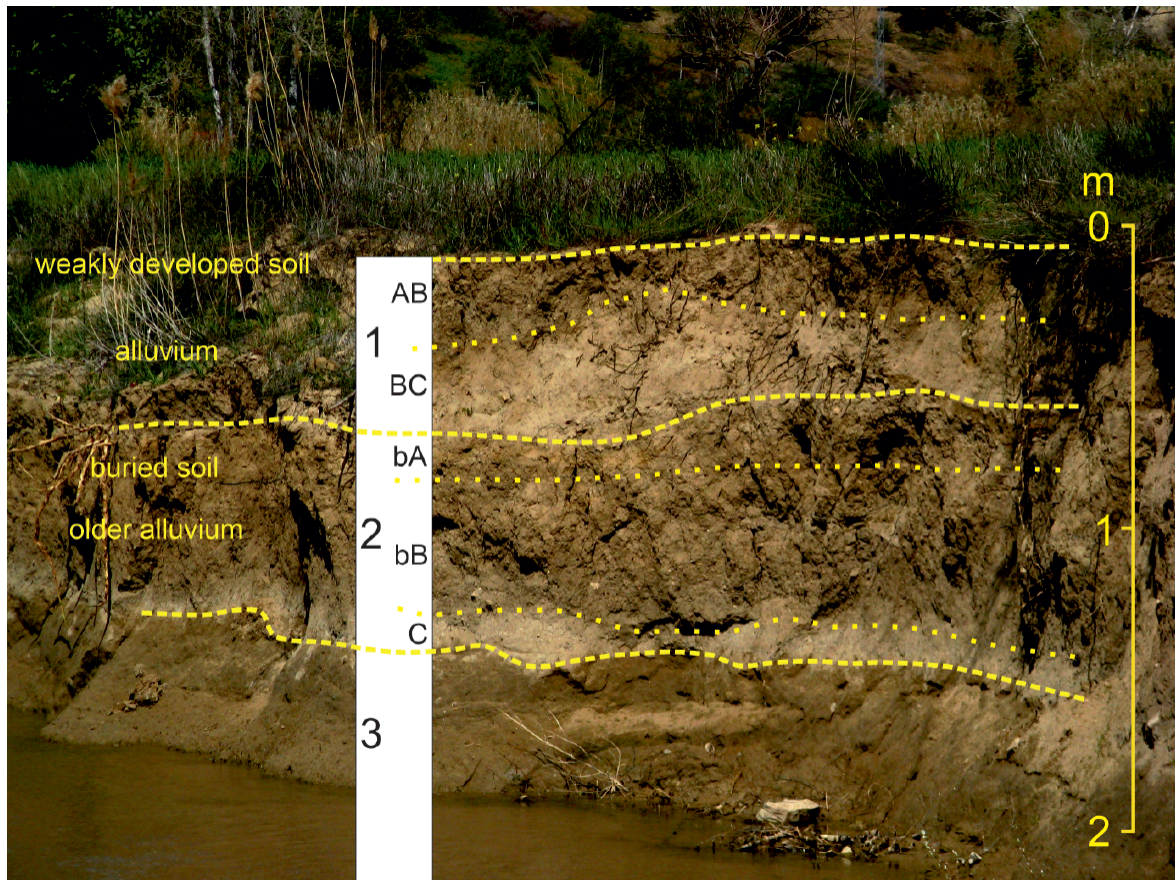


Figure 5. Floodplain sediments exposed on the bank of the avulsion channel in 2014.

Figura 5. Sedimentos de la llanura de inundación expuestos en la orilla del canal de avulsión en 2014.

The same general stratigraphy is present along all banks of the avulsion channel and under the levee where it was cut by the avulsion. In the latter case the unit covering the buried soil is up to 1 m thick. Unfortunately, these exposures are no longer available because the river has been forced back into its original course and the floodplain has been graded to allow resumption of cultivation.

4.2 Floodplain changes

The general timeline is set out in Table 3. Between 2002 and 2008 there is no evidence of avulsion, although there were floods during that period. The main path for flood waters reaching the floodplain appears to have been the old irrigation channel shown on Figure 3.

During floods this channel carries water onto the floodplain, but no erosion appears to have resulted from either the 2009 or 2013 floods. Figure 6A shows the floodplain in 2008 about a year before the first flood; the old irrigation channel is marked by the irregular line of trees extending to about halfway down the floodplain.

On 22 December 2009 a flood broke through a low levee on the right bank at the divergence point (Figure 3) and flowed across the lowest part of the floodplain. By 24 December flood waters had covered the entire floodplain, and by 26 December the flood waters had receded, leaving a shallow (> 50 cm) channel on the floodplain. The flood also left an incipient gully near the convergence point, and a knick-point began to develop (Figure 6B). Most flow



Figure 6. A. GeoMap image from 2008 showing the area before the flooding events. B. GeoMap image from 2010 showing the area following earthworks on the floodplain and at the divergence point. The remnants of the downstream end of the avulsion channel can be seen leading to the convergence point. Cropping on the floodplain resumed after this date.

Figura 6. A. Imagen de GeoMap de 2008 que muestra el área antes de las inundaciones. B. Imagen de GeoMap de 2010 que muestra el área después de los movimientos de tierra en la llanura aluvial y en el punto de divergencia. Se pueden ver los restos del extremo aguas abajo del canal de avulsión que conducen al punto de convergencia. El cultivo en la llanura aluvial se reanudó después de esta fecha.

was returned to the original channel. The base of the floodplain channel was formed by the buried soil within the floodplain sediments. In April 2010 the levee was artificially rebuilt at the divergence point and during the following months the shallow avulsion channel was artificially filled (Figure 7). This work was carried out by the owner of the down-

stream part of the floodplain as a means of returning his land to crop production.

Another major flood occurred in March 2013. On 20 March 2013 the repaired levee at the divergence point was breached and the avulsion channel on the floodplain was re-established (Figure 8A). By 4 April 2013

Table 3. Timeline of major events 2009 – 2018.

Tabla 3. Cronología de los principales eventos 2009 – 2018.

Year (month)	Events
Post 2004	River crossing bulldozed at the future convergence point
2009 (December)	Flood broke through the levee and formed a shallow channel across the lowest part of the floodplain
2010 (February)	Avulsion channel established
2010 (April)	Earthworks at the divergence point to re-establish original river course
2010	Floodplain smoothed and cropping restarted
2013 (March)	Flood broke through and re-established the avulsion channel, which deepened into April
2013 (December)	Failed attempt to block avulsion channel at divergence point
2014	Filling of downstream end of avulsion channel with building rubble
2015	By June “wetland” ponds established
2016 - 2018	Avulsion channel artificially filled with building rubble and the river was redirected into its original course.
2018 (July)	Sometime before this the avulsion channel was filled
2021 (March)	By this time the floodplain was artificially smoothed, and cropping resumed



Figure 7. Rebuilding the levee and diverting the river back to its original channel at the divergence point in April 2010.

Figura 7. Reconstrucción del dique y desviación del río a su cauce original en el punto de divergencia en abril de 2010.



Figure 8. A. The divergence point on 20 March 2013 looking downstream. The original channel continued to flow on the left but most water flowed down the avulsion channel on the right. B. The divergence point on 4 April 2013. The new channel has cut about 1 m below the old channel, which was then abandoned. B also shows the nature of the original levee (photos: Jenny Stock).

Figura 8. A. El punto de divergencia el 20 de marzo de 2013 mirando corriente abajo. El canal original siguió fluyendo por la izquierda, pero la mayor parte del agua fluyó por el canal de avulsión de la derecha. B. El punto de divergencia el 4 de abril de 2013. El nuevo canal ha cortado aproximadamente 1 m por debajo del antiguo canal, que luego fue abandonado. B también muestra la naturaleza del dique original (fotos: Jenny Stock).

the avulsion channel was eroded to about 2 m depth below the floodplain surface; this led to the original channel being abandoned because it was left standing about 0.5-1 m above the bed of the new channel (Figure 8B). The new channel was up to 20 m wide near the divergence point and narrowing to about 5 m wide at the convergence point (Figure 9A).

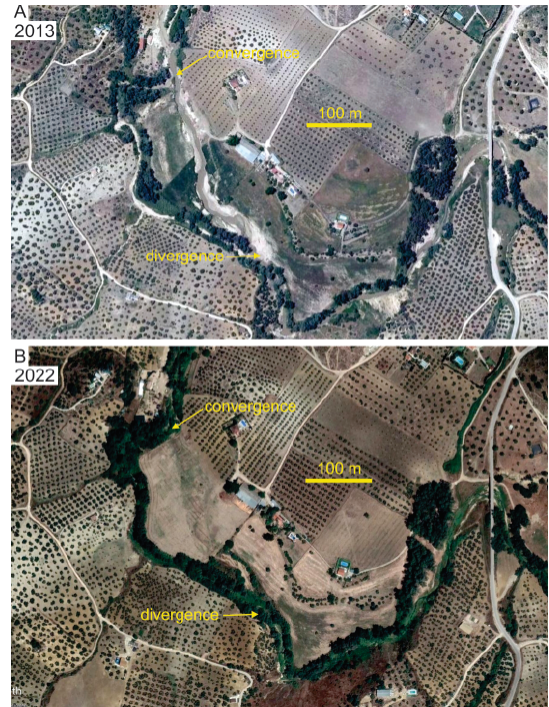


Figure 9. A. GeoMap image showing the avulsion channel in mid-2013. Note the light-coloured flood sediments along the old irrigation channel. B. Google Earth image from 2022. The downstream property has been levelled, the levee at the divergence point has been repaired and the river has been returned to its former location. The avulsion channel fill shows as slightly darker tones. The avulsion channel on the upstream property is lined with low trees but has not been levelled.

Figura 9. A. Imagen de GeoMap que muestra el canal de avulsión a mediados de 2013. Tenga en cuenta los sedimentos de inundación de color claro a lo largo del antiguo canal de riego. B. Imagen de Google Earth de 2022. Se niveló la propiedad aguas abajo, se reparó el dique en el punto de divergencia y se devolvió el río a su ubicación anterior. El relleno del canal de avulsión se muestra como tonos ligeramente más oscuros. El canal de avulsión en la propiedad aguas arriba está bordeado de árboles bajos pero no ha sido nivelado.

Following the 2013 flood all floodplain changes were a consequence of artificial interventions. The landowner of the downstream property began to fill the downstream part of the avulsion channel, using building rubble from the nearby village of Olvera. Filling began at the downstream end and led to ponding of the channel at the upstream end. This work was accompanied by repair of the levee at the divergence point. By 2021 the Guadalporcún River was back in its original channel and the whole of the downstream property had been graded and cropping resumed (Figure 9B).

5. Discussion

5.1. Floodplain stratigraphy

No evidence of lateral accretion was found and there are no buried channels in the sections examined. The floodplain in the study area appears to have been formed mainly by vertical accretion and falls within confined vertical accretion sandy floodplains (A2) of Nanson and Croke (1992).

Faust *et al.* (2000), in a study of floodplain stratigraphy about 65 km southeast of Olvera, stress the importance of distinguishing true soils formed *in situ* in alluvium from transported humic deposits, which they call soil-sediments. As noted above, unit 2 (Figure 5) is interpreted to be an alluvial deposit with a soil formed *in situ*. The presence of only one buried soil contrasts with the area studied by Faust *et al.* (2000), where they found evidence for two episodes of *in situ* soil formation in floodplain sediments.

The buried soil within the floodplain alluvium (Figure 5) marks an important hiatus in the accumulation of the sediments. It would have formed on alluvium during a period of slow sediment accumulation. The light to very light yellow friable to loose brown sandy material (unit 1) overlying the buried soil is interpreted to be a result of accelerated erosion caused by human activity, sometimes called post set-

tlement alluvium or legacy sediment (James, 2013). James *et al.* (2020) note that anthropogenic sedimentation on river floodplains is global in scale, with regional variations in timing and magnitude. It is also difficult to distinguish between erosion that is anthropogenic and that which is caused by climatic variations (Walsh *et al.*, 2019).

No dates for the alluvium in the study area are available. Faust *et al.* (2000) report dates from sediments in their study area; based on pottery fragments, their uppermost soil unit (buried at 0.3 m) dates from about 1000 years ago, coinciding with the period of Moorish agriculture. The oldest buried soil (buried at 1.40 m) was formed about years ago (from pottery and AMS radiocarbon ages). This soil is recognisable in southwestern Spain, so the buried soil, unit 2 in Figure 5, may well be the same age.

Cultivation may have been established in southern Iberia by 7,000 BP (Shennan, 2018), and certainly by 5,000 (Zapata *et al.*, 2004). Stephens *et al.* (2019) show that extensive agriculture was established in the Iberian Peninsula by 6000 BP, and intensive agriculture by 4000 BP. Romans were growing olives and vines in the Guadalporcún River catchment by the first century A.D. (Rodríguez-Ariza and Moya, 2005). Lang *et al.* (2003) and James and Lecce (2013) show that it wasn't until Roman times that sediments resulting from intensive agriculture began to be deposited on floodplains in Europe, so it is likely the alluvium overlying the buried soil began c. 2000 years ago. This impact continues to the present.

5.2. Floodplain changes

The channel diversion described here was not a cutoff, because there are no shifting meanders in the study area. It was an avulsion, where flow was diverted to a different position on the floodplain (Bridge, 2004). River avulsion takes place in two phases, setup, and trigger (Phillips, 2012). In most cases the setup phase leads to the riverbed being

higher than the adjacent floodplain because of the formation and consolidation of levees, and sedimentation on the riverbed. This situation existed in the study area before the avulsions of 2009 and 2013 (Figure 6, Figure 9). The pre-avulsion channel bed was perched about 1 m above the floodplain and separated from it by a well-developed levee covered with trees that made it stable.

Triggers are events that divert flow from the channel to the floodplain. In the case of the study area overtopping and then breaching and failure of the levee in 2009 was most likely caused by blocking of the old channel by a log jam. The 2013 avulsion was probably facilitated by the loose fill of the artificial levee, which was constructed of loose sand and tree logs. In 2009 the avulsion channel was less than 1 m deep and formed by erosion of the alluvium (unit 1) above the buried soil. In 2013 the avulsion channel was more than 2 m deep and formed by knickpoint retreat within unit 2 from the convergence point (Figure 10). Knickpoint retreat is a common process in the development of avulsion channels (Slingerland and Smith, 2004); in this case the knickpoint may have been initiated by a bulldozed river crossing at the convergence point. In both 2009 and 2013 the avulsion channel (c. 340 m) was shorter than the original channel (c. 430 m), so was steeper, which would have enhanced the erosion potential. Upstream of the area studied here, erosion during the flood events was confined to floodplain sections. There was no associated slope erosion that would have led to an abrupt increase in sediment carried by the river.

The artificial rebuilding of the levee at the divergence point leaves the levee liable to breaching in future flood events because it is weaker than the natural levee. Levelling of the floodplain, especially filling of the avulsion channel with building rubble, is also problematic because the development of any future channel will bypass the filled channel and erode the less resistant alluvium adjacent to the building rubble. Reestablishment of the original channel is at best temporary.



Figure 10. Knickpoint on the avulsion channel on 31 March 2013. Note the light-coloured alluvium at the top on both sides of the channel. Upstream from the knickpoint the water is flowing on top of the buried soil. The original and natural levee, with trees, can be seen on the top right. (Photo: Jenny Stock).

Figura 10. Knickpoint en el canal de avulsión el 31 de marzo de 2013. Obsérvese el aluvión de color claro en la parte superior a ambos lados del canal. Aguas arriba del knickpoint, el agua fluye sobre la tierra enterrada. El dique original y natural, con árboles, se puede ver en la parte superior derecha. (Foto: Jenny Stock).

6. Conclusions

Avulsion is a well-known and well-studied feature of alluvial landforms. The two avulsions in the Guadalporcún River valley (2009 and 2013) followed the common sequence of events from breaching of the levee to the formation of a new channel mainly by knickpoint retreat. The alluvium, mainly derived from agricultural land in the catchment, played a role, especially the buried soil that controlled the retreat of the knickpoint. An unusual aspect of the avulsions is that attempts to return the flow to the original channel were successful and the land was returned to cropping. However, these efforts were short lived in the period 2009 to 2013 and are likely to recur in the future.

Acknowledgements

I thank Liz Aylmer and Jenny Stock for providing many photos and videos of the various floods, for discussions about the timeline of events, and for granting me access to their land. I also thank two anonymous referees

who made many helpful suggestions to make the paper better.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author.

References

- Bridge, J.S. (2004). Alluvium. In: A.S. Goudie, (Ed)., *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, London, 19-21.
- Bridge, J., Demicco, R. (2008). *Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits*. Cambridge University Press, New York, 815 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805516>
- Cruz-Sanjulián, J. (1990). *Mapa Geológico de España, 1:50.000. Hoja n° 1037 (Teba)*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- del Olmo Sanz, A., Serrano, F.M. (1990). *Mapa Geológico de España, 1:50.000. Hoja n° 1051 (Ronda)*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Dunne, T., Aalto, R.E. (2013). Large river floodplains. In: J. Shroder, (Editor in Chief), E. Wohl (Ed.), *Treatise on Geomorphology* 9. Academic Press, San Diego, CA, 645–678. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00258-X>
- Faust, D., Díaz del Olmo, F., Escudero, R.B. (2000). Soils in the Holocene alluvial sediments of the Rio Fraja Valley, Spain: in situ or soil-sediments? *Catena* 41(1-3), 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00112-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00112-0)
- James, L.A. (2013). Impacts of early agriculture and deforestation on geomorphic systems. In: J. Shroder (Editor in Chief), L.A. James, C.P. Harden, J.J. Clague (Eds.). *Treatise on Geomorphology* 13. Academic Press, San Diego, CA, 48–67. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00342-0>
- James, L.A., Lecce, S.A. (2013). Impacts of land-use and land-cover change on river systems. In: J. Shroder (Editor in Chief), L.A. James, C.P. Harden, J.J. Clague (Eds.). *Treatise on Geomorphology* 9. Academic Press, San Diego, CA, 768-793. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00264-5>
- James, A.L., Beach, T.P., Richter, D.D. (2020). Floodplain and terrace legacy sediment as a widespread record of anthropogenic geomorphic change. *Annals of the American Association of Geographers*, 111, 742-755. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1835460>
- Jones, L.S., Schumm, S.A. (1999). Causes of avulsion: an overview. In N.D. Smith, J. Rogers (Eds). *Fluvial Sedimentology VI. International Association of Sedimentologists Special Publication*, 28, 171–178. <https://doi.org/10.1002/9781444304213.ch13>
- Lang, A., Bork, H.R., Mäkel, R., Preston, N., Wunderlich, J., Dikau, R. (2003). Changes in sediment flux and storage within a fluvial system: some examples from the Rhine catchment. *Hydrological Processes*, 17(16), 3321-3334. <https://doi.org/10.1002/hyp.1389>
- Martínez Sánchez, A., Castillo López, O., Gracia Prieto, F.J. 2019. Control del nivel de base fluvial en el rejuvenecimiento diferencial del sistema kárstico en yesos de Olvera-Zaframagón (NE Prov. Cádiz). *Cuaternario y Geomorfología*, 33(3-4), 53-78, <https://doi.org/10.17735/cyg.v33i3-4.70826>.
- Medina, F.C., Jerez Mir, L. (1990). *Mapa Geológico de España, 1:50.000. Hoja n° 1036 (Olvera)*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Miall, A. (2014). *Fluvial Depositional Systems*. Springer Switzerland, 316 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00666-6>
- Nanson, G.C., Croke, J.C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4, 459-486. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(92\)90039-Q](https://doi.org/10.1016/0169-555X(92)90039-Q)
- O'Connor, J.E., Jones, M.A., Haluska, T.L. (2003). Flood plain and channel dynamics of the Quinault and Queets Rivers, Washington, USA. *Geomorphology*, 51, 31–59. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00324-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00324-0)
- Phillips, J.D. (2012). Log-jams and avulsions in the San Antonio River Delta, Texas. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 936–950. <https://doi.org/10.1002/esp.3209>
- Rodríguez-Ariza, M.O., Moya, E.M. (2005). On the origin and domestication of *Olea europaea* L. (olive) in Andalucía, Spain, based on the biogeographical distribution of its finds. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14(4), 551-561. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0012-z>
- Serrano, F.M. (1990). *Mapa Geológico de España, 1:50.000. Hoja n° 1050 (Ubrique)*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Shennan, S. (2018). *The First Farmers of Europe: An Evolutionary Perspective*. Cambridge University Press, 253 pp. <https://doi.org/10.1017/9781108386029>

- Slingerland, R., Smith, N.D. (2004). River avulsions and their deposits. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 32, 257–285. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120201>
- Stephens, L., Fuller, D., Boivin, N., Rick, T.; Gauthier, N., Kay, A., Marwick, B., Armstrong, C.G., Barton, C.M., Denham, T., Douglass, K., The ArchaeoGLOBE Project team. (2019). Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. *Science*, 365(6456), 897-902. <https://doi.org/10.1126/science.aax1192>
- Walsh, K., Berger, J.F., Roberts, C.N., Vanniere, B., Ghilardi, M., Brown, A.G., Woodbridge, J., Lespez, L., Estrany, J., Glais, A., Palmisano, A. (2019). Holocene demographic fluctuations, climate and erosion in the Mediterranean: A meta data-analysis. *The Holocene*, 29(5), 864-885. <https://doi.org/10.1177/0959683619826637>
- Zapata, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., Stika, H.P. (2004). Early Neolithic agriculture in the Iberian Peninsula. *Journal of World Prehistory*, 18(4), 283-325. <https://doi.org/10.1007/s10963-004-5621-4>
- Recibido el 6 de diciembre de 2024*
Aceptado el 18 de noviembre de 2025



Cartografía geomorfológica y análisis morfométrico de las dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas, Cordillera Cantábrica (León)

Geomorphologic cartography and morphometric analysis of dolines in the Fresneda-Correcillas massif, Cantabrian Mountains (León)

Puente-Sierra, M.⁽¹⁾ y González-Gutiérrez, R.B.⁽¹⁾

(1) Departamento de Geografía y Geología, Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León, España. mpues@unileon.es

Resumen

El macizo de Fresneda-Correcillas (León), junto con el de Valporquero, es uno de los macizos kársticos más meridionales de la Cordillera Cantábrica. En él son abundantes las formas de relieve kársticas, tanto endokársticas como exokársticas, siendo estas últimas, y más en concreto las dolinas, nuestro objeto de estudio. Los objetivos principales son la identificación y cartografía detallada de las dolinas existentes, así como su análisis morfométrico, caracterización y tipificación. El estudio se apoya en el uso de ortoimágenes, modelos digitales de elevación y en el trabajo en campo. Se han identificado y delimitado 553 dolinas, agrupadas mayoritariamente en cinco zonas a través del macizo con diferentes rasgos litológicos, estructurales y topográficos. Su superficie media en estas zonas varía entre 748,8–1396,0 m², su profundidad media entre 7,0–10,2 m y su densidad entre 118,4–369,9 dolinas por km². Estos valores de densidad son superiores a los observados en otros estudios comparables, lo que se debería a la concurrencia de varios factores morfogenéticos que potencian este tipo de desarrollo kárstico. Entre estos factores diferenciadores con otras zonas, e internamente entre las zonas del macizo, se reconocen la altitud, la topografía, los rasgos estructurales del relieve y la formación geológica, este como principal.

Palabras clave: Relieve kárstico; Dolina; Fotointerpretación; Cartografía geomorfológica; Análisis morfométrico.

Abstract

The Fresneda-Correcillas massif (León), together with the Valporquero massif, is one of the southernmost karstic massifs of the Cantabrian Mountains. Karst landforms are abundant on it, particularly the exokarst forms of medium size or dolines, focus of this study. The study uses aerial photography and digital elevation models, as well as field work, to identify and map the existing dolines, as well as analysing, characterising



and typifying their morphometry and occurrence. 553 dolines have been identified and mapped, clustered mainly in five zones of varying lithology, structure and topography. The mean surface of dolines ranges from 748,8–1.395,9 m², the mean depth from 7,0–10,2 m and their density from 118,4–369,9 dolines per km². These density values are higher than in other comparable studies, which is associated to the concurrence of many morphogenetic factors that enhance this type of karstic development. Among these differentiating factors between zones, inside the massif and with other zones outside of it, we recognise the altitude, the topography, the structural features of the relief and the geological formation, this one being the main one.

Key words: Karst landscapes; Doline; Photointerpretation; Geomorphological mapping; Morphometric analysis.

1. Introducción

Las formas de relieve kársticas son unas de las más singulares y estudiadas (Jennings, 1971). Cvijic (1893) introdujo el concepto de “karst” y asentó las bases de la geomorfología kárstica en su obra *Das Karstphänomen*. El relieve kárstico es un relieve estructural vinculado a la naturaleza calcárea de las rocas y a su reacción química ante el agua ácida, que disuelve la caliza y precipita carbonatos cuando desaparece. Como consecuencia, existen formas de relieve de disolución, deformación y precipitación, que varían según la naturaleza de la roca, los rasgos estructurales, las condiciones climáticas y la presencia de agua ácida (De Waele y Gutiérrez, 2022). Entre las formas de relieve exokársticas destacan los lapiaces (i.e. *karren*), dolinas, uvalas (o coalescencia de dolinas), poljés y valles y fuentes kársticas (De Waele y Gutiérrez, 2022).

La geomorfología del karst ha sido estudiada y descrita en manuales generales a nivel nacional (Muñoz Jiménez, 1992; Gutiérrez-Elorza, 2008) e internacional (Cramer, 1941; Monroe, 1970; Jennings, 1971). Estudios de detalle de formas exokársticas han sido realizados en el Sistema Bético (Pardo-Igúzquiza *et al.*, 2016, 2023) y el Sistema Ibérico (Gracia Prieto, 1987, 1991; Martín Escorza, 1991; Gutiérrez-Santolalla *et al.*, 2005; Sánchez Fabre *et al.*, 2010; Morais y Soriano, 2017). En la Cordillera Cantábrica, la mayoría de los estudios se ubican en su parte central, muchos focalizados en los Picos de Europa (Smart, 1986; Hoyos Gómez y Herrero Orga-

nero, 1989; González Trueba, 2007; González Trueba y Serrano Cañadas, 2010; Ruiz Fernández y Serrano, 2011; Ruiz Fernández *et al.*, 2019). La vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica en su zona cantábrica (norte de la provincia de León y noroeste de Palencia) registra escasos estudios de este tipo, siendo estos enclaves puntuales (Pérez Llamazares, 1995; Barea Luchena, 2006;) o centrados en estudios geomorfológicos generales (García De Celis, 1993; González Gutiérrez, 2002; Rodríguez Pérez, 2009; Alonso, 2019; Gallinar Cañedo *et al.*, 2021).

El macizo de Fresneda-Correcillas, junto con el de Valporquero, forman el macizo de Valporquero-Fresneda, uno de los macizos kársticos más meridionales de la Cordillera Cantábrica. Estos macizos están separados por las hoces de Vegacervera, labradas por el río Torío. Los arroyos Moruquil y Valporquero, uno a cada lado, organizan la escorrentía, produciendo complejos sistemas kársticos desde el punto de vista hidrológico: zonas de captación como simas, dolinas, uvalas y poljés; circulación hipogea con las cuevas del Moruquil o Valporquero; y circulación epigea a través de la surgencia del Pozo del Infierno y la resurgencia de la Covona (Del Barrio *et al.*, 1997). El macizo de Valporquero-Fresneda ha sido estudiado por varios autores, destacando los estudios de endokarst, en especial en la Cueva de Valporquero (Altable Argüelles, 1991; Calvo, 1995), pero también en cavidades dentro del macizo de Fresneda-Correcillas como El Rubio, La Rubia, La Forca, El Cascabel, El Moruquil y el Sil de la Columbina (Redondo Vega,

1980; Delegación Leonesa de Espeleología, 1983). Existen también otros trabajos relacionados con las formas de relieve exokársticas en este entorno (Redondo Vega, 1980; Pérez Llamazares, 1995; González Gutiérrez, 2002; Redondo Vega *et al.*, 2002; Barea Luchena, 2006).

Este estudio se centra en el macizo de Fresneda-Correcillas, donde aparecen dos formas exokársticas de gran tamaño o poljés: el poljé del valle de Santiago y el poljé del valle del Marqués, drenado por el arroyo Moruquil hasta sumirse en la cueva homónima. A pesar del inferior tamaño de estos poljés respecto al definido tradicionalmente (Jennings, 1971), ambos reúnen las características para ser considerados poljés de pequeño tamaño (e.g. suelos aluviales rellenan el fondo, geometría alargada, laderas circundantes de gran pendiente y drenaje superficial hasta sumidero). Este macizo no cuenta con ningún estudio de detalle de sus formas exokársticas de tamaño medio o dolinas, que son el objeto de este estudio. Estas “depresiones cerradas, de forma circular o elipsoidal en planta, de metros a un kilómetro de diámetro y profundidad de pocos metros a más de un centenar de metros” (Gutiérrez-Elorza, 2008) aparecen en gran cantidad en el macizo de Fresneda-Correcillas, agrupadas formando campos de dolinas que se ubican en las principales plataformas kársticas (González Gutiérrez, 2002). Además, el estudio considera otras formas exokársticas, como las uvalas, generadas por la coalescencia de dolinas (Jennings, 1971), las dolinas capturadas, generadas por la captura del drenaje de una dolina y la apertura de sus paredes por la red fluvial (Pardo-Igúzquiza *et al.*, 2014), las simas y los sumideros. Pese a no tratarse en este estudio, el macizo presenta otras formas de relieve exokárstico como campos de lapiales, surcos y crestas calcáreos o hums (González Gutiérrez, 2002), además de otras destacadas formas geomorfológicas como conos aluviales o canales de avalancha.

Las dolinas se han clasificado tradicionalmente siguiendo criterios morfométricos, genéticos e hidrogeológicos. Monroe (1970)

diferencia dos tipos genéticos principales, las dolinas por disolución y las dolinas por colapso, aunque autores como Jennings (1971) o Bondesan *et al.* (1992) añaden las dolinas aluviales o de *sufosión* y las dolinas de subsidencia. Otros criterios de clasificación de las dolinas son los hidrogeológicos (Sauro, 2012) y los morfométricos, que ya serían introducidos por Cvijic (1893), y más recientemente reutilizados en estudios morfométricos por autores como Basso *et al.* (2013), quienes clasifican las dolinas según su forma planimétrica (circular, elíptica, subelíptica y elongada), o Bondesan *et al.* (1992), quienes las clasifican según su forma en profundidad (cono truncado, semiesfera, cono y cilindro).

La morfometría de dolinas y campos de dolinas ha sido extensamente estudiada en determinadas áreas kársticas del planeta durante el último siglo, destacando los estudios realizados por autores internacionales (Cramer, 1941; Williams, 1969, 1972a, 1972b; Jennings, 1971, 1975; Palmquist *et al.*, 1976; Day, 1978, 1983; Bondesan *et al.*, 1992; Fragosó-Servón *et al.*, 2014; Öztürk *et al.*, 2018), y nacionales (Gracia Prieto, 1987, 1991). Tradicionalmente, estas formas de relieve han sido identificadas a través de mapas topográficos o trabajo de campo, métodos que han sido actualizados y mejorados (Telbisz *et al.*, 2016) a través de la fotointerpretación y la delineación automática con fotogrametría (de Carvalho Júnior *et al.*, 2013; Rahimi y Alexander, 2013; Zhu *et al.*, 2014; Bauer, 2015; Verbovšek y Gabor, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Manabe *et al.*, 2021; Utlu y Öztürk, 2023).

La importancia del conocimiento científico pormenorizado de las formas kársticas es notable: son formas únicas cuyo conocimiento ayuda a su conservación; ciertos macizos kársticos son importantes zonas turísticas; algunos macizos kársticos son actualmente una fuente de abastecimiento de agua; puede servir como fundamento para posteriores estudios aplicados del medio natural. En el caso de las formas kársticas del macizo de Fresneda-Correcillas, así como de otros lugares, este conocimiento contribuye a su conservación

y a un uso racional, regulando el turismo, el abastecimiento de agua y cualquier otra actividad económica que utilice estos elementos como recursos (Martín-Duque *et al.*, 2012).

Los principales objetivos de este trabajo son: la realización de una cartografía detallada de las principales formas exokársticas cerradas de tamaño medio del macizo de Fresneda-Correcillas; el cálculo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y del trabajo de campo de los principales parámetros morfométricos de las dolinas previamente cartografiadas; la caracterización morfológica de las dolinas del macizo atendiendo a su tamaño, forma, litología, emplazamiento y a factores condicionantes como el clima, la altitud, la topografía, la tectónica o la litología; el establecimiento de una tipología de dolinas del macizo en función de las divisiones zonales en las que se emplazan, caracterizando los diferentes campos de dolinas; y la contextualización de dichas caracterizaciones respecto a otros estudios comparativos.

2. Área de estudio

El macizo de Fresneda-Correcillas se encuentra al norte de la provincia de León, en la Montaña Central Leonesa, ocupando territorio (17 km²) de los municipios de Cármenes, Matallana de Torío, Valdepiélago y Vegacervera. Junto con el macizo de Valporquero, forma parte de las estribaciones meridionales de la Cordillera Cantábrica y, desde el punto de vista geológico, de la Región Astur-Galaica del Orogéno Alpino Pirenaico (Martín-González y Heredia, 2011a), bordeando el sector septentrional de la cuenca sedimentaria del Duero (Herrero Hernández *et al.*, 2004), con altitudes que superan los 2000 m en el pico Correcillas o Polvoreda (2011 m).

Desde el punto de vista hidrográfico, el macizo de Fresneda-Correcillas pertenece a la cuenca hidrográfica del Duero y a la subcuenca del río Torío. Este curso fluvial organiza la escorrentía del macizo con una dirección N-S, mientras que el resto de los cursos fluviales

que rodean o atraviesan el macizo (Fig. 1) son afluentes por la margen izquierda. El arroyo Moruquil es el curso que avena el interior del macizo, nace al pie del pico Correcillas, fluye por el polje del valle del Marqués, se sume en la cueva del Moruquil, y emerge en la surgencia del Pozo del Infierno en las Hoces de Vegacervera, donde se une al río Torío aportando un caudal medio anual superior a 90 l/s (Redondo Vega, 1980; Barea Luchena, 2006).

Las principales litologías presentes son de origen paleozoico y de naturaleza calcárea, con hasta 9 formaciones litológicas diferentes aflorando en el macizo (Truyols *et al.*, 1994). De entre estas, las que afloran dentro del área de estudio son (Fig. 1):

- Grupo La Vid (Devónico inferior), formado por dolomías y calizas en la parte inferior (Fms. Felmin y Pedrosa) y pizarras y calizas en la parte superior (Fms. Valporquero y Coladilla). Potencia de 160 a 180 m.
- Formación Santa Lucía (Devónico inferior-medio), constituida por unos 240 m de calizas arrecifales.
- Formación Ermita (Devónico superior), formada por cuarcitas y areniscas de espesor inferior a 20 m, además de las calizas bioclásticas del Miembro Baleas de reducida potencia (2–9 m).
- Formación Alba (Carbonífero inferior), constituida principalmente por calizas rojas nodulosas o griotte cuya potencia no excede los 50 m.
- Formación Barcaliente (Carbonífero superior), forma junto a la Formación Valdeteja el conocido grupo de “Caliza de Montaña” (Wagner *et al.*, 1971). Formada por unos 250 m de calizas laminadas, oscuras y fétidas, con algunas capas (24 m) de calizas rosadas.
- Formación Valdeteja (Carbonífero superior), compuesta por potentes bancos de calizas grises masivas que en algunos lugares superan los 700 m de potencia.

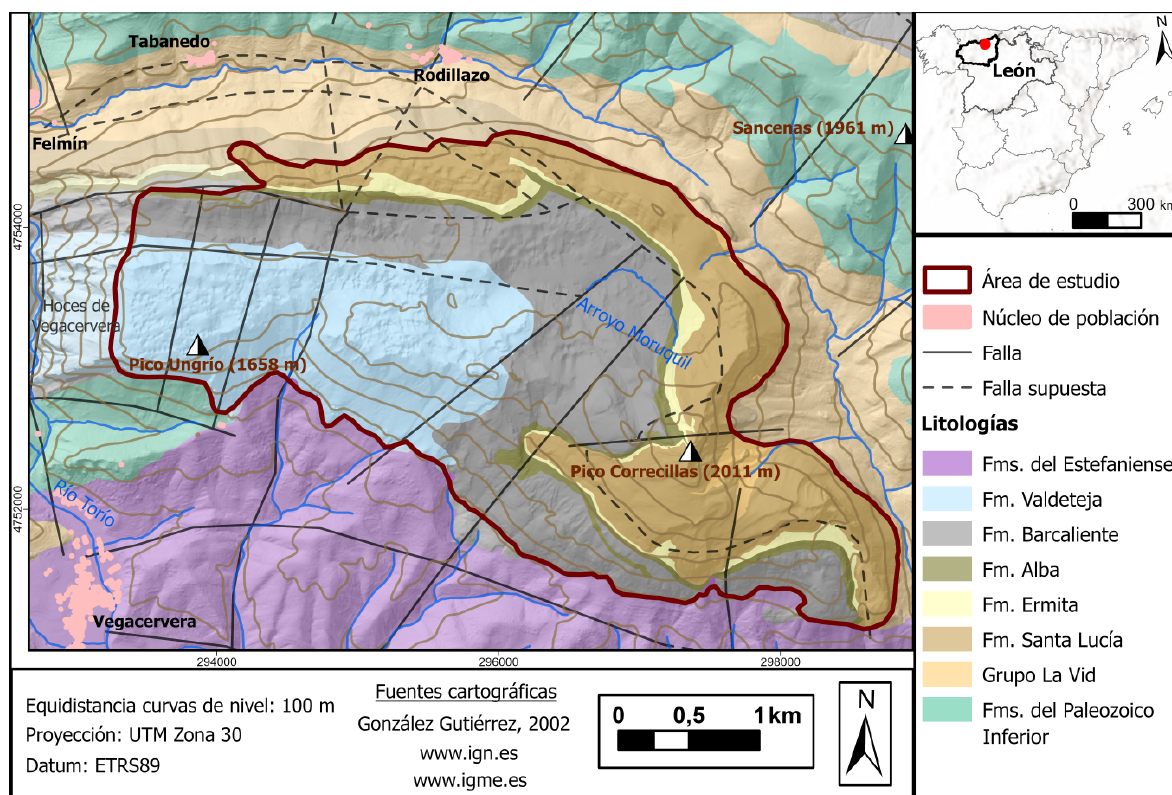


Figura 1: Localización, contexto, litología y fracturación del macizo de Fresneda-Correcillas y su entorno.

Figure 1: Location, context, lithology and fractures of the Fresneda-Correcillas massif and its surroundings.

Los rasgos tectónicos del macizo están vinculados con la Orogenia Varisca, momento que generó mantos y cabalgamientos, pliegues de acomodación y fallas tardihercínicas (Julivert, 1971). Estas estructuras forman parte de la Región de Pliegues y Mantos (Julivert, 1971), una de las unidades geológicas en las que se divide la Zona Cantábrica, perteneciente a su vez al Macizo Ibérico (Lotze, 1945). Además, la región se subdivide en las unidades de la Sobia-Bodón y de Somiedo-Correcillas, con varias escamas, Correcillas, Roza y Valporquero, recorriendo el macizo de oeste a este. El sector más oriental alberga el Apilamiento del Correcillas, una sucesión de pliegues isoclinales tumbados sobre las calizas de la Fm. Valdeteja, que arman la culminación del pico homónimo a 2011 m (Truyols *et al.*, 1994). Al final de la Orogenia Varisca se produjeron fallas tardihercínicas distensivas (Truyols *et al.*, 1994) que propiciaron la deposición de sedi-

mentos continentales en cuencas estefanienses, como la de Ciñera-Matallana situada al sur del macizo (Fig. 1).

Durante el Cenozoico esta zona fue afectada por la Orogenia Alpina, que levantó y fracturó el antiguo macizo paleozoico, generando estructuras falladas que son la base del relieve estructural actual y que forman parte del Orógeno Alpino Pirenaico (Martín-González y Heredia, 2011b). Así, el macizo de Fresneda-Correcillas, junto con el macizo de Valporquero, es un horst en cresta delimitado por cubetas y surcos (González Gutiérrez, 2002). El macizo está delimitado por dos fallas directrices de dirección O-E, la falla de Valporquero al norte y la de Vegacervera al sur. Ambas fallas levantan los bloques de Valporquero y de Fresneda 400–450 m con respecto a la cuenca de Vegacervera al sur y 150–200 m sobre la depresión de Valporquero al norte. Además de estas fa-

llas, pequeñas dislocaciones N-S fragmentan el macizo y provocan un hundimiento escalonado de este a oeste (2011 m del pico Correcillas a 1644 m del Fresneda a 1581 m del pico Cimero en el macizo de Valporquero). Ambos macizos (Valporquero y Fresneda) están separados por una falla meridional, donde el río Torío ha labrado las Hoces de Vegacervera (Fig. 1; González Gutiérrez, 2002).

Después de la Orogenia Alpina, la acción fluvial ha aprovechado las zonas afectadas por fallas o con materiales blandos para esculpir el relieve actual, lo que añadido a la importante presencia de litologías de origen calcáreo, además de su espesor, ha propiciado un importante relieve exokárstico, con formas de relieve exokársticas como lapiaces, dolinas, uvalas, poljés, sumideros y simas (González Gutiérrez, 2002; Barea Luchena, 2006), y endokárstico (Redondo Vega, 1980; Torres Vega *et al.*, 1983; Redondo Vega *et al.*, 2002).

Los rasgos climáticos de este sector de la Cordillera Cantábrica plasman una temperatura media anual de 8,9°C y una precipitación total anual de 1131,4 mm (SIGA, 2021), correspondiéndose en la clasificación climática de Köppen (1900) con un clima “Csb” o mediterráneo oceánico, o un “clima oceánico templado de montaña” (Martín Vide y Olcina Cantos, 2001). El Atlas Agroclimático de Castilla y León (2013) indica valores diferentes para las zonas altas del macizo, con una temperatura media anual entre 5,0 y 7,9°C y una precipitación anual de entre 1200 y 1700 mm, lo que supone un clima Dsb o continental con verano seco y suave (Köppen, 1900). Estas diferencias están relacionadas principalmente a la diferencia de altitud entre ambos lugares.

La importancia del medio físico del macizo de Fresneda-Correcillas se refleja en las numerosas figuras de protección del medio natural que alberga: la Reserva de la Biosfera de Los Argüellos (UNESCO, 2014); la Red Natura 2000 (Natura 2000, 2014); y el Espacio Natural Protegido de las Hoces de Vegacervera (Decreto 94/2004). Además, la importancia de los elementos geomorfológicos del macizo supone

que numerosos enclaves estén incluidos en el Inventario de Lugares de Interés Geológico, como son el poljé del valle del Marqués, las Hoces de Vegacervera, el Cabalgamiento basal de la Unidad de Somiedo en Correcillas y la Sección de la Escama de Correcillas por el río Torío (IGME, 2011).

3. Metodología

La información cartográfica digital (mapas base, ortofotos, modelos digitales de elevación y bases de datos vectoriales) utilizada como base para la elaboración de la cartografía se ha obtenido de los servidores digitales del Instituto Geográfico Nacional y del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 2003; CNIG, 2020). La principal herramienta en la elaboración de mapas y cálculo de datos y estadísticas ha sido el programa ArcMap, versión 10.8.1 (ESRI Inc., 2021).

Las formas exokársticas de tamaño medio se han identificado mediante fotointerpretación a través de ArcMap, utilizando ortoimágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2017 y 2020 (CNIG, 2020). Para la delineación manual de estas se ha utilizado un ráster de mapa de sombras, creado en ArcMap a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que a su vez es derivado de la nube de puntos LiDAR (“*Light Detection and Ranging*”) de los años 2008–2015 (primera cobertura), con una resolución de píxel de 50x50 cm. La delineación de las dolinas se ha realizado considerando su curvatura ajustada a la pendiente, método común en la delineación manual (Telbisz *et al.*, 2024). El tipo de forma y la presencia de relleno de fondo (depósitos tipo loess con desarrollo de cubierta herbácea) se han determinado mediante fotointerpretación, mientras que la litología sobre la que aparece cada una de las depresiones se ha calculado mediante una unión espacial, utilizando los mapas MAGNA de las hojas 103 y 104 como base (IGME, 2003). La longitud y anchura han sido trazadas en ArcMap (Fig. 2A), siendo la longitud (diámetro del eje mayor) una línea recta que une los puntos más lejanos de la

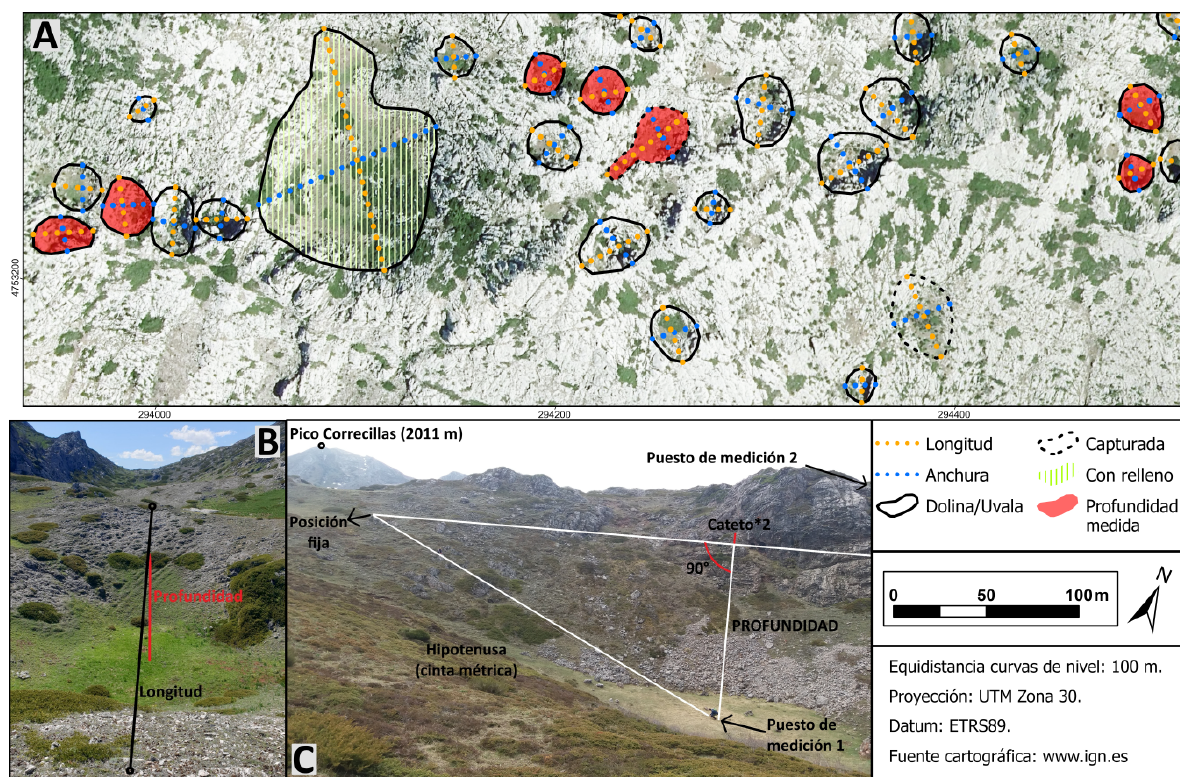


Figura 2: A) Delineación, tipificación y medición (longitud, anchura y profundidad en campo) de las depresiones cerradas del macizo de Fresneda-Correcillas. B) Ejemplo de parámetros medidos en campo (longitud y profundidad). C) Método de cálculo de la profundidad.

Figure 2: A) Delineation, typification, and measurement (length, width, and depth during fieldwork) of the closed depressions of the Fresneda-Correcillas massif. B) Example of field measured parameters (length and depth). C) Depth calculation method.

dolina y atraviesa su centro, y la anchura (diámetro del eje menor) una línea recta perpendicular al eje mayor que también recorre el centro de la dolina. Estas distancias son calculadas automáticamente por ArcMap, al igual que otros parámetros morfométricos como el perímetro o el área de cada depresión.

Para la realización del trabajo, el macizo de Fresneda-Correcillas se ha dividido en cinco zonas para posterior análisis: la plataforma kárstica baja (PKB), la plataforma kárstica alta (PKA), la plataforma kárstica central (PKC), la plataforma kárstica septentrional (PKS) y la zona de poljés (ZP). Los criterios diferenciales utilizados para esta división han sido: i) las formas exokársticas mayores en las que las dolinas aparecen (plataforma kárstica o poljé), ii) la litología sobre la que se asientan

(formaciones calcáreas del Devónico o Carbonífero), iii) los rasgos topográficos (diferente altitud, orientación o pendientes), iv) las dimensiones medias de las dolinas, consideradas pequeñas las menores de 1000 m², medianas entre 1000 y 5000 m² y grandes las mayores de 5000 m² (Gracia Prieto, 1991). Para cada zona se han calculado el área total, la altitud (media, mínima y máxima), el número total de dolinas, su superficie media en km² y la densidad o número de dolinas por km². A mayores, estos valores también se han calculado para el conjunto del macizo, clasificados en adelante como "Fresneda-Correcillas". Este conjunto engloba todas las depresiones presentes en el área de estudio, incluyendo las situadas en las cinco zonas y otras que por su situación no lo hacen, proporcionando una visión global al margen de la visión zonal.

La delineación manual y el cálculo de longitudes han sido validados en el campo, donde además se ha medido la profundidad de las dolinas (Fig. 2B). Este trabajo de campo se ha realizado en las cinco zonas del macizo, seleccionando una representación mínima del 5% de dolinas en cada una (desde 7,4% en la PKB hasta 15,8% en la PKC). La medición de profundidades ha consistido en el uso de cinta métrica como herramienta y la triangulación pitagórica como método de cálculo (Fig. 2C). Se ha medido la longitud de las dolinas y se ha dividido entre dos (cateto), que junto a la medida obtenida en la hipotenusa (distancia desde el mismo punto de observación hasta el punto medio en el fondo de la dolina), nos ha permitido obtener la profundidad a través de una ecuación ($a = \sqrt{h^2 - c^2}$).

La posterior clasificación morfométrica de las dolinas se ha basado en los siguientes índices:

- El índice de perforación o “*index of pitting*” (Williams, 1972a; Bauer, 2015), que relaciona la superficie ocupada por las dolinas con el área total de la zona, otorgando un valor más próximo a 1 cuanto mayor sea la perforación de la zona (1 indica una perforación total, con toda el área ocupada por dolinas).
- El índice de compacidad (Fragoso-Servón *et al.*, 2014) relaciona el perímetro de la dolina con la circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie que la dolina, obteniendo un valor más próximo a 1 cuanto más equidimensional sea y hasta un valor de 3 en las más alargadas. Cuando el valor es superior a 1,3, la depresión kárstica se considera una uvala.
- La forma planimétrica (Basso *et al.*, 2013) proviene del índice de elongación, que relaciona la longitud con la anchura y distingue cuatro tipos de depresiones que van de más isótropas a más anisótropas: circulares (<1,21), elípticas (1,21–1,65), subelípticas (1,65–1,80) y elongadas (>1,80).
- La forma geométrica (Bondesan *et al.*, 1992) relaciona el diámetro con la pro-

fundidad y distingue las dolinas según su forma geométrica (cono truncado, semiesfera, cono y cilindro) y los objetos cotidianos a los que se asemejan (plato, artesa, embudo y pozo) en función de si la relación da un valor mayor a 5, un valor entre 5 y 2, uno entre 2 y 1,5, o un valor menor a 1,5.

- El índice de distribución espacial o vecino más próximo (Clark y Evans, 1954) analiza el agrupamiento de dolinas en cada zona del macizo de Fresneda-Correcillas. Este índice relaciona la distancia media actual entre las dolinas con la distancia media esperada si la distribución fuese aleatoria, dando un valor de 1 o cercano cuando el agrupamiento es aleatorio, próximo a 0 cuando se da un agrupamiento máximo y próximo a 2,149 cuando es un modelo regular de distribución. Este índice también ofrece un valor crítico, que señala la probabilidad de que el patrón de agrupamiento o dispersión sea aleatorio.

4. Resultados

En el macizo de Fresneda-Correcillas se han identificado 553 depresiones cerradas exokársticas en un área de 6,1 km², agrupadas mayoritariamente en cinco zonas (Fig. 3). Las principales depresiones son las dolinas (524, 30 de ellas capturadas), aunque también aparecen 7 sumideros, 4 simas y 18 uvalas (Fig. 4). Estas 553 depresiones, con una superficie media de 909,5 m², se extienden a través de los 6,1 km² de área del macizo, con una densidad de 90,4 dolinas por km² que cubren el 8% del macizo. La altitud en la que aparecen varía de los 1511 m a los 1816 m, siendo la altitud media 1674,1 m. De las 553 depresiones, 395 (71,4%) aparecen en las calizas grises masivas de la Fm. Valdeteja, 134 (24,2%) en las calizas laminadas oscuras de la Fm. Barcaliente y 24 (4,3%) en las restantes formaciones (Alba, Ermita y Santa Lucía). Se han identificado 69 depresiones rellenadas (12,5% del total), principalmente en la Fm. Barcaliente (55,1%).

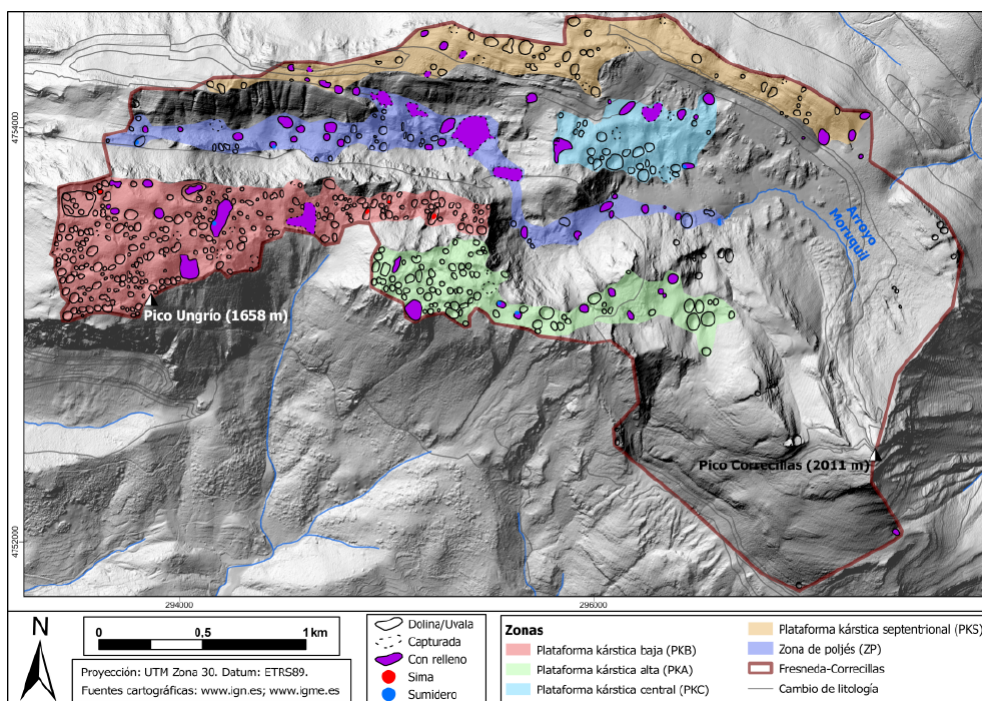


Figura 3: Depresiones cerradas kársticas estudiadas clasificadas en zonas dentro del conjunto del macizo.

Figure 3: Studied closed karst depressions arranged in zones within the overall massif.

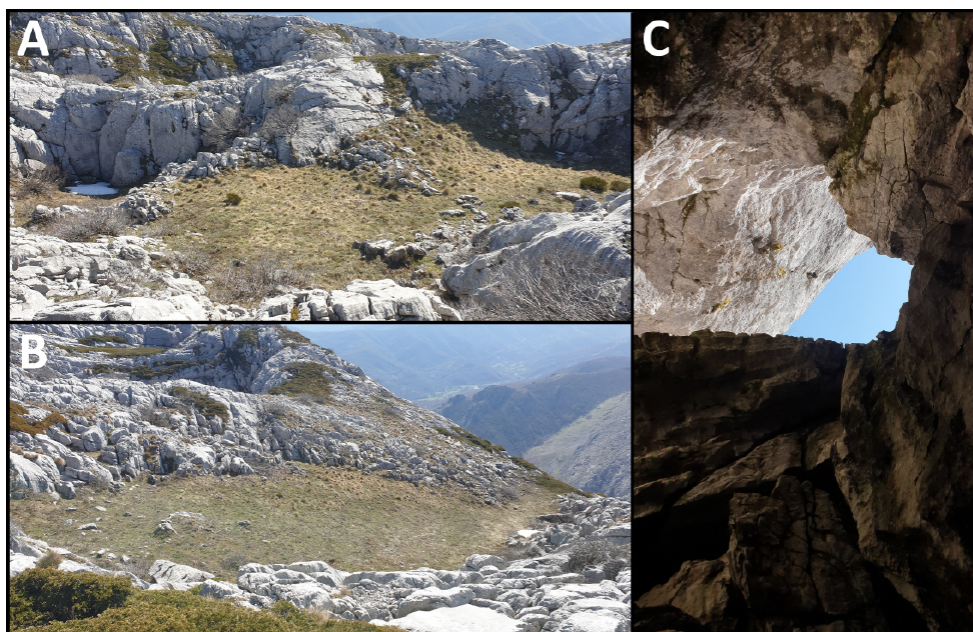


Figura 4: Imágenes representativas de los tipos de depresiones kársticas singulares presentes en el área de estudio: A) Ejemplo de uvala o coalescencia de dolinas. B) Ejemplo de dolina capturada. C) Ejemplo de sima.

Figure 4: Representative images of the singular karst depressions present in the study area: A) Example of an uvala or coalescence of dolines. B) Example of a captured doline. C) Example of a 'sima'.

4.1. Principales características zonales

Las principales características de las dolinas cartografiadas por zonas (Tabla 1) son:

- Plataforma kárstica baja (PKB): plataforma situada en el extremo occidental del macizo de Fresneda-Correcillas, con una altitud media de 1650 m. En esta zona, dominada por las calizas masivas de la Fm. Valdeteja, se han identificado 271 dolinas de tamaño pequeño (3,3% rellenadas), con 748,8 m² de superficie media, siendo la zona con las dolinas más pequeñas. Estas aparecen en gran densidad a lo largo de los 0,7 km² que ocupa la zona (369,9 dolinas por km²) y cubren un 28% del terreno.
- Plataforma kárstica alta (PKA): presenta rasgos similares a la anterior zona, con la diferencia de encontrarse a mayor altitud media (1742 m) y más al este. Se han identificado 95 dolinas (10,5% rellenadas) en una zona de 0,4 km² sobre las calizas masivas de la Fm. Valdeteja, con una superficie media de 946,9 m², densidad de 250,2 dolinas por km² y una superficie total cubierta del 24% de la zona.
- Zona de poljés (ZP): se extiende a través del relleno de fondo de los poljés del valle de Santiago y del valle del Marqués, con 65 dolinas (40,0% rellenadas) repartidas entre las calizas laminadas de la Fm. Barcaliente (67,7%) y las calizas masivas de la Fm. Valdeteja (32,3%) y ocupando las zonas con menor altitud del macizo (1567 m de media). Estas dolinas de tamaño medio (1330,4 m² de superficie) ocupan un 21% de la superficie de la zona (0,4 km²) y aparecen con una densidad de 154,6 dolinas por km².
- Plataforma kárstica central (PKC): pequeña plataforma kárstica de 0,2 km² de superficie localizada en la zona central del macizo, entre ambos poljés y a una altitud media de 1637 m. Las 38 dolinas identificadas (21,1% rellenadas) aparecen sobre

las calizas laminadas de la Fm. Barcaliente y tienen una dimensión media de 1396,0 m², ocupando un 23% del área de la zona y apareciendo con una densidad de 162,9 dolinas por km².

- Plataforma kárstica septentrional (PKS): localizada en el borde norte del macizo a 1638 m de altitud media, cuenta con 59 dolinas identificadas (20,3% rellenadas), la mayoría de tamaño medio (907,3 m² de superficie media), que aparecen sobre diferentes formaciones litológicas (41 en la Fm. Barcaliente, 9 en la Fm. Alba, 3 en la Fm. Ermita y 6 en la Fm. Santa Lucía). Estas dolinas ocupan un 11% de la superficie total de la zona (0,5 km²) y su densidad es de 118,4 dolinas por km².

4.2. Morfometría de dolinas

Las principales mediciones realizadas han sido el diámetro, la anchura y la profundidad. La media de las 553 dolinas identificadas en el macizo es de 35,4 m de diámetro y 26,6 m de anchura, que varían desde diámetros y anchuras superiores en la PKC y la ZP, a valores inferiores en la PKB. El diámetro y la anchura medios en las distintas zonas es, respectivamente: 31,9 m y 23,9 m en la PKB; 36,8 m y 28,4 m en la PKS; 37,0 m y 28,7 m en la PKA; 41,6 m y 29,7 m en la ZP; y 46,2 m y 33,7 m en la PKC. La profundidad media del conjunto de dolinas del macizo es de 9,6 m, siendo esta de 7,0 m en la ZP, 8,7 en la PKS, 8,8 m en la PKC, 9,5 en la PKA y 10,2 en la PKB. Los valores de profundidad medios son inferidos de las muestras estudiadas en campo. Los 553 valores individuales (50 en el caso de la profundidad) se han extraído y representado en diagramas de dispersión (Fig. 5) que comparan la relación entre anchura y longitud y entre profundidad y longitud. La línea de tendencia muestra una relación positiva y directa en ambos casos, siendo la correlación entre anchura y longitud significativa ($R^2 = 0,76$), pero la correlación entre profundidad y longitud no lo suficiente significativa ($R^2 = 0,15$). No obstante, este índice de correlación

Tabla 1: Características morfométricas de las principales zonas del macizo de Fresneda-Correcillas.

Table 1: Morphometric characteristics of the main areas of the Fresneda-Correcillas massif.

	Plataforma kárstica baja (PKB)	Plataforma kárstica alta (PKA)	Zona de poljés (ZP)	Plataforma kárstica central (PKC)	Plataforma kárstica septentrional (PKS)	Fresneda- Correcillas
Área (km ²)	0,73	0,38	0,42	0,23	0,50	6,12
Nº dolinas	271	95	65	38	59	553
Superficie media (m ²)	748,8	946,9	1330,4	1396,0	907,3	909,5
Densidad (Dolinas/km ²)	369,9	250,2	154,6	162,9	118,4	90,4
Formación litológica principal	Fm. Valdeteja (100%)	Fm. Valdeteja (99,0%)	Fm. Barcaliente (67,7 %)	Fm. Barcaliente (100%)	Fm. Barcaliente (69,5%)	Fm. Valdeteja (71,5%)
Superficie ocupada por km ²	0,28	0,24	0,21	0,23	0,11	0,08
Índice de perforación (Williams, 1969)	3,6	4,2	4,9	4,4	9,3	12,2
Elevación media (m.s.n.m.)	1649,9	1741,6	1568,9	1636,9	1638,4	1674,1
Diámetro medio (m)	31,9	37,0	41,6	46,2	36,8	35,4
Anchura media (m)	23,9	28,7	29,7	33,7	28,4	26,6
Profundidad media (m)	10,2	9,5	7,0	8,8	8,7	9,6
Compacidad media (Fragoso- Servón <i>et al.</i> , 2014)	1,051	1,036	1,070	1,051	1,043	1,049
Forma planimétrica (Basso <i>et al.</i> , 2013) ci- circular; el- elíptica; sb- subelíptica; en- elongada	43,5% ci; 44,7% el	51,6% ci; 37,9% el	44,6% ci; 35,9% el	39,5% ci; 44,7% el	49,2% ci, 44,0% el	45,8% ci; 42,0% el; 5,2% sb; 7,1% en
Forma en profundidad (Bondesan <i>et al.</i> , 1992) pl- plato; a- artesa; e- embudo; p- pozo	65% a; 20% e; 15% p	87% a; 13% e	66% pl; 33% a	17% pl; 83% a	20% pl; 80% a	14% pl; 70% a; 10% e; 6% p
Índice de distribución espacial (R) (Clark y Evans, 1954)	1,281	1,343	1,394	1,242	1,523	0,892

es mayor en las distintas zonas ($R^2 = 0,24$ en la ZP; $R^2 = 0,28$ en la PKB; $R^2 = 0,43$ en la PKS; $R^2 = 0,60$ en la PKA; y $R^2 = 0,84$ en la PKC, zona donde la correlación es mayor).

A través del perímetro y área de las dolinas se han deducido el índice de perforación o “*index of pitting*” (Williams, 1969; Bauer, 2015) y el índice de compacidad (Fragoso-Servón *et al.*, 2014). El índice de perforación obtenido para el macizo es de 12,2, siendo de entre las zonas la menos perforada la PKS (9,3), seguida por la ZP (4,9), la PKC (4,4), la PKA (4,2) y finalmente la PKB (3,6), la zona más perforada.

Por su parte, el índice de compacidad media para las 553 dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas es de 1,049, que zonalmente varía desde 1,036 en la PKA, zona con el mayor valor de compacidad donde las dolinas son más equidimensionales, hasta 1,070 en la ZP, zona con menor compacidad donde las dolinas son más anisótropas. El índice de compacidad medio en la PKS es 1,043 y 1,051 en la PKB y la PKC.

La clasificación morfométrica se ha realizado según la forma en plano (Basso *et al.*, 2013) y la forma geométrica de las dolinas (Bonde-

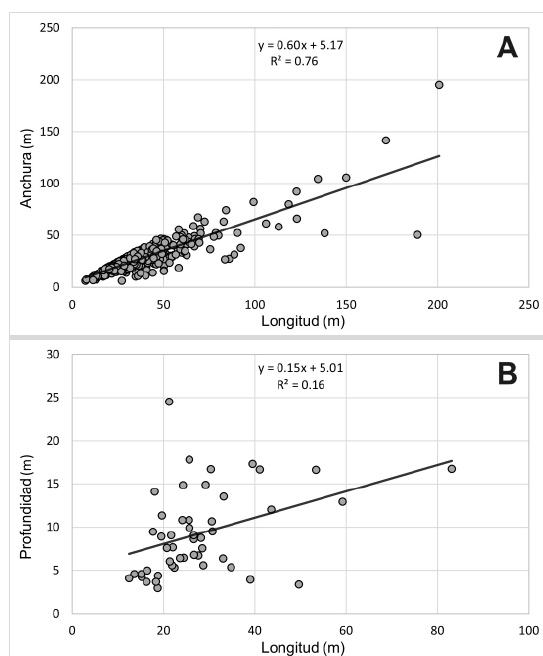


Figura 5: A) Diagrama de dispersión de anchura contra longitud. B) Diagrama de dispersión de profundidad contra longitud.

Figure 5: A) Width versus length scatterplot. B) Depth versus length scatterplot.

san *et al.*, 1992). Respecto a la forma en plano destacan las dolinas circulares (45,8%) y elípticas (42,0%), con las subelípticas (5,2%) y elongadas (7,1%) menos presentes a lo largo del macizo de Fresneda-Correcillas. La PKA y la PKS destacan por contar con un gran porcentaje de dolinas circulares (51,6% y 49,2% respectivamente), mientras que la PKC solo cuenta con un 39,5% de estas dolinas. Las dolinas elípticas predominan en la PKB y la PKC (44,7% en ambas zonas), mientras que la ZP solo cuenta con un 35,9% de estas dolinas. Aunque con poco peso absoluto, destaca una mayor presencia relativa de dolinas subelípticas en la PKC (11%) y de dolinas elongadas en la ZP (15%). Respecto a la forma geométrica (Bondesan *et al.*, 1992) destaca la artesa como el tipo de dolina predominante en el macizo (70% del total), seguidas por las dolinas en forma de plato (14%), embudo (10%) y pozo (6%). Estos valores varían entre las distintas zonas del macizo (Fig. 6; Tabla 1). En

la ZP destacan las dolinas en forma de plato (66%), que también aparecen en la PKS y la PKC (20% y 17% respectivamente). Las dolinas en forma de embudo solo se han localizado en la PKB y la PKA (20% y 13% respectivamente), mientras que las dolinas en pozo se limitan exclusivamente a la PKB (15%). La proporción en que estas formas geométricas aparecen es inferida de las 50 muestras estudiadas en campo.

Finalmente, el índice de distribución espacial o vecino más próximo (Clark y Evans, 1954) muestra un agrupamiento conjunto de las dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas de $\bar{R} = 0,89$ (Tabla 1), próximo a 1, lo que supondría un agrupamiento aleatorio con tendencia al agrupamiento. Zonalmente, los valores obtenidos van desde $\bar{R} = 1,24$ en la PKC, $\bar{R} = 1,28$ en la PKB o $\bar{R} = 1,34$ en la PKA hasta $\bar{R} = 1,39$ en la ZP o $\bar{R} = 1,52$ en la PKS. Todas las zonas tienen una distribución aleatoria que tiende a la dispersión. El valor crítico en todos los casos es inferior al 1%.

5. Discusión

5.1 Relación entre características morfométricas y sus posibles factores morfogenéticos

Las 553 depresiones cerradas exokársticas de tamaño medio identificadas y cartografiadas en el macizo de Fresneda-Correcillas deben ser contextualizadas en su entorno físico para trazar relaciones preliminares entre los parámetros morfométricos y sus factores morfogenéticos. Así, un factor determinante en la forma y distribución de las dolinas es la formación geológica sobre la que asientan. Las dos formaciones litológicas principales (Fms. Valdeteja y Barcaliente) se reparten la mayoría de las dolinas (71,5% y 24,2% respectivamente), dejando al resto de formaciones litológicas con el restante 4,3% de dolinas (1,6% en la Fm. Alba; 1,3% en la Fm. Ermita y 1,4% en la Fm. Santa Lucía), insuficiente para realizar conclusiones de efecto sobre estas lito-

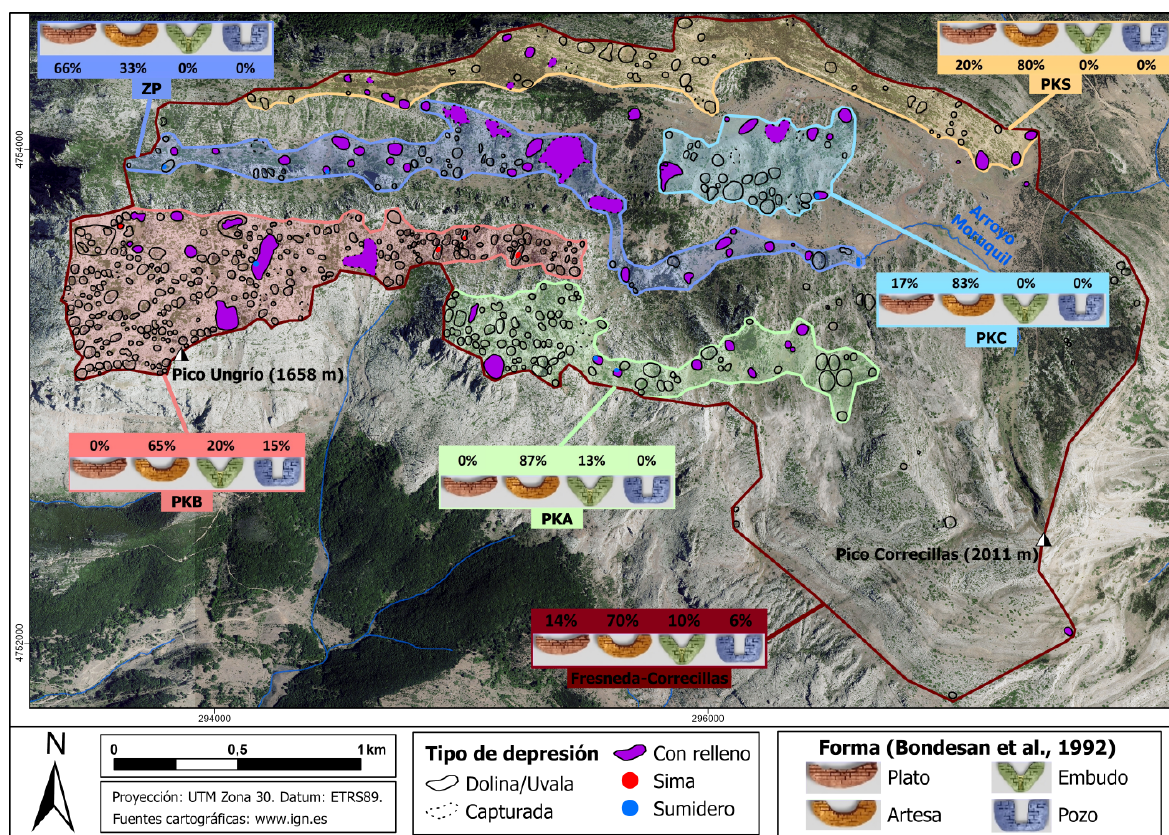


Figura 6: Dolinas según forma en profundidad (Bondesan *et al.*, 1992) por zonas y para el conjunto del macizo.

Figure 6: Dolines according to shape in depth (Bondesan *et al.*, 1992) by zones and for the overall massif.

logías. Las zonas donde predominan las calizas masivas de la Fm. Valdeteja (PKB y PKA) presentan un menor número de dolinas con relleno de fondo, una mayor densidad de dolinas, un mayor índice de perforación y una mayor superficie del área total ocupada por estas, mientras que las zonas donde predominan las calizas laminadas de la Fm. Barcaliente (ZP, PKC y PKS, donde también aparecen otras formaciones) presentan valores menores. Otros valores morfométricos, como la superficie media de las dolinas, el diámetro y la anchura son menores en las calizas masivas que en las calizas laminadas, aunque no la profundidad, que es menor en las calizas laminadas. Estas diferencias se reflejan en las distintas formas en profundidad (Fig. 6): mayor cantidad de dolinas en embudo y pozo sobre la Fm. Valdeteja, mientras que las dolinas en forma de plato predominan en la Fm.

Barcaliente. La diferente naturaleza de las dos litologías dominantes (bancos métricos en la Fm. Valdeteja contra las capas decimétricas en la Fm. Barcaliente), su diferente grado de fisuración y sus cambios de facies entre niveles de naturaleza kárstica y niveles impermeables (Sánchez Fabre *et al.*, 2010) podrían ser las principales razones de estas diferencias, condicionando la intensidad y distribución de la percolación y, en definitiva, de disolución de la masa calcárea.

Diferencias geológicas similares han sido observadas en la cordillera Velebit de Croacia (Sauro, 2012), donde las dolinas desarrolladas sobre calizas masivas son más profundas y sin relleno de fondo (capturando grandes cantidades de nieve en invierno que acelerarían su evolución al derretirse), mientras que las que estaban sobre calizas sensibles a la

gelivación aparecían cubiertas por rellenos de fondo (depósitos tipo loess). Estas diferencias geológicas ya han sido señaladas en el macizo de Valporquero por Barea Luchena (2006) para las dolinas formadas sobre la Fm. Barcaliente y la Fm. Valdeteja. El autor comparó la cantidad, el tamaño, la forma, los bordes, el fondo y el relleno de unas y otras (Tabla 2), presentando similitudes con lo observado en el macizo de Fresneda-Correcillas (Fig. 2B y 2C como ejemplos de la Fm. Barcaliente y Fig. 4A, 4B y 4C como ejemplos de la Fm. Valdeteja). Su clasificación es coincidente, si bien las dolinas en la Fm. Valdeteja sí sobrepasan los 20 m de diámetro en la mayoría de los casos en nuestro estudio (31,9 m en la PKB y 37,0 m en la PKA de media).

Tabla 2: Diferencias entre las dolinas de las formaciones Barcaliente y Valdeteja. Adaptada de: Barea Luchena (2006).

Table 2: Differences between the dolines of the Barcaliente and Valdeteja formations. Adapted from: Barea Luchena (2006).

	Formación Barcaliente	Formación Valdeteja
Cantidad de dolinas	Menor	Mayor
Tamaño	Medio, algunas > a 100 m	Pequeñas, < 20 m
Forma	Redondeadas	Embudo
Bordes	Suaves	Abruptos
Fondo	Plano	Sinuoso y con presencia de grandes bloques
Relleno	Arcillas de descalcificación y materiales detríticos	Bloques calizos y abundantes restos vegetales

Otros factores morfogenéticos pueden determinar la aparición y el desarrollo de estas depresiones cerradas como la estructura del relieve, la topografía y la altitud. En cuanto a la influencia de los rasgos estructurales en el relieve del karst, Martín Escorza (1991) y Pardo-Igúzquiza *et al.* (2023) identificaron un alineamiento de las dolinas con las principales fallas direccionales en sus áreas de estudio, mien-

tras que Pérez Llamazares (1995) señaló que, dentro de una misma dolina, la disolución es preferencial siguiendo las líneas de diaclasa y fracturas. Un gran número de dolinas parece concentrarse en las principales líneas de fallas identificadas por González Gutiérrez (2002) dentro del macizo de Fresneda-Correcillas (Fig. 1). Respecto a la topografía, las depresiones cerradas aparecen mayoritariamente sobre superficies aplanadas (polje o plataforma kárstica), mientras que las zonas de elevada pendiente, como los bordes del macizo o las laderas del pico Correcillas, no son propicias para su desarrollo (Faivre y Pahernik, 2007; Öztürk *et al.*, 2018). La altitud es, por su parte, determinante en el desarrollo kárstico en áreas de montaña, influyendo en la precipitación, las temperaturas, la cubierta nival y la cubierta edáfica (Ruiz Fernández *et al.*, 2019). En el caso del macizo, observamos que las depresiones están restringidas a un rango de 1500–1900 m, algo recurrente a lo largo de la Cordillera Cantábrica, donde las principales superficies y altiplanicies con plataformas kársticas aparecen en este rango (González Gutiérrez, 2002). Day (1983) observó diferencias en la densidad de dolinas en función de la altitud, algo también observado en el macizo de Fresneda-Correcillas, donde las zonas más elevadas albergan más densidad de dolinas que las zonas a menor altitud (Tabla 1).

Los rasgos climáticos (interrelacionados con la altitud) controlan la disolución kárstica, siendo mayor a medida que aumentan las precipitaciones y disminuye la temperatura del agua (Ford y Williams, 2007). Los rasgos climáticos han sido relacionados con la evolución de dolinas anteriormente, al ser capaces de generar marcadas diferencias (morfométricas) entre distintas zonas climáticas (Veress, 2020). Cramer (1941) advirtió una influencia climática en el tamaño medio y la densidad de las dolinas de disolución y subsidencia. Gracia Prieto (1987) constató que la acción combinada de viento y nieve, en relación con la estructura geológica, es responsable de crear elongaciones, alineamientos y disimetrías en las depresiones. En el macizo de Sancenas, Pérez Llamazares (1995) achacó las

diferencias en la morfología de dolinas entre esta zona y la estudiada por Jennings (1975) a la crioclastia y discontinuidades mecánicas más que a las diferencias climáticas, pese a la presencia de agua con mayor poder disolutorio en Sancenas. En el macizo de Fresneda-Correcillas, la relación entre las condiciones climáticas (temperaturas bajas y precipitaciones en forma de nieve) y las características morfométricas de las dolinas no llega a ser detallada: los rasgos climáticos del macizo no son suficientemente heterogéneos como para explicar diferencias entre las dolinas de las distintas zonas. Datos climáticos locales podrían favorecer que futuros estudios describan dicha relación.

Por último, otro factor que podría explicar las características morfométricas de las depresiones cerradas es la antigüedad de la litología. Palmquist *et al.* (1976) observaron que las dolinas (creación, dimensiones y densidad) guardan relación con la edad de las rocas tras analizar ejemplares en tres lugares con materiales de distinta edad, señalando que cuanto más antiguos eran los estratos, menor número de dolinas nuevas surgían, predominando la evolución de las ya existentes. Otros autores, como Aubert (1966), afirman que la cubierta arcillosa del fondo de las dolinas supone su última fase, ya que al comienzo el agua entra con velocidad, pero al rellenarse dificulta la conexión y la dolina pasa a crecer en superficie en vez de en profundidad. Ambas teorías concuerdan con lo observado en el macizo de Fresneda-Correcillas, donde la formación litológica más antigua de entre las dos principales (Barcaliente) tiene menor densidad de dolinas, con dimensiones mayores y frecuentemente rellenas por un tapiz arcilloso. No obstante, los estudios realizados en el macizo vecino de Sancenas sobre las mismas formaciones demuestran lo contrario (Pérez Llamazares, 1995). Ambas formaciones (Barcaliente y Valdeteja) pertenecen al mismo periodo (Carbonífero Superior) y han sufrido dos orogénias (Varisca y Alpina). En este contexto, es probable que la diferencia en antigüedad no sea suficiente como para considerarse un factor condicionante y serían necesarios estudios

más detallados que reflejen cambios vinculados a la antigüedad litológica.

5.2 Contextualización de las características morfométricas

Se han querido comparar los distintos parámetros obtenidos con aquellos reconocidos en otros lugares (Tabla 3) para contextualizar los rasgos morfométricos de las dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas. Los principales estudios tomados como referencia son:

- Cramer (1941), quien inventarió y calculó tamaños, densidades y áreas ocupadas de varios campos de dolinas a lo largo del mundo.
- Jennings (1975), quien estudió la profundidad, el índice de elongación, el índice de compacidad y la correlación entre profundidad y longitud del campo de dolinas de Craigmore, en Nueva Zelanda.
- Day (1983), quien investigó 1179 dolinas en Barbados, calculando su densidad, los índices de perforación y de distribución espacial, y la correlación entre profundidades y longitudes, además de relacionar varios parámetros morfométricos con la altitud.
- Bondesan *et al.* (1992), quienes analizaron 3 zonas distintas del noreste italiano (el Montello, la plataforma de Candaglia y el karst de Trieste), calculando la densidad de dolinas, el índice de elongación, el índice de distribución espacial y otros parámetros morfométricos.
- Gracia Prieto (1991), quien estudió parámetros como la densidad, la superficie ocupada, el índice de elongación y el índice de distribución espacial en cinco campos de dolinas del sector central de la Cordillera Ibérica.
- Öztürk *et al.* (2018), quienes investigaron once plataformas kársticas en los Montes Tauro (Turquía), con numerosos campos

de dolinas que agrupaban 140.070 ejemplares. Algunos de los parámetros presentados incluyen la altitud media y la densidad de dolinas.

Pese a que la mayoría de estos estudios han sido elaborados en zonas de clima templado, a excepción de los de Cramer (1941) y Day (1983), el desarrollo kárstico es diverso. Las áreas estudiadas varían desde 1,7 km² en la plataforma de Candaglia (Bondesan *et al.*, 1992) o 3,0 km² en la Cordillera Ibérica (Gracia Prieto, 1991), próximos a los 6,1 km² de nuestra área, hasta la unión de grandes complejos montañosos como los 13.189 km² de

los Montes Tauro (Öztürk *et al.*, 2018). El número de dolinas también varía notablemente desde 26 (Gracia Prieto, 1991) hasta 140.070 (Öztürk *et al.*, 2018), quedando entre medias las 553 del macizo de Fresneda-Correcillas.

La mayor diferencia observable en el desarrollo kárstico respecto a otras zonas es la densidad con que las dolinas aparecen en el macizo de Fresneda-Correcillas (Tabla 3). Las 90,4 dolinas por km² del macizo (mayor si se consideran las cinco zonas estudiadas, con las 369,9 dolinas por km² de la PKB como máximo) se incluirían en la categoría de muy alta densidad (más de 70 dolinas por km²) según la classifica-

Tabla 3: Parámetros observados en otros estudios de dolinas.

Table 3: Parameters observed in other doline studies.

	PKB	PKA	ZP	PKC	PKS	Fresneda-Correcillas	Cramer (1941)	Jennings (1975)	Day (1983)	Gracia Prieto (1991)	Montello, Bondesan <i>et al.</i> (1992)	Candaglia, Bondesan <i>et al.</i> (1992)	Trieste, Bondesan <i>et al.</i> (1992)	Öztürk <i>et al.</i> (2018)
Área total (km ²)	0,73	0,38	0,42	0,23	0,50	6,12	-	-	124,5	3,00-49,03	6,50	1,74	13	13189
Nº dolinas	271	95	65	38	59	553	-	-	1179	26-335	-	-	-	140070
Dolinas/km ²	369,9	250,2	154,6	162,9	118,4	90,4	0,6-2460,0	-	9,5	6,5-35,1	36,0	51,0	40,0	2,9-17,2
Superficie ocupada por km ²	0,28	0,24	0,21	0,23	0,11	0,08	Hasta 0,30	-	0,01	0,02-0,08	-	0,21	0,15	-
Índice de perforación	3,61	4,22	4,86	4,40	9,31	12,17	-	-	90,91	-	2,57	4,86	6,66	-
Elevación (m)	1588-1704	1688-1816	1511-1642	1607-1661	1580-1701	1511-1816	-	-	0-269	-	150-310	1232-1356	22-370	10-2870
Superficie media (m ²)	748,8	946,9	1330,4	1396,0	907,3	909,5	17-159200	-	1223	-	-	4105	-	-
Diámetro medio (m)	31,9	37,0	41,6	46,2	36,8	35,4	-	-	-	-	143	65	-	-
Profundidad media (m)	10,2	9,5	7,0	8,8	8,7	9,6	-	5,9	3,9	-	-	8,0-10,0	-	-
Índice de elongación	1,35	1,31	1,46	1,38	1,29	1,35	-	1,32	-	1,66-1,95	1,36	-	-	-
Índice de distribución espacial ($\bar{R}$)	1,28	1,34	1,39	1,24	1,52	0,89	-	-	0,51-1,16	1,55-2,15	1,27	-	-	-
Correlación profundidad/longitud	0,28	0,60	0,24	0,84	0,43	0,15	-	0,84	0,65	-	-	-	0,78	-

ción de Faivre y Pahernik (2007). Esta densidad es mayor que en los estudios comparados, salvo algún área de las estudiadas por Cramer (1941), con hasta 2460 dolinas por km². Además de estos estudios, se ha obtenido la densidad en otros (Tabla 4), con valores en todas estas zonas que van de 0,4 a 77,3 dolinas por km², densidades menores en todos los casos que en el macizo de Fresneda-Correcillas, incluido el vecino macizo de Sancenas (Pérez Llamazares, 1995), donde litología y condiciones climáticas son similares, pero la densidad es tan solo de 7,4 dolinas por km². Es importante considerar que las dolinas en el macizo son mayoritariamente pequeñas (77,9%) según la clasificación de Frago-Servón *et al.* (2014), pudiendo facilitar la aparición de un mayor número de ejemplares, así como que el método de identificación no es homogéneo para todos los estudios considerados (e.g. trabajo de campo, mapas topográficos, fotointerpretación de fotogrametría aérea), pudiendo ser una limitación para las morfologías más pequeñas (Day, 1983). Opuestamente, métodos de delineación modernos (e.g. algoritmos de detección automatizada con LiDAR) permiten identificar depresiones de hasta 2 m² de diámetro y han facilitado que densidades similares (122 dolinas por km²) hayan sido identificadas en los Alpes Austríacos (Decker y Plan, 2006). No obstante, esta densidad se reduce a 61 dolinas por km² cuando se considera un límite mínimo de 78,5 m² (coincidente con la superficie mínima incluida en nuestro estudio de 79,7 m²). A pesar de estas consideraciones, la marcada diferencia con otras zonas apuntaría a la presencia de factores potenciadores en la aparición de dolinas en el macizo de Fresneda-Correcillas, como la presencia de las plataformas kársticas desarrolladas sobre las calizas masivas de la Fm. Valdeteja (250,2 dolinas por km² en la PKA y 369,9 en la PKB). La densidad de dolinas ha sido asociada previamente a la estructura tectónica (intensidad de fracturación), la topografía (escasa pendiente sin escorrentía activa e infiltración concentrada), la potencia de las capas carbonatadas y la acumulación nival (Öztürk *et al.*, 2018; Sauro, 2012), características que se dan conjuntamente en el macizo de Fresneda-Correcillas.

Tabla 4: Comparación de densidad de dolinas entre el macizo de Fresneda-Correcillas y otras zonas.

Table 4: Comparison of doline density between the Fresneda-Correcillas massif and other areas.

Lugar	Densidad (dolinas/km ²)	Fuente
Torre Castiglione (Italia)	9,7	Basso <i>et al.</i> (2013)
Montello (Italia)	36,0	Bondesan <i>et al.</i> (1992)
Trieste (Italia)	40,0	Bondesan <i>et al.</i> (1992)
Candaglia (Italia)	51,0	Bondesan <i>et al.</i> (1992)
Gunung Sewu (Indonesia)	4,9	Cramer (1941)
Antigua	0,4	Day (1978)
N. Jamaica	2,9	Day (1978)
Yucatán (Méjico)	3,3	Day (1978)
Belize	9,7	Day (1978)
Guadalupe	11,2	Day (1978)
Guatemala	13,1	Day (1978)
Isla de Brac (Croacia)	18,1	Faivre y Pahernik (2007)
Odón (C. Ibérica)	6,5	Gracia Prieto (1991)
Villaroya P2 (C. Ibérica)	35,1	Gracia Prieto (1991)
Montes Tauros (Turquía)	10,5	Öztürk <i>et al.</i> (2018)
Montes Seyran (Turquía)	17,2	Öztürk <i>et al.</i> (2018)
Sancenas (Cordillera Cantábrica)	7,4	Pérez Llamazares (1995)
Upper Yellow (Jamaica)	38,6	Urquhart (1958)
Montpellier (Jamaica)	38,6	Urquhart (1958)
Lower Yellow (Jamaica)	77,3	Urquhart (1958)
Nueva Guinea	10,5–22,1	Williams (1972a)
Fresneda-Correcillas	90,4	
PKS	118,4	
PKB	369,9	

Con respecto a la morfometría, observamos que el tamaño planimétrico de las dolinas es mayor en los estudios comparados que en la zona de estudio. Los 909,5 m² de superficie media en el conjunto del macizo de Fresneda-Correcillas (748,8 m² en la PKB hasta 1396,0 m² en la PKC) son inferiores a los 1223 m² en Barbados (Day, 1983) o los 4105 m² en la plataforma de Candaglia (Bondesan *et al.*, 1992), siendo más difíciles de clasificar los parámetros ofrecidos por Cramer (1941), que van desde los 17 m² en algunas zonas hasta los 159.200 m² en otras. De manera similar, los 35,4 m de diámetro medio en el macizo de Fresneda-Correcillas son inferiores a los 65 m en la plataforma de Candaglia o los 143 m en Montello (Bondesan *et al.*, 1992). En cambio, los parámetros de profundidad medios difieren respecto a este orden, siendo los 3,9 m en Barbados (Day, 1983) y los 5,9 m en Nueva Zelanda (Jennings, 1975) inferiores a los 9,6 m de profundidad media en el macizo (10,2 m en la PKB), con los 8–10 m en la plataforma de Candaglia (Bondesan *et al.*, 1992) como valores más similares. Esta diferencia en profundidad respecto al tamaño planimétrico se refleja en la forma en profundidad que tienen las depresiones en el macizo (especialmente en la PKB y la PKA), más en embudo o pozo que las observadas en las zonas comparadas. La correlación entre la profundidad y longitud observada en el macizo de Fresneda-Correcillas ($R^2 = 0,15$) no es significativa, al igual que en el macizo de Sancenas (Pérez Llamazares, 1995), pero al contrario que en el resto de estudios: $R^2 = 0,65$ en Barbados (Day, 1983), $R^2 = 0,78$ en Trieste (Bondesan *et al.*, 1992) y $R^2 = 0,84$ en Nueva Zelanda (Jennings, 1975). Tan solo la PKC ($R^2 = 0,84$) presenta una correlación significativa similar, con la PKA ($R^2 = 0,60$) acercándose. Jennings (1975) señaló que un valor de 0,84 es compatible con las dolinas de disolución y apunta en contra de un origen de colapso. Esta afirmación encajaría en el caso de la PKC, pero no en el de la PKA, donde muchas de las dolinas son de colapso.

En relación con la densidad de dolinas y morfometría en plano tenemos la superficie ocupada por km² y el índice de perforación. Pese

a una gran densidad de dolinas, tan solo 0,08 km² por km² de superficie están ocupados por dolinas en el macizo. En los estudios de Day (1983) o Gracia Prieto (1991) este valor es menor, pero en las zonas de Trieste y la plataforma de Candaglia, estos valores son de 0,15 km² y 0,21 km² por km² de superficie (Bondesan *et al.*, 1992), lo que se explica por el mayor tamaño de estas depresiones respecto a las del macizo. A pesar del menor tamaño, zonas como la PKB cuentan con una alta densidad de dolinas, que hace que la superficie ocupada por km² siga siendo mayor (0,28 km²). Algo similar sucede con el índice de perforación, mayor en las zonas estudiadas por Bondesan *et al.* (1992) que en el macizo (12,2), aunque inferior en el caso de Barbados (Day, 1983).

En cuanto a la morfología de las dolinas, es posible diferenciar la forma planimétrica con otros estudios (Tabla 3). El valor medio del índice de elongación para el macizo de Fresneda-Correcillas es de 1,35 (desde 1,29 en la PKS hasta 1,46 en la ZP), correspondiente a dolinas elípticas (Basso *et al.*, 2013) y similar a los 1,32 en Nueva Zelanda (Jennings, 1975) o los 1,36 en Montello (Bondesan *et al.*, 1992). Estos resultados difieren respecto a los presentados por Gracia Prieto (1991) en la Cordillera Ibérica, donde los valores medios varían desde 1,66 hasta 1,95, correspondientes a dolinas subelípticas y elongadas, algo que el autor asoció con la estructura geológica y la acción combinada del viento y la nieve (Gracia Prieto, 1987). El índice de compacidad y la forma geométrica no han podido ser puestos en contexto por ausencia de resultados comparables.

Finalmente, observamos que el índice de distribución espacial de dolinas en el macizo ($\bar{R} = 0,89$) es cercano a la aleatoriedad, con tendencia hacia el agrupamiento. Dicho agrupamiento se refleja en la manera en que las dolinas se concentran en las cinco zonas del macizo (plataformas kársticas y poljés), que por su parte tienden individualmente a la dispersión (Tabla 1). Otros estudios (Bondesan *et al.*, 1992; Day, 1983) también presentan valores próximos a la aleatoriedad, con la ex-

cepción de lo observado en la Cordillera Ibérica (Gracia Prieto, 1991), donde algunas zonas se aproxima al modelo regular de distribución perfecto con valores como $\bar{R} = 2,146$.

5.3 Fortalezas, limitaciones y futura investigación

Este estudio presenta un número de fortalezas y limitaciones que han de considerarse a la hora de interpretar los resultados. Entre las fortalezas, la delineación manual de depresiones cerradas exokársticas ofrece mayor detalle que otros métodos convencionales o automatizados, especialmente al realizarse con ortoimágenes y un MDE de detalle. Así mismo, este análisis recopila métodos y parámetros habituales en la literatura, pero que en la mayoría de estudios solo son incorporados parcialmente. Además, se realiza un análisis detallado en un área donde no se había realizado previamente y se presenta una estructura metodológica que puede ser utilizada por otros autores en estudios de naturaleza similar. Entre las limitaciones se aprecian:

- La delineación manual de depresiones cerradas exokársticas está sujeta a la subjetividad de quien fotointerpreta y esto puede asociarse a un pequeño margen de error. Además, las herramientas utilizadas en la fotointerpretación (ortoimágenes y MDE) limitan la identificación de los ejemplares más pequeños (menos de 80 m² en nuestro caso), observables en campo, que no aparecen en nuestros resultados.
- La delimitación por zonas y la demarcación de su perímetro se realizan a criterio del investigador, pudiendo esto último influenciar resultados como la densidad, la superficie ocupada por km², el índice de perforación o el índice de distribución especial.
- Los valores de profundidad y forma en fondo asignados para el macizo y sus diferentes zonas se basan en las muestras obtenidas en campo que, a pesar de ser

representativas de todas las zonas, no se han seleccionado con total aleatoriedad.

- La zona de estudio carece de una descripción climática detallada que permita identificar relaciones de valor con el desarrollo kárstico.
- Las depresiones cerradas exokársticas identificadas y cartografiadas incluyen, además de dolinas (94,8%), uvalas, simas y sumideros. A pesar de esta inclusión, todas las depresiones son tratadas por igual al presentar y discutir los resultados, y compararlos con otros estudios que pueden haber limitado esta inclusión.
- La comparación con otros estudios debe ser tratada con precaución, ya que los métodos de delimitación y análisis no siempre son los mismos, o no siempre están especificados.

Futuros estudios mejorarían el conocimiento de esta área u otras mediante: la utilización de métodos automatizados para la detección y delimitación de dolinas, que permitiría cartografiar y contextualizar más áreas, además de obtener una mayor cobertura de parámetros como la profundidad o la forma en fondo; la obtención de datos climáticos locales, que aumentaría el conocimiento sobre los efectos del clima en la disolución y desarrollo kárstico; la comparación entre los factores morfogénéticos presentes en esta zona y otras, que avanzaría el entendimiento sobre el peso que cada uno de estos tiene en el desarrollo kárstico; la investigación detallada de las conexiones entre la superficie del macizo y el nivel de base del río Torío, que incluiría también formas endokársticas y relacionaría todo el sistema kárstico del macizo.

6. Conclusiones

En el estudio y cartografía de las formas de relieve exokársticas en el macizo de Fresneda-Correcillas se han identificado y delimitado un total de 553 depresiones cerradas exokár-

ticas (mayores de 70 m²), con una superficie media de 909,5 m² y una profundidad media de 9,6 m, que aparecen entre los 1511 m y los 1816 m de altitud. El macizo y sus depresiones se han dividido en cinco zonas según rasgos estructurales del relieve, litología, altitud, topografía. Esta complejidad interna se refleja en la variabilidad interzonal de los principales parámetros morfométricos de las depresiones: la superficie media de las depresiones varía desde 748,8 m² en la PKB a 1396,0 m² en la PKC; la profundidad media varía desde 7,0 m en la ZP a 10,2 m en la PKB; la superficie ocupada por km² varía desde 0,11 km² en la PKS a 0,28 km² en la PKB; la densidad media de depresiones por km² varía desde 118,4 en la PKS a 369,9 en la PKB; y la morfología en fondo de las depresiones varía desde el predominio de depresiones en forma de plato en la ZP (66%) a la aparición de dolinas en forma de embudo en la PKA y la PKB (13% y 20%, respectivamente) y de pozo en la PKB (15%). Las principales diferencias entre estas zonas son que la PKB y la PKA se encuentran a mayor altitud media y sobre calizas masivas de gran potencia, mientras que la PKC, la PKS y la ZP aparecen a menor altitud y mayoritariamente sobre calizas laminadas. Tras contextualizar los parámetros obtenidos para el conjunto del macizo y sus cinco zonas con otras áreas analizadas en estudios comparativos, observamos que la mayoría de estos se encuentran dentro de rangos esperados, a excepción de la densidad de depresiones, 90,4 depresiones por km² para el total del macizo (aún mayor en las cinco zonas individuales), un valor muy superior a lo observado en la literatura comparativa. La muy alta densidad de depresiones en el macizo y alguna de sus zonas en particular se debería a la concurrencia de varios factores morfogenéticos que potenciarían este tipo de desarrollo kárstico. Entre los principales factores morfogenéticos conocidos e identificados a lo largo del macizo como responsables de la aparición de depresiones y de su desarrollo destacan la formación geológica, los rasgos estructurales del relieve, la topografía y la altitud. Los rasgos climáticos y la antigüedad del relieve son otros factores conocidos y aceptados a través de la literatu-

ra, aunque en el área estudiada no se haya podido concluir su influencia. Son necesarios futuros estudios que ofrezcan mayor detalle climático, más parámetros y con mayor completitud (e.g. profundidad, volumen de depresiones), una mayor contextualización respecto a zonas cercanas o de similares características y una relación completa entre todo el sistema kárstico del macizo (exokárstico y endokárstico). Este estudio presenta una estructura metodológica que puede ser utilizada en futuros trabajos y, además, ofrece un estudio detallado del relieve exokárstico de un área donde no se había realizado anteriormente, aumentando su conocimiento y potenciando así su conservación, promoción y futura investigación.

Agradecimientos

Este estudio se ha llevado a cabo gracias a una ayuda del programa de Formación de Profesorado Universitario del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, referencia FPU23/02295. Gracias a Javier Santos-González por proporcionar valiosas sugerencias y ayudar a mejorar la primera versión del manuscrito. Gracias también a Carlos Álvarez, Estela Sierra, Alejandro Ferreras y Raúl Rodríguez por la ayuda en el campo para la toma de medidas en zonas de complicado acceso.

Bibliografía

- Alonso, V. (2019). Geomorphology of the Ubiñas Massif, Cantabrian Mountains, NW Spain (1: 22,000). *Journal of Maps*, 15(2), 238-246. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1579763>
- Altable Argüelles, O. (1991). *Las cuevas de Valporquero*. EDILESA.
- Atlas Agroclimático de Castilla y León. (2013). *Atlas Agroclimático de Castilla y León*. ITACYL-AEMET. Recuperado el 3 de marzo de <http://www.atlas.itacyl.es/>
- Aubert, D. (1966). Structure, activité et évolution d'une doline. *Bulletin de la Société Neuchatoise des Sciences Naturelles*, 89, 113-120.
- Barea Luchena, J. (2006). *Geomorfología y evolución paleoclimática durante el Cuaternario a*

- partir del estudio de los macizos kársticos de los bordes del Sistema Central y de Valporquero, León. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/56119>
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Sciences*, 70, 2545-2559. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2297-z>
- Bauer, C. (2015). Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. *Geomorphology*, 250, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.015>
- Bondesan, A., Meneghel, M., Sauro, U. (1992). Morphometric analysis of dolines. *International Journal of Speleology*, 21(1), 1. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.21.1.1>
- Calvo, B. (1995). Valporquero (Últimas exploraciones). *Subterránea*, 4, 8-9.
- Clark, P.J., Evans, F.C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4), 445-453. <https://doi.org/10.2307/1931034>
- CNIG (2020). Centro de Descargas del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica). Instituto Geográfico Nacional. Recuperado el 4 noviembre de 2020 de <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo>
- Cramer, H. (1941). Die Systematik der karstdolinen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 85(1), 293-382.
- Cvijić, J. (1893). das Karstphänomen (Karst phenomena). versuch einer morphologischen monographie. *Geographischen Abhandlung Wien*, 3, 218-329.
- Day, M.J. (1978). *The Morphology of Tropical Humid Karst with Particular Reference to the Caribbean and Central America*. University of Oxford.
- Day, M.J. (1983). Doline morphology and development in Barbados. *Annals of the Association of American Geographers*, 73(2), 206-219. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1983.tb01408.x>
- de Carvalho Júnior, O.A., Guimarães, R.F., Montgomery, D.R., Gillespie, A.R., Gomes, R.A.T., de Souza Martins, É., Silva, N.C. (2013). Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-derived digital elevation models in the Bambuí Group, Brazil. *Remote Sensing*, 6(1), 330-351. <https://doi.org/10.3390/rs6010330>
- De Waele, J., Gutiérrez, F. (2022). *Karst hydrogeology, geomorphology and caves*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119605379>
- Decreto 94/2004, de 26 de agosto, por el que se aprueba la incorporación del Espacio Natural «Hoces de Vegacervera» (León) al Plan de Espacios Naturales Protegidos de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, 169, de 1 de septiembre de 2004. <https://bocyl.jcyl.es/boletines/2004/09/01/pdf/BOCYLD-01092004-3.pdf>
- Decker, K., Plan, L. (2006). Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementbaende*, 147, 29-54.
- Del Barrio, V., Durán, J.J., Heredia, N., Quintana, L., Vallejo, M. (1997). *Estudio de la cueva y el karst de Valporquero (León)*.
- Delegación Leonesa de Espeleología (1983). *Archivo de cavidades leonesas: Tomo I*. Primera edición. León.
- ESRI Inc. (2021). *ArcMap (Versión 10.8.1)*. Esri Inc. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
- Faivre, S., Pahernik, M. (2007). Structural influences on the spatial distribution of dolines, Island of Brač, Croatia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51(4), 487-503. <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2007/0051-0487>
- Ford, D., Williams, P.D. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1: 50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 127-137.
- Gallinar Cañedo, D., Ruiz Fernández, J., García Hernández, C. (2021). Las formas kársticas del Macizo de las Ubiñas (Montañas Cantábricas). *Cadernos do laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 43, 135-175. <https://doi.org/10.17979/cad-laxe.2021.43.0.8858>
- García De Celis, A.J. (1993). *Geomorfología de la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica: la montaña occidental de León y su piedemonte* [Tesis doctoral, Universidad de León]. Secretariado de Publicaciones y Medios Audiovisuales, Universidad de León.
- González Gutiérrez, R.B. (2002). *El relieve de los valles del Torío y Curueño (Montaña Cantábrica Leonesa)* [Tesis doctoral, Universidad de León]. Secretariado de Publicaciones y Medios Audiovisuales, Universidad de León.

- González Trueba, J.J. (2007). *El Macizo Central de los Picos de Europa: geomorfología y sus implicaciones geoecológicas en la alta montaña cantábrica* [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria]. Universidad de Cantabria.
- González Trueba, J.J., Serrano Cañadas, E. (2010). *Geomorfología del macizo oriental del Parque Nacional de Picos de Europa*. Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Gracia Prieto, F. J. (1987). Controles morfométricos de los campos de dolinas en el sector central de la Cordillera Ibérica. *Cuaternario y Geomorfología*, 1(1), 119-134.
- Gracia Prieto, F. J. (1991). Criterios de clasificación morfométrica de campos de dolinas. *Cuaternario y Geomorfología*, 5, 65-76.
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación SA, Madrid.
- Gutiérrez-Santolalla, F., Muñoz-Jiménez, A., y Coloma-López, P. (2005). Dolinas de subsidencia y de colapso en el karst carbonatado-aluvial de Grávalos (La Rioja): origen y evolución. *Zubia*, (23), 59-78.
- Herrero Hernández, A., Alonso Gavilán, G., Colmenero, J. (2004). Estratigrafía del subsuelo en el sector noroeste de la Cuenca del Duero (provincia de León). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17(3-4), 199-216.
- Hoyos Gómez, M., Herrero Organero, N. (1989). El Karst en la Cornisa Cantábrica. En: *El karst en España* (J.J. Durán, J. López-Martínez, eds). Monografías de la SEG, 4. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, 109-120.
- IGME (2003). *MAGNA 50 - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. Sección de cartografía del IGME (Instituto Geológico y Minero de España), Instituto Geológico y Minero de España. <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx#busqueda>
- IGME (2011). *Base de Datos de Lugares de Interés Geológico*. Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado el 20 de febrero de 2021 de <http://info.igme.es/ielig/>
- Jennings, J.N. (1971). *Karst*. Australian National University Press.
- Jennings, J.N. (1975). Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer*, 31(1), 6-28. <https://doi.org/10.1111/j.1745-7939.1975.tb00793.x>
- Julivert, M. (1971). Décollement tectonics in the Hercynian Cordillera of northwest Spain. *American Journal of Science*, 270(1), 1-29. <https://doi.org/10.2475/ajs.270.1.1>
- Köppen, W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographische Zeitschrift*, 6(11. H), 593-611.
- Lotze, F. (1945). Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, 78-92.
- Manabe, H., Horie, K., Okamoto, W., Ohura, R. (2021). Study on Drone Photogrammetry for 3D Modeling of Karst plateau Surface Terrain and Coastal Collapse Dolines. *Saseba National College of Technology Research Reports*, 57, 41-50.
- Martín-Duque, J. F., Caballero García, J., y Carcavilla Urquí, L. (2012). Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic landscape. A case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). *Geoheritage*, 4, 93-108. <https://doi.org/10.1007/s12371-012-0056-2>
- Martín Escorza, C. (1991). Alineamientos preferentes en el campo de dolinas de Villar del Cobo (Teruel). *Geogaceta*, 10, 143-145. <http://hdl.handle.net/10261/270328>.
- Martín-González, F., Heredia, N. (2011a). Geometry, structures and evolution of the western termination of the Alpine-Pyrenean Orogen reliefs (NW Iberian Peninsula). *Journal of Iberian Geology*, 37(2), 103-120. https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2011.v37.n2.1
- Martín-González, F., Heredia, N. (2011b). Complex tectonic and tectonostratigraphic evolution of an Alpine foreland basin: The western Duero Basin and the related Tertiary depressions of the NW Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 502(1-2), 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.03.002>
- Martín Vide, J., Olcina Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1866.7603>
- Monroe, W.H. (1970). *A glossary of karst terminology*. US Government Printing Office.
- Morais, F., Soriano, M.A. (2017). Análisis morfo-métrico de dolinas y parámetros geofísicos aplicados al estudio de los flujos de agua subterránea en la Cuenca del Ebro, Zaragoza, España. *Geosciences = Geociencias*, 36(2), 221-232. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i2.10892>
- Muñoz Jiménez, J. (1992). *Geomorfología general*. Síntesis. 352 p., Madrid.
- Natura 2000. (2014). *Standard Data Form: Hoces de Vegacervera*. Natura 2000. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de <https://>

- natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES4130037
- Öztürk, M.Z., Şimşek, M., Şener, M.F., Utlu, M. (2018). GIS based analysis of doline density on Taurus Mountains, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 77, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7717-7>
- Palmquist, R.C., Madenford, G.A., Van Dreil, J.N. (1976). Doline Densities in Northern Iowa. *National Speleological Society*, 38(3), 59-67.
- Pardo-Igúzquiza, E., Durán Valsero, J.J., Luque Espinar, J.A., Martos Rosillo, S. (2014). Análisis del relieve kárstico mediante el modelo digital de elevaciones: aplicación a la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga). *Boletín Geológico y Minero*, 125(3), 381-389. <http://hdl.handle.net/10261/277315>
- Pardo-Igúzquiza, E., Durán Valsero, J.J., Robledo Ardila, P.A. (2016). Modelado fractal de la distribución del tamaño de dolinas en el macizo kárstico de la Sierra de las Nieves (Málaga, España). *Cuaternario y Geomorfología*, 30(1-2), 61-73. <https://doi.org/10.17735/cyg.v30i1-2.41318>
- Pardo-Igúzquiza, E., Gil-Márquez, J. M., Mudarra, M., Andreo, B., Durán-Valsero, J.J. (2023). Morphometric Comparison of Dolines in Three Karst Landscapes Developed on Different Lithologies. En: B. Andreo, J.A. Barberá, J.J. Durán-Valsero, J.M. Gil-Márquez, M. Mudarra (Eds.), *EuroKarst 2022, Málaga: Advances in the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs* (pp. 221-227). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-16879-6>
- Pérez Llamazares, M.E. (1995). *Análisis morfométrico de las formas de disolución superficial en las calizas paleozoicas de la Cordillera Cantábrica (Valle de Sáncenas-León)*. Memoria obtención Diploma Estudios Avanzados (DEA), Universidad de León. Universidad de León.
- Rahimi, M., Alexander, E.C. (2013). *Locating sinkholes in LiDAR coverage of a glacio-fluvial karst, Winona County, MN*. NCKRI Symposium 2: Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Carlsbad, CA, USA. <https://doi.org/10.5038/9780979542275.1158>
- Redondo Vega, J.M. (1980). Espeleogénesis de la vertiente sur del macizo del Fresneda-Vegacervera (León). *Speleon*, 25, 65-75.
- Redondo Vega, J.M., Gómez-Villar, A., González Gutiérrez, R.B., Carrera Gómez, P. (2002). El Macizo de Valporquero-Correcillas. En: J.M. Redondo Vega, A. Gómez Villar, R.B. González Gutiérrez, P. Carrera Gómez (Coords.), *XVII Jornadas de Geografía Física: León. Universidad de León*, pp. 26-32.
- Rodríguez Pérez, C. (2009). *Geomorfología de la Montaña Astur-Leonesa entre los puertos de Somiedo y de Ventana* Universidad de Oviedo.
- Ruiz Fernández, J., Serrano, E. (2011). El modelado kárstico en el Macizo del Cornión. En J. J. González Trueba y E. Serrano Cañadas (Eds.), *Geomorfología del Macizo Occidental del Parque Nacional Picos de Europa*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales ; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 109-142.
- Ruiz Fernández, J., García Hernández, C., Fernández Fernández, A. (2019). La organización altitudinal de las formas kársticas del Macizo Occidental de los Picos de Europa (Montañas Cantábricas) y su interrelación con el glaciarrismo Cuaternario y la morfodinámica periglaciaria. *Cadernos do laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 41, 153-200. <https://doi.org/10.17979/cadlaxe.2019.41.1.58221>
- Sánchez Fabre, M., Peña Monné, J.L., Lozano Tena, M.V., Moya Medina, C. (2010). Los campos de dolinas de la Sierra de Albarracín. En: J.L. Peña Monné, M. Sánchez Fabre M.V. Lozano Tena (Coords.), *Las formas del relieve de la Sierra de Albarracín*. Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín, 89-110.
- Sauro, U. (2012). Closed depressions in karst areas. En: W.B. White, D.C. Culver (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Elsevier, 140-155. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00133-X>
- SIGA. (2021). *Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Recuperado el 1 de julio de <https://sig.mapama.gob.es/siga/>
- Smart, P.L. (1986). Origin and development of glacio-karst closed depressions in the Picos de Europa, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 30(4), 423-443. <https://doi.org/10.1127/zfg/30/1987/423>
- Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., Standovár, T. (2016). The advantage of lidar digital terrain models in doline morphometry compared to topographic map based datasets—Aggtelek karst (Hungary) as an example. *Acta Carsologica*, 45(1), 5-18. <https://doi.org/10.3986/ac.v45i1.4138>
- Telbisz, T., Mari, L., Székely, B. (2024). LiDAR-Based Morphometry of Dolines in Aggtelek Karst (Hungary) and Slovak Karst (Slovakia). *Remote Sensing*, 16(5), 737. <https://doi.org/10.3390/rs16050737>
- Torres Vega, A., Andrés Martínez, J.M., Rodríguez de Prado, M.R., Sánchez Hermosa, J.L., Sán-

- chez García, J.A. (1983). *Archivo de Cavidades Leonesas. Tomo I*. <https://www.espeleomatalana.com/publicaciones/archivo-de-cavidades-leonesas-tomo-i/>
- Truyols, J., Alvarez, F., Arbizu, M. A., García-Alcalde, J.L., García-López, S., Martínez Chacón, M.L., Méndez Bedia, I., Méndez-Fernández, C.A., Menéndez, J.R., Sánchez de Posada, L., Soto, F. (1994). *Memoria de la Hoja nº 104 (Boñar). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 (MAGNA)*.
- UNESCO (2014). *Los Argüellos*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Recuperado el 18 de febrero de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/europe-north-america/spain/los-argueellos/>
- Urquhart, A.W. (1958). *The landforms of the Cockpit Country and its borderlands, Jamaica*. University of California, Department of Geography.
- Utlü, M., Öztürk, M.Z. (2023). Comparison of morphometric characteristics of dolines delineated from TOPO-Maps and UAV-DEMs. *Environmental Earth Sciences*, 82(7), 165. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10862-x>
- Verbovšek, T., Gabor, L. (2019). Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8398-6>
- Veress, M. (2020). Karst types and their karstification. *Journal of Earth Science*, 31(3), 621-634. <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1306-x>
- Wagner, R.H., Winkler Prins, C., Riding, R. (1971). Lithostratigraphic units of the lower part of the Carboniferous in northern León, Spain (with a "Note on some goniatite faunas" by CH WAGNER-GENTIS). *Trabajos de Geología*, 4(4), 603-665.
- Williams, P.W. (1969). The geomorphic effects of ground water. En: R.J. Chorley (Ed.), *Water, Earth and Man*. Routledge, Methuen, 269-284. <https://doi.org/10.4324/9780429273315-8>
- Williams, P.W. (1972a). The analysis of spatial characteristics of karst terrains. En: R.J. Chorley (Ed.), *Spatial analysis in geomorphology*. Routledge, Methuen, 135-163. <https://doi.org/10.4324/9780429273346-5>
- Williams, P.W. (1972b). Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Geological Society of America Bulletin*, 83(3), 761-796. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[761:MAOPKI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[761:MAOPKI]2.0.CO;2)
- Zhang, S., Baros, S.V., Halter, S.B. (2019). *Karst sinkhole detecting and mapping using airborne LiDAR*. Transportation Consortium of South-Central States. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927102005>
- Zhu, J., Taylor, T.P., Currens, J.C., Crawford, M. M. (2014). Improved karst sinkhole mapping in Kentucky using Lidar techniques: a pilot study in Floyds Fork watershed. *Journal of Cave & Karst Studies*, 76(3), 207-216. <https://doi.org/10.4311/2013ES0135>

Recibido el 20 de mayo de 2025

Aceptado el 5 de diciembre de 2025



Estudio de la dinámica de una playa de bloques en el sur de Galicia mediante el uso de sensores RFID en el período 2016-2025

*Dynamic evolution of a boulder beach in southern Galicia
using RFID sensors during 2016-2025 period*

Gómez-Pazo, A. ⁽¹⁾; Pérez-Alberti, A. ⁽²⁾

(1) Departamento de Geografía y Geología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de León. Campus Vegazana, 24071, León, España. agomp@unileon.es

(2) Departamento de Edafología e Química Agrícola, Facultade de Bioloxía, Campus Vida, Universidade de Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela, España.

Resumen

Las mejoras tecnológicas que se han producido en las últimas décadas han supuesto un gran avance en el conocimiento del dinamismo de las zonas costeras. La presente investigación se ha centrado en una playa de bloques de 400 m de longitud situado en la costa sur de Galicia. En 2016 se introdujeron en 80 bloques sensores de radiofrecuencia (RFID) con objetivo de conocer sus vectores de movimiento a nivel individual. A partir de esa fecha y tras 8 campañas de seguimiento sobre el terreno, se han detectado desplazamientos de hasta 38 m en bloques de más de 140 kg. Esta investigación muestra el potencial de esta metodología para analizar las dinámicas costeras y la posibilidad de relacionar los cambios con los factores oceánicos (intensidad y recurrencia de los temporales marinos) y continentales presentes. Se ha demostrado la utilidad de estos sensores en sectores dinámicos como las playas de bloques y se ha evidenciado una reducción de las tasas de desplazamiento vinculadas frecuentemente al enterramiento de los bloques monitorizados o al bloqueo de estos.

Palabras clave: playa de bloques; Galicia; variaciones costeras.

Abstract

Technological advancements over the past decades have significantly improved our understanding of coastal dynamics. This research focuses on a 400 m-long boulder beach located on the southern coast of Galicia. In 2016, radio-frequency sensors (RFID) were embedded in 80 boulders to track their individual movement vectors. Since then, and after eight field monitoring surveys, displacements of up to 38 meters have been



recorded in boulders weighing more than 140 kg. This research emphasizes the possible uses of this methodology for analyzing coastal dynamics and for linking observed changes to both marine (storms intensity and recurrence) and continental factors. These sensors have proven highly effective in capturing dynamics within energetic environments such as boulder beaches. During the study period, displacement rates tended to decrease, often due to the burial or blocking of monitored boulders.

Key words: boulder beach; Galicia; coastal variations.

1. Introducción

La investigación en los ambientes costeros, al igual que la mayoría de los campos científicos han vivido un importante avance en las últimas décadas gracias a la evolución tecnológica, tanto en relación con los dispositivos para la toma de datos sobre el terreno como por la mejora en la capacidad para el procesamiento de información (Naylor *et al.*, 2010). El incremento del número de investigaciones en esta temática también hay que relacionarlos con el impacto que está teniendo el cambio global en el campo de la investigación y más específicamente en los sectores costeros (Khojasteh *et al.*, 2023). En este ámbito, los daños producidos por los temporales en los entornos costeros como el sector atlántico, así como las modificaciones que pueden vivir en los próximos años han hecho que aumentase el interés científico y gubernamental en estos sectores (Cenci *et al.*, 2017; Lawlor y Cooper, 2024).

Estos avances se han centrado en distintos elementos, como el uso de los drones para la obtención de imágenes y modelos del terreno de alta resolución (Casella *et al.*, 2016; Turner *et al.*, 2016; Gómez-Pazo *et al.*, 2019; Muñoz Narciso *et al.*, 2017), la aplicación de sistemas automatizados para el análisis a partir de imágenes de satélite (Vos *et al.*, 2019; Castelle *et al.*, 2021; Paz-Delgado *et al.*, 2022) o el uso de datos LIDAR, tanto aerotransportados como terrestres (Young *et al.*, 2010; Earlie *et al.*, 2015; Pennington *et al.*, 2024). En este ámbito los sensores de radiofrecuencia (RFID) también han ganado importancia, pasando de una aplicación vinculada a las dinámicas fluviales y a ambientes costeros artificiales (Allan *et al.*, 2006; Benelli *et al.*, 2011;

Liébault *et al.*, 2012; Ravazzolo *et al.*, 2014), a otros sectores como las playas de bloques naturales o las plataformas rocosas (Hastewell *et al.*, 2019, 2020; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a, 2024; Marie, 2022).

El avance del uso de los sensores de radiofrecuencia se debe vincular a la demostración de su utilidad en distintos sectores (Hastewell *et al.*, 2019; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a), especialmente en aquellos en los que la energía marina impedía una correcta monitorización siguiendo otras técnicas como podría ser el pintado de bloques (Hastewell *et al.*, 2020). De este modo se ha podido tener una imagen clara sobre el comportamiento de los entornos costeros y obtener unos valores de desplazamiento más precisos (Marie, 2022).

El presente trabajo se centra en el dinamismo de una playa de bloques en un período de 8 años, poniendo en relación las variaciones identificadas con las características continentales y los parámetros oceánicos (rango mareal, características de los temporales, etc.).

La introducción de sensores RFID responde al conocimiento previo del dinamismo del sector, basado en diversos estudios que se han desarrollado en la zona desde la década de 1990. En estos se han analizado distintos elementos, desde el origen del sector acantilado (Blanco-Chao *et al.*, 2007), al análisis del movimiento de elementos aislados (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a, 2015b), o los cambios volumétricos de las acumulaciones de bloques (Gómez-Pazo *et al.*, 2019).

Con esta investigación se busca conocer cómo son los desplazamientos en detalle de los blo-

ques en un entorno natural como el analizado con escasa influencia antrópica directa. Además, se analizan los períodos de mayor dinamismo para poder relacionar los factores, especialmente oceánicos que marcan esos desplazamientos. Otro objetivo vinculado es la demostración de la utilidad de esta tecnología en análisis de detalle de sectores complejos y de alta variabilidad, así como la relación de las tasas observadas en este caso con las de otras zonas.

2. Zona de estudio

La zona específica de implantación de los sensores RFID se encuentra en el municipio de Oia, una pequeña localidad costera cuya franja litoral está marcada por la presencia

de zonas rocosas y playas de bloques (Figura 1). Se seleccionó un sector litoral de 400 m de longitud y una anchura de entre 20 en los extremos y 40 m en la parte central que está delimitado por salientes rocosos al norte y el sur, y que en su parte posterior presenta un acantilado de 8-10 m de elevación vinculado a los procesos crionivales pretéritos (Blanco-Chao *et al.*, 2007). Se ha establecido una división norte-sur en tres sectores de longitud similar, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados y permitir una comparación más precisa de las dinámicas a lo largo de la playa (Figura 1). Topográficamente se pueden observar diferencias con una mayor presencia de materiales finos en el sector sur, acompañados de cambios de pendiente más acusados (Figura 2a, 2b). Por su parte la parte central

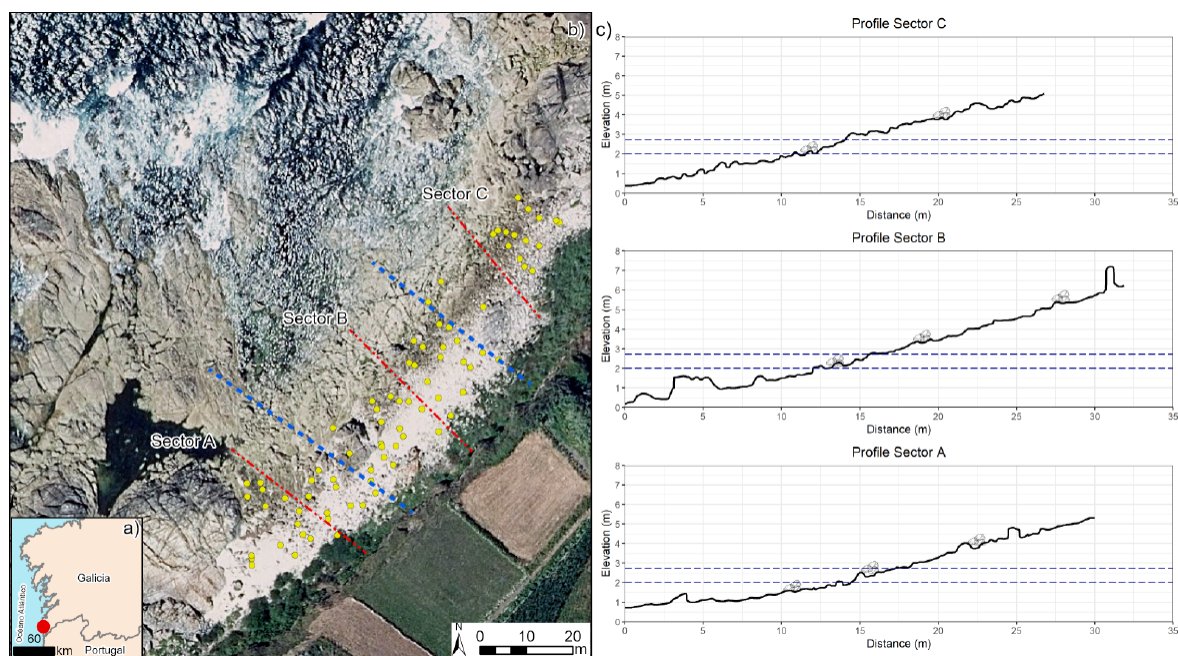


Figura 1: a) Localización de Oia en el contexto de la Península Ibérica; b) detalle de la playa de bloques analizada dividida en los tres sectores de análisis (separados por las líneas azules discontinuas), con los bloques monitorizados representados con los círculos amarillos y con los perfiles topográficos de c) representados por las líneas rojas discontinuas. Ortofotografía PNOA 2020 CC-BY 4.0 ign.es; c) perfiles topográficos de cada sector con la identificación de zonas con bloques monitorizados y con los niveles medios de marea (inferior y superior) marcados con las líneas azules discontinuas.

Figure 1: a) Location of Oia within the context of the Iberian Peninsula; b) detail of the analyzed boulder beach divided into the three study (separated by the discontinuous blue lines), with the monitored blocks represented by yellow circles and the topographic profiles of c) represented by the discontinuous red lines. PNOA 2020 orthophotography CC-BY 4.0 ign.es; c) topographic profiles of each sector with identification of zones with monitored blocks and mean tide levels (lower and upper) marked with discontinuous blue lines.

presenta una mayor extensión de la superficie emergida de la plataforma rocosa (Figura 2c), a la vez que la acumulación de bloques se centra en el sector superior intermareal. En el extremo norte es en el que la plataforma gana elevación hasta el límite marcado por el promontorio rocoso, se trata de una zona con una menor cantidad de bloques, restringidos a la zona superior del nivel intermareal y a canales que sirven como trampas sedimentarias en la zona inferior y media (Figura 2d).

La zona de estudio se encuentra en la costa sur de Galicia, en el noroeste de la Península Ibérica. Se trata de una costa con un ran-

go mesomareal y con una gran ocurrencia de eventos tormentosos (Castelle *et al.*, 2018) que provienen principalmente del noroeste y suroeste (Pérez-Alberti y Gómez-Pazo, 2019; Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a).

3. Metodología y materiales

3.1. Metodología

La investigación se desarrolla mediante la relación de la información obtenida sobre el terreno y los datos provenientes de la modelización de las condiciones marinas en las



Figura 2: Fotografías de detalle la zona de estudio. a) Sector A desde el mar con el promontorio rocoso a la derecha; b) Sector A con una vista aérea de drone; c) Sector B con una vista de drone desde la plataforma rocosa del nivel intermareal; y d) vista de drone del Sector C con el promontorio rocoso en la parte inferior y con los restos de acumulaciones de algas.

Figure 2: Detail photographs of the study area. a) Sector A from the sea showing the rocky promontory on the right; b) Sector A with an aerial view captured by drone; c) Sector B with a drone view from the rocky platform of the intertidal zone; and d) drone view of Sector C with the rocky promontory at the bottom and remains of accumulated algae.

proximidades. Para esta finalidad, tras análisis previos sobre las variaciones registradas en esta playa de bloques, mediante el trazado individual del contorno de los bloques y la posterior comparación multianual (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a, 2015b) del número de elementos desplazados y el análisis de las variaciones volumétricas (Gómez-Pazo *et al.*, 2019), se procedió a la introducción de sensores RFID con los que poder monitorizar los desplazamientos de bloques individuales.

En el año 2016 se instalaron un total de 80 sensores a lo largo de toda la playa siguiendo la metodología descrita previamente (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a) con la creación de líneas de 5 sensores desde la parte baja de la playa a la zona superior y con una separación de cada alineación de 5 m. La zona costera se dividió en tres sectores con una superficie similar, A, B y C, con 26, 35 y 19 sensores respectivamente. Esta distribución variable está relacionada con la presencia en el sector de bloques válidos para su monitorización, con unas dimensiones que permitan su relocalización e introducción del sensor (suma de los ejes > 80 cm). Este factor ha sido fundamental para las diferencias en el número de sensores entre los sectores delimitados.

Para disponer de la mayor información disponible, se han medido los tres ejes de cada uno de los bloques monitorizados usando un flexómetro y se han realizado distintas fotografías con escala para poder comprobar su colocación y estado durante la duración de la investigación. A partir de estos valores se estimó el *Corey Shape Factor* (CSF), siguiendo la formulación de (Corey, 1949; Pérez-Alberti *et al.*, 2012). El volumen se estimó a partir de la densidad de los granitos característicos de esta zona, que se ha definido como $2691 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ (Pérez-Alberti *et al.*, 2012).

3.2. Características de los sectores y los bloques monitorizados

La creación de los tres sectores dentro de la playa analizada se ha realizado a partir de la división de la misma en tramos longitudinales

similares. Entre ellos existen diferencias en cuanto a la cantidad de bloques presentes, la protección del oleaje o las características de la plataforma costera.

El Sector A, el más meridional discurre próximo a un promontorio rocoso que reduce la influencia en esta zona del oleaje de componente sur, presentando en la zona intermareal un sector rocoso cerrado que favorece el mantenimiento del agua durante los períodos de marea baja y sirve como protección a esta zona. En cuanto al material presente, los bloques son generalmente de menor tamaño, especialmente aquellos acumulados en la zona intermareal superior y fuera de la influencia habitual de la marea, donde aparecen de manera temporal gran cantidad de cantos heterométricos.

El Sector B abarca la zona central de Oia y en él se encuentran las zonas emergidas de mayor elevación de la plataforma rocosa, con un escarpe bastante claro en los primeros metros (Figura 1c) que sirve como divisoria en el comportamiento habitual de los bloques, siendo los que se encuentran por debajo de este nivel móviles a través de los canales de la plataforma mientras que en la parte superior la dinámica es más caótica (Gómez-Pazo *et al.*, 2021). Esta también tiene grandes diferencias temporales, pero en este caso relacionadas con la presencia de algas que pueden cubrir casi al completo la zona intermareal superior durante días. A diferencia del primer sector, la presencia de clastos de menor tamaño es casi residual y se limite a la zona supramareal.

Por su parte, el Sector C ocupa el extremo norte de la playa de Oia. En esta zona el aumento de la pendiente en la plataforma es más continuo (Figura 1c) y está protegido por el promontorio rocoso del norte que reduce la llegada del oleaje de componente norte y parte del que llega directamente desde el noroeste. Esta zona destaca por la casi ausencia de bloques en la zona inferior, donde existe una plataforma rocosa bien desarrollada y pulida por la acción del oleaje y la presencia de materiales finos. Los bloques de este sector se centran especialmente en el sector intermareal superior

y la parte supramareal en la que existen importantes acumulaciones de bloques con una mayor estabilidad que la observada en los otros sectores (Gómez-Pazo *et al.*, 2021).

Los bloques seleccionados en esta investigación se encuentran desde 1 m por encima del nivel medio mareal, hasta la parte supramareal, a 3 m por encima del nivel de mareas extremas. De los 80 bloques monitorizados, 29 se encontraban sobre la elevación media de las mareas, mientras que 16 se localizaban entre el valor medio y extremo del nivel superior de marea, y 35 por encima del valor de mareas extremas. En este nivel superior es en el que existe un mayor número de bloques disponibles, como se ha mostrado en investigaciones previas (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a). Las características de estos bloques se pueden observar en la Tabla 1, en la que se muestran las diferencias entre sectores entre el tamaño de los ejes, siendo las variaciones más importantes en el eje mayor entre los sectores A y B y el C. Lo mismo ocurre en el caso del CSF, cuyo valor más alto es el del Sector C, en el que aparecen los bloques más redondeados de la zona de estudio. En el caso de la masa estimada, es precisamente en el último sector en el que están los bloques más ligeros, con una media de 391 kg.

3.3. Sensores de radiofrecuencia

La principal fuente de información en esta investigación son los sensores RFID HDX PIT. Se

emplearon los sensores de 23 mm introducidos en una cápsula de silicona y en la roca a partir de un agujero de unos 30 mm. Posteriormente se sellaron con resina epoxy preparada para altas condiciones de humedad y salinidad.

Tanto el primer posicionamiento de los sensores como las posteriores campañas de relocalización se realizaron usando la mochila para la detección de sensores RFID (ORSR *long range reader*) y un receptor GPS Stonex S8 GNSS. El posicionamiento de los bloques se realizó situando el receptor en el centro de los bloques, tratando de reducir la posible incertidumbre del desplazamiento, especialmente cuando por el desplazamiento de los bloques no fuese visible el orificio en el que se introdujo el sensor. En este sentido también se ha introducido un umbral de 1 m para definir como móviles a los bloques analizados. Este valor se relaciona con la incertidumbre asociada al posicionamiento del receptor GPS sobre el bloque, así como al margen de error del propio dispositivo (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a).

A partir de la campaña de introducción de los sensores se realizaron 8 relocalizaciones de estos, distribuidas de un modo heterogéneo a lo largo de 8 años. Esta distribución se relaciona con distintos condicionantes como la disponibilidad presupuestaria, las condiciones meteorológicas o la disponibilidad del personal (Tabla 2).

Tabla 1: Características de los bloques monitorizados. Media $\pm$ desviación estándar.

Table 1: Monitored boulders characteristics. Mean $\pm$ standard deviation.

Variable	Playa completa	Sector A	Sector B	Sector C
Eje Mayor (cm)	78,85 $\pm$ 24,23	78,04 $\pm$ 22,32	78,26 $\pm$ 26,23	81,05 $\pm$ 24,07
Eje Intermedio (cm)	55,44 $\pm$ 19,08	57,69 $\pm$ 16,53	56,43 $\pm$ 23,91	50,53 $\pm$ 10,19
Eje Menor (cm)	29,71 $\pm$ 10,9	30,5 $\pm$ 10,45	27,83 $\pm$ 11,56	32,11 $\pm$ 10,2
CSF	0,46 $\pm$ 0,12	0,46 $\pm$ 0,09	0,43 $\pm$ 0,12	0,51 $\pm$ 0,14
Masa (kg)	435	442	454	391

Tabla 2: Código, fecha de las campañas de remuestreo, código de los períodos de análisis y duración de estos.
 Table 2: Code, date of the resampling campaigns, code of the analysis periods and duration.

Código de campaña	Fecha	Código de período	Días por período
L00	21/09/2016		
L01	31/03/2017	Per_A	191
L02	01/08/2018	Per_B	488
L03	15/01/2019	Per_C	167
L04	10/06/2019	Per_D	146
L05	03/12/2019	Per_E	176
L06	30/06/2022	Per_F	940
L07	20/06/2023	Per_G	355
L08	21/06/2024	Per_H	367

3.4. Información oceanográfica

Los datos sobre las condiciones marinas en el sector próximo a Oia se han analizado con la información del punto SIMAR 3014000 (Puertos del Estado, 2025), situado a unos 3 km. Para este análisis se han tomado los datos desde el momento de implantación hasta el día de la última campaña. El análisis de la información se ha realizado en el entorno de R, automatizado la estimación de los principales parámetros de interés para esta investigación (vector de desplazamiento y posición de los bloques) y generando también las salidas gráficas (Figura 2).

4. Resultados

Esta sección se centrará en primer lugar en el análisis del oleaje siguiendo los datos de Puertos del Estado descritos previamente. A partir de esta información se describirán los valores de desplazamiento de los bloques teniendo en cuenta sus características y su posición en la zona de estudio.

Los datos de oleaje para el entorno de Oia muestran como el período invernal y primavera concentra las olas de mayor tamaño, tanto en valores medios como absolutos. Du-

rante el resto del año rara vez los valores de altura media de ola diaria superan los 3 m, mientras que durante el invierno estos pueden llegar a superar los 7 m, como es el caso del 05/11/2023, con un valor medio de 7,14 m.

En términos generales, durante el período analizado la altura media significativa del oleaje ha sido de 1,97 m, mientras que el valor más alto registrado en el punto SIMAR ha sido de 9,97 m el 04/11/2023.

Con el objetivo de profundizar en la posible relevancia de los eventos tormentosos en esta zona, se siguió el enfoque de Gómez-Pazo *et al.* (2021b), definiendo las tormentas (temporales marinos) como períodos de 6 o 12 horas en los que la altura significativa del oleaje (H_s) medio horario superó el percentil $H_{s,95}$, establecido en 4,14 m para el período de estudio.

En la Tabla 3 se sintetiza la información sobre los eventos tormentosos registrados en las proximidades de Oia. En este caso se puede observar la reducción en el tiempo entre tormentas, especialmente a partir del Per_C, situándose en este el valor más reducido de recurrencia para las tormentas (> 6h) en 12,8 días. La dirección media del oleaje durante es-

Tabla 3: Principales valores de oleaje para los distintos períodos de análisis y para los eventos de tormenta.

Table 3: Main wave parameters for the different analysis periods and for storm events.

Dato	Período							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Hs medio (m)	1,8	1,61	1,92	2,33	1,85	2,04	2,06	2,24
N tormentas (> 6h)	3	14	13	11	9	46	20	20
N tormentas (> 12h)	3	11	9	8	6	38	15	15
Días entre tormentas (> 6h)	63,7	34,9	12,8	13,3	19,6	20,4	17,8	18,4
Días entre tormentas (> 12h)	63,7	44,4	18,6	18,3	29,3	24,7	23,7	24,5
Duración media (horas)	25,7	17	18,7	17,6	19,7	25,5	24,4	33,5
Duración máxima (horas)	49	38	39	35	38	112	74	116
Hs medio durante tormentas	5,25	4,85	4,8	5,11	4,93	4,87	4,88	5,43
Hs máximo durante tormentas	7,32	7,61	6,41	8,41	8,37	9,5	7,91	9,97
Dirección media del oleaje (°)	287	297	297	294	297	295	289	293
Días totales con Hs > Hs _{.95}	10	30	25	24	21	103	47	54
Días entre eventos de Hs > Hs _{.95}	19,1	16,3	6,7	6,1	8,4	9,1	7,6	6,8

tos períodos tormentosos también guarda relación con la dirección predominante, con un dominio de las olas de W-NW. La duración de los temporales también muestra una tendencia al alza. Mientras que en los primeros períodos la duración de los eventos con más de 6 horas era de alrededor de las 40 horas, esto se ha incrementado desde Per_F, con cifras para este y para el último período superiores a las 112 horas. Precisamente los dos eventos tormentosos más largos se produjeron entre el 18/12/2019 y el 23/12/2019 y entre el 01/11/2023 y el 06/11/2023 respectivamente. Ambas fechas coinciden con las borrascas Elsa y Ciarán, que necesitaron activar alerta en el litoral. Ambas borrascas marcaron también los valores extremos de oleaje (Figura 3).

En cuanto a los resultados observados en el desplazamiento de los bloques durante el período 2016-2024 se ha constatado la existencia de distintas fases. En la Tabla 4 se resumen los resultados de número de bloques desplazados y recuperados en cada una de las campañas, así como los valores medios de tamaño, masa y forma de los mismos. En la Tabla 5 estos valores se detallan para cada uno

de los tres sectores en los que se ha dividido el tramo costero analizado.

Se observa una tendencia general a la disminución del número de sensores identificados, con la excepción del período B. En cuanto al número de bloques desplazados, los valores más altos se registraron en los períodos A, D y F, con 32, 35 y 29 movimientos, respectivamente. Por el contrario, el menor número de desplazamientos se dio en el último período (H), con solo 19 bloques móviles.

La evolución temporal muestra un patrón claro: un máximo inicial de actividad (Per_A), una fase de descenso progresivo hasta el Per_E, y una reactivación en los períodos F y G. Esta última coincide con una mayor frecuencia y duración de las tormentas (Tabla 3). Especialmente destacable es el evento extremo asociado a la borrasca Ciarán (noviembre de 2023), que marca el registro más alto de Hs (9,97 m).

Esta tónica de reactivación a partir de los eventos extremos no se aprecia en el último período (Per_H), en el que se ha reduci-

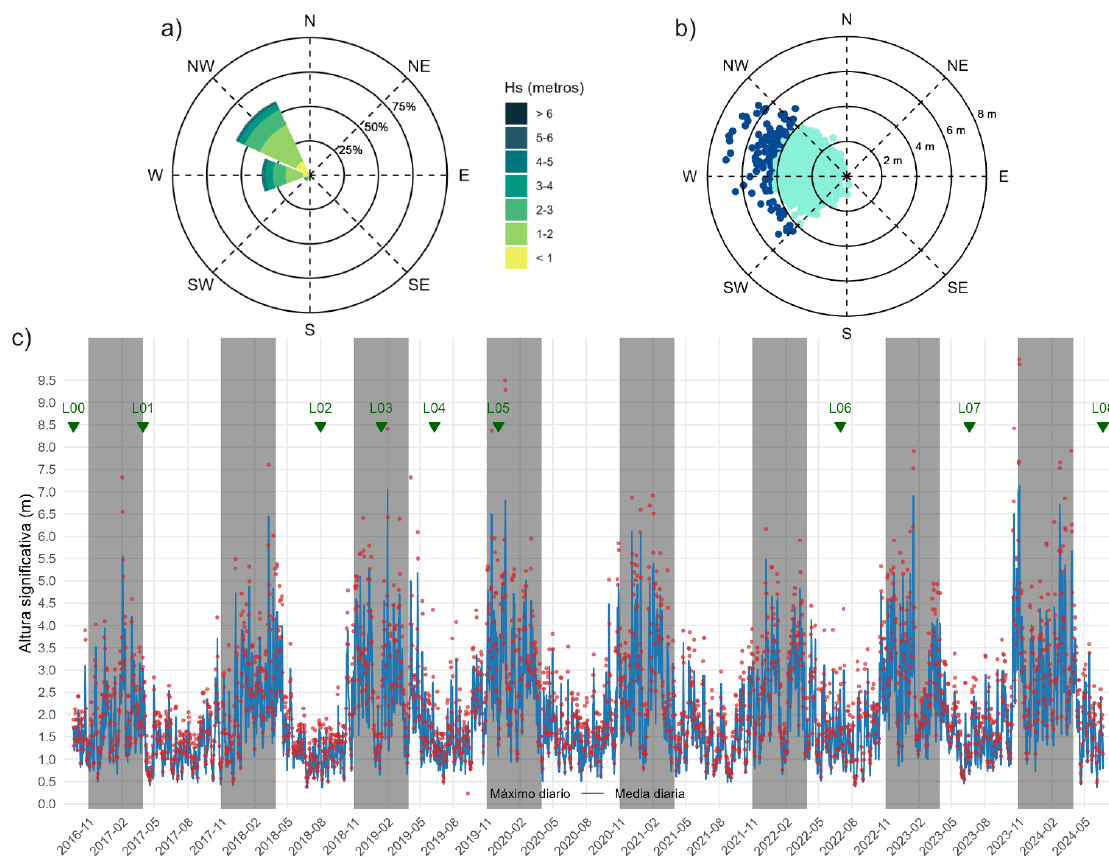


Figura 3: Datos de oleaje basados en la información del punto SIMAR 3014000. a) Distribución del oleaje según altura y dirección entre 2016 y 2024; b) Distribución de las olas según su dirección y por debajo del percentil 95 en color azul claro y por encima en color azul oscuro; c) Distribución del oleaje en valores diarios para el periodo analizado, las franjas grises indican los meses de invierno-primavera (noviembre-marzo) y los triángulos verdes invertidos indican la fecha de las campañas de remuestreo.

Figure 3: Wave data based on information from SIMAR point 3014000. a) Wave distribution by height and direction between 2016 and 2024; b) Wave direction distribution, with waves below the 95th percentile shown in light blue and those above in dark blue; c) Daily wave height distribution over the study period. Grey bands indicate winter-spring months (November-March), and inverted green triangles indicate the dates of the resampling campaigns.

do el número de bloques desplazados. Esta menor movilidad puede relacionarse con el confinamiento de un número importante de bloques tras varios ciclos tormentosos, dado que se ha observado una mayor presencia de bloques heterométricos en la parte superior de la playa, especialmente en el Sector A, en el que existe una mayor presencia de materiales finos. Por su parte, la zona inferior ha quedado en muchos casos desprovista de la cobertura de bloques y pueden apreciarse con claridad las morfologías erosivas en la roca.

El análisis de las características de los bloques desplazados revela una masa media variable, con un máximo en el período E (485,5 kg) y un repunte posterior en H (412,95 kg). Por su parte, el índice CSF muestra estabilidad general en torno a 0,47, con ligeras disminuciones en los períodos F (0,44) y G (0,45). El eje medio (Di) se mantiene también casi constante, oscilando entre 52,7 y 55,5 cm.

Las diferencias entre los distintos parámetros analizados también son evidentes a lo largo de la playa (Tabla 5 y Figuras 2 y 4). El sec-

Tabla 4: Distribución de los datos por campaña divididos en función de los sectores a lo largo de la playa.

Table 4: Data distribution by campaign divided according to the sectors along the beach.

Período	N recuperados	Porcentaje recuperados	Desplazados	Masa media (kg)	CSF	Eje Di (cm)
Per_A	48	60	32	394,62	0,47	53,97
Per_B	39	48,75	20	404,30	0,47	55,25
Per_C	58	72,5	24	345,49	0,46	53,50
Per_D	63	78,75	35	433,58	0,47	52,97
Per_E	60	75	28	485,50	0,47	54,21
Per_F	49	61,25	29	386,79	0,44	55,45
Per_G	46	57,5	26	315,00	0,45	52,73
Per_H	45	56,25	19	412,95	0,47	54,63

Tabla 5: Distribución de los datos por campaña y divididos en función de los sectores a lo largo de la playa.

Table 5: Data distribution by survey campaign, separated by sectors along the beach.

Parámetro	Sector	Período							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Desplazados	A	11	6	9	9	8	14	11	5
	B	15	9	14	13	9	10	9	8
	C	6	5	1	13	11	5	6	6
Masa media (kg)	A	337,4	358,06	427,89	552,15	603,79	496,46	390	533,21
	B	377,85	391,14	310,85	447,51	548,64	285,46	256,19	236,76
	C	541,44	483,48	88,87	337,57	347,8	282,38	265,7	547,67
CSF	A	0,47	0,48	0,47	0,48	0,46	0,48	0,48	0,48
	B	0,44	0,41	0,44	0,45	0,41	0,39	0,39	0,37
	C	0,54	0,56	0,65	0,5	0,52	0,45	0,49	0,59
Eje Di (cm)	A	53,45	54,67	61,22	58	58,13	58	55,45	56,6
	B	54,53	56,11	50,07	53,92	59,11	55,4	52,44	51,88
	C	53,5	54,4	32	48,54	47,36	48,4	48,17	56,67

tor B concentra el mayor número de bloques desplazados en la mayoría de los períodos, aunque estos suelen tener una masa menor que los de los otros sectores. En contraste, el sector A presenta valores de masa significativamente más elevados en algunos períodos (p.ej., > 600 kg en el período E), mientras

que el sector C destaca por la movilidad de bloques con CSF más altos, sobre todo en los períodos A, B y H. En cuanto al eje medio, los bloques desplazados del sector C son generalmente más pequeños, mientras que los sectores A y B presentan tamaños más grandes (valores medios > 50 cm).

La Figura 4 muestra la distribución de los desplazamientos por sector y período, destacando nuevamente la elevada variabilidad y los valores extremos del sector B, donde un bloque superó los 30 m de desplazamiento en el período F. Por su parte, los sectores A y C muestran unos valores de movimiento más próximos entre sí, aunque es necesario destacar un comportamiento bastante semejante en todos los sectores en cuanto a los períodos con mayor o menor variabilidad, como podría ser el A para el primer caso y el C en el ejemplo contrario.

Los datos estadísticos (Tabla 6) reflejan una tendencia decreciente de las distancias medias de desplazamiento, desde la implantación hasta el período E, seguida de un repunte en los períodos F y G. Este patrón se repite en los tres sectores, aunque con mayor intensidad en el sector B, donde se registran tanto los mayores valores medios como la mayor desviación estándar, evidenciando una dinámica más activa e irregular.

En la Figura 5 se representan los vectores de desplazamiento de los bloques monitorizados en cada período de análisis, donde se aprecian cambios entre sectores, como se observa en los vectores de desplazamiento y en concreto en uno de los bloques que pasó del Sector A al B en el Per_A.

5. Discusión

A lo largo de esta sección se seguirá un esquema similar al del apartado anterior, pero comenzando por la relevancia del uso de sensores RFID y los aspectos más destacados en relación con otras investigaciones en las que se han empleado estos dispositivos. Posteriormente se trata la información relacionada con los parámetros marinos para acabar con la discusión sobre los desplazamientos observados a lo largo del período de análisis.

En relación con el uso de sensores RFID, la evolución de las playas de bloques difiere

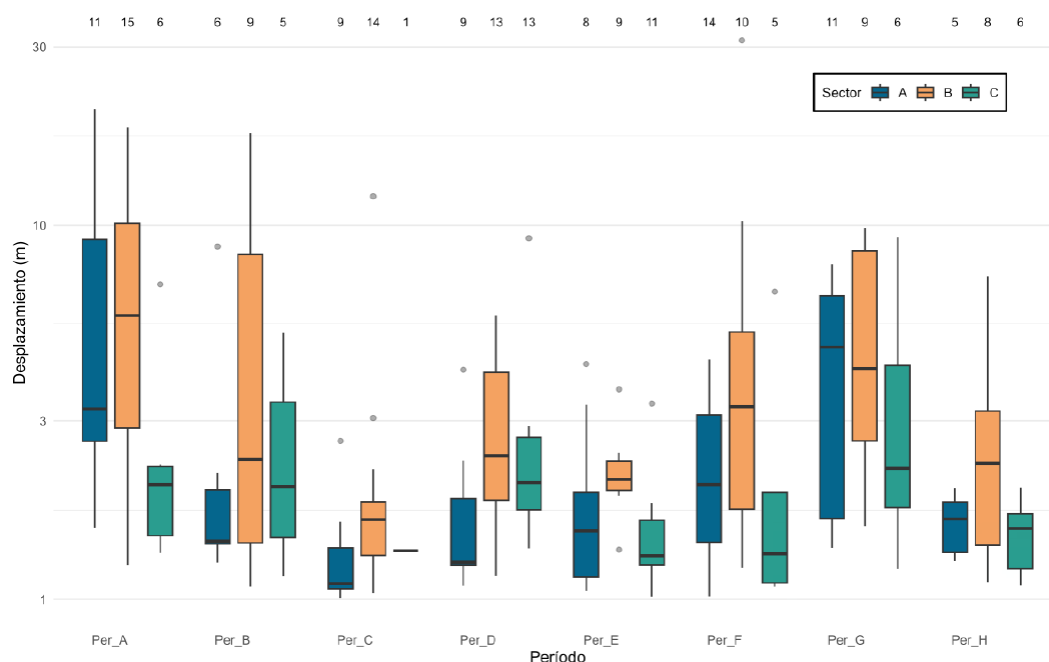


Figura 4: Desplazamiento de los bloques en función del período de análisis y del sector de la playa de implantación. El eje de los desplazamientos se muestra con escala logarítmica para una mejor visualización e inclusión de los valores extremos superiores.

Figure 4: Boulder displacement by analysis period and beach sector. The displacement axis is shown on a logarithmic scale to enhance visualization and include upper extreme values.

Tabla 6: Valores de media y desviación estándar (s), en metros, de los desplazamientos medidos para cada periodo de estudio en cada sector.

Table 6: Mean and standard deviation (s) values, in meters, of the displacements measured for each study period in each sector.

Período	Sector A		Sector B		Sector C		Sector completo	
	Media	s	Media	s	Media	s	Media	s
Per_A	6,56	5,83	6,97	5,02	2,67	2,14	6,02	5,08
Per_B	2,74	2,97	5,48	5,96	2,63	1,65	3,95	4,46
Per_C	1,36	0,52	2,37	2,81	1,35	NA	1,95	2,19
Per_D	1,77	0,97	2,88	1,41	2,64	2,05	2,51	1,61
Per_E	1,94	1,19	2,21	0,62	1,56	0,64	1,88	0,84
Per_F	2,30	1,09	6,46	9,12	2,42	2,39	3,75	5,66
Per_G	4,28	2,56	5,20	3,18	3,62	3,09	4,45	2,85
Per_H	1,61	0,31	2,97	2,22	1,50	0,35	2,15	1,58

bastante de lo que puede ocurrir en las plataformas rocosas y esto tiene importantes repercusiones en estas técnicas. En las primeras existe un importante número de bloques que pueden ser enterrados por las dinámicas estacionales o anuales del sector y que pueden ocultar algunos sensores durante las campañas de revisita a la zona. Esto hace que las tasas de recuperación sean menores, siendo en el caso gallego de entre el 56 y 79%, mientras que en las plataformas rocosas las tasas alcanzan el 92% (Hastewell *et al.*, 2020). Estos valores también deben relacionarse con el tamaño de los bloques, ya que para la implantación de estos sensores en cantos y guijarros las tasas de recuperación son menores (Young *et al.*, 2023), lo que se relaciona con una mayor posibilidad de enterramiento de los sensores o la pérdida de estos en el sector marino.

Los resultados obtenidos refuerzan la utilidad de los sensores RFID como herramienta eficaz para estudios de dinámica costera a largo plazo, especialmente en ambientes de difícil acceso y alta energía como las playas de bloques. En los últimos años ya se había podido comprobar su eficacia en plataformas costeras (Hastewell *et al.*, 2019, 2020; Marie, 2022), playas artificiales (Benelli *et al.*, 2011;

Bertoni *et al.*, 2016) o playas de bloques sin modificación con la que se presenta en esta investigación (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a). Esta validez metodológica llevó recientemente a la introducción de estos sensores en el entorno costero de Caleta Española en la Isla de Livingston o en las islas de Sao Jorge y Pico en el archipiélago de las Azores (Gómez-Pazo *et al.*, 2024). A partir de estas nuevas investigaciones también se pretende comprobar qué diferencias existen en cuanto a las tasas de desplazamiento, su distribución y los factores que las definen a distintas latitudes y bajo condiciones oceánicas variables.

Además de su eficacia en el seguimiento puntual de bloques, los sensores RFID ofrecen un gran potencial cuando se integran con otras fuentes de información espacial de alta resolución, como el uso de técnicas *Structure-from-Motion* (SfM) o sensores LiDAR. El uso conjunto de estas tecnologías permite superar las limitaciones de cada método por separado: mientras los sensores RFID ofrecen información precisa sobre el desplazamiento acumulado de bloques individuales, los datos obtenidos mediante fotogrametría con drones permiten reconstruir MDTs que evidencian cambios morfológicos a escala de playa

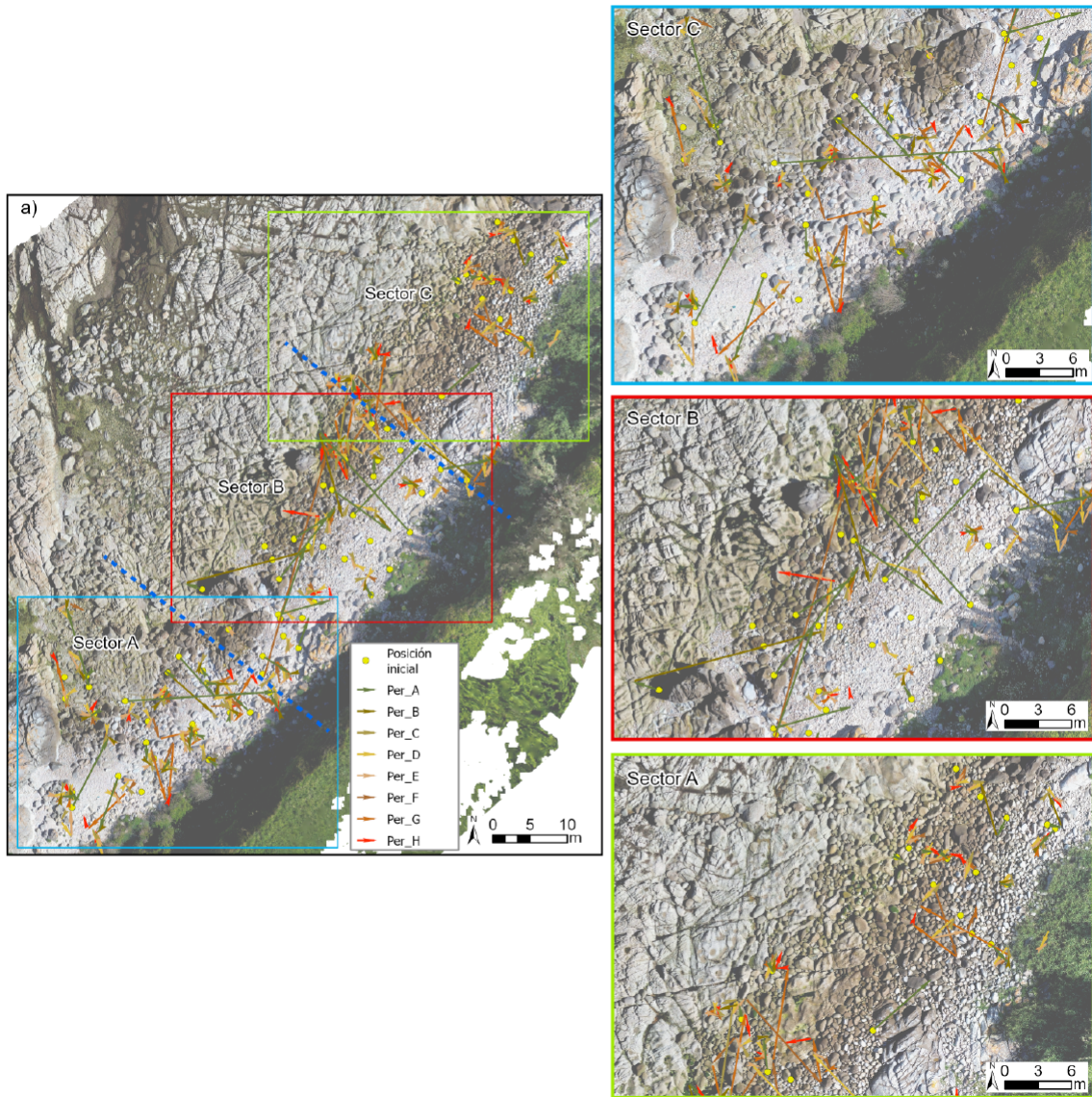


Figura 5: Vectores de desplazamiento de los bloques monitorizados en cada período sobre la imagen obtenida con dron en el año 2024. En a) se muestra la zona de estudio en su totalidad, mientras que a la derecha aparecen en detalle los tres sectores incluidos en el estudio representados en el mapa principal con el color de su recuadro.

Figure 5: Displacement vectors of monitored boulders for each period, overlaid on a drone image from 2024. a) shows the entire study area, while the detailed views of the three sectors included in the study appear on the right, highlighted in the same colors as their corresponding boxes on the main map.

o sector (Gómez-Pazo *et al.*, 2019). Esta integración mejora la capacidad de interpretar los patrones espaciales del movimiento de bloques, permite correlacionar los vectores de desplazamiento con microformas del relieve, y ayuda a cuantificar la evolución volumétrica de las acumulaciones. En las siguientes fases

de este proyecto de monitorización se potenciará el uso conjunto de imágenes de alta resolución de la zona tomadas durante las campañas de remuestreo para obtener una imagen más completa de las modificaciones en la playa y su papel en los desplazamientos de los bloques.

La distribución del oleaje sigue una tónica bastante clara y que coincide con otras investigaciones en la costa atlántica de la Península Ibérica (Clarke y Rendell, 2009; Gómez-Pazo *et al.*, 2021b). Esta tónica de la relevancia del oleaje en las variaciones en el entorno de Oia ya se había podido comprobar en estudios previos (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015b) para el invierno de 2013-2014, el más energético en el entorno atlántico desde 1948 (Masselink *et al.*, 2016; Gómez-Pazo *et al.*, 2019). Este aumento de las tormentas y de su virulencia también debe relacionarse con los datos expuestos en la Tabla 3, en la que se muestra con claridad el incremento en el número de eventos en los últimos períodos analizados, especialmente en cuanto a la recurrencia de las tormentas y su duración, con el máximo en el Per_F. También es preciso destacar la reducción en el número de días entre eventos con valores de Hs superiores a Hs₉₅, pasando de 19,1 en el Per_A a 6,8 en el Per_H, siendo el mínimo absoluto el registrado en el Per_C con 6,7 días.

Los resultados obtenidos, en cuanto a la dinámica de los bloques, reflejan una notable heterogeneidad, tanto espacial como temporalmente, y evidencian la influencia de factores tanto marinos (temporales) como continentales (desprendimientos y removilización de los bloques). La exposición de los distintos sectores al oleaje, las variaciones en el perfil de la playa (Gómez-Pazo *et al.*, 2019; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a) y la capacidad de confinar los bloques por la combinación de los factores presentes marcan la existencia de distintas tendencias en la zona de análisis.

Los resultados evidencian una mayor actividad en el sector central (B), donde se han registrado el mayor número de desplazamientos y los más largos, con un caso que supera los 30 metros. Esta mayor movilidad se vincula a su exposición a los temporales del NW. En cambio, el sector C presenta una dinámica más atenuada, al estar parcialmente protegido de las principales direcciones de oleaje (especialmente durante las tormentas) por su configuración topográfica con una mayor ex-

tensión de la plataforma costera y la presencia generalizada de los bloques en posiciones más elevadas.

Por su parte, el sector A tiene un comportamiento más variable, con valores de desplazamiento y masa de los bloques que supera en algunos períodos al sector B. Se trata de una zona con importantes cambios en el perfil temporal de la playa entre las distintas campañas de remuestreo y en el que existe una gran cantidad de material fino (Figuras 2a, 2b) que impide en ocasiones la identificación de los bloques monitorizados (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a), estas dinámicas son menos extremas en el caso del Sector B, en el que los cambios topográficos son más acusados (Figura 1c) dada la presencia de bloques de gran tamaño y sectores de la plataforma de mayor elevación que funcionan en ocasiones como trampas sedimentarias, vinculándose el desplazamiento de los bloques a canales en la plataforma y zonas deprimidas. En este caso, esta zona está relativamente protegida de las olas de componente S, que pueden ser importantes en la entrada de algunas tormentas y cuya incidencia en el Sector A se verá limitada solamente a la coincidencia de olas de gran altura con un nivel de marea alto.

Respecto a las características físicas de los bloques desplazados, no existe una correlación clara entre masa, forma o tamaño y distancia recorrida. No obstante, es frecuente que los bloques más ligeros y con menor CSF sean más móviles, especialmente en sectores como el B o C (Gómez-Pazo *et al.*, 2021). Excepcionalmente, en el sector A se identificaron desplazamientos de bloques de más de 500 kg durante períodos con fuerte actividad tormentosa, lo que sugiere que, bajo condiciones extremas, incluso los elementos más pesados pueden ser movilizables, no siendo la masa el elemento más relevante a la hora de producirse el desplazamiento de los bloques en estas tipologías costeras. Esto se ha observado recientemente en otros sectores como el caso de Criação Velha en la Ilha de Pico (Islas Azores) (Gómez-Pazo *et al.*, 2025).

6. Conclusiones

Esta investigación ha demostrado la eficacia del uso de sensores RFID para el seguimiento a largo plazo de la dinámica de bloques en una playa del sector sur de Galicia entre 2016 y 2024. A partir de estos datos se han podido relacionar los movimientos con elementos como los temporales marinos o la morfología de la playa y sus variaciones.

Esta técnica ha permitido la obtención de una base de datos robusta y continua, demostrando las mejoras que implica para sectores dinámicos y de alta energía, donde otros métodos como el pintado de bloques presenta mayores limitaciones.

En el período analizado se observa una reducción en los vectores de desplazamiento de los bloques, lo que está relacionado con el desplazamiento de materiales más finos que pueden enterrar los bloques monitorizados y su frenado por la presencia de otros de mayor tamaño en su entorno.

Otro elemento que destacar es la falta de una correlación clara entre valores como la forma o la masa de los bloques y la distancia de desplazamiento. Los cambios en la posición de los bloques se relacionan con la interrelación de múltiples factores como la procedencia del oleaje, su altura o el nivel mareal.

Agradecimientos

Alejandro Gómez Pazo forma parte del grupo de investigación GEOPAT de la Universidad de León. Este trabajo es una contribución al IGCP Project 725 "Forecasting Coastal Change" y se elaboró en relación con el premio María Jesús Ibáñez a la tesis doctoral "Aplicación de novas tecnoloxías no estudo do costa de Galicia dirixidas a unha nova xestión no contexto do cambio global" defendida en la Universidade de Santiago de Compostela por Alejandro Gómez Pazo bajo la dirección de Augusto Pérez Alberti y Xosé Lois Otero Pérez. Los autores quieren agradecer la labor de los/as revisores/as en la mejora del manuscrito original.

Bibliografía

- Allan, J.C., Hart, R., Tranquili, J.V. (2006). The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon coast, USA. *Marine Geology*, 232(1-2), 63-86. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.07.005>
- Benelli, G., Panzardi, E., Pozzebon, A., Bertoni, D., Sarti, G. (2011). An analysis on the use of LF RFID for the tracking of different typologies of pebbles on beaches. 2011 *IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications*, 426-431. <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2011.6068673>
- Bertoni, D., Sarti, G., Grottoli, E., Ciavola, P., Pozzebon, A., Domokos, G., Novák-Szabó, T. (2016). Impressive abrasion rates of marked pebbles on a coarse-clastic beach within a 13-month timespan. *Marine Geology*, 381, 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.09.010>
- Blanco-Chao, R., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., Costa-Casais, M., Valcárcel-Díaz, M. (2007). Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 83, 136-151. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.028>
- Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C.P., Casella, M., Ferrari, M., Firpo, M. (2016). Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 36, 151-163. <https://doi.org/10.1007/s00367-016-0435-9>
- Castelle, B., Dodet, G., Masselink, G., Scott, T. (2018). Increased winter-mean wave height, variability, and periodicity in the Northeast Atlantic over 1949-2017. *Geophysical Research Letters*, 45(8), 3586-3596. <https://doi.org/10.1002/2017GL076884>
- Castelle, B., Masselink, G., Scott, T., Stokes, C., Konstantinou, A., Marieu, V., Bujan, S. (2021). Satellite-derived shoreline detection at a high-energy meso-macrotidal beach. *Geomorphology*, 383, 107707. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107707>
- Cenci, L., Disperati, L., Persichillo, M.G., Oliveira, E.R., Alves, F.L., Phillips, M. (2017). Integrating remote sensing and GIS techniques for monitoring and modeling shoreline evolution to support coastal risk management. *GIScience & Remote Sensing*, 55(3), 355-375. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1376370>

- Clarke, M.L., Rendell, H.M. (2009). The impact of North Atlantic storminess on western European coasts: A review. *Quaternary International*, 195, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.02.007>
- Corey, A. (1949). Influence of Shape on the Fall Velocity of Sand Grains. Master's thesis, Colorado State University. <https://hdl.handle.net/10217/195976>
- Earlie, C.S., Masselink, G., Russell, P.E., Shail, R.K. (2015). Application of airborne LiDAR to investigate rates of recession in rocky coast environments. *Journal of Coastal Conservation*, 19(6), 831-845. <https://doi.org/10.1007/s11852-014-0340-1>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2019). Recording inter-annual changes on a boulder beach in Galicia, NW Spain using an unmanned aerial vehicle. *Earth Surf Process Landforms*, 44, 1004-1014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.4549>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2021a). Tracking clast mobility using RFID sensors on a boulder beach in Galicia, NW Spain. *Geomorphology*, 373, 107514. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107514>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2021b). Tracking the behavior of rocky coastal cliffs in northwestern Spain. *Environmental Earth Sciences*, 80(22), 757. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09929-4>
- Gómez-Pazo, A., Hipólito, A., Pérez-Alberti, A., Quartau, R., Ávila, S.P., Melo, C., Andrade, M., Martín-González, E., Andrade, C., Ramalho, R.S. (2024). Dinámica de bloques mediante sensores RFID en la Fajã da Caldeira de Santo Cristo (Ilha de São Jorge, Archipiélago de las Azores). *Libro de Actas - XII Jornadas de Geomorfología Litoral - Geolit24*. Universitat Politècnica de València, Valencia. <https://doi.org/10.4995/GEOLIT24.2024.18573>
- Gómez-Pazo, A., Hipólito, A., Quartau, R., Pérez-Alberti, A., Martins, D., Ávila, S.P., Ramalho, R.S. (2025). Storm wave-induced boulder dynamics in Pico Island (Azores, NE Atlantic): first insights from RFID and high-resolution UAV data. In: *Proceedings of International Rock Coast Conference 2025: A state of the art*. Trieste.
- Hastewell, L.J., Schaefer, M., Bray, M., Inkpen, R. (2019). Intertidal boulder transport: A proposed methodology adopting Radio Frequency Identification (RFID) technology to quantify storm induced boulder mobility. *Earth Surface Process Landforms*, 44 (3), 681-698. <https://doi.org/10.1002/esp.4523>
- Hastewell, L., Inkpen, R., Bray, M., Schaefer, M. (2020). Quantification of contemporary storm-induced boulder transport on an intertidal shore platform using radio frequency identification technology. *Earth Surf Process Landforms* 45(7), 1601-1621. <https://doi.org/10.1002/esp.4834>
- Khojasteh, D., Haghani, M., Nicholls, R.J., Mof-takhari, H., Sadat-Noori, M., Mach, K.J., Faghe-razzi, S., Vafeidis, A.T., Barbier, E., Shamsipour, A., Glamore, W. (2023). The evolving landscape of sea-level rise science from 1990 to 2021. *Communications Earth & Environment* 4, 257. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00920-4>
- Lawlor, P., Cooper, J.A.G. (2024). Analysis of contemporary climate adaptation policies in Ireland and their application to the coastal zone. *Ocean & Coastal Management* 259, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107404>
- Liébault, F., Bellot, H., Chapuis, M., Klotz, S., Des-châtres, M. (2012). Bedload tracing in a high-sediment-load mountain stream. *Earth Surface Process Landforms*, 37, 385-399. <https://doi.org/10.1002/esp.2245>
- Marie, G. (2022). Boulder transport by ice in the St. Lawrence Estuary (Canada): Influence of shore platform geomorphology and ice-foot development. *Marine Geology*, 449, 106815. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106815>
- Muñoz Narciso, E., García, H., Sierra Pernas, C., Pérez-Alberti, A. (2017). Study of geomorphological changes by high quality DEMs, obtained from UAVs-Structure from Motion in highest continental cliffs of Europe: A Capelada (Galicia, Spain). *Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly* 19, 2017-692.
- Naylor, L.A., Stephenson, W.J., Trenhaile, A.S. (2010). Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions. *Geomorphology*, 114, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.004>
- Paz-Delgado, M.V., Payo, A., Gómez-Pazo, A., Beck, A.-L., Savastano, S. (2022). Shoreline Change from Optical and Sar Satellite Imagery at Macro-Tidal Estuarine, Cluffed Open-Coast and Gravel Pock-ET-Beach Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (5), 561. <https://doi.org/10.3390/jmse10050561>
- Pennington, C., Shaw, M., Brooks, T., Briganti, R., Gómez-Pazo, A., Ruffini, G., Appleton, M., Payo, A. (2024). Nine months of daily LiDAR, orthophotos and MetOcean data from the eroding soft cliff coast at Happisburgh,

- UK. *Scientific Data*, 11 (1), 846. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03499-3>
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S. (2015a). An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. *Earth Surface Process Landforms*, 40 (1), 105-111. <https://doi.org/10.1002/esp.3654>
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S. (2015b). Clast mobility within boulder beaches over two winters in Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 248, 411-426. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.001>
- Pérez-Alberti, A., Gómez-Pazo, A. (2019). The Rocky Coasts of Northwest Spain. In: *The Spanish Coastal Systems*, pp. 27-47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_2
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., Pires, A., Lopez-Bedoya, J., Chamine, H.I., Gomes, A. (2012). The effect of boulders on shore platform development and morphology in Galicia, northwestern Spain. *Continental Shelf Research*, 48, 122-137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.07.014>
- Puertos del Estado (2025). <http://www.puertos.es/es-es> (acceso 10/04/2025).
- Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, L., Lenzi, M.A. (2014). Tracking log displacement during floods in the Tagliamento River using RFID and GPS tracker devices. *Geomorphology*, 228, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.012>
- Turner, I.L., Harley, M.D., Drummond, C.D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>
- Vos, K., Splinter, K.D., Harley, M.D., Simmons, J.A., Turner, I.L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>
- Young, A.P., Olsen, M.J., Driscoll, N., Rick, R.E., Gutierrez, R., Guza, R.T., Johnstone, E., Kuester, F. (2010). Comparison of airborne and terrestrial lidar estimates of seacliff erosion in Southern California. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76 (4), 421-427. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.4.421>
- Young, A.P., Matsumoto, H., Spydell, M. S., Dickson, M. E. (2023). Cobble Tracking Observations at Torrey Pines State Beach, CA, USA. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 128(9), e2023JF007199. <https://doi.org/10.1029/2023JF007199>

Recibido el 31 de julio de 2025

Aceptado el 5 de diciembre de 2025

ÍNDICE / INDEX

Prólogo CyG

<i>Poblete Piedrabuena, M.A.</i> Contribución al conocimiento geomorfológico del Camp d'Alacant	3
---	---

Artículos de Investigación / Research Papers

<i>Silva, P.G.; Bardají, T.</i> La Historia de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario Parte III: AEQUA en los inicios del siglo XXI (2006 - 2017)	7
<i>Estaca-Gómez, V. y Major-González, M.</i> Primeras evidencias zooarqueológicas del yacimiento prehistórico del Barrio del Castillo (Torrejón de Ardoz, Madrid, España)	39
<i>Soares, A.M.M.; Valério, P.</i> The conversion into calendar dates of radiocarbon ages of marine organisms collected on the Andalusian coast of the Gulf of Cadiz - the new Marine20 calibration curve	55
<i>Pain, C.F.</i> Recent morphological changes (2009-2022) on the floodplain of the Guadalporcún River, province of Cádiz (Southern Spain)	65
<i>Puente-Sierra, M. y González-Gutiérrez, R.B.</i> Cartografía geomorfológica y análisis morfométrico de las dolinas del macizo de Fresneda-Correcillas, Cordillera Cantábrica (León)	79
<i>Gómez-Pazo, A.; Pérez-Alberti, A.</i> Estudio de la dinámica de una playa de bloques en el sur de Galicia mediante el uso de sensores RFID en el período 2016-2025	103



UN PRODUCTO EDITORIAL SEG-AEQUA

This Journal is also supported by International Union for Quaternary Research (INQUA) and International Association of Geomorphologists