

DEPARTAMENT DE GEOGRAFIA  
FACULTAT DE GEOGRAFIA I HISTÒRIA

CUADERNOS DE  
GEOGRAFÍA  
112

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
2024

# CUADERNOS DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

La revista *Cuadernos de Geografía*, editada por la Universitat de València desde 1964, es una de las revistas decanas de la disciplina geográfica en España. Sus páginas han atestiguado las transformaciones del territorio y sus paisajes, así como de las sociedades que los habitan y de las actividades que éstas desempeñan. El abanico de temáticas que trata es amplio, siempre afines a las diferentes ramas de la Geografía, alentando una perspectiva inter y transdisciplinar. Acorde con este enfoque, la revista publica con periodicidad semestral artículos de investigación originales y reseñas en catalán, castellano, inglés y francés.

En su etapa actual, *Cuadernos de Geografía* se adapta a los nuevos retos de la Geografía y su comunicación en un mundo más globalizado y digital. La evaluación de los trabajos se rige por un sistema de arbitraje externo por pares de tipo doble ciego. Los trabajos aceptados son publicados digitalmente y sin coste para sus autores/as en formato electrónico de acceso libre y gratuito.

## DECLARACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS Y COMPROMISO ÉTICO

*Cuadernos de Geografía* se compromete a garantizar la ética y la calidad de los artículos publicados teniendo como referencia el Código de conducta y buenas prácticas para editores de revistas científicas que define el Comité de Ética de Publicaciones (COPE). En cumplimiento de estas buenas prácticas, se publican el sistema de arbitraje utilizado para la selección de los artículos y los criterios de evaluación que las personas evaluadoras externas (anónimas y por pares) deben aplicar. Ellas garantizan, en todo momento, la confidencialidad del proceso de evaluación: el anonimato de los/las evaluadores/as y de los/las autores/as, el contenido evaluado, el informe razonado emitido por las personas evaluadoras y cualquier otra comunicación que realicen los consejos de Dirección, Redacción y Asesor.

El Consejo de Dirección de *Cuadernos de Geografía* se compromete a publicar correcciones, aclaraciones, retracciones y disculpas cuando sea necesario. Al aceptar los términos y acuerdos expresados por nuestra revista, las personas autoras deben garantizar que su trabajo y los materiales asociados a él son originales y no infringen los derechos de autor de terceras personas. Las opiniones expresadas en artículos y reseñas son de exclusiva responsabilidad de sus autores/as.

Normativa de publicación: <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/about/submissions#authorGuidelines>  
Proceso de evaluación por pares: <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/about/editorialPolicies#peerReviewProcess>

Aquesta pàgina, en català: <https://ojs.uv.es/public/journals/85/public/P2cat.pdf>

This page, in English: <https://ojs.uv.es/public/journals/85/public/P2eng.pdf>

Cette page, en français: <https://ojs.uv.es/public/journals/85/public/P2fr.pdf>

## CONSEJO DE DIRECCIÓN

Dirección: María Dolores Pitarch Garrido y Félix Fajardo Magraner

Editores: Ghaleb Fansa Saleh, Sandra Mayordomo Maya y Carmen Zornoza Gallego

Secretaria: Susana Tomás, Universitat de València (susana.tomas@uv.es)

## CONSEJO DE REDACCIÓN

Juan Miguel Albertos (Universitat de València), Adolfo Calvo (Universitat de València), Javier Esparcia (Universitat de València), Félix Fajardo Magraner (Universitat de València), Albert Llausàs (Universitat de Girona), Alfredo Ollero (Universidad de Zaragoza), Montserrat Pallarès (Universitat Autònoma de Barcelona), María Dolores Pitarch (Universitat de València), Julia Salom (Universitat de València), Simón Sánchez del Moral (Universidad Complutense de Madrid), Carles Sanchis Ibor (Universitat Politècnica de València) Francesca Segura (Universitat de València).

## CONSEJO ASESOR

Roy W. Alexander (University of Chester), Nacima Barón (Université Paris Est), Josep Vicent Boira (Universitat de València), Carolina Boix (CSIC), Eugenio Burriel (Universitat de València), Francisco Calvo García-Tornel (Universidad de Murcia), Marianne Cohen (Sorbonne Université), Manuel Costa (Universitat de València), Roland Courtot (Aix-Marseille Université), Joan Estrany (Universitat de les Illes Balears), Cayetano Espejo Marín (Universidad de Murcia), M<sup>a</sup> Dolors Garcia Ramon (Universitat Autònoma de Barcelona), Angela Hof (Salzburg Universität), Askoa Ibisate González de Matauco (Universidad del País Vasco), Edilia Jaque (Universidad de Concepción), Robert Kent (California State University), Ricardo Méndez (Universidad Complutense de Madrid), Frank Moolaert (KU Leuven) Emma Pérez-Chacón Espino (Universidad de La Laguna), Michaël Pouzenc (Maison de la Recherche. Toulouse), Joan Romero (Universitat de València), Celine Rozenblat (Université de Lausanne), Vicenç M<sup>a</sup> Rosselló (Universitat de València), Elias Symeonakis (Manchester Metropolitan University), Fernando Vera Rebollo (Universidad de Alicante), Francesco Visentin (Università Ca' Foscari).

## REDACCIÓN Y EDICIÓN

Departament de Geografia, Facultat de Geografia i Història.

Avda. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València. Tel.: (34) 96 3864237

## SITIO WEB Y ENVÍO DE ORIGINALES

<https://ojs.uv.es/index.php/CGUV>

ISSN: 0210-086X

Depósito Legal: V-2.147 – 1960



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional.

---

Maquetación: Letras y Píxeles

Impresión: 315 Gramos Laboratorio Gráfico



Homenatge a Francesca Segura Beltrán, Catedràtica  
de Geografia Física, Universitat de València

## ÍNDICE

Joan F. Mateu Bellés i Carles Sanchis Ibor <i>Francesca Segura, entre aules i rambles</i> .....	7
<i>Publicacions de Francesca S. Segura Beltran</i> .....	19
Sergio Badenes Placencia <i>Els camins-barrancs de la Plana de Castelló: l'ús dels llits dels barrancs com a elements de xarxa viària històrica</i> .....	27
Aitana Pastor Valor <i>Aigües superficials i subterrànies com a possible factor desencadenant en un vessant inestable. El cas de la Font Nova i dels polígons industrials de Santiago Payá i de Sant Benet, Alcoi (Alacant)</i> .....	55
Joan J. Fornós, Lluís Gómez-Pujol, Miguel A. Cau-Ontiveros <sup>1</sup> i Catalina Mas-Florit <i>S'Albufereta de Pollença (Mallorca): una introducció a la seva geomorfologia i l'evolució sedimentària recent</i> .....	85
Joan Carles Membrado-Tena i Jorge Hermosilla-Pla <i>Avaluació qualitativa del paisatge oleícola del Maestrat (País Valencià)</i> .....	107
Alfredo Ollero, Askoa Ibisate, Carles Ferrer-Boix, Juan Pedro Martín Vide, Daniel Ballarín, Pepa Castillo Pascual, Juan Miguel García Lagranja, Saioa García-Rodríguez, Álvaro Melián, Francisco Núñez-González, Orbanje Ormaetxea, Valeria Noemí Pirchi, Ana Sáenz de Olazagoitia y Miguel Sánchez Fabre <i>El curso medio del río Ebro: bases preliminares para su diagnóstico hidromorfológico y perspectivas de gestión y restauración</i> .....	131
Juan Antonio Marco Molina i Pablo Giménez Font <i>Fonts per a la reconstrucció dels sistemes tradicionals de reg amb aigües d'avinguda en rambles del sud-est peninsular</i> .....	151
Josep E. Pardo-Pascual, Jaime Almonacid-Caballer, Denys Gorkovchuk, Jesús Palomar-Vázquez i Carlos Cabezas-Rabadán <i>Avaluació dels canvis volumètrics de les platges i front dunar entre València i Cullera (2017-2022)</i> .....	175

Gerardo Benito, María Pilar Rabanaque, Carlos Sanchis-Ibor, Olegario Castillo, Daniel Vázquez-Tarrío, Mikel Calle, Vanesa Martínez-Fernández y Yolanda Sanchez-Moya <i>Monitorización de cambios geomorfológicos y transporte de carga de fondo durante flujos anuales en la rambla de Cervera (Castellón) .....</i>	195
Andrés Díez-Herrero, Mario Hernández Ruiz, Julio López Gutiérrez, Javier Martínez- Martínez, José F. Mediato, Juana Vegas, María Ángeles Perucha, Daniel Vázquez-Tarrío, K. Patricia Sandoval-Rincón, Julio Garrote, J. Heriberto Lorenzo, Ernest Bladé i Castellet, Marcos Sanz-Ramos, Nieves Sánchez e Inés Galindo <i>Ensayos en campo de removilización hídrica de piroclastos del volcán de Tajogaite de 2021 (La Palma, Islas Canarias) .....</i>	231
Eloy del Rosario Rodríguez, Leví García Romero y Emma Pérez-Chacón Espino <i>Análisis geográfico de la presión humana durante eventos festivos: aplicaciones a la gestión de la noche de San Juan en la playa urbana de las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria, España) .....</i>	261
RESEÑA	
Obdulia Monteserín Abella <i>El transporte público en la provincia de Castelló. Pasado, presente y futuro .....</i>	287

JOAN F. MATEU BELLÉS<sup>a</sup>  
CARLES SANCHIS IBOR<sup>b</sup>

## FRANCESCA SEGURA, ENTRE AULES I RAMBLES

Durant molts anys, la professora Segura ha tingut al despatx un gran mapa geomorfològic de l'illa de Menorca penjat en la paret de la porta, vora una taula auxiliar redona en què s'acumulaven intermitentment altres mapes. Enfront, baix l'ample finestral que dona al pati interior de la Facultat, es van amuntegar algunes caixes amb mostres de roques, tubs de cartó i un marc reglat d'un metre quadrat per classificar textures sedimentàries fluvials. La taula de treball tenia al damunt tots els estris de la feina de gabinet, alguna foto familiar i una tassa de té per als moments de tranquil·litat. Al davant, un llarg armari-prestatgeria cobria tota una paret, acumulava llibres d'hidrologia i geomorfologia, i una mostra de lava cordada. Sobre les portes de l'armari estaven apegades moltíssimes fotografies de viatges i treballs de camp. En algunes es reconeixien les siluetes, una mica descolorides per la llum solar, de companys i companyes de recerca. Al darrere de l'escriptori hi havia altres dibuixos i cartografies, i entre tots destacava, acuradament emmarcat, un magnífic dibuix d'un relleu calcari del Mondúver fet pel professor Vicenç Rosselló, amb una antiga foto de carnet del mestre pinçada al cantonet.

En els detalls de tota aquesta matèria, dipositada pensadament, podem llegir moltes coses intangibles de la trajectòria i el caràcter de la nostra companya. Les fotografies ens refereixen una geògrafa viatgera i entusiasta del treball de camp, bona caminadora, en temps d'oci o de feina. Les mostres de roques i els mapes, desvelen un interès per fer teoria al camp i pràctica a l'aula, per tractar de motivar a un alumnat amb un perfil que ha anat canviant molt durant les últimes dècades. Les siluetes mig esborrades mostren la voluntat de no oblidar-se de les bones companyies i jornades de treball, malgrat el pas del temps.

### QUARANTA ANYS ENTRE AULES I RAMBLES

El dibuix geomorfològic del mestre, en posició privilegiada, ens porta a situar l'arribada d'una jove Francesca Segura al Departament en 1983, incorporada com a becària de doctorat després d'haver

---

a Departament de Geografia, Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València. [juan.mateu@uv.es](mailto:juan.mateu@uv.es), <https://orcid.org/0000-0001-8096-4667>

b Centre Valencià d'Estudis del Reg, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera s/n, 46022 València. [csanchis@upv.edu.es](mailto:csanchis@upv.edu.es), <https://orcid.org/0000-0002-8795-2922>

defensat amb èxit la seua tesina de llicenciatura sobre les terrasses de la rambla de Cervera (Segura, 1984). En arribar a la Universitat de València, Vicenç M. Rosselló i Verger havia trobat un país que era pràcticament *terra ignota* per al món acadèmic, com ell mateix va expressar. Per revertir aquesta penosa situació, a poc a poc anava encomanant el reconeixement geogràfic de diferents àmbits als deixebles que s'iniciaven en la recerca. La investigadora, nascuda i criada a Xert, un balcó immillorable sobre la rambla de Cervera, tenia a la mà ocupar-se dels rius secs, als quals dedicà els primers quatre anys d'investigació, fins a defensar i publicar la tesi *Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de geomorfología, sedimentología e hidrología*. Res més defensar-la es va unir a l'equip docent del Departament com a professora ajudant, posició que ocupà fins a l'any 1991, en accedir a la titularitat com a professora d'Hidrologia. Vint anys després, l'abril de 2011, va promocionar a catedràtica de Geografia Física, càrrec que ha exercit fins a 2024. Durant els quaranta anys de docència, ha impartit lliçons a molts geògrafs, historiadors i ambientalistes, principalment en matèries relacionades amb la hidrologia, la geomorfologia, la cartografia i els riscos naturals. Bona part d'aquesta activitat ha tingut lloc als respectius i consecutius graus i llicenciatures, però també a diversos màsters i cursos de postgrau, amb una dedicació contínua a dos d'ells, el de Contaminació, Toxicologia i Sanitat Ambiental i el de Tècniques de Gestió del Territori i el Medi Ambient.

La professora Segura ha desenvolupat tota la seua carrera professional al Departament de Geografia de la Universitat de València, amb dos breus parèntesis. El primer, al Departament d'Enginyeria Hidràulica i Medi Ambient de la Universitat Politècnica de València, com a professora invitada entre els anys 1990 i 1991, integrada en l'equip dirigit per Juan Marco Segura. El paper d'aquest catedràtic ha estat clau per a alçar un pont entre Geografia i Enginyeria durant les darreres quatre dècades, pel qual han creuat persones, coneixements i idees d'un costat a l'altre, en un profitós aprenentatge comú. Des d'una vora caminava el coneixement sobre geomorfologia, inundacions històriques i territori, mentre de l'altra viatjaven les tècniques quantitatives d'hidrologia i hidràulica més novadores. La metàfora del pont no és innocent. Davant d'alguns d'ells i d'altres obres fluvials, la professora Segura amb freqüència es detenia i recordava als companys que les infraestructures havien de respectar l'espai de mobilitat fluvial, ressaltant la necessitat d'elaborar solucions que s'adaptaren a la dinàmica fluvial. El pont, a més d'establir enriquidors vincles personals, ha contribuït d'alguna manera a reforçar l'aposta de Juan Marco per una enginyeria hidràulica i una gestió d'inundacions que progressara des de posicions de sotmetiment de la natura cap al disseny d'estratègies per treballar amb ella, en la línia del que darrerament s'anomenen solucions basades en la naturalesa (NBS).

El segon parèntesi, més breu, va tindre lloc durant els mesos estivals de 2011 a la School of Geography de la Queen Mary University of London, on Francesca treballà amb Angela Gurnell, actualment professora emèrita de Geografia Física, estudiosa dels rius i de les interaccions entre vegetació i processos fluvials. L'estada va donar impuls a una internacionalització de les investigacions de la professora Segura sobre rius efímers i semipermanents mediterranis, amb treballs desenvolupats al Millars (Garófano et al., 2013), Rambla de Cervera (Segura i Sanchis, 2013), Girona (Segura et al., 2016), Palància (Sanchis i Segura, 2017) o Serpis (Sanchis et al., 2019).



Figura 1. La professora Segura amb el seu mestre, Vicenç M. Rosselló, al Saló de Graus de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de València



Francesca Segura mai no ha defugit la gestió i les responsabilitats col·lectives, ans al contrari, va ser la primera dona i la primera professora titular que va assumir la direcció del Departament de Geografia, la secretaria de la qual ha ocupat en dues etapes. També va dirigir l'esmentat màster de Tècniques de Gestió del Territori i el Medi Ambient; ha exercit altres càrrecs de responsabilitat en comissions acadèmiques; i ha sigut membre de la Junta de la Facultat de Geografia i Història en dos períodes. A més, durant quasi una dècada va formar part de la Comissió d'Extensió Universitària.

Sempre ha entès que la docència universitària no acaba en l'aula i que els professors ens deguem a una societat a la qual retornar, en la mesura del possible, el que obtenim de la recerca. Per això ha participat en diverses presentacions, conferències i taules rodones, així com en nombrosos treballs de divulgació, a través d'obres col·lectives (Segura, 1992, 1994; Segura et al., 2016a, 2016b), de la revista *Mètode* (Segura, 2003, 2012) o de publicacions locals (Segura, 2014; Segura i Beltran, 2017). Al mateix temps, s'ha implicat en la gestió del territori, principalment en estudis relacionats amb el risc d'inundació, però també en el maneig dels sistemes naturals. Ha col·laborat per a la Generalitat Valenciana en diverses etapes de l'elaboració del reeixit Pla d'Acció Territorial enfront del Risc d'Inundació de la Comunitat Valenciana (PATRICOVA) i en els estudis previs del (actualment amenaçat) Pla d'Acció Territorial de la Infraestructura Verda del Litoral (PATIVEL). Ha participat en l'elaboració del Sistema

Figura 2. La professora Segura durant el seu discurs de recepció a l'Institut d'Estudis Catalans, en octubre de 2017



Font: Arxiu de l'Institut d'Estudis Catalans.

activament, entre 1997 i 2002, en la Comissió de Normalització Lingüística de la Universitat de València. Des de juny de 2015, és membre de la Secció de Filosofia i Ciències Socials de l'Institut d'Estudis Catalans, dins l'àrea de Geografia. El discurs de recepció en aquesta acadèmia el pronuncià en octubre de 2017, sota el títol *Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis: crònica d'una destrucció anunciada* i la resposta al discurs va anar a càrrec del seu mestre, Vicenç M. Rosselló, membre emèrit de la Secció de Filosofia i Ciències Socials de l'Institut (figura 2).

### TOTA LA VIDA HE TREBALLAT EN RIUS

Arribats ací, és difícil destacar quines han sigut les contribucions més destacables de la recerca de la professora Segura. Assumint el risc de deixar-nos moltes aportacions de valor, hem seleccionat algunes i adreçem a qui ens llig a completar-les amb un repàs de les referències que llistem al final d'aquest prefaci. Ens limitarem a tres espais de treball –les ramblas i rius secs mediterranis, les desembocadures i les albuferes mediterrànies– i a dos processos –les inundacions i les restauracions fluvials–.

Nacional de Cartografia de Zones Inundables (SNCZI) de la demarcació del Xúquer i en el Pla d'Avingudes elaborat en aquesta conca després de la desfeta de 1982. I, finalment, ha contribuït en altres estudis d'inundabilitat i ordenació del territori d'escala local, comarcal o d'espais naturals protegits.

Treballant en aquest àmbit, va contribuir al reconeixement de la Geografia Física com a ciència aplicada i com a professió, ja que la disciplina havia romàs apartada de la gestió i planificació dels rius durant la major part del segle xx. A més a més, va endinsar-se i va saber fer-se un lloc en un àmbit professional que a les acaballes del segle passat encara estava extremadament masculinitzat. Com ella ha expressat en alguna ocasió: «És ben cert que ser dona i geògrafa entre els professionals que gestionen els rius poden ser dos hàndicaps, però al final el més important és marcar-se un objectiu i seguir avançant. El reconeixement i la col·laboració arriben amb el pas del temps» (Segura, 2017).

Al llarg de tota la seua carrera, la professora Segura ha demostrat un fermíssim compromís amb la normalització del valencià i la defensa dels drets dels valencianoparlants. Ho ha fet donant carta de naturalitat a l'ús del valencià com a llengua vehicular en totes les activitats acadèmiques, siguen administratives, de recerca o docents, i no fent cap pas arrere davant cap oblit o menyspreu. Això va dur-la a participar

Les rambles són, inequívocament, l'espai al qual ha dedicat més temps i on ha generat més aportacions. «Tota la vida he treballat en rius –ens diu la professora Segura (2017)– i, especialment, en uns rius molt particulars, els efímers. Rius secs, torrents, rieres, barrancs, rambles..., moltes denominacions per a parlar de rius poc o mal considerats». Les primeres aproximacions s'adreçaren a la sistematització de la dinàmica i les formes d'aquests rius secs, a partir dels exemples septentrionals valencians analitzats en la seua tesi doctoral (Segura, 1990). La professora Segura va estudiar uns caixers de canals trenats (*braided*), coberts per dipòsits de còdols que adoptaven formes principalment longitudinals, i va establir la vinculació d'aquestes amb les particularitats de la hidrologia i la litologia del Maestrat.

Quan la investigadora va examinar aquestes rambles estaven produint-se canvis substancials en el seu capteniment i morfologia, amb conseqüències de les quals ja ens alertava: «les rambles són sistemes en els quals s'interrelacionen nombrosos elements que guarden entre sí un precari equilibri. La modificació de qualsevol d'aquests factors pot provocar reaccions difícils de prevenir i controlar, amb greus perjudicis per al conjunt del sistema» (Segura, 1990). Amb el pas dels anys, amb una reiterada observació de la seua evolució, va aprofundir en els processos de canvi induïts per les activitats humanes i les variacions climàtiques, per construir-ne un model evolutiu. Les conques vessants, reforestades per l'abandó agrícola i ramader associat a l'èxode rural, i els caixers, buidats per la rapinya d'àrids i barrats pels embassaments, havien reduït al mínim la disponibilitat de sediments als rius mediterranis. Sense aquesta matèria, els caixers han estat colonitzats per la vegetació i s'han estretit. Al mateix temps, s'encaixaven, reduïen el nombre de canals i perdien mobilitat. A penes queden rambles al Mediterrani peninsular com les de vastos codolars que documentà la jove investigadora en la seua tesi. Ara bé, la professora Segura ha pogut reconstruir el procés de transformació, ha elaborat un model interpretatiu divulgat en diversos treballs (Segura i Sanchis, 2013; Segura 2017). Al mateix temps, no ha parat de denunciar els negatius efectes que l'abusiva extracció de grava està generant en rambles i rius, afectant també greument les desembocadures i els sistemes litorals, que ara i per molts anys restaran mancats d'alimentació.

La connexió sedimentària entre aquests sistemes fluvials i litorals ha dut la professora Segura a treballar en desembocadures, restingues i albuferes mediterrànies. A les desembocadures és on es fa més evident la interferència entre la dinàmica marina i la dels rius, però en substrats calcaris de vegades es posa en relleu la dinàmica càrstica, com desvelen els seus treballs sobre les cales mediterrànies, a les que també arribà de la mà del mestre Rosselló (Rosselló et al., 2002; Segura 2012, 2021; Gómez-Pujol et al., 2013; Fornós et al., 2017). Bona part d'aquesta recerca costanera respon a una prolongada col·laboració amb l'amiga i companya Eulàlia Sanjaume, i amb l'esmentat Josep Pardo. Els seus treballs han permés reconstruir l'evolució quaternària de bona part dels aiguamolls costaners del nord del golf de València (Segura et al., 1995), amb especial atenció al cas del Prat de Cabanes-Torreblanca (Sanjaume i Segura, 1986; Sanjaume et al., 2016; Segura et al., 1997). Allí, a més, van analitzar el comportament de la restinga regressiva, afectada per la pèrdua d'alimentació sedimentària que està debilitant aquests dipòsits costaners en bona part del Mediterrani (Sanjaume et al., 1990). Dins l'àmbit del balanç sedimentari dels aiguamolls, també cal destacar la investigació desenvolupada sobre les taxes de sedimentació de l'Albufera de València (Sanjaume et al., 1992), que va replicar encertadament tot un seguit de desafortunades estimacions prèvies, segons les quals, l'estany hauria d'estar actualment completament reblit.

La tasca investigadora de la professora Segura ens deixa una aproximació integral al fenomen de les riuades mediterrànies, particularment de les crescudes sobtades (*flash floods*). Aquesta visió cobreix, des dels processos de generació pluja-escolament (Camarasa i Segura, 2001a, 2001b) a les distorsions que les actuacions humanes introdueixen en el capteniment dels fluxos desbordats (Segura, 2017). En aquest enfocament de la recerca es detecta, sens dubte, l'efecte catàrtic que les inundacions del Xúquer dels anys 1982 i 1987 tingueren sobre el Departament de Geografia de la Universitat de València, singularment sobre l'àrea de Geografia Física. La professora Segura, juntament amb la professora Carmona, elaboraren un primer treball sobre la revinguda del Xúquer de 1987, al que seguiren moltes altres contribucions en diferents àmbits del país recurrentment afectats per aquests processos (Carmona i Segura, 1989; Segura i Carmona, 1999; Segura, 2006; Segura et al., 2016).

Una de les aportacions més interessants de Francesca Segura (2004) ha estat l'elaboració d'un model interpretatiu dels processos d'inundació en ventalls al·luvials, un treball que resulta un magnífic assaig de sistematització de bona part dels estudis efectuats durant la dècada i mitja anterior sobre les diferents planes costaneres valencianes. En aquestes planes, configurades per superposicions de ventalls al·luvials de topografies convexes, els fluxos desbordats generen divergències a les corbes i als punts d'intersecció dels cons. La investigadora elaborà un model que classifica cada forma en funció de la resposta que presenta durant les revingudes, ressaltant el paper clau dels paleocaixers en el drenatge de la superfície dels ventalls, la concentració de fluxos en les depressions intercons i marjals, o les variacions de la càrrega sedimentària en cadascun d'aquests àmbits. A més, la professora Segura va ressaltar com aquesta dinàmica natural es complica enormement degut a una acció antròpica -ponts, carreteres, desviaments, cobriments i ocupacions de caixers- que modifica, de forma més o menys subtil, les condicions originals del modelat terrestre. Aquesta reflexió ha estat un suport científic clau per a la incorporació de la Geomorfologia en els estudis d'inundabilitat i en la planificació recent de la gestió d'inundacions, tant a l'esmentat PATRICOVA com al SNCZI de la demarcació del Xúquer.

Aquest coneixement dels sistemes fluvials ha dut la investigadora a examinar las actuacions de restauració executades sobre els rius mediterranis durant les darreres dècades i a revisar els principis, de vegades no massa sòlids, que fonamentaven bona part d'aquestes actuacions. En alguns casos, s'han volgut trasplantar visions del món atlàntic i dels rius perennes als nostres rius secs, donant un pes exagerat a la presència d'aigua i a la vegetació associada, entenent i dissenyant caixers fluvials com «un mero contenedor del agua y de la biota» (Segura i Sanchis, 2015). Amb molta més freqüència, l'errada ha estat oblidar la importància de que, junt amb el transport d'aigua, la funció principal dels rius és transportar sediments –«funcions sense les quals els rius no són rius» (Segura, 2017)–, i en conseqüència s'ha subestimat la capacitat del riu per a autorregenerar-se i trobar un nou equilibri després de patir qualsevol alteració antròpica. És a dir, *els projectes de recuperació fluvial en molts de casos haurien de consistir només en deixar treballar el riu* (Segura, 2017), en donar-li llibertat per a ajustar-se a les noves condicions hidrogeomorfològiques posteriors a una determinada pertorbació. Aquests plantejaments defensats per la investigadora requereixen una visió de la naturalesa dels sistemes fluvials, no com una foto fixa o un clixé imaginat per la societat, sinó com un metabolisme dinàmic amb una alta capacitat homeostàtica.

## UN HOMENATGE MULTIDISCIPLINAR

Fa pocs mesos, Francesca Segura va repartir entre els professors més joves bona part dels llibres de la prestatgeria del seu despatx. Arrere han quedat quatre dècades d'esforços, desafiaments, entrebancs i èxits que jalonen una llarga i productiva carrera professional. Ara li retem homenatge amb motiu d'una felicitat jubilar amb aquest número de *Cuadernos de Geografía*. De la mateixa manera que el seu despatx ens diu moltes coses d'ella, l'índex d'aquest volum ens desvela informació rellevant sobre la seua trajectòria, espais i àmbits de treball. Un dels articles, redactat pels companys Joan Carles Membrado i Jorge Hermosilla, ens remet al seu paisatge domèstic, els olivars del Baix Maestrat, els que la professora Segura cultiva, pels quals passeja i sobre els quals també ha escrit (Segura, 2014). Altres dos treballs, els signats per dos temes que ha atret l'atenció de la investigadora, com el signat per Aitana Pastor sobre la influència de la hidrologia en el comportament dels vessants, o fins i tot la seua preocupació, com la conversió de barrancs en carrers que ací analitza Sergio Badenes.

Altres tres textos són obra d'investigadors espanyols –i els seus equips– amb els que ha mantingut una col·laboració intermitent i una amistat permanent: el geòleg Andrés Díez-Herrero i els geògrafs Juan Antonio Marco Molina, Pablo Giménez Font (figura 3) i Emma Pérez-Chacón. En el cas dels tres últims, no podem ignorar que són contribucions enfortides per la comunitat d'aprenentatge que és el Grup de Geografia Física de l'Associació Espanyola de Geografia (AGE) i per la convivència compartida anualment per les Jornades de Camp que aquest grup organitza (figura 4).

Figura 3. La professora Segura raonant amb Juan Antonio Marco sobre el llit de la Rambla d'Abanilla, amb el Paredón de Benferri al darrere, en juny de 2023



Font: Pablo Giménez Font.

El volum destil·la interdisciplinarietat. Francesca Segura ha afirmat en alguna ocasió que el seu treball als rius l'ha dut a treballar «en la frontera de la geografia» i a col·laborar amb diversos professionals

de l'enginyeria o la geologia. Aquesta multidisciplinarietat «me la va inculcar el doctor Rosselló i és una de les lliçons més importants que he après» (Segura, 2017). Per això, en la resta del volum figuren contribucions d'autors de diverses disciplines que han col·laborat amb la professora Segura ha treballat en diversos projectes de recerca.

Figura 4. Francesca Segura amb Ana Camarasa, María José López i Carles Sanchis a les Jornades de Camp de Geografia Física de 2023, al peu del volcà Tajogaite



Joan J. Fornós (figura 5) encapçala una contribució sobre l'Albufereta de Pollença. Ell va liderar un projecte sobre el carst i la morfogènesi litoral de les costes balears i valencianes que, a més d'explicar la disposició del magnífic mapa geomorfològic de Menorca que ha adornat el despatx de Francesca Segura les últimes dues dècades, va servir per a caracteritzar la interacció entre processos fluvial, marins i el col·lapse de dolines. Josep Pardo, que també va participar en aquest projecte (Figura 5), signa una altra contribució sobre cordons dunars. Ha estat un amic i col·laborador habitual, amb el que comparteix la preocupació per la interrupció del subministrament de sediments als sistemes costaners. Alfredo Ollero i Juan Pedro Martín-Vide són dos referents de l'estudi dels sistemes fluvials peninsulars. Amb ells i amb els membres dels seus equips, que ací coincideixen en un treball sobre el riu Ebre, ha conversat en moltes ocasions sobre la gestió dels espais fluvials (figura 6). Finalment, Gerardo Benito lidera un grup interdisciplinari, amb membres del Museu Nacional de Ciències Naturals, la Universitat Autònoma de Madrid i altres centres de recerca, amb el que Francesca ha desenvolupat diversos projectes de recerca durant l'última dècada. Són treballs que els ha dut a recórrer, en amenes i llargues jornades de camp, els llits de les ramblas de la Viuda, Cervera i el Palància (figura 7).

Figures 5, 6 i 7. Tres imatges al final de llargues jornades de camp. Dalt, amb Jesús Palomar, Josep Pardo, Joan J. Fornós, Lluís Gómez-Pujol, Jorge Riquelme i Vicenç Rosselló a Menorca, l'any 2006. A l'esquerra, amb Josep Pardo, Juan Pedro Martín-Vide i Carles Ferrer-Boix a la presa de Maria Cristina en 2023. A la dreta, instal·lant sensors d'impacte en un gual de formigó que travessa la rambla de Cervera en Enroig (Xert), amb Mikel Calle, Gerardo Benito i María Pilar Rabanaque en 2022.



Acabem. Ho fem confessant que ens ha costat redactar aquest text mantenint la formalitat de parlar de la professora Segura, perquè per a nosaltres sempre ha sigut Paqui. La companya que ens ha demostrat estima, sinceritat, fidelitat i una insuficientment agraïda capacitat per a dir-nos quatre coses ben dites quan necessitàvem que algú ens les diguera. Ara, en el dia a dia del Departament, trobem a

faltar la seua presència, consell i conversa. Ja no podrà ser al seu despatx, però ben segur que trobarem altres espais per no perdre aquests privilegis.

#### REFERÈNCIES

- Camarasa, A. & Segura Beltran, F. S. (2001a). Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, LXII, 649-673.
- Camarasa, A. & Segura Beltran, F. S. (2001b). Flood events in mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45, 229-249.
- Fornós, J. J., Gómez-Pujol, Ll., Rosselló, V. M., Gelabert, B., Segura, F., & Pardo-Pascual, J. E. (2017). Las costas rocosas del Migjorn de Menorca: acantilados y calas. En Gómez-Pujol, L. i Pons, G. X. (eds). *Geomorfología Litoral de Menorca. Dinámica, evolución y prácticas de gestión* (pp. 29-45), 25. Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Garófano-Gómez, V., Martínez-Capel, F., Bertoldi, W., Gurnell, A., Estornell, J. & Segura-Beltrán, F. (2013). Six decades of changes in the riparian corridor of a Mediterranean river: a synthetic analysis based on historical data sources. *Ecology*, 6-4, 536-553.
- Rosselló, V. M., Fornós, J. J., Gelabert, B., Giménez, J., Ginés, J., Pardo, J., & Segura, F. S. (2002). El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las islas Baleares. En Carrasco, F., Durán, J. J., & Andreo, B. (eds). *Karst and environment* (pp. 329-335).
- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltran, F., & Almonacid-Caballer, J. (2017). Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena*, 158, 357-370.
- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltran, F., & Navarro, A. (2019). Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain). *River Research and Applications*, 35(1), 37-47.
- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., & Pardo, J. E. (1990). Procesos y formas en una restinga en retroceso: el caso de la Albufera de Torreblanca. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*. Teruel: Prensas Universitarias de Zaragoza, 375-384
- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., Lopez, M. J., & Pardo, J. E. (1992). Tasas de sedimentación en la Albufera de Valencia. *Cuadernos de Geografía*, 51, 63-81.
- Segura Beltran, F. S. (1984). Las terrazas de la Rambla de Cervera. *Cuadernos de Geografía*, 34, 1-30.
- Segura Beltran, F. S. (1990). *Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de geomorfología, sedimentología e hidrología*. València: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S. (1992). El relieve y las aguas. *Historia de Castellón*, 1, València: Editorial Prensa Valenciana, SA, 1-20.
- Segura Beltran, F. S. (1994). El Baix Maestrat. *Geografía de les comarques Valencianes*, 2. València: DCV Ediciones, 85-125.
- Segura Beltran, F. (2003). Rambles i barrancs: els rius de pedres. *Mètode. Popular Science Journal*, 38, 67-76.
- Segura Beltran, F. S. (2004). Els ventalls al.luvials i els processos d'inundació: el cas de les planes costaneres valencianes. *Cuadernos de Geografía*, 73/74, 207-232.
- Segura Beltran, F. S. (2006). Las inundaciones de la Plana de Castelló. *Cuadernos de Geografía*, 79, 75-100.



- Segura Beltrán, F. S. (2012). Quan la mar envaeix les desembocadures fluvials. Barrancs i cales, una relació necessària però no imprescindible. *Mètode. Science Studies Journal*, 74, 45-49.
- Segura Beltran, F. S. (2014). Medi físic, usos del sòl i producció agrícola: l'agricultura de Xert. *La Cooperativa Sant Marc de Xert. Història del cooperativisme i de l'oli com a font de riquesa. 50è aniversari (1964-2014)*. Biblioteca xertolina, 1 B e. 1. Benicarló: Onada Edicions, 15-36.
- Segura Beltran, F. S. (2017). *Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis: crònica d'una destrucció anunciada*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Segura Beltran F. S. & Beltran Segura, A. (2017). L'aigua al terme de Xert: factors de localització i tipologia d'entitats hídriques. *Centro de Estudios Maestrazgo*, 98, 30-58.
- Segura Beltran, F. S. & Carmona González, P. (1999). Las inundaciones en la Plana de Gandia: formas y procesos. *Cuadernos de Geografía*, 65-66, 45-60.
- Segura-Beltran, F. S. & Sanchis-Ibor, C. (2013). Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201, 199-214.
- Segura-Beltrán, F. & Sanchis-Ibor, C. (2015). Restauración geomorfológica, cambios ambientales, imagen de referencia e imagen objetivo en ríos efímeros: reflexiones críticas. *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial*. Pamplona, Centro Ibérico de Restauración Fluvial, pp. 431-438.
- Segura Beltran, F. S., Pardo, J. E. & Sanjaume, E. (1997). Evolución cuaternaria de la Albufera de Torreblanca. *Cuaternario y Geomorfología*, 11, 1-12.
- Segura-Beltrán, F., Sanchis-Ibor, C., Morales-Hernández, M., González-Sanchis, M., Bussi, G., & Ortiz, E. (2016). Using post-flood surveys and geomorphologic mapping to evaluate hydrological and hydraulic models: The flash flood of the Girona River (Spain) in 2007. *Journal of Hydrology*, 541, 310-329.
- Segura Beltrán, F. S. & Sanchis Ibor, C. (2016). Acció antròpica, inundacions e incisió fluvial en el abanico aluvial del Palancia. *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas*, pp. 59-62. Valencia: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S., Sanjaume, E. & Pardo, J. E. (1995). Evolución cuaternaria de las albuferas del sector septentrional del Golfo de València. *El Cuaternario del País Valenciano*. València: Universitat de València, 139-153.
- Segura Beltrán, F. S., Sanjaume, E., & Pardo-Pascual, J. E. (2016). Evolución pleistocena de la Albufera de Torreblanca o Prat de Cabanes. *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas*. Valencia: Universitat de València, 99-102

Cómo citar este artículo:

Mateu Bellés, J. F. & Sanchis Ibor, C. (2024). Francesca Segura, entre aules i rambles. *Cuadernos de Geografía*, 112, x-x.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



## PUBLICACIONES DE FRANCESCA S. SEGURA BELTRAN

- Segura Beltran, F. S. (1984). Las terrazas de la Rambla de Cervera. *Cuadernos de Geografía*, 34, 1-30.
- Segura Beltran, F. S. (1985). Els recs amb aigües subterrànies i els problemes d'intrusió marina a les planes litorals del País Valencià, *Saó*, 81, 10-11.
- Segura Beltran, F. S., Sanjaume, E., & Meyer, M. J. (1985). Repercusiones de un fenómeno extraordinario en la Rambla de Chiva. *Investigaciones Geográficas*, XI, 137-148.
- Segura Beltran, F. S. & Sanjaume, E. (1985). Barrancos y conos en el sector septentrional del macizo del Desert de les Palmes (Castelló). *Actas IX Coloquio de Geografía*, 1-10. Murcia.
- Sanjaume, E. & Segura Beltran, F. S. (1986). Análisis morfológico y sedimentológico de la llanura aluvial entre Orpesa y la Ribera de Cabanes. *Cuadernos de Geografía*, 38, 29-60.
- Segura Beltran, F. S. (1986). La salinización de los acuíferos costeros del País Valenciano. *El Campo. Boletín de Información Agraria*, 103, 50-53.
- Segura Beltran, F. S. (1986). La Rambla de Cervera: some aspects concerning the sedimentology, hydrology and geomorphology. En Imeson, A. C., Sala, M., & Harvey, A. M. *Geomorphic processes in environments with strong seasonal contrasts* (pp. 88-103). Barcelona: UGI-COMTAG.
- Segura Beltran, F. S. (1987). La influencia del armouring sobre las características de los sedimentos de algunas ramblas del País Valenciano. *Actas del X Congreso Nacional de Geografía* (pp. 81-91). Zaragoza: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Carmona González, P. & Segura Beltran, F. S. (1989). La inundación de la Ribera del Xúquer en Noviembre de 1987. *Cuadernos de Geografía*, 46, 97-106.
- Segura Beltran, F. S. (1989). Les inundacions de Novembre de 1987 al País Valencià. *Cuadernos de Geografía*, 42, 205-211.
- Segura Beltran, F. S. (1990). *Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de geomorfología, sedimentología e hidrología*. València: Universitat de València
- Segura Beltran, F. S. (1990). Procesos fluviales en lechos con materiales gruesos. *Investigaciones Geográficas*, XVI, 123-138.
- Segura Beltran, F. S. (1990). Morfología de las desembocaduras fluviales en el Norte del País Valenciano. *El Cuaternario en España y Portugal*, 1 (pp. 167-174). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., & Pardo, J. E. (1990). Aportaciones sobre el Cuaternario de la Albufera de Torreblanca. *El Cuaternario en España y Portugal*, 1 (pp. 227-234). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., & Pardo, J. E. (1990). Procesos y formas en una restinga en retroceso: el caso de la Albufera de Torreblanca. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 375-384). Teruel: Prensas Universitarias de Zaragoza
- Segura Beltran, F. S. (1991). Geomorfología fluvial y trazado de mapas de riesgo de inundación: el cono aluvial del Palància. *Sociedad y territorio. Actas del XII Congreso Nacional de Geografía* (pp. 221-229). València: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S. (1992). El relieve y las aguas. *Historia de Castellón*. 1, pp. 1-20. València: Editorial Prensa Valenciana S.A.
- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., Lopez, M. J., & Pardo, J. E. (1992). Tasas de sedimentación en la Albufera de Valencia. *Cuadernos de Geografía*. 51, 63-81.
- Sanjaume, E., Segura Beltran, F. S., Lopez, M. J., & Pardo, J. E. (1992). *Recent Sedimentation in the Valencia Lagoon. Preliminary results. Journal of Coastal Research*. 8, 688-698.
- Pérez Cueva, A. & Segura, F. S. (1994). Las aguas. *Geografía de España*, 3 (pp. 510-551). Barcelona: Océano-Gallach.
- Segura Beltran, F. S. (1994). El Baix Maestrat. *Geografía de les comarques Valencianes*. 2 (pp. 85-125). València: DCV Ediciones.
- Segura Beltran, F. S. (1995). El cuaternario continental en las tierras septentrionales valencianas. *El Cuaternario del País Valenciano* (pp. 83-96). València: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S., Sanjaume, E., & Pardo, J. E. (1995). Evolución cuaternaria de las albuferas del sector septentrional del Golfo de València. *El Cuaternario del País Valenciano* (pp. 139-153). València: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S. (1996). Geomorfología e inundaciones en la Plana de Vinaròs-Benicarló. *Cuadernos de Geografía*. 59, 87-108.
- Pardo, J. E., Segura Beltran, F. S., & Sanjaume, E. (1996). Evolución cuaternaria de la antigua albufera existente entre Puçol y Alboraiá. *Cuadernos de Geografía* (59, pp. 63-86). Universidad de Valencia.
- Sanjaume, E., Rossello, V. M., Pardo, J. E., Carmona, P., Segura, F. S., & Lopez, M. J. (1996). Recent coastal changes in the Gulf of Valencia (Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 102, 95-118.
- Segura Beltran, F. S. & Camarasa Belmonte, A. M. (1996). Balances hídricos de crecidas en ramblas mediterráneas: pérdidas hídricas. Clima y agua. *La gestión de un recurso climático* (pp. 235-245). La Laguna: Universidad de La Laguna.
- Segura Beltran, F. S., Pardo, J. E., & Sanjaume, E. (1997). Evolución cuaternaria de la Albufera de Torreblanca. *Cuaternario y Geomorfología*, 11, 1-12.
- Fornós, J. J., Fumanal, M. P., Pons, G. X., Barón, A., Fornés, A., Pardo, J. E., Rodríguez-Perea, A., Rosselló, V. M., Segura, F., & Servera, J. (1998). Rebliment holocènic a la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental), *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 41, 173-189.
- Segura Beltran, F. S., Pardo, J. E., & Servera, J. (1999). Tectònica i carst al Migjorn de Menorca: el Prat de Son Bou. En Rosselló, V. M. (ed.). *Geoarqueologia i quaternari litoral*. Memorial Maria Pilar Fumanal (pp. 435-446). València: Universitat de València.

- Segura Beltran, F. S. & Carmona González, P. (1999). Las inundaciones en la Plana de Gandia: formas y procesos. *Cuadernos de Geografía*, 65-66, 45-60.
- Segura Beltran, F. S. (2000). La toponímia i la morfologia de les depressions Valencianes de l'interior. *Estudis de toponímia valenciana* (pp. 445-462). València: 10 Denes.
- Segura Beltran, F. S. (2000). Inundaciones de ramblas y barrancos en las tierras valencianas (1980-1999). *Serie Geográfica*, 27-47.
- Segura Beltran, F. S. (2001). Evolución urbana e inundaciones en Castelló. *Cuadernos de Geografía*, 69/70, 253-278.
- Camarasa, A. & Segura Beltran, F. S. (2001). Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos*. LXII, 649-673.
- Camarasa, A. & Segura Beltran, F. S. (2001). Flood events in mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*. 45, 229-249.
- Rosselló, V. M., Fornós, J. J., Gelabert, B., Giménez, J., Ginés, J., Pardo, J., & Segura, F. S. (2002). El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las islas Baleares. En Carrasco, F., Durán, J. J., & Andreo, B. (eds.). *Karst and environment* (pp. 329-335).
- Fornos Astó, J. J. & Segura Beltrán, F. S. (2003). El relleno de los fondos de los barrancos del Migjorn de Menorca. *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. pp. 121. Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Segura Beltran, F. (2003). Rambles i barrancs: els rius de pedres. *Mètode. Popular Science Journal*. 38, 67-76.
- Panareda, J. M., Rosselló, V. M. (coord.), Bech, J., Raso, J. M., & Segura, F. S. (asesores científicos) (2003). *Diccionari de Geografia física*. Barcelona: Termcat.
- Segura Beltrán, F. S. & Pardo Pascual, J. E. (2003). Los barrancos del Migjorn de Menorca. *Introducción a la Geografía Física de Menorca* (p. 86). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Segura Beltran, F. S. (2004). Els ventalls al.luvials i els processos d'inundació: el cas de les planes costaneres valencianes. *Cuadernos de Geografía*, 73/74, 207-232.
- Segura Beltran, F. S. (2004). Cambios hidrológicos en las ramblas y barrancos del Golfo de València a lo largo del siglo xx. *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares* (pp. 349-387). Murcia: Fundación Cajamurcia.
- Fornós, J. J. & Segura Beltran, F. S. (2004). El rebliment holocènic dels barrancs del Migjorn. *Història natural del Migjorn de Menorca. El medi físic i l'influx humà*, 11, 169-176. Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Segura, F. S., Pardo, J. E., & Palomar, J. (2004). Torrents, barrancs i canals: la xarxa de drenatge del Migjorn de Menorca. *Història natural del Migjorn de Menorca. El medi físic i l'influx humà*. 11, pp. 156. Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Gelabert, B., Fornós, J., Pardo, J., Rosselló, V., & Segura, F. S. (2005). Structural controlled drainage basin development in the south of Minorca island (Spain). *Geomorphology*, 65(1-2), 139-155
- Segura Beltran, F. S. (2005). Riesgos volcánicos. *Protección civil y gestión de emergencias. Riesgos naturales*. pp. 89-99. València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.

- Segura Beltran, F. S. (2005). Las inundaciones. Un riesgo mixto. *Protección civil y gestión de emergencias*. Riesgos naturales (pp. 13-40). València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.
- Segura Beltran, F. S. (2005). Los riesgos naturales. *Protección civil y gestión de emergencias*. Riesgos naturales. 7-12. València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.
- Segura Beltran, F. S., Sanjaume, E., Pardo, J. E., & Riquelme, J. (2005). Canvis del nivell del mar en l'evolució del Prat de Cabanes. *Geomorfologia litoral i Quaternari* (pp. 455-470). València: Universitat de València.
- Segura Beltran, F. S. (2006). Las inundaciones de la Plana de Castelló. *Cuadernos de Geografía*, 79, 75-100.
- Fornós, J. J., Gómez-Pujol, L., Rosselló, V. M., Segura, F., Pardo, J. E., & Van Strydonck, M. (2007). El mantell eòlic de ses Arenes (Citadella de Menorca): dades preliminars i primeres datacions. *Bollet de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 50, 227-237.
- Segura, F. S., Pardo-Pascual, J. E., Rosselló, V. M.; Fornós, J. J., & Gelabert, B. (2007). Morphometric indices as indicators of tectonic, fluvial and karst processes in calcareous drainage basins, South Menorca Island, Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1928-1946.
- Pardo Pascual, J. E. & Segura Beltran, F. S. (2007). Els avenços de la cartografia: cap a la tercera dimensió. *Mètode – Popular Science Journal*, 53, 114-121.
- Segura Beltran, F. S. (2007). Problemas ambientales del sistema hidrológico: Aprovechamiento, sobre-explotación y contaminación. *Alteración y regeneración de espacios naturales*. I, pp. 143-175. València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.
- Segura Beltran, F. S. (2007). Sistema Fluvial y Modificaciones en Cauces. *Alteración y regeneración de espacios naturales* (II, pp. 205-234). València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.
- Segura Beltran, F. S. (2007). *Restauración fluvial*. Alteración y regeneración de espacios naturales (pp. 60-94). València: ADEIT Fundación Universidad Empresa de València.
- Rosselló, V. M., Balaguer, P., Fornós, J. J., Ginés, J., Gómez-Pujol, Ll., Pardo, J. E., & Segura, F. S. (2007). El modelado de la costa rocosa oriental de Mallorca: macro, meso y microformas. En Fornós, J. J., Ginés, J., & Gómez-Pujol, Ll. (eds.). *Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca* (15, pp. 153-172). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Segura, F. S. (2008). Sistemes d'Informació Geogràfica i GPS com a noves eines per a l'estudi de les inundacions: el cas del Riu Girona. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 65, 680-691.
- Segura Beltran, F. S. (2009). La pantanada de Tous, 25 anys després. *VIII Jornades d'Estudis de Cullera* (pp. 11-40). Sueca: Ajuntament de Cullera.
- Segura Beltran, F. S. (2009). Geomorfología, inundaciones y alteración del espacio inundable: el caso del Riu Girona (Alacant, Octubre de 2007). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 49, 83-103.
- Segura Beltran, F. S., Rosselló, V. M., & Sanchis, C. (2009). Procesos de erosión en la formación de redes fluviales encajadas en sustrato rocoso: el Macizo del Caroig. *Geografía, Territorio y Paisaje*. *Actas del XXI Congreso de Geógrafos Españoles*. pp. 1861-1872. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

- Segura Beltran, F. S., Rosselló, V. M., & Sanchis, C. (2010). El modelado de cauces excavados en rocas calcáreas: meso y microformas en la rambla del Tambuc. *Avances de la Geomorfología en España, 2008-2010* (pp. 413-416). Solsona: Sociedad Española de Geomorfología.
- Colmenárez, G., Pardo-Pascual, J. E., Ruiz, L. A., & Segura Beltran, F. (2010). Estudio de la relación de la rugosidad topográfica obtenida a partir de datos lidar y GPS con el coeficiente de rugosidad n de Manning. *Cuaternario y Geomorfología*, 24(1-2) 135-151.
- Sanchis, C., Segura, F., & Rosselló, V. M. (2011). Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons. *Cuaternario y Geomorfología*, 25(3-4), 59-69.
- Segura, F. S. (2012). Quan la mar envaeix les desembocadures fluvials. Barrancs i cales, una relació necessària però no imprescindible. *Mètode. Popular Science Journal*, 74, 45-49.
- Segura, F. S. & Sanchis, C. (2012). Efectos de una crecida en un cauce antropizado. La riada del Palància de octubre de 2000. *Cuadernos de Geografía*, 90, 147-167.
- Colmenárez López, G. R, Segura Beltrán, F, Pardo Pascual, J. E., Ruiz Fernández, A. L., & Palomar Vázquez, J. (2013). Estimación de la velocidad de flujo del agua en cauces efímeros no aforados a partir de datos Lidar y GPS-RTK. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 62, 7-23.
- Segura-Beltran, F. S. & Sanchis-Ibor, C. (2013). Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201, 199-214.
- Garófano-Gómez, V., Martínez-Capel, F., Bertoldi, W., Gurnell, A., Estornell, J., & Segura-Beltrán, F. (2013). Six decades of changes in the riparian corridor of a Mediterranean river: a synthetic analysis based on historical data sources. *Ecohydrology*. 6-4, 536-553.
- Gómez-Pujol, L., Gelabert, B., Fornós, J. J., Pardo-Pascual, J. E., Rosselló, V. M., Segura, F., & Onac, B. P. (2013). Structural control on the presence and character of calas: Observations from Balearic Islands limestone rock coast macroforms. *Geomorphology*, 194, 1-15.
- Sanchis-Ibor, C. & Segura-Beltran, F. (2014). Spatial variability of channel changes in a mediterranean ephemeral stream in the last six decades (1946-2006). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 40(1), 89-118.
- Segura Beltran, F. S. (2014). Sobre la restauració fluvial i la complexitat dels rius efímers: algunes consideracions crítiques. *Cuadernos de Geografía*, 95/96, 101-147
- Segura Beltran, F. S. (2014). Medi físic, usos del sòl i producció agrícola: l'agricultura de Xert. *La Cooperativa Sant Marc de Xert. Història del cooperativisme i de l'oli com a font de riquesa. 50è aniversari (1964-2014)*. Biblioteca xertolina, 1 B e. 1, pp. 15-36. Benicarló: Onada Edicions.
- Nácher-Rodríguez, B., Andrés-Doménech, I., Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltrán, F., Vallés-Morán, F. J., & Hernández, E. (2014). A Two-Dimensional Hydraulic Modeling and Analysis of Morphological Changes in the Palancia River (Spain) during a Severe Flood Event on October 2000. *Mathematics of Planet Earth* (pp. 339-342). Madrid: Springer.
- Segura-Beltrán, F. & Sanchis-Ibor, C. (2015). Restauración geomorfológica, cambios ambientales, imagen de referencia e imagen objetivo en ríos efímeros: reflexiones críticas. *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial* (pp. 431-438). Pamplona: Centro Ibérico de Restauración Fluvial.

- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltrán, F., & Almonacid-Caballer, J. (2015). Ephemeral rivers recovery under sediment and water deficit conditions. The case of Palancia River *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial* (pp. 636-644) Pamplona: Centro Ibérico de Restauración Fluvial.
- Sanjaume Saumell, E., Segura Beltran, F. S., & Pardo-Pascual, J. E. (2016). La restinga recesiva de la albufera de Torreblanca (Castelló). *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas* (pp. 103-106). Valencia: Universitat de València.
- Segura-Beltrán, F., Sanchis-Ibor, C., Morales-Hernández, M., González-Sanchis, M., Bussi, G., & Ortiz, E. (2016). Using post-flood surveys and geomorphologic mapping to evaluate hydrological and hydraulic models: The flash flood of the Girona River (Spain) in 2007. *Journal of Hydrology*, 541, 310-329.
- Sanchis Ibor, C. & Segura Beltrán, F. (2016). Cambios morfológicos recientes en el cauce del río Palancia: regeneración fluvial en contextos de déficit sedimentario. *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas* (pp. 55-58). Valencia: Universitat de València.
- Segura Beltrán, F. S. y Sanchis Ibor, C. (2016). Acción antrópica, inundaciones e incisión fluvial en el abanico aluvial del Palancia. *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas* (pp. 59-62). Valencia: Universitat de València.
- Segura Beltrán, F. S., Sanjaume Saumell, E., & Pardo-Pascual, J. E. (2016). Evolución pleistocena de la Albufera de Torreblanca o Prat de Cabanes. *El Territorio Valenciano: Transformaciones Ambientales y Antrópicas* (pp. 99-102). Valencia: Universitat de València.
- Romeu Moreno, E. y Segura Beltrán, F. S. (2016). Cambios de usos del suelo y repercusiones sobre las inundaciones: el caso del Maresme. *XV Coloquio Ibérico de Geografía. Retos y tendencias de la Geografía Ibérica* (pp. 347-356). Murcia: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Sánchez, E., Segura-Beltran, F., & Sanchis-Ibor, C. (2016). Ajustes del cauce y dinámica de barras en la Rambla de Ramonete (Murcia) entre 1956 y 2013: cambios de usos del suelo y acción antrópica. *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Geol y Geofísic* (5, pp. 439-446). Madrid: Publicaciones del IGME.
- Valls, A., Segura-Beltran, F., & Martínez-Clavel, B. (2016). El delta del Ebro a través de la cartografía histórica y la fotografía aérea: evolución morfológica de la llanura deltaica (1858-2012). *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Geol y Geofísic* (5, pp. 61-68). Madrid: Publicaciones del IGME.
- Navarro, A., Sanchis-Ibor, C., & Segura-Beltran F (2016). Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés (Alicante, 1958-2013). *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Geología y Geofísica* (5, pp. 399-406). Madrid: Publicaciones del IGME.
- Martínez-Clavel, B., Segura-Beltran, F., Pardo-Pascual, J. E., & Guillén, J (2016). Análisis de los cambios morfológicos en el delta sumergido del Ebro (1880-1992). *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Geología y Geofísica* (5, pp. 531-537). Madrid: Publicaciones del IGME.
- Segura Beltran, F. S. (2017). *Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis: crònica d'una destrucció anunciada*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Fornós, J. J., Gómez-Pujol, L., Rosselló, V. M., Gelabert, B., Segura, F., & Pardo-Pascual, J. E. (2017). Las costas rocosas del Migjorn de Menorca: acantilados y calas. *Gómez-Pujol, L. i Pons, G.X. (eds):*



- Geomorfología Litoral de Menorca. Dinámica, evolución y prácticas de gestión* (25, pp. 29-45). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Segura Beltran F. S. & Beltran Segura, A. (2017). L'aigua al terme de Xert: factors de localització i tipologia d'entitats hídriques. *Centro de Estudios Maestrazgo*, 98, 30-58.
- Ollero, A., Ibisate, A., Acín, V., Ballarín, D., Granado, D., Horacio, J., Mora, D., Nadal, E., Sánchez Fabre, M., Sebastián, M., Segura-Beltran, F., & Valls, A. (2017). Dynamique fluviale, changement global et pression anthropique dans le bassin, le cours et le delta de l'Èbre. *Sud-Ouest Européen: Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 44, 41-54.
- Ollero, A., Ballarín, D., Boné, P., Casamayor, S., Espinosa, P., Horacio, J., Ibisate, A., Magalhães, A., & Segura-Beltran, F. (2017). Une synthèse sur la restauration fluviale dans le bassin de l'Èbre. *Sud-Ouest Européen: Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* (44, pp. 137-149).
- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltran, F., & Almonacid-Caballer, J. (2017). Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena*, 158, 357-370.
- Segura-Beltran, F. S. & Sanchis-Ibor, C. (2018). Estrechamiento de cauces y cambio de patrón en cursos fluviales mediterráneos como consecuencia del cambio global en las últimas décadas: indicadores geomorfológicos. *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos* (pp. 393-397). Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears. Servei de Publicacions.
- Sepúlveda, E., Sanchis-Ibor, C., & Segura-Beltran, F. (2018). Cambios morfológicos en el cauce del riu Millars (1945-2012). *Tecnologías de la información geográfica. Perspectivas multidisciplinarias en la sociedad del conocimiento* (pp. 297-306). València (España): Universitat de València.
- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltran, F., & Navarro, A. (2019). Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain). *River Research and Applications*, 35(1), 37-47.
- Pardo-Pascual, J. E., Roca Moya, R., & Segura-Beltran, F. (2019). Análisis de la evolución de la línea de costa entre Alcossebre y Orpesa a partir de fotografía aérea (1956-2015). *Cuadernos de Geografía*, 102, 39-72.
- Ollero, A., Ibisate, A., Horacio, J., Conesa, C., Álvarez, Y., Segura Beltran, F., Sanchis Ibor, C., Ballarín, D., Calle, M., & Sánchez Fabre, M. (2019). Diagnóstico y posibilidades de restauración en cursos de agua efímeros mediterráneos. *Restauraríos* (pp. 481-487). Murcia (España): Centro Ibérico de Restauración Fluvial.
- Sanjaume Saumell, E., Pardo-Pascual, J. E., & Segura-Beltran, F. S. (2019). Mediterranean Coastal Lagoons. *The Spanish coastal Systems. Dynamic Processes, Sediments and Management* (pp. 237-268). Cham (Suïssa): Springer.
- Sanjaume Saumell, E., Pardo-Pascual, J. E., & Segura-Beltran, F. S. (2019). Fan Deltas and Floodplains in Valencian Coastal Plains. *The Spanish coastal Systems. Dynamic Processes, Sediments and Management* (pp. 489-516). Cham (Suïssa): Springer.
- Sanchis-Ibor, C. & Segura-Beltran, F. S. (2020). Procesos de colonización vegetal en ramblas: crecimiento y destrucción de parches y alineaciones. *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: una interpretación desde la Geografía* (pp. 161-172). València: PUV-Tirant lo Blanch.

- Segura-Beltran, F. S., Sanchis-Ibor, C., & Vidal Salvador, A. (2020). La incisión como efecto de los cambios ambientales en ríos efímeros. *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía* (pp. 145-160). València: PUV-Tirant lo Blanch.
- Segura-Beltran, F. S. & Ollero Ojeda, A. (2021). Cambios ambientales en los sistemas fluviales: nuevas metodologías, diversidad de casos e implicaciones para la gestión. *Cuadernos de Geografía*, 107, 7-20.
- Segura-Beltran, F. (2021). Les cales mediterrànies: un tema recurrent en el pensament geogràfic de Vicenç M. Rosselló. A Vicenç M. Rosselló, *geògraf, als seus 90 anys* (pp. 321-337). València: Universitat de València.
- Segura-Beltran, F. & Martínez Pardo, P. (2021). Desembocadures fluvials: entre el mar i la terra. El cas del riu Millars. En Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F. X., Gelabert, B., & Martín, J. A. (eds.). *De la terra a la mar i de la mar a la terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea* (34, pp. 199-220). Palma de Mallorca: Monografies de la Societat d'Història Natural Balears.
- Ollero, A., Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Cones, C., Hermoso, Y., Sanmartín, S., Sáenz de Olaza-goitia, A., Segura Beltrán, F., & Sanchis Ibor, C. (2021). El deterioro actual de los cursos efímeros. En Ollero Ojeda, A., Conesa Garcia, C., & Vidal-Abarca Gutiérrez, M. R. (coords.). *Buenas prácticas en gestión y restauración de cursos efímeros mediterráneos: resiliencia y adaptación al cambio climático* (pp. 21-50). Murcia: Universidad de Murcia-Editum.
- Segura Beltran, F. (2022). Navegant pel delta del Nil: apunt geomorfològic de la Guia d'Isambert (1878). *Cuadernos de Geografía*, 108-109(2), 509-513.
- Segura Beltran, F. (2022). Estat global representatiu de les masses d'aigua subterrània de la Comunitat Valenciana. Pla Hidrològic 2015-2020. *Atles temàtic de la Comunitat Valenciana* (pp. 30-31). València: Universitat de Valencia PUV.
- Sanchis Ibor, C., Iranzo Quevedo, J. L., & Segura-Beltran, F. (2022). Flood processes and morphological changes in aggradational ephemeral rivers. Reconstruction of the October 1957 flood in the Rambla Castellarda (Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48-1, 3-21
- Segura Beltran, F. (2022). Hidrografía en la Comunitat Valenciana. *Atles temàtic de la Comunitat Valenciana* (pp. 28-30). València: Universitat de Valencia PUV.

SERGIO BADENES PLACENCIA<sup>a</sup>

## ELS CAMINS-BARRANCS DE LA PLANA DE CASTELLÓ: L'ÚS DELS LLITS DELS BARRANCS COM A ELEMENTS DE XARXA VIÀRIA HISTÒRICA

### RESUM

La utilització de les zones més favorables per al pas i la circulació al llarg de la geografia ha sigut una constant durant la història. Des de temps passats, els llocs amb major facilitat d'accés són emprats per a una connexió entre dos espais i per al desplaçament de persones, mercaderies o idees. Ports de muntanya o colls, valls i guals naturals en els rius són els llocs per excel·lència per al pas entre diferents espais geogràfics. Aquest fet ha sigut aprofitat en diferents èpoques per a construir-hi els camins i carreteres, sent el motiu principal per a fer una via o descartar el seu traçat fins no fa tantes dècades. En el present cas i, en les següents pàgines, ens centrarem en la utilització dels barrancs de la Plana de Castelló com a camins històrics i la seua inserció dins de xarxes viàries més grans. Aquests llits secs han condicionat aquestes xarxes, però també a l'inrevés, a través d'un procés d'antropització dels recursos hídrics.

PARAULES CLAU: arqueologia del paisatge; arqueomorfologia; barranc; Plana de Castelló; xarxa viària.

### THE RAVINE-ROADS OF LA PLANA DE CASTELLÓ: THE USES OF RAVINE BEDS AS ELEMENTS OF THE HISTORICAL ROAD NETWORK

### ABSTRACT

The use of the most favourable areas for transit and circulation along the geography has been a constant during history. Since ancient times, the most easily accessible places have been used to connect two spaces and for the movement of people, products or ideas. Mountain passes, valleys, natural fords in

---

<sup>a</sup> Investigador predoctoral adscrit al Grup d'Investigació en Arqueologia del Paisatge (GIAP) de l'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). sbadenes@icac.cat, <https://orcid.org/0000-0003-2863-077>

Fecha de recepción: 15-04-2024. Fecha de aceptación: 19-07-2024.

rivers are the places par excellence for the passage between different geographical areas. This fact has been used at different times to build roads and highways, and was the main reason to build a road or to discard its layout until not so many decades ago. In the present case, and in the following pages, we will focus on the use of the ravines of the Plana de Castelló as historical roads and their insertion into a larger road network. Dry riverbeds have conditioned these networks, but also the other way round, through a process of anthropisation of water resources.

KEYWORDS: landscape archaeology; archaeomorphology; ravines; Plana de Castelló; road network.

## INTRODUCCIÓ

El present treball s'emmarca en una tesi doctoral que s'està desenvolupant actualment en el Grup d'Investigació en Arqueologia del Paisatge (GIAP) de l'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). L'objectiu principal de la recerca és caracteritzar els processos, tant antròpics com naturals, que han tingut un paper central en la configuració del paisatge històric. Per a tal, hem volgut estudiar cadascuna de les etapes històriques amb la finalitat d'entendre els canvis al llarg del temps i els motius de la configuració paisatgística actual.

La recerca s'ha centrat en tres aspectes: l'estudi de les estructures del paisatge, els assentaments i les fonts historicoarqueològiques. Això ha permès entendre l'evolució històrica del paisatge des de l'època ibèrica fins a l'etapa feudal cristiana, encara que l'objectiu principal ha estat estudiar l'estructura del territori a l'època romana, incloent-hi la població, la xarxa viària i la implantació del model de centuriació. A més, hem utilitzat tecnologies avançades d'anàlisi de dades com SIG/GIS i la integració de resultats de diverses disciplines científiques, fet que ha millorat la fiabilitat dels resultats de la investigació.

L'anàlisi arqueomorfològica s'ha centrat principalment en la xarxa viària, que juga un paper crucial en la configuració del territori. Aquesta ha anat canviant i desenvolupant-se al llarg del temps, fet que queda reflectit en la dinàmica històrica de la regió. En els darrers anys, l'arqueomorfologia s'ha convertit en una disciplina important per a l'estudi de la configuració del paisatge històric, que considera el paisatge com un element arqueològic en si mateix i permet una investigació exhaustiva des d'una perspectiva diacrònica. D'aquesta manera, facilita la identificació les diferents etapes de formació de les estructures del paisatge (Chouquer et al., 1987; Chouquer i Favory, 1991, p. 222; Palet, 1997, p. 28; Leveau, 2000; Palet, 2001; Clavel-Lévêque i Orejas, 2002; Ariño et al., 2004, pp. 67-115).

Al llarg del desenvolupament d'aquest treball i, seguint un estudi arqueomorfològic del paisatge, hem detectat la utilització dels cursos fluvials com a zones de trànsit, és a dir, com a camins que queden integrats dins de trames i xarxes viàries de major abast dins la Plana de Castelló. Es tracta, doncs, d'un fet que no és solament propi d'aquest espai, sinó que és habitual en altres espais costaners o precostaners mediterranis, com poden ser València (Ortega, 2020), Tarragona (Palet i Orengo, 2011), Barcelona (Palet, 1997) o el Vallès Oriental (Flórez i Palet, 2012).

Principalment, resulta interessant el treball de M. J. Ortega a l'Horta de València (2020, pp. 23 i 26), on documenta aquesta interacció. Durant el primer mil·lenni abans de l'Era alguns barrancs i rius es van emprar també com a corredors que connectaven la costa i l'interior. A banda de ser utilitzats com a vies de

comunicació amb una forta incidència sobre el territori, alguns d'ells realment eren vies d'època romana que a causa de l'ús continuat i l'erosió s'han convertit en un lloc de pas de l'aigua en època de pluges.

Troblem un cas semblant al territori de *Tarraco* on, fins i tot, alguns d'aquests barrancs coincideixen amb numerals llatins; a més, hi ha exemples de barrancs que han sigut parcial o totalment antropitzats forçant-los a portar un traçat rectilini (Palet i Orengo, 2011). En el Vallès Oriental, també algunes trames viàries rectilínies canvien el seu traçat per a aprofitar els barrancs com a eixos de trànsit humà (Flórez i Palet, 2012). Tornant al cas de *Valentia*, s'ha detectat el seu ús coincident amb els eixos de la centuriació, posant-hi de manifest l'adaptació de la trama viària romana a la xarxa hidrològica preexistent, però també es documenta el fenomen contrari, cursos naturals emprant vies romanes erosionades (Ortega, 2020).

Aquests camins erosionats en molts casos corresponen amb els *camins fondos* –que en el present article els anomenem també com a camins-barrancs– que es troben amb freqüència al llarg de la façana mediterrània i que molts d'ells es poden localitzar gràcies a la topografia. Al llarg de les darreres dècades diferents autors han portat a terme estudis sobre aquest tema i els han inclòs en els estudis sobre els camins antics i les vies romanes. Els camins fondos es poden documentar gràcies a l'erosió del terreny i la fondària, que es presenten com a estructures negatives sobre el terreny circumdant que poden relacionar-se en alguns casos amb l'immobilisme i antiguitat de les traces (Palet, 1997). La continuïtat de l'ús de les vies ha provocat que la capa de rodament i el nivell del camí antic estiguen per sobre de l'actual, trobant-se desapareguts (Ortega, 2020).

Així doncs, l'objectiu principal d'aquest estudi ha estat cercar aquesta interrelació entre la xarxa vària històrica de la Plana de Castelló (entre època romana i el segle XIV) i la xarxa de barrancs que hi trobem, per poder documentar el seu ús al llarg dels segles com a zones de trànsit. El gran resultat en estudis semblants i àrees geogràfiques amb dinàmiques quasi idèntiques ha permès realitzar un treball amb uns resultats molt semblants als d'altres espais comentats. També, l'ús doble d'un mateix espai com un camí i barranc alhora està àmpliament constatat per la toponímia d'alguns dels cursos fluvials que fan referència a camins, però també a l'inrevés, camins que tenen el nom dels barrancs que comparteixen traçat. Això no significa que tots els barrancs de la Plana de Castelló tingueren un ús viari, ja que en molts d'ells la morfologia del llit fluvial, més que permetre el desplaçament, el dificulta.

Altres grans autors han parlat sobre els barrancs, camins fondos i altres qüestions geogràfiques a la Plana de Castelló i dels paisatges mediterranis. Convé citar a J. F. Mateu, amb la seua extensa obra sobre les rambles mediterrànies i altres qüestions vinculades a l'àmbit geogràfic (1974, 1975 i 1982). E. Obiol (1987, 2017a i 2017b) o F. Segura-Beltrán (1987 i 2006), també amb una gran llista de publicacions, són considerats com alguns dels autors principals que tracten aspectes geogràfics en la Plana. Els seus treballs són de gran utilitat per a entendre la geografia castellanenca i resulten força interessants per entendre el mitjà físic en el qual habiten els éssers humans. És per això que el present article, des d'una mirada arqueomorfològica, vol complementar a la visió geogràfica que es té dels barrancs, ja que aquesta interrelació entre els elements naturals del paisatge i aquells elements antropitzats (com són els camins) entre l'antiguitat i la baixa edat mitjana ens proporciona unes dades complementàries que són d'utilitat tant a geògrafs com a arqueòlegs i historiadors.

### ESPÀI GEOGRÀFIC

L'àrea d'estudi, com s'ha comentat en les línies anteriors, és la Plana de Castelló (figura 1), una zona costanera amb pocs accidents geogràfics que presenta una forma aproximadament triangular que s'estén de Benicàssim a Almenara. El seu eix nord-sud té una llargària màxima de 40 quilòmetres, mentre que l'est-oest té una amplada màxima de 20 quilòmetres. Les serralades d'Orpesa i el Desert de les Palmes clouen la Plana pel nord; la serra de la Pedrissa i el de la serra d'Espadà per l'oest; pel sud la serralada d'Almenara separa aquesta zona del Camp de Morvedre; i, per l'est, trobem la mar Mediterrània. En la part sud, al voltant de la Vall d'Uixó i Moncofa, la Plana es divideix en dos corredors pels cims de la Punta i el Castellar. El primer, el més costaner, es dirigeix cap a la serralada d'Almenara i s'estreny per aquestes elevacions i les marjals costaneres. Mentre que l'altre, que queda per l'interior, s'estén per la Vall d'Uixó, des d'on també es dirigeix cap a Almenara.

Figura 1. Mapa físic de la Plana de Castelló



Font: elaboració pròpia.

La Plana de Castelló, com la resta d'espais litorals mediterranis, està caracteritzat per tindre una xarxa hidrològica formada per un conjunt de rius, rambles i barrancs amb un cabal de caràcter irregular. Solament el riu Millars, a diferència de la resta, presenta un cabal relativament regular i abundant al llarg de l'any (Segura Beltrán, 1987). L'extensió també és reduïda, atés que cap d'ells abasta els 50 km de llargària. De nou, el riu Millars supera aquesta xifra, amb 156 km. Quant a la direcció d'aquests cursos

fluvials, majoritàriament, segueixen l'eix oest-est o el nord-oest - sud-est, baixant de les muntanyes properes a la Plana, com ara la Serra d'Espadà, el Desert de les Palmes o altres espais més interiors, buscant desembocar a la Mediterrània. Però no tots ho fan, bé per les transformacions del paisatge actual i històric, o per haver-hi tot un conjunt de marjals costaneres que recorren la geografia de nord a sud on desaigüen molts d'aquests barrancs. Gran part de les marjals han sigut dessecades en els darrers segles per aprofitar i ampliar les zones de conreu agrícola, quedant solament el Quadro i el Lluent, entre Castelló i Benicàssim, l'Estany de Nules i la marjal de La Llosa-Almenara (Sanjaume Pardo, 1991), sent aquesta última la de major extensió de totes.

El règim pluviomètric de la zona és escàs (entre 400 i 600 mm) i, majoritàriament, centrat en els mesos de primavera i tardor quan es produeixen episodis torrencials (Pérez Cueva, 1994). Aquest fet provoca que la xarxa hidrològica en escassos dies o, fins i tot hores, incremente el seu cabal de forma exponencial. Però a banda d'aquests episodis, la major part de l'any es troben totalment secs, per la qual cosa, el seu ús com a camins i zones de trànsit és òptim. Certament, la climatologia actual no la podem extrapol·lar a altres períodes històrics, en haver variat al llarg dels segles, passant per períodes més freds i càlids, i més humits o secs que els actuals. En cada època històrica va haver-hi una climatologia que no sempre va ser coincident amb l'actual; és per això, que resulta de gran importància conèixer-la, ja que ens pot donar molta informació històrica, no solament sobre la xarxa hidrològica i viària, sinó també sobre els conreus o activitats econòmiques ideals que es poden desenvolupar depenent del règim tèrmic o precipitacions i, el més important, sobre l'evolució del paisatge històric castellonenc.

Per altra banda, s'ha d'esmentar que el present estudi abasta una zona ocupada actualment per les localitats de Benicàssim, Castelló, Almassora, Vila-real, Borriana, Les Alqueries, Onda, Betxí, Nules, La Vilavella, Moncofa, Xilxes, La Vall d'Uixó i la Llosa. Es tracta, doncs, d'un espai altament poblat, ja que s'hi troben gran part de les poblacions més habitades de la província de Castelló. Aquest fet demostraria que és un lloc amb condicions òptimes per a l'assentament històric i actual. Encara que per contrapartida la gran pressió urbana, industrial i, també, l'agrícola durant els darrers segles ha suposat una notable modificació del paisatge: diferents barrancs han sigut canalitzats, desviats, suprimits o convertits en llocs de conreu, provocant una gran antropització dels cursos hídrics. No es tracta solament d'un fenomen contemporani, ja que tal com veurem a continuació, diferents societats passades han incorporat o modificat aquests elements a l'hora de configurar un espai agrari, per una banda, amb un gran esforç, però també, amb un gran sentit de la practicitat de la utilització dels recursos naturals disponibles.

#### ESTUDIS PALEOAMBIENTALS: UN TREBALL PENDENT

Cal comentar que fins al moment no s'ha fet un gran estudi paleoambiental sobre l'època romana, visigòtica, andalusina i feudal en la zona de la Plana de Castelló. Aquesta anàlisi de les dades paleoambientals, juntament amb les dades arqueomorfològiques i arqueològiques des d'una perspectiva multidisciplinària, ens proporcionaria una gran i valuosa informació al voltant de l'organització del paisatge en diferents etapes històriques i l'ús que hi van tindre les terres. Com en alguns dels exemples d'aquest tipus d'estudis en l'àmbit peninsular ibèric, hi trobem els de *Tarraco* i *Barcino* en època

romana, on en diferents punts del seus *agri*, més concretament, en diferents zones amb presència de centuriacions, va permetre demostrar que l'ocupació i l'impacte sobre el paisatge va ser menor del que les dades arqueomorfològiques i arqueològiques podien suggerir (Palet et al., 2009; Palet i Orengo, 2011; Palet et al., 2011; Palet i Orengo, 2021). Les evidències pol·líniques van mostrar un creixement de la massa forestal a partir del segle II ANE i un menor impacte de l'agricultura i la ramaderia; mentre que a la zona costanera sí es documenta una major desforestació per una pressió més intensa de les terres de conreu (Riera, 2003; Riera et al., 2009 i 2010). Per tant, el territori romà estava caracteritzat, a pesar de les centuriacions existents, per grans boscos i clarianes en zones on s'ubicaven les vil·les romanes i les seues àrees productives. Així, mentre les dades arqueològiques i arqueomorfològiques ens mostren resultats de zones reduïdes del paisatge, les dades pol·líniques reflecteixen dinàmiques regionals més complexes (Riera i Palet, 2008; Palet i Riera, 2009).

Un altre exemple més proper a la zona d'estudi és el de l'Horta de València, encara que les dades paleoambientals extretes a l'Albufera de València i la Marjal dels Moros (Sagunt-Puçol) encara no s'han estudiat del tot. A pesar d'aquest fet, el que sí que s'ha pogut demostrar és –al contrari del documentat en altres espais com en la vall del riu Roine, a la Provença (Berger, 2001)– que les marjals d'aquesta àrea no van ser dessecades en època romana, més aviat el contrari, tant les traces viàries conservades com el poblament antic mostren que les zones pantanoses i els seus recursos naturals van ser aprofitats (Ortega, 2020).

Nogensmenys, immediatament tant al nord com al sud de l'àrea que ens interessa sí es van realitzar diferents estudis paleoambientals. A Almenara i Torreblanca en la dècada de 1980 es va fer un treball pol·línic que mostrava un tipus de cultius molt vinculats a la triada mediterrània tan característica d'època romana (oli, vi i cereals), principalment a Almenara (Parra, 1985). Es tractaria, doncs, d'un estudi interessant però amb quasi quaranta anys i molt localitzat geogràficament. Tenint en compte els grans avanços de la ciència en les darreres dècades, caldria fer un altre estudi més actualitzat que podria proporcionar-nos altres paràmetres interessants per a l'estudi paleoambiental de la Plana de Castelló. També al nord i, molt a prop de Torreblanca, a la Torre de la Sal, en el marc del treball de la publicació de la monografia sobre aquesta zona, es va realitzar un estudi geomorfològic i paleoambiental força interessant (Dupré et al., 1994; Ruiz i Carmona, 2009), encara que no abraçava la Plana de Castelló.

#### ESTUDI PREVI I TREBALL DE CAMP

Per a poder fer un treball com el present s'ha creat una base de dades en el programa d'informació geogràfica QGIS, en el qual s'han introduït totes les dades i la informació necessària per a poder ser analitzada.

En primer lloc, s'ha incorporat el mapa topogràfic actual del País Valencià, que presenta una resolució màxima d'1 metre, publicat per l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV) l'any 2019. S'han incorporat, en segon lloc, les fulles de les Minutres Municipals (MTN 50) de l'Institut Geogràfic Nacional (IGN). Aquestes es representen a escala 1.25.000 amb informació altimètrica i planimètrica, i van ser elaborades entre 1939 i 1951. D'altra banda, s'han tingut en compte les ortofotos del vol de 1956-1957 preses per



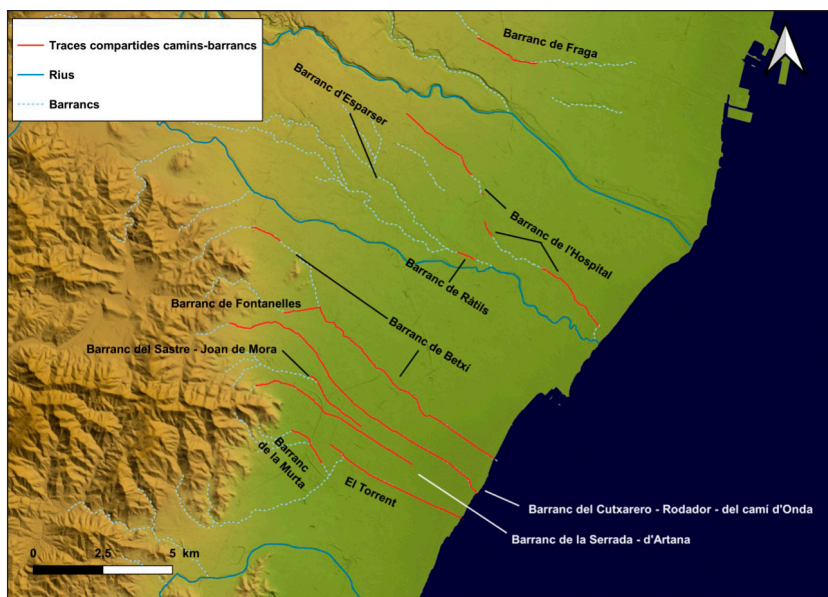
la Força Aèria dels Estats Units (USAF). També, les ortofotos en color natural (RGB) de la zona d'interès estan en la nostra base de dades. Tenen una resolució de 0,25 m i provenen del vol fotogramètric digital RGBI realitzat durant 2020. Les ortofotos les trobem en format de fulla 1:5.000 amb el sistema de referència geodèsic ETRS 89 i projecció UTM en zona 30. Tant les ortofotos històriques com les actuals estan extretes de l'ICV.

En total s'han analitzat fins a deu barrancs (figura 2). No es tracta de tots els barrancs que pugen haver servit com a via de trànsit, ja que n'hi ha més, però hem triat solament aquests al ser de major interès per al nostre projecte que s'està portant a terme en el marc de la tesi. Aquests són:

- Barranc de Fraga: camí de la Ratlla Castelló-Almassora i camí de Fadrell.
- Barranc de l'Hospital: camí Senda Pescadors, carrer Josep Ramón Batalla i camí del Molí de la Roqueta, a Vila-real, i camí Marjalet, a Borriana.
- Barranc de Ràtils: Assagador d'Adrià, Vila-real.
- Barranc de Betxí o de Sant Antoni: camí-barranc de Sant Antoni, límit municipal de Vila-real, Betxí, Les Alqueries i Nules; i camí de la Ratlla Nules-Borriana.
- Barranc de les Fontanelles: camí de Sant Antoni, Nules.
- Barranc del Cutxarero - Rodador - del camí d'Onda: camí d'Aigüesvives, camí Cutxarero, camí d'Onda i camí del Cabeçol, a Nules.
- Barranc del Sastre - Joan de Mora: camí Joan de Mora i carrer Sant Vicent, Nules.
- Barranc de la Serrada o d'Artana: camí de la Serrada, de Nules a Artana –límit municipal entre Nules i La Vilavella– i carrer Santa Natàlia, Matías Torrejón, camí Nou i Ull del Valencià, a Nules.
- Barranc del Torrent: antic camí del Torrent, Nules.
- Barranc de la Murta: camí de València, a La Vilavella i Nules.

Una vegada analitzada tota la informació i triats els camins-barrancs que més interessin per a l'estudi, s'ha procedit a fer el treball de camp per poder documentar i comprovar les hipòtesis plantejades al llarg de la recerca. Aquest treball ha consistit a comprovar sobre el terreny, a través de prospeccions, la viabilitat i practicabilitat d'ús com a lloc de pas dels barrancs en èpoques històriques. Hem de tindre en compte que en l'actualitat molts d'aquests llits es troben en pitjor estat que dècades o segles enrere. Fins fa no gaire anys el seu manteniment i desbrossament era continu a causa de l'explotació més intensa dels recursos, tant del conreu de les parcel·les del seu voltant com els barrancs per la seua utilitat de pas.

Figura 2. Mapa amb tots els barrancs de la Plana de Castelló citats en el text

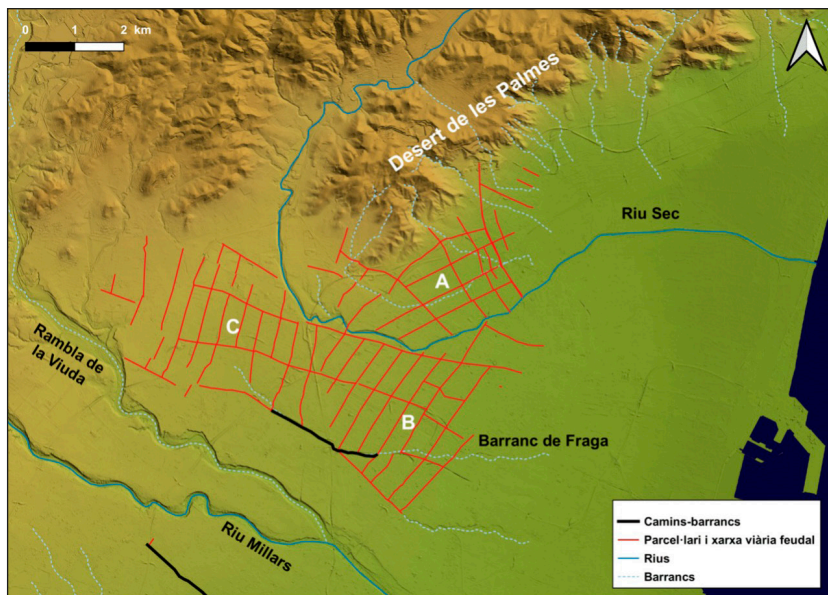


Font: elaboració pròpia.

### *Barranc de Fraga - camí de la Ratlla i camí de Fadrell (Castelló de la Plana i Almassora)*

El primer cas analitzat és el barranc de Fraga (figura 3) i la seua relació amb el camí de la Ratlla de Castelló de la Plana i Almassora i el camí de Fadrell. Aquest barranc naix en algun punt indeterminat al nord-oest del terme municipal de Castelló i desguassaria en la marjal litoral, provocant la inundació de les partides rurals de Fadrell, Almalafa, Censal i Vinamargo (Segura Beltrán, 2006). Aquest fet, sumat a la gran urbanització com a zona industrial de gran part de la zona que recorre, va provocar la seua canalització en molts trams, principalment en el seu tram final, forçant-lo a desaiugar al mar. La interrelació entre el barranc de Fraga i el camí de la Ratlla és present durant 2 km i, durant 900 metres més, en direcció oest és paral·lel a curta distància de l'anterior. Aquesta relació començaria amb l'encreuament del camí de la Ratlla amb la Quadra de Ros, fins a l'encreuament del camí Fadrell amb la Quadra del Saboner. Després, des de la darrera cruïlla fins a la de la Quadra de Gimeno, el barranc anava paral·lel a una distància aproximada de 30 metres al seu costat dret. Val a dir que el barranc actualment es troba canalitzat i desplaçat respecte al camí, encara que es pot observar el paleocanal en aquest espai (figura 4).

Figura 3. Mapa del parcel·lari de Castelló amb els sectors i el camí-barranc de Fraga



Font: elaboració pròpia.

Es tractaria d'un camí i barranc plenament integrat dins de la parcel·lació medieval de Castelló, situada al nord i a l'oest de la ciutat (figura 3). El primer investigador a estudiar-la va ser López Gómez (1974), qui va afirmar el seu possible origen romà en tindre una mètrica equivalent a 10 *actus* romans, encara que tampoc va excloure que es tractara realment d'un parcel·lari medieval i que emprara com a mesura la jovada valenciana. Fou aquest autor qui va dividir-la en tres sectors: A, B i C. En el present estudi, correspon al límit meridional dels sectors B i C. Posteriorment es va poder ratificar, a partir de l'estudi arqueomorfològic del paisatge, que el parcel·lari tenia com a base camins paral·lels i no quadrícules; a més, les traces parcel·làries i viàries no eren rectilínies i també es va confirmar la utilització de la jovada valenciana, veient-se així una clara adscripció medieval (Ariño et al., 1994, p. 195; Ariño et al., 2004). En els darrers anys, Arasa (2019, pp. 199-201; 2022) ha portat a terme altres estudis juntament amb la revisió de documentació històrica que va permetre datar el parcel·lari durant el regnat de Jaume II. Per tant, aquest camí-barranc, a banda de ser un punt que és el límit entre els termes municipals de Castelló i Almassora, va servir com a límit meridional de l'espai parcel·lat datat al segle XIV i estretament relacionat amb la rompuda de nous espais agraris vinculats a l'expansió feudal en el Regne de València (Arasa, 2022).

Figura 4. Fotografia del camí de la Ratlla Castelló-Almassora, a la dreta l'antic paleobarranc

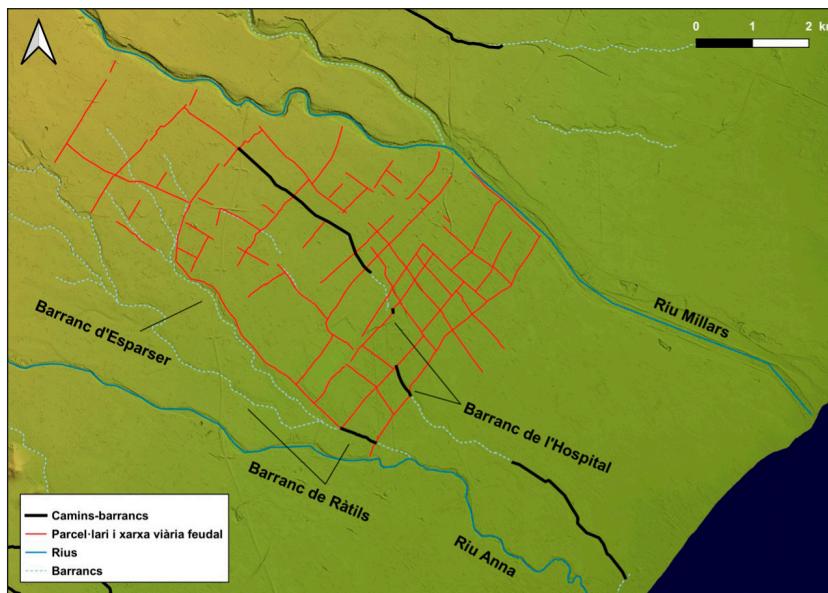


Font: fotografia pròpia.

*Barranc de l'Hospital - senda de Pescadors, carrer Josep Ramón Batalla, camí Molí de la Roqueta i camí del Marjalet (Vila-real i Borriana)*

El barranc de l'Hospital, conegut localment com el Barranquet, naix en un punt indeterminat de la senda de Pescadors, al nord-oest del terme municipal de Vila-real (figura 5). Es tracta d'un camí que arreplega les aigües de la zona, encara que a simple vista no s'observa que la senda (actualment totalment urbanitzada i asfaltada) tinga forma de fossa, tan característica dels camins-barrancs. Després de travessar l'actual carretera Onda-Vila-real, entra en el nucli urbà de la darrera localitat i segueix per l'actual carrer Josep Ramón Batalla, quedant incorporat a la trama urbana durant la primera meitat del segle xx, i sent canalitzat en les darreres dècades fins a arribar a l'altura del Segon Sedeny, on s'ha construït un altre llit artificial en direcció sud forçant el seu traçat fins a la unió d'aquest barranc amb el de Ràtils a escassa distància del riu Sec de Betxí (figura 6).

Figura 5. Mapa del parcel·lari de Vila-real amb els camins-barrancs documentats



Font: elaboració pròpia.

El seu llit històric, per tant, és divergent de l'actual. A partir del Segon Sedeny, a Vila-real el barranc es perd entre els camps: no té un llit definit pel qual puguen córrer les seues aigües. Segura Beltrán (2006) afirma que el barranc no torna a aparèixer fins a Borriana en el camí del Marjalet. Tanmateix, a 800 metres cap al sud, a l'altura del Tercer Sedeny, s'ha pogut documentar a partir de la fotografia aèria històrica i la prospecció que el camí Molí de la Roqueta té un traçat més sinuós que el parcel·lari i xarxa viària del voltant, la qual cosa ha d'estar relacionada amb el fet que es tracta de l'ús del paleobarranc com a camí. Aquesta confluència entre camí i barranc es produeix entre el Tercer i Quart Sedeny, al llarg de 600 metres, i, superat aquest darrer camí, la traça està parcialment esborrada, però es veu el llit del barranc té continuïtat fins a la ratlla de Borriana i la séquia de Nules, amb un total de 600 metres més. Després el barranc té un traçat solitari, sense que puga documentar-s'hi cap traça viària, fins que el seu llit és coincident amb el del camí Marjalet (al llarg de 3,5 km) fins a la seua desembocadura a la Mediterrània, molt propera de la vil·la romana de Sant Gregori a Borriana<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> La vil·la de Sant Gregori (Borriana) és un dels assentaments rurals romans millors coneguts de la Plana de Castelló gràcies a diferents campanyes d'excavació (Benedito et al., 2020). Està situat a escassa distància de la línia de la costa, molt propera a antigues marjals ja dessecades i a la desembocadura del riu Sec o Anna.

Figura 6. Fotografia del barranc de l'Hospital en el camí Quart Sedeny (Vila-real)



Font: fotografia pròpia.

Igual que en el cas anterior, veiem que aquests camins i el barranc de l'Hospital queden integrats dins d'un parcel·lari medieval (figura 5). Al terme municipal de Vila-real no s'ha estudiat amb tanta profunditat com en el de Castelló, però diferents treballs s'hi han centrat en ell i tracten de la seua adscripció medieval i metrologia (González Villaescusa, 2002; Ariño et al., 1994 i 2004; Guinot i Selma, 2012; Járrega, 2013). Sens dubte, el treball de Guinot i Selma és el que més hi aprofundeix al respecte, estudiant no sols el parcel·lari, sinó també la seua imbricació amb la xarxa de séquies de nova construcció en època foral. Aquest parcel·lari el trobem tant al nord-oest com al sud-oest de la localitat, envoltant-la pels quatre costats i amb el nucli urbà al centre. No hi ha documentació que permeta una datació exacta, encara que possiblement es va produir en el darrer quart del segle XIII, moment en el qual es va fundar Vila-real (1274).

També, a diferència del de Castelló, que a pesar de no ser totalment regular presenta una morfologia unitària, el de Vila-real, no la té. El fet que tinga moltes traces esborrades (principalment al nord-oest del nucli) i uns eixos que no coincideixen amb cap dels dos costats del camí Na Boneta, ens fa pensar en la hipòtesi que possiblement són dos parcel·laris diferents d'origen medieval (actualment no es poden datar) o que s'estiguen reaprofitant, possiblement, estructures viàries anteriors d'època romana dintre d'aquest parcel·lari (Badenes-Placencia, 2023). D'aquesta manera, el barranc de l'Hospital queda inserit en la xarxa viària medieval, encara que amb una orientació i sinuositat que els camins del seu voltant no tenen. Veiem, doncs, com aquests elements físics modifiquen les estructures del paisatge parcel·lat per a fer-los coincidir.

Un cas diferent és el d'aquest barranc al terme municipal de Borriana quan s'imbrica amb el camí Marjalet. En aquest espai no existeix cap resta de centuriació romana o parcel·lari medieval, contràriament al que en el seu dia afirmaven Bazzana (1978 i 1987) i Járrega (2013). Les suposades ortogonalitats existents, probablement, no són més que la xarxa radial andalusina i feudal que naix de Borriana en direcció nord-est (paral·leles a la costa), l'ampliació dels camins que venen de Vila-real cercant la mar (perpendiculars a la Mediterrània) i els camins resultants de la dessecació de la marjal (com el camí Marjalet - barranc de l'Hospital) en època medieval i moderna (també perpendiculars, buscant la mar), que es troben formant formes relativament regulars, però que no tenen cap planificació parcel·laria. Per tant, en època romana, el barranc de l'Hospital no desguassaria al mar, sinó a la marjal existent al voltant de la vil·la de Sant Gregori.

#### *Barranc de Ràtils - Assagador d'Adrià (Vila-real)*

A escassa distància a l'oest (1,5 km) de l'anterior camí del Molí de la Roqueta trobem el cas de la traça compartida entre l'Assagador d'Adrià (també conegut com a camí de l'Assagador) i el barranc de Ràtils. Aquest barranc naix al terme municipal d'Onda, baixant des de la serra d'Espadà i discorrent alguns quilòmetres fins a trobar-se amb l'anterior camí. La imbricació d'ambdós la situem a l'est de l'actual N-340, a l'altura de l'encreuament del Tercer Sedeny amb el camí de l'Assagador (figura 7), des d'on segueixen conjuntament fins al Quart Sedeny durant 650 metres, on el camí té la seua fi i el barranc discorre 900 metres més fins que desguassa al riu Sec de Betxí.

Figura 7. Fotografia del camí de l'Assagador compartint traça amb el barranc de Ràtils, a la dreta una fossa de drenatge (Vila-real)



Font: fotografia pròpia.

Un poc més al nord, des de l'encreuament de l'Assagador amb el camí de la Carretera fins a l'actual carretera CV-20, el primer camí segueix paral·lelament a un altre barranc, el de l'Esparser. Encara que en cap moment acaben de compartir traçat, el fet que el camí estiga resseguint al barranc a escassa distància (entre 30 i 100 metres) durant més de 3,1 km, fins i tot quan canvia la seua orientació dràsticament, fa pensar que el traçat viari està condicionat pel barranc. A més, l'Assagador marca de forma indubtable el límit oest i sud-oest del parcel·lari feudal de Vila-real, mostrant-se així de nou la relació entre aquests i la xarxa de barrancs de la Plana, igual que en els anteriors dos casos analitzats.

*Barranc de Betxí - camí barranc de Sant Antoni, camí de la Ratlla (Betxí, Nules, Vila-real, Les Alqueries i Borriana)*

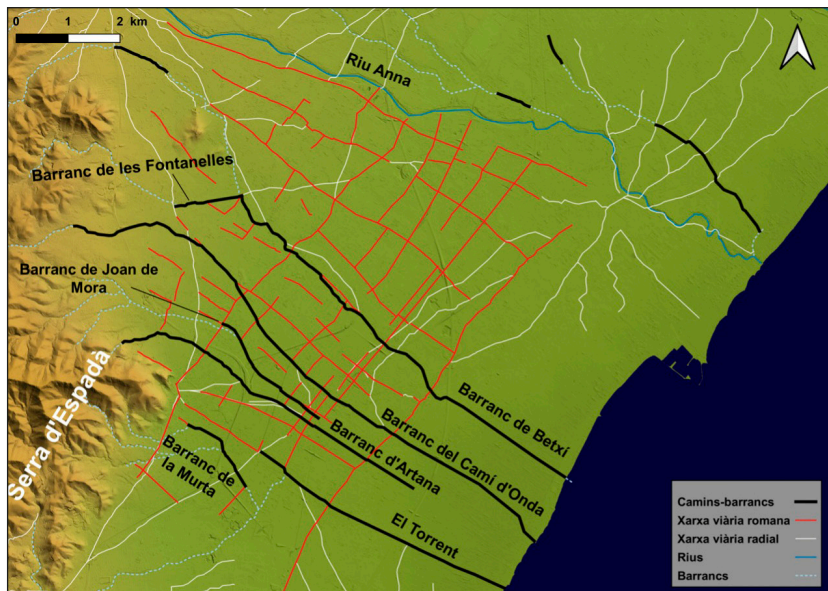
El barranc de Betxí o de Sant Antoni és un curs fluvial sec la major part de l'any que naix al terme municipal d'Artana i discorre fins a la població de Betxí. A escassa distància al sud del nucli urbà veiem el primer tram coincident entre el barranc i un camí, on el darrer pren el nom del curs fluvial. La unió d'ambdós es produeix just a l'est de la carretera CV-10 i comparteixen traçat durant 1,1 km en direcció sud-est, quan se separen i van paral·lels a escassa distància durant 900 metres més.

Més al sud, a l'alçada de l'encreuament del camí de Borriana a Artana amb aquesta barranc i en direcció a la mar durant 750 metres, el barranc és completament transitable, encara que ni en les fonts consultades, ni en la cartografia actual ni en la històrica citen aquest espai com un camí. A partir de la trobada del camí de Mascarell amb el barranc (figura 9), sí que hi ha constància de l'ús com a camí amb el nom de la Ratlla de Nules i Les Alqueries, i al llarg de vora 700 metres més, per on la ratlla municipal transcorre pel marge esquerre del barranc a una distància de 200 metres. D'aquesta manera, suma 3,4 km utilitzables com a camí entre l'encreuament esmentat al principi del paràgraf fins a la carretera nacional.

Entre les carreteres N-340 i CV-18 ocorre el mateix que uns quilòmetres aigües amunt: no hi ha constància documental de l'ús com a camí, però la facilitat de pas, fins i tot actualment quan moltes traces romanen abandonades sense cap mena de manteniment ni neteja, ens mostra que clarament va ser usat com un lloc de pas. Ja al sud-est de la darrera carretera, sí que hi ha coincidència entre un camí i el llit del barranc, on el primer pren el nom de la ratlla de Nules i Borriana. El seu traçat és compartit durant 4,2 km fins a desembocar a la Mediterrània. Malgrat això, sabem que en època romana aquest barranc no desguassava al mar, sinó que ho feia a la marjal litoral, tal com ho hem pogut documentar a partir de l'anàlisi del poblament rural en la zona fet de forma paral·lela a aquest treball i encara inèdit. Recentment, altres estudis han pogut documentar que aquest camí-barranc era el límit nord d'una xarxa de séquies de reg i de drenatge de la marjal datades clarament al segle XIV com un fenomen de l'expansió agrària tan característica de l'època feudal (Esquilache i Baydal, 2023).



Figura 8. Xarxa viària romana, xarxa viària radial i els camins-barrancs documentats en l'àrea de Betxí, Vila-real i Borriana (al nord) i Nules i La Vilavella (al sud)



Font: elaboració pròpia.

La imbricació entre la xarxa viària i aquest barranc resulta també força interessant. No solament per haver servit durant grans trams com a límit municipal entre Vila-real i Nules des d'època medieval, i també entre Nules i Borriana, o per ser el límit d'un sistema de drenatge i regadiu també medieval, sinó perquè també queda integrat dins de la xarxa radial generada per la població de Betxí al nord. Altrament, formava part d'una trama viària resultant d'una possible centuriació documentada a la Plana de Castelló. Aquesta ha sigut estudiada amb més profunditat en altres treballs, on es va poder documentar que s'estenia entre el riu Sec de Betxí (al nord), les poblacions de Nules i La Vilavella al sud, la muntanyeta de Sant Antoni (Betxí) a l'oest i el Caminàs a l'est (figura 8). Es tractaria, doncs, d'un possible espai centuriat vinculat a la ciutat de *Saguntum*, territori en el qual es trobava la Plana de Castelló, i amb un possible mòdul de  $15 \times 15$  *actus* (Badenes-Placencia, 2021 i 2023).

Figura 9. Barranc de Betxí a l'altura de l'encreuament del camí Carretera on s'aprecia que pot ser emprat com una via de trànsit (Nules)



Font: fotografia pròpia.

En aquest cas, que els *decumani* (eixos perpendiculars a la costa) tinguen la mateixa orientació que el barranc de Betxí (i també d'altres que comentarem a continuació), ens fa pensar en la seua possible integració dins de la trama centuriada i, també, s'adapta als elements físics del territori fins al punt que condicionen la seua orientació. Es tracta també d'un fenomen plenament estudiat en els altres espais litorals comentats anteriorment, sent un altre argument que reforça la hipòtesi de la centuriació.

#### *Barranc de les Fontanelles - camí Sant Antoni (Nules)*

El barranc de les Fontanelles té el seu origen al terme municipal d'Artana, a escassa distància de la CV-223. A 750 metres a l'est de l'A-7 ambdós traçats són prou paral·lels durant 600 metres fins a escassa distància superant l'encreuament del camí d'Onda, quan s'acaben fonent en un mateix traçat. Aquesta imbricació continuarà 600 metres més, on sobtadament se separen: el barranc va pel nord i el camí pel sud. El traçat marcadament rectilini del barranc ens fa pensar que aquest va ser obligat a circular per un espai viari de clares característiques radials que tallava la xarxa quadrangular de possible origen romà i que estava vinculat al camí que connectava Borriana i Artana, de possible origen andalusí. Açò es pot saber perquè aquest camí talla i capta els camins que, per l'estratigrafia del paisatge, podem documentar que són anteriors cronològicament, i que possiblement són d'adscripció romana. Així doncs, s'ha pogut documentar com un element físic canviava el seu curs natural per ser forçat a circular per un altre lloc (figura 10), veient-se una clara antropització de l'espai segons les necessitats de cada període històric.

Figura 10. Barranc de Betxí amb clars signes d'ús com a camí i totalment transitable  
(límit municipal entre Les Alqueries i Nules)



Font: fotografia pròpia.

*Barranc del Cutxarero, Rodador i del camí d'Onda - camí d'Aigüesvives, camí Cutxarero, camí d'Onda i camí del Cabeçol (Nules)*

Igual que els dos exemples anteriors, aquest barranc presenta diferent nomenclatura al llarg del seu recorregut. Naix a Artana, en els darrers estreps de la serra d'Espadà, discorre sinuosament fins a entrar al terme municipal de Nules, i comparteix traçat de forma discontinua amb el camí d'Aigüesvives i Cutxarero (en el moment que no ho fa, és paral·lel a la via) durant 2,8 km fins que desemboca al camí d'Onda (figura 11). A partir d'aquest lloc fins a la mar (8,7 km) el traçat és quasi plenament coincident amb el camí d'Onda i, posteriorment, amb el camí Cabeçol. Actualment, el barranc no arriba fins a la mar, ja que al nord-est de la localitat de Nules es va construir un llit artificial que arplegava les aigües de diversos barrancs i desvia el seu traçat fins al sud de la localitat en l'anomenat Torrent, que després de superar el nucli urbà dibuixa un traçat completament rectilini fins a la Mediterrània. Igual que en l'anterior cas, en època romana desguassava en la marjal fins que al segle XIV va ser dessecat i canalitzat per l'actual camí Cabeçol.

Figura 11. Barranc de les Fontanelles amb signes clars d'antropització del seu curs i d'ús com a camí a escassos metres del seu desguàs en el barranc de Betxí (Nules)



Font: fotografia pròpia.

Es tracta, doncs, d'un element que per l'espai que ocupa és semblant al barranc de Betxí. Pensem que està plenament integrat dins d'una possible trama centuriada d'època romana, fet al qual li sumem que es troba a una distància constant de l'equivalent a 15 *actus* (532,5 metres) al llarg de 2,5 km respecte del camí del Tossal, cosa que ens reforça la hipòtesi. Esquilache i Baydal (2023) afirmen que l'anterior camí era el límit nord-oest de la parcel·lació de secà i de regadiu de Nules en època feudal, però pensem que són dues afirmacions complementàries i no excloents. És molt normal que en l'etapa foral valenciana es pogueren reaprofitar elements anteriors existents en el paisatge, en aquest cas una traça viària romana abandona, per a la construcció i rompuda de nous espais de cultiu. Per tant, el camí del Tossal en època romana podria ser un decumà de la xarxa viària i, posteriorment, entre els segles XIII i XIV, ser utilitzat, a banda de com a camí, com a límit d'un parcel·lari de secà. A més, com indica el seu nom, també va ser una traça viària medieval feudal dintre de la xarxa radial de Nules que cercava connectar la present població amb la d'Onda.

#### *Barranc del Sastre i de Joan de Mora - camí Joan de Mora i carrer Sant Vicent (Nules)*

Així doncs, estem davant d'un curs fluvial sec que capta les aigües de la Serra d'Espadà, però al terme de La Vilavella. A continuació, arriba al terme de Nules amb un traçat sinuós, que, encara que no s'ha trobat cap referència documental del seu ús com a camí, les prospeccions que hi hem portat a terme ens permeten plantejar la hipòtesi en tindre un llit de fàcil accés i trànsit. Aquest traçat continua

així fins a 250 metres abans de trobar-se amb el camí de la Travessa de Sant Pere, moment en el qual es torna totalment rectilini. Si s'observa la cartografia històrica i el vol americà del 1956-1957, es veu que aquest traçat és recent, obligant al barranc a transcórrer per un espai diferent de l'històric. És una modificació del paisatge que molt possiblement pot correspondre a una necessitat de canalitzar-ne el llit i aprofitar-lo per al cultiu. Una vegada arriba a l'anterior camí, el seu traçat es veu obligat a circular en direcció nord, resseguint el camí de la Travessa 120 metres fins a l'encreuament amb el camí de Joan de Mora (figura 12). Aquesta modificació també sembla força recent, encara que no tant com l'anterior, ja que la cartografia històrica indica l'existència del desviament del llit del barranc. Una vegada superat l'encreuament dels camins de la Travessa i de Joan de Mora, el traçat és totalment coincident entre el darrer camí i el barranc durant 1,8 km fins a arribar al llit artificial comentat anteriorment, que arreplega les aigües de diferents barrancs provocant el desviament de la seua traça fins al Torrent. Abans de la seua construcció, el barranc circulava per l'actual carrer de Sant Vicent de Nules i desguassava en algun punt indeterminat de la marjal que ni la cartografia, la fotografia ni la prospecció han permès documentar amb claredat.

Figura 12. Barranc del camí d'Onda en l'encreuament amb el camí de la Travessa (Nules)



Font: fotografia pròpia.

Novament, mantenint els anteriors arguments i després de la prospecció del terreny, ens fa pensar que el camí-barranc podria quedar integrat dins de la possible xarxa viària romana, per a posteriorment, també, ser emprat per a connectar diferents espais agraris del secà de Nules.

*Barranc de la Serrada i d'Artana - camí de la Serrada, de Nules a Artana i carrer Santa Natàlia, Matías Torrejón, camí Nou i Ull del Valencià (La Vilavella i Nules)*

El barranc naix, també, en els darreres estreps de la serra d'Espadà, en terme de La Vilavella. A partir de l'encreuament del camí de les Coves amb el de la Serrada, el barranc coincideix totalment amb el traçat del primer camí i després amb el d'Artana (figura 13), fins que desemboca al llit artificial situat al nord-oest de Nules, a 3,5 km aigües avall respecte al primer encreuament. Abans de seguir el citat llit, es pot observar com el traçat s'internava per aquesta localitat pels carrers de Santa Natàlia i Matías Torrejón i, una vegada superat el nucli històric, continuava pel camí Nou i Ull del Valencià uns 3 km i quedava integrat dins la xarxa de reg/drenatge de la marjal citada anteriorment.

Figura 13. Fotografia del barranc del camí d'Onda on s'aprecia la seua gran viabilitat a escassa distància de Nules



Font: fotografia pròpia.

El fet que el barranc travessa el nucli històric just pel costat de la plaça Major i que el camí que connecta la localitat amb Artana també siga coincident no permet dubtar que formava part de la xarxa radial que va generar Nules en època foral i que connectava aquesta localitat amb espais de conreu locals i també altres pobles. D'altra banda, creiem que també quedava integrat dins de la possible xarxa viària romana i la seua conseqüent centuriació. El barranc presenta la mateixa orientació que els *decumani* localitzats en la zona, cosa que sumada a la distància constant de 30 *actus* (1.065 metres) respecte al camí-barranc d'Onda al nord i la mateixa distància cap al sud respecte al camí de Cardanells, ens fa pensar que podria formar part integral d'aquest sistema. Com bé s'ha comentat línies amunt, que poguera

formar part d'una trama romana i posteriorment d'una medieval feudal demostra la importància i el seu ús diacrònic al llarg del temps, sent ambdues cronologies compatibles i no excoents.

*Barranc del Torrent - antic camí del Torrent (Nules)*

Aquest exemple ha sigut inclòs per tres motius: la seua gran rectitud en el traçat, per ser un dels pocs que actualment no es pot emprar com a espai de circulació i per formar part de la xarxa de drenatge/reg de la marjal comentada també en anteriors exemples. Com s'ha esmentat, el seu llit transcorre rectilini de nord-est a sud-oest al llarg d'1,8 km pel nord-oest de Nules, quan gira en direcció est cap a la Mediterrània fins que hi desemboca després de 5,5 km. El Torrent, en la cartografia històrica i en la fotografia aèria antiga, està documentat també com a camí, encara que en l'actualitat no s'hi pot circular, a diferència dels exemples comentats anteriorment. Per altra banda, aquest espai va ser dessecat a principis del segle XIV, i encara que el Torrent no se sap ben bé quan va quedar integrat en aquesta xarxa de séquies, el que sí que es pot afirmar és que va ser posterior a la primera obra i que correspondria a una ampliació del drenatge amb cronologia indeterminada (Esquilache i Baydal, 2023, pp. 227-234). És per aquest motiu que considerem que el Torrent forma part de la trama viària ortogonal resultant de la fundació de la vila de Nules a mitjan segle XIII i de l'expansió agrícola comentada.

*Barranc de la Murta (camí de València, en La Vilavella i Nules)*

El barranc de la Murta recorre una escassa distància baixant de les darreres muntanyes de la serra d'Espadà fins a La Vilavella. Superat el nucli urbà pel sud, la seua traça es torna coincident amb el camí a València (figura 14) durant 2,1 km fins que el barranc desguassa al de la Rambleta, procedent de la Vall d'Uixó. L'orientació d'ambdues traces és la mateixa que la d'alguns exemples de la xarxa viària romana, encara que la distància no sembla que estiga regida per un mòdul romà. Aquest fet no descarta el seu ús en època romana ni que no poguera formar part de xarxa viària romana. El que sí que sembla clar és el seu ús en època foral (Esquilache i Baydal, 2023, pp. 201-205 i 209-214), quedant integrat en el parcel·lari que han documentat d'aquesta cronologia i com un camí que connectaria La Vilavella amb les terres de conreu.

Figura 14. Barranc de Joan de Mora amb l'encreuament amb el camí de la Travessa (Nules)



Font: fotografia pròpia.

Figura 15. Fotografia on s'aprecia l'antropització del Barranc de Joan de Mora



Font: fotografia pròpia.



Figura 16. Fotografia de la traça compartida entre el barranc de la Murta i el camí de València (límit municipal de Nules i La Vilavella)



Font: fotografia pròpia.

Figura 17. Fotografia del Barranc d'Artana per on transcorre el camí del mateix nom (La Vilavella)



Font: fotografia pròpia.

## CONCLUSIONS

Com bé s'ha comentat i contrastat, els llits de barrancs, que no solen portar aigua la major part de l'any en espais mediterranis com la Plana de Castelló, són aptes per a la utilització també com a vies naturals de trànsit. En total, en el present treball, hem intentat demostrar que hi ha vora els 50 km de traçats de barrancs que foren utilitzats com a vies de comunicació.

Així doncs, creiem haver reforçat la hipòtesi de l'ús diacrònic dels barrancs com a camins i vies de pas en diferents etapes, com també la integració d'aquests elements naturals dins de sistemes viaris més grans, on es pot veure la interconnexió en el cas del secà de Castelló i la parcel·lació medieval amb el barranc de Fraga; el parcel·lari d'horta i secà amb la xarxa viària i de reg medieval de Vila-real, coincident amb el barranc de l'Hospital, el de Ràtils i Esparser; i, també, l'horta i secà medievals de Nules amb la xarxa de camins, de la qual formen part el barranc Cutxarero, Rodador i camí d'Onda, el barranc del Sastre i Joan de Mora, el barranc de la Serrada o d'Artana, el barranc del Torrent o el barranc de la Murta.

A més, creiem també que els barrancs de Nules i el de Betxí, anteriorment, van formar part d'una possible xarxa viària romana més extensa que formava part d'una centuriació de l'àrea septentrional de l'*ager saguntinus*, on es trobava la Plana de Castelló. D'aquesta manera es documenta el reaprofitament feudal d'espais i traces romanes, amb un ús compatible en ambdues èpoques.

El resultat del present treball proporciona unes dades que no resulten gaire diferents de les documentades en altres espais litorals mediterranis ibèrics en època romana. La imbricació entre els barrancs i els camins és una constant en espais com l'Horta de València, el Camp de Tarragona o el Pla de Barcelona. En alguns dels anteriors casos, també s'ha detectat el traçat compartit entre barrancs i eixos de centuriació romans i la utilització de numerals llatins en els noms de les rieres, respectivament. A més, en el cas del Vallès Oriental, s'ha vist que traçats de camins que eren rectilinis i canvien la seua orientació per aprofitar els llits dels barrancs.

A tall de conclusió, hem pogut veure com els barrancs de la Plana de Castelló condicionen les xarxes viàries de diferents èpoques, com també ocorre a l'inrevés: els camins han modificat i han antropitzat parcialment els traçats dels barrancs, convertint-se en molts casos en un espai de circulació únic.

## BIBLIOGRAFIA

- Arasa i Gil, F. (2019). Abans de Jaume I. *Castelló de la Plana des de la Prehistòria fins al període andalusí*. Castelló de la Plana.
- Arasa i Gil, F. (2022). Els parcel·lars medievals del secà al terme municipal de Castelló de la Plana (la Plana Alta). *Cuadernos de Geografía*, 108-9, 315-333. <https://doi.org/10.7203/cguv.108-9.23817>
- Ariño, E., Gurt, J. M., & Palet, J. M. (1994). El estudio de los catastros rurales: una interpretación estratigráfica del paisaje. *Zephyrus*, XLVIII, 189-217.
- Ariño, E., Gurt, J. M., & Palet, J. M. (2004). *El pasado presente. Arqueología de los paisajes en la Hispania romana*. Salamanca/Barcelona: Ediciones Universidad de Salamanca.

- Badenes-Placencia, S. (2021). *Estudi arqueomorfològic i territorial de la Plana de Castelló: aproximació a la xarxa viària romana* [Treball de Fi de Màster, Repositori Institucional de la Universitat Rovira i Virgili]. <https://repositori.urv.cat/fourrepublic/search/item/TFM%3A1114>
- Badenes-Placencia, S. (2023, 7 de setembre). *El paisaje romano de la Plana de Castelló: las posibles centuriaciones y su estado de la cuestión* [Comunicació oral]. XIV Jornadas de Jóvenes Investigadores en Arqueología (JIA), Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Bazzana, A. (1978). Vestiges de centuriations romaines et d'un itineraire preromaine dans la plaine de Castellón. *APL*, 272-292. València.
- Bazzana, A. (1987). Vestigios de centuriaciones romanas y de un camino antiguo. *Burriana en su historia* (pp. 61-69). Borriana: Ajuntament de Borriana.
- Benedito, J., Ferrer, J. J., & Melchor J. M. (2020). De la Tardoantigüedad al Medievo: un enfoque crítico acerca de los estudios arqueológicos en la ciudad de *Saguntum* y su territorio en época visigoda. *Antigüedad y Cristianismo*, 37, 5-28. <https://doi.org/10.6018/ayc.458741>
- Berger, J. F. (2001). Les fossés bordiers historiques et l'histoire agraire rhodanienne. *Études Rurales*, 59-90.
- Chouquer, G. & Favory, F. (1991). *Les paysages de l'Antiquité. Terres et cadastres de l'Occident Romain (IV<sup>e</sup> s. Avant JC./III<sup>e</sup> s. après JC.)*. Paris: Errance, Collection des Hesperides.
- Chouquer, G., Clavel-Lévêque, M., Favory, F., & Vallat, J. P. (1987). Structures agraires en Italie centre-méridionale. Cadastres et paysage ruraux. Collection de l'École Française de Roma. *CÉFR*, 100. Roma.
- Clavel-Lévêque, M. & Orejas, A. (2002). Atlas Historique des Cadastres d'Europe, Action Cost G2. *Paysages anciens et structures rurales*. Brussel-les.
- Dupré, M., Pérez-Obiol, R., & Roure, J. M. (1994). Análisis polínico del sondeo TU de la turbera de Torreblanca (Castellón, España). *Actas del X Simposio de Palinología* (pp. 165-174). València.
- Esquilache, F. & Baydal, V. (2023). La (re)construcción del paisaje agrario del señorío del castillo de Nules entre 1251 y 1320. A Baydal, V. & Esquilache, F. (eds.). *La herencia reconstruida. Crecimiento agrario y transformaciones del paisaje tras las conquistas de al-andalus (siglos XII-XVI)* (pp. 187-240). UJI, Col·lecció humanitats 70.
- Flórez, M. & Palet, J. M. (2012). Análisis arqueomorfològic i dinàmica territorial en el Vallés Oriental (Barcelona) de la Protohistòria (s. VI-V a.C.) a la alta Edat Mitjana (s. IX-X). *Archivo Español de Arqueología*, 85, 167-192.
- González Villaescusa, R. (2002). *Las formas de los paisajes mediterráneos: ensayos sobre las formas, funciones y epistemología parcelarias: estudios comparativos en medios mediterráneos entre la antigüedad y época moderna*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Guinot, E. & Selma, S. (2012). La construcción del paisaje en una huerta feudal: la Séquia Major de Vila-real (siglos XIII-XV). A Torró, J. & Guinot, E. (eds.). *Hidráulica Agraria y Sociedad feudal. Prácticas, técnicas, espacios* (pp. 103-145). València: PUV.
- Járrega, R. (2013). Nuevos datos para el estudio de una posible centuriación en la Plana en época romana. *Millars*, XXXVI, 207-257. Castelló.
- Leveau, Ph. (2000). Le paysage aux époques historiques. Un document archéologique. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 3, 555-582.

- López Gómez, A. (1974). Posibles centuriaciones en Castellón de la Plana. *Estudios sobre centuriaciones romanas en España* (pp. 129-136). Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Mateu J. F. (1974). La Rambla de la Viuda. Clima e hidrología. *Cuadernos de Geografía*, 15, 47-68.
- Mateu J. F. (1975). Sedimentología de la Rambla de la Viuda. *Saitabi: revista de la Facultat de Geografia i Història*, 25, 219-244.
- Mateu, J. F. (1982). *El norte del País Valenciano: geomorfología litoral y prelitoral*. València: Universitat de València.
- Obiol, E. M. (1987). *La toponímia rural de Vila-real*. Vila-real: Caixa Rural de Vila-real.
- Obiol, E. M. (2017a). Els camins històrics i les vies pequàries. *El patrimoni cultural valencià* (pp. 77-97). València: Universitat de València.
- Obiol, E. M. (2017b). La toponímia i el patrimoni cultural. *El patrimoni cultural valencià* (pp. 112-115). València: Universitat de València.
- Ortega, M. J. (2020). *Origen y evolución del paisaje histórico de la llanura de València. Estudio de la estructuración y ocupación del territorio entre las épocas ibérica y feudal (siglos V a.C. - XIII d.C.)*. Servei d'investigació prehistòrica del museu de Prehistòria de València. Serie de trabajos viarios número 125.
- Palet, J. M. (1997). *Estudi territorial del Pla de Barcelona. Estructuració i evolució del territori entre l'època iberoromana i l'altmedieval. Segles II-I a.C. - X-XI d.C.* Estudis i Memòries d'Arqueologia de Barcelona, 1. Barcelona: Centre d'Arqueologia de la Ciutat, Institut de Cultura.
- Palet, J. M. (2001). Dinàmica territorial de l'antiguitat a l'edat mitjana a Catalunya: arqueomorfologia i estudi de casos. A Bolòs i Masclans, J. & Busqueta i Riu, J. J. (eds.). *Territori i Societat a l'Edat Mitjana. Història, Arqueologia, Documentació*, III, (pp. 75-110). Lleida.
- Palet, J. M., Orengo, H. A., & Riera, S. (2011). Centuriación del territorio y modelación del paisaje en los llanos litorales de Barcino (Barcelona) y Tarraco (Tarragona): una investigación interdisciplinar a través de la integración de datos arqueomorfológicos y paleoambientales. *Agri Centuriati*, 7, 113-129.
- Palet, J. M., Fiz, I., & Orengo, H. A. (2009). Centuriació i estructuració de l'ager de la colònia Barcino. Anàlisi arqueomorfològica i modelació del paisatge. *Quarhis*, 5, 103-126.
- Palet, J. M. & Orengo, H. A. (2011). The Roman centuriated landscape: conception, genesis and development as inferred from the ager tarraconensis case. *American Journal of Archaeology*, 115(3), 383-402.
- Palet, J. M. & Riera, S. (2009). Modelació antròpica del paisatge i activitats agropecuàries en el territori de la colònia de Barcino: Aproximació des de l'arqueomorfologia i la palinologia. A Carreras, C. & Guitat, J. (eds.). *Marques i terrisseries d'àmfores al pla de Barcelona* (pp. 131-140). Corpus internacional des timbres amphoriques 15. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Institut Català d'Arqueologia Clàssica.
- Palet, J. M. & Orengo, H. A. (2021). Paisajes centuriados, nuevas perspectivas desde la arqueología del paisaje: concepción e implantación territorial en el nordeste de la *Hispania Citerior*. A Mayoral, V., Grau, I. & Bellón, J. P. (eds.). *Arqueología y Sociedad de los espacios agrarios. En busca de la gente invisible a través de la materialidad del paisaje* (pp. 215-238). Anejos de AEspA XCI. Madrid: CSIC.
- Parra, I. (1985). Propuesta de zonación polínica para el sector Casablanca (Almenara) - Torreblanca, provincia de Castellón. *Anuario de la Asociación de Palinología de Lengua Española*, 2, 347-352. Madrid.

- Pérez Cueva, A. (1994). *Atlas climático de la Comunidad Valenciana*. València: Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport.
- Riera, S. (2003). Evolució vegetal al sector de Vilanova-Cubelles (Garraf) en els darrers 3000 anys: Processos naturals i transformacions antròpiques d'una plana litoral mediterrània. A Guitart, J., Palet, J. M. & Prevosti, M. (eds.). *Territoris antics a la Mediterrània i a la Cossetània oriental: Actes del Simposi Internacional d'Arqueologia del Baix Penedès* (pp. 303-312). Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- Riera, S., Currás, A., Palet, J. M., Ejarque, A., Orengo, H. A., Julià, R., & Miras, Y. (2009). Variabilitat climàtica, ocupation du sol et gestion de l'eau en Espagne de l'âge du fer à l'époque médiévale: Intégration des données paléoenvironnementales et de l'archéologie du paysage. A Hermon, E. (ed.). *Société et climats dans l'Empire romain: Pour une perspective historique et systémique de la gestion des ressources en eau dans l'Empire romain* (pp. 251-280). Nàpols: Editoriale Scientifica.
- Riera, S. & Palet, J. M. (2008). Una aproximación multidisciplinar a la historia del paisaje mediterráneo: La evolución de los sistemas de terrazas con muros de piedra seca en la Sierra de Marina (Badalona, Llano de Barcelona). A Garrabou, R. & Naredo, J. M. (eds.). *El paisaje en perspectiva histórica: Formación y transformación del paisaje en el mundo mediterráneo* (pp. 47-90). Monografías de historia rural 6. Saragossa: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Riera, S., Miras, Y., Giralt, S., & Servera, G. (2010). Evolució del paisatge vegetal al Camp de Tarragona: Estudi pol·línic de la seqüència sedimentològica procedent de l'aiguamoll de la Séquia Major (La Pineda, Vila-seca). A Prevosti, M. & Guitart, J. (eds.). *Ager Tarraconensis. Vol. 1. Aspectes històrics i marc natural*: (pp. 163-173). Documenta 16. Tarragona: Institut Català d'Arqueologia Clàssica.
- Ruiz, J. M. & Carmona, P. (2009). Cambios geomorfológicos y ambientales en el litoral de Torre la Sal durante el holoceno. A Flors, E. (ed.). *Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Evolución del paisaje antrópico desde la prehistoria hasta el medioevo* (pp. 21-41). Monografies de prehistòria i arqueologia castellonenques, 8. Castelló de la Plana.
- Sanjaume, E. & Pardo, J. (1991). Evolución de la albufera de Els Estanys de Almenara. *Medios sedimentarios, cambios ambientales y hábitat humano. VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario*, 11-13. València.
- Segura Beltrán, F. (1987). *Las ramblas valencianas*. València: Departament de Geografia de la Universitat de València.
- Segura Beltrán, F. (2006). Las inundaciones de la Plana de Castelló. *Cuadernos de Geografía*, 79, 75-100. València.

Cómo citar este artículo:

Badenes Placencia, S. (2024). Els camins-barrancs de la Plana de Castelló: l'ús dels llits dels barrancs com a elements de xarxa viària històrica. *Cuadernos de Geografía*, 112, 27-53.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.28580>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



AITANA PASTOR VALOR<sup>a</sup>

## AIGÜES SUPERFICIALS I SUBTERRÀNIES COM A POSSIBLE FACTOR DESENCADENANT EN UN VESSANT INESTABLE. EL CAS DE LA FONT NOVA I DELS POLÍGONS INDUSTRIALS DE SANTIAGO PAYÁ I DE SANT BENET, ALCOI (ALACANT)

### RESUM

La ciutat d'Alcoi se situa al nord de la província d'Alacant, en la conca vessant del riu Serpis i sobre una fossa tectònica caracteritzada per la presència de margues miocenes i material quaternari, sobre els que s'ha desenvolupat un fort encaixament fluvial i com a conseqüència, moviments de vessant. El cas que es tracta es localitza al sud de la ciutat i afecta els polígons industrials de Sant Benet, Santiago Payá, El Clergue i La Beniata i dos masos, els quals els seus sòls han experimentat rebliments i excavacions per a l'obtenció de sòl industrial. Es presenta un inventari de les surgències d'aigua i de moviments de vessant que han afectat la zona d'estudi mitjançant la fotointerpretació de vols aeris, el treball de camp, la documentació històrica i fonts testimonials, cosa que ha permès identificar els possibles factors desencadenants i definir la superfície afectada.

**PARAULES CLAU:** aigües subterrànies, documentació històrica, Font Nova, ortofotografia, vessants inestables.

---

<sup>a</sup> Departament d'Anàlisi Regional i Geografia Física, Universitat d'Alacant. a.pastorvalor@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2435-7731>

Fecha de recepció: 09-05-2024. Fecha de aceptació: 12-09-2024.

## UNSTABLE HILLSIDE IN ALCOY. SURFACE AND GROUNDWATER AS A POSSIBLE TRIGGERING FACTOR

### ABSTRACT

The city of Alcoy is located in the north of the province of Alicante, in the drainage basin of the Serpis River and on a tectonic trench characterized by the presence of Miocene marls and Quaternary material, on which a strong fluvial embedment has developed and, as a consequence, there are slope movements. The case we are dealing with is located in the south of the city and affects the industrial estates of Sant Benet, Santiago Payá, El Clergue and La Beniata and two farmhouses, whose soils have undergone filling and excavations to obtain industrial land. An inventory of water surges and slope movements that have affected the study area is presented through photointerpretation of aerial flights, field work, historical documentation and testimonial sources, which has allowed us to identify possible triggering factors, and define the affected surface.

KEYWORDS: groundwater, historical documentation, Font Nova, unstable slopes.

### INTRODUCCIÓ

L'anàlisi de la dinàmica dels vessants és de gran interès, puix es tracta de sistemes geomorfològics subjectes a canvis relacionats amb els factors que condicionen i desencadenen l'erosió. Els lliscaments superficials desencadenats per precipitacions poden afectar les estructures i les infraestructures, i generar en conseqüència elevades pèrdues econòmiques i fins i tot humanes. Els lliscaments actius poden presentar velocitats lentes o moderades, des dels mm/dia o cm/dia durant un període de temps, i es deuen a múltiples factors desencadenants, com ara, precipitacions, aigües subterrànies o moviments sísmics, resultant en un lliscament d'elevada velocitat. No obstant això, es poden evitar si el problema s'identifica amb precedència i s'empren mesures de control.

Aquests successos estan directament relacionats amb la litologia, la geomorfologia, la intensitat i duració de les precipitacions i els usos del sòl, i és per aquest motiu que s'ha de disposar d'eines en les quals l'ordenació territorial mitiga el risc associat a aquests processos.

Unes de les ferramentes emprades per a l'estudi d'aquests fenòmens és la documentació històrica, essencial per a treballar a escala local i representar els esdeveniments en mapes, ja que permet albirar els anteriors usos del sòl o la presència dels elements que conformaven el territori. Per tant, el treball pretén donar la importància que tenen els moviments en massa i identificar les zones que poden presentar inestabilitats mitjançant l'ús d'imatges aèries, les prospeccions en el camp i el document d'arxiu, al que s'ha accedit anant a l'Arxiu Municipal d'Alcoi (AMA) i a l'Arxiu Històric Provincial d'Alacant (AHPA).

Per a poder realitzar estudis que permeten veure aquesta dinàmica, cal emprar una escala temporal adequada, la qual varia des de les dècades fins a les observacions mensuals o anuals. En el present treball es durà a terme una anàlisi dels fotogrames aeris i fotogrametria amb UAV (dron) per generar ortofotos amb major precisió, a fi d'analitzar l'evolució del vessant. S'han emprat els fotogrames pertanyents al vol



americà sèrie B (1956), el vol Interministerial (1978), els següents vols aeris anuals del Plan Nacional de Ortofotografia Aérea (PNOA) (des de 1988 fins al 2022) i els vols realitzats en 2023 i 2024 amb un dron per a obtenir les ortoimatges, donant com a resultat un inventari de les esllavissades que han afectat la zona d'estudi. Pel que respecta al treball d'arxiu, la recopilació de documents relacionats amb aquests fenòmens ens permet esbrinar llurs reactivacions, fins i tot després de llargs períodes d'inactivitat, durant anys o segles, així com la generació d'esllavissades dins d'esllavissades que ja s'han produït, quelcom permet avaluar aquest succés en els futurs usos del sòl. Així com la revisió bibliogràfica ha estat també essencial, per la qual cosa s'ha escollit un seguit de publicacions geogràfiques cabdals que tracten cadascuna dels aspectes, referides a Marco Molina (1988, 1989, 1993), Marco Molina et al. (2000), Giménez Font (2005, 2009, 2020), Giménez Font i Marco Molina (2011), La Roca i Calvo-Cases (1989), Ponce Herrero et al. (2011), Dávila Linares (1990), van Beek (2002), Olcina Cantos (1994, 1995, 2004), Mateu Bellés (1989), Matarredona i Costa (1989), Ayala Carcedo (1990), Ayala Carcedo et al. (2002) i Gariano i Guzzetti (2016); també la selecció d'estudis locals, com ara, els de Torró Abad (1984, 1992, 2007), Torró Gil (1994, 1996), Olcina Lloréns (2013, a i b), Molina Ferrero (2011), Bañó Armíñana (1984, 1996), Santonja i Segura (2006), Sanchís Lloréns (1976, 1986) i García Payá (2007); i el mètode de les publicacions dels enginyers Delgado i Tomás (2005), Tomás et al. (2023), Seller et al. (2005), Wieczorek (1996) i de l'ISPRA (2021).

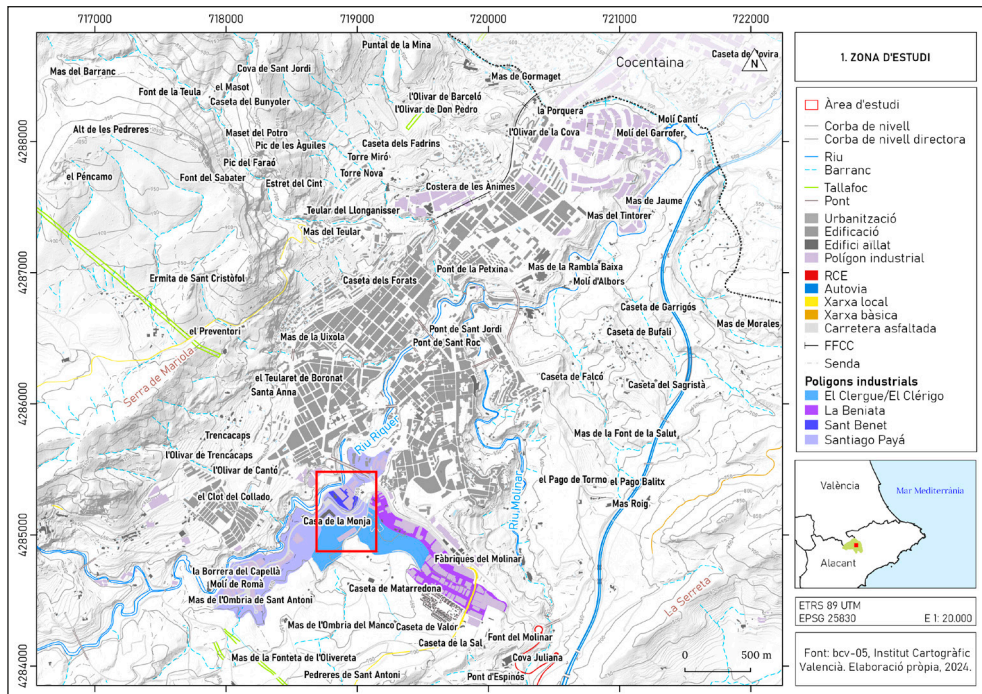
## ÀREA D'ESTUDI I CARACTERITZACIÓ FÍSICA

### *Àrea d'estudi*

L'àrea d'estudi es localitza en la confluència dels polígons industrials de Santiago Payá, Sant Benet, El Clergue i La Beniata (figura 1), situats al sud d'Alcoi, fitant amb la serra del Menejador, el barranc de la Batalla i el riu Riquer, a les actuals partides rurals que han experimentat canvis en els usos del sòl, almenys, des del segle xv (Sanchís Lloréns, 1986). En aquest sector el paisatge predominant era l'abancament dels vessants, però amb l'extracció de la indústria dins la ciutat, aquest emplaçament es transformarà en un polígon industrial. L'àmbit presenta una disposició SW-NE i una forma allargada, ocupant les terrasses fluvials del tram baix del riu Riquer.

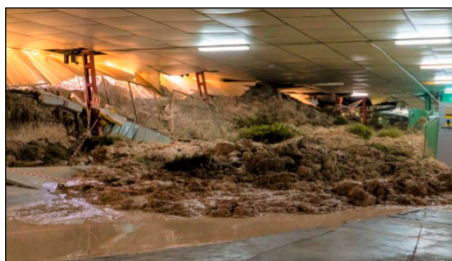
El polígon industrial de Santiago Payá va ser construït en 1999 per satisfer la falta de sòl industrial que Alcoi tenia –i té–. Es situa sobre un terreny amb uns pendents laxos que no superen els 10° i uns talussos d'elevat pendent que superen els 50°, constituït per margues tipus tap miocenes, principalment, i per material detrític/al·luvial quaternari. Les darreres excavacions, remocions i rebliments per poder assentar les naus industrials, amb el precedent informe de riscos que va elaborar l'IGME en 1990, classifica aquesta zona amb moviments de vessants naturals, proposant un estudi d'esllavissades antigues.

Figura 1. Localització dels polígons industrials i zona d'estudi



Font: elaboració pròpia.

Figura 2. Interior de la nau industrial el 13-04-2022, on s'aprecien els danys generats a una de les fàbriques i la consegüent evacuació dels treballadors



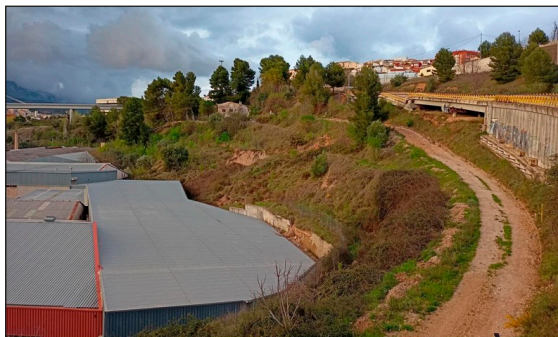
Font: El Nostre Ciutat.

Figura 3. Vial d'accés afectat pel moviment de vessant el 07-04-2022  
(i clausurat des de 2012 pel mateix motiu)



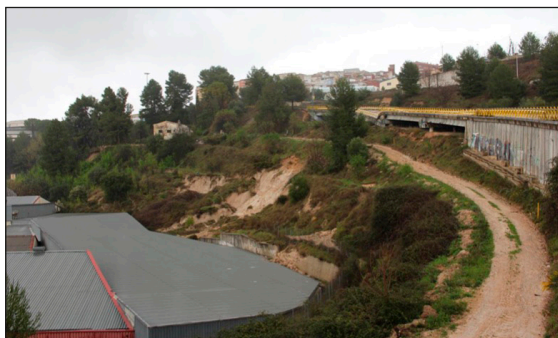
Font: elaboració pròpia.

Figura 4. Imatge del vessant el 12-04-2022



Font: elaboració pròpia.

Figura 5. Imatge del vessant amb el lliscament el 13-04-2022



Font: elaboració pròpia.

### *Caracterització física*

Alcoi es troba a l'interior de la província d'Alacant i és la capital de la comarca de l'Alcoià, amb una xifra de població de 60.322 habitants (INE, 2023). Es localitza a la Foia d'Alcoi, una depressió tectònica que és a 500 msnm de mitjana rodejada per les serres de Mariola, la Serreta, del Biscoi i el Menejador, entre els 1.000 i els 1.390 m, el que dona lloc a importants pendents, fruit de l'excavació dels cinc interfluis, dels barrancs, el component litològic i que es trobe en una àrea continental i aïllada de les zones costaneres. El marc físic i humà són factors condicionants i desencadenants en els processos dels lliscaments de vessant, sent els episodis de fortes i prolongades precipitacions i sismes els que han produït aquests moviments rotacionals i esllavissades superficials. Seguint l'esquema que estableix Wiczorek (1996), amb els principals processos desencadenants com és l'erosió de la dinàmica fluvial i la metodologia d'ISPRA (2021), amb les pluges curtes i intenses, les persistents, els talls a les carreteres, les excavacions, les sobrecàrregues relacionades amb edificis o reblliments, l'abandonament dels bancals a causa de la falta de manteniment dels marges i del sistema de drenatge, es genera un increment de solses.

Quant a l'orografia, es troba al sistema Bètic oriental, en la zona de contacte del subbètic amb el prebètic, per la qual cosa la disposició és SW-NE. La depressió tectònica va ser emplenada per materials miocens, configurant-se una xarxa hidrogràfica en la qual els rius Polop, Barxell, Riquer, Molinar i Serpis presenten la mateixa orientació que les elevacions, mentre que els barrancs Trencapcs, Sant Antoni, Uxola, Benissaidó, del Cint, de la Batalla i barranquet de Soler descendeixen paral·lelament. En ser les elevacions calcàries massissos permeables, la infiltració de la circulació superficial afavoreix la subterrània, és a dir, als rius, als aqüífers i als brolladors. A diferència dels rius, que tenen un caràcter regular, els barrancs aporten aigua en moments de precipitacions, és a dir, són irregulars, igual que els brolladors del Molinar, El Xorrador o la Font Nova, condicionats pel nivell freàtic. Quant a litologia, el material predominant en la fossa tectònica són les margues miocenes de tipus tap, de caràcter impermeable i les quals no presenten capbussaments ni fractures al ser menys competents. Històricament, han sigut les responsables (Ayala-Carcedo, 1990) de la producció de lliscaments de vessants. A aquestes li segueixen les formacions quaternàries de dipòsits al·luvials, col·luvials i de vessant; i el rocam calcari cretàtic, on s'infiltra l'aigua i es generen reserves d'aigua als aqüífers confinats.

L'aigua ha estat vital per a emprar llur força motriu, que consistia en l'encadenament dels molins i de les fàbriques mitjançant l'embarrat i descendint cada mecanisme amb el pendent, així com per al regadiu i per a la població. Pel que respecta les terrasses fluvials pliocenes d'exigua compacitat, l'aigua drena amb els sediments que procedeixen des de les elevacions muntanyoses, donant lloc a altra capa d'estrats amb els materials detrítics permeables sobre els impermeables, derivant la formació d'aqüicludes. És per això que quan els materials se saturen d'aigua, aquesta discorre per la superfície. És, per tant, habitual, que entre aquestes discordances brolle aigua en episodis d'elevades precipitacions, estant reflectit a la documentació històrica, com en el cas que esmenta en 1750 Francisco Carbonell, encarregat de les aigües a Alcoi, esmenta les "aigües vives", les quals es mostraven amb surgències als ribassos o "a la parte superior se introducen por las venas de la tierra muertas y sin conducto" i, per

tant, es canalitzaren i realitzaren murs de contenció (Giménez i Marco, 2011); i durant el temporal Cèlia en març de 2022, on es va comprovar en distints punts de la ciutat, inclosa la zona d'estudi que tractem. Aquests brolladors, si no són captats, els seus fluxos acaben saturant el material impermeable i infiltrant-se per les margues fins a trobar un riu aigües avall.

Respecte al principal risc hidrogeomorfològic, es deu al fet que el modelatge fluvial (el procés de sapa lateral o erosió basal que descalcen els talussos i eixamplen el llit fluvial) ha originat els fenòmens gravitacionals de diferents dimensions, ja que presenten poca resistència al tall. L'excavació de l'aigua i l'erosionabilitat del material miocè i pliocè ha donat lloc a barrancs profunds i a l'aixaragallament, que, afegit a l'estrat superior quaternari, les terrasses fluvials compostes per conglomerats i arenisques, faça que el descalçament es veja afavorit. És així com els rius que travessen la ciutat i la divideixen en distints tossals han donat peu a la construcció de ponts, i a que molts edificis s'instal·laren a la vorera dels rius, per la qual cosa han estat –i ho estan– molt presents la producció d'esllavissades i els esfondraments d'edificis, de camins o dels elements de defensa, com ara la muralla o les torres (Giménez i Marco, 2011). Aquestes, en certs casos presentaven indicis d'un lliscament lent, reflectit en els clavills (clevills) de tracció a la corona dels talussos. Per tant, l'acció antròpica és un factor que intervé directament en el dinamisme dels vessants, als que, afegit dels moviments sísmics, l'acció fluvial i les precipitacions (fortes, irregulars i prolongades) veuen incrementat la càrrega hidrostàtica del rocam i del sòl i genera espentes, que generen fluxos de material pendent avall.

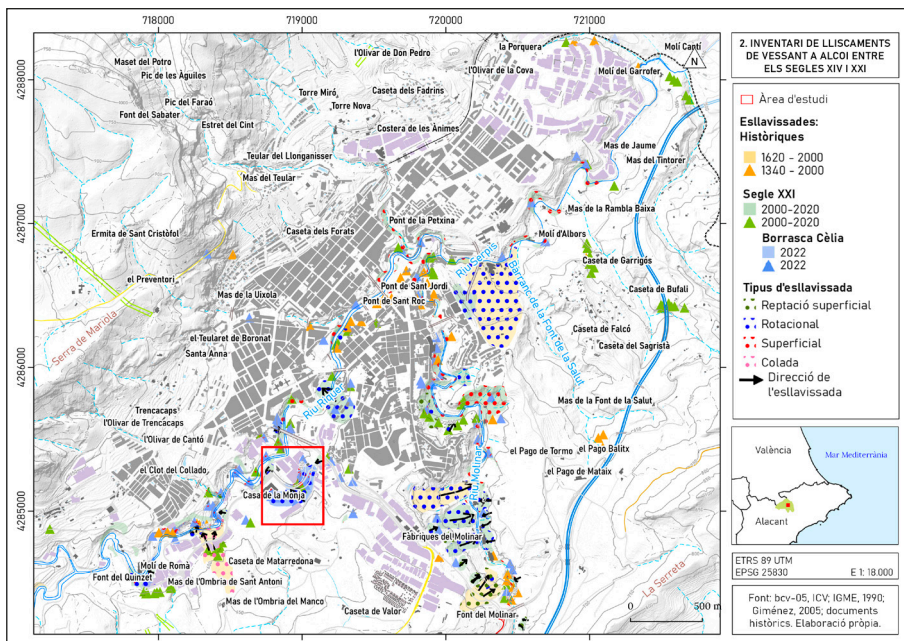
La figura 6, fruit del treball d'arxiu i de les eixides de camp, mostra l'inventari d'esllavissades que han afectat la ciutat, on, de manera clara s'observa la zona principalment afectada: les riberes fluvials i zones pròximes. En el mapa es distingeixen diferents tipus i mesures, destacant les solides, de xicotetes dimensions i representades en triangles, i les de major envergadura, com ara, la que es situa baix del Tossal<sup>1</sup> o en el Molinar, les quals, han afectat els diversos plans urbanístics perquè es mouen lentament.

En la situació actual de l'esllavissada no s'ha trobat cap moviment en massa aparentment històric, el que no indica que no hi haja hagut en un passat. No obstant això, en direcció SE-NE s'albira una colada de fang, la qual no s'ha pogut datar però sí observar en els vols aeris previs a la realització del polígon. Presenta una llargària de 520 metres, sobre la que s'ha reblit una part, així com altres moviments en massa al llarg de l'eix fluvial. Tanmateix, una mostra palmària de producció de lliscaments és l'anivellament del terreny quan es genera un moviment de terres, donant lloc a formacions de petits lòbuls (Torró, 2007).

---

1 AMA. (1955-1963). Proyecto de urbanización y campo de deportes en la vaguada de la Rambla Baja: Terraplén del Paseo de Calvo Sotelo (Caseta de la Era). Signatura: 11802/002.

Figura 6. Inventari d'esllavissades a la zona d'estudi



Font: elaboració pròpia.

### Factors condicionants i desencadenants

El principal factor desencadenant de les esllavissades a Alcoi i als voltants són les condicions hidrològiques, que a més a més es veuen accelerades pels canvis en els usos del sòl. Per a poder dur a terme un seguiment exhaustiu, s'ha procedit a consultar la documentació històrica, d'aquest mode s'ha corroborat la principal hipòtesi del factor desencadenant. Històricament, aquests lliscaments s'han mostrat per banda de la població i dels industrials com un perill, com que les cases i els molins que se situaren als ribassos des del segle XIII fins al segle XX, en temps d'avinguda es trobaren amb el risc dels corriments de terra i del corrent de l'aigua, en necessitar llur energia. A fi d'evitar aquestes solides i l'esfondrament de les estructures, s'acompliren diverses actuacions, com la construcció de palissades o d'assuts, aplegant fins i tot a desviar un tram del curs el riu mitjançant un alcavó (Vidal, 1988):

Unico medio para acudir a las ruinas que se experimentan con la corriente del Rio Molinar, que llegan ya al Poblado de la Villa amenazando mayor daño, que el experimentado si no ocurre con el más pronto y eficaz remedio [...], es divertir la corriente por Alcavon que se deve abrir antes de llegar al Puente de Penaguila, dandole salida, y desaguando mas abajo del Molino Batan de Balaguer.<sup>2</sup>

2 AMA. Llibre de Cabildes 1743-1746, acta de 21-XI-1744. Signatura 49.

Para el malecón o pantano que debe hacerse en el Rio del Molinar en el distrito del Toscar para detener las tierras, llaman vulgarmente les Solsides, [...] deven hacerse las obras, [...] para el riego de sus tierras y servicio de tintes y molinos, que mediante el referido malecon aseguran sus tierras y en otra forma se las va l levando el rio [...] pareziere de mayor resistencia a las avenidas del Rio.<sup>3</sup>

A las espaldas de su casa [...] que posee en esta villa en la calle de la Virgen Maria, y pie del ribazo, nacen varios manantiales que aunque de corta cantidad de agua, resultan unas humedades por todo aquel pie, que le son perjudiciales a todo grupo de casas.<sup>4</sup>

Jose Carbonell fabricante de paños [...]: En el ribazo que hay a la parte del Rio del Molinar debajo de las casas que tiene Don Jose Sempere inmediatas a la puerta de Cosentayna y del huerto del Sr Cura fluyen algunas aguas perdidas que poco a poco van desmoronando aquel terreno y amenazan por el tiempo causa alguna ruina de consideracion a los indicados edificios y aun hasta el mismo Hospital. Deseoso yo de evitar perjuicios al mismo tiempo que de aprovechar dichas aguas para el riego de las tierras del huertecito, he pensado en abrir una mina o alcavón [...].<sup>5</sup>

Quant a l'encaixament dels barrancs en forma de "V", van Beek (2002) ho atribueix a una disminució en l'aportació de sediments degut als canvis climàtics, puix que la temperatura va incrementar i les precipitacions van disminuir, fent que l'erosió procedent de les elevacions calcàries minvara i l'excavació dels rierols augmentara, sent afectats els dipòsits margosos. Consegüentment, a les parets dels barrancs i del riu Molinar, en estar encaixats, els vessants són propensos al llavat superficial i als moviments en massa.

### *Desenvolupament dels polígons industrials i problema del sòl industrial*

En 1965 es produeix la crisi del tèxtil en Alcoi (Jordá, 1976), en la que els industrials s'organitzen i necessiten de nou sòl industrial, i per això el sòl comença a elevar el seu preu i s'inicien les primeres deslocalitzacions cap a Muro i Cocentaina, malgrat que s'intenta realitzar un nou polígon que fou rebutjat pel Ministerio de la Vivienda. En 1966, mitjançant un Pla Director Comarcal Alcoi-Cocentaina de caràcter supramunicipal que duia moltes demores que anaven acompanyades amb urgències peremptòries per obtenir un nou sòl, es produeixen noves ocupacions de manera incontrolada dins i fora de la ciutat, sent les riberes dels rius autèntiques col·lectores dels abocaments industrials, aplegant fins i tot a presentar diversos colors cada dia. En 1967 s'intenten crear nous espais industrials i en 1968 es crea el Consejo Económico Sindical Comarcal de Alcoy, amb la finalitat de solucionar els impediments industrials, i donant lloc als polígons industrials entre 1968 i 1984. El primer a dur-se a terme és el de Sant Benet, en el que s'escull un emplaçament pla i sense aparença de presentar riscos per a la seua construcció, però es situa en una antiga terrassa fluvial a escassa altura del riu, inundant-se a la gota freda de 1986 i afectant les fàbriques (Olcina, 1994). En 1971 li segueix el de les Cotes Baixes i en 1975 el de la Beniata. Finalment, en 1989, s'aprova el Pla General d'Ordenació Urbana, on les indústries que estaven instal·lades en zones residencials es situarien sota la tolerància industrial i es proposa un polígon industrial a Serelles i en el marge dret del riu Riquer, baix del pont de Fernando Reig (qualificació industrial en SUNP en Sant Benet, segons Dávila Linares, 1990).

3 AMA. Llibre de Cabildes 1724-1741, acta de 17-V-1727. Signatura: 48.

4 *Ibidem*.

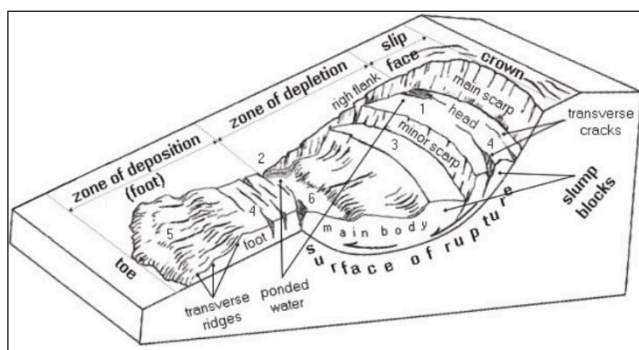
5 AMA. (1828). Lligall. Signatura: 5678/94.

Amb aquests polígons industrials semblava que el sòl industrial ja no seria un problema, però, en la dècada de 1990, el problema tornava, i es comença a exigir un nou sòl, front l'èxode a altres municipis com Muro, Cocentaina, Alfafara, Agres, l'Alqueria d'Asnar, Ontinyent, Bocairent, Benimarfull, etc. És per això que s'escull entre qualificar la partida de Serelles (actual polígon de les Cotes Altes, des del 2000) amb 28 ha o la partida de Sembenet (actual polígon de Santiago Payá, des de 1997) amb 11,5 ha. Nogensmenys, la demanda és contínua, de la que destaquen les propostes que han sigut rebutjades per qüestions ambientals, paisatgístiques o condicionants topogràfics, com ara, al naixement del riu Polop, zones de Polop Alt, Troncal, Troncal-Xirillent i Barxell; zones lliures de Cotes Altes, Rambla Baixa, Pagos i Regadiu; Oportunidad Sur, La Canal (1995 i 2023) i Pagos. I destaca el futur polígon de El Clergue, entre Santiago Payá i La Beniata.

### SOBRE EL CONCEPTE SOLSIDA I LLISCAMENT ROTACIONAL

Una solsidea és un moviment de vessant que descendeix en el sentit del pendent. El seu moviment, que és ràpid, es genera quan al nostre territori es produeixen precipitacions o moviments sísmics, encara que també intervé el factor antròpic. Quant a les seues mesures, són des d'un metre fins als dotze i és un moviment superficial (La Roca i Calvo-Cases, 1989). Així com, també és quan un marge de pedra seca es desfà o se solsix i la terra s'esmuny. Quant als moviments de vessant rotacionals, són lents i intermitents, és a dir, poden presentar reactivacions, ocasionades pel mateix motiu que les solsidees. Així com, és una massa de terreny sobre una superfície de trencament que es llisca sobre una superfície còncava (Crudens i Varnes, 1996) i en sentit descendent per efecte de la gravetat (Corominas i García-Yagüe, 1997). Es tracta d'un fenomen localitzat estretament lligat a episodis de precipitacions en gran manera i al material aflorant, les margues de tipus tap, en l'àmbit que ens pertoca.

Figura 7. Esquema d'esllavissada rotacional de Crudens i Varnes (1996)



La gran varietat de noms i de verbs es reflectix en solsidea o solsir, esllavissada, lliscament o lliscar, esboixigada (Anglada, 1993), esbudellada, esbaldregall o esbaldregar, esbalçada, esvomegada o esmovegar, entorrossada, embulada o embolada, eixalada, llavassada, ensulsiada o ensulsiar o davallada o davallar



(Domingo, 1997) s'estén arreu el territori de parla catalana, des del nord de la província d'Alacant fins a Andorra. El geòleg Planas (2017) va emprar el terme cindinònim o geocindinònim<sup>6</sup> per a aquells espais que són afectats per riscos geològics. Es tracta d'un terme que procedeix del grec *kyndimos*, que vol dir risc o perill i s'associa a processos morfogènètics, com ara les inestabilitats de vessants, presents al territori mitjançant els topònims, de manera que en temps passats han generat conseqüències, sent així fixats al terreny durant generacions. En aquest terme tautològic, la documentació històrica ens parla de nombrosos esdeveniments relacionats amb moviments de vessant al municipi, com ens mostren diversos lligalls de l'AMA i de l'ADPA, abunden topònims com: La Solsida, Les Solsides, Fàbriques de les Solsides, cap a Les Solsides, partida Solsides o heretat Solsides; el que denota que en el passat aquests esdeveniments ja es produïen amb una freqüència i intensitat semblants en l'actualitat i sent, per tant, fenòmens que es reactiven i són reiteratius.

Para el malecón o pantano que debe hacerse en el Rio del Molinar en el distrito del Toscar para detener las tierras, llaman vulgarmente les Solsides,[...] deven hacerse las obras, [...] para el riego de sus tierras y servicio de tintes y molinos, que mediante el referido malecon aseguran sus tierras y en otra forma se las va llevando el rio [...] pareziere de mayor resistencia a las avenidas del Rio.<sup>7</sup>

Ambdós processos, que afecten la superfície terrestre, modulen el relleu, puix aquestes formes que interrompen alguns paisatges, tenen com a tendència buscar un equilibri quan aquest perd l'estabilitat. La Roca i Calvo-Cases (1989) distingeixen dos tipus de moviments en massa, les esllavissades recents i les històriques, així com les que classifiquen segons la grandària, és a dir, les rotacionals que presenten menor envergadura, que són fluxos més ràpids que es produeixen quan el material es satura d'aigua, variant des dels decímetres fins als 10 metres; i les de major capacitat de moviment, de profunditat, lentitud i major preparació en el temps, aplegant a afectar a edificis sencers, i on s'acumula l'aigua al seu peu, donant lloc a reactivacions i a moviments en forma de colada, amb formes lobulars.

## METODOLOGIA

Pel que respecta a la manera de l'elaboració del treball (figura 4), s'ha seguit una metodologia basada en l'obtenció d'informació mitjançant les eixides de camp, la consulta de fonts primàries i secundàries i el desenvolupament de la cartografia.

El treball de camp ha consistit en la prospecció, delimitació, identificació i seguiment de l'esllavissada mitjançant la presa d'imatges i esquemes de camp, a fi de controlar els sectors que es menegen. Quant a la metodologia de consulta de fonts bibliogràfiques, en estar tractant un tema referent als usos del sòl, les fonts primàries són substancials (medievals, modernes i contemporànies), ja que s'ha pogut datar i localitzar el registre material existent, així com algunes esllavissades. Hem accedit a l'AMA i

6 Terme proposat en 1990 pels geògrafs físics de l'Association des Géographes Français (AGF), quins van proposar el terme geocindínic associat a la geociència del risc. Faugères (1991).

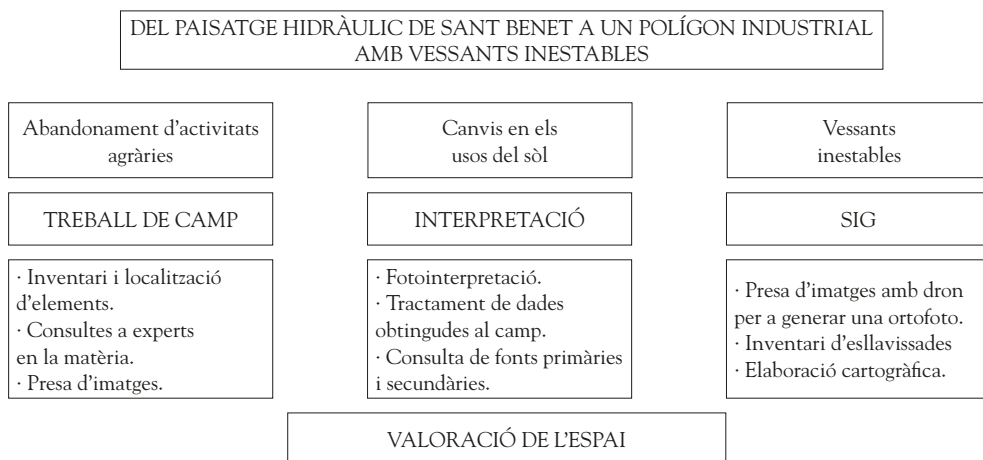
7 AMA. Llibre de Cabildes 1724-1741, acta de 17-V-1727. Signatura: 48.

l'AHPA, els quals presenten una gran varietat de documents relacionats amb avingudes fluvials, afectacions a fàbriques i producció d'esllavissades.

L'ús d'aquesta metodologia en l'estudi de les esllavissades és palesa en els treballs dels geògrafs Giménez i Marco (2011). Quant a les fonts secundàries, s'han tractat articles, treballs de fi de màster, tesis doctorals, llibres i documents tècnics. D'aquest mode, s'ha pogut classificar els diferents moviments en massa dins dels materials tous, així com aspectes del medi físic. També s'ha fet ús d'imatges de vols aeris procedents de l'IGN (1958 i 1976), de l'ICV (1945, 1956 i des de 1984 fins a 2022) i el vol aeri sobre la zona d'estudi en 2023 mitjançant un dron, processat mitjançant una ortofoto.

A la caracterització geogràfica es tracten els aspectes físics del medi, els factors condicionants i desencadenants en la inestabilitat dels vessants (clima, vegetació, geologia, hidrologia i processos morfològics), és per això que s'han triat les publicacions científiques cabdals mencionades a la introducció i que refereixen a Marco Molina (1988, 1989, 1993), Giménez Font (2005, 2009, 2020), Giménez Font i Marco Molina (2011), Ponce Herrero et al. (2011), van Beek (2002), Olcina Cantos (1994, 1995, 2004), Matarredona i Costa (1989), Ayala Carcedo (1990), Torró, Olcina Lloréns (2013), Sanchís Lloréns (1976, 1986), Santonja i Segura (2006), i García Payá (2007). Respecte al plantejament del problema, es versarà la situació actual amb un tractament retrospectiu en el qual es reflectirà la transformació en un polígon industrial i la intervenció antròpica, amb les excavacions, remocions i terraplenaments que ha comportat i el mètode de les publicacions dels enginyers Tomás i Delgado i de l'ISPRA (Institut de Protecció i Investigació Mediambiental d'Itàlia). Més avant es tractarà l'organització tradicional de l'espai i el brollador de la Font Nova, on s'ha emprat la documentació històrica, força important per entendre el sistema agrari i protoindustrial que prèviament existia ans del desenvolupament industrial.

Figura 8. Esquema metodològic



Font: elaboració pròpia.

## RESULTATS

El principal factor desencadenant de les esllavissades a Alcoi i als voltants són les condicions hidrològiques, a les que afegit el canvi en els usos del sòl, es veuen accelerades. És per això que per a poder dur a terme un seguiment exhaustiu, s'ha procedit a la consulta de documentació històrica, corroborant la principal hipòtesi del factor desencadenant.

Són diversos els estudis locals que tracten les fonts urbanes d'Alcoi, llurs aigües procedeixen de brolladors d'aigua que es canalitzen, com El Molinar des de 1421, El Xorrador o Barxell (Cavanilles, 1797), i que en l'actualitat s'exploten per a l'abastiment de la població i per a usos agraris. En el cas que es tracta, la primera font documental que parla sobre l'existència d'aigües en aquesta zona és Sanchís Lloréns (1986) a les memòries del Pare Picher, qui esmenta que en 1483 es va construir un alcavó de gran qualitat per a la conducció de les aigües de la Font d'En Barberá o d'En Carbonell, però que al no ser de prou abastiment per a la població, en 1529, es condueix una part amb les del Molinar per a les hortes del barranc de Na Lloba, *Llano del Bayle* i la Foia del Paradís. Els següents documents corresponen a 1850<sup>8</sup>, al plànol de l'Eixample de 1875 i a l'emplaçament del cementeri de Cantagallet en 1884. Ara bé, sorgeix un debat sobre la ubicació exacta d'ambdues fonts, ja que poden ser la mateixa, sent que es va deixar d'explotar durant un temps, i que, com s'esmenta al document de 1850, el brollador s'explota degut a la sequera que patien. La Font Nova, pel que s'ha comprovat, també se li denominava de les Ombries, *Umbrías* o *Fuente Nueva*. Si es georeferencien els dos plànols, ambdós coincideixen en el mateix punt, però en cap altre es parla de la font del segle xv. Així com, les diverses fonts documentals corroboren, per les distàncies de les quals parlen, que es tracte de dues fonts diferents. Siga com siga, són diversos els punts d'aigua els que hi ha a la mateixa àrea d'estudi.

José Martí (1864) en la seua obra descriu que a Alcoi:

los ricos manantiales del Molinar, Umbrías, Carrascal y Huerta Mayor surten abundantemente de agua potable á las 525 fuentes que posee la población. [...] 24 son públicas y vivas, y las restantes pertenecen á particulares: 12 vivas y 489 cerradas [...]. No se ha hecho un detenido exámen ó análisis de las cualidades de estas aguas: [...] el abuso en las que proceden de las Umbrias y Carrascal suele producir enfermedades nerviosas del estómago; en cambio son fuertes y de una frescura deliciosa.

Així com assenyala la procedència de les aigües de les fonts, indicant que la de la font de l'Estrela (antiga plaça de San Cristóbal, actual plaça dels Reis Mags), la de la Font Nova (al carrer Sant Josep) i la de l'Oro (antic carrer del Vall i actual Mossén Torregrosa) procedeixen de les Ombries. García Payá (2007) parla que la Font Nova o de les Ombries va ser eliminada per la invasió urbana i per la implantació de l'abastiment municipal d'aigua potable, així com a la partida de Planet de Bodí, neix la Font Nova, la qual llurs aigües serveixen per a engrossir les potables. Així com, Jordi i Juan Cantó, masers d'aquesta partida rural i persones entrevistades, confirmen aquesta desaparició i localitzen la font, desapareguda pel rebliment de la canyada d'Albors en la dècada de 1970. Figueras Pacheco (1927) esmenta també la Font com brollador que abasteix la ciutat:

8 AMA. (1850). Construcción y recomposición acueducto de la Fuente Nueva. Signatura: 5289/9.

Las aguas potables, tan abundantes en este término, proceden [...] del Manantial del Molinar y de la Fuente Nueva. Una conducción de obra lleva las aguas a la ciudad, y en esta se vierten por medio de un gran número de fuentes en calles y plazas. [...]. El territorio es quebrado [...] con el verde polícromo de profundos valles regados por innumerables manantiales [...]. Hay además un gran número de fuentes (366) en todas las partidas del término municipal.

Així com diversos documents consultats a l'AMA:

1850<sup>9</sup>: Proposta de construcció d'un aqüeducte semblant al del Molinar perquè la galeria s'obstruïa a causa dels despreniments de terra i per les arrels dels arbres, puix que absorben l'aigua i entorpien el curs des de la caseta d'Albors fins al carrer Sant Josep. En aquestes dates, el brollador abastia 36 fonts particulars i dues públiques, una al carrer Sant Josep i un pou al convent de Sant Francesc.

1871<sup>10</sup>: Es denuncia una conducció il·legal d'aigües en terres dels hereters de Rosa Payá en la Bolta del Salsero (Caseta del Salsero) mitjançant un alcavó a una distància de 60 m del brollador (ja que la nova normativa no deixava explotar deus públics a una distància inferior a 100 m). No obstant això, els denunciats afirmen que en 1827 van intentar explotar l'aiguanaix amb el propòsit de reunir les filtracions d'aigua que es produïen. Finalment l'alcavó fou obstruït.

1876<sup>11</sup>: Luis Pérez demana autorització per a la construcció d'una bassa a la caseta d'Albors amb aigües del brollador del Molinar per destinar-la a l'agricultura, aprofitant la séquia que condueix les aigües a la ciutat.

1877<sup>12</sup>: La Comisión de Fuentes y Cañerías repara en agost l'aqüeducte de la Font Nova, que, a causa de la sequera que s'estava travessant, es fa necessària la reforma per les filtracions que pateix, en necessitar aprofitar tota l'aigua possible. Tanmateix, Francisco Abad, propietari dels terrenys en l'antic estenedor (entre el carrer Santa Rita i la costera del Gurugú) sol·licita que l'aqüeducte del nou alcavó es modifiqui. I en aquest mateix any, la Comissió de Fonts va estimar que l'aigua del brollador contenia 240.000 litres, i que el cabal que aplegava a la ciutat era de 170.000 l/24 h, fins aplegar en 1877 a 96.000 l/24 h.

La canonada principal començava al carrer Sant Doménech (on estava el dipòsit d'aigües) i aplegava fins a la *Plaza dels Polits o dels Polids*<sup>13</sup> (confluència del carrer Sant Mateu amb Sant Josep i la costera del Gurugú), enfront del col·legi San Vicente de Paul (l'edifici fou construït per la Real Fàbrica de Draps i fou seu del Monte de Piedad, escola industrial i seu del Concejo de la Villa), continuant pel carrer Sant Josep per abastir les quatre fonts que abastia: Font Nova o de Sant Josep (carrer Sant Josep), Font de l'Estrela (Placeta dels Reis Mags), Font de Sant Joan, Font de l'Oro (carrer Mossén Torregrosa) i pou del convent de Sant Francesc. La connexió li seguia amb les aigües del Molinar, des del carrer de Santa Rita amb Sant Josep, continuant pel carrer Sant Francesc, Sant Maure, Sant Nicolau, Sant Llorenç i el Mercat de Sant Maure, fins a aplegar al carrer del Vall (actual Mossén Torregrosa). Arran de les obres,

9 AMA. (1850). Signatura: 5289/9.

10 AMA. (1871). Signatura: 3700/11.

11 AMA. (1876). Signatura: 5649/12.

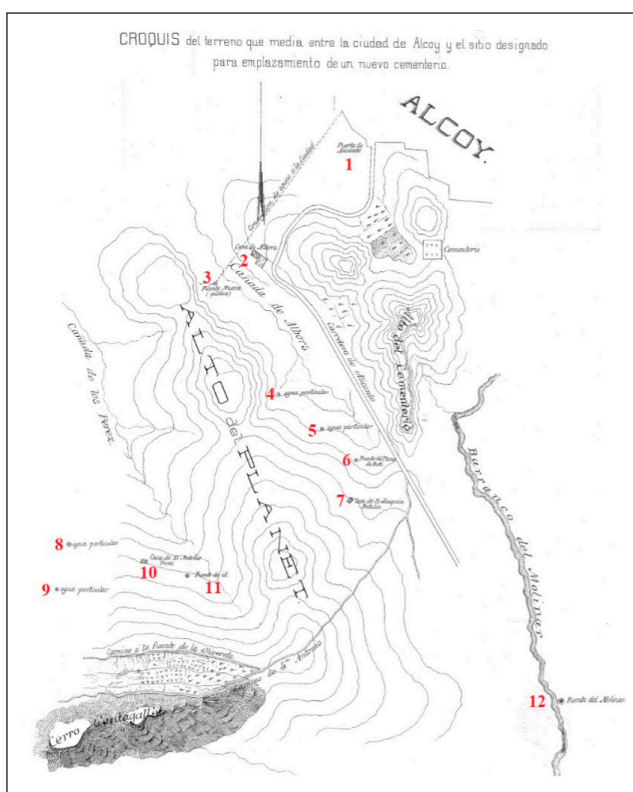
12 AMA. (1877). Signatura: 5290/10.

13 El topònim figura al mapa de la guia del forastero de Martí Casanova (1864) i al pla d'Alcoi de 1859 de Francisco Coello. Fa referència a la venda de titots per a Nadals.

Rigoberto Albors exposa que malgrat no tenir documents de possessió, des de molt temps ha emprat aigua procedent de la Font Nova en l'horteta de La Loba, a l'eixida del carrer Sant Doméneç, i per això demana que les noves obres no desvien aquelles aigües, de les que té dret a gaudir. Així com, a una acta notarial del mateix mes<sup>14</sup>, José de Villalonga, propietari d'unes terres de secà, demana l'eixamplament del dipòsit d'aigües de Sant Benet Baix.

1884<sup>15</sup>: Al plànol del nou emplaçament del cementeri apareixen cinc fonts particulars i tres públiques: la de la Font Nova, la del Planet de Botí i la del Molinar: "... parte de huerta que se riega de una fuente que nace en la misma finca (de la caseta d'Albors) y de otra fuente que se surte del agua de la del Molinar, existiendo además un pozo de agua potable, en cuya cabida esta incluida la tierra llamada Planet de Botí".

Figura 9. AMA (1884). Plànol *Emplazamiento cementerio Cantagallet*. Signatura: 5759/15



Llegenda: 1. Puerta de Alicante; 2. Casa de Albors; 3. Fuente Nueva (pública); 4 i 5. agua particular; 6. Fuente del Planet de Botí; 7. Casa de D. Joaquín Betubia; 8 i 9. agua particular; 10. Casa de D. Antonio Pérez; 11. Fuente de id.; 12. Fuente del Molinar.

14 AMA. (1877). Signatura: 5649/24.

15 AMA. (1884). Signatura: 5759/15.

1900<sup>16</sup>: Es reconeix la gran obra que es va realitzar en 1877 arran de la sequera i la gran pujada de temperatures, i que, així i tot, les canonades van mantindre l'aigua fresca. Es decideix canviar el tram de la canalització de la boca de la mina fins al dipòsit, que era de pedra per una de ferro degut a les filtracions que se'n produïren en 1916<sup>17</sup>. La ubicació del dipòsit es localitza al Col·legi dels Salesians, al costat del núm. 33 del carrer Sant Doménech<sup>18</sup> i pertanyent a l'antiga Foia del Paradís, a la partida El Parache, actual barri La Sang. En altre lligall del mateix document, en 1916 Rafael Pascual informa que al carrer Nou durant la construcció d'un edifici ha topat amb un aqüeducte que condueix les aigües potables de la Font Nova, per la qual cosa demana que es condicionen per a no produir filtracions en la part superior del terreny. Així com, Desiderio Mataix Valor edifica una indústria de draps en el carrer Nou, i avisa sobre el pas de l'aqüeducte amb aigües procedents del deu. Diu:

[...] si tuviera que hacer alguna reparación en el acueducto tendría que desmontar la maquinaria de la industria, con el perjuicio que ello le ocasionaría [...]. El acueducto [...] es en la mayor parte de mi solar una galería subterránea con un pozo de registro que siempre servirá para las reparaciones y limpieas necesarias. Pero esa galería termina a la parte baja del mismo solar y continua el acueducto en la longitud de 20 a 30 metros dentro de aquel hasta la calle Nueva por tubería de hierro completamente enterrada, sin mina y a una profundidad de mas de 12 metros. Si esos 20/30 mts han de repararse o limpiarse, seria preciso abrir en mi edificio una zanja que entre luz propia, talud y escombros ocuparía gran parte de su superficie y para ocuparla habrían de arrancarse y descombrarse previamente las maquinarias y artefactos y derribarse los departamentos de la planta baja, es decir, cada reparación o limpiea traería la inutilización del edificio.

En 1917, en una sessió del 21 de novembre, es concedeix un termini de huit dies perquè les persones que tinguen un dret sobre les aigües del brollador de la Font Nova, ho demostrin. En altre lligall de 1919, l'enginyer municipal denuncia l'existència d'una esquerda al dipòsit d'aigües, que s'ha de reparar de manera immediata. Quant a l'últim document relacionat amb aquesta font, data en 1930, quan Desiderio Mataix, en 1929, informa sobre fugues d'aigua procedents del brollador de la Font Nova a la seua fàbrica, situada en el carrer Verge dels Lliris (antic camí de les Ombries) amb Echegaray (antiga *Calle Nueva*). És per això que un any després s'ordena construir una galeria subterrània de ferro de 90 metres entre el carrer Echegaray i el límit superior de l'edifici de la fàbrica de draps de Mataix.

Com es pot comprovar, el brollador tenia certa importància a la ciutat, idè abastia el segon raval amb quaranta-una fonts i un pou, però, a causa de la qualitat de les seues aigües, quan es va donar el moment oportú, les del Molinar van acabar substituint aquestes, el que condueix a preguntar-se quin és el destí d'aquestes aigües.

---

16 AMA. (1900-1902). Signatura: 3924/1.

17 AMA. (1916-1919). Signatura: 5650/2.

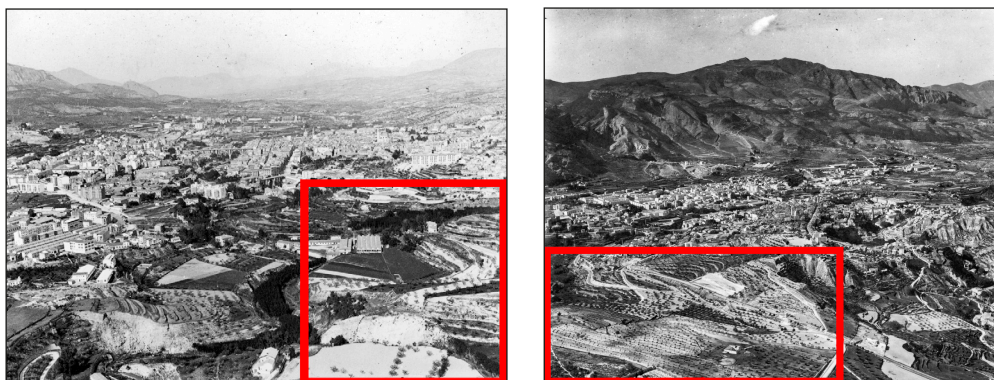
18 En 1918, l'Ajuntament obliga a D. Santiago Rovira llevar dues finestres que havia obert a l'edifici que acabava de construir i que donen al dipòsit d'aigües de la Font Nova. Font: AMA (1916-1919). Signatura: 5650/2. Informació cedida per Ramón Molina.

## ORGANITZACIÓ TRADICIONAL DE L'ESPai. ANÀLISI DELS CANVIS

*El paisatge abans del polígon industrial*

El paisatge alcoià es relaciona amb la indústria tèxtil, les seues xemeneies industrials i els rius. No obstant això, a extramurs dels barrancs i de la xarxa urbana, es troba un paisatge rural dispers, que, segles enrere ocupava una major extensió. La ciutat és una àrea ocupada des de l'Edat Mitjana on l'aprofitament de recursos hídrics era essencial i estaven controlats, amb uns usos destinats a la irrigació de les terres, la fabricació de teixits i per a l'abastiment de la població. L'àmbit que respecta pertany a l'actual la partida de Sant Benet, en la que es distingeix el sòl industrial del forestal i que està composta per masos i naus industrials. És evident, per tant, la transformació del paisatge i l'aprofitament dels recursos naturals, com l'agricultura, l'abancament dels vessants i els usos de les aigües.

Figuras 10 i 11. Imatges d'Alcoi i de la zona d'estudi (en roig) en 1959, on s'aprecia l'espai rural enfront d'una ciutat industrial



Font: Mario Domínguez, en *Paisajes Españoles*.

Rere les diverses proyeccions de camp, estudiar aquest espai antropitzat ha suposat un repte, en no haver-hi estudis previs de l'àmbit en qüestió, del qual s'ha seguit una metodologia que fos un pilar que ajudara a treballar en altres zones de cara al futur. La fretura d'estudis locals en l'agricultura es deu al desenvolupament i potencial industrial que va tindre Alcoi, nogensmenys, destaquen els nombrosos estudis de Torró (1984, 1992, 2007), segons els quals els assentaments de la població generalment han estat marcats per la disponibilitat d'aigua, és a dir, per les terres susceptibles a ser irrigades. L'assentament de masos es deu, per tant, a la necessitat de tindre edificacions pròximes als espais de treball (Bañó, 1984), on des del segle xv ja es parla de grans explotacions que pertanyen l'oligarquia terratinent, gestionades mitjançant parcel·les.

El paisatge ha experimentat transformacions força dràstiques des del moment que es desenvolupa una zona industrial en una agrària, amb el consegüent abandonament de les activitats i aprofitaments.

El treball de camp, junt amb la documentació històrica demostren que els elements importants en un sòl inestable han sigut oblidats, com ho és l'aigua. Arran dels diversos treballs de camp, l'anàlisi de la cartografia històrica i la documentació històrica, s'ha detectat que fins a 1956 en aquest espai predominava l'ús agrari junt amb algunes fàbriques. Així com s'albira un espai compost per masos, clots, casetes, eres, pous, basses, marges, camins i la comunitat de regants. El treball de camp ha permès trobar elements que no es localitzen mitjançant la fotointerpretació: l'estructura hidràulica. Aquesta es compon pels alcavons, les séquies i els marges. Per tant, es tracta d'un espai en el qual s'han practicat dues activitats econòmiques diferents amb un tret comú, que és el control de les aigües i del qual, hi ha hagut un canvi en els usos de la terra, de rurals a industrials, on la ciutat compacta ha experimentat un creixement i algunes cases han sigut destruïdes per a albergar nous usos (el Bessó, mas Roig, Albors i Santonja), així com els bancals abandonats han sigut conquerits per altres masses arbòries. Cas contrari és la conca alta del riu Molinar (partida de Pagos), estructurada per infraestructures industrials, assuts i rodes hidràuliques. Cal esmentar que l'àmbit d'estudi presenta interrupcions que no tenen cap ús, corresponents a esllavissades o barrancs.

Algunes de les avingudes fluvials perjudicaren els sistemes hidràulics, com succeïx en la del 7 i 8 de setembre de 1793<sup>19</sup>, la qual va fer canviar d'emplaçament a les estructures hidràuliques, situant, per una banda, en el riu Riquer als batans de tints, ja que no només funcionaven per la lleu força del corrent del riu (70 l/s), sinó que funcionaven també per l'aigua que arplegaven de les fonts que procedien de les hortes i dels bancals. I en el Molinar, els de producció de draps i metalls, al tindre aquest més cabal i pendent (300 l/s).

El territori, per tant, estava estructurat, en primer lloc, pels masos, clots o casetes<sup>20</sup>, un element articulador del paisatge rural que en el passat constituïren una funció econòmica i s'instal·laven a prop dels brolladors (amb la construcció de pous), així com a zones elevades per a disposar de bona visibilitat de llurs terres. Aquestes tipologies constructives s'incrementen entre els segles xvii i xviii. Al llibre de la Peita de 1660 en figuren 62, al resum del padró de 1764 n'hi ha 155, en 1784, 202 i en 1840, 336 (9 a l'àrea d'estudi) (Madoz, 1850) i en l'actualitat són segones residències. En segon lloc, les fonts hídriques són abundants al terme, a causa dels factors litològics i com demostra la documentació històrica. Entre els segles xviii i xix moltes fonts comencen a explotar-se i eixamplar-se, idè la superfície conreada havia augmentat i era necessari irrigar les terres i moure els molins. Cavanilles (1797) descriu la quantitat d'excavacions de mines, alcavons i brolladors naturals:

[...] determinaron los de Alcoy rebaxar con excavaciones la boca de la fuente quando se hallaba enteramente seca. [...] bastó la obra para lograr un manantial de un pie cúbico de agua. [...] Como las excavaciones se hicieron en el fondo del barranco, [...] y por eso expuesta a obstruirse en tiempo de avenidas. Para ocurrir a este inconveniente determinaron conducir las aguas a cubierto, construyendo un canal subterráneo hasta el sitio donde empieza el riego.

19 Molina Ferrero, R. (2006). *Història d'Alcoi*. Eds. Santonja, J. L. & Segura, J. M. Centre Alcoià d'Estudis Històrics i Arqueològics.

20 "... los pobladores de aquella (vila d'Alcoi) o lo maior numero de aquells són llauradors que cascun dia van a ses heretats e masades e moltes vegades...". R. Bañó (1984, p. 96).



Llavors, l'ampliació de les explotacions de fonts d'aigua potable està estretament relacionada amb l'ús per a la població, industrial i agrari, reflectit en el desenvolupament fabril i la construcció de masos en zones de regadiu, per tant, la producció d'excedents i draps també va incrementar. A mesura que la ciutat s'expandeix, les hortes disminueixen, i un clar exemple és a la planificació de l'Eixample en 1877 on es rebleix el barranc de Na Lloba (actual carrer Barranc de Na Lloba) i l'horta de la partida del Pla o Reg Nou s'urbanitza per a convertir-se en el carrer de Santa Elena (avinguda País Valencià). En tercer lloc, l'era és un espai situat a una distància determinada i elevada sobre el mas per a treballar els cereals i dur terme l'esventatge; així com el pendent que tenen correspon per a evitar que l'aigua precipitada i d'escorrentia s'acumulara, junt amb uns marges.

Perquè aquest espai irrigat s'articulava, era necessària la comunitat de regants, una agrupació dels propietaris de les terres amb la mateixa procedència d'aigües, que, al seu torn estan regits per unes normes que s'acorden. Localitzem les comunitats de Barxell, Riquer, Salt, Reg Nou del Molinar i l'Horta Major. Dins d'aquest sistema parcel·lari, hi ha les basses, destinades a abassegar l'aigua per al reg o per a les activitats industrials. Tanmateix, també hi ha marges de pedra seca i murs de contenció, construïts perquè les solides als bancals i a les riberes dels rius han sigut un succés que ha amoïnat a la població i s'han construït evitar lliscaments i l'erosió als bancals.

Els camins són vies que l'ésser humà empra per a desplaçar-se i poder intercanviar productes. En aquest espai n'observem diversos camins jerarquitzats, com ara, el camí de Sant Antoni, de la font de l'Olivereta<sup>21</sup>, de les Ombries, de la Murtera, o de les fàbriques<sup>22</sup>, així com quatre canyades (dues d'elles la d'Albors i la de Pérez), un assagador, la carretera Xàtiva-Alacant i algunes sendes, que són aquells camins amb menys ús i connecten el mas amb els espais agrícoles i amb el nucli de població. Així com, els bancals són una de les expressions antropogèniques més evidents i predominants a la muntanya mediterrània i que ha configurat un paisatge de les terrasses de cultiu. En alguns sectors del paisatge agrari es distingeixen les canyades, un espai mitjanament enfonsat entre dues elevacions i es diferencia del cultiu de secà degut a que les surgències d'aigua li proporcionaven al sòl una major humitat, i per tant era un espai irrigat. D'altra manera, a les terrasses fluvials es localitzaven les hortes, amb irrigació procedent de les aigües que sorgien dels vessants i que a partir del segle XVIII redueixen les seues extensions a causa del desenvolupament urbà i industrial.

Centrant-se en el sector industrial, aquest es constitueix pel ram d'aigua, una agrupació dels propietaris de les indústries que necessitaven l'aigua per a moure els molins i les fàbriques. Quant als batans, molins, borerres i fàbriques, articulen el paisatge industrial, amb un estat d'abandonament en l'actualitat. Els tres primers són el precedent de les fàbriques i foren la base per al desplegament econòmic dins la ciutat. Pel que respecta als alcavons, mines i galeries, són excavacions horitzontals i descendents que es fan a un terreny per poder captar l'aigua del nivell freàtic i conduir-la fins a un punt concret. Un problema de les inestabilitats dels vessants va condicionar la xarxa de conducció de les aigües, ja que els alcavons eren interromputs. És a partir de 1844 quan es condueixen de manera alternativa amb un

---

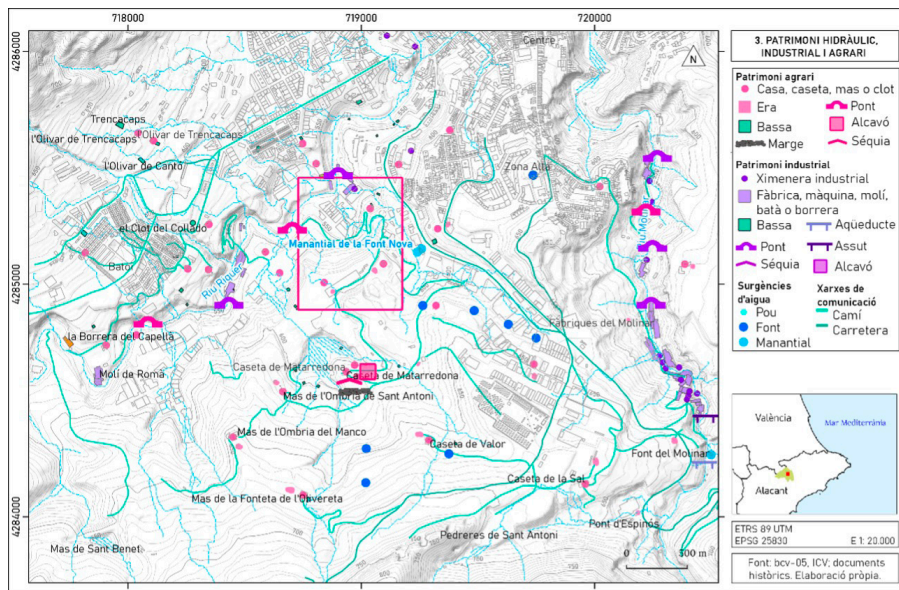
21 AMA. (1884). Emplazamiento cementerio Cantagallet. Signatura: 5759/15.

22 1903 - *Término Municipal de Alcoy*. Departament d'Arquitectura l'Ajuntament d'Alcoi.

recorregut més aproximat al vessant del Molinar. I similarmet es distingeix la séquia i el ramal, però desvien l'aigua mitjançant un sistema d'assuts que aplegava fins a les fàbriques o els camps irrigats. En les cas de les fàbriques, ans d'aplegar l'aigua a les rodes hidràuliques, hi havia unes reixes per a impedir que els cudols aplegaren a obstaculitzar-les. Quant a l'aqüeducte, condueix l'aigua que funciona mitjançant un desnivell de cota, que, com a exemple d'aquest, n'hi ha un a la màquina de Sampèrius, que travessa el riu Riquer per damunt d'ell i el del Molinar, i que travessa el mateix riu. Així com, els assuts es construeixen en paral·lel al curs del riu per a desviar les seues aigües als ramals antròpics. Com a funcions, derivaven l'aigua a les rodes hidràuliques (fins a 1960) –les quals funcionaven mitjançant l'embarrat o arbre de transmissió per a transmetre l'energia a les fàbriques– i minvaven la força de l'aigua generada pels desnivells del Molinar i en les avingudes fluvials i així no feien malbé als molins. En referència al partidor és un artefacte que distribueix els diversos usos de l'aigua. Finalment, els ponts i pontons, es creen per a enllaçar dos espais travessats per un riu o un barranc. Alguns eren d'obra pública i altres eren construïts pels industrials per connectar la ciutat amb les fàbriques.

Ara per ara, a excepció de la recuperació en la conca alta del Molinar dins del patrimoni industrial, la majoria d'aquests sistemes localitzats a l'àrea d'estudi ja no tenen cap ús, més que el destí a la seua degradació per l'abandonament de les fàbriques o d'algunes conduccions d'aigua que foren deixades d'utilitzar, com es veu amb la Font Nova.

Figura 12. Patrimoni hidràulic, industrial i agrari de la zona d'estudi



Font: elaboració pròpia.

*El paisatge després del polígon industrial*

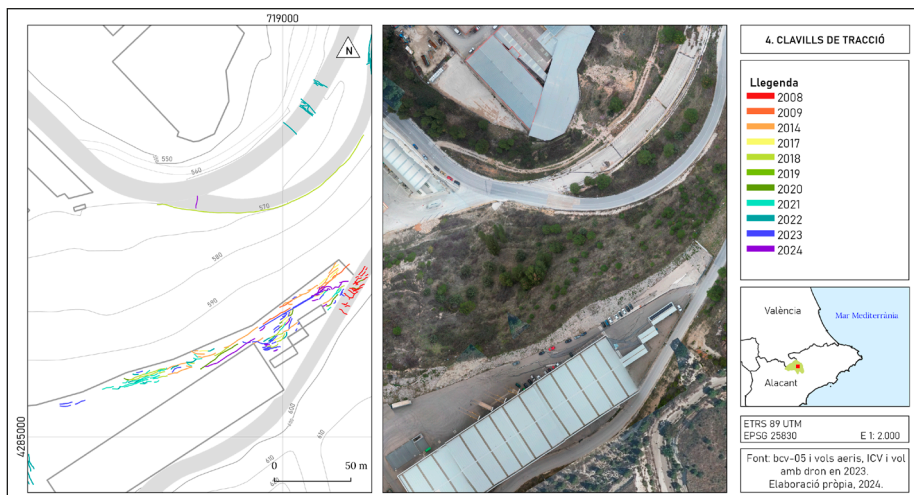
En 1999 s'enceta la urbanització del sector SUP-1 del Polígon Industrial Sud (P. I. Santiago Payá) i algunes indústries comencen a assentar-se. Es realitzen grans arrasaments i remocions de terres, on després s'aboquen rajoles i llims i fins i tot, troncs d'arbres, afegit de les excavacions als talussos. En 2001, els problemes estructurals comencen a ser visibles, obligant a tallar el trànsit darrere de les pluges de gener de 2002<sup>23</sup>. Aquest fet dona lloc a la creació de l'Associació de Propietaris del Polígon de Santiago Payá, on es recalca que l'estudi d'impacte ambiental es va fer en concloure les obres de la passarel·la, indicant que els vessants havien de consolidar-se, però, no s'havia fet cap contenció. Posteriorment, en 2005 es proposa la realització de murs de contenció i la realització d'obres de consolidació de vessants, a fi d'evitar un major moviment en massa. Malgrat tot, no s'aplega a fer pels elevats costos econòmics, per la qual cosa es necessitava l'ajuda de la Conselleria d'Infraestructures per al finançament de les obres necessàries, la qual rep la resposta del Síndic de Greuges de la urgent realització per banda de l'empresa a executar les obres de contenció.

Fins ara, s'ha parlat de solides i colades de fang, però no d'un moviment que desplaça més volum de material és a dir, les esllavissades rotacionals. Aquests moviments es produeixen al voltant d'un eix horitzontal paral·lel a la superfície del vessant o superfície de trencament que s'esvara en una superfície de lliscament còncava. Perquè es produïska un moviment com aquests, en un primer moment mostra uns indicis, visibles en l'actualitat i que estan mostrant una dinàmica. L'esquema de Crudens i Varnes (1996) mostra com a la corona o zona superior es manifesten uns clavills de tracció transversals amb un retrocés progressiu de la corona, que en aquest cas travessen una nau industrial. Quant als blocs lliscats, encara no són visibles, puix que la massa es llisca lentament, però al peu de l'esllavissada s'observen moviments de flux, fruit de la líquüefacció del material lliscat durant les precipitacions en març de 2022 i de les diverses fontetes d'aigua que eixien del talús fins tres mesos després.

---

23 J. Ruiz (5 de gener de 2002). Grietas por la lluvia obligan a cortar el acceso al polígono Santiago Payá. *Diario Información*. Hemeroteca de la Universitat d'Alacant.

Figura 13. Croquis amb indicació de la localització i aparació dels clavills de tracció a la cresta del vessant



Font: elaboració pròpia.

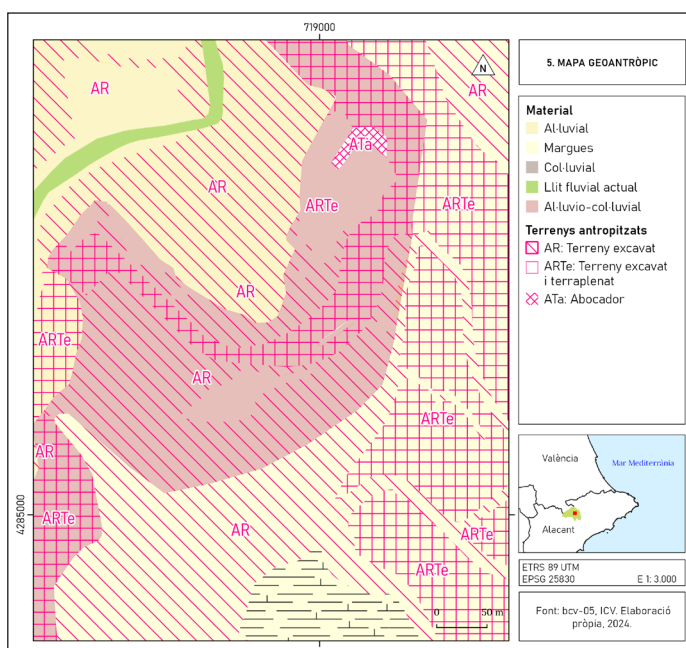
El canvi en els usos del sòl i les altes aportacions d'humitat procedents dels regs dels bancals situats a cotes elevades, es generen bé pel desballestament de sobrants de les séquies, o bé per les fonts naturals que es localitzen a la meitat d'un vessant, així com pel sorgiment de petites fonts, escorrims, deus o fuites documentades, com expressen Giménez i Marco (2011). En aquest cas, el brollador de la Font Nova és el cas d'un brollador situat enmig d'un vessant i que pot ser surt pel talús que tractem.

Com bé s'ha esmentat adés, la principal hipòtesi del treball és de com l'aigua superficial genera solsi-des. Aquests lliscaments motivats per la pluja són generats per un augment relatiu en la pressió intersticial, la qual desencadena dits moviments en aquells sectors on es dona un contacte entre el sòl i el llit rocós (van Beek, 2002) i van saturant-se, pel que el nivell freàtic incrementa cap a la superfície del terreny i l'aigua flueix paral·lelament a la direcció del talús, fent que la infiltració es convertisca en una força desestabilitzadora en la massa del sòl. Per tant, es distingeixen dos tipus de moviments, els superficials (solsides), en pluges curtes i fortes (de caràcter torrencial) i els profunds, causats per l'increment del nivell freàtic de les aigües subterrànies (com podria ser el cas de la Font Nova i les demés formacions subterrànies en l'àmbit d'estudi que busquen desembocar en el riu) a causa d'unes pluges prolongades, que fan perdre estabilitat a una major massa de terres. Tanmateix, es distingeixen esllavissades superficials (solsides) i de poca profunditat, fins a translacionals. En canvi, les rotacionals i complexes presenten un major volum de material mobilitzat, sent predominants en aquells sectors on es genera un contacte discordant entre les margues i el material col·luvial. Ssucceïxen en els vessants sota el glacis, del qual, els peus d'aquests talussos es veuen desestabilitzats per les pressions intersticials, que augmenten quan la pluja s'acumula en aquests dipòsits (van Beek, 2002). No obstant això, les precipitacions són uns dels factors desencadenants, al ser aquests moviments d'un desenvolupament lent, sent així que aquestes

pluges de caràcter estacional (hivern, tardor i primavera) i de vegades extraordinàries acceleren aquests processos gravitacionals. Així com, dits moviments poden estar induïts per aigües subterrànies, com pot estar succeint. Les precipitacions d'elevades quantitats d'aigua en 24-96 hores, així com les prolongades s'infilren sobre les primeres capes al·luvio-col·luvials que han sigut excavades i terraplenades, per la qual cosa és evident que la capacitat d'infiltració en el talús incrementa, al descompactar-se el material.

En el present mapa es representen els processos de l'activitat antròpica sobre el medi geològic i els seus condicionants (Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya, 2012) a una escala d'1:3.500. S'ha realitzat un inventari de les intervencions artificials que ens ajuden a comprendre els successos actuals als talussos, emprant la simbologia de la qual fa ús l'IGCC.

Figura 14. Mapa geoantròpic on es veuen les alteracions generades en el talús



Font: elaboració pròpia.

S'observa que el sector ha experimentat diferents intervencions, de les quals, les primeres foren l'abancament de les terrasses de cultiu. Aquesta acció no és gaire nociva en les inestabilitats, no obstant això, com a pròpia dinàmica, hi ha evidències d'antigues esllavissades. Així com, altra de les accions que resulta més perniciosa és la intervenció de la maquinària i les alternances d'excavació amb les de terraplenament les que han incrementat dita inestabilitat.

Com s'ha comprovat en els distints vols aeris esmentats i el vol aeri amb dron en 2023, les obres s'inicien en la dècada de 1970 i en elles es realitzen excavacions en el peu del talús per a albergar les

fàbriques del polígon industrial de Sant Benet, observant-se algunes esllavissades, així com el rebliment de la canyada d'Albors per a albergar també el polígon industrial de La Beniata. A partir de 1999 s'observen les primeres intervencions per a realitzar el polígon industrial de Santiago Payá, on es realitzen les accions d'excavació i de terraplenament. A més a més, no només es rebleixen certes zones del talús que es tracta, sinó que la colada de fang, que mesura uns 500 metres, una meitat és modificada per a augmentar el sòl industrial, i també es terraplena el barranc de Sant Antoni per la mateixa raó i en l'extrem oposat es distingeixen també accions de terraplenament que es lliscaren durant la borrasca de 2022, produint una pèrdua de sòl i la inclinació de la redona.

### SOLUCIONS AL PROBLEMA

El control de les aigües ha estat un element fonamental per al subministrament de la població, indústria, llauradors i ramaders, però, que amb el desenvolupament del sòl industrial els usos tradicionals del sòl han quedat relegats. La recollida i canalització d'aigües de drenatge superficials i subterrànies, a banda de permetre el desenvolupament de diferents activitats, també mantenia el sòl i les dinàmiques dels vessants. En l'actualitat, la falta de canalització d'aigües procedents de precipitacions o residuals permeten que corren lliurement i debiliten la solidesa i compactació de la terra. Així com, la construcció d'edificacions amb materials pesats sobre terrenys febles fan que la terra es desprenga o s'enfonse. Seria, per tant, adequat dur a terme un control del nivell freàtic i de les aigües subterrànies. Així com, l'establiment de sistemes d'alerta primerenca són una ferramenta essencial per a la prevenció de desastres naturals associats a lliscaments subjectes a les condicions hidrològiques del terreny, puix que permeten compilar, analitzar i administrar la informació enfront d'un possible succés i poder comunicar-lo amb antelació.

### DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

El desenvolupament industrial d'Alcoi ha estat marcat en un principi per l'abastiment d'energia hidràulica, el que comportava que els molins i els batans s'assentaren als jaços dels rius i, per tant, estigueren exposats a les esllavissades. A poc a poc que la vila anava desenvolupant-se, també va acabar apropant-se a les riberes dels rius, i per això la població també es va trobar exposada. Aquests successos es produïen quan es generaven elevades precipitacions, que mullaven el material quaternari i miocè, pels creixements als rius Riquer i Molinar, pels sismes i per les surgències d'aigües subterrànies, és per això que són diverses les obres de contenció de talussos les que s'han dut a terme des d'aleshores. La històrica falta de sòl industrial a la ciutat que fou un dels primers nuclis de població en industrialitzar-se a la conca mediterrània ha comportat a exercir en certs casos unes pressions sobre el territori, donant lloc a l'increment en la inestabilitat dels vessants. Malgrat els estudis previs que avisaven de possibles moviments històrics no es va frenar el desenvolupament d'un polígon industrial de gran capacitat d'acollida per a aquelles indústries locals que necessitaven unes naus grans. Aquests problemes generats, malgrat el vistiplau de l'informe geotècnic de l'empresa constructora, han comportat en la posteritat,

que l'Administració Pública s'haja de fer càrrec de les despeses econòmiques que suposen les reparacions puntuals, sense anar al problema de les aigües subterrànies possiblement incontrolades.

Davant el patiment pel sòl industrial des de dècades enrere i el terreny abrupte, i la insistència per tindre sòl industrial i no marxar a altres localitats, moltes zones van ser reblides, les quals donarien problemes d'inestabilitats des del primer moment. Si a aquest factor natural del rocam se li afegen els factors externs, com són les precipitacions i les temperatures, que generen la seua compactació i descompactació i, per tant, canvis en el volum, i altre possible element intern, com són les aigües subterrànies i les seues surgències entre el contacte discordant, aquest talús presenta inestabilitats. Aquestes, es veuen agreujades per la intervenció antròpica i no detindrà el seu lliscament fins que trobe el seu punt d'estabilitat. És per això que els clavills de tracció són el precedent de la producció d'un fenomen gravitacional.

S'ha intentat esbrinar la causa del moviment de vessant mitjançant l'ús de fonts primàries i secundàries i amb ferramentes SIG. Analitzant la documentació històrica s'ha desentrellat que el canvi en els usos del sòl, els factors hidrogeològics, com ara, la distribució espaciotemporal de les precipitacions i les possibles aigües subterrànies són els principals factors desencadenants de la inestabilitat dels vessants. La realització de la cartografia i els resultats obtinguts amb els diferents vols aeris han permés comprovar que el vessant s'està lliscant i que pel patró que segueix és el d'un lliscament rotacional que està generant danys en les quatre naus industrials i en la passarel·la que donava accés al polígon. A banda dels danys observats, els murs de contenció que sostenen les façies margoses acceleren el procés del lliscament, reflectint-se en les esquerdes de l'asfalt en el vial alternatiu per la sobrecàrrega generada.

La documentació històrica ha permés també correlacionar que les precipitacions i les aigües subterrànies han estat un problema per a la població alcoiana i per als assentaments fabrils, almenys des del segle XIV (Santonja i Segura, 2006), al no disposar de dades més antigues. La troballa del brollador de la Font Nova ha portat a realitzar-se diverses qüestions, com ara, les conduccions hidràuliques, idò l'últim document que parla d'elles data en 1930. Per tant, els resultats mostren que els canvis experimentats en els usos del sòl, en l'aprofitament de les aigües i les seues canalitzacions en els darrers setanta anys, ha comportat que les aigües subterrànies hagen deixat d'estar controlades, i s'afavorisca l'escolament subsuperficial, on l'aigua circula lliurement de nou, afavorint el nombre i localització de moviments de massa, i on la càrrega hidroestàtica es converteix en un mecanisme desencadenant.

Així com, el moviment va experimentar processos d'acceleració quan es va construir la carretera d'accés als dos polígons sobre els mateixos materials, tanmateix, els desmunts que es generaren als talussos foren d'entre 35 i 40°, essent l'angle de repòs intern de les margues de 30°, quelcom, en certs casos la sobreexcavació de les parcel·les, en les quals en la seua venda s'inclou la respectiva part del talús per a instal·lar les naus, va ser de 60 a 87°, per tant la inestabilitat es va incrementar. Així i tot, cal afegir que la presència d'aigua en superfície com la possible subterrània produeixen inestabilitats en el terreny generant de lliscaments superficials i profunds, endinsant-se aquests dins les fàbriques, com succeí en abril de 2022.

Les pressions entre el govern local i els industrials per a albergar-ne un nou van fer que es prenguera un risc per obtindre un benefici temporal, ocupant espais amb certa perillositat, la qual s'ha vist agreujada per les obres d'arrasament, remocions, rebliments i sobrecàrrega als talussos, el que també ha comportat

la consegüent desorganització de la xarxa hidrogràfica, el terraplenament de barrancs i l'asfaltatge en els vials, cosa que ha produït una impermeabilització i que l'escorrentia s'acumule en certs punts.

#### BIBLIOGRAFIA

- Arxiu Històric Provincial d'Alacant (1900). Proyecto de obras de defensa en el 1er Grupo de edificios del rio Molinar. Signatura: OP-G 268/1-2231.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1724-1741). Llibre de Cabildes, acta de 17-V-1727. Signatura: 48.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1743-1746). Llibre de Cabildes, acta de 21-XI-1744. Signatura 49.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1787). Muro de contención de ribazo por peligro de desbordamiento del río: Virgen María, tramo del albellón o androna. Signatura: 5678/012.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1822). Muro de contención de ribazo del río y aprovechamiento de aguas por José Carbonell de Ildefonso, maestro fabricante de paños: Puerta de Cocentaina. Signatura: 5678/080.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1828). Lligall. Signatura: 5678/94.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1857). Desprendimiento terreno que afecta al matadero y construcción acequia: Casa Blanca. Sign: 5691/025.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1865). Reconstrucción muro derruido por temporal (denegado): Huerto de Mora, espaldas de Buidaoli. Signatura: 5678/219.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1899-1903). Reparación de los desperfectos del camino y paredón de la Galera causados por el temporal. Signatura: 5664/009.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1902-1913). Desviación de la carretera de Játiva por la Beniata. Signatura: 5664/012.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1950). Certificación daños en muro de contención y acequia por temporal: río Barchell. Signatura: 11812/167.
- Arxiu Municipal d'Alcoi (1967). Plan Director de ordenación urbana comarca Alcoy-Cocentaina. Signatura: 1756.
- Anglada, M. (1993). *Arrels d'Andorra. Prehistòria d'Andorra a través dels noms de lloc*. Andorra la Vella, Andorra
- Ayala-Carcedo, F. J. (1990). *Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Alcoy. Riesgo de avenidas, vulnerabilidad y riesgo sísmico*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). *Análisis de riesgos por movimientos de ladera*. En Ayala-Carcedo, F. J. & Olcina Cantos, J. (eds.). *Riesgos naturales*. Ariel.
- Cavanilles, J. A. (1797). *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del reyno de Valencia*. Imprenta Real. <https://bivaldi.gva.es/es/consulta/registro.do?id=285>
- Corominas, J. & Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. Actas del IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, 1051-1072.
- Crudens, D. M. & Varnes, D. J. (1996). *Landslides types and processes*. En Turner, A. & Schuster (eds.). *Landslides. Investigation and mitigation* (pp. 36-75). Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.



- Dávila Linares, J. (1990). *Evolución urbana de Alcoy. (siglos XIII-XVIII)*. Ajuntament d'Alcoi.
- Delgado, J. & Tomás Jover, R. (2005). Susceptibilidad a movimientos de ladera inducidos por terremotos en Alcoy (Alicante) y sectores adyacentes. Sociedad Geológica de España. *Geo-Temas*, 6, 285-288. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/133041>
- Domingo, C. (1997). *El nom de les formes del relleu*. Barcelona: Societat d'Onomàstica. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Figueras Pacheco, F. (1927). *Geografía general del Reino de Valencia: Provincia de Alicante*. Volum III.
- García Payá, R. (2007). *Alcoy y sus aguas: desarrollo histórico-tecnológico*. Ajuntament d'Alcoi, Gerència de Medi Ambient.
- Gariano, S. L. & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, (162), 227-252. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825216302458>
- Giménez Font, P. (2005). *Obres públiques i riscos naturals a l'Alcoi del segle XVIII*. Alcoi: societat i cultura. CAEHA.
- Giménez Font, P. (2009). Cauces meandriformes y riesgos naturales en la cartografía histórica del Mediterráneo español. *Revista Mapping*, 133 (abr. 2009), 12-16. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/13128>
- Giménez Font, P. (2020). Construcción de puentes y avenidas fluviales: algunos debates técnicos en el academicismo ilustrado del Reino de Valencia. *Estudis. Revista de Historia Moderna*, 46, 323-348. <https://roderic.uv.es/handle/10550/76479>
- Giménez Font, P. & Marco Molina, J. A. (2011). Sobre els riscos naturals a la ciutat d'Alcoi. Solsides i esllavissades en temps històrics. *Revista Afers*.
- ISPRA (2021). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/dissesto-idrogeologico-in-italia-pericolosita-e-indicatori-di-rischio-edizione-2021>
- Jordá Borrell, R. M. (1976). Alcoy: la crisis textil de 1965 y sus repercusiones. *Saitabi: revista de la Facultat de Geografia e Historia*, 26, 149-158.
- La Roca, N. & Calvo Cases, A. (1989): Slope evolution by mass movements and surface wash. (Valls d'Alcoi, Alicante, Spain). *Catena Supplementband*, 95-102.
- Marco Molina, J. A. & Vera Rebollo, J. F. (1988). *Impacto de los usos del suelo y erosión en cuencas vertientes del Sur del País Valenciano*.
- Marco Molina, J. A. (1993). Rocas blandas y riesgos en el sur de la Comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas*, 237-250.
- Marco Molina, J. A., Padilla Blanco, A. & Matarredona Coll, E. (2000). La dimensión espacial de los riesgos geomorfológicos. *Boletín de la A.G.E.*, 30, 85-101. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/378>
- Martí Casanova, J. (1864). *Guía del forastero en Alcoy*. Imprenta de Juan Martí.
- Matarredona Coll, E. & Costa Mas, J. (1989). Avenidas y problemas de taludes en la ciudad de Alcoi. En Gil Olcina, A. & Morales Gil, A. (eds.). *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*. Universidad de Alicante / Universitat d'Alacant, Institut Interuniversitari de Geografia.

- Mateu Bellés, J. F. (1989). Assuts i vores fluvials regades al País Valencià medieval. Los paisajes del agua. *Libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez*. Universitat de València-Universitat d'Alacant, 165-185.
- Moltó Mantero, E. & Picó, J. (2010). Els condicionaments geogràfics i la indústria a Alcoi. La societat industrial valenciana. Alcoi: CAEHA i Ajuntament d'Alcoi, 83-99.
- Olcina Cantos, J. (1994). *Tormentas y granizadas en las tierras alicantinas*. Institut Interuniversitari de Geografia. Universidad de Alicante.
- Olcina Cantos, J. (1995). *Episodios Meteorológicos de consecuencias catastróficas en tierras alicantinas (1900-1965)*.
- Olcina Cantos, J. (2004). La prensa como fuente para el estudio de los episodios de inundación. En Rico Amorós, A. M., Olcina Cantos, J., & Gil Olcina, A. (eds.). *Aguaceros, aguaduchos e inundaciones en áreas urbanas*. Universitat d'Alacant.
- Olcina Lloréns, G. (2013a). *Origen y desarrollo de la Cuenca Industrial del Río Molinar de Alcoy*. Quinta impresión SL / Inmobiliaria Carbonell.
- Olcina Lloréns, G. (2013b). *Origen y desarrollo de la Cuenca Industrial del Barchell*. Quinta impresión SL / Inmobiliaria Carbonell.
- Planas, X. (2017). Topònims: orònims, hidrònims, talassònims..., i els cindinònims? *Noms*, 6, 25-27.
- Ponce Herrero, G., Dávila Linares, J. M., & Moltó Mantero, E. (2011). *Paisajes industriales de L'Alcoià. Paisajes y geografía en tierras alicantinas: guía para los trabajos de campo: XXII Congreso de Geógrafos Españoles*, Universidad de Alicante, 11-73
- Ron, Z. (1995). *Sistemas de manantiales y terrazas irrigadas en las montañas mediterráneas. II Coloquio Historia y Medio Físico. Agricultura y regadío en al-Andalus*. Instituto de Estudios Almerienses.
- Ruiz, J. (5 de gener de 2002). Grietas por la lluvia obligan a cortar el acceso al polígono Santiago Payá. *Diario Información*. Hemeroteca de la Universitat d'Alacant.
- Sanchís Lloréns, R. (1976). *Alcoy, tu pueblo*. Monte de Piedad / Caja de Ahorros de Alcoy.
- Sanchís Lloréns, R. (1986). *Memorias sobre antigüedades de Alcoy*. Gráficas Ciudad.
- Santonja, J. L. & Segura, J. M. (2006). *Història d'Alcoi*. Centre Alcoià d'Estudis Històrics i Arqueològics.
- Seller, J. , Tomás, T. & Delgado, J. (2005). *Elaboración de un mapa de inventario de inestabilidades de los taludes del polígono industrial Santiago Payá (Alcoy, Alicante)*. Congreso Internacional Conjunto XVII Ingegraf - Universitat de Sevilla. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21690/1/T4.pdf>
- Tomás Jover, R., Díaz, E., Szeibert, W. T., Liu, X., Lopez-Sanchez, J. M., & Zhao, C. (2023). *Geomorphological characterization, remote sensing monitoring, and modeling of a slow-moving landslide in Alcoy (Southern Spain)*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-023-02032-8>
- Torró Abad, J. (1984). *Arqueología medieval de Alcoi y su entorno*. CAEHA, Alcoy, prehistoria y arqueología. *Cien años de investigación*.
- Torró Abad, J. (1992). *La formació d'un espai feudal. Alcoi de 1245 a 1305*. Centre d'Estudis d'Història Local, 265.

- Torró Abad, J. (2007). Terrasses irrigades a les muntanyes valencianes: les transformacions de la colonització cristiana. *Estudiar i gestionar el paisatge històric medieval. Territori i societat a l'Edat Mitjana*, 51(20). Universitat de Lleida.
- Torró Gil, L. (1994). Abans de la indústria: Alcoi als inicis del sis-cents. Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert". Publicaciones Universidad de Alicante.
- Torró Gil, L. (1996). *La Reial Fàbrica de Draps d'Alcoi. Ordenances gremials (segles XVI al XVIII)*. Ajuntament d'Alcoi / Institut de Cultura "Juan Gil-Albert".
- Van Beek, R. (2002). *Assessment of the influence of changes in land use and climate on landslide activity in a Mediterranean environment*. Tesi doctoral. Universitat d'Utrecht.
- Vidal Vidal, V. M. (1988). *Arquitectura e industria: un ensayo tipológico de los edificios fabriles de l'Alcoià*. Universitat Politècnica de València i Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports.
- Wieczorek, G. (1996). *Landslide triggering mechanisms*. National Research Council. Washington D. C., 76-90. <https://trid.trb.org/View/462502>

Cómo citar este artículo:

Pastor Valor, A. (2024). Aigües superficials i subterrànies com a possible factor desencadenant en un vessant inestable. El cas de la Font Nova i dels polígons industrials de Santiago Payá i de Sant Benet, Alcoi (Alacant). *Cuadernos de Geografía*, 112, 55-83.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.28732>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



JOAN J. FORNÓS<sup>a</sup>  
LLUÍS GÓMEZ-PUJOL<sup>b</sup>  
MIGUEL A. CAU-ONTIVEROS<sup>c</sup>  
CATALINA MAS-FLORIT<sup>d</sup>

## S'ALBUFERETA DE POLLENÇA (MALLORCA): UNA INTRODUCCIÓ A LA SEVA GEOMORFOLOGIA I L'EVOLUCIÓ SEDIMENTÀRIA RECENT

### RESUM

S'Albufereta de Pollença es troba situada al nord de l'illa de Mallorca, a l'extrem més meridional de la badia de Pollença. Es tracta d'una zona humida, amb una extensió de 400 ha que estructuralment ocupa una depressió postmiocena resultat de l'extensió distensiva, que tingué lloc després de la formació de la serra de Tramuntana a finals de l'oligocè-miocè inferior. Una campanya de sondeigs mecànics, juntament amb les tasques de cartografia geomorfològica, permeten fer una descripció dels elements morfològics i dels diferents subambients sedimentaris presents al registre holocènic i avançar una evolució sedimentària de la zona. S'Albufereta consisteix en una zona d'estanys i d'aiguamolls solcats per una sèrie de canals, separats de la mar per una restinga arenosa, que actualment connecta amb una única gola amb el mar i que en alguns sectors presenta indicis de recessió. En referència amb el rebliment sedimentari més recent, l'holocènic, no adquireix una potència destacable, de 3 a 5 m de potència, descansant sobre el basament

---

a Grup de Ciències de la Terra, Facultat de Ciències, Universitat de les Illes Balears. Crta. Valldemossa, km 7,5, 07122 Palma (Mallorca). joan.fornos@uib.cat

b Grup de Ciències de la Terra, Facultat de Ciències, Universitat de les Illes Balears. Crta. Valldemossa, km 7,5, 07122 Palma (Mallorca).

c ICREA. Passeig Lluís Companys 23, 08010 Barcelona. ERAAUB, Institut d'Arqueologia (IAUB), Universitat de Barcelona (UB), Facultat de Geografia i Història. C/ Montalegre, 6-8, 08001 Barcelona. Chercheur associé, Centre Camille Jullian, MMSH, CNRS / Université Aix-Marseille.

d ERAAUB, Institut d'Arqueologia (IAUB), Universitat de Barcelona (UB), Facultat de Geografia i Història. C/ Montalegre, 6-8, 08001 Barcelona.

Fecha de recepció: 28-05-2024. Fecha de aceptació: 11-09-2024.

juràssic o les margues del miocè. Hi predominen les fàcies llimoses detrítiques, parcialment arenoses i amb aportacions puntuals de graves, de coloracions rogenques; la qual cosa indica que el reblliment de l'àrea es deu principalment a les aportacions al·luvials associades als torrents. La naturalesa i la potència del registre indica que la transgressió holocena no sembla que hagi superat el metre d'altura respecte al nivell actual de la mar i que, en aquesta àrea, la subsidència no sigui molt important. Tot apunta que durant la transgressió holocena es reomple la paleotopografia heretada del darrer període glacial.

PARAULES CLAU: albufera, restinga, gola, marjal, reblliment, holocè.

## S'ALBUFERETA DE POLLENÇA (MALLORCA): AN INTRODUCTION TO ITS GEOMORPHOLOGY AND RECENT SEDIMENTARY EVOLUTION

### ABSTRACT

The Albufereta de Pollença is located in the north of the island of Mallorca, at the southernmost end of the bay of Pollença. The Albufereta is a coastal lagoon, with an extension of 400 ha, which structurally occupies a post-Miocene depression resulting from the distensive extension that took place after the formation of the Serra de Tramuntana at the end of the Oligocene-Lower Miocene. A coring campaign, as well as geomorphological mapping, allows the description of the morphological elements and the different sedimentary sub-environments present in the Holocene archives of this area. The coastal lagoon consists of an area of ponds and coastal lakes furrowed by a series of channels, which are separated from the sea by a sandy barrier, which currently connects with the sea by a single inlet. Locally the barrier exhibit signs of recession. Regarding to the Holocene sedimentary fill, it does not acquire a remarkable thickness, from 3 to 5 m core depths, resting on the Jurassic basement or on the Miocene marls. Detrital silty facies predominate, partially sandy and with occasional contributions of gravel, reddish in colour; which indicates that the filling of the area is mainly due to the alluvial contributions associated with the streams. The nature and thickness of the record indicate that the Holocene transgression did not exceed the height of the meter with respect to the current sea level, and that the subsidence is not very important in this area. Logs and sedimentary facies indicate that during the Holocene transgression the paleotopography inherited from the last glacial period was replenished.

KEYWORDS: coastal lagoon, barrier, inlet, saltmarsh, sediment infilling, Holocene.

### INTRODUCCIÓ

Les albuferes litorals consisteixen en masses d'aigua que ocupen depressions topogràfiques d'extensió variable, que queden separades de l'oceà per estrets cordons de terra (Ward i Ashley, 1989). L'epítet de litoral en referència a les albuferes, des d'un punt de vista terminològic, pot ser balder; atès que es tracta d'un fenomen geomòrfic, un ambient sedimentari o un hàbitat típicament de transició entre el medi marí i el terrestre. A la bibliografia anglosaxona, en funció de les seves dimensions, reben el nom de *cat-eyes ponds*, *coastal lakes*, *barrier lakes* o *coastal lagoons* (vid. Oertel, 2005), mentre que a la tradició

francòfona, es designen mitjançant el binomi *lagunes - marais maritimes* (vid. Pirazzoli, 1993). Rosselló (1993) i Sanjaume i Pardo (2000) afinen la definició especificant que les albuferes són àrees d'aigües somes, amb una disposició paral·lela a la línia de costa, separades de la mar per una acumulació de material detrític (arena, còdols o copinyars) –que rep el nom de *restinga*– o per vegetació, esculls o afloraments tectònics, i que poden estar en comunicació amb la mar de forma permanent o esporàdica mitjançant una o varies *goles*. Comptat i debatut, les albuferes o les costes de *restinga*-albufera són un fenomen azonal i poden trobar-se nombrosos exemples a qualsevol latitud, sempre i quan la carrera mareal no sia excessiva i superi el domini del modelat fluvial i costaner. De fet, els requisits indispensables per a la seva formació són un espai d'acomodació amb un pendent escàs, la disponibilitat de material sedimentari per constituir la *restinga* i l'acció de l'onatge. Tant és així que, a escala geològica, les albuferes són formes efímeres, atès que en la seva dinàmica evolutiva, la tendència de la formació natural és a reblir-se i desaparèixer (Cooper, 1994).

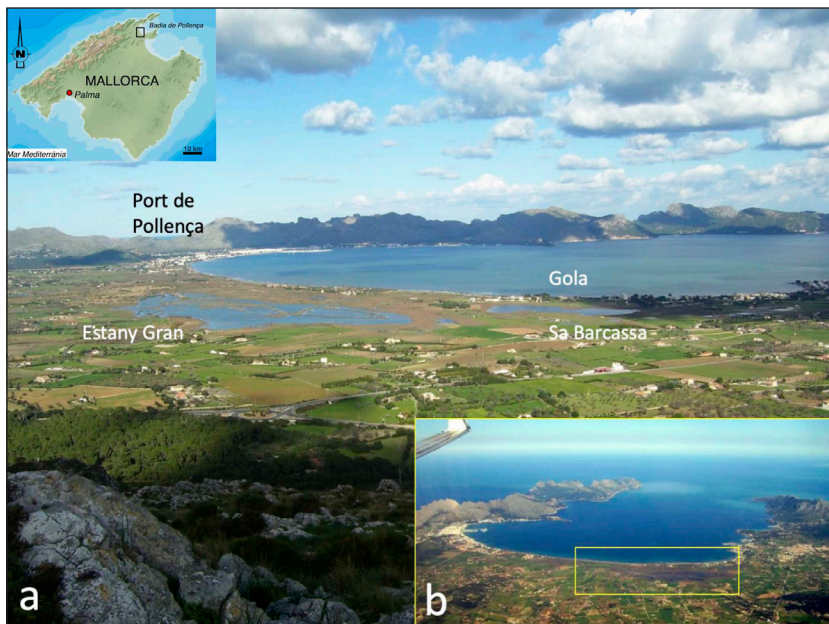
Les albuferes són un tipus d'ambient sedimentari molt comú a la Mediterrània occidental (Rosselló, 1993). Es tracta d'ecosistemes aquàtics salobrosos caracteritzats per la seva proximitat a la mar i són considerats uns sistemes molt dinàmics, amb una elevada productivitat biològica i amb una gran variació en mida i forma deguda als processos naturals que els afecten. La seva dinàmica sedimentària resulta de l'estabilització del nivell marí després de la inundació de les zones litorals més deprimides, a conseqüència de l'ascens del nivell de la mar després del darrer estadi glacial quaternari. Així, l'estabilització del nivell marí durant els darrers mil·lennis comporta la tendència al seu rebliment, ja sia per les aportacions de caràcter continental, ja sia per la mateixa productivitat biològica que es dona en aquest medi, sense oblidar la contribució de la dinàmica marina i, en particular, les relatives a les interaccions amb el sistema platja-duna o els esdeveniments costaners extrems (Hesp i Short, 1999). En l'actualitat, la intensa pressió de caràcter antròpic que afecta a la major part del litoral també incideix i condiciona la dinàmica d'aquests sistemes tan complexos.

A l'illa de Mallorca hi ha nombrosos exemples d'albuferes holocenes que varien quant a dimensions, la preponderància dels processos terrestres sobre els costaners o el seu estat de rebliment o alteració antròpica. Les de majors dimensions es troben al contacte de les quatre grans conques sedimentàries amb la mar, mentre que la resta es troben repartides a badies costaneres de la serra de Tramuntana o de les serres de Llevant, o a la desembocadura dels barrancs que solquen la marina de Llevant (Gómez-Pujol, et al., 2007). Un cop dessecada la major de les albuferes de Mallorca, la del Prat de Sant Jordi, a la conca de Palma, li segueixen en extensió l'albufera de la conca Muro-Sa Pobla, es Salobrar de Campos i la de la badia de Pollença.

Aquesta darrera, s'Albufereta, es troba situada al nord de l'illa de Mallorca, a l'extrem més meridional de la badia de Pollença (figura 1). Malgrat que el seu nom s'uneix al topònim de la badia en la qual s'ubica, la major part de la seva superfície discorre dins del terme municipal d'Alcúdia. S'Albufereta és una zona humida, amb una extensió de 400 ha que estructuralment ocupa una depressió postmiocena resultat de l'extensió distensiva que tingué lloc després de la formació de la serra de Tramuntana. Aixecament que fou conseqüència de la compressió iniciada durant l'oligocè i amb el seu màxim durant el miocè mitjà i que acabà organitzant la serra en un sistema d'escates imbricades amb una direcció de transport vers el

NW i que són els responsables de la configuració dels paredats que en forma de penya-segat tanquen la badia de Pollença (Gelabert et al., 1992). S'Albufereta es disposa de forma paral·lela a la línia de costa amb una longitud aproximada de 2.500 m, des del torrent des Rec fins a l'estany de sa Barcassa i sense comptar els aiguamolls de can Cap de Bou, i té una amplada variable que en, el seu punt màxim, supera els 900 m (Pacheco et al., 1996).

Figura 1. Localització de s'Albufereta de Pollença i context fisiogràfic



a) Vista panoràmica de la zona de s'Albufereta amb la localització dels principals estanys i sortida a la mar, i b) situació dins de la badia de Pollença.

S'Albufereta de Pollença té una història dilatada i complexa, on han dominat i s'han combinat els usos agraris, cinegètics i de pesca. Com a la veïnada Albufera [d'Alcúdia], també s'intentà un procés de bonificació que no resultà reeixit, però que dotà a l'espai d'un bon nombre de canals artificials i síquies (vid. Perelló, 2015). L'any 1978 uns promotors de capital suec proposaren de convertir s'Albufereta en una marina navegable i urbanitzar-ne la marjal. La pressió popular i les primeres iniciatives legislatives de la incipient autonomia balear frenaren els interessos immobiliaris, i en 1991 la Llei 1/91, de 30 de gener, d'Espais Naturals i de règim urbanístic de les àrees d'especial protecció de les Illes Balears (LEN, 1991), li atorgà la categoria d'Àrea Natural d'Espacial Interès (ANEI) i la protegí en termes estrictament urbanístics (Mayol, 2010). No seria fins al 2001 que el decret 121/2001 declarà tota la zona humida com a reserva natural, i la Llei 5/2005 de Conservació d'Espais de Rellevància Ambiental (LECO, 2005) l'acabaria convertint en una reserva natural especial; una figura de protecció ambiental que dins de



les competències autonòmiques, queda reservada a un ús humà moderat, de caràcter tradicional, un ús educatiu i científic i un ús de visita degudament controlat (Mayol, 2010). Avui, per avui, la zona també gaudeix, en el marc de la Directiva Europea Hàbitat, i com a part de la Xarxa Natura 2000, de les figures de Lloc d'Interès Comunitari (LIC) i Zona d'Especial Protecció per a aus (ZEPA) (Cantallops, 2019).

Malgrat que es tracta d'un dels aigüamolls més importants de l'illa de Mallorca, a diferència de les contribucions naturalístiques en el camp de la zoologia, la vegetació o els aspectes tot més ecològics (e. g., Grootaert i Brice, 2023; Herrero i Vicens, 2009; Rebassa, 1999; Siquier et al. 2022), les contribucions sobre el medi físic i els aspectes geològics de s'Albufereta són més aviat escassos. No obstant això, cal esmentar dos estudis a propòsit de la sedimentació recent i superficial de l'estany de sa Barcassa (Fornós i Forteza, 1987) i dels sectors més septentrionals de la resta de l'aigüamoll (Pacheco et al., 1996). Així doncs, en el marc d'un projecte de recerca i d'una campanya de sondeigs mecànics més profunds, juntament amb les tasques de cartografia geomorfològica assistides pels productes recents d'ortofotografia i models digitals d'elevacions a partir de LIDAR, l'objectiu del present treball, és fer una breu descripció dels elements morfològics i dels diferents subambients sedimentaris presents als registre holocènic, per tal d'avançar una evolució sedimentària de l'Albufera de Pollença.

## MATERIALS I MÈTODE

L'aproximació de treball és clàssica, atès que combina la realització d'una cartografia temàtica a partir de campanyes de camp i fotointerpretació dels diferents vols disponibles a la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (<https://ideib.caib.es/visor/>); així com l'elaboració d'un model digital d'elevacions a partir del núvol de punts de la segona cobertura LIDAR (2015-2021) disponibles al Centre Nacional d'Informació Geogràfica (CNIG-IGN) i que per a la zona d'estudi corresponen als fitxers PNOA-BAL-500-4414-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-502-4412-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-502-4416-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-504-4410-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-504-4416-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-506-4410-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-506-4416-ORT-CLA-RGB; PNOA-BAL-508-4412-ORT-CLA-RGB; i al PNOA-BAL-508-4414-ORT-CLA-RGB. Tota la informació s'ha introduït en un sistema d'informació geogràfica utilitzant el programari ARCGIS, que ha permès també calcular els paràmetres morfomètrics i realitzar els diferents perfils topogràfics.

Per tal d'obtenir les primeres dades sobre els dipòsits més recents que rebleixen s'Albufereta i poder fer un primer esbós i descripció del rebliment, així com per observar les fàcies i l'evolució sedimentària més recent, es planificà una campanya de sondejos disposats de forma longitudinal i paral·lels a la línia de costa. Tot i les dificultats d'accés per la presència de canals artificials, així com la impossibilitat d'entrada a finques privades, es pogueren realitzar sis sondejos: dos a la zona de can Cuirassa, un a la zona des Grau (Club Pol·lentia) i tres més a la vora oriental de l'estany de sa Barcassa. Els sondeigs foren realitzats per l'empresa Geoma mitjançant una màquina Rolatec a percussió i amb recuperació del testimoni continu (figura 2). Els testimonis conservats en caixes foren transportats al laboratori, on es procedí a la seva divisió en dues meitats, una per a la descripció del registre i l'altra per al mostratge en intervals de 10 cm separant submostres per a l'anàlisi sedimentològica bàsica (anàlisi granulomètrica, matèria orgànica,

mineralogia per difracció de raigs-X i composició bioclasts/litoclasts). També se separaren mostres per a anàlisi de microfòssils i anàlisi pol·línica. Tanmateix, els resultats que s'abordan en el present treball, atès el seu caràcter introductor i preliminar, corresponen a la descripció bàsica del registre.

Figura 2. Detall de l'extracció del sondeig de Can Cuirassa (ABF-02) mitjançant una màquina Rolatec a percussió (a) i recuperació del testimoni continu (b)



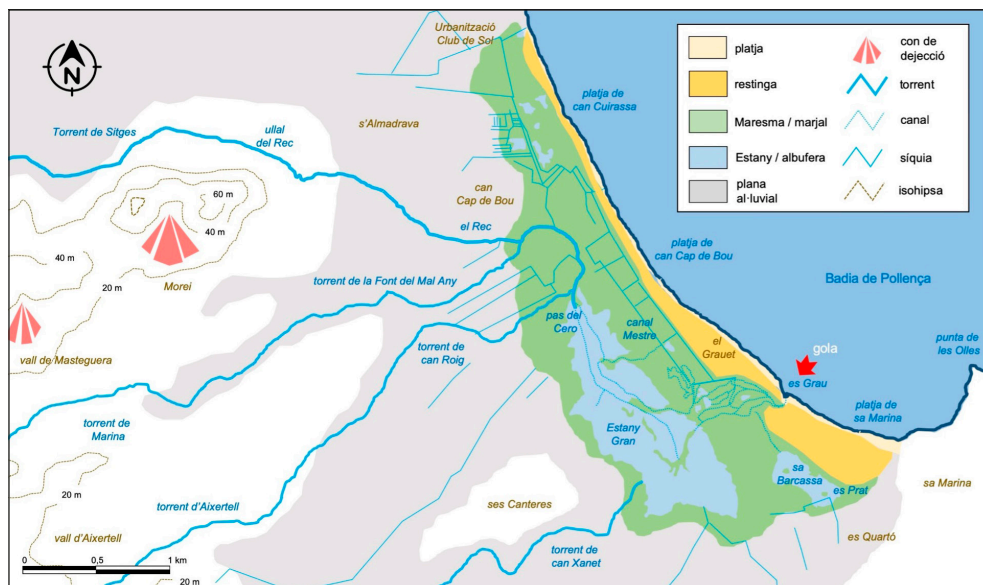
## GEOMORFOLOGIA

### *Context geomòrfic i xarxa de drenatge*

S'Albufereta consisteix en una zona d'estanys i d'aiguamolls solcats per una sèrie de canals separats de la mar per una restinga arenosa, que actualment connecta amb una única gola amb el mar. L'albufera es disposa paral·lela a la línia de costa en el sector més meridional de la badia de Pollença, al nord de l'illa de Mallorca, tot tancant en aquest extrem la petita conca neògena de Pollença (figura 3). Per definició, els límits d'una zona d'aiguamolls són imprecisos; tot i això, la superfície d'aquest sistema natural que no ha estat bonificada o urbanitzada suma 234 ha i es disposa longitudinalment i de forma paral·lela a costa al llarg de 3,6 km entre can Brullet, a l'enclavament de la urbanització Club de Sol, i es Quartó, devora l'estany de sa Barcassa, a l'extrem més oriental de l'albufera, just a tocar d'Alcúdia. Els aiguamolls assolixen una penetració màxima al rerepaís d'1,5 km des de ca na Garrofa, al camí dels Braçals, fins a la línia de costa, tot i que l'amplària mitjana del sistema volta els 850 m. Tanmateix, el sector de l'albufera que queda a l'est del curs del Rec o torrent de s'Albufereta, assolix el 900 m d'amplària mitjana, mentre el que queda a l'oest, resta en 376 m. Tres són els miralls o superfícies que resten habitualment inundades, d'oest a est, l'estany de can Cuirassa, amb 1,2 ha; l'Estany Gran, 54,3 ha i l'estany de sa Barcassa amb 5,7 ha. El primer és el menys profund, i la cota topogràfica descendeix fins als 40 cm per sota del nivell mitjà de la mar, mentre que a l'Estany Gran, bona part de l'aiguamoll s'emplaça per sota dels 90 cm per sota del nivell marí, essent més profunda la bassa com més a l'est avança l'aiguamoll,

ben igual com passa al de sa Barcassa, que en conjunt és el més profund de tots, gairebé un metre per sota del nivell del mar (figura 3).

Figura 3. Croquis geomorfològic de s'Albufereta



Els espais que drenen cap a s'Albufereta de Pollença queden limitats a l'est per una tènue carena que discorre per l'istme d'Alcúdia –un antic camp de dunes plio-quaternàries–, que ascendeix dels 3 m de sa Creu Vella, a tocar de la murada d'Alcúdia, fins als 45 m als peus del puig de Sant Martí (figura 4). Al sud-oest, els relleus del puig dels Òscols (163 m), puig de can Moll (140 m) i el penyal des Migdia a Son Fe (266 m) tancaran el conjunt de regarons i síquies que drenen cap al torrent de can Xanet. A l'oest, el puig de son Vila (333 m), el puig de Navarra (184 m), el puig de Caselles (224 m) i la penya Mascorda (445 m) tanquen la vall d'Aixertell, endinsant 9,3 km terra endins el castell d'aigües que dreña mitjançant el torrent de can Roig cap a s'Albufereta (figura 4). També a l'oest, les tènues carenes entre el puig d'Almadrava (91 m), Masteguera (66 m), el puig d'en Catlar (115 m) i el puig de la Salve (250 m) aboquen cap l'aiguamoll concentrant el flux al fons de la vall de sa Marina, mitjançant el torrent de sa Marina-torrent de la Font del Mal Any. Aquests espais que resten entre el caixer del Rec i l'istme d'Alcúdia són en conjunt una zona de pendents molts suaus (<1 %), unes planes molt accentuades, ja que a 4 km de la costa, amb prou feines s'han assolit els 15 m s.n.m. Un escenari ben equiparable al rerepaís de la vall d'Aixertell o al de can Xanet abans descrits. L'altre aparell fluvial que dreña l'Albufereta és el torrent de Sitges-torrent del Rec, la conca del qual penetra cap a la vila de Pollença i la vall de Colonya, 8 km terra endins i travessa el pla de l'Almadrava. Es tracta, novament, d'una àrea de rost suau i homogeni, que amb prou feines a 4 km de la costa ha assolit els 15 m d'altura sobre el nivell de



### *El sistema albuferenc*

De mar cap a terra es poden separar diferents elements geomòrfics que integren el sistema albuferenc. En primer lloc tenim la restinga, entesa com la franja que separa la mar de l'aiguamoll i que, a manera de cordó dunar longitudinal, està precedida per una platja relativament estreta que es perllonga de forma més o menys contínua al llarg de tot el fons de la badia de Pollença. Es tracta d'una platja que supera, de poc, els 3 km de longitud i que, des d'un punt de vista morfodinàmic, presenta un estadi modal entre platja intermèdia i dissipativa, atès que el calibre del sediment –tot i excepcions que es passaran a comentar tot seguit– correspon a unes arenes mitjanes a fines (1,89 phi). El pendent de la platja, de la profunditat de tancament a la línia de costa, és del 0,5 % (Luque et al., 2021). És, al cap i a la fi, una platja de perfil molt tènue i de la qual a l'ortofotografia pot apreciar-se un sistema complex de barres; amb una barra paral·lela a la línia de costa, 80 m mar endins –molt acusada a la platja de sa Marina i més tènue a la platja de can Cuirassa–, i un seguit de barres transversals o crescentiques de menor entitat entre la barra longitudinal esmentada i la línia de costa. L'amplada de la platja seca, quan hi ha platja –ja que al Grauet (Club Sol) l'androna d'arena és temporalment variable i poques vegades depassa els 3 m d'amplada– en termes mitjans no supera els 10 m ( $9,2 \pm 3,7$  m) i, fins i tot, es poden apreciar diferències espacials al llarg de la badia. La platja seca és més ampla als voltants del pont des Grau, a la gola de s'Albufereta, on s'assoleixen els 10 m d'amplària, o als quasi 17 m del sector central de la platja de can Cap de Bou. Comparant els fotogrames dels vols de 1956 ençà, es pot apuntar que tot i que hi ha sectors que experimenten certa variabilitat interanual i romanen dins un marc d'estabilitat, altres –especialment els ubicats enfront de la zona del Grauet– estan en franca regressió, amb reculades que arriben als 15 m i que es manifesten en evidències com que les restes dels búnquers construïts a l'inici dels anys 40 del segle passat dins del cordó dunar, ara per ara són agranats per l'onatge i resten a la zona de remuntada de les ones (*swash, beach face*).

Els sediments de la platja estan formats per arenes bioclàstiques que presenten una textura força variable, des d'arenes gruixades a arenes molt fines, tots i que en termes generals dominen les arenes mitjanes a fines. A la zona de la gola solen incloure abundants graves i alguns còdols d'ordre centimètric que estan molt rodats. És freqüent la presència d'abundants copinyes de moltes espècies de bivalves, tant marines com d'aigües salobreses (Pacheco et al., 1996). Els temporals de tardor i hivern solen acumular grans quantitats de restes de fulles i rizomes de *Posidonia oceanica* que arriben a formar bermes vegetals –*banquettes*– de més d'un metre de potència i que un cop remanegades per l'onatge poc energètic són transportades, muntades i desmuntades al llarg de la línia de costa en funció de deriva litoral i els vents predominants (figura 5).

Figura 5. La restinga de s'Albufereta de Pollença. Detalls morfològics i registre sedimentari



a) Bermes vegetals formades per l'acumulació de fulles mortes de *Posidonia oceaica* a la zona de sa Marina; b) registre sedimentari a la platja; c) búnquer col·lapsat degut al retrocés que està sofrint la línia de costa actualment.

La platja està travessada pel canal de sortida, la gola, on conflueixen tots els canals que solquen la maresma. Es tracta d'un canal amb una gran variabilitat morfològica que pot arribar a tenir un metre de profunditat i normalment entre 5 i 10 m d'amplada en funció del cabal puntual que porti. En casos excepcionals, pot superar els 20 m d'amplada. La llera del canal està formada per sediments heteromètrics i tant s'observen graves com còdols d'ordre centimètric, molt ben rodats, que alternen amb arenes molt gruixades i molt mal classificades, fruit de la interacció entre la dinàmica marina i la torrencial. La dinàmica hídrica de la gola està molt condicionada tant per la precipitació com per l'oscil·lació del nivell marí degut tant a la marea astronòmica, com a la marea meteorològica, essent molt freqüent la bidireccionalitat dels corrents dins de la gola. Una de les característiques de la gola de s'Albufereta és el seu caràcter estacional d'obertura, de manera que després de pluges intenses es produeix el trencament de la barrera que quedarà ràpidament tancada quan cessa la descàrrega (figura 6). Aquest tancament es produeix la major de les vegades per la deriva litoral, condicionada pels vents predominants de tramuntana i mestral, i modulats per la pressió baromètrica; tot formant una fletxa litoral que normalment va avançant en direcció sud fins a completar el tancament de la gola.

Figura 6. Detall de la gola de s'Albufereta de Pollença



a) La gola té un dinamisme important en funció de la dinàmica marina i torrencial, amb l'obertura i tancament estacionals per la formació de barres per deriva litoral (2) i formació puntual d'un delta (1). b) Dipòsit característic del fons de canal de la gola.

La restinga pròpiament dita consisteix en una barra arenosa, l'amplada de la qual també es força variable, de 29 a 132 m. És especialment ampla al sector del Grau i als voltants de la Gola, però s'estreny des de can Cap de Bou fins a can Cuirassa, on esdevé més estreta. La restinga ha patit un intens procés d'artificialització tant per ser el suport de la carretera que s'hi construí a sobre a la dècada dels quaranta del segle passat, com per les modificacions i aprofitaments que en feren per l'agricultura. També per la indústria extractiva i posteriorment per la freqüentació de la platja (figura 7). Tot plegat, s'ha traduït en un sistema dunar molt poc evident. Són molt escasses les formes associades al transport eòlic que es poden identificar, fins i tot el cordó de la duna d'avantplatja (*foredune*) es desenvolupa assolint cotes i volums poc significatius respecte del context illenc (d'1 a 3 m s.n.m quantificats en el vol LIDAR). Mentre que a la platja de la Marina i el Grauet el cordó dunar assoleix entre 2 i 3 m part damunt del nivell marí, cap a can Cuirassa, la cota de la duna d'avantplatja atén entre 1,5 i 2 m. Les poques formes de dunes incipients o d'ombra o crestes de cordons que s'hi superposen o que han avançat terra endins estan força estabilitzades per la vegetació; bàsicament de tamarells (*Tamarix spp.*) i altres arbusts (Pac-heco et al., 1996). Els sediments que formen les acumulacions de la restinga i les dunes estan formats per arenas bioclàstiques fines a molt fines, ben classificades i amb abundants restes de gasteròpodes continentals i restes orgàniques, especialment de fulles de *P. oceanica* procedents de les acumulacions de les bermes vegetals del front de la platja.

Figura 7. Restes del sistema dunar de la restinga actualment molt degradats per l'activitat antròpica



Després de la platja i la restinga, el següent element de sistema albuferenc que destacar és l'albufera pròpiament dita, que integra els estanys i les maresmes (figura 8). Deixant de banda alguns petits estanys i petites depressions que recullen aigua en moments d'elevades precipitacions, a la zona de s'Albufereta hi destaquen tres estanys més o menys permanents o que s'arriben a assecar en moments de fort estiatge. Es tracta de l'estany de sa Barcassa i els estanys Gran i Petit. Sa Barcassa ocupa una superfície de 5 ha, amb una profunditat mitjana que no arriba al mig metre, tot i que hi ha sectors que assoleixen quasi bé un metre de profunditat. Els altres dos estanys, que de forma habitual es converteixen en un de sol, poden ocupar una superfície deu vegades superior i amb una profunditat un poc major. L'aigua dels estanys és salobrosa, encara que la salinitat és molt variable en relació amb l'estacionalitat, i de característiques mesotròfiques. Puntualment, aquestes masses d'aigua poden experimentar episodis d'anòxia. Els estanys tenen un fons irregular i les pràctiques de gestió actuals de l'espai protegit, desenvolupen activitats de dragatge o la generació de petites illes-barres per tal d'afavorir l'avifauna. Des del punt de vista sedimentològic, els materials que formen aquests estanys corresponen a llims grisos amb elevat contingut de matèria orgànica i restes esquelètiques, sobretot de *Cerastoderma* sp. i alguns gasteròpodes tipus *Hydrobia* sp. (Fornós i Forteza, 1987).



Figura 8. Vista de la maresma i aiguamolls de s'Albufereta amb la formació d'estanys (a) on s'hi concentra abundant fauna aviar (b), caracteritzada per una densa vegetació halòfila (c)



La resta de s'Albufereta no ocupada per estanys és un conjunt complex de maresmes o marjals i canals, que es poden inundar en moments de gran precipitació, i on la vegetació halòfila és clarament dominant a conseqüència de la influència marina sobre la marjal (figura 8), sigui per l'entrada directa d'aigua de la mar a través del sistema de canals, impulsada pel vent, o bé per la possible existència de filtracions en el centre de la llacuna. Hi destaca *Salicornia* sp., i altres espècies com *Arthrocnemum fruticosum*, *Halimione portulacoides*, *Artemisia* sp., *Triglochin* sp., entre d'altres (Fornós i Forteza, 1987). El torrent del Rec, en entrar a s'Albufereta gira bruscament cap al SE, un cop que ha superat can Cap de Bou –segurament forçat pel control estructural i restes d'eolianites plio-quadernàries–, i es manté paral·lel a la restinga fins a bifurcar-se en diferents canals i trencar la restinga a la zona de la gola. En canvi, la resta de torrents queden difuminats en entrar a l'aiguamoll. Aquest fet respon a l'escàs pendent de la zona i a l'escassa aportació d'escolament de la resta de torrents, així com a la intensa artificialització de s'Albufereta amb finalitats agrícoles, atès que, arran de la bonificació, hi ha infinitat de canalons i canals regularitzats que segueixen una trama de parcel·les ans que un gradient topogràfic. De fet, fins i tot el torrent del Rec, de traçat sinuós dins la marjal, exhibeix uns trams ben rectilinis i seguint l'enfilall parcel·lari en segons quins trams. Des del punt de vista sedimentari, aquestes zones estan formades per llims argilosos vermells-marrosons a conseqüència de moments d'inundació per les aportacions torrencials i amb un percentatge elevat de la fracció arena fina en les zones properes al cordó dunar. El percentatge de matèria orgànica també és elevat així com la presència de gasteròpodes continentals i altres mol·luscs d'aigües salobreses.

La transició de les marjals a les zones al·luvials són accentuades pels usos agraris i crida l'atenció uns sòls lleugerament més rogencs. Tanmateix, l'espai està molt antropitzat i són nombroses les marjades

i les parets que condicionen la circulació del flux en aquest espai tan planer. El traçat dels torrents de vegades té formes meandritzants i tènues terrasses, el relleix de les quals són coberts per parats. Els tres últims revolts del torrent de can Xanet, entre les cases velles de can Gosp i can Guixa, abans d'abocar a s'Albufereta en són un exemple, que també té els seus equivalents al torrent de can Roig i al de la Font del Mal Any. Més propers al peu dels relleus que delimiten les conques de cada un dels aparells fluvials s'observen els discrets ventalls al·luvials (cons de dejecció) que des Gatamoix, es Òscols, can Favou o Morell, aboquen cap a la conca que alimenta s'Albufereta.

## HIDROLOGIA

L'aportació d'aigües dolces que alimenta s'Albufereta procedeix de quatre torrents: el torrent de can Xanet, el torrent de can Roig, el torrent de sa Marina-torrent de la Font del Mal Any i el torrent de Sitges-torrent del Rec. Es tracta de cursos fluvials efímers –excepte en el cas del Rec, que s'abordarà seguidament– que presenten un flux irregular, de marcat caràcter estacional determinat per la pluviometria.

Dels cursos fluvials esmentats que arriben a s'Albufereta, malgrat que el tirat o recorregut no és necessàriament el més llarg, el més important en termes de contribució per cabal al sistema albuferenc és el torrent de ses Sitges-torrent del Rec, també conegut com el torrent de s'Almadrava. Aquest presenta una àrea de recàrrega aproximada de 40 km<sup>2</sup> amb una pluviometria mitjana de 900 mm/any, però amb un acusat caràcter estacional que concentra les pluges durant la tardor-hivern. Deixant de banda el seu funcionament hidrològic de caràcter estacional, el seu tret diferencial consisteix en la presència d'una important surgència càrstica, situada a 2 km de la línia de costa, que alimenta de forma esporàdica el torrent amb un gran cabal d'aigua salobre (figura 9). Els valors màxims de salinitat estan associats amb increments intensos de la descàrrega que segueixen les fortes pluges i que es produeixen, especialment, després d'un període de sequera. El control del flux subterrani sembla venir donat tant per les variacions estacionals de pluviometria, com per la recàrrega de l'aqüífer càrstic (Gelabert, 1996; Morales-García i Bolzico, 1998; Sanz, 2007; Sanz et al., 2002).

Figura 9. Bona part de l'aportació hídrica a s'Albufereta prové de l'ullal salobre de s'Almadrava (a), que aporta puntualment un bon cabal al torrent del Rec (b)



La descàrrega es produeix per damunt del nivell de la mar (ca. 5 m s.n.m), essent aquest excés de l'elevació balancejat per la diferència de densitat de l'aigua marina respecte de la salobrosa. La qual cosa explicaria l'increment de la salinitat amb la reducció de la descàrrega. Des del punt de vista hidrològic, una característica de l'aquífer de s'Almadrava és l'elevat grau de salinitat degut a una major intrusió marina després de llargs períodes de sequera i una segona pujada de la salinitat després d'un episodi intens de precipitació. Aquest comportament complex és atribuït per Sanz et al. (2002) als canvis en la pressió entre l'aigua dolça i la marina dins dels conductes càrstics. Tanmateix, el model tradicional de la surgència, segons diversos autors, estaria relacionat amb la presència d'una fractura i situaria la ubicació de la surgència, just en el contacte entre les dolomies juràsiques i els nivells de conglomerats i gresos del miocè inferior (la Unitat Basal de Rodríguez-Perea, 1984). Aquestes dues unitats resten separades per una important discordança que fa pensar en la possibilitat d'ús d'aquest contacte com a via d'ascens de les aigües salobreses. Certament, aquest escenari podria explicar les variacions a petita escala en la salinitat exposada en els models existents explicats en funció de conductes càrstics amb un gran flux, als que s'hi podria afegir un flux de menor intensitat a través d'un medi menys porós.

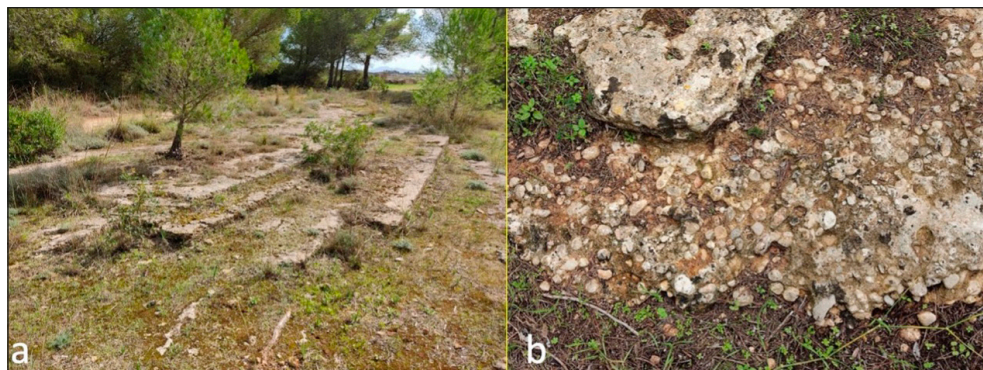
#### EL REBLIMENT SEDIMENTARI

El rebliment sedimentari més recent de la zona de s'Albufereta no és massa important i presenta una potència variable sobre d'un basament també molt irregular fruit de la complexa estructura tectònica en forma d'encavalcaments, característica de la part més septentrional de l'illa, en relació amb els relleus de la serra de Tramuntana (Gelabert et al., 1991, 1992; López-García, 2000). En el marge meridional, el basament està format principalment pels materials estructurats del miocè mitjà, que corresponen a margues i gresos ocre d'ambient marins relativament profunds, damunt dels quals es disposen de forma discordant margocalcàries i llims blancs del miocè superior (?) / pliocè. Ja, a la zona més septentrional, el basament està constituït per les calcàries i dolomies del juràssic inferior. En els límits més occidentals de la maresma, com a la zona de les Rocasses, les dolomies juràsiques hi afloren puntualment fruit d'un paleorelleu.

Els dipòsits corresponents al plistocè superior són poc importants a la zona de s'Albufereta. De fet, només afloren a la zona denominada de sa Marina, a la línia de costa, i es corresponen amb nivells de paleosòls i gresos carbonatats (marès), restes de camps dunars de tipus litoral, poc desenvolupats, i amb presència de dunes parabòliques.

Dins de l'àrea ocupada per s'Albufereta, cal destacar la zona d'es Tullerol, que envolta l'estany de sa Barcassa per la seva part occidental, i que resta ocupada actualment per un pinaret que s'ha instal·lat damunt els dipòsits del plistocè superior. En línies generals, es tracta d'uns dipòsits molt poc importants d'eolianites que han estat afectats per l'activitat fluvial de temps pretèrits, tot deixant com a constància la intercalació de nivells de conglomerats amb clasts molt ben rodats i de composició juràsica que travessen els dipòsits eòlics i amb els quals queden integrats (figura 10). Aquestes eolianites han estat explotades en temps recents per a l'obtenció de marès, a la zona encara hi són visibles les cicatrius i els fils d'explotació d'alguna d'aquestes pedreres (figura 10).

Figura 10. Afloraments d'eolianites del pleistocè a la zona de s'Albufereta, que han estat puntualment explotades per a l'obtenció de marès (a) i que localment estan travessades per canals amb conglomerats (b)



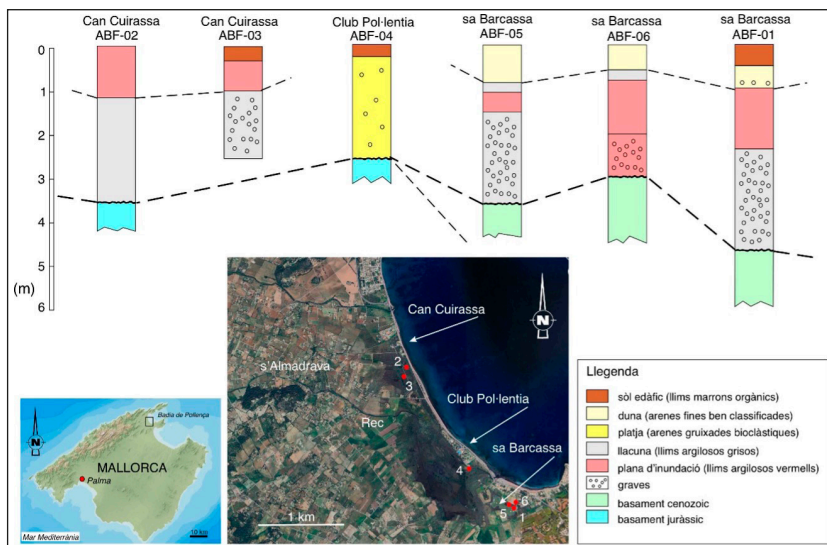
En referència amb el rebliment sedimentari més recent, probablement holocènic (fins a la data ho hi ha datacions en aquesta zona que ho corroborin), no adquireix una potència destacable. De fet, en cap dels sondeigs realitzats (figura 11) s'han superat els 5 m de rebliment, restant la majoria dels registres al voltant dels 3 m i escaig de profunditat. L'escassa potència del registre, en comparació amb el que assoleix la veïnada Albufera d'Alcúdia (vid. Giaime et al., 2017), està condicionat pel paleorelleu i l'estructura tectònica prèvia (López-García, 2000). Els materials del rebliment observats al registre es corresponen, en gran mesura, amb les fàcies sedimentàries descrites per Pacheco et al. (1996) per a cada un dels subambients característics d'aquestes zones albuferenques.

En línies generals, hi predominen d'una forma clara les fàcies llimoses detrítiques, parcialment arenoses i amb aportacions puntuals de graves, de coloracions rogenques; la qual cosa indica que el rebliment de l'àrea es deu principalment a les aportacions al·luvials associades als torrents.

La seqüència de major potència obtinguda correspon al sondeig ABF01, localitzat a la zona de l'estany de sa Barcassa on, damunt del basament format per margues ocre, s'hi disposen graves molt llimoses amb *Cerastoderma*, que van evolucionant a llims arenosos amb molta matèria orgànica i alguna presència de nòduls carbonatats. Aquests darrers es fan més prominents a sostre, formant quasi exclusivament un nivell de graves. Un contacte net dona pas a llims (més argilosos a la base) de coloracions vermelloses, encara que mostrant puntualment taques grises, i que acaba amb un nivell que inclou graves amb clasts ben rodats. La seqüència acaba amb arenes bioclàstiques fines molt ben classificades amb caragols terrestres (*Iberellus*) sobre les que s'hi desenvolupa el sòl edàfic subactual.

Els sondeigs ABF05 i ABF06, realitzats en una zona propera, presenten una seqüència similar que s'inicia sobre el basament amb graves llimoses marrons, a la que segueixen els llims vermellosos i, en aquest cas, un nivell de llims argilosos grisos de poca potència i finalitza amb les arenes fines bioclàstiques ben classificades.

Figura 11. Representació esquemàtica i ambiental del reblliment sedimentari recent de s'Albufereta a partir dels sondeigs realitzats



A la zona de can Cuirassa s'hi feren dos sondeigs, l'ABF02 presenta una seqüència que descansa sobre el basament juràssic i que està formada per llims argilosos grisos amb algunes graves que van evolucionant cap a sostre a llims arenosos, cada cop amb coloracions més vermelloses. Els nivells superiors presenten abundants fragments de copinyes i en especial de *Cerastoderma*. En una zona propera, el sondatge ABF03 presenta característiques semblants, però amb un caràcter més detrític, així a la base hi apareixen llims ocres amb graves força anguloses i culminen la seqüència llims marrons vermellosos damunt dels quals es desenvolupa el sòl actual.

A la zona del Club Pol·lèntia, el sondeig ABF-04 presenta una seqüència diferent de les anteriors. Damunt del basament s'hi disposa un paquet important d'arenes grises força heteromètriques amb abundant contingut de graves subanguloses, força cimentades a la part superior i que evolucionen a sostre cap a llims marronosos i grisos.

### EVOLUCIÓ SEDIMENTÀRIA

Els sondeigs i testimonis obtinguts permeten avaluar les característiques sedimentàries de la transgressió holocena en aquesta zona del nord de l'illa de Mallorca. En línies generals, es pot afirmar que amb les dades obtingudes, similars a les descrites per a altres zones de la Mediterrània occidental (Blázquez et al., 2024), no sembla que la transgressió holocena hagi superat el metre d'altura respecte al nivell actual de la mar.

En aquest sentit, la poca potència dels sediments recentment trobats contrasta amb la important potència del rebliment quaternari present a la veïna albufera d'Alcúdia (Fornós et al., 1996). De la mateixa manera, tenint present l'estabilitat tectònica que es dona a l'illa des de temps relativament recents i per les dades obtingudes de potència del rebliment, no sembla que en aquesta àrea la subsidència sigui molt important. Cosa que si passa a la veïna albufera alcudienca on, probablement, la presència d'una falla normal relacionada amb el llindar meridional de la Serra de Tramuntana (Servera et al., 2009), li confereix una important subsidència (Capó & García, 2019). Si més no, tot apunta que el que es produeix durant aquesta transgressió a la zona de s'Albufereta és el rebliment de la paleotopografia heretada des del darrer glacial i que obeeix a la complexa estructura tectònica de la Serra de Tramuntana.

La confluència de diversos torrents, algun d'ells com el de s'Almadrava o del Rec, amb una gran àrea de captació, implica que aquest rebliment sigui essencialment detrític i format per materials de textura llimosa arenosa, encara que puntualment s'hi poden observar passades de graves de composició carbonatada donades les característiques de l'àrea font.

Dins dels registres obtinguts als sondeigs, es pot observar la successió dels diferents subambients d'aquesta zona albuferenca amb una gran variabilitat tant en la vertical, com en termes espacials. Tal com ja van descriure Pacheco et al. (1996) s'hi poden diferenciar les fàcies de llacunes i estanys, en general poc potents i caracteritzades per una sedimentació llimosa amb presència de matèria orgànica i amb un contingut en major o menor proporció de material terrigen, de més a més de la característica fauna d'aquests ambients salobrosos. Dins les fàcies arenoses, es troben els dipòsits que es corresponen a platges formades per arenes, en general amb una mida de gra d'arena fina a mitja amb un baix grau de classificació i amb abundants fragments de mol·luscs, i les arenes fines a molt fines, molt ben classificades amb restes de vegetació característiques d'una deposició de tipus eòlic. Finalment, també hi són presents les acumulacions de graves, en general formades per còdols ben rodats i que s'associen a la presència de canals dipositats torrents que drenen cap a l'albufera, i que són també els que contribueixen amb la major part dels sediments de caràcter llimós i vermellosos que cobreixen bona part de les zones deprimides en moments de crescuda.

El resultat final és una clara tendència al rebliment de les àrees més deprimides, que és especialment visible en els vessants de les vores oriental i meridional, on els materials albuferencs són coberts pels dipòsits d'al·luvions procedents del desmantellament de les elevacions properes de la zona de Son Feu de Son Sant Martí.

## CONCLUSIONS

S'Albufereta localitzada a la badia de Pollença, al nord de l'illa de Mallorca, presenta les característiques morfològiques bàsiques d'una típica albufera mediterrània. Està formada per una sèrie d'estanys i aiguamolls separats de la mar per una restinga integrada per un sistema de duna i platja. Puntualment, la restinga està travessada per una gola que dona sortida a la mar a l'aigua de les aportacions dels torrents. Des del punt de vista sedimentari, hi dominen les aportacions de materials detrítics fins, encara que també hi són presents els grollers, aportats per les crescudes torrencials, que s'afegeix a la mateixa producció

biogènica i orgànica dels estanys i maresmes. Aquests sediments tendeixen al reblliment (en general poc potent que descansa sobre el basament irregular format pels materials del juràssic i del miocè) de la depressió que fou inundada i tancada per una barra litoral, conformant un sistema platja-duna, després del darrer estadi glacial en l'etapa d'estabilització holocena del nivell de la mar.

Malgrat la forta antropització soferta pel sistema albuferenc, s'Albufereta es pot considerar un exemple característic dels trets morfològics i sedimentològics representatius d'una albufera i, en línies generals, deixant de banda les intervencions humanes, encara manté bona part de les funcions ecològiques. Comparat amb altres indrets de la conca mediterrània podem considerar que el seu estat de conservació és relativament bo.

#### AGRAÏMENTS

El nostre agraïment a la Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat de la Conselleria de Medi Ambient i Territori per la concessió dels permisos per a treballar en aquest espai protegit. Volem agrair la col·laboració del director del parc Maties Rebassa, així com als seus tècnics per la seva ajuda. La present contribució s'emmarca dins del projecte PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033, finançat per l'Agència Estatal de Investigación (AEI) i del projecte PID2021-123223NB-I00, finançat per MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ i "FEDER Una manera de hacer Europa". Aquest treball és també part de les activitats de l'Equip de Recerca Arqueològica i Arqueomètrica de la Universitat de Barcelona (ERAAUB) finançat per la DIUE de la Generalitat de Catalunya mitjançant l'AGAUR (2021 SGR 00696).

#### REFERÈNCIES

- Blázquez, A.M., López-Belzunce, M., Rodríguez-Pérez, A-E., Guillem, J., Ferrer, C., Nieto, M., Torres, T. & Ortiz, J. E. (2024). The role of the Holocene transgression in the environmental changes of lagoons and marshes of the Mediterranean coast. *Marine Geology*, 47, 107286.
- Cantallops, M. (2019). La Reserva Natural Especial de s'Albufereta (Mallorca): evolució des de la seva declaració (2001-2018). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 62, 109-134.
- Capó, A. & García, C. (2019). Basin filling evolution of the central basins of Mallorca since the Pliocene. *Basin Research*, 31(5): 1-19.
- Cooper, J. A. G. (1994). Lagoons and microtidal coasts. En Carter, R. W. G. & Woodroffe, D. D. (eds.). *Coastal Evolution* (pp. 219-265). Cambridge University Press, Cambridge.
- Fornós, J. J., Barón, A. & Pons, G.X. (1996). Evolució neogena de la zona de s'Albufera d'Alcúdia (Mallorca, Illes Balears). I. Descripció de la serie estratigràfica (sondatge 1) i facies sedimentàries. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 39, 139-154.
- Fornós, J. J. & Forteza, V. (1987). Estudi biosedimentològic de l'Estany de sa Barçassa de l'Albufereta de Pollença (Mallorca). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 31, 123-142.

- Giaime, M., Morhange, C., Cau-Ontiveros, M. A., Fornós, J. J., Vacchi, M., & Marrinier, N. (2017). In search of Pollentia's Southern harbour: Geoarcheological evidence from the Bay of Alcúdia (Mallorca, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 466, 184-201.
- Gelabert, B. (1996). *Funcionamiento hidrogeológico del sector oriental de la Serra de Tramutana de Mallorca*. 30 Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 26 p.
- Gelabert, B., Sàbat, F., & Rodríguez-Perea, A. (1991). Estructura geològica de la península de Formentor (Mallorca). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 34, 85-94.
- Gelabert, B., Sàbat, F., & Rodríguez-Perea, A. (1992). A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203, 167-183.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P., & Fornós, J. J. (2007). El litoral de Mallorca: Síntesi geomòrfica. En Fornós, J. J., Ginés, J., & Gómez-Pujol, L. (eds.). *Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca* (pp. 39-59). Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- Grootaert, P. & Brice, D. (2023). Description of a new Chersodromia Walker (Diptera: Hybotidae, Tachydromiinae) from salt marshland at the Reserva natural de s'Albufereta, Mallorca, Spain. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 66, 157-165.
- Herrero, C. & Vicens, P. (2009). Efectos de 10 años de protección de s'Albufereta y consecuencias de la gestión sobre la población de aves acuáticas en invierno en s'Albufereta y s'Albufera de Mallorca. *Anuari Ornitològic de les Balears*, 24, 27-36.
- Hesp, P. A. & Short, A. D. (1999). Barrier morphodynamics. En Short, A. D. (ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics* (pp. 307-333). Wiley, Chichester.
- LECO (2005). Llei 5/2005, de 26 de maig, per a la conservació dels espais de rellevància ambiental. *Bolletí Oficial de les Illes Balears*, 85, de 4 de juny de 2005. [https://www.caib.es/sites/institutestudisautonomics/ca/n/llei\\_52005\\_de\\_26\\_de\\_maig\\_per\\_a\\_la\\_conservacio\\_dels\\_espais\\_de\\_rellevancia\\_ambiental\\_-58826/](https://www.caib.es/sites/institutestudisautonomics/ca/n/llei_52005_de_26_de_maig_per_a_la_conservacio_dels_espais_de_rellevancia_ambiental_-58826/)
- LEN (1991). Llei 1/1991, de 30 de gener, d'Espais Naturals i de Règim Urbanístic de les Àrees d'Espacial Protecció de les Illes Balears. *Bolletí Oficial de la Comunitat Autònoma de les Illes Balears*, 31, de 9 de març de 1991. [https://www.caib.es/sites/institutestudisautonomics/ca/n/llei\\_11991\\_de\\_30\\_de\\_gener\\_despais\\_naturals\\_i\\_de\\_regim\\_urbanistic\\_de\\_les\\_arees\\_despecial\\_proteccio\\_de\\_les\\_illes\\_balears-62748/](https://www.caib.es/sites/institutestudisautonomics/ca/n/llei_11991_de_30_de_gener_despais_naturals_i_de_regim_urbanistic_de_les_arees_despecial_proteccio_de_les_illes_balears-62748/)
- López-García, J. M. (2000). Cartografía geològica y estructuración tectònica del sector comprendido entre Pollença y la Bahía de Pollença (Mallorca). *Boletín Geológico y Minero*, 111(5), 19-32.
- Luque, P., Gómez-Pujol, L., Marcos, M., & Orfila, A. (2021). Coastal Flooding in the Balearic Islands During the Twenty-First Century Caused by Sea-Level Rise and Extreme Events. *Frontiers in Marine Science*, 8, 676452.
- Mayol, J. (2010). Geografia i història dels espais naturals protegits a les Illes Balears. En Mayol, J., Muntaner, L., & Rullan, O. (eds.). *Homenatge a Bartomeu Barceló i Pons, geògraf* (pp. 637-654). Lleonard Muntaner Editor, Palma.



- Morales-García, R. & Bolzico, J. (1998). *Estudio hidrogeológico del funcionamiento del manantial de s'Almadrava (Mallorca)*. 32 Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 22 p.
- Oertel, G. F. (2005). Coastal lakes and lagoons. En Schwartz, M. L. (ed.). *Encyclopedia of Coastal Science* (pp. 263-265). Springer: Dordrecht.
- Pacheco, P., Pons, G. X., Sintés, E., & Fornós, J. J. (1996). Geomorphology and biosedimentological characterization of a lagoon System in a microtidal western Mediterranean embayment (Albufereta de Pollença, Balearic Islands). *Zeichrift für Geomorphology N.F.*, 40(1), 117-130.
- Perelló, P. (2015). *La presència anglesa a la Gran Albufera del Nord de Mallorca (1863-1896)* (5). Llibres lliures.
- Pirazzoli, P. A. (1993). *Les littoraux. Leur évolution*. Nathan Université: Luçon, 189 pp.
- Rebassa, M. (1993). Nova localitat de cria de l'arpella (*Circus aeruginosus*) a Mallorca. *Anuari Ornitològic de les Balears*, 8, 48-50.
- Rodríguez-Perea, A. (1984). *El Mioceno de la serra Nord de Mallorca (Estratigrafía, Sedimentología e Implicaciones estructurales)*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears, 533 pp.
- Rosselló, V. M. (1993). Albuferas mediterráneas. *Cuadernos de Geografía*, 53: 35-64.
- Sanjaume, E. & Pardo, J. E. (2000). Albuferes litorales: estado de la cuestión. En De Andrés, J. R. & Gracia, F. J. (eds.). *Geomorfología litoral. Procesos Activos* (pp. 115-140). ITGME, Madrid.
- Sanz, E. (2007). *Brackish springs in coastal aquifers and the role of calcite dissolution by mixing waters*. PhD Thesis. Institute of Earth Sciences "Jaume Almera", CSIC, 133 pp.
- Sanz, E., Custodio, E., Carrera, J., Ayora, C., Barón, A., & González, C. (2002). Modelling coastal salty springs: First approach in carbonate media (sAlmadrava, Mallorca, Spain). 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands, 195-203.
- Servera, J., Gelabert, B., & Rodríguez-Perea, A. (2009). Development and setting of the Alcudia Bay beach-dune System (Mallorca, Spain). *Geomorphology*, 110(3-4), 172-181.
- Siquier, J. L., Pintos, À., Salom, J. C., & Planas, J. (2022). Aportació al coneixement de la funga de la reserva natural de s'Albufereta (Mallorca, Illes Balears). *Revista Catalana de Micologia*, 42, 19-36.
- Ward, L. G. & Ashley, G. M. (1989). Introduction: Coastal Lagoons Systems. *Marine Geology*, 88, 181-185.

Cómo citar este artículo:

Fornós, J. J., Gómez-Pujol, LL, Cau-Ontiveros, M. A., & Mas-Florit, C. (2024). S'Albufereta de Pollença (Mallorca): una introducció a la seva geomorfologia i l'evolució sedimentària recent. *Cuadernos de Geografía*, 112, 85-105. <https://doi.org/10.7203/CGUV.112.28843>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



JOAN CARLES MEMBRADO-TENA<sup>a</sup>

JORGE HERMOSILLA-PLA<sup>b</sup>

## AVALUACIÓ QUALITATIVA DEL PAISATGE OLEÍCOLA DEL MAESTRAT (PAÍS VALENCIÀ)

### RESUM

Aquest article estudia i avalua qualitativament el paisatge del sistema agrícola de les oliveres del Maestrat (País Valencià) mitjançant un mètode qualitatiu basat en el projecte SAMUTER (Sistemes Agroalimentaris Multifuncionals Territorialitzats), que estudia i descriu sistemes agrícoles alternatius al model agroindustrial imperant actualment a escala mundial. Els resultats mostren que el sistema oleícola del Maestrat coincideix amb la major part dels criteris que defineixen un SAMUTER, sobretot pel que fa a la preservació del paisatge. Per contra, quant a la producció alimentària, l'olivar del Maestrat no entra dins dels paràmetres dels SAMUTER. Determinades condicions mediambientals (sòl i clima) i una elevada edat mitjana dels llauradors propicien una producció de baixa qualitat, que sobreviu només gràcies al sistema cooperativista i a les ajudes de la PAC (Política Agrícola Comuna). Només un petit nombre d'oleicultors maestratencs produeix un oli d'alta qualitat que compleix amb els criteris dels SAMUTER.

PARAULES CLAU: paisatge cultural; sistema oleícola; SAMUTER; avaluació qualitativa; Maestrat.

---

a ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio). Departament de Geografia, Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València. joan.membrado@uv.es, <http://orcid.org/0000-0001-6961-1449>

b ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio). Departament de Geografia, Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València. jorge.hermosilla@uv.es, <http://orcid.org/0000-0003-1125-2556>

Fecha de recepción: 28-05-2024. Fecha de aceptación: 30-07-2024.

## QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE MAESTRAT OLIVE-GROWING LANDSCAPE (VALENCIAN COUNTRY)

### ABSTRACT

This article studies and qualitatively evaluates the landscape of the agricultural system of olive trees in Maestrat (Valencian Country) using a qualitative method based on the MTAS project (Multifunctional Territorialized Agri-food Systems), which studies and describes alternative agricultural systems to the agro-industrial model currently prevailing worldwide. The results show that Maestrat olive-growing system coincides with most of the criteria that define a MTAS, especially with regard to the preservation of the landscape. On the other hand, in terms of food production, the Maestrat system does not fall within the MTAS parameters. Certain environmental conditions (soil and climate) and the high average age of the farmers are conducive to low-quality production, which survives only thanks to the cooperative system and CAP (Common Agricultural Policy) aid. Only a small number of olive growers in Maestrat produce high quality oil that meets the MTAS criteria.

KEYWORDS: cultural landscape; olive-growing system; MTAS; qualitative evaluation; Maestrat.

### INTRODUCCIÓ

El paisatge és un lligam entre la Geografia Humana i la Geografia Física. És la capacitat de la cultura humana per a transformar la natura per tal que hi done un fruit que servisca per a millorar la vida de les persones transformadores. Els canvis que han patit en les últimes dècades els paisatges agrícoles han estat radicals, gràcies a l'auge tecnològic. En aquest article s'analitza el paisatge cultural oliverar del Maestrat segons un mètode qualitatiu per a avaluar sistemes agrícoles híbrids que combinen tradició, multifuncionalitat, governança i pràctiques sostenibles com a base per al desenvolupament territorial. Aquests tipus de sistemes defineixen els anomenats SAMUTER (Sistema Agroalimentari Multifuncional i Territorialitzat), projecte espanyol finançat pel Ministeri de Ciència, Innovació i Universitats, i desenvolupat per diversos equips d'investigadors, entre els quals el grup ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio, de la Universitat de València) analitza els SAMUTER de diverses comarques agrícoles valencianes, com ara l'oliverera del Maestrat.

En contrast amb els sistemes agroindustrials hegemònics, orientats a la producció d'aliments a gran escala i sense característiques territorials, un SAMUTER reivindica la identitat territorial a partir de produccions úniques derivades de pràctiques més sostenibles basades en unes condicions mediambientals particulars que proporcionen un paisatge valuós amb caràcter (Sanz-Cañada i Muchnik, 2016). A més, els SAMUTER abracen i promouen alguns dels ODS (Objectius de Desenvolupament Sostenible) de l'Agenda 2030 de les Nacions Unides, com ara els mercats de proximitat, l'agricultura familiar i la governança participativa on els llauradors, les empreses i les institucions es vinculen al territori a través de la diferenciació productiva i el manteniment d'un paisatge singular, fet que es tradueix en un turisme cultural sostenible que propicia ocupació i que consumeix productes locals (Martínez-Arnáiz et al., 2022).

Arran del projecte sobre el SAMUTER oleícola del Maestrat s'han publicat diversos treballs com ara una comunicació (Membrado-Tena et al., 2023) per al XVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía, una altra per al 9th EUGEO Congress (Membrado-Tena, 2023), i una publicació per a la revista *Land* (Membrado-Tena i Hermosilla-Pla, 2023), que segueixen una metodologia similar, però un enfocament més superficial per tal d'introduir al públic internacional l'olivar maestratenc. Aquest article presenta una perspectiva que aprofundeix més en aspectes locals i va dirigida a un públic interessat en la realitat agrària d'una subcomarca mediterrània de secà.

L'objectiu principal d'aquest article és saber fins a quin punt el sistema oleícola del Maestrat correspon a la definició d'un SAMUTER. Altres objectius són conèixer la profunditat i tradició històriques de l'oleïcultura maestratenc, la viabilitat econòmica del producte que ofereix actualment el SAMUTER oliverer del Maestrat, i les possibilitats que ofereix la protecció i explotació del paisatge agrícola local.<sup>1</sup>

### MARC TEÒRIC

Diverses escoles de pensament han abordat la qüestió de les relacions entre territori i sistemes locals de producció alimentària, basant-se en la sostenibilitat productiva i la preservació d'un paisatge que identifica el territori (Armesto-López, 2005; Zimmerer i Vanek, 2016; García-Azcárate, 2020). Interessada per aquesta relació entre alimentació i paisatge, la nova Política Agrícola Comuna (2023-2027) estimula la protecció del paisatge mitjançant un nou pagament vinculat a la seua conservació. Diversos autors argumenten que cal reforçar tant la qualitat dels aliments com la del paisatge identitari que els propicia (Camaioni et al., 2016; Flinzberger et al., 2022; Martínez-Arnáiz i Baraja-Rodríguez, 2022).

D'altra banda, diversos paisatges alimentaris han estat reconeguts com a paisatge cultural per la UNESCO, com ara les terrasses arrossaires de Honghe Haní a la Xina, els cafetars de Colòmbia, les piteres (*Agave americana*) a Mèxic, les oliveres i vinyes a Palestina i, en especial, les terres vitivinícoles (Alto Douro portugués, Xampanya i Borgonya franceses, Piemont i Treviso italians, Tokaj hongarés o Wachau austríac). En aquesta línia, la FAO (Organització per a l'Agricultura i l'Alimentació) de les Nacions Unides ha establert un programa anomenat amb l'acrònim SIPAM (Sistema Important del Patrimoni Agrícola Mundial) que també posa en valor el paisatge al costat de la producció alimentària. Els paisatges SIPAM es caracteritzen per les seues pràctiques tradicionals, aliments singulars, mosaics paisatgístics complexos i per una gran diversitat biocultural (Agnolletti, 2019). Des del 2005, la FAO ha designat com a SIPAM 86 sistemes en 26 països, cinc dels quals a Espanya i dos al País Valencià: el

---

1 Després de la seua recent jubilació, el número 112 de la revista *Cuadernos de Geografía* de la Universitat de València ret homenatge a la catedràtica de Geografia Física Francesca Segura Beltrán. L'article que ací es presenta té una relació notable amb la comarca (el Baix Maestrat) i el poble d'origen (Xert) d'aquesta catedràtica. Encara que la docent homenatjada no està especialitzada acadèmicament en Geografia Agrària, no són poques les publicacions de Geografia Física de Francesca Segura que ajuden a comprendre millor la realitat natural –els secans, les rambles i les riuades, les roques i la vegetació, el clima– de la nostra zona d'estudi i que són citades en aquest article. Aquest article és el nostre homenatge particular a Francesca Segura, ja que tracta al voltant d'un tema que ella coneix de primera mà, on es reflexiona sobre la vinculació entre el paisatge i l'alimentació que produeix.

Sistema Històric de Regadiu de l'Horta de València i el Sistema Agrícola de les Oliveres Mil·lenàries del Territori Sènia (compartit entre Catalunya i València). La part valenciana (comarca del Maestrat) d'aquest darrer sistema és objecte d'anàlisi en aquest article.

Entre els paisatges mediterranis, l'olivera, juntament amb la vinya i el cereal, forma una trilogia que es remunta a l'Antiguitat. En ple segle XXI, Espanya compta amb la més gran producció d'oli d'oliva del món, concentrada especialment a Andalusia (Sánchez-Martínez i Garrido-Almonacid, 2018). Al vessant oriental de la Mediterrània ibèrica hi ha algunes regions seques i pedregoses, normalment menys productives que les d'Andalusia, on la tradició oliverera també es remunta a l'Antiguitat i on encara continua produint-se oli en l'actualitat. Una d'aquestes comarques és la del Maestrat, al nord del País Valencià i fitant amb el Montsià català, amb què comparteix el mateix sistema de cultiu de l'olivera. Cal destacar que el Maestrat i el Montsià posseeixen en l'actualitat la major acumulació catalogada d'oliveres mil·lenàries de la conca mediterrània i del món sencer.

### ZONA D'ESTUDI

Al sistema agrícola oliverer del Maestrat l'olivera es cultiva probablement des de l'època ibèrica i la presència d'aquest arbre es remunta de manera fefaent a l'època islàmica, si tenim en compte els exemplars d'olivera mil·lenària supervivents hui dia. A l'antiguitat els cultius maestratencs eren –allà on el fred no ho impedia– els propis de la trilogia mediterrània i així es mantingueren en les èpoques romana, islàmica, cristiana medieval i moderna i fins a la segona meitat del segle XX quan el cereal i la vinya van ser descartats per poc rendibles i substituïts per les més lucratives oliveres o simplement abandonats i reemplaçats pel matollar i el bosc en les zones més costerudes (Segura-Beltran, 2017). Aquesta regió, que ha passat del policultiu tradicional al monocultiu de l'olivera, gestiona la major part de la producció oleícola a través de cooperatives agroindustrials, on el producte final es ven no necessàriament a mercats de proximitat sinó allà on el paguen millor. Només una minoria de productors busquen pràctiques sostenibles, marca de qualitat territorial i proximitat comercial, i s'alineen amb la filosofia dels SAMUTER com a alternativa als sistemes agroindustrials imperants.

El SAMUTER oleícola del Maestrat abraça deu municipis, triats d'acord amb criteris estadístics basats en què l'oliverar ocupe més del 40 % de la superfície conreada a cada municipi. Per ordre d'ocupació oliverera els municipis són els següents: Canet lo Roig (93 %), La Jana (87 %), Rossell (84 %), Sant Mateu (76 %), Traiguera (65 %), Xert (65 %), La Salzedella (64 %), Tírig (61 %), Sant Rafel del Riu (44 %) i Cervera del Maestrat (41 %) (figura 1).

Figura 1. Municipis que formen part del SAMUTER oleícola del Maestrat



Font: Portal Estadístic de la Generalitat Valenciana (2023).

A l'oleïcultura del SAMUTER del Maestrat hi predominen les varietats autòctones d'olivera sobre terrenys de secà (Segura-Beltran i Sanchis-Ibor, 2013), que no s'ha transformat en regadiu davant l'absència de rius d'aigua perenne (Segura-Beltran, 2003). Com ja s'ha dit més amunt, aquesta zona oliverera valenciana i la catalana confrontant, separades pel riu de la Sénia, alberguen el major nombre d'oliveres mil·lenàries del món. Per aquest motiu, van ser reconeguts per la FAO el 2018 com a SIPAM. Aquest reconeixement va ser promogut per la Mancomunitat de la Taula del Sénia, una entitat supramunicipal que inclou la majoria dels municipis –encara que no a tots– del SAMUTER del Maestrat i a altres dels territoris veïns de València, Aragó i Catalunya. Els criteris per a delimitar el SIPAM oliverer del Territori del Sénia es basen en la distància dels termes municipals que el componen respecte al riu Sénia i són diferents dels criteris explicats per al SAMUTER oleícola del Maestrat, però donada la rellevància del reconeixement SIPAM s'ha considerat pertinent mostrar el mapa de superposició dels dos territoris (figura 2).

Figura 2. Sistema agrícola de les Oliveres Mil·lenàries del Territori Sènia (SIPAM)



Font: Mancomunitat de la Taula del Sènia (2018), Institut Cartogràfic Valencià (2023).

## METODOLOGIA

La metodologia emprada deriva principalment de la revisió bibliogràfica, lligada sobretot, quant al marc teòric, a les distintes publicacions sobre el projecte SAMUTER, i quant al contingut, a la literatura sobre les oliveres, particularment les del Maestrat. També s'ha dut a terme treball de camp; s'ha elaborat cartografia pròpia; s'han realitzat entrevistes; i s'ha fet servir un mètode d'avaluació de la qualitat paisatgística i patrimonial.

Les entrevistes van ser decisives per a comprendre el context oleícola del Maestrat. S'entrevistaren dos representants de sistemes cooperatius agroindustrials, dos sindicalistes agraris, un productor privat i un llaurador propietari d'oliveres mil·lenàries.

Realitzades a la tardor del 2022, les entrevistes son semiestructurades i van ser consensuades amb el grup de treball SAMUTER del Departament de Geografia de la Universitat de València. Les preguntes tracten temes com ara el sistema agrari i el manteniment o no del seu caràcter, les tècniques tradicionals que hi sobreviuen, la sostenibilitat mediambiental i socioeconòmica, el reconeixement dels polítics cap a aquest sistema, i la identificació col·lectiva de la societat amb aquest sistema agrari. Cada entrevista ha tingut una durada entre una hora i una hora i mitja.

Quant al mètode d'avaluació de la qualitat paisatgística i patrimonial, aquest va ser confeccionat en primer lloc per Mayordomo-Maya i Hermosilla-Pla (2019) per al cas de l'Horta de València. Posterior-



ment va ser adaptat a les particularitats dels SAMUTER (Mayordomo-Maya i Hermsilla-Pla, 2022) per tal de poder aplicar-lo a tots els sistemes agroalimentaris estudiats dins aquest projecte, tant valencians com de la resta d'Espanya. Aquest mètode es basa en tres categories de valors: intrínsecs, patrimonials i potencials i de viabilitat. Els valors intrínsecs (1) es refereixen al valor inherent o endogen del propi paisatge i als valors de representativitat, autenticitat, integritat ecològica i visibilitat i qualitat visual. Els valors patrimonials (2) inclouen atributs exògens que influeixen i alteren les característiques inherents del paisatge, com ara valors històrics, socials, simbòlics, identitaris, artístics, informatius i científics. Els valors potencials i de viabilitat (3) es refereixen a la capacitat d'un paisatge per a ser millorat mitjançant l'avaluació de la seua producció, seguretat i qualitat alimentàries, consciència entre els agents socials, participació i integració de les comunitats locals, rendibilitat socioeconòmica, vulnerabilitat i accessibilitat (vegeu taula 1). Per a aprofundir més sobre el que valora cada criteri, cal consultar la publicació de Mayordomo-Maya i Hermsilla-Pla (2022).

## RESULTATS

Aquesta secció mostra els resultats de l'aplicació del mètode d'anàlisi de la qualitat paisatgística i patrimonial del SAMUTER del Maestrat seguint els criteris que es mostren a la taula 1.

### *Valors intrínsecs*

#### 1. Representativitat

Cal destacar el predomini agrícola de l'oliverar. Aquest cultiu no ha deixat d'expandir-se al Maestrat a l'últim mig segle, en detriment de la vinya i els cereals. D'acord amb el productor local entrevistat, aquest paisatge oleícola produeix només una petita part d'oli verge extra i monovarietal, apreciat per la seua excel·lent qualitat i el subtil sabor picant i amarg. Per contra, a causa d'una sèrie de factors mediambientals que s'explicaran més avant, la major part de la producció del Maestrat es plega d'en terra i es tracta d'oli d'oliva llampant, ço és, de mala qualitat (llampant vol dir que es feia servir per a cremar oli a les làmpades o cresols i fer-hi llum). L'oli llampant no es pot consumir directament: s'ha de refinar mitjançant un procés agroindustrial i sol vendre's com a oli per a conserves vegetals o conserves de peix a mercats que no són de proximitat.

Els principals valors del paisatge oleícola del Maestrat provenen dels seus notables oliverars amb estructures parcel·làries i viàries poc alterades i amb una arquitectura tradicional de pedra seca; però sobretot, l'originalitat d'aquest paisatge deriva de les monumentals oliveres mil·lenàries, que són el testimoni viu d'un antic paisatge cultural. D'acord amb els sindicalistes entrevistats, gràcies a l'actuació d'uns quants valents llauradors amb una visió estratègica i mediambiental de futur, es va posar fi a l'espoliació d'oliveres mil·lenàries, després de l'aprovació de la Llei Valenciana de Patrimoni Arbori Monumental el 2006, aprovada per unanimitat a les Corts Valencianes (Boletín Oficial del Estado, 2006). Posteriorment, el 2018, per iniciativa política de la Mancomunitat Municipal Taula del Sénia, el territori del Sénia (incloent-hi la major part del sistema oleícola del Maestrat) va ser declarat SIPAM

per la seua resiliència agrícola i el seu paisatge cultural mil·lenari. Aquestes mesures conservacionistes han contribuït a la preservació d'aquest paisatge i dels seus serveis ecosistèmics.

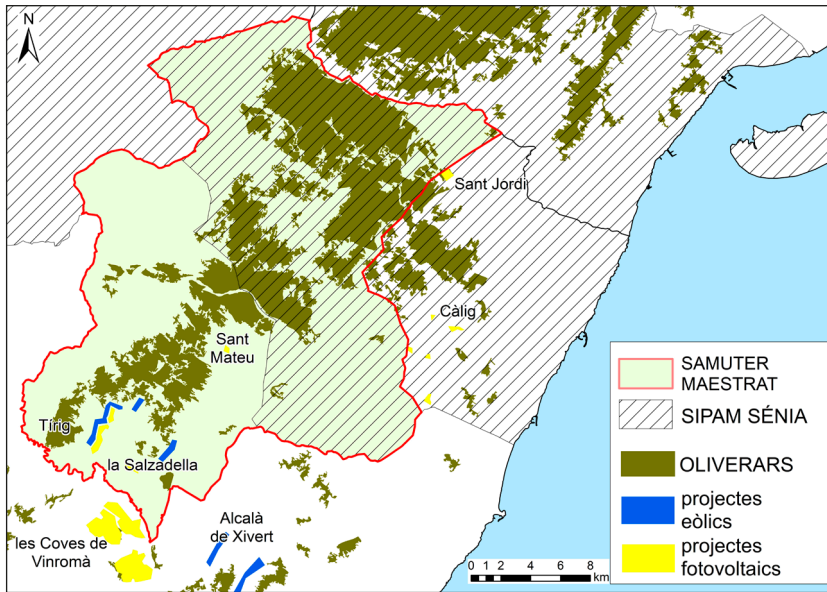
## 2. Autenticitat

Els oliverars maestratencs, en general, i les oliveres mil·lenàries, en particular, juntament amb l'arquitectura tradicional de pedra seca i la pervivència de les estructures tradicionals de camins i parcel·les representen una identitat paisatgística ben preservada on el lligam entre l'ésser humà i la naturalesa és palés. Segons els sindicalistes entrevistats, les pràctiques de producció han evolucionat progressivament per adaptar-se a la nova lògica socioeconòmica: el treball manual de poda i recol·lecció s'ha mecanitzat i ha incidit en la millora de la qualitat de vida dels llauradors. No s'han aplicat mesures de recuperació del paisatge, ja que els cultius no s'han abandonat mai. En general, la majoria dels llauradors es preocupen sobretot pels rendiments econòmics, però alguns també per preservar el paisatge, evitar la venda indiscriminada d'oliveres mil·lenàries i oposar-se a la instal·lació de grans parcs eòlics o solars que fragmenten i distorsionen el paisatge.

La figura 3 mostra com els grans projectes de centrals eòliques i solars romanen lluny del SAMUTER oliverar del Maestrat. Tot i això, a la perifèria oriental (Sant Jordi, Càlig), hi ha diversos projectes de plantes fotovoltaïques. D'altra banda, en una zona no inclosa al SIPAM del Territori del Sénia, hi ha alguns petits projectes d'hortes solars (Sant Mateu, Tírig, La Salzadella), i un de gran a les Coves de Vinromà (fora del SAMUTER, però fitant-hi). També hi ha projectes de parcs eòlics a Tírig i, adjacent al SAMUTER, a Alcalà de Xivert.

Que gran part del SAMUTER oliverar del Maestrat s'haja lliurat fins ara de la instal·lació de macroprojectes d'energies renovables deriva de l'alt grau de protecció de què gaudeix la zona, ja que més de la meitat del SAMUTER forma part també del SIPAM del Territori del Sénia, on la concentració d'oliveres mil·lenàries és més gran. És fora del l'àrea SIPAM del SAMUTER que proliferen petits projectes d'energies renovables i, en terres adjacents al SAMUTER, projectes més grans.

Figura 3. Plantes solars i eòliques al SAMUTER del Maestrat i voltants



Font: Mancomunitat de la Taula del Sènia (2018), Institut Cartogràfic Valencià (2023) i Agència Europea del Medi Ambient (2018).

### 3. Integritat ecològica

Cal destacar les varietats d'oliva autòctones com ara la farga, la morruda, el cuquello o la canetera. L'agricultura ecològica és encara minoritària i propicia una coberta vegetal sota l'arbre mentre es troba en latència hivernal i tècniques de birba mecànica que afavoreixen la regeneració del sòl i combaten l'erosió, en contraposició a l'ús de productes químics (Pastor et al., 1999). L'entorn no està particularment degradat, ja que la zona està poc poblada i poc industrialitzada. La contaminació de l'aigua no és un problema urgent i l'ús indiscriminat de productes químics està actualment controlat gràcies a les mesures restrictives que dicta la UE.

### 4. Visibilitat i qualitat visual

La visió de les oliveres des dels miradors pot considerar-se harmoniosa i organitzada i sovint genera benestar en l'observador novell. Els principals miradors són les Muntanyes de Sant Pere (La Jana, Traiguera) i la Vall d'Àngel (Sant Mateu) (vegeu figura 4).

Figura 4. Mirador de la Vall d'Àngel (Sant Mateu), amb el poble de Xert al fons



Font: Antoni Martínez Bernat.

### *Valors patrimonials*

#### 5. Històric

La història de l'olivar a l'actual Maestrat es remunta als ibers que, sota influència grega, van aprendre a empeltar oliveres silvestres i convertir-les en oliveres per a cultiu (Alonso, 2000). Durant l'expansió i auge de l'Imperi Romà, va augmentar el cultiu de l'olivera i es van millorar els mètodes de cultiu, recol·lecció, mòlta i emmagatzematge de l'oli. Especialment prestigiosa era la producció d'oli d'oliva de les províncies Bètica (vall del Guadalquivir) i d'Apúlia (al sud de la Península Itàlica) (Angles, 2007). L'agricultura romana i tardoromana era harmònica amb el clima mediterrani: els cultius que componen la seua trilogia no són més que una adaptació d'espècies presents al bosc mediterrani (Trillo, 1999). Amb l'arribada dels àrabs a Espanya (segle VII), es va ampliar la gamma de cultius, sense abandonar mai la clàssica trilogia mediterrània de cultius (Kirchner, 2014).

Els colons cristians van mantenir aquesta ancestral producció oleícola. Hi ha notables testimonis en la documentació medieval del Maestrat que fan referència a oliverars i trulls (Mancomunitat de la Taula del Sénia, 2018). Cal destacar que alguns molins d'oli històrics es troben actualment en ruïnes, però altres han estat rehabilitats, com ara de Cervera del Maestrat, que va ser construït en època medieval i va funcionar fins al 1920. Va ser declarat Bé d'Interès Cultural per la Generalitat Valenciana el 2007 i convertit en Centre d'Interpretació el 2018.

Segons el productor local entrevistat, durant la segona meitat del segle xx, les oliveres van substituir la majoria dels cereals i la vinya, i així el SAMUTER del Maestrat es va convertir quasi en monocultiu. Aquest procés no és exclusiu del Maestrat: va afectar àmplies zones de secà de l'Espanya mediterrània on, abans de la seua expansió, l'oliverar formava part d'un sistema de policultiu divers (Infante-Amate, 2012). L'actual monocultiu d'oliveres al SAMUTER del Maestrat ofereix serveis ecosistèmics a la població no agrícola, especialment per l'absorció d'emissions de CO<sup>2</sup>. Els llauradors haurien de ser compensats per les autoritats polítiques pel manteniment d'aquest paisatge vegetal no urbanitzat.

## 6. Social

Un dels sindicalistes entrevistats informa que gràcies a la mecanització i atesa la baixa rendibilitat del conreu, el nombre d'oleicultors s'ha reduït i molts propietaris d'explotacions, a canvi del manteniment, cedeixen les seues explotacions a llauradors no propietaris, que són beneficiaris dels rendiments agrícoles (inclosos els ajuts de la PAC).

## 7. Simbòlic/identitari

Les oliveres mil·lenàries són el principal aspecte simbòlic i identitari del SAMUTER maestratenc. Aquestes han sobreviscut a cultures, gelades, inundacions i sequeres. Durant la dècada de 1990 i fins al 2006, alguns d'aquests arbres mil·lenaris van desaparèixer del seu entorn a causa de les vendes per a ser trasplantades a jardins privats llunyans com a mers objectes ornamentals, encara que la majoria han sobreviscut gràcies a un actiu grup de defensors del paisatge local del Maestrat. Aquests defensors dels arbres mil·lenaris van advocar per la seua protecció i van aconseguir tirar endavant una Llei Valenciana de Patrimoni Arbore Monumental. Hui, les més de 2.500 oliveres mil·lenàries del Maestrat (quasi 5.000 si sumem les de la veïna comarca del Montsià) són un testimoni viu d'aquest dinàmic paisatge cultural i de la complexa identitat mediterrània (Rabasa-Edo i Vivas-Gimeno, 2020) (vegeu figura 5).

Les oliveres del Maestrat, sobretot les més antigues, comparteixen el seu espai amb pous, cabanes (barraques) i murs de pedra seca. Cal assenyalar que la tècnica de construcció en pedra seca, Patrimoni Mundial de la UNESCO des del 2018 (Revuelto, 2020), constitueix un valor cultural excepcional i un recurs mediambiental i econòmic, ja que els murs o marges de pedra seca entre parcel·les ajuden a fixar el terra inclinat en cas d'inundació (Sanchis-Ibor i Segura-Beltran, 2014). A més, les barraques de pedra seca donen recer al llaurador i ramader en cas de tempestes, i els pous de pedra seca s'utilitzen per a extraure els minso recursos hídrics de la zona, fruit d'una precipitació escassa al llarg de l'any que sovint es concentra en alguns –pocs– episodis anuals de pluges torrencials (Camarasa-Belmonte i Segura-Beltran, 2001). La pedra seca, com a expressió física de la capacitat de l'ésser humà per adaptar-se al medi, és un element essencial que dona caràcter al paisatge oliverar del Maestrat.

Figura 5. Olivera mil·lenària del Pou del Mas (La Jana, Maestrat)



Font: Antoni Martínez Bernat.

## 8. Artístic

Potser l'expressió artística més notable associada a aquest paisatge la represente la pel·lícula *El Olivo*, dirigida per Iciar Bollaín (2016), en què una xicona de 20 anys decideix anar a Düsseldorf (Alemanya) per a recuperar l'arbre mil·lenari que la seua família hi havia venut. D'altra banda, alguns activistes a favor de les oliveres mil·lenàries van mobilitzar la societat civil de la comarca i província, incloent-hi pintors i escriptors que van contribuir a difondre el costat artístic d'aquest SAMUTER.

## 9. Informatiu/científic

A més, el Col·legi de Farmacèutics de la província de Castelló, així com l'Associació d'Amics de l'Olivera i el sindicat agrari valencià Unió Llauradora i Ramadera, van col·laborar en la divulgació científica i la protecció d'aquest paisatge únic a través de la Llei Valenciana de Patrimoni Arbori Monumental (Boletín Oficial del Estado, 2006).

### *Valors potencials i de viabilitat*

#### 10. Producció alimentària, seguretat i qualitat

Com s'ha dit, la major part de l'oli del Maestrat és llampant, és a dir, de baixa qualitat. És per això que cal sotmetre'l a un procés agroindustrial de refinat i barreja (*coupage*) per a la seua conversió en oli verge i posterior distribució en mercats de mitjana distància, com ara la indústria de conserves vegetals de Navarra. Segons totes les persones entrevistades, les condicions mediambientals determinen la producció d'aquest oli de baixa qualitat, ja que, al novembre i al desembre, els vents de mestral bufen violentament a través de la vall de l'Ebre i desemboquen a la Mediterrània per diverses comarques, entre elles el Maestrat (Berthou et al., 2018). Més del 80 % de la collita d'olives pot caure a terra a causa d'aquests forts vents i els llauradors han de plegar la collita del terra, utilitzant cultivadors de pues mecanitzades. La qualitat de les olives en aquestes condicions no permet la producció d'oli d'oliva verge extra.

Els cooperativistes entrevistats assenyalen que les cooperatives locals tenen un paper fonamental en l'emmagatzematge, el refinat agroindustrial i la comercialització d'aquestes olives caigudes i fetes malbé.

Aquesta producció agroindustrial d'oli d'oliva es gestiona en més del 80 % de la producció maestratenca a través de cooperatives, que faciliten –possibiliten– la transformació de l'oliva i la venda de l'oli a desenes de llauradors que, o bé són massa vells per a autogestionar-se, o bé tenen una altra font principal d'ingressos i l'oliva només és un complement econòmic.

Els nous patrons de consum global i la creixent competència espanten els llauradors i els productors d'aliments a innovar per a cercar estructures de producció i distribució més eficients. En les darreres dècades, l'agricultura i la indústria alimentària mostren una col·laboració creixent, ja que una coordinació més gran pot conduir a una major eficàcia en la producció i la distribució. Els canvis al mercat alimentari plantegen la qüestió de si les cooperatives continuen sent organitzacions eficients per processar i comercialitzar els productes agrícoles (Hendrikse i Bijman, 2002; Karantininis i Nilsson, 2007).

En el cas del SAMUTER del Maestrat les cooperatives no funcionen com un negoci innovador per a millorar la renda dels agricultors, sinó només com una eina de supervivència per a garantir uns ingressos mínims –complementats pels ajuts de la PAC– que almenys permeten als agricultors mantenir les seues explotacions. Al Maestrat, les cooperatives representen l'immobilisme empresarial, però almenys garanteixen la supervivència del paisatge i, en aquest sentit, contribueixen a reforçar l'agrosistema oliverer del Maestrat.

Segons un dels sindicalistes entrevistats, en el passat hi va haver alguns intents per a crear una gran cooperativa d'oli d'oliva que agrupara totes les petites cooperatives municipals de la comarca. Tot i això, els recels de cada municipi –la política del *campanile*– va impedir la creació d'aquesta gran cooperativa que poguera subministrar una quantitat d'oli suficient per a poder negociar els preus amb les cadenes de distribució. Per tant, el paper de les cooperatives municipals al Maestrat, tot i que és crucial per mantenir el paisatge i garantir als agricultors uns ingressos mínims, no és prou com a catalitzador d'aquest sistema agrari.

Segons el productor local entrevistat, menys del 20 % de la producció d'oli del Maestrat es cull de l'arbre abans de l'arribada dels vents, i es tracta i es distribueix com a oli verge extra de qualitat

monovarietal. A causa de la recol·lecció primerenca, aquest oli verge extra té matisos picants i amargs, que li confereixen un sabor original molt apreciat a les fires internacionals, que han premiat recentment diferents marques d'oli del Maestrat. Aquest tipus d'oli d'alta qualitat està gestionat per petits productors que sovint practiquen l'agricultura ecològica i venen el producte a través de canals de distribució curts (normalment dins del territori valencià).

Els petits productors solen seguir les indicacions de la nova PAC (2023-2027), que fomenta les pràctiques d'agricultura ecològica i, en general, la protecció del paisatge (Mesa-Manzano i Esparcia-Pérez, 2021), tot i que aquestes mesures han trobat una forta contestació, com ara a l'hivern del 2024, lligada també a l'augment del preu del combustible i als acords comercials amb països de fora de la UE.

Tant els petits llauradors com les cooperatives solen produir una xicoteta part de l'oli verge extra a partir d'oliveres mil·lenàries, cosa que els afegeix valor patrimonial i identitari i desperta l'interés per una producció de qualitat vinculada a un paisatge extraordinari i únic.

D'aquesta manera, trobem un model dual de producció d'oli al Maestrat: d'una banda, el model cooperativista de supervivència, seguit per la majoria dels llauradors (especialment els de més edat i els que tenen la terra com a ocupació secundària); de l'altra, el model dels productors privats, seguit per alguns llauradors relativament joves, que viuen principalment de la terra i opten per un oli de qualitat amb una marca prestigiosa, bones pràctiques agrícoles i un mercat regional de proximitat. La proximitat al mercat és crucial perquè mitiga els efectes mediambientals causats pel transport d'aliments a llarga distància i permet la sobirania alimentària, que és crítica en moments de restriccions a la distribució d'aliments com els viscuts recentment, causats pel COVID19 o la invasió russa d'Ucraïna (Delgado-Viñas i Gómez-Moreno, 2022).

Pel que fa als serveis ecosistèmics, del SAMUTER del Maestrat se'n beneficien les persones per la prestació de serveis com ara l'alimentació, el manteniment de l'estructura del sòl i els serveis hidrològics, sinó també per la biomassa segrestadora de CO<sub>2</sub> atmosfèric, que passa a formar part de les estructures llenyoses de les plantes i redueix el diòxid de carboni atmosfèric. La sostenibilitat ecològica vinculada als serveis ecosistèmics té el potencial d'impulsar un canvi paradigmàtic en la gestió i planificació de l'ús de la terra a través de decisions politicoeconòmiques (Albert et al., 2014; Angelstam et al., 2019), com ara les iniciades per la UE amb els seus nous esquemes ecològics de la PAC (2023-27). Això proporciona més incentius per a les pràctiques agrícoles respectuoses amb el medi ambient i protectores del paisatge.

## 11. Sensibilització dels agents socials

Cal destacar que els directius de les cooperatives gestionen la major part de la producció d'oli de baixa qualitat seguint el mètode agroindustrial i la distribució posterior en mercats més o menys llunyans, mentre que els petits productors d'oli verge extra de qualitat fan servir mètodes més plausibles des del punt de vista mediambiental (bones pràctiques) i venen a mercats més pròxims.

## 12. Participació i integració de les comunitats locals

Cal destacar la sinergia que es produeix entre les cooperatives i els habitants dels pobles maestra-tencs. Hi ha una cooperativa a quasi tots els municipis i algunes ofereixen serveis agrícoles i, alhora,



bancarís (línies de crèdit). A més, els productors privats molen la collita utilitzant la maquinària pròpia de la cooperativa. Els pobles del Maestrat que depenen del cultiu de l'olivera són menuts, de població envellida i en procés de des població (Alamà-Sabater et al., 2023), per la qual cosa han de recórrer necessàriament a fórmules cooperatives per a sobreviure.

### 13. Rendibilitat socioeconòmica

La producció cooperativa sol donar resultats mediocres, ja que els preus no els fixen els socis de la cooperativa, sinó els distribuïdors externs. Pocs llauradors subsisteixen amb els ingressos procedents de l'olivicultura: el minifundisme prolifera al Maestrat (Moya et al., 2005) i per a poder sobreviure cal gestionar almenys entre 35 i 40 hectàrees que, sovint, s'han de complementar amb els ingressos de la ramaderia intensiva de les explotacions adjacents a la propietat oliverera i, sobretot, amb les ajudes de la PAC. Sense l'ajuda de la UE, la majoria dels productors deixarien de treballar les terres i el paisatge es desfiguraria. A diferència de la fèrtil vall andalusa del Guadalquivir (major productor mundial d'oli d'oliva), la terra de secà del Maestrat és calcària (Segura-Beltrán i Sanchis-Ibor, 2013) i pobra i les condicions climàtiques fan que la qualitat del producte siga precària si no es cullen les olives abans que arriben els vents i les llancen en terra. D'altra banda, com ja s'ha dit, d'acord amb els criteris del SAMUTER, alguns productors no cooperatius superen les dificultats mediambientals collint el fruit abans de la seua previsible caiguda i aconseguixen una qualitat olivarera notable, complementada amb bones pràctiques ecològiques. Aquest valor afegit del producte permet controlar millor el preu de venda i normalment es ven a nivell comarcal o autonòmic.

### 14. Vulnerabilitat

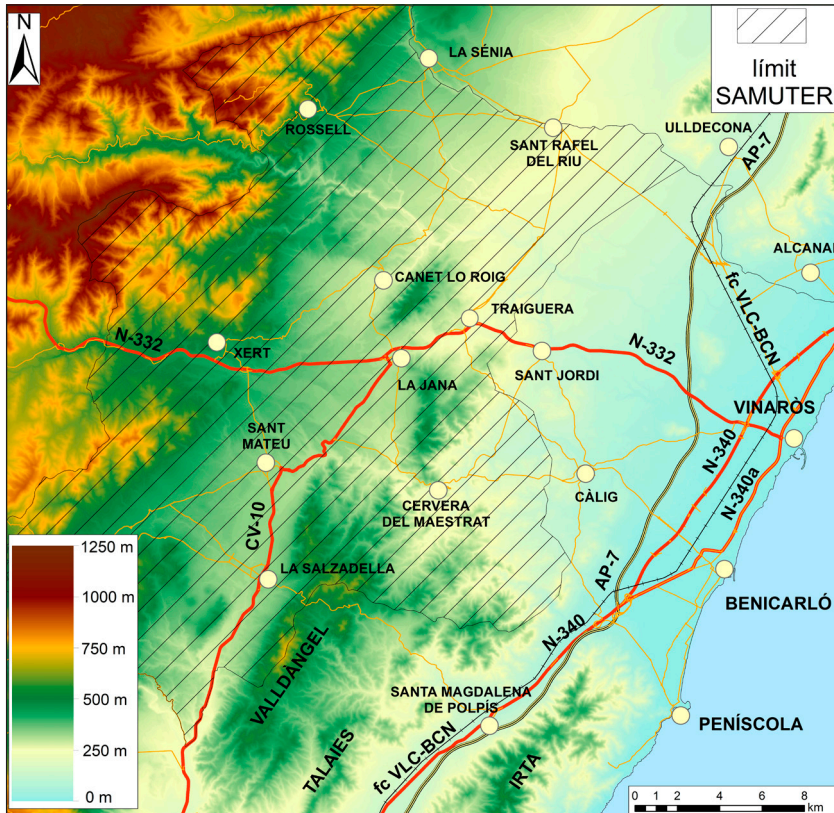
L'envelliment de la pagesia, la manca de relleu generacional i els baixos ingressos econòmics són els aspectes més vulnerables d'aquest SAMUTER. La Llei de Patrimoni Arbori Monumental i el reconeixement SIPAM no permeten ja ni l'espoliació d'oliveres mil·lenàries ni la instal·lació indiscriminada de parcs eòlics o solars. Per contra, la pagesia –responsable de la cura del paisatge– no es veu compensada per la manca d'aquells previsible ingressos. A més, els oleïcultors del Maestrat se senten agreujats, ja que l'únic ajut públic que reben, procedent de la PAC, és tres vegades inferior al que perceben els oleïcultors andalusos. Aquest greuge és resultat d'una negociació entre Espanya i la UE que es remunta a fa més de dues dècades i que s'hauria de revisar i actualitzar (Moyano, 2020). Aquests aspectes fan vulnerables els llauradors del Maestrat, i els més jòvens difícilment continuaran amb les oliveres familiars si no tenen expectatives de millora econòmica.

### 15. Accessibilitat

El SAMUTER oliverer del Maestrat compta amb un notable avantatge respecte a altres zones agrícoles en procés de des població, ja que es troba a tan sols 20-30 quilòmetres d'una conurbació formada per ciutats com ara Vinaròs, Benicarló i Peníscola (vegeu figura 6). En aquesta zona urbana hi ha alternatives d'ocupació no agrícola plausibles per als oleïcultors, que hi poden treballar i, alhora, continuar vivint als seus pobles i obtenir uns ingressos complementaris de la producció d'olives, mantenint així

l'extraordinari paisatge d'oliveres del Maestrat. D'altra banda, la proximitat d'aquesta aglomeració i del seu mercat laboral també és un inconvenient, ja que facilita l'abandonament de les explotacions olivereres, especialment per part dels jòvens, que s'estimen més treballar als serveis o la indústria d'aquesta conurbació litoral.

Figura 6. Conurbació litoral i SAMUTER oleícola del Maestrat



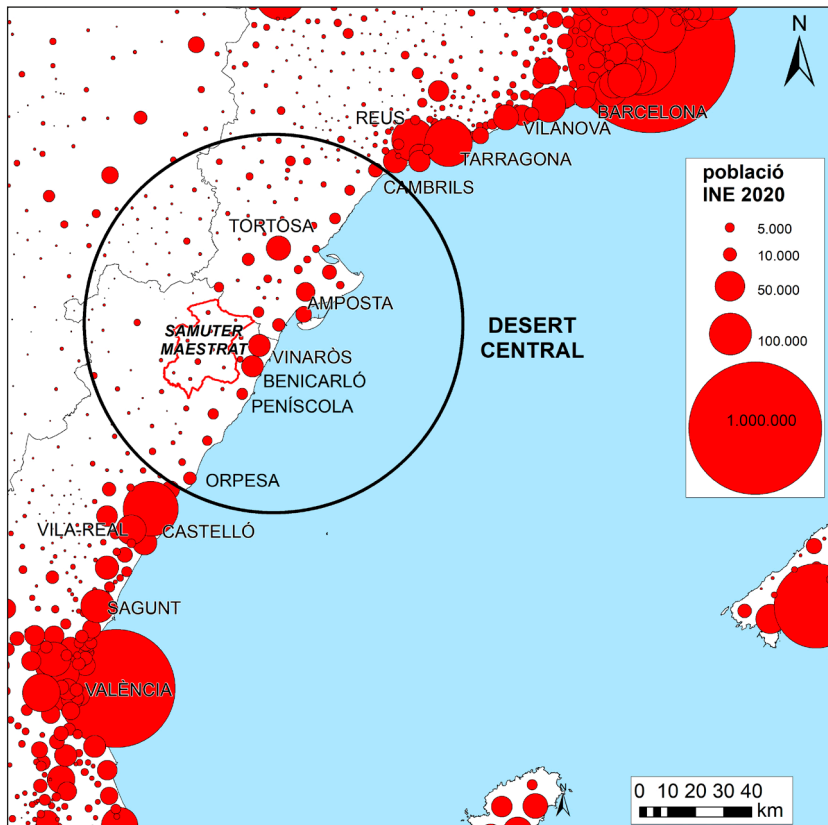
Font: Institut Cartogràfic Valencià (2023).

Els agricultors jòvens del Maestrat difícilment conservaran el sistema oliverer si no veuen perspectives econòmiques que els motiven a quedar-s'hi. Aquesta manca d'estímuls per a continuar treballant la terra és una característica comuna de l'agricultura mediterrània. S'argumenta que el camp és poc atractiu per als jòvens, ja que no només comporta ingressos baixos, sinó també riscos climàtics, horaris de treball incerts, preus de venda fluctuants, viure en zones més aïllades i manca d'incentius públics (Eistrup et al., 2019). La importància creixent de les ciutats com a mercat laboral és un repte, ja que facilita l'abandonament de les explotacions per part dels jòvens per a buscar faena en zones urbanes

properes (Sroka et al., 2019), com és el cas de l'aglomeració urbana de Vinaròs Benicarló-Peníscola, al Maestrat litoral, a només 20 o 30 minuts del SAMUTER oleícola del Maestrat.

Malgrat que els joves del Maestrat oleícola poden fugir cap a la conurbació litoral del Maestrat, la majoria se'n van fins i tot més lluny (cap a Barcelona, Castelló, València, etc.), ja que el Baix Maestrat, així com les comarques veïnes del Montsià i el Baix Ebre, malgrat ser comarques litorals, conformen una àrea demogràficament poc poblada que podria definir-se com un desert central entre les àrees metropolitanes de València i Barcelona. Les terres litorals de l'Ebre i el Maestrat conformen planes petites envoltades de serres, com ara l'irta o el Montsià, amb un clima ventós que dificulta les activitats humanes. Aquests condicionaments físics, però sobretot la relativa llunyania als centres de poder, que ha generat un aïllament secular, ha generat aquesta àrea *desèrtica* quant a població. Malgrat tot, en la franja litoral entre Peníscola i la Ràpita i Ebre amunt entre Amposta i Tortosa hi ha més densitat de població que a la resta de la regió (vegeu figura 7).

Figura 7. Desert demogràfic central entre València i Barcelona



Font: elaboració pròpia.

### Avaluació global

Es mostra a la taula 1 el resultat de l'aplicació del mètode d'avaluació de la qualitat paisatgística i patrimonial adaptat per als territoris SAMUTER (Mayordomo-Maya i Hermosilla-Pla, 2022). Cada criteri es puntuja mitjançant un senzill sistema binari basat en el compliment de cadascuna de les 45 variables del mètode. Així, si la qualitat es compleix, se li assigna un valor d'1; si no, de 0. No hi ha ponderació ni jerarquia de cap indicador sobre els altres. Aquest sistema de quantificació permet una operativitat més gran dels indicadors i n'ha demostrat l'eficàcia en els sistemes d'avaluació del patrimoni. La qualificació global de cada SAMUTER s'obté mitjançant la suma de les puntuacions atorgades a les 45 variables. El resultat s'expressa en una escala de 0 a 10 punts i s'utilitzen 6 nivells d'interès patrimonial: Molt alt (8,6-10); Alt (7,2-8,5); Mitjà (5,8-7,1); Baix (4,4-5,7); Molt baix (3-4,3); i Sense interès (0-2,9). Així mateix, és possible l'avaluació de cada categoria de manera individual, mitjançant el sumatori de les puntuacions dels seus criteris.

S'observa com la puntuació és alta o molt alta: els valors lligats al patrimoni paisatgístic són els més alts: responen a les característiques d'un SAMUTER. En canvi, els valors potencials i de viabilitat tenen una puntuació alta i prou, ja que trobem deficiències en aspectes com ara la possibilitat d'abandonament dels camps, la no compensació als llauradors per conservar el paisatge, la qualitat de la producció alimentària o la venda de proximitat. Quant als valors intrínsecs, l'agrobiodiversitat és escassa, com també ho és l'agricultura ecològica, mentre que les practiques tradicionals estan perdent-se. No obstant això, el sistema oleícola del Maestrat comparteix la majoria dels criteris d'avaluació que defineixen els SAMUTER.

Taula 1. Aplicació del mètode d'avaluació al SAMUTER del Maestrat

Categories	Criteris	Puntuacions		Categories
		Variables		
Valors intrínsecs	1. Representativitat	1.1. Tipològica	1	7,5 - alta (9/12)
		1.2. Territorial	1	
		1.3. De cultius	1	
	2. Autenticitat	2.1. Morfologia tradicional	1	
		2.2. Pràctiques tradicionals	0	
		2.3. Mesures de recuperació	1	
	3. Integritat ecològica	3.1. Agrobiodiversitat	0	
		3.2. Agricultura ecològica	0	
		3.3. Conservació mediambiental	1	
	4. Visibilitat i qualitat visual	4.1. Diversitat i harmonia	1	
		4.2. Coberta vegetal	1	
		4.3. Panoràmiques	1	

Categories	Criteris	Puntuacions		Categories
		Variables		
Valors patrimonials	5. Històric	5.1. Vincles històrics	1	10 - molt alta (15/15)
		5.2. Vestigis agraris	1	
		5.3. Assentaments històrics	1	
	6. Social	6.1. Paisatge dinàmic	1	
		6.2. Organització	1	
		6.3. Coneixement de les tradicions	1	
	7. Simbòlic / Identitari	7.1. Folklore	1	
		7.2. Imaginari col·lectiu	1	
		7.3. Esdeveniments	1	
	8. Artístic	8.1. Expressions artístiques	1	
		8.2. Pintoresquisme	1	
		8.3. Valor estètic	1	
	9. Divulgatiu / Científic	9.1. Actius culturals	1	
		9.2. Documentació científica	1	
		9.3. Col·lectius propaisatge	1	
Valors potencials i de viabilitat	10. Producció, seguretat i qualitat alimentària	10.1. Seguretat	1	8,3 - alta (14/18)
		10.2. Mercats de proximitat	0	
		10.3. Qualitat agrícola	0	
	11. Sensibilització agents socials	11.1. Reconeixement del paisatge	1	
		11.2. Compensació per cuidar el paisatge	0	
		11.3. Difusió del paisatge	1	
	12. Participació i integració de les comunitats locals	12.1. Gestió del paisatge	1	
		12.2. Recerca del paisatge	1	
		12.3. Governança territorial	1	
	13. Rendibilitat socioeconòmica	13.1. Cadenes agroalimentàries	1	
		13.2. Sostenibilitat	1	
		13.3. Paisatge com a actiu econòmic	1	
	14. Vulnerabilitat	14.1. No abandonat	0	
		14.2. No amenaçat per desenvolupament urbà	1	
		14.3. Sense interès pels agents	1	
15. Accessibilitat	15.1. Camps accessibles	1		
	15.2. Camins històrics	1		
	15.3. Accés carreteres	1		
Puntuació global				8,4 - Molt Alta (38/45)

Font: elaboració pròpia a partir de Mayordomo i Hermosilla (2022).

## CONCLUSIONS

El paisatge oliverer del Maestrat respon als criteris del SAMUTER quant a aspectes patrimonials i identitaris, basats en un paisatge diferenciat i amb caràcter, on el secà no ha estat substituït pel regadiu, ni les estructures parcel·làries o viàries han estat regularitzades, ni l'arquitectura rural tradicional de pedra seca ha estat bandejada. A més, els serveis ecosistèmics que ofereix són notables, per bé que els llauradors que els mantenen no reben a canvi cap compensació més enllà de l'ajuda de la PAC.

La protecció legal, mitjançant una llei que salvaguarda els arbres monumentals, ha aturat la venda indiscriminada d'oliveres mil·lenàries, mentre que la declaració SIPAM ha dificultat la instal·lació de parcs solars i èdlics. Aquest paisatge excepcional, gràcies a les campanyes publicitàries que en realcen el valor, ha donat prestigi a l'oli d'oliva verge extra del Maestrat i els milers de turistes que visiten cada any el arbres mil·lenaris són consumidors d'oli maestratenc.

Quant a la producció, encara queda molt per a fer per a allunyar-la de les dinàmiques agroindustrials actuals. A causa d'una sèrie de condicionaments físics i de l'avançada edat de la pagesia, la major part de les olives es gestionen a través de cooperatives que venen a mercats més o menys llunyans en funció del que dicte el canal de distribució, i l'oli que en produeixen és de baixa qualitat. La gestió cooperativa, almenys, permet la supervivència de l'agricultura familiar, que té cura d'un paisatge mil·lenari que ofereix serveis ecosistèmics i culturals extraordinaris.

Només uns pocs llauradors innovadors han decidit produir oli de qualitat i aprofitar el prestigi associat al seu paisatge mil·lenari per a donar-li més valor afegit. Aquesta producció minoritària sí que compleix els criteris dels SAMUTER: proximitat entre la producció i el consum, sostenibilitat mediambiental, agricultura familiar, governança participativa, arrelament territorial a través dels productes locals i preservació del paisatge, i propicia un turisme cultural sostenible que genera ocupació i que compra i consumeix la producció agrícola local.

## BIBLIOGRAFIA

- Agència Europea del Medi Ambient. Corine Land Cover (CLC) 2018. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- Agnoletti, M., Emanuelli, F., Corrieri, F., Venturi, M., & Santoro, A. (2019). Monitoring traditional rural landscapes. The Case of Italy. *Sustainability*, 11(21), 6107. <https://doi.org/10.3390/su11216107>
- Alamà-Sabater, L., Budí-Orduña, V., Rubert-Nebot, Juan J., Villalba, M. J., Oruña, O., & Bergadà, D. (2023). La economía de los cuidados en la provincia de Castellón. A J. Hermosilla Pla (coord.). *L'economia de les cures i el mercat laboral valencià/La economía de los cuidados y el mercado laboral valenciano* (pp. 83-103).
- Albert, C., Aronson, J., Fürst, C., & Opdam, P. (2014). Integrating ecosystem services in landscape planning: requirements, approaches, and impacts. *Landscape Ecology*, 29, 1277-1285. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0085-0>

- Alonso, N. (2000). Cultivos y producción agrícola en época ibérica. *Segvntvm*, 3, 25-46. <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/57676>
- Angelstam, P., Munoz-Rojas, J., & Pinto-Correia, T. (2019). Landscape concepts and approaches foster learning about ecosystem services. *Landscape Ecology*, 34, 1445-1460. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00866-z>
- Angles, S. (2007). Les Appellations d'Origine Protégée (AOP) d'huile d'olive de l'Union européenne. Une analyse comparative (Espagne, France, Grèce, Italie et Portugal). *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, 109, 79-84.
- Araújo, R. G., Chavez-Santoscoy, R. A., Parra-Saldívar, R., Melchor-Martínez, E. M., & Iqbal, H. M. (2023). Agro-food systems and environment: Sustaining the unsustainable. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 31, 100413. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100413>
- Armesto-López, X. A. (2005). Notas teóricas en torno al concepto de postproductivismo agrario. *Investigaciones geográficas*, 36, 137-156. <https://doi.org/10.14198/INGEO2005.36.01>
- Berthou, S., Mailler, S., Drobinski, P., Arsouze, T., Bastin, S., Béranger, K., & Lebeaupin Brossier, C. (2018). Lagged effects of the Mistral wind on heavy precipitation through ocean-atmosphere coupling in the region of Valencia (Spain). *Climate dynamics*, 51, 969-983. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3153-0>
- Boletín Oficial del Estado (2006). *Ley 4/2006, de 19 de mayo, de patrimonio arbóreo monumental*. Generalitat Valenciana, 2006. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2006/BOE-A-2006-11581-consolidado.pdf>
- Buttel, F. H. (2006). Sustaining the unsustainable: agro-food systems and environment in the modern world. *Handbook of rural studies*, 213-229. <https://doi.org/10.4135/9781848608016>
- Camaioni, C., D'Onofrio, R., Pierantoni, I., & Sargolini, M. (2016). Vineyard landscapes in Italy: cases of territorial requalification and governance strategies. *Landscape Research*, 41(7), 714-729. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1212323>
- Camarasa-Belmonte, A. M. & Segura-Beltran, F. (2001). Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, 62(245), 649-674. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i245.270>
- Delgado-Viñas, C. & Gómez-Moreno, M. L. (2022). The Interaction between Urban and Rural Areas: An Updated Paradigmatic, Methodological and Bibliographic Review. *Land*, 11(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/land11081298>
- Eistrup, M., Sanches, A. R., Muñoz-Rojas, J., & Pinto Correia, T. (2019). A “young farmer problem”? Opportunities and constraints for generational renewal in farm management: an example from Southern Europe. *Land*, 8(4), 70. <https://doi.org/10.3390/land8040070>
- Flinzberger, L., Cebrián-Piqueras, M. A., Pepler-Lisbach, C., & Zinngrebe, Y. (2022). Why geographical indications can support sustainable development in European agri-food landscapes. *Frontiers in Conservation Science*, 2, 752377. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2021.752377>
- García-Azcárate, T. (2020). Paisajes, patrimonio y gobernanza territorial de los sistemas agroalimentarios locales. *Estudios Geográficos*, 81(289), e043-e043. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202057.057>

- Hendrikse, G. & Bijman, J. (2002). Ownership structure in agrifood chains: the marketing cooperative. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(1), 104-119. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1467-8276.00246>
- Infante-Amate, J. (2012). The ecology and history of the Mediterranean olive grove: The Spanish great expansion, 1750-2000. *Rural History*, 23(2), 161-184. <https://doi.org/10.1017/S0956793312000052>
- Institut Cartogràfic Valencià (2023). *Energies Renovables*. Direcció General de Política Territorial i Paisatge de la Generalitat Valenciana. <https://visor.gva.es/visor/>
- Karantininis, K. & Nilsson, J. (eds.) (2007). *Vertical markets and cooperative hierarchies: the role of cooperatives in the agri-food industry*. Springer Science & Business Media: Dordrecht, The Netherlands.
- Kirchner, H., Virgili, A., & Antolín, F. (2014). Un espacio de cultivo urbano en al-Andalus: Madīna Turtūsa (Tortosa) antes de 1148. *Historia agraria*, 62, 11-45. [https://www.historiaagraria.com/FILE/articulos/HA62\\_Kirchner.pdf](https://www.historiaagraria.com/FILE/articulos/HA62_Kirchner.pdf)
- Mancomunitat de la Taula del Sénia (2018). *Sistema Agrícola Olivos Milenarios Territorio Sénia*. <https://www.fao.org/3/CA3148ES/ca3148es.pdf>
- Martínez-Arnáiz, M., Baraja-Rodríguez, E., & Herrero-Luque, D. (2022). Multifunctional territorialized agri-food systems, geographical quality marks and agricultural landscapes: The case of Vineyards. *Land*, 11(4), 457. <https://doi.org/10.3390/land11040457>
- Mayordomo-Maya, S. & Hermosilla-Pla, J. (2019). Evaluación del patrimonio cultural: la Huerta de Valencia como recurso territorial. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 8. <https://doi.org/10.21138/bage.2790>
- Mayordomo-Maya, S. & Hermosilla-Pla, J. (2022). Evaluation of Landscape Quality in Valencia's Agricultural Gardens. A Method Adapted to Multifunctional, Territorialized Agrifood Systems (MTAS). *Land*, 11(3), 398. <https://doi.org/10.3390/land11030398>
- Membrado-Tena, J. C. (2023). The rural landscape of Maestrat (València, Spain): a thousand-year-old olive system threatened by green energies. A *EUGEO 9<sup>th</sup> Congress*. Barcelona. <https://www.eugeobcn23.eu/1245-67-the-rural-landscape-of-maestrat-valencia-spain-a-thousand-year-old-olive-system-threatened-by-green-energies-joan-carles-membrado-tena/>
- Membrado-Tena, J. C. & Hermosilla-Pla, J. (2023). The Precarious Survival of an Ancient Cultural Landscape: The Thousand-Year-Old Olive Trees of the Valencian Maestrat (Spain). *Land*, 12(7), 1331. <https://doi.org/10.3390/land12071331>
- Membrado-Tena, J. C., Hermosilla-Pla, J., Fansa, G., & Iranzo-García, E. (2023). El SAMUTER oleícola valenciano del Maestrat. A *Geografía: cambios, retos y adaptación: libro de actas*. XVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía, Logroño, 12 al 14 de septiembre de 2023 (pp. 1333-1342). Asociación Española de Geografía. <https://doi.org/10.21138/CG/2023.lc>
- Mesa-Manzano, R. & Esparcia-Pérez, J. (2021). Difusión de innovaciones en la agricultura ecológica y análisis de redes sociales: un ensayo de aplicación. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 41(1), 133-159. <https://doi.org/10.5209/aguc.76727>



- Moya, B., Oliver, A., Olucha, F., & Gonell, F. (2005). *Olivos de Castellón: Paisaje y cultura*. Diputació de Castelló.
- Moyano, E. (2020). La PAC y el nudo gordiano de los derechos históricos. *Agronegocios. Eumedia* (16-12-2020). <https://www.agronegocios.es/agronegocios/la-pac-y-el-nudo-gordiano-de-los-derechos-historicos-por-eduardo-moyano-estrada-iesa-csic/> (acces el 27-5-2024).
- Pastor, M., Castro, J., Saavedra, M., Humanes, M., Pajarón, M., Civantos, M., Alvarado, M. & Caballero, J. (1999). *Cultivo del olivar en zonas de especial protección ambiental*. Información técnica, 65/99, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- Portal Estadístic de la Generalitat Valenciana (2023). Banc de Dades Territorial. *Estimacions de superfícies de cultiu per municipis 2023*. <https://pegv.gva.es/va/>
- Rabasa-Edo, C. & Vivas-Gimeno, I. (2020). La interpretación del paisaje como herramienta para la dinamización local: entre olivos milenarios y alcornoques en las comarcas de Castelló. *TERRA Revista de Desarrollo Local*, 6, 323-330. <http://dx.doi.org/10.7203/terra.6.17767>
- Revuelto, R. M. L. (2020). Las construcciones rurales en piedra seca como paradigma de sostenibilidad: aportaciones didácticas y geográficas a partir de su declaración como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, 6. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/197074>
- Sánchez-Martínez, J. D. & Garrido-Almonacid, A. (2018). Olive cultivation in the era of globalization. *VNUHCM Journal of Social Sciences and Humanities*, 2(1), 60-71. <https://stdjssh.scienceandtechnology.com.vn/index.php/stdjssh/article/view/478>
- Sanchis-Ibor, C. & Segura Beltran, F. (2014). Spatial variability of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream in the last six decades (1946-2006). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 40(1), 89-118. <https://doi.org/10.18172/cig.2530>
- Sanz-Cañada, J. & Muchnik, J. (2016). Geographies of origin and proximity: Approaches to local agro-food systems. *Culture and History Digital Journal*, 5(1), 1-19. <http://dx.doi.org/10.3989/chdj.2016.002>
- Segura-Beltrán, F. (2003). Rambles i Barrancs, els Rius de Pedres. *Métode*, 38. <https://metode.cat/revistes-metode/monografics/rambles-i-barrancs-els-rius-de-pedres.html>
- Segura-Beltran, F. S. (2017). *Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis: crònica d'una destrucció anunciada*. Institut d'Estudis Catalans.
- Segura-Beltrán, F. & Sanchis-Ibor, C. (2013). Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201, 199-214. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.021>
- Sroka, W., Dudek, M., Wojewodzic, T., & Król, K. (2019). Generational changes in agriculture: The influence of farm characteristics and socio-economic factors. *Agriculture*, 9(12), 264. <https://doi.org/10.3390/agriculture9120264>
- Trillo, C. (1999). El paisaje vegetal en la Granada Islámica y sus transformaciones tras la conquista castellana. *Historia agraria*, 17, 131-152. [https://historiaagraria.com/FILE/articulos/HA17\\_trillo.pdf](https://historiaagraria.com/FILE/articulos/HA17_trillo.pdf)

Zimmerer, K. S. & Vanek, S. J. (2016). Toward the integrated framework analysis of linkages among agrobiodiversity, livelihood diversification, ecological systems, and sustainability amid global change. *Land*, 5(2), 10. <https://doi.org/10.3390/land5020010>

Cómo citar este artículo:

Membrado-Tena, J. C. & Hermosilla-Pla, J. (2024). Avaluació qualitativa del paisatge oleícola del Maestrat (País Valencià). *Cuadernos de Geografía*, 112, 107-130.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.28857>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

ALFREDO OLLERO<sup>a</sup>; ASKOA IBISATE<sup>b</sup>; CARLES FERRER-BOIX<sup>c</sup>;  
JUAN PEDRO MARTÍN VIDE<sup>d</sup>; DANIEL BALLARÍN<sup>e</sup>; PEPA CASTILLO PASCUAL<sup>f</sup>;  
JUAN MIGUEL GARCÍA LAGRANJA<sup>g</sup>; SAIOA GARCÍA-RODRÍGUEZ<sup>h</sup>;  
ÁLVARO MELIÁN<sup>i</sup>; FRANCISCO NÚÑEZ-GONZÁLEZ<sup>j</sup>; ORBANGE ORMAETXEA<sup>k</sup>;  
VALERIA NOEMÍ PIRCHI<sup>l</sup>; ANA SÁENZ DE OLAZAGOITIA<sup>m</sup>;  
MIGUEL SÁNCHEZ FABRE<sup>n</sup>

## EL CURSO MEDIO DEL RÍO EBRO: BASES PRELIMINARES PARA SU DIAGNÓSTICO HIDROMORFOLÓGICO Y PERSPECTIVAS DE GESTIÓN Y RESTAURACIÓN

### RESUMEN

El Ebro medio de cauce libre es un tramo excepcional a escala peninsular por sus dimensiones, con un funcionamiento complejo y singular, así como representativo en cuanto que gran río mediterráneo. Este trabajo constituye una reflexión general que se sitúa en el punto de inflexión entre lo que ya se conoce del Ebro medio por análisis anteriores y lo que se está estudiando en el marco del proyecto SEDEXCHARE. Se realiza un diagnóstico hidromorfológico básico en el que se pretende profundizar en cuatro tramos de estudio de detalle y se presentan las principales carencias actuales de conocimiento que dificultan el planteamiento de un nuevo sistema de gestión fluvial y de riesgos. Se estima que la devolución de espacio al río, para que este pueda contar de nuevo con un cauce activo y un corredor ribereño ancho y continuo, dotará de resiliencia natural, social y territorial a un espacio fluvial que debería ser protegido y conservado, venciendo también así las inercias y conflictos socioambientales que ahora obstaculizan el proceso de restauración.

**PALABRAS CLAVE:** dinámica fluvial; inundaciones; gestión de riesgos; territorio fluvial; resiliencia.

---

a Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. aollero@unizar.es, <http://orcid.org/0000-0002-9745-5866>

b Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. 01006 Vitoria-Gasteiz. askoa.ibisate@ehu.eus, <http://orcid.org/0000-0002-9396-476X>

## THE MIDDLE EBRO RIVER: BASES FOR ITS HYDROMORPHOLOGICAL DIAGNOSIS AND MANAGEMENT AND RESTORATION PERSPECTIVES

## ABSTRACT

The free Middle Ebro River is an exceptional stretch in the Iberian Peninsula due to its dimensions, with a complex and singular functioning, as well as a representative sample of a large Mediterranean river. This work constitutes a general reflection based on what is already known from previous works on the Middle Ebro River and what is being studied in the framework of the SEDEXCHARE project. A basic hydromorphological diagnosis is carried out in four study sections with the goal of identifying the main knowledge gaps that hinder the establishment of a new river and risk management system. We think that giving back space to the river, and thus allowing the river to, once again, have a dynamic active channel and a wide and continuous riparian corridor, will provide natural, social and territorial resilience to the Middle Ebro River space. We advocate for this corridor to be protected and preserved. This protection will also contribute to overcome the current inertias and socio-environmental conflicts that hinder the riverine restoration processes.

KEYWORDS: channel changes; floods; risk management; room for the river; resilience.

- 
- c Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona. carles.ferrer@upc.edu, <http://orcid.org/0000-0002-5605-8979>
- d Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona. juan.pedro.martin@upc.edu, <http://orcid.org/0000-0002-3914-615X>
- e Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. danielbf@unizar.es
- f Dpto de Ciencias Humanas, Universidad de La Rioja. C/ Luis de Ulloa, 2, 26004 Logroño. mariajose.castillo@unirioja.es, <http://orcid.org/0000-0003-0002-3336>
- g Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. 817032@unizar.es
- h Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. 01006 Vitoria-Gasteiz. saioa.garcia@ehu.eus
- i Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. 904252@unizar.es
- j Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona. francisco.nunez-gonzalez@upc.edu, <http://orcid.org/0000-0002-3676-2715>
- k Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. 01006 Vitoria-Gasteiz. orbanje.ornaetxea@ehu.eus, <http://orcid.org/0000-0001-8573-2806>
- l Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. vpirchi@unizar.es
- m Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. 01006 Vitoria-Gasteiz. ana.saenzdeolazagoitia@ehu.eus, <http://orcid.org/0000-0003-1912-0259>
- n Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, s/n, 50009 Zaragoza. msanchez@unizar.es

Fecha de recepción: 07-06-2024. Fecha de aceptación: 23-07-2024.

## INTRODUCCIÓN

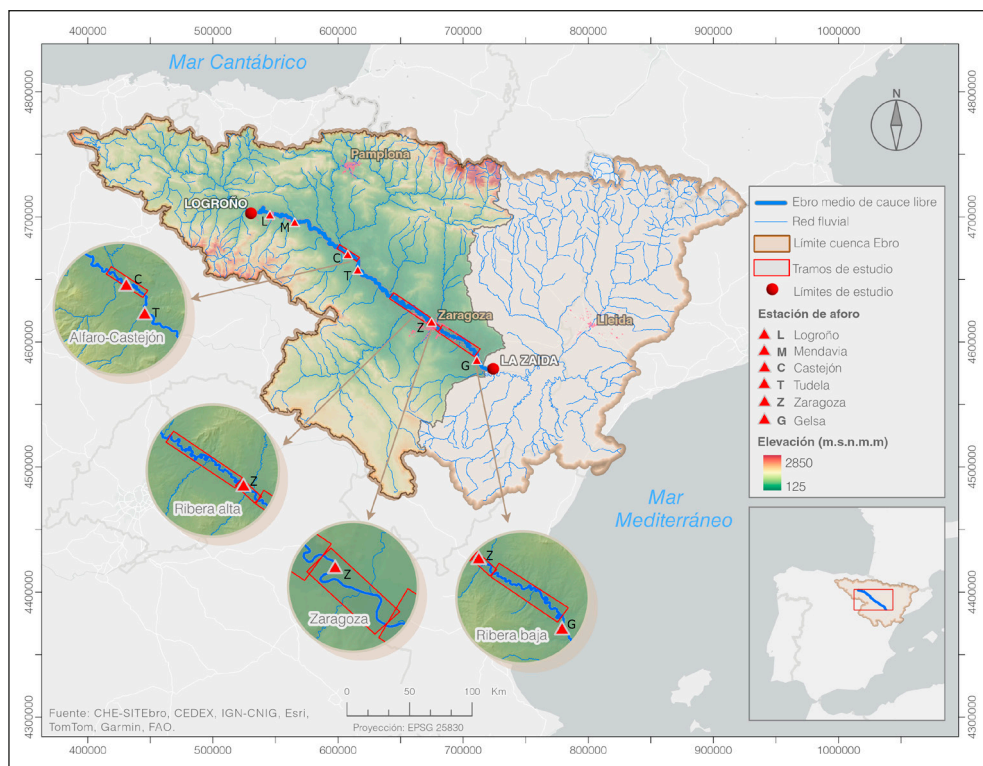
Los ríos son sistemas naturales dinámicos y complejos que, por su combinación de eventos hidrológicos, procesos geomorfológicos y ecológicos y acciones humanas, se convierten en indicadores del cambio ambiental a lo largo de la historia y proporcionan excelentes explicaciones de la evolución natural y humana del paisaje (Horacio et al., 2018). Situado en una intersección climática y geocológica, el río Ebro (930 km de longitud) y su cuenca (85.000 km<sup>2</sup> de superficie) constituyen un resumen de todos los ambientes del sur de Europa.

En el curso medio del río Ebro se desarrolla a lo largo de 345 km, entre Logroño y La Zaida (Zaragoza), un cauce aluvial libre con una llanura de inundación que alcanza 3,5 km de anchura media y 6 km de anchura máxima, atravesando una amplia depresión semiárida (figura 1). Por tanto, se trata del cauce libre más largo y extenso de la península ibérica, en la que ningún curso no asociado a una llanura litoral alcanza esta anchura. Su dinámica a lo largo de la historia ha registrado continuos cambios de patrón y de trazado, alternando los modelos divagante y meandriforme. Todo ello otorga a este largo y complejo tramo fluvial un indiscutible valor geomorfológico y una singularidad relevante entre los paisajes fluviales mediterráneos del sur de Europa, a lo que se suma su papel como eje económico y de comunicación a lo largo de la historia.

Con un caudal medio de unos 100 m<sup>3</sup>/s en su punto inicial (Logroño) y de unos 235 m<sup>3</sup>/s en su punto final (La Zaida), este Ebro medio de cauce libre discurre por el centro de la depresión terciaria del Ebro con dirección WNW-ESE a lo largo de un valle subsidente por disolución de evaporitas (Guerrero, 2009), bajo el peso de una importante masa aluvial que llega a alcanzar los 100 m de espesor en la zona de confluencia Ebro-Gállego (Benito et al., 1998). El río dejó entre 10 y 12 niveles de terraza, de gravas y patrones predominantemente trenzados, asociados a su progresiva incisión, a 220 m de altura relativa los más elevados (Gil, 2017). El karst subyacente ha estado activo desde el Pleistoceno inicial, con mecanismos de subsidencia de la cubierta aluvial (García-Abadías et al., 2024) que justifican las dimensiones y el espesor de las gravas en este curso medio del río.

Las dimensiones y características del curso medio del Ebro permitieron la navegación en diferentes periodos históricos, aunque con notables dificultades por la irregularidad de los caudales y la dinámica del cauce, lo que llevó en los siglos XVII y XVIII a realizar algunas cortas de meandro artificiales y encauzamientos (Ollero, 1992; Giménez Font, 2009; Conesa et al., 2012).

Figura 1. Mapa de la cuenca, del área de estudio y de los cuatro tramos de estudio seleccionados



Fuente: elaboración propia a partir de CHE, CEDEX, IGN-CNIG.

Pero la compleja dinámica fluvial del curso medio del río Ebro se ha visto muy afectada en las últimas décadas por el cambio global de la cuenca, marcado principalmente por la despoblación y reforestación de las áreas de montaña y el incremento del regadío y de la urbanización en las de llanura, y especialmente por acciones humanas como el aumento de la regulación o las defensas artificiales frente a inundaciones. Varias investigaciones (Ollero, 1992; Cabezas et al., 2009; Magdaleno, 2011; Ollero et al., 2015; Sánchez Fabre et al., 2017; Díaz Redondo et al., 2018) concluyeron que durante la segunda mitad del siglo xx se produjo una importante transformación del funcionamiento fluvial provocada por factores antrópicos y como consecuencia de cambios en la cuenca (Beguería et al., 2003; Batalla et al., 2004; García Ruiz et al., 2015; López Moreno et al., 2014). Se puede decir que el llamado Antropoceno se manifiesta en el Ebro medio con una gran aceleración de la intervención humana entre 1950 y 1990 (Ollero et al., 2021). Los datos hidrológicos, ininterrumpidos desde 1950, así como las imágenes aéreas, permiten verificar claramente este proceso (Ollero, 2010), dominado por la simplificación y fijación del cauce activo y el estrechamiento del espacio fluvial.

Las crecidas e inundaciones, cuando son frecuentes y relevantes, generan adaptaciones en la morfología del cauce que rigen el funcionamiento fluvial a través de cambios y ajustes que son, en primer lugar, geomorfológicos, pero también ecológicos y ambientales en un sentido global cuando se asocian a intervenciones humanas. De manera directa e inmediata, las inundaciones generan procesos de erosión, desbordamiento, inundación y sedimentación, mecanismos que reconstruyen el cauce del río y lo actualizan en todas sus dimensiones e interrelaciones. Pero desde una perspectiva humana, estos procesos naturales son considerados como peligrosos en una situación de riesgo permanente. Esto se debe a la existencia de un medio humano ribereño que utiliza el agua y el territorio fluvial, que “consume río”, y para ello requiere y exige una estabilidad que es imposible en un sistema natural tan dinámico y fluctuante. Nos enfrentamos, por tanto, a un dilema en la gestión de un conflicto continuo: por un lado, el respeto y la preservación de la dinámica fluvial y, en consecuencia, de la salud ambiental; por otro, mantener actividades humanas vulnerables tratando de mitigar el riesgo que suponen.

Este conflicto alcanza dimensiones muy relevantes en el Ebro medio, cuya superficie inundable alcanza una extensión de 744 km<sup>2</sup>. Las inundaciones con un periodo de retorno de 10 años ocupan el 80 % de esta superficie de acuerdo con los datos y cartografías de la Confederación Hidrográfica del Ebro y del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Ollero, 2010; Ollero et al., 2021). La situación de riesgo es compleja y la exposición y la vulnerabilidad han aumentado debido al incremento de explotaciones ganaderas, urbanizaciones, servicios, vías de comunicación, etc., lo que genera un importante y crónico problema socioeconómico y territorial. El cambio global y los cambios ambientales que se han producido en las últimas décadas tanto en la cuenca como en el río han agravado el problema y hacen urgente la búsqueda de soluciones.

En suma, este proceso de investigación multidisciplinar que se desarrolla en el curso medio del Ebro tiene el objetivo general de obtener una visión global y evolutiva del paisaje fluvial del río Ebro, de sus problemas y amenazas, proponiendo una futura gestión sostenible que resulte en un río Ebro resiliente en el contexto de la emergencia climática. Como meta final se reivindica un paisaje fluvial que debe ser protegido, valorado, gestionado y restaurado desde soluciones basadas en la naturaleza.

## MATERIAL Y MÉTODO

Este trabajo constituye una reflexión general que se sitúa en el punto de inflexión entre lo que ya se conoce del Ebro medio por análisis anteriores (por ejemplo, Ollero, 2010; Magdaleno, 2011; Martín Vide, 2018; Ollero et al., 2015, 2021) y lo que se prevé estudiar en los próximos años en el marco del proyecto SEDEXCHARE, cuyo objetivo es profundizar en el conocimiento del funcionamiento y la trayectoria del Ebro medio y de sus problemas medioambientales y de riesgos para proponer medidas de gestión y restauración que consigan un territorio fluvial resiliente. Por tanto, se ha partido de una recopilación y actualización de toda la documentación científica y técnica ya existente disponible y se han identificado sus déficits. La experiencia previa en el conjunto del área de estudio ha constituido una base sólida y ha permitido seleccionar tramos para un estudio de mayor detalle, ya que ante la complejidad del problema y la extensión del área de trabajo es necesario abordarlo a distintas escalas y niveles

de concreción. Los cuatro tramos de estudio seleccionados han sido delimitados y caracterizados con criterios hidromorfológicos, así como cartografiados a partir de una base de datos en SIG.

Como bases para el diagnóstico hidromorfológico y para la gestión de riesgos y la restauración se ha trabajado en una primera fase con los caudales hídricos (estaciones de aforo de Logroño, Mendavia, Castejón, Tudela, Zaragoza y Gelsa) para analizar su distribución y las crecidas de los últimos años (siglo XXI), con ortoimágenes recientes (de 2015, 2019 y 2023) que han permitido identificar puntos y morfologías con dinámica geomorfológica. En fases siguientes del proyecto se pretende estudiar el transporte de sedimentos y se abordarán la evolución histórica del cauce y su relación con la navegación y otros usos humanos, la información y valoración económica de todas las defensas de las márgenes del cauce y el catálogo completo de las actuaciones de la estrategia y proyecto LIFE Ebro Resilience (conjunto de acciones de restauración fluvial y gestión de inundaciones dirigido por la Confederación Hidrográfica del Ebro). También se implementará una campaña de participación y divulgación en los diferentes tramos de estudio.

Hasta el momento, en la citada primera fase, se ha trabajado en la evolución de los usos del suelo en toda la cuenca sobre las fotografías aéreas de 1956 y su comparación con las ortoimágenes actuales. Y en el curso medio del Ebro se está analizando la evolución de detalle de todo el espacio fluvial desde la imagen aérea georeferenciada de 1927, identificando las diferentes unidades fluviales (agua, barras de sedimentos, vegetación pionera, bosque ribereño y otros usos antrópicos del suelo: cultivos, áreas urbanas, escolleras, diques, áreas de dragado) en cada imagen disponible. A continuación, se cuantificarán los cambios en la forma en planta y se calcularán los cambios en la superficie, las proporciones, el índice de sinuosidad y las tasas de migración a lo largo del tiempo. También se ha aplicado ArcGIS Pro 3.1 en georeferenciación para integrar mapas históricos y la digitalización de cartografía no digital. Se han recogido datos de dragado y extracción de gravas de los archivos oficiales de la Confederación Hidrográfica del Ebro, tratando de reconstruir y datar la localización y fechas de las diferentes actuaciones.

En aguas altas y crecidas de febrero y marzo de 2024, con caudales de entre 1.000 m<sup>3</sup>/s y 1.300 m<sup>3</sup>/s, se ha experimentado en el subtramo de Alcalá de Ebro y Cabañas (sector superior del tramo 2) con una técnica de medición de profundidades y velocidades mediante ADCP (*acoustic doppler current profiler*) a partir de una embarcación tipo kayak adaptada y gestionada por piragüistas deportivos (de la empresa EbroNautas). Comprobada su eficacia, se aplicará en los próximos años para la medición de caudales durante los episodios de crecida en el cauce principal, en los secundarios, en los cauces de alivio y en los pasillos permeabilizados en los sotos.

La medición de transporte de sedimento durante crecidas ordinarias se realizará en la segunda fase de investigación por medio de un equipo Helley Smith, HS152 de 152 mm de apertura (Helley y Smith, 1971), que ha sido fabricado para el presente proyecto siguiendo las premisas de Benahmed (2021); mientras que los sedimentos en suspensión se medirán por medio de un muestreador DH74 (Tena et al., 2011). No se cuenta todavía con mediciones y resultados, puesto que solo se han realizado las primeras pruebas, y se muestrearán en el invierno 2024-25.

Los métodos históricos y arqueológicos y la obtención de catas en antiguos cauces completarán la recopilación de información para el diagnóstico evolutivo del río. Con todo ello se llegará a una fase



final de debate interno y externo que permitirá plantear medidas y propuestas de gestión, restauración y seguimiento.

#### IDENTIFICACIÓN DE CARENCIAS DE CONOCIMIENTO Y GESTIÓN

En esta primera fase de la investigación, que se está cerrando en el marco de este artículo, se han sentado las bases conceptuales, metodológicas y de conocimiento previo, por lo que los resultados que aquí se recogen se centran en la identificación de carencias de conocimiento, en la definición de tramos de estudio y en los primeros datos obtenidos en ellos.

El equipo de trabajo se ha apoyado en los antecedentes científicos sobre el tema y área de estudio (Ollero, 1992, 2007, 2010; Magdaleno, 2011; Castillo, 2014, 2016; Lobera et al., 2015; Ollero et al., 2015, 2021; Sánchez et al., 2017; Martín Vide, 2018) y ha debatido de forma interna y con agentes del territorio para identificar las principales carencias de conocimiento, que se convierten así en los 11 temas de trabajo que se desarrollan en el proyecto SEDEXCHARE y que se describen a continuación:

1. Es precisa una reconstrucción y una visión evolutiva más clara y detallada de la historia hidrogeomorfológica y ambiental del curso medio del Ebro, con la definición de sus fases a partir de documentación histórico-arqueológica, datos de perforaciones geoarqueológicas, cartografías temáticas y fotografías aéreas. No hemos llegado todavía a definir una hipótesis de cómo sería el Ebro sin acción humana, a modo de condición de referencia. Hay que profundizar en la cuantificación de los principales cambios geomorfológicos durante el último siglo y medio, proponiendo un modelo causa-efecto que vincule estos cambios a los efectos combinados de múltiples motores de cambio (presas, regadíos, clima...). En este contexto permanente de cambio, es necesario establecer periódicamente momentos de reflexión y evaluación científica y técnica, como el que se persigue aquí. El río Ebro es un laboratorio de campo permanente en el que comprobar las dimensiones y efectos del cambio global de su cuenca. Como base para abordar la reconstrucción histórica de procesos puede emplearse la evolución de los modelos generales de gestión del riesgo, sintetizada en la tabla 1.
2. Los datos empíricos sobre el transporte de sedimento en el curso medio del Ebro son escasos y discontinuos en el espacio y en el tiempo. Queremos tratar de cuantificar y comprender los procesos de transporte sólido, ver su papel en la generación de formas fluviales y observar si los cambios registrados pueden ser inducidos por acción humana en la cuenca, y especialmente como consecuencia de la regulación mediante embalses. Por ello, este estudio debe abarcar el último siglo, desde la fotografía aérea de 1927. Los procesos de transporte de sedimentos son los agentes más importantes en la configuración de los ríos, es decir, en la contribución a su morfología (Church, 2006), y por lo tanto son los principales contribuyentes indirectos a la salud de los ecosistemas fluviales. Se han seleccionado 50 barras dinámicas en los cuatro tramos de estudio para su análisis granulométrico y de acorazamiento. En cuatro de ellas, una por tramo, se van a realizar catas en profundidad en la campaña de muestreo del verano de 2024. Las mediciones con la técnica

de Helley y Smith (1971) en el puente de la Z-30 con diferentes caudales altos en el invierno 2024-25 completarán el estudio de la carga de fondo y permitirán estimar sus tasas de transporte.

Tabla 1. Evolución histórica de la gestión del riesgo de inundación y erosión en el Ebro medio (modificada de Ollero et al., 2021)

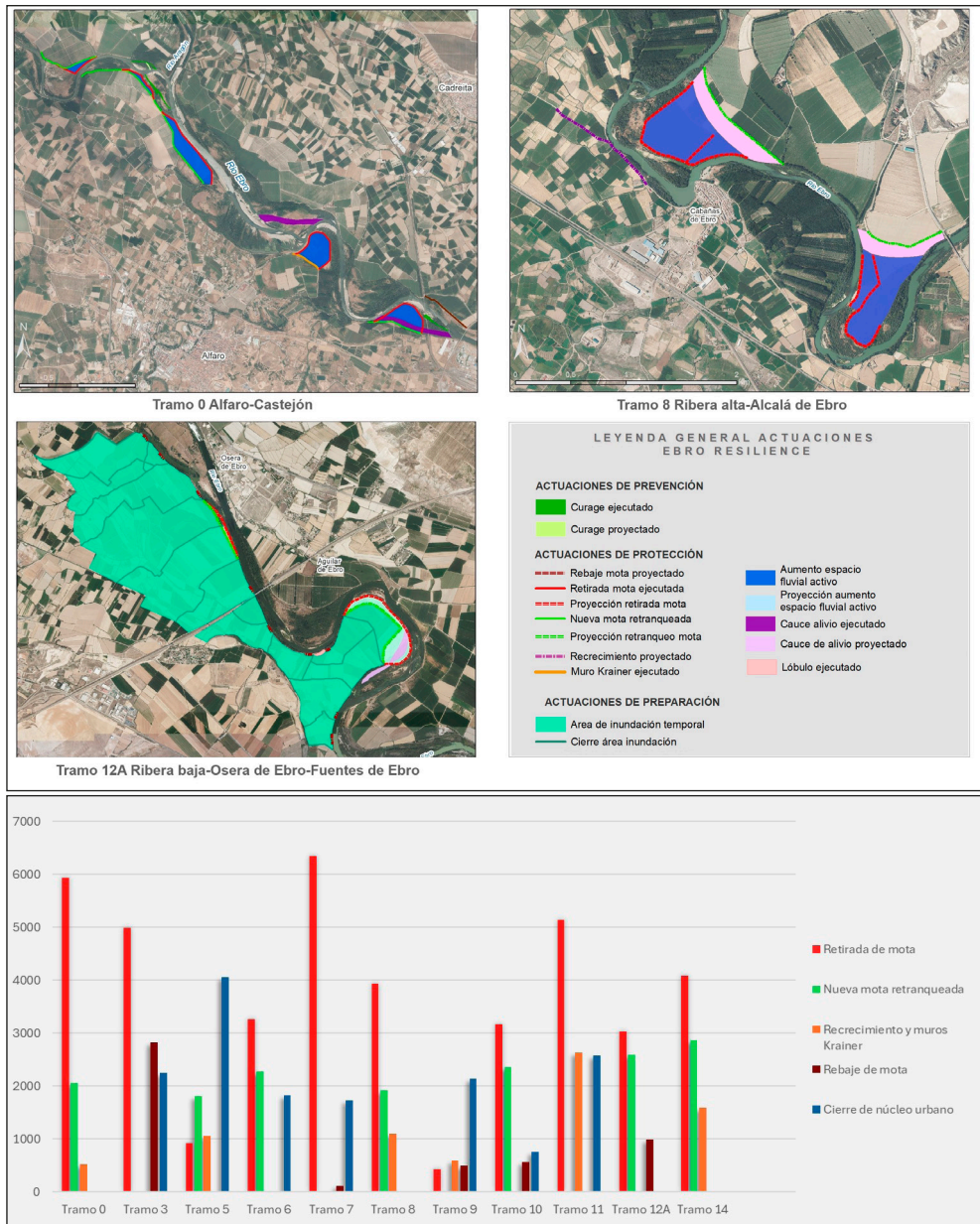
<b>Fase anterior al Antropoceno, hasta 1945</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– no hay regulación efectiva de caudales (solo algunos pequeños embalses en la cuenca)</li> <li>– obras de defensa escasas y locales, precarias y en su mayoría particulares</li> </ul>
<b>Fase de máxima intervención en el río (1945-1990)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– construcción del hiperembalse del Ebro (Reinosa) en 1945</li> <li>– muchos grandes embalses en la cuenca, donde destaca Yesa (1960)</li> <li>– plan de defensas con motas (diques) longitudinales de tierra compactada y escolleras de bloques en meandros tras las crecidas de 1959 y 1960-61</li> <li>– ocupación agraria del territorio fluvial, falsa seguridad y aumento de exposición al riesgo</li> <li>– nuevo periodo de inundaciones (1977, 1978, 1980, 1981) con importantes daños y nueva oleada de actuaciones defensivas que completaron los diques e impidieron por completo la dinámica de cualquier meandro, simplificando el cauce y su dinámica</li> <li>– nuevo incremento de la ocupación agraria, edificios y urbanizaciones alegales</li> </ul>
<b>Fase de concienciación científica y técnica (1990-2015)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– escasas crecidas entre 1990-2003 que consolidan el modelo anterior y aumentan la confianza</li> <li>– sigue aumentando la exposición agrícola y urbana</li> <li>– desde el ámbito científico, no obstante, se alerta de la fragilidad del sistema de gestión, de la ineficacia del sistema de defensa y de su caro mantenimiento</li> <li>– se desarrolla el concepto y la propuesta de territorio fluvial</li> <li>– se denuncia la destrucción de la dinámica fluvial, que ha sido muy restringida, casi eliminada</li> <li>– en la toma de decisiones el sistema de defensa tradicional sigue manteniéndose y consolidándose</li> <li>– las Directivas 2000/60/CE y 2007/60/CE y el Plan Medioambiental del Ebro (2005) ayudan a una progresiva concienciación del ámbito técnico y gestor</li> </ul>
<b>Fase actual de cambio (2015-2024)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– comienza con la riada de 2015 y se asienta con las de 2018 y 2021</li> <li>– Plan de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI): prevención, protección, preparación y reparación</li> <li>– Estrategia Ebro Resilience (desde 2018), ahora LIFE20 ENV/ES/000327 Ebro Resilience, y procesos de participación</li> <li>– cambio marcado por el retranqueo de motas, los cauces de alivio, las zonas de inundación controlada y la apertura de pasillos en áreas de sedimentación</li> <li>– intensa oposición social al cambio, asociaciones de afectados</li> <li>– implicación científica en la educación y divulgación</li> </ul>

3. Los procesos de incisión y de acreción en el cauce del Ebro medio no han sido medidos con frecuencia suficiente y arrojan resultados poco concluyentes hasta ahora. Es un tema que preocupa al ámbito científico, al organismo gestor y también a la población, como se señala en el punto 7. Es necesario un esfuerzo en los próximos años para localizar, analizar y cuantificar estos procesos, definiendo puntos críticos y tendencias.
4. No se conoce bien el funcionamiento del acuífero aluvial en los procesos de crecida e inundación. Hay poca información sobre los niveles freáticos, piezómetros escasos y en mal uso, y no

existen estudios que correlacionen los procesos superficiales con los subterráneos. Es necesario introducir esta componente en la modelización y cartografía de los procesos de desbordamiento e inundación.

5. Otro déficit de conocimiento se refiere a la cuantificación y la evaluación económica de los efectos de las inundaciones y su balance con respecto al valor de las acciones de defensa y protección tradicionales y también con las nuevas medidas y actuaciones.
6. El catálogo de acciones de la actual estrategia y proyecto LIFE Ebro Resilience no está actualizado, no cuenta con una adecuada representación cartográfica ni ha sido todavía evaluado desde el punto de vista científico (Cuartero et al., 2022). En un primer inventario parcial que se realizó en noviembre de 2021 se contabilizaron 154 actuaciones (eliminación, retranqueo y rebaje de motas, zonas de inundación controlada, cauces de alivio, *curages*, permeabilizaciones, etc.) con la eliminación de más de 34 km de motas y la obtención de 2.346 ha de terreno inundable, pero en algunos casos se trata de acciones proyectadas y aún no realizadas. En el presente estudio se está verificando y actualizando el catálogo, base fundamental para poder evaluar sus resultados. A modo de ejemplo de dicha tarea de localización y clasificación, en la figura 2 se representan las acciones registradas en algunos tramos.
7. No se han conseguido definir de forma completa y clara los elementos y procesos del conflicto socioambiental sobre los riesgos asociados al funcionamiento fluvial. Aquí se esbozan los más evidentes en un primer análisis, pero esta definición está en construcción:
  - existe una generalizada falsa sensación de seguridad y un exceso de confianza en la regulación de la cuenca, tanto en espacios ribereños rurales como urbanos
  - socialmente y de forma unánime se atribuye a las gravas y a la vegetación un supuesto –y erróneo– incremento de la frecuencia del desbordamiento y una elevación en los niveles de inundación
  - se consideran al organismo de cuenca y al ámbito científico que lo apoya responsables de la falta de limpieza y mantenimiento del cauce, lo que se valora, en los ámbitos ribereños, como una grave negligencia
  - es muy dificultoso plantear y negociar permutas, compras y expropiaciones, ya que la propiedad privada y la posesión del terreno concreto está muy arraigada, aunque la actividad agraria muchas veces sea secundaria en la renta familiar
  - la posibilidad de establecer un territorio-riesgo con beneficios fiscales, seguros financiados y compensaciones no se ve de forma positiva, sino que se considera un menosprecio y un reconocimiento de que la ribera es un espacio con problemas y sometido a restricciones
8. No existe todavía un sistema de gestión ambiental y de riesgos enfocado hacia la resiliencia y la sostenibilidad, adecuadamente basado en la naturaleza de los procesos fluviales y coordinado con la ordenación del territorio y con los programas de conservación y restauración fluvial. Es urgente acelerar para trabajar en una estrategia de gestión de riesgos más sostenible y eficiente, y así establecer un entorno socioeconómico adaptado y más seguro, resiliente, y un marco

Figura 2. Tipificación y localización de las actuaciones de la estrategia Ebro Resilience



A) Leyenda general de las actuaciones y cartografía de 3 de los 11 tramos de Ebro Resilience (la numeración de estos es la establecida en la estrategia). B) Longitud en metros de las actuaciones lineales en los 11 tramos. Fuente: elaboración propia a partir de la Estrategia Ebro Resilience y de las comprobaciones en campo.

menos vulnerable, lo que en última instancia provocará que los futuros eventos extremos causen menos daños, lo que redundará en un ahorro económico para los afectados y para la propia Administración.

9. No existe un índice de resiliencia fluvial aplicable al Ebro medio que combine la evaluación del riesgo y su gestión y consecuencias, que sea apto tanto para valorar la situación actual como para definir el potencial de resiliencia futura. Es preciso crearlo e implementarlo. Dicho índice deberá valorar diferentes escenarios del modelo evolutivo, incluyendo propuestas de restauración fluvial y su repercusión en la gestión, así como el propio cambio climático o las actuaciones en curso en el marco de Ebro Resilience. La evaluación y el seguimiento son importantes para una gestión del riesgo adaptativa (y no solo defensiva), modificándose en función de los cambios observados y de los resultados obtenidos en fases anteriores, marcando un proceso de aprendizaje permanente del comportamiento del río. En este sentido, se ha defendido el cambio actual desde los fallos detectados en los sistemas de gestión anteriores. La predicción y la emergencia son fundamentales, y mejoran a medida que aumenta el conocimiento hidrológico. La prevención debe tener en cuenta las características hidrológicas y geomorfológicas con medidas basadas en la naturaleza. Algunos aspectos clave de la prevención orientada a la resiliencia social son la educación pública, la memoria y experiencia de preservación y el conocimiento de los nuevos paradigmas de gestión y el carácter adaptativo de un proceso que debe ser continuo en el tiempo.
10. También cuenta con deficiencias la ordenación del territorio en relación con la inundabilidad y con la figura del Dominio Público Hidráulico, y sigue sin implementarse de forma sistemática y extensa el territorio fluvial o espacio para el río (De Bruijn et al., 2009; Arnaud-Fassetta et al., 2009; Vinet, 2010; Merz et al., 2010; Thorne et al., 2010; Batica y Gourbesville, 2016; Ribas et al., 2018) que se ha propuesto en diferentes estudios desde 1993 (Ollero, 2007; Ollero et al., 2015). Las dificultades de su aplicación, especialmente en relación con la propiedad privada, han ido consolidando paulatinamente la primacía del objetivo de gestión de inundaciones sobre los más puramente geomorfológicos y ambientales, ya que no se admiten la erosión de riberas ni la movilidad de cauces. No obstante, el momento actual implica cierto cambio de paradigma en la gestión y desde la ciencia, apoyando a las administraciones implicadas, y puede y debe trabajarse por un nuevo modelo que recupere la resiliencia fluvial, social y territorial del río Ebro. Dar espacio al río tiene como objetivo hacer que el sistema fluvial funcione mejor hidrológica, geomorfológica y ecológicamente y que autorregule mejor sus procesos de inundación. Valorar el río como eje vertebrador del territorio trasciende todo el fondo del valle y supera los objetivos ambientales, logrando así los de gestión y planificación. Conseguir territorios fluviales amplios y continuos es una propuesta con enormes beneficios, inteligente y resiliente, ya que mejora y fortalece de manera integrada el río y la sociedad, es decir, todo el territorio.
11. No se ha trabajado en la consideración del río Ebro como gran eje ambiental y de protección y transferencia de biodiversidad a escala ibérica y europea, lo cual tendría que estar en la base del nuevo modelo de gestión fluvial. No se ha podido avanzar en esta línea por la tradicional priorización de los intereses económicos en la ribera del Ebro, pero es necesario y urgente

cambiar este paradigma para destacar el valor de un paisaje fluvial de patrimonio natural y cultural único amenazado.

#### DELIMITACIÓN, CARACTERIZACIÓN BÁSICA Y PRIMEROS DATOS DE TRAMOS DE ESTUDIO

Como se ha representado en la figura 1, se han seleccionado cuatro tramos de interés, por sus caracteres internos, dinámica y relevancia en la gestión fluvial (tabla 2). El tramo 1 destaca por la confluencia del Aragón, afluente que drena todo el Pirineo occidental y que con su llegada duplica el caudal del Ebro –de 110 m<sup>3</sup>/s a 220 m<sup>3</sup>/s en valores medios– e incrementa su dinámica. Este tramo 1 queda separado del resto, pero los tramos 2, 3 y 4 presentan continuidad, como se aprecia en la figura 1. El tramo 2 destaca por su elevada sinuosidad y por sus cambios notables de trazado en el pasado. El tramo 3 es urbano y suburbano, y marca una menor sinuosidad y una mayor pendiente que justificaron el propio emplazamiento de Zaragoza en época romana (Ollero et al., 2024). El tramo 4 contó con una activa dinámica de meandros.

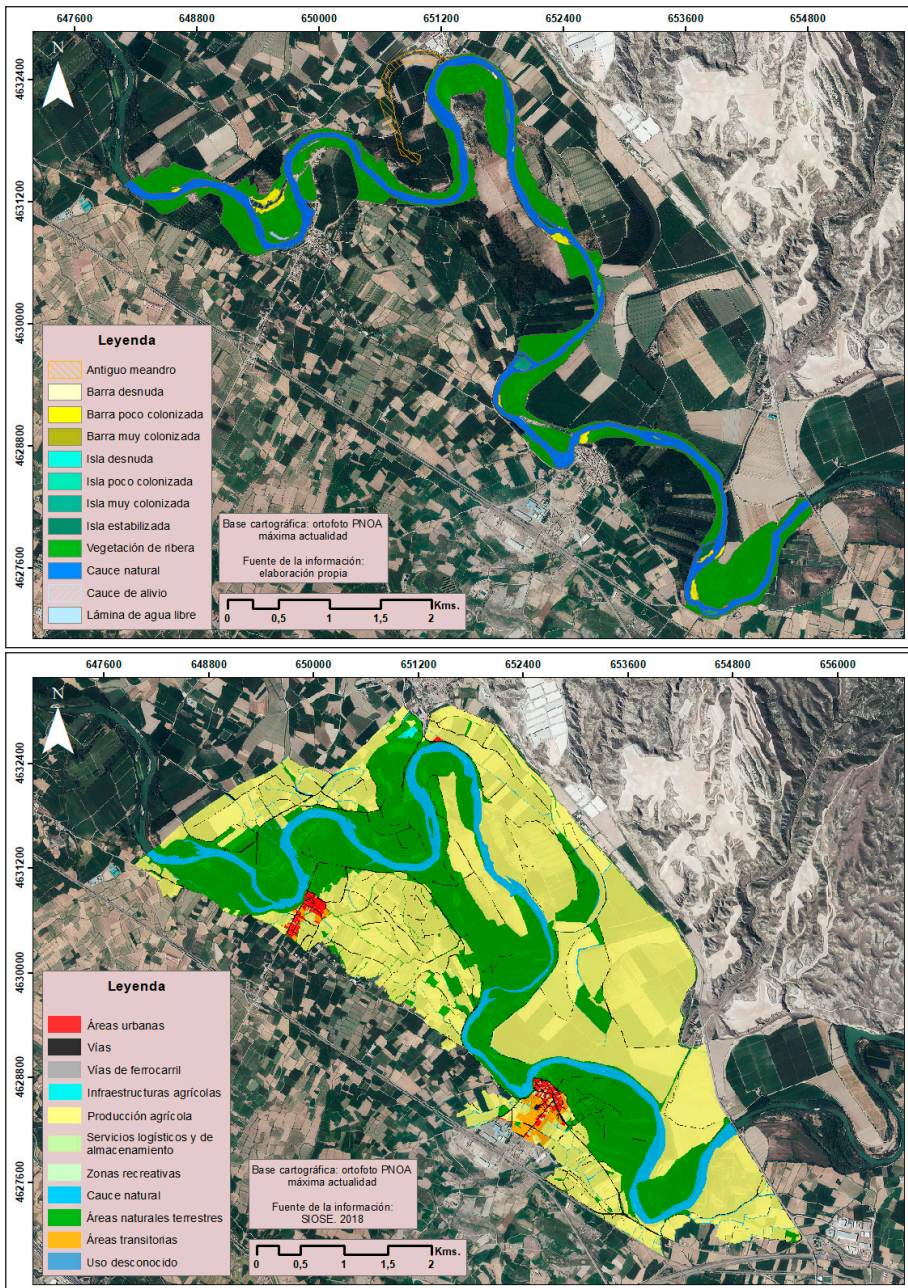
De entre ellos se ha considerado prioritario el estudio del tramo 2, cuyo sector de aguas arriba (subtramo Alcalá-Cabañas) ha sido objeto de las primeras mediciones en campo en el marco del proyecto y de una primera cartografía geomorfológica (figura 3). También se han llevado a cabo aquí las primeras batimetrías y mediciones de velocidad de la corriente en aguas altas (figura 4).

Tabla 2. Caracteres principales del cauce activo en los tramos preferentes de estudio

Tramo de estudio	Longitud (km)	Pendiente (m/m)	Sinuosidad
1. Alfaro-Castejón	17,21	0,00062	1,47
2. Ribera alta	36,42	0,00048	1,68
3. Zaragoza	11,49	0,00073	1,39
4. Ribera baja	36,14	0,00059	1,45

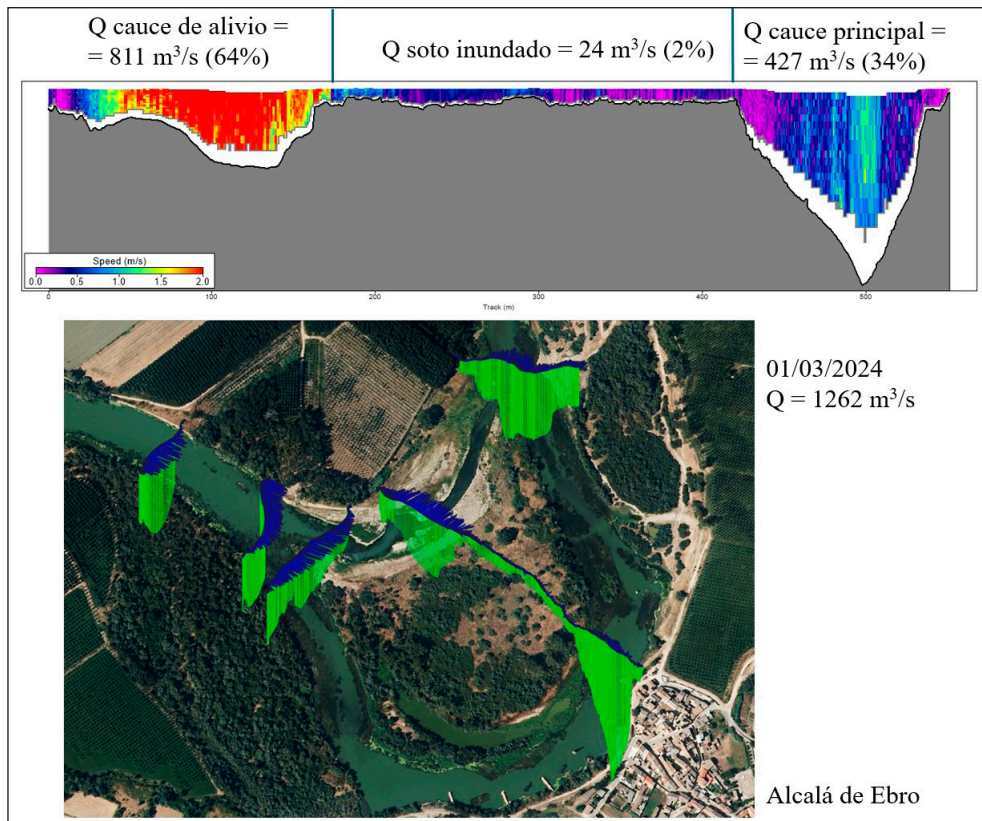
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Mapas biogeomorfológico (arriba) y de usos del suelo (abajo) del subtramo preferente Alcalá-Cabañas (Ribera alta)



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Mediciones de velocidades y profundidades en Alcalá de Ebro realizadas por EbroNautas el 1 de marzo de 2024 mediante ADCP y GPS con un caudal total medido *in situ* de 1262 m<sup>3</sup>/s



La gráfica superior de velocidades (que expresa las diferencias de caudal circulante entre el cauce de alivio, el soto inundado y el cauce principal) corresponde con la sección de mayor longitud (550 m) de la imagen inferior, en la que las líneas azules marcan velocidades y las líneas verdes, profundidades. Fuente: base de ortofoto del PNOA; elaboración de EbroNautas.

## DIFICULTADES, PERSPECTIVAS Y CONCLUSIÓN

Tal como se mostró en el estudio previo de Ollero et al. (2021), los caudales circulantes por el Ebro medio, y más en situaciones de aguas altas y crecidas, fueron mal medidos al menos hasta 1996, sobredimensionándose los valores en algunos casos hasta un 30 %. Algunos de ellos han sido revisados y corregidos oficialmente por el organismo gestor, pero otros no. Ello implica un problema a la hora de emplearlos en análisis hidrológicos estadísticos, ya que la incertidumbre sobre su validez es muy elevada. Lo más prudente para cualquier estudio actual es descartar los datos anteriores a 1996, lo cual reduce las series disponibles fiables a menos de 30 años. Al mismo tiempo, estudios hidrológicos precedentes como



el de Ollero (1992), que trabajó con la serie 1950-1985, han quedado obsoletos y sus valores y cálculos no pueden emplearse ya como referencia. Se impone, por tanto, centrar el análisis hidrológico solo a partir de 1996, especialmente en lo que concierne a las crecidas, de manera que solo las acontecidas en el siglo XXI aportan la suficiente fiabilidad para constituir las referencias que sirvan de base al diagnóstico del actual funcionamiento fluvial y de la peligrosidad natural en la situación de riesgo del Ebro medio.

Otras dificultades se relacionan con la falta de equipamiento previo (limnismarcas, puntos de referencia de mediciones antiguas, sensores, piezómetros, etc.) que habría permitido un mejor análisis evolutivo de los procesos naturales y antrópicos registrados. Por ejemplo, hay trabajos que señalan un aumento del nivel del fondo del cauce aguas abajo de la confluencia del Aragón, a raíz de los aportes sedimentarios de este (Villar, 2015). Sin embargo, nuestras observaciones de campo indican una incisión cada vez más clara y extendida, aunque no puede ser cuantificada todavía con exactitud por la ausencia de referencias preinstaladas que aseguren y cuantifiquen esas observaciones. Se trabajará en estimaciones a partir de topografías antiguas recogidas en proyectos de actuaciones en el cauce y de fotografías antiguas de puentes y orillas, tal como se hizo en el bajo Gállego (Martín Vide et al., 2010).

Otras dificultades derivan de la escasa y difícil integración entre los campos de investigación y la gestión pública. Las actuaciones y medidas y la integración de varias de ellas se han ido implementando sin una base científica que permita prever las interacciones que se producen en un sistema ambiental tan complejo. Sería interesante apoyar y acompañar de una manera más coherente y consolidada estas iniciativas de la Administración pública desde el ámbito científico, mediante el análisis evolutivo, la evaluación de las medidas y sus efectos y el seguimiento, en una perspectiva científico-técnica colaborativa y constructiva.

El presente estudio y el proyecto en el que se enmarca tratan de definir cómo es y cómo está el Ebro medio en la actualidad, así como cuáles son sus tendencias hacia las próximas décadas, por ejemplo con el horizonte 2050, en un contexto de cambio climático y global. Pero esta perspectiva y prospectiva de cómo será y cómo estará el Ebro medio en 2050, cuando cumpla un siglo inmerso en su Antropoceno fluvial, dependerá en buena medida de cómo evolucione a nivel político, ideológico y económico nuestra sociedad. Este hecho impone la más fuerte dificultad al estudio del Ebro medio y a su propia supervivencia como eje fluvial. Las inercias actuales son todavía muy fuertes. Son necesarias la investigación, la educación, la divulgación, la ordenación del territorio, el decrecimiento, las figuras de protección aplicables; en suma, toda una batería de herramientas para vencer esas inercias tradicionales y conseguir un río sano que perviva en el tiempo en coevolución, reciprocidad e interdependencia con una sociedad ribereña respetuosa, adaptada y resiliente, que desarrolle una cultura y capacidades para el cuidado fluvial (Brierley, 2020; García et al., 2021).

Este paisaje fluvial debería ser protegido, valorado, gestionado y restaurado desde soluciones basadas en la naturaleza. La principal medida podrá ser, sin duda, conseguir un río más ancho y naturalizado localmente, un territorio fluvial del Ebro con un espacio entre defensas de al menos un kilómetro, como ya se planteó en estudios anteriores como el Plan Medioambiental del Ebro de 2005 (Ollero, 2007). Aunque la regulación y las presiones provenientes de la cuenca van a seguir estando presentes y van a condicionar la naturalidad de los procesos, la posibilidad de un cauce activo y libre con un corredor

ribereño natural que alcance esa anchura ideal dotará al sistema fluvial de la resiliencia suficiente para absorber los impactos procedentes de aguas arriba. El corredor fluvial generado aportará múltiples beneficios ecológicos y sociales y podrá constituir un modelo de restauración fluvial aplicable a otros muchos ríos.

Con todos los resultados del proyecto se pretende, por último, generar un “Observatorio del Ebro” integrando diferentes ciencias fluviales que pueda funcionar de forma autónoma y continua en sucesivos proyectos de investigación, como aportación científica para la gestión de un territorio fluvial resiliente. Este observatorio podría constituir un ejemplo extrapolable para el estudio y la gestión de otros ríos, y de los ríos en general, de manera que podría establecerse un protocolo de medidas y acciones mínimas de obligado cumplimiento a nivel estatal con el objetivo de asegurar una gestión sostenible y un ecosistema fluvial resiliente.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos dedicar esta modesta contribución a Francesca Segura, a quien agradecemos el gran trabajo que ha desarrollado en hidrogeomorfología fluvial y las muchas reflexiones compartidas con ella sobre problemas fluviales concretos. Sus enormes conocimientos, experiencia y sensibilidad sobre los ríos siempre han constituido un referente para nuestro trabajo.

Esta investigación se desarrolla en el proyecto coordinado “Sedimento, extremos hidrológicos, cambios histórico-ambientales y resiliencia fluvial: el río Ebro (SEDEXCHARE, Observatorio del río Ebro)”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyectos de Generación de Conocimiento 2022 Investigación Orientada).

Agradecemos el apoyo técnico con la aportación de datos e instrumental a Ramón Sánchez, María Luisa Moreno y David Gargantilla (Confederación Hidrográfica del Ebro) y en el trabajo de campo a Óscar Alamán y Néstor Jiménez (EbroNautas, S. L.). También a miembros del equipo y personas que colaboran en el proyecto SEDEXCHARE, Jorge Bielsa, Amaia Bescós, Alba Ballester, Iban Sánchez, Antonio Montealegre, Ibai Ortiz de Arri, Galder Mentxaka, Casandra González y Óscar Pueyo, que han aportado ideas y consejos. Igualmente valiosas han sido las aportaciones de las dos personas anónimas que han evaluado el manuscrito.

### REFERENCIAS

- Arnaud-Fassetta, G., Astrade, L., Bardou, E., Corbonnois, J., Delahaye, D., Fort, M., Gautier, E., Jacob, N., Peiry, J. L., Piégay, H., & Penven, M. J. (2009). Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2/2009, 109-128. <http://dx.doi.org/10.4000/geomorphologie.7554>
- Batalla, R. J., Gómez, C. M., & Kondolf, G. M. (2004). Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 290, 117-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.002>

- Batica, J. & Gourbesville, P. (2016). Resilience in flood risk management: a new communication tool. *Procedia Engineering*, 154, 811-817. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.411>
- Beguería, S., López-Moreno, J. I., Lorente, A., Seeger, M., & García-Ruiz, J. M. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Ambio*, 32(4), 283-286. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-32.4.283>
- Benahmed, Z. (2021). *Disseny d'un sistema de mostreig del transport de sediment de fons a rius amb Helley-Smith* [Trabajo de fin de grado]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Benito, G., Pérez-González, A., Gutiérrez, F., & Machado, M. J. (1998). River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution (Gállego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22, 243-263. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00088-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00088-3)
- Brierley, G. J. (2020). *Finding the voice of the river: beyond restoration and management*. Palgrave Macmillan, Springer Nature.
- Cabezas, A., Comín, F. A., Beguería, S., & Trabucchi, M. (2009). Hydrologic and landscape changes in the Middle Ebro River (NE Spain): implications for restoration and management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1-12. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-13-273-2009>
- Castillo, P. (2014). The navigability of the River Ebro: A reason for roman territorial planning in the Ebro Valley. *e-Topoi*, 3, 129-142.
- Castillo, P. (2016). Ríos y calzadas en el valle del Ebro: la influencia de la navegación en el trazado de las vías. En Czeguhn et al. (eds.). *Wasser – Wege – Wissen auf der iberischen Halbinsel: vom Römischen Imperium bis zur islamischen Herrschaft* (pp. 47-72). Baden-Baden: Nomos V.
- Church, M. (2006). Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 34, 325-354. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.33.092203.122721>
- Conesa, C., Pérez Cutillas, P., García Lorenzo, R., & Martínez Salvador, A. (2012). Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre. *Nimbus*, 29, 159-176.
- Cuartero, N., Moral, R., Ollero, A., & Pirchi V. N. (2022). *Evaluación hidromorfológica tras la aplicación de la técnica curage en el curso medio del Ebro*. Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- De Bruijn, K. M., Klijn, F., Öllfert, A., Penning-Rowsell, E., Simm, J., & Wallis, M. (2009). *Flood risk assessment and flood risk management*. Delft: FLOODsite Consortium.
- Díaz Redondo, M., Marchamalo, M., Egger, G., & Magdaleno, F. (2018). Toward floodplain rejuvenation in the middle Ebro River (Spain): from history to action. *Geomorphology*, 317, 117-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.014>
- García, J. H., Ollero, A., Ibisate, A., Fuller, I. C., Death, R. G., & Piégay, H. (2021). Promoting fluvial geomorphology to “live with rivers” in the Anthropocene era. *Geomorphology*, 380, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107649>
- García Ruiz, J. M., López Moreno, J. I., Lasanta, T., Vicente, S. M., González Sampéris, P., Valero, B. L., Sanjuán, Y., Beguería, S., Nadal, E., Lana-Renault, N., & Gómez Villar, A. (2015). Los efectos geocológicos del cambio global en el Pirineo central español: una revisión a distintas escalas espaciales y temporales. *Pirineos*, 170, e012. <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2015.170005>

- Gil, H. (2017). *Los depósitos cuaternarios en el sector central de la Cuenca del Ebro: Arquitectura estratigráfica, paleokarst, su interacción con la sedimentación y cronología* [Tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza.
- Giménez Font, P. (2009). Cauces meandriformes y riesgos naturales en la cartografía histórica del Mediterráneo español. *Mapping*, 133, 12-16.
- Gracia-Abadías, J., Simón, J. L., Soriano, M. A. y Salvador, T. (2024). Testing the predictive ability of a karst subsidence susceptibility map made thirty years ago in the central Ebro Basin (Zaragoza, Spain). *Natural Hazards*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-024-06507-2>
- Guerrero, J. (2009). *Dinámica fluvial y riesgos naturales derivados de la subsidencia kárstica en los valles del Huerva y Ebro* [Tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza.
- Helley, E. J. & Smith, W. (1971). *Development and calibration of a pressure-difference bedload sampler*. Menlo Park, California: US Geological Survey.
- Horacio, J., Ollero, A., Ballarín, D., & Ibisate, A. (2018). Herramientas para el diagnóstico del ecosistema fluvial. En Díez, J. R. & Ibisate, A. (eds.). *Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la red Natura 2000* (pp. 22-44). Vitoria-Gasteiz: Gobierno Vasco.
- Lobera, G., Besné, P., Vericat, D., López Tarazón, J. A., Tena, A., Aristi, I., Díez, J. R., Ibisate, A., Larrañaga, A., Elosegi, A., & Batalla, R. J. (2015). Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 508, 101-114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.058>
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Revuelto, J., Gilaberte, M., Azorín-Molina, C., Morán-Tejeda, E., García-Ruiz, J. M. & Tague, C. (2014). Respuesta hidrológica del Pirineo central al cambio ambiental proyectado para el siglo XXI. *Pirineos*, 169. <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2014.169004>
- Magdaleno, F. (2011). *Evolución hidrogeomorfológica del sector central del río Ebro a lo largo del siglo XX. Implicaciones ecológicas para su restauración* [Tesis doctoral]. ETSI Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Martín Vide, J. P. (coord., 2018). *Estudio del equilibrio sedimentario del río Ebro en el tramo urbano de Zaragoza* (informe inédito). Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza.
- Martín Vide, J. P., Ferrer-Boix, C., & Ollero, A. (2010). Incision due to gravel mining: modeling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology*, 117, 261-271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.019>
- Merz, B., Hall, J., Disse, M., & Schumann, A. (2010). Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 509-527. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-509-2010>
- Ollero, A. (1992). *Los meandros libres del río Ebro (Logroño-La Zaida): geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos* [Tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza.
- Ollero, A. (2007). *Territorio fluvial. Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes*. Bilbao: Bakeaz y FNCA.
- Ollero, A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*, 117, 247-260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.015>
- Ollero, A., Ibisate, A., Granada, D., & Real de Asúa, R. (2015). Channel responses to global change and local impacts: perspectives and tools for floodplain management (Ebro River and tributaries,

- NE Spain). En Hudson, P. F., & Middelkoop, H. (eds.). *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (pp. 27-52). Nueva York: Springer. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9_3)
- Ollero, A., García, J. H., Ibisate, A., & Sánchez Fabre, M. (2021). Updated knowledge on floods and risk management in the Middle Ebro River: the “Anthropocene” context and river resilience. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47. <http://dx.doi.org/10.18172/cig.4730>
- Ollero, A., Albero, L., Boné, P., Díaz-Morlán, J., Pirchi, V. N., & Marchioro, E. (2024). Three rivers and different approaches of urban riverscapes in Zaragoza city: hydromorphology, memory, perception and planning. En Farguella, J. & Santasusagna, A. (eds.). *Urban and metropolitan rivers: geomorphology, planning and perception*. Springer (The Urban Book Series).
- Ribas, A., Olcina, J., & Saurí, D. (2018). Sustainable land use planning in areas exposed to flooding: some international experiences. En Vinet, F. (ed.). *Floods*, 103-117, Elsevier.
- Sánchez Fabre, M., Ollero, A., Moreno, M. L., Losada, J. A., Sánchez, J. R., & Serrano Notivoli, R. (2017). Évolution hydrologique et inondations récentes dans l'Èbre moyen. *Sud-Ouest Européen*, 44, 97-116.
- Tena, A., Batalla, R. J., Vericat, D., & López Tarazón, J. A. (2011). Suspended sediment dynamics in a large regulated river over a 10-year period (the lower Ebro, NE Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 125, 73-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.07.029>
- Thorne, C. R., Henshaw, A., Bates, P. et al. (2010). *Applied fluvial geomorphology for sustainable flood risk management*. Telford: DEFRA Annual Flood & Coastal Risk Management Conference.
- Villar, J. (2015). *Evolución histórica de la propagación de las grandes avenidas en el tramo medio del Ebro* [Trabajo final de grado]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Vinet, F. (2010). *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*. París: Tec & Doc Lavoisier.

Cómo citar este artículo:

Ollero, A., Ibisate, A., Ferrer-Boix, C., Martín Vide, J. P., Ballarín, D., Castillo Pascual, P., García Lagranja, J. M., García-Rodríguez, S., Melián, Á., Núñez-González, F., Ormaetxea, O., Pirchi, V. N., Sáenz de Olazagoitia, A. & Sánchez Fabre, M. (2024). El curso medio del río Ebro: bases preliminares para su diagnóstico hidromorfológico y perspectivas de gestión y restauración. *Cuadernos de Geografía*, 112, 131-149.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29564>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



JUAN ANTONIO MARCO MOLINA<sup>a</sup>  
PABLO GIMÉNEZ FONT<sup>b</sup>

## FONTS PER A LA RECONSTRUCCIÓ DELS SISTEMES TRADICIONALS DE REG AMB AIGÜES D'AVINGUDA EN RAMBLES DEL SUD-EST PENINSULAR

### RESUM

Les rambles mediterrànies, especialment al sud-est de la península ibèrica, han tingut un aprofitament històric consistent en la utilització de les aigües d'avinguda, que han estat desviades per a aportar regs extraordinaris als camps de cultiu. Es tracta de sistemes pluriseculars, en el present desmantellats o abandonats, que tingueren unes conseqüències hidrogeomorfològiques molt importants. Tot i això, la seua dimensió espacial encara no està ben calibrada i calen més estudis de cas, aplicant una metodologia compartida. En el present article es reflexiona sobre la disponibilitat i el valor de fonts documentals de diferent signe (documentació històrica escrita, memòria oral, cartografia, fotografia aèria i treball de camp), prenent com a cas d'estudi principal el de la Rambla de la Sarsa-El Derramador (Agost, Alacant). Les conclusions demostren com, si bé a escala desagregada, cada font aporta una informació relativament pobra, és en la consideració de conjunt quan s'obtenen els resultats més significatius.

**PARAULES CLAU:** cartografia històrica; documentació històrica; fotografia aèria; memòria oral; treball de camp; dominis àrids i semiàrids.

---

a Grupo de Investigación Medio, Sociedad y Paisaje (MedsPai), Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, España. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. ja.marco@ua.es, <http://orcid.org/0000-0003-3431-0499>

b Grupo de Investigación Medio, Sociedad y Paisaje (MedsPai), Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, España. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. pablo.gimenez@ua.es, <http://orcid.org/0000-0002-1171-715X>

Fecha de recepción: 18-06-2024. Fecha de aceptación: 16-09-2024.

## SOURCES FOR THE RECONSTRUCTION OF TRADITIONAL IRRIGATION SYSTEMS WITH FLOOD WATERS IN RAMBLAS OF THE IBERIAN PENINSULA SOUTHEAST

### ABSTRACT

The Mediterranean ramblas, especially in the south-east of the Iberian Peninsula, have had a historical use consisting in the utilization of flood waters, which have been diverted to provide extraordinary irrigation to the cultivated fields. These are centuries-old systems, currently dismantled or abandoned, which had very important hydrogeomorphological consequences. However, their spatial dimension is still not well calibrated and more case studies are needed, applying a shared methodology. This article reflects on the availability and value of documentary sources of different kinds (written historical documentation, oral memory, cartography, aerial photography and field work), taking as the main case study that of the Rambla de la Sarsa-El Derramador (Agost, Alicante). The conclusions show that, in a disaggregated level, each of the sources provides relatively poor information. However, it is in the overall analysis that the most significant results are obtained.

**KEYWORDS:** historical cartography; historical documentation; aerial photography; oral memory; field work; arid and semi-arid domains.

### INTRODUCCIÓ

Els sistemes fluvials de les terres seques de la península Ibèrica, caracteritzats per uns minsos cabals anuals que poden augmentar sobtadament amb crescudes esporàdiques, han conegut un sistema mil·lenari d'aprofitament de les aigües d'avinguda, similar al que es pot observar en el nord d'Àfrica i l'oest d'Àsia. Es tracta d'un conjunt d'actuacions conegudes com a regs de boquera, d'avinguda o "de turbias", que incorporen complexos conjunts de preses de derivació i xarxes de canals, la dimensió dels quals va generar un antic i intricat sistema d'organització hidrogeomorfològica en molts rius efímers mediterranis. Tot i que sembla que un gran nombre de rambles foren intervingudes en aquest sentit, les dimensions espacials d'aquest procés encara estan per calibrar de forma conjunta. Del que sí que hi ha una evidència contrastada científicament, és del fet que aquest sistema va servir per a reduir la perillositat de les crescudes i va convertir les avingudes fluvials en un valuós recurs per a l'agricultura, beneficiada per uns regs eventuals a manta, que amb els sediments en suspensió aportaven també nutrients molt necessaris. Des de la segona meitat del segle xx, especialment a Europa, les tècniques i infraestructures de captació i distribució dels regs d'avinguda han sigut completament abandonades i, en general, existeix un desconeixement sobre la seua extensió real i les conseqüències hidrogeomorfològiques que hi produïen.

No obstant això, els regs d'avinguda han rebut una atenció destacable a Espanya per part de geògrafs i historiadors, a partir essencialment de l'estudi pioner d'Alfredo Morales (1969), que encetà una profusa línia de recerca (Hernández i Morales, 2013). Són nombrosos els treballs d'estudi i catalogació de sistemes en Alacant, Múrcia i Almeria (López, 1973; Morales i Box, 1986; Bernabé, 1989; Box, 1990;



Gómez, 2004; Mondéjar, 2009; Morote, 2013; Gil et al., 2015; Gil, 2016; Marco i Box, 2019; Marco et al., 2020 i 2021); mentre que els estudis sobre percepció (Box, 1985; Morales i Box, 1995) i drets consuetudinaris (Morales et al., 1989), han posat de manifest els canvis produïts en la valoració positiva de les pluges d'alta concentració horària, considerades abans com un recurs i que passaren a ser un perill una vegada abandonats els sistemes tradicionals d'aprofitament. Recents perspectives analitzen la possibilitat actual de convertir les crescudes, de nou, en una oportunitat per a lluitar contra l'erosió i maximitzar l'aprofitament de l'aigua pluvial, reduint la seua perillositat intrínseca, amb la qual cosa es pot considerar que la línia de recerca manté o incrementa, si cal, el seu interès científic i aplicat (López-Bermúdez, 2014; Segura i Ollero, 2022).

Les conseqüències geomorfològiques i la idoneïtat d'emplaçaments dels sistemes de captació és una qüestió que rau en gairebé tots els treballs, però que s'analitza de forma més concreta en alguns estudis (Morales, 1989; Morales, et al., 1991; Marco i Box, 2019; Marco et al., 2021; Fansa i Pérez, 2021), que posen de manifest els efectes de l'abandonament del reg per boqueres. L'abast territorial dels sistemes d'aprofitament de les aigües d'avinguda, encara per calibrar correctament (Mondéjar, 2009), sembla indicar un nivell de regulació hidrològica excepcional i perllongat durant segles, amb una davallada molt ràpida a partir de les dècades de 1960 i 1970. Aquest fet fa necessari entendre la transició de sistemes que, sotmesos durant molt de temps a una dinàmica ecoantròpica, es troben actualment dins de dinàmiques relacionades amb l'abandó de la gestió tradicional i clarament més perilloses per a l'ésser humà. Per això, resulta fonamental conèixer el funcionament dels sistemes tradicionals, amb la finalitat de comprendre correctament la situació actual, reconeixent la naturalesa dels problemes i aportant possibles solucions.

Partint d'aquesta base, en altres publicacions (Marco et al., 2021) s'ha plantejat una metodologia general de treball, aplicable al conjunt de sistemes fluvials històricament controlats pel reg de boqueres, que permeta entendre el seu funcionament, datar l'abandó i valorar la transició d'unes dinàmiques ecoantròpiques, dirigides per l'ésser humà, a d'altres actuals, més caòtiques. De manera progressiva, els passos a seguir consistirien en:

- i. Analitzar fonts documentals de diferent signe, tant cartografia i fotografia aèria com documentació històrica escrita i memòria oral.
- ii. Inventariar els elements del sistema, existents o no: elements de derivació i conducció per tal de calcular la capacitat de desviament de cabdals i la superfície regada.
- iii. A partir de les dades anteriors, tractar de reconstruir el funcionament del sistema fluvial sota una dinàmica ecoantròpica.
- iv. Finalment, datar el moment de l'abandó i l'evolució de les transformacions que han afectat la conca i la xarxa hidrogràfica, amb especial atenció al llit principal.
- v. Plantejar les possibilitats de recuperació/restauració d'aquests sistemes com a mesures per incrementar la resiliència enfront de l'augment de la perillositat i riscos derivats de les avingudes fluvials (solucions basades en els coneixements tradicionals –SBCT–).

L'objectiu del present treball tracta de centrar-se en el primer pas, aportant una relació crítica i aplicada de fonts, diverses i complementàries entre si, per a la reconstrucció de l'extensió i funcionament hidrogeomorfològic d'aquests sistemes.

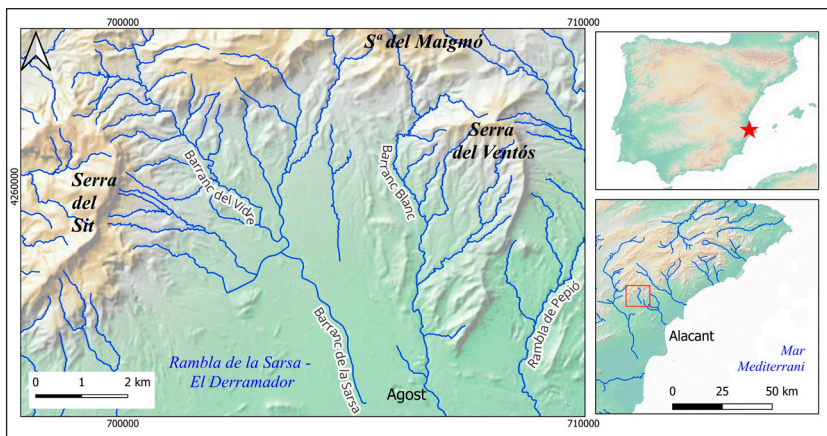
### METODOLOGIA

El conjunt de fonts que detallarem a continuació deriva d'una perllongada tradició en estudis previs, com s'ha comentat, però també d'experiències didàctiques aplicades a l'alumnat de postgrau universitari en matèria de riscos naturals. Si bé la primera ens ha nodrit d'exemples nombrosos, amb la capacitat d'avaluar la riquesa i conveniència dels materials disponibles, la docència ha fet necessària una sistematització de les fonts aplicades a l'estudi del reg de boqueres i les seues conseqüències geomorfològiques amb la base dels objectius anteriorment descrits. D'aquesta forma, hem classificat les fonts documentals en tres grans categories, tenint en compte la seua dimensió espacial.

En primer lloc, es trobarien les fonts merament textuais, sense una referència espacial explícita més enllà de la toponímia, que resulta un recurs fonamental. En aquesta categoria hi ha diverses modalitats de fonts geohistòriques de distinta procedència, com veurem. D'altra banda, però de forma plenament relacionada, trobaríem una gran diversitat de fonts documentals explícitament espacials, vinculades a la cartografia, com ara plànols, croquis o fotografies. La digitalització i obertura dels fons arxivístics ha millorat molt la recerca, facilitant l'accés a documents històrics. Finalment, el conjunt d'informació més purament geogràfica és el vinculat al treball de camp, tant en l'establiment i verificació d'hipòtesis d'investigació com en l'enquesta a peu de camp i la pura i autèntica descoberta geogràfica.

Des de l'òptica de les anomenades, genèricament, *Tècniques Tradicionals d'Informació Geogràfica* (TTIG) (Marco, 2016), tot aquest conjunt de fonts es barregen en una anàlisi aplicada de caràcter diacrònic, que es beneficia de les possibilitats que aporten les *Tecnologies de la Informació Geogràfica* (TIG), utilitzant metodologies estandarditzades per a generar i gestionar dades històriques heterogènies; és a dir, susceptibles d'incorporar-se en un *Historical-GIS* (HGIS), denominació internacional emprada per als sistemes d'informació geogràfica que manegen dades històriques (Gregory i Healley, 2007). Val a dir, reforçant una idea transversal en aquest treball, que totes les fonts estan interrelacionades, i que el sentit sistematitzador d'aquesta classificació no és altre que el d'oferir una relació organitzada que permeta avaluar de forma individual cada tipus de fonts a partir de la nostra experiència, generant, a continuació, una discussió crítica del conjunt. Precisament, amb l'objectiu de representar la major part de les fonts amb un exemple articulat, presentarem el tram final de la rambla de la Sarsa-el Derramador (Agost, Alacant) com a zona d'anàlisi preeminent (figura 1).

Figura 1. Localització de la rambla de la Sarsa-el Derramador



Font: elaboració pròpia.

## RESULTATS

### Les fonts escrites

Amb la denominació genèrica de fonts escrites s'amaga un conjunt documental molt ampli i heterogeni, que convé organitzar seguint els objectius que ací ens ocupen. A partir de les reflexions expressades per Morales et al. (1989) respecte al dret consuetudinari i les disposicions legals relatives a l'aprofitament de les aigües d'avinguda, cal diferenciar entre les que no tenen una acusada concreció geogràfica i les que fan referència a espais geogràfics o jurisdiccions concretes, o cada vegada més concretes. En les primeres inclouríem l'ordenament romà, el *Fuero Juzgo*, *Código de las Siete Partidas* i les dues lleis decimonòniques de l'aigua; que, en bona lògica, expressen, sobretot, les pràctiques d'aprofitament tant d'aigües d'avinguda com de vessants en dominis àrids i semiàrids del SE peninsular, però no sols.

Pel que fa a les que presenten una certa concreció espacial, els autors esmentats fan referència, per exemple, a què en els repartiments posteriors a la Conquesta cristiana es menciona l'existència de “unas áreas de cultivo que se beneficiaban de las aguas eventuales –riegos de alfait–” (Morales et al., 1989: 555). Mentre que altres normes, com les conegudes genèricament com *Ordenanzas*, són aplicables a jurisdiccions com Múrcia (1695) i Lorca (1713) o, fins i tot, mencionen reglaments com el dels regs de l'Horta d'Alacant, tots tres com a àmbits territorials en els quals s'aprofitaven les aigües de les avingudes (Morales et al., 1989).

Amb idèntiques connotacions territorials i de jurisdicció hem de destacar un exemple imprescindible, més encara tenint en compte que parla de la zona d'Agost on es troba la rambla de la Sarsa-el Derramador, com és el testimoni de Cavanilles (1797: 255) quan afirma

Quien ignore ser suma la escasez de agua en aquella parte del reyno, y que á veces un solo riego basta para asegurar y aumentar las cosechas, extrañará ver salir los labradores hácia sus haciendas quando empieza á tronar, ó amenaza alguna tempestad: los truenos, que en otras partes sirven de señal para retirarse á sus habitaciones, lo son aquí para desampararlas y salir en busca de las aguas y deseado riego: se fecundan entónces los olivos, higueras, almendros, viñas y algarrobos; y el suelo entero se mejora con el cieno que traen las aguas.

Descripció amb la qual Box (1985) posà de manifest la tan contrastada percepció dels episodis de pluges intenses entre les darreries del segle XVIII i la dècada dels anys vuitanta del segle passat. Per la seua part, Morales (1968-1969) per tal de ressaltar la importància dels sistemes implantats a Agost torna a utilitzar una cita de Cavanilles (1797: 255-256):

...colinas y lomas dispuestas en gradería se trabajan con comodidad, y reciben fácilmente algún riego en tiempos de lluvias; a cuyo fin se han abierto canales que se comunican, y tomada el agua en los sitios altos de las arroyadas y barrancos se conduce largo trecho a las heredades. Alguna vez, en julio, rebosan de agua los canales sin descubrirse nubes, por haber llovido en los montes, cuyas vertientes caen a la espaciosa hoyá donde está Agost y demás pueblos occidentales.

Tot aquest conjunt de cites extretes de fonts escrites són testimoni de la presència o importància dels sistemes de reg amb boqueres dels territoris d'escala aproximadament municipal.

Tanmateix, també es planteja l'alternativa que la informació, de caràcter textual, tinga la possibilitat de convertir-se en una dada espacial –mitjançant, per exemple, la toponímia/onomàstica– o bé aporte informació general sobre el funcionament o l'evolució d'un determinat sistema de reg d'avinguda o les seues infraestructures associades. Reprint el fil, Cavanilles (1797: 255-256) destaca els èxits de Pedro Andrés Visado, responsable de reduir a cultiu un antic barranc; així com a un tal Francisco Sirera, del qual només refereix un projecte sense concretar: “Mas útil, segura y ménos dispendiosa es la empresa de Don Francisco Sirera; y quando se lleve al debido efecto tendrán agua muchos campos que carecen de ella, y darán frutos seguros y abundantes”. Text que obre les possibilitats de concretar a l'espai geogràfic d'Agost aquestes intervencions mitjançant recerques arxivístiques d'acusat caràcter cadastral.

Les dades locals poden tindre un caràcter singular i en moltes ocasions són difícilment localitzables al trobar-se amagades, per exemple, en extensos protocols notariais o en complexos conflictes jurisdiccionals. En alguns casos existeix un corpus documental important, associat a un organisme administratiu superior, com ara una comunitat de regants històrica o una gran població. Podria citar-se ací l'exemple de l'extens camp d'Elx, on l'estudi d'Ibarra (1914: 183) confirma la importància dels assuts del Derramador i la construcció d'una *contraaçequia* cap a 1530 per a l'aprofitament de les aigües d'avinguda del riu Vinalopó; o el cas de la ciutat i horta d'Alacant i el seu control sobre les subconques del riu Verd-Montnegre-Sec que es pot resseguir en la nombrosa documentació conservada a l'Arxiu Municipal d'Alacant (AMA) relativa al “aprovechamiento de aguas pluviales para riego”.<sup>1</sup> Es tracta

1 AMA: Legajo-19-28-22/0 1690: *Relación de todos los procesos que la ciudad de Alicante lleva a la Real Audiencia de Valencia contra Tibi, Castalla, Onil sobre el dominio y utilización de las aguas pluviales, de manantiales y fuentes*. Legajo-2000-4-16/0 1866: *Instancia dirigida al Sr. Gobernador de la Provincia por los arrendatarios y cultivadores de la Huerta de Alicante, sobre el aprovechamiento de las aguas pluviales para riego, mediante la construcción de azudes*.

d'un sistema de reg implantat en el tram final de la conca del riu Verd-Montnegre-Sec que adquirí un caràcter preeminent i dominant respecte de la resta de la conca. A banda de les aigües de fonts i ullals, Alberola (1984: 20) assenyala que també s'aprofitaven les aigües de les avingudes, anomenades ací de *Duit* o de *ventura*; circumstància que també està arrellegada en els articles 17 i 18 del *Reglamento para el aprovechamiento de las aguas del Riego de la Huerta de Alicante* del segle XIX (figura 2) i de la que no falten referències en documents de l'AMA, en els quals es reclama la incorporació del Gualeró (séquia o boquera iniciada en l'Assut de Sant Joan) al sistema en els moments de crescuda.<sup>2</sup>

Figura 2. Referència a l'aprofitament de les aigües d'avinguda o de *Duit* en l'horta d'Alacant

ART. 17. En caso de que por sobresalir del pantano ó por avenidas de la parte de abajo de él llegasen al azud de Muchamiel aguas de avenida llamadas de *Duit*, se aprovecharán aumentando por igual las hilas ordinarias hasta un doble, de cuyo beneficio disfrutarán graciosamente los que estén en turno ordinario.

ART. 18. Si después de dicho aumento de las hilas, sobrase todavía agua, se formarán una ó más hilas de avenida, que se dirigirán por los brazales vacíos, y se darán solamente á los dueños de agua nueva para que aprovechen la que les convenga, llevándose un turno especial de avenidas, á fin de que con igualdad disfruten todos del beneficio.

Font: *Reglamento* (1849: 7).

Igualment interessant resulta reconstruir quina era la superfície beneficiada per regs amb aigües d'avinguda. Aquest tipus d'aprofitament atorga a les terres beneficiades una valoració superior que la de les terres del secà *sensu stricto* (Morales et al., 1989: 556), circumstància que queda reflectida en una major contribució recollida en els *Amillaramientos* (Llobet, 1958). Igualment útils podrien resultar per a aquesta tasca fonts contributives com el *pago del Equivalente* o el registre de la propietat, entre d'altres.

### *Les fonts cartogràfiques*

Igual que ocorre amb la documentació escrita, dins de l'heterogeneïtat del que es podria definir com a mapes, plànols, croquis i dibuixos, es poden diferenciar dos grans tipus de fonts cartogràfiques històriques: les realitzades amb un caràcter puntual, associades a la descripció d'un espai concret per requisit –generalment– d'un determinat tràmit administratiu; i les cartografies seriades, generades per organismes cartogràfics amb una voluntat sistematitzadora, amb simbologia i escales compartides. En ambdós casos, per al cas que ens ocupa, són vàlides en quant que comparteixen una escala de detall suficient per a representar sistemes de boqueres i les infraestructures adients; la qual cosa no és gens habitual. Per al primer cas, el fet que els sistemes de reg d'avinguda tingueren moltes vegades una dimensió reduïda –des d'un

<sup>2</sup> AMA: Legajo-2000-1-5/0 1815: *Propuesta de los ayuntamientos de Muchamiel y San Juan para que el azud pueda recibir las aguas de avenidas, la acequia del Gualeró*.

punt de vista desagregat– i un caràcter plurisecular, sobre el que no hi havia un projectisme destacat, ha suposat que el registre cartogràfic siga minoritari. Fins i tot, pensem al respecte que no és estrany que, en eixa coevolució tan característica entre sistema fluvial i aprofitament de les crescudes, algunes boqueres hagen estat reconegudes històricament com un tram més de la mateixa rambla, com seria el cas de la Rambleta (Rambla de la Sarsa-El Derramador) o la Rambla de Cox (Rambla de Benferri), entre molts altres exemples. D'aquesta forma, podrien haver-hi més opcions de trobar cartografies de detall, com les vinculades a treballs d'agrimensura (Faus, 1995), que no mapes més generals o de sistemes complets, com passa més sovint als regs d'aigües perennes. A tall d'exemple per al primer conjunt de mapes, destaca el plànol de reg d'un sector del barranc dels Guaritons, al Campello (Alacant), on s'aprecien diverses boqueres i el paisatge de cultius associat (figura 3), un sistema desmantellat amb l'arribada de les noves plantacions de tomaqueres a la dècada de 1960 i hui desaparegut baix una densa xarxa de carreteres.

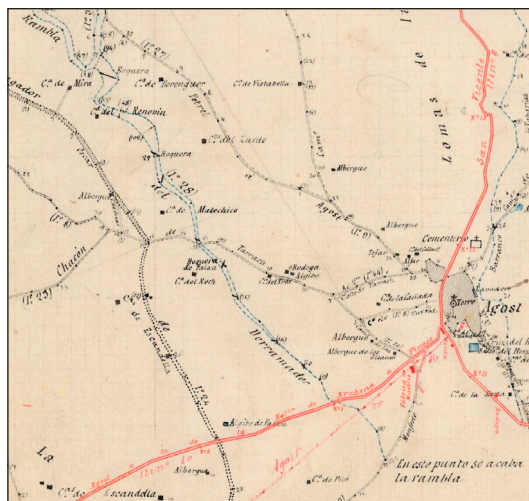
Mentre que, per a sistemes de major envergadura, caldria assenyalar una excepció notable en terres valencianes, com és el cas de la Rambla d'Abanilla-Benferri (coneguda com a *Río Chícamo* aigües amunt) i el conjunt de mapes associats, relacionats a l'entitat del sistema i els problemes generats tant per conflictes jurisdiccionals com per la mateixa dinàmica evolutiva de la rambla (Marco et al., 2021).

Pel que respecta a cartografia seriada, destaca la informació aportada pels *bosquejos* planimètrics de finals del segle XIX, base dels posteriors *catastrones* i *Minutas* del MTN50, en les que es perd informació respecte dels primers. En efecte, els *Bosquejos* o planimetries, realitzats per a cada municipi amb una escala d'1:25.000, es configuraven mitjançant el treball de camp de personal topogràfic acompanyats de propietaris i autoritats municipals, de manera que el detall i la fiabilitat de les dades representades és remarcable. Els mapes assenyalen nuclis de població, indústries i cases disperses, línies de comunicació, assejadors i els principals cursos fluvials. De vegades es representen infraestructures de reg importants, com ara assuts, preses, sènies o grans séquies de reg, però no és habitual si la mida o la rellevància no és destacable. Per això, el fet que en algunes ocasions apareguen referències a les boqueres i canals derivats, és una bona mostra de la seua importància, almenys a escala municipal. Seria el cas de la rambla de la Sarsa-el Derramador, on tant al *Bosquejo* de 1898 com les anomenades *pañoletas* cadastrals, compleixen una funció destacada en la reconstrucció i localització dels elements del sistema. Cal fer menció de que part d'aquesta informació, com les preses, estan representades mitjançant línies traçades de manera transversal i/o obliqua als llits de les rambles, amb la qual cosa s'indica no sols la seua localització, sinó també el sentit i direcció de la desviació dels cabdals a les boqueres. Fins i tot, trobem la identificació d'alguna de les boqueres; concretament en el *Bosquejo* s'indica quina és la Boquera de Palau (figura 4). Aquesta informació té un valor afegit, com veurem més endavant, perquè la majoria de les preses d'aquest sistema estaven fetes de terra.

Figura 3. Plànol del barranc de Guaritons (El Campello), amb distints sistemes de preses i boqueres



Font: ARV. Mapes i plànols, núm. 377 (Joseph Antón, 1787). Reproduït en Aguilar (2009).

Figura 4. Detall de la fulla primera del terme municipal d'Agost. *Bosquejo planimètric* de 1898

Font: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Malauradament, relacions com la que presentem a l'exemple no són sistemàtiques, ja que a la mateixa fulla del municipi d'Agost no apareixen altres boqueres disposades sobre llits fluvials immediats, com ara el Barranc Blanc, on també hi eren presents. En tot cas, quan sí que apareixen les boqueres, la possibilitat de georeferenciar els mapes ajuda a la localització precisa d'estes infraestructures. Observant els originals, disponibles en el Centre de Descàrregues del CNIG i evitant el mosaic ortocomposat que retalla part de la informació, podem fixar-nos en anotacions laterals, algunes posteriors, que poden tindre un gran valor informatiu.

Les fonts cadastrals deriven, en essència, dels recursos anteriors, però incrementen l'escala de detall. Aquest fet fa que siguin especialment vàlides per a la localització i reconstrucció dels traçats d'infraestructures hidràuliques, però també per a definir trames parcel·lars i aprofitaments del sòl. Tot i que hi ha antecedents puntuals de plànols cadastrals des del segle XVIII, no és fins a la primera dècada del segle XX que comencen a aparèixer de forma generalitzada diferents tipologies de cartografies i dades cadastrals de detall a Espanya (Urteaga, 2008). La tasca del Instituto Geográfico y Estadístico i els seus *Avances Catastrales* és cada vegada més assequible per a la recerca, per trobar-se digitalitzada en diferents arxius i disponible en alguns repositoris. La informació sol dividir-se en polígons cadastrals, amb el seu corresponent parcel·lari. Les canalitzacions d'aigua amb certa entitat, com ocorre amb els camins, solen representar-se i inclús nomenar-se amb un topònim concret (figura 5) o genèric (figura 6). Les parcel·les estan numerades per a localitzar, en els respectius quaderns, al propietari i el tipus d'aprofitament. Aquesta última font és molt interessant perquè permet saber si les terres eren beneficiades amb recs eventuals –de boquera–, però, a diferència de la cartografia, és encara un recurs de difícil accés, no digitalitzat i, majoritàriament, sense localitzar en la major part dels casos. En la mateixa línia, i de



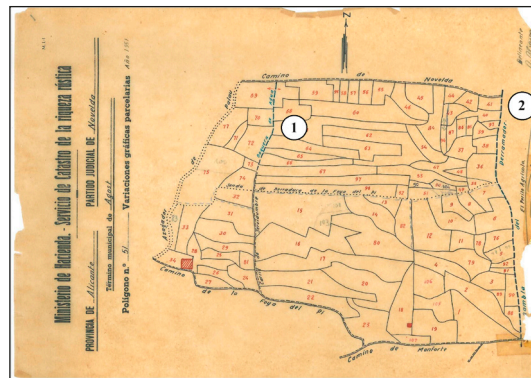
forma complementària, el registre de la propietat pot resultar determinant al deixar constància, ocasionalment, dels drets a regs d'una determinada boquera (Mondéjar, 2009); si bé tot apunta al fet que serien les anotacions històriques del registre les que donarien una major precisió en la reconstrucció de les superfícies beneficiades pels regs de boquera.

Figura 5. Detall d'un plànol parcel·lari de l'avanç cadastral de 1916. Rambla d'Abanilla-Benferri (marge esquerre), en el que s'aprecien els noms de braçals i séquies, como són el *de Palazón*, *el Cura*, *del Lugar*, *del Albardinal* o *de Benferrejo*



Font: Arxiu Històric Provincial d'Alacant (AHPA).

Figura 6. Plànol parcel·lari de 1951 del tram baix de la Rambla del Derramador (Agost). El número 1 identifica "boquera de agua" i el número 2 la Rambla del Derramador



Font: AHPA. Elaboració pròpia.

*La fotografia aèria i ortofotografies*

La fotografia aèria és, sense dubte, una de les principals eines per a la recerca. Si la Sèrie B del Vol Americà (1956-1957) resulta ja una font clàssica en els recursos geohistòrics, en l'última dècada s'ha posat a disposició del públic un gran nombre de vols, tant regionals com locals, en diverses fototeques vinculades a instituts cartogràfics i confederacions hidrogràfiques. En aquest sentit, cal destacar el fet que, en una part considerable de l'àmbit de desenvolupament del reg d'avingudes, hi ha el vol de Ruiz de Alda (1929-1930), que no només ens mostra, amb una magnífica resolució, el territori vinculat als regs del riu Segura fa quasi un segle, sinó que conté la particularitat d'haver estat realitzat amb posterioritat immediata a un episodi en el qual van funcionar algunes boqueres (Marco et al., 2021). Altres vols d'especial menció són, per la seua antiguitat, el de la Sèrie A del Vol Americà (1945) i l'Interministerial de 1973-1986. Si en el primer gran part dels sistemes estaven actius, i es poden fins i tot observar alguns canvis respecte al de 1956 –la qual cosa ens parla del dinamisme d'aquest tipus de regs–, en el segon cas destaca la seua escala de detall (1:18.000) i el fet de tractar-se d'una època en la qual l'abandó dels sistemes de boqueres era relativament recent i estaven produint-se, a gran part del sud-est peninsular, les grans transformacions parcel·làries i de tipus de cultius. Aquest fet està associat a l'arribada de nous recursos hídrics, com ara el cas del transvasament Tajo-Segura i la transformació a la citricultura d'antics secans millorats (Benferri), o bé amb cabdals de pous o d'aigua depurada, com seria el cas del raïm de taula i les transformacions associades en la rambla de la Sarsa-el Derramador en Agost.

De forma més particular, hi ha vols –molts encara inèdits– singulars i de gran aprofitament, com l'utilitzat per Sanchis et al. (2022) fet per CEFTA<sup>3</sup> en 1957 per reconstruir la inundació de la Rambla Castellarda (València). Oportunitat i qualitat de la fotografia aèria com la derivada del que va contractar l'Ajuntament d'Alacant després de l'episodi catastròfic de 1982 (figura 7), on es veu el funcionament de diversos sistemes de boqueres en el Camp d'Alacant –parcialment abandonats– i algunes conseqüències geomorfològiques immediates (del Río, 2016). En aquest cas, no es pot evitar la comparació amb el vol de Ruiz de Alda ja que, en els dos vols i amb escales de detall, es pot testimoniar el funcionament de sistemes de boqueres hui desapareguts.

En general, els fotogrames, que ja es troben majoritàriament digitalitzats, es poden georeferenciar per integrar-se en un SIG i comparar la seua informació amb ortofotos recents, com les que ofereix la sèrie PNOA. En alguns casos, com ara el vol de 1956 o el de 1929-30, es pot accedir mitjançant connexions WMS a mosaics ortocomposats, que faciliten enormement la recerca; sense oblidar que a fototeques com les de l'IGN i l'ICV estan disponibles la totalitat dels fotogrames, alguns dels quals es van descartar per a elaborar l'ortomosaic, però contenen informació de gran interès per als objectius que ens ocupen. Efectivament, la fotografia aèria permet primerament establir les hipòtesis sobre el traçat de les boqueres i les seues filloles, reconstruint així la complexa xarxa de distribució i reg. Permet també diferenciar, amb els múltiples matisos del color gris, algunes parcel·les que reben aigua d'altres que no; i, fins i tot –com

---

3 L'arxiu de fotografies aèries sobre territori valencià realitzades per CEFTA (Compañía Española de Trabajos Fotogramétricos Aéreos) es troben a la Biblioteca Valenciana Nicolau Primitiu.

és el cas del vol de Ruiz de Alda– de forma excepcional es pot interpretar el comportament de l'aigua d'una avinguda laminada sobre les parcel·les, que ha dipositat els sediments en unes o ha generat zones de concentració d'escorrentia en altres. Igualment, les fotografies aèries més antigues resulten una font indispensable per a observar la morfologia parcel·l·ària tradicional que, de vegades, representa amb formes més orgàniques, processos d'agradació de ventalls que estan relacionats amb el desenvolupament secular de boqueres, com es mostra més endavant (figura 10). De tots aquests avantatges descrits, només caldria destacar les dificultats que trobem a l'hora de localitzar moltes de les preses de derivació, ja que una gran quantitat d'elles estaven construïdes de forma temporal, amb cavallons de derrubis i còdols provinents de les mateixes lleres de les ramblas. La dificultat de localitzar-les, bé per l'escala de detall de la fotografia, bé per la seua desaparició, requereix la participació de fonts complementàries com la cartografia històrica, ja esmentada, o l'entrevista i el recull de la memòria oral.

Figura 7. Detall d'un fotograma del Vol de 1982 i interpretació d'assut i presa (en vermell) junt amb boqueres (blau fosc) a la rambla de Pepió (blau clar) (Cases d'Espanya, el Verdegàs, Camp d'Alacant)



Font: Institut Interuniversitari de Geografia. Elaboració pròpia.

*Enquestes-entrevistes-converses amb nadius i/o veïns*

Es tracta d'una eina bàsica que ha estat emprada sempre als treballs de camp, en general, i els dedicats a l'estudi de les transformacions dels sistemes fluvials, en particular (Marco, 2016); encara que no sempre ha sigut suficientment destacada. Val a dir que en el tema concret que ens ocupa, la necessitat d'enquestar o entrevistar als habitants és, de fet, ineludible i que, de manera explícita, ha estat assenyalada i/o emprada en diverses investigacions (Mondéjar, 2009; Morote, 2013; Marco i Box, 2019; Marco et al., 2020 i 2021). No pot ser d'altra manera, ja que en qualsevol cas s'és conscient que el registre i fixació del coneixement tradicional al voltant dels sistemes de reg amb aigües d'avinguda resulta cada vegada més urgent; és per això que les enquestes i entrevistes amb nadius han de ser una feina principal per tal d'aproximar-nos a una realitat cada vegada més llunyana en el temps. I que, els seus depositaris van desapareixent, inexorablement, com els propis sistemes de reg de boqueres.

L'experiència pròpia desvela dues qüestions bàsiques: per una banda, és obvi que l'edat dels potencials informadors, per damunt dels vuitanta anys, ens aboca a una situació pràcticament insalvable; i, per una altra, que en proporció semblant, els possibles entrevistats difícilment han conegut de manera directa i viva el funcionament d'aquests sistemes de reg. S'ha d'imposar un principi jeràrquic i abordar, com més aviat millor, aquesta tasca. De fet, l'al·ludida experiència ens mostra que quan els enquestats són menors de vuitanta anys, interrogats per boqueres, preses i/o assuts vinculats als sistemes de reg, declaren que ho coneixen, poden informar d'elements de la xarxa de canals de derivació i de les rafes que hi havia, però en cap cas poden parlar-nos del funcionament i gestió, ja que ells no ho han conegut; majoritàriament fan referències a partir de notícies que els han arribat per transmissió oral dels seus avantpassats.

Pel que fa a la dimensió espacial, també resulta determinant per la qualitat de la informació proporcionada que les persones entrevistades ens parlen de l'espai viscut o, almenys, conegut per ells. No és estrany que cada informador siga òptim per a espais força concrets. Per tant, la idoneïtat dels enquestats hem de determinar-la i procurar-la tant des de la dimensió temporal, com des de la dimensió espacial. La qual cosa resulta força difícil de complir.

En efecte, alguns dels informants, només han pogut aportar la localització d'elements del sistema per a àrees molt específiques i vinculades al coneixement directe del territori, perquè la seua existència els ha arribat oralment. Es tracta, a més a més, dels entrevistats menors de vuitanta anys. No obstant això, la informació aportada sobre el sistema de preses i boqueres del conjunt de la conca vessant de la Rambla de Sarsa-el Derramador, no deixa de ser valuosa i, en cert sentit, complementària de la recollida mitjançant altres fonts i, sobretot, d'un informant que hem de qualificar d'idoni. Compleix tots els requisits esmentats més amunt: és octogenari i ha viscut en la part baixa de la conca analitzada; és a dir, presenta idoneïtat tant des del punt de vista temporal com des de l'espacial.

Els informants de la primera de les categories indicades –menors de vuitanta– coincideixen a identificar aquells elements del sistema que han generat restes materials; els quals, en alguns casos, romanen en el territori. És el cas d'alguns trams de boqueres que, per circumstàncies concretes, necessitaren la construcció d'obres de defensa o protecció com són murs de pedra seca o, fins i tot, de maçoneria. Ens referim a les restes localitzades de dues boqueres en la marge esquerra de la rambla; una situada uns

400-500 m al nord de la CV-820, de la qual es conserven dos fragments enrunats; mentre que, l'altra, es troba immediatament al sud de l'Estret, tractant-se d'un magnífic mur de vora 75 m de llargària en l'anomenada Boquera de la Canyada Blanca. L'altra infraestructura del sistema que nomenen els enquestats, o diuen conèixer, és la presa des de la qual té inici l'esmentada boquera en el paratge de l'Estret. Aquests darreres, és a dir, presa i boquera (mur) de l'Estret són coneguts pels entrevistats; mentre que, els murs enrunats de la boquera situada prop de la carretera (CV-820), només han estat identificats o referits per les dues persones que tenen o han tingut propietats molt properes. Una de les quals és l'informador que ha resultat més prolífic.

Figura 8. Diverses campanyes de treball de camp, amb presa de dades i entrevistes

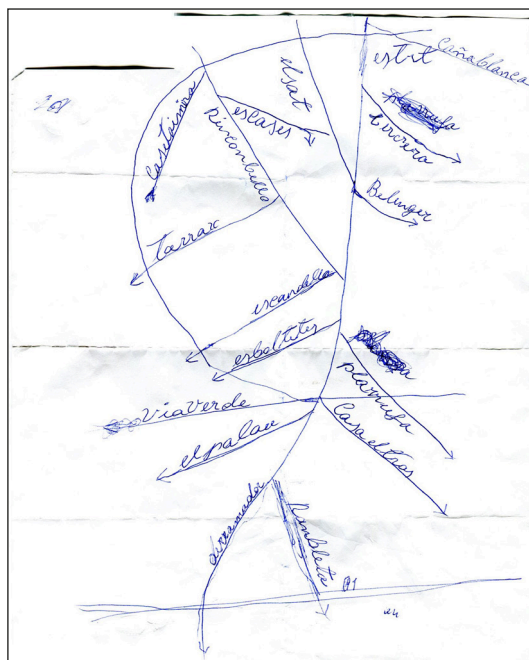


Font: elaboració pròpia.

En efecte, a més d'allò que acabem d'assenyalar, aquest informador d'Agost ha aportat una quantitat important d'informació de qualitat sobre la conca de la Rambla de la Sarsa i el sistema de reg amb aigües d'avinguda. A hores d'ara podem afirmar que la quantitat d'informació susceptible de recopilar és directament proporcional al nombre d'enquestats i a la idoneïtat dels mateixos esmentada abans. Cal destacar que, a més a més de dades parcials per a la conca analitzada, com les aportades per Bernabé (1989) o les referències de caràcter global aportades per Mondéjar (2009: 178) en el seu inventari de boqueres (8), són inferiors a les recollides mitjançant enquesta del nostre informant (12); però, a més a més, el mateix Mondéjar (2009: 194) subratlla que el seu informant deia que n'hi havia més de 20 boqueres "de tierra", les quals eren refetes després de les avingudes, exactament el mateix que declarà el nostre entrevistat, però respecte de les preses. Esta qüestió relativa a la naturalesa constructiva de les

preses ja havia estat recollida abans per altres treballs assenyalats per Morales (1968-1969: 172) o, fins i tot, inclosa en l'articulat de l'antiga llei d'aigües de 1879, com indiquen Morales et al. (1989: 562). Aquest és un aspecte que també va estar ressaltat pel nostre informant per a la majoria de les preses de la conca estudiada, el qual aportà no sols el nombre i noms de les boqueres, sinó que va demostrar un acusat coneixement geogràfic del territori en plasmar el seu inventari en un croquis traçat, a mà alçada, durant els treballs de camp amb l'alumnat del màster de Planificació i gestió de riscos naturals, de la Universitat d'Alacant (figures 8 i 9).

Figura 9. Croquis amb la identificació de boqueres, realitzat per un entrevistat

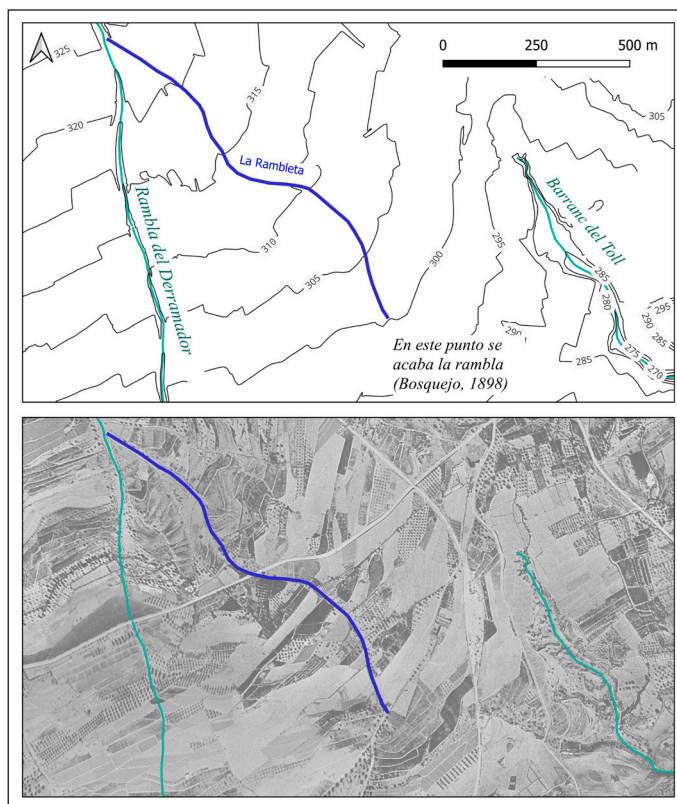


Font: Nicolás Berenguer Monllor.

Per una altra banda, les enquestes també serveixen per a contrastar informacions recollides a partir d'altres fonts. És el cas de part de la informació continguda en els *Bosquejos planimétricos*. Concretament, resulta cridanera una anotació recollida en el mapa d'aquest sector, doncs, la rambla, representada pràcticament en tot el seu recorregut per dos traços discontinus blaus paral·lels, passa a estar-ho només que per un, una mica al nord de la carretera CV-820, travessant la via fins que, perllongat uns 550 m més al sud, s'interromp amb un cridaner "En este punto se acaba la rambla", just en l'encreuament amb el Camí de Monfort. Àrea on casualment la morfologia parcel·lària sembla dibuixar zones d'acreció i contorns lobulats cap al sud. Morfologia que coincideix, com es pot apreciar en la topografia i traçat de les isohipses, pràcticament en la part distal d'un ventall al·luvial. Doncs bé, el tram final de la rambla

dibuixat al *Bosquejo* és, aproximadament, la bisectriu central de l'esmentat ventall, és a dir, es tractaria de la línia que ocupa la part més alta topogràficament; mentre que, l'actual llit de la Rambla de la Sarsa-el Derramador, com es pot veure, ocupa la bisectriu occidental del ventall i, per tant, la part més deprimida (figura 10). Amb la qual cosa es comprén que eixe llit fluvial actual, inexistent fins a les fotografies aèries del vol interministerial (1978), ha estat condicionat, en la seua instal·lació, per l'al·ludida morfologia del ventall i la topografia derivada.

Figura 10. Mapa de la part distal del Derramador



Font: IDEV de l'Institut Cartogràfic Valencià. Elaboració pròpia.

Les circumstàncies descrites són l'argument bàsic del plantejament didàctic que, fonamentat en una metodologia docent d'aprenentatge basat en la investigació (RBL: de l'anglès *research-based learning*), té com a punt de partida l'elaboració d'hipòtesis de treball per justificar l'aparició del nou llit de la rambla. Per a aquesta tasca, junt amb les fonts descrites, s'utilitza un GPS de precisió amb la finalitat de registrar les restes materials d'infraestructures del sistema de reg tradicional. Però la recerca abasta no només tota la complexa xarxa de preses i boqueres, sinó que s'ha d'establir o datar el moment en el qual

apareix la nova llera i quines són les causes. Quasi de manera instintiva es pensa en la recerca de dades pluviomètriques que puguen estar darrere de la instal·lació i nou traçat de la rambla; una font que és necessari que coneguen, però que, en el cas que ens ocupa, és substituïda per la informació obtinguda dels enquestats, ja que dos d'ells coincideixen a dir que “No va ploure. Es va trencar una balsa del Grup” –en al·lusió al grup de reg “Virgen de la Paz”–, la qual hi era aigües amunt de la rambla, i que va provocar una *flash flood* responsable de l'encaixament de la rambla, el qual, si fins aleshores se situava uns 300 m al nord de la CV-820, va progressar cap al sud més enllà de la carretera.

#### A MANERA DE BALANÇ-SÍNTESE DE LA INFORMACIÓ RECOPIADA

Tradicionalment la fotointerpretació ha estat a la base de l'enunciat de les hipòtesis sobre la localització i traçat de les boqueres. Com és lògic la fotointerpretació inicial, la qual la faríem sense tindre en compte les altres fonts, està influenciada per les dades avançades mitjançant les altres fonts. En efecte, l'elaboració de la xarxa de boqueres, quan s'ha abordat ja ha estat condicionada per les aportacions de la documentació i cartografia històrica, així com per les entrevistes i treballs de camp previs. En aquest punt, convé recordar que part del que es mostra en aquest treball deriva de l'experiència acumulada al llarg d'anys d'aplicació d'una metodologia docent de RBL (aprenentatge basat en la investigació, de les seues sigles en anglés) d'aquest tram baix de la Rambla de la Sarsa, conegut com el Derramador. Amb tot, el que vol expressar-se amb estes reflexions és que la utilització de les fonts mai ha estat en un sentit lineal, sinó, més bé, ha sigut a base de “juxtaposicions”, de mirar i remirar, de llançar hipòtesis, comprovar i ratificar o rectificar, de recular i avançar. De fet, el que presentem, no és ni més ni menys, que l'estat actual de la investigació per a aquesta conca vessant. Si ens hem atrevit en divulgar-ho és perquè pensem que alguns d'aquests resultats i conclusions són força interessants i demostratius de la dificultat de treballar en estes àrees de canvis lligats a les interrelacions entre societat i natura.

En qualsevol cas, l'establiment de les hipòtesis espacials o cartogràfiques es fa amb la fotografia aèria més antiga existent per a cada sector, sempre que estiga ortocomposta. Així, per al tram valencià de la Rambla de Abanilla-Benferri es va comptar amb l'ortomosaic de la Confederació Hidrogràfica del Segura (CHS) del vol de 1929-1930 de Ruiz de Alda (Marco et al., 2021), mentre que per a aquesta conca, hem fet servir el ortomosaic de la Sèrie B del vol americà de 1956 de l'ICV. Per a les comprovacions han estat consultats els fotogrames de la Sèrie A de 1946 i, sobretot, els del vol interministerial de 1978. El primer per la data, ja que l'estat de conservació i funcionament del sistema és prou millor que deu anys després; i, el segon, fonamentalment per l'escala (aproximadament 1:18000), però també perquè les transformacions agrícoles a regadiu lligades al raïm de taula, encara que havien començat en eixa data, encara no afectaven excessivament els traçats de les boqueres i la morfologia parcel·lària. La cartografia històrica (*bosquejo* i *pañoletas*) ha aportat, com veurem, la posició de part de les preses, de manera que la recerca de l'inici de les boqueres ha tingut aquest suport o, si es vol, argument de comprovació de la hipòtesi. Més aclaridores han sigut les informacions aportades pels nadius, especialment, el mapa-croquis de les boqueres elaborat per un d'ells –octogenari–. Per tant, podríem dir que la xarxa presentada ara (figura 11), encara de manera parcial, referida al tram més baix de la Rambla de la Sarsa-el Derramador,



és deutora, bàsicament, de la fotointerpretació del vol de 1956, assistida per les dades de la cartografia històrica (1898 i 1916) i dirigida pel coneixement dels nadius.

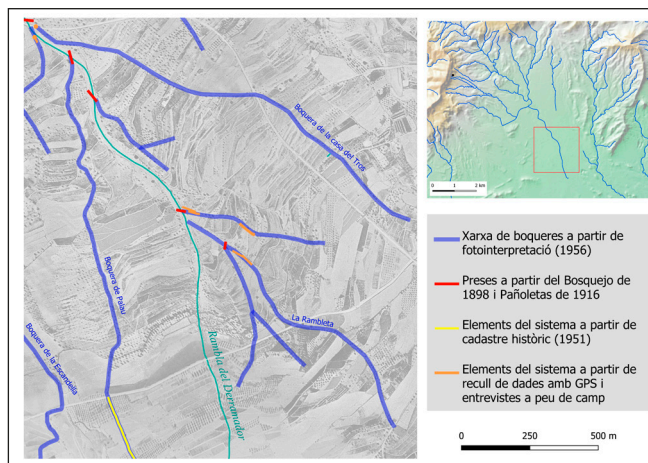
Per un altre costat, és necessari assenyalar que de les diferents fonts també deriven altres informacions. Per exemple, en la cartografia històrica, encara que no està recollit el traçat de les boqueres, sí que apareix la denominació d'una d'elles: "Boquera de Palau"; mentre que, més al nord, apareix un altre rètol amb el genèric "boquera", sense especificar res més. Això passa al *bosquejo* de 1898 (figura 4). Pel que fa a la *pañoleta*, de 1916, aquesta informació ha desaparegut quasi per complet, ja que només es conserva el genèric "boquera"; mentre que en els plànols de les revisions de 1951 totes aquestes referències nominals desapareixen i només trobem una "Boquera de Agua", si bé, marcant part del traçat de l'anomenada Boquera de Palau al sud de la CV-820. Més productives han resultat les entrevistes i converses a peu de camp, ja que pràcticament s'han identificat els noms de la major part de les boqueres, així com el tram final de la rambla representada en el *Bosquejo* i que un dels informadors l'anomenà com la Rambleta (figura 9).

Fins al moment han anat fent-se altres tipus de comprovacions com la consulta, ja esmentada, d'altres fotogrames aeris, però també, mitjançant una eina clau de verificació com són els treballs de camp. Reconeixement d'elements del sistema com murs de pedra seca o de maçoneria, caixers de les boqueres, alineacions d'arbres de vora boqueres (sobretot oliveres) o, fins i tot, infraestructures per salvar el traçat del fallit projecte de ferrocarril Alacant-Alcoi. A hores d'ara alguns d'aquests elements ja han estat registrats mitjançant GPS diferencial en postprocés (figura 11). És una altra manera de comprovació.

En el cas de les preses ja hem comentat que eren majoritàriament "de terra", la qual cosa suposa una dificultat afegida. Pràcticament impossible de veure-les en la fotografia aèria, especialment en les més modernes, és a dir, des de les del vol interministerial (1978) endavant. És per això que només es poden entreveure les que són construccions de pedra/maçoneria. En este sentit, la cartografia històrica, especialment els *Bosquejos* són els que millor informació donen. De fet, amb base amb estos mapes hem pogut localitzar-les, una vegada georreferenciada esta cartografia (figura 11). Pel que fa a les *pañoletas*, calquen la mateixa informació, encara que més simplificada; desapareixent en les revisions cadastrals posteriors. No obstant això, els bosquejos no deixen d'oferir unes dades parcials, sobretot, si els comparem amb els resultats de les enquestes; però també tenint en compte que el tractament d'estos elements tampoc és uniforme, ni tan sols a la mateixa conca vessant. Així, per exemple, no hi apareixen les preses de la capçalera, inclosa l'anomenada de l'Estret. És per això que l'inventari no hi seria tan complet sense prendre la informació obtinguda mitjançant les entrevistes i converses amb els nadius. Sols cal recordar el mapa-croquis aportat per un dels entrevistats (figura 9). Per una altra banda, els treballs de camp han sigut la principal ferramenta per localitzar amb precisió elements com la presa de fàbrica de l'Estret fent servir, el mateix que en el cas de les boqueres, la recollida de dades amb GPS de precisió submètrica.

Resten, no obstant tot el que s'ha exposat, continuar els treballs de camp, amb els informants i prenent les localitzacions de restes materials dels elements del sistema de reg amb aigües d'avinguda de la conca de la Rambla de la Sarsa-el Derramador, no només del terme municipal d'Agost.

Figura 11. Síntesi cartogràfica de dades recopilades per al tram final de la Rambla de La Sarsa-el Derramador



Font: elaboració pròpia.

## CONCLUSIONS

De la metodologia general plantejada per a l'estudi dels sistemes històricament controlats per regs de boqueres, la determinació de les fonts d'informació és un primer pas fonamental, que requereix, també, unes determinades competències per al seu correcte domini i interpretació. La conceptuació de "font geohistòrica" amaga un conjunt heterogeni de documents escrits, orals, gràfics i fotogràfics, que cal convertir en dades geogràfiques susceptibles d'una anàlisi espacial. Amb l'experiència acumulada en diversos estudis i el cas aplicat de la Rambla de la Sarsa-el Derramador, podem sintetitzar una sèrie d'idees, a tall de conclusions:

- En el plantejament d'hipòtesis i reconstrucció de la xarxa de boqueres destaca el paper jugat pels vols o fotografies aèries més antigues. Si en aquest cas s'ha emprat l'ortomosaic de la Sèrie B del Vol Americà de 1956, ja hem assenyalat les excel·lències del vol de Ruiz de Alda de 1929-1930 en el cas de la Rambla d'Abanilla-Benferri (Marco et al., 2020 i 2021).
- La fotointerpretació, si bé es pot abordar d'inici, habitualment es realitza una vegada ens hem nodrit de molta informació obtinguda mitjançant les altres fonts, de manera que es planteja un sistema flexible de constants incorporacions que van ratificant o rectificat la interpretació inicial. A hores d'ara, l'estat d'aquest sistema dinàmic s'ha intentat plasmar en la figura 11.
- Fonamental ha estat el treball de camp, especialment quan s'ha combinat amb les entrevistes i converses amb nadius. Tant en aquests casos, com amb la incorporació d'altres fonts, hem anat conformant el document final del sistema de boqueres de la Rambla de la Sarsa-el Derramador.

- Enquestes, entrevistes i converses amb veïns i nadius són peça clau en la recopilació del coneixement relatiu al reg amb aigües d'avinguda; tasca que resulta cada vegada més apremiant, ja que aquesta eina és principal per tal d'apropar-nos a un sistema d'ús i ordenació de les conques vessants del domini semiàrid i àrid, cada cop més difuminat per allunyat en el temps. Malauradament, els depositaris d'aquest saber tradicional van desapareixent, inexorablement, com els mateixos sistemes de reg de boqueres.
- Cada una de les fonts n'aporta relativament poc, almenys de manera desagregada, però considerades en conjunt, configuren uns resultats acusadament versemblants. En conjunt han servit per a localitzar unes preses de derivació de les quals no queden senyals (*Bosquejos* de 1898 i *Pañoletas* de 1916). Als avanços cadastrals (1951) encara hi és representada la Boquera de Palau. També s'han localitzat, amb l'ajuda de tecnologies de geolocalització, restes de les infraestructures del sistema. I, no menys important, fotografies aèries (1978) i ortofotos (actuals i subactuals) ens permeten determinar l'estat dels elements del sistema. Tasques, aquestes últimes, que serien ineludibles per tal de plantejar les possibilitats de reconstrucció i recuperació de part del sistema com a SBCT. És una feina que resta per a un futur immediat, considerant que la reconstrucció de processos històrics com el que ací ens ocupa, pot resultar una font de coneixement bàsica per a enfrontar desafiaments actuals.

#### REFERÈNCIES

- Aguilar, I. (2009). *Construir, registrar y representar. Sendas, caminos y carreteras de la Comunitat Valenciana. Mapas y planos 1550-1850*. València: Conselleria d'Infraestructures i Transports.
- Alberola, A. (1984). *Jurisdicción y propiedad de la tierra en Alicante (siglos XVII-XVIII)*. Alacant: Ayuntamiento-Universidad de Alicante.
- Bernabé, J. M. (1989). Obras hidráulicas tradicionales en el regadío de Petrer (Vall del Vinalopó). En *Los paisajes del agua. Libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez* (pp. 187-198). València: Universitat de València – Universitat d'Alacant.
- Box, M. (1985). Distinta valoración de los aguaceros en el tiempo: la alarma de noviembre de 1984 en Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 3, 51-62.
- Box, M. (1990). Un ejemplo tardío de riego de boquera: la presa del Madroñal (Ibi). *Investigaciones Geográficas*, 8, 51-57.
- Cavanilles, A. J. (1795-1797). *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*, 2 vols. Madrid: Imprenta Real.
- Del Río, P. (2016). *Consecuencias y procesos geomorfológicos en el Barranco de Pepior tras la avenida del 20 de octubre de 1982* (Triball Fi de Màster). Universitat d'Alacant.
- Fansa, G. & Pérez-Cueva, A. (2021). Sistemas de aprovechamiento de escorrentía concentrada en conos de deyección: el mgoud de Belkhir (Gafsa, Túnez). En *A Vicenç M. Rosselló, geògraf, als seus 90 anys* (pp. 419-436). València: Universitat de València.

- Faus, A. (1995). *Mapistes: cartografia i agrimensura a la València del segle XVIII*. València: Edicions Alfons el Magnànim, Institució Valenciana d'Estudis i Investigació.
- Gil, E. (2016). Aprovechamientos de escorrentías superficiales eventuales y de subálveas en la rambla de Oriá-Albox (Almería). En Vera, F.; Olcina, J., & Hernández, M.. (eds.). *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía: Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil* (pp. 97-124). Alacant: Universidad de Alicante.
- Gil, E., López, J. A., & Gómez, J. M.<sup>a</sup> (2015). Regadíos de turbias y secanos asistidos en el Sureste de España. El sistema de azud de Guadalupe o presa de derivación de avenidas de la rambla del Zoco (Murcia). *Revista Murciana de Antropología*, 22, 161-176.
- Gómez, J. M.<sup>a</sup> (2004). *Aprovechamiento integral del agua en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras-Murcia)*. Múrcia: Ayuntamiento de Puerto Lumbreras – Universidad de Murcia.
- Gregory, I. N. & Healey, R. G. (2007). Historical GIS: Structuring, mapping and analyzing geographies of the past. *Progress in Human Geography*, 31(5), 638-653. doi: <https://doi.org/10.1177/0309132507081495>
- Hernández, M. & Morales, A. (2013). Los aprovechamientos tradicionales de las aguas de turbias en los piedemontes del sureste de la Península Ibérica: estado actual en tierras alicantinas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 63, 105-123.
- Ibarra, P. (1914). *Estudio acerca de la Institución del Riego de Elche y origen de sus aguas*. Madrid: Establecimiento Tipográfico de Jaime Ratés.
- Llobet, S. (1958). Utilización del agua en la región semiárida de Huércal-Overa (Almería). *Estudios Geográficos*, 70, 23-54.
- López-Bermúdez, F. (2014). El riego por boquera en agricultura de secano, técnica hidráulica tradicional de lucha contra la desertificación en el sureste ibérico semiárido. En *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruíz* (pp. 405-414). Jaca: Instituto Pirenaico de Ecología.
- López-Gómez, A. (1973). Presas del siglo XVIII y comienzos del XX en Agost (Alicante). *Cuadernos de Geografía*, 13, 1-3.
- Marco, J. A. (2016). Técnicas tradicionales de información geográfica (TTIG) en el análisis de las transformaciones recientes del riu Millars (Castelló, España). En Vera, F., Olcina, J., & Hernández, M. (coords.). *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la geografía: Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil* (pp. 273-288). Alacant: Instituto Interuniversitario de Geografía – Universidad de Alicante.
- Marco, J. A. & Box, M. (2019). El conocimiento tradicional relativo al aprovechamiento de las aguas de avenida: l'Alcavó y la Revolta. *Canelobre*, 70, 196-205.
- Marco, J. A., Giménez, P., Padilla, A., García, E., & Prieto, A. (2020). La rambla de Abanilla-Benferri como paradigma para el estudio del conocimiento tradicional relativo al aprovechamiento de las aguas de avenida. En López, I. & Melgarejo, J. (eds.). *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 881-896). Alacant: Universidad de Alicante.
- Marco, J. A., Giménez, P., & Prieto, A. (2021). Aprovechamiento tradicional de las aguas de avenida y transformaciones de los sistemas fluviales del sureste de la Península Ibérica: la Rambla de Abanilla-Benferri. *Cuadernos de Geografía*, (107), 149-174.

- Mondéjar, J. M. (2009). *El riego de boqueras: una técnica hidráulica para la gestión ambiental en territorios semiáridos y lucha contra la desertificación*. Tesis doctoral (inèdita). Alacant: Instituto Interuniversitario de Geografía – Universidad de Alicante.
- Morales, A. (1969). El riego con aguas de avenida en las laderas subáridas. *Papeles del Departamento de Geografía, 1*, 167-187.
- Morales, A. (1989). Abandono y desorganización de los sistemas de riegos de turbias. Su incidencia en la escorrentía. En *Los paisajes del agua. Libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez* (pp. 199-204). Universitat de València-Universitat d'Alacant.
- Morales, A. & Box, M. (1986). El aprovechamiento del agua y los suelos en un dominio semiárido: la cuenca del barranco Blanco, Agost (Alicante). *Investigaciones Geográficas, 4*, 7-24.
- Morales A., Box, M., & Marco, J. A. (1989). El aprovechamiento de las aguas de avenida: derecho consuetudinario y disposiciones legales. En Gil, A. & Morales, A. (eds.). *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo* (pp. 553-563). Alacant: Instituto Universitario de Geografía – Universidad de Alicante.
- Morales, A. & Box, M. (1995). Boqueras y azudes: el aprovechamiento exhaustivo de las aguas esporádicas en el Sureste peninsular. En A. Alberola Romá (ed.). *Cuatro siglos de técnica hidráulica en tierras alicantinas* (pp. 31-41). Alicante, Instituto de Cultura Juan Gil-Albert.
- Morote, A. F. (2013). El aprovechamiento de turbias en San Vicente del Raspeig (Alicante) como ejemplo de sistema de riego tradicional y sostenible. *Investigaciones Geográficas, 59*, 147-169.
- Reglamento para el aprovechamiento de las aguas del riego de la huerta de Alicante* (1849). Alacant: Tip. Costa y Mira (edició de 1887). <https://bivaldi.gva.es/es/consulta/registro.cmd?id=5816> (data de consulta: maig de 2024).
- Sanchis, C., Iranzo, J. L., & Segura, F. (2022). Flood processes and morphological changes in aggradational ephemeral rivers. Reconstruction of the october 1957 flood in the rambla Castellarda (Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica, 48*(1), 3-21. <http://doi.org/10.18172/cig.5338>
- Segura, F. & Ollero, A. (2021). Cambios ambientales en los sistemas fluviales: nuevas metodologías, diversidad de casos e implicaciones para la gestión. *Cuadernos de Geografía, 107*, 7-20.
- Urteaga, L. (2008). Los estudios sobre la cartografía catastral en España (1988-2008). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia, 65*, 67-103.

Cómo citar este artículo:

Marco Molina, J. A. & Giménez Font, P. (2024). Fonts per a la reconstrucció dels sistemes tradicionals de reg amb aigües d'avinguda en rambles del sud-est peninsular. *Cuadernos de Geografía, 112*, 151-173. <https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29565>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



JOSEP E. PARDO-PASCUAL<sup>a</sup>  
JAIME ALMONACID-CABALLER<sup>a</sup>  
DENYS GORKOVCHUK<sup>a</sup>  
JESÚS PALOMAR-VÁZQUEZ<sup>a</sup>  
CARLOS CABEZAS-RABADÁN<sup>a</sup>

## AVALUACIÓ DELS CANVIS VOLUMÈTRICS DE LES PLATGES I FRONT DUNAR ENTRE VALÈNCIA I CULLERA (2017-2022)

### RESUM

La quantificació dels canvis volumètrics en els sistemes de platja i duna és essencial per a realitzar balanços sedimentaris en les cèl·lules sedimentàries costaneres i comprendre completament l'evolució de les platges. Ací s'examina el potencial de les sèries de fotografies aèries, originalment utilitzades per a crear ortofotos, en la monitoratge dels canvis volumètrics en platges i front dunar del sector costaner entre València i Cullera.

El treball demostra que aquestes fotografies aèries poden ser tractades, amb tècniques de fotogrametria actual, per a obtenir Models Digitals de Superfície (MDS). L'obtenció de 6 models, entre el 2017 i 2022, demostra que aqueixes fotografies aèries poden esdevindre una font d'informació tridimensional rigorosa i comparable als vols LiDAR alhora que milloren la resolució temporal de les dades tridimensionals disponibles.

Els models permeten caracteritzar tridimensionalment el sistema dunar i la platja emergida, així com analitzar els canvis experimentats per aquestes unitats costaneres al llarg del temps. La unió de la informació tridimensional i les mesures bidimensionals aporten una visió holística complementària a altres fonts d'informació morfològica. Pel que fa a l'impacte dels temporals sobre el front costaner, els

---

<sup>a</sup> Grup de Cartografia GeoAmbiental i Teledetecció, Departament d'Enginyeria Cartogràfica, Geodèsia i Fotogrametria, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera, s/n, 46022 València. jepardo@cgf.upv.es

Fecha de recepción: 17-06-2024. Fecha de aceptación: 11-09-2024.

resultats evidencien el fort impacte del temporal Glòria, el qual generà pèrdues sedimentàries bastant elevades de les quals moltes zones no pareixen arribar a recuperar-se.

PARAULES CLAU: geomorfologia costanera, monitorització tridimensional, temporals costaners, erosió fotogrametria.

## EVALUATION OF THE THREE-DIMENSIONAL CHANGES OF THE BEACH AND THE FOREDUNE BETWEEN VALENCIA AND CULLERA (2017-2022)

### RESUM

Quantification of volumetric changes in beach and dune systems is essential to perform sedimentary balances in coastal sedimentary cells and to fully understand the beach evolution. This work examines the potential of series of aerial photographs, originally used to create orthophotographies, for monitoring beach and foredune volumetric changes over the coastal sector between València and Cullera.

This research demonstrates that these aerial photographs can be managed, with current photogrammetric techniques, in order to obtain Digital Surface Models (DSMs). As a result 6 DSMs were obtained between 2017 and 2022, which demonstrates that these aerial photographs can become a robust source of three-dimensional information comparable to LiDAR methods while improving the temporal resolution of the available three-dimensional data.

The models allow the volumetric characterization of the foredune and the emerged beach, as well as the analysis of the changes undergone by these coastal units over time. The combination of the three-dimensional information and two-dimensional measurements provide a holistic view complementary to other sources of morphological information. Regarding the effect of the storms on the coastal front, the results show the strong impact of the Storm Gloria, which generated significant sedimentary losses from which many coastal segments do not seem to be able to recover.

KEYWORDS: coastal geomorphology, three-dimensional monitoring, coastal storms, erosion, photogrammetry.

### INTRODUCCIÓ

Les platges i les dunes canvien la seua morfologia amb un gran dinamisme a conseqüència de les condicions energètiques a les quals estan sotmeses (Ciavola i Coco, 2017), causant transports sedimentaris tant longitudinals com transversals a la costa (Burvingt et al., 2017). Els temporals costaners són moments claus que poden determinar l'evolució morfològica d'una zona determinada depenent de les diferents condicions a què està sotmesa i, òbviament, la magnitud i duració del mateix (Anfuso et al., 2020; Castelle i Harley, 2020).

Les anàlisis fetes fins ara s'han focalitzat en la utilització d'indicadors útils com ara la posició de la línia de costa i els seus canvis (Boak i Turner, 2005). Aquest és un indicador útil per a caracteritzar la superfície de la platja i els seus canvis, cosa que permet caracteritzar la resposta de les platges a



esdeveniments disruptius puntuals com els temporals costaners (Cabezas-Rabadán et al., 2024), així com tendències evolutives al llarg de dècades (Briceño de Urbaneja et al., 2024). Tot i això, les línies de costa no permeten reconèixer les alteracions de caràcter volumètric que són les que quantifiquen amb major precisió la dimensió del fenomen ocorregut, així com l'entrada i eixida de sediment del sistema platja-duna.

Caracteritzar els canvis volumètrics sempre ha sigut una tasca complexa i difícil. La major part de les vegades, les estimacions de canvis volumètrics s'han fet a partir d'alçaments topogràfics o topobatimètrics, que resulten cars i rarament han cobert àrees molt àmplies ni períodes massa llargs (Psuty i Silveira et al., 2011). La disponibilitat de dades LiDAR ha resolt en part aquest problema, ja permeten cobrir i quantificar els canvis sobre àrees molt àmplies (Nijland et al., 2017). Per al cas espanyol disposem, de forma general, dels alçaments del Pla Nacional d'Ortofotografia Aèria (PNOA) amb dues campanyes disponibles actualment: la primera del 2009 i la segona, del 2015 a 2017 (segons l'àrea específica en què es treballa). Ara mateix està en procés una tercera campanya (amb vols fets durant 2023 i 2024) que serà accessible a partir de final de l'any 2024. Malgrat l'immens valor d'aquesta informació, la freqüència d'actualització temporal resulta insuficient per a poder fer una anàlisi sistemàtica de l'impacte dels fenòmens que afecten les zones costaneres, com ara les actuacions d'enginyeria costanera sobre les platges o els episodis de temporal que poden donar lloc a processos d'erosió/recuperació a una escala temporal de dies/mesos (Cabezas-Rabadán et al., 2019, Pardo-Pascual et al., 2021), inferior a la disponibilitat de dades LIDAR al PNOA i, per tant, resultaria impossible caracteritzar-los.

Durant la darrera dècada, hem assistit a una eclosió del desenvolupament de les tècniques fotogràmiques, no tan sols en el seu ús clàssic sinó també en el món de la visió artificial, coneguda com a *Structure from Motion* (SfM). El procés fotogràmtric consisteix en reconèixer automàticament els píxels homòlegs entre diferents fotogrames, la qual cosa permet saber la posició relativa entre ells (e. g., Pitman et al., 2024). Si, a més, es disposa de punts de control georreferenciats, el bloc de fotografies també podrà georreferenciar-se. Seguidament, la posició dels punts queda triangulada sobre el terreny mitjançant la seua projecció des de les diferents fotografies. Com des de més fotografies siga observat un mateix punt, més precisa és la seua posició triangulada, cosa que implica la necessitat i requisit que les fotografies observen el terreny amb molta superposició. L'aportació recent de la visió artificial ha sigut la correlació massiva de punts que permeten assimilar el resultat fotogràmtric a les dades LiDAR. Aquesta tècnica s'utilitza tant amb fotografies terrestres com aèries.

Fins ara, però, no s'havia explorat massa la utilització d'aquestes tècniques amb fotografia aèria clàssica, si bé hi ha hagut alguns intents (Ojeda et al., 2007). La nostra proposta consisteix a utilitzar aquesta tècnica sobre les sèries de fotografies aèries registrades per a generar les successives ortofotografies que anualment actualitza l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV). Després d'uns primers assajos bàsics (vore Almonacid-Caballer et al., 2023, 2024) es va evidenciar que la tècnica era aplicable i que les precisions són comparables a les del LiDAR.

L'objectiu d'aquest treball és, per tant, caracteritzar, quantificar i cartografiar els canvis tridimensionals registrats anualment en el sistema platja-duna del tram València-Cullera des de 2017 fins a 2022 utilitzant les fotografies aèries que l'Institut Cartogràfic Valencià ha adquirit per generar les ortofotos

anuals. Per fer-ho aplicarem tècniques fotogramètriques per generar Models Digitals de Superfície anuals i proposarem una metodologia d'anàlisi i de quantificació dels canvis. Amb la informació deduïda s'analitzarà la resposta que cada tram ha tingut davant del temporal Glòria, i en quin grau i de quina forma s'està produint el procés de recuperació.

### ZONA D'ESTUDI

El tram costaner estudiat és una zona de platges arenoses amb oscil·lacions de marea inferiors a 0,2 m i ones de grandària mitjana, amb altures significatives d'ona de 0,7 m de mitjana i un període mitjà d'ona de 4,2 s (Pardo-Pascual et al., 2022a). El segment analitzat es troba a la part central del Golf de València, una antiga cèl·lula sedimentària amb una marcada deriva litoral N-S condicionada per l'alta pressió antròpica associada a l'ús recreatiu de les platges, i per diferents construccions i actuacions antròpiques que condicionen la distribució del sediment. En l'actualitat, aquesta es troba subdividida per diferents obstacles al transport de sediments, entre els quals destaquen el port de València, un obstacle complet que defineix el límit nord de la zona d'estudi, i el Cap de Cullera, parcialment permeable i que marca el límit sud (figura 1).

Malgrat l'habitual baixa energia dels onatges, durant els episodis de temporals l'energia de les ones pot augmentar substancialment. El temporal Glòria ocorregut entre el 19 i el 22 de gener de 2020 va assolir el màxim la matinada del 22 de gener (altura d'ona significant, Hs majors de 7,5 m, figura 2) i va afectar fortament tot l'est d'Espanya. Aquest temporal va ser un esdeveniment notablement perturbador, tenint en compte la seua grandària i impacte inusualment gran al Mediterrani occidental (Amores et al., 2020; Berdalet et al., 2020; De Alfonso et al., 2021).

Figura 1. Zona d'estudi en color verd, incloent les platges localitzades entre el port de València i el cap de Cullera

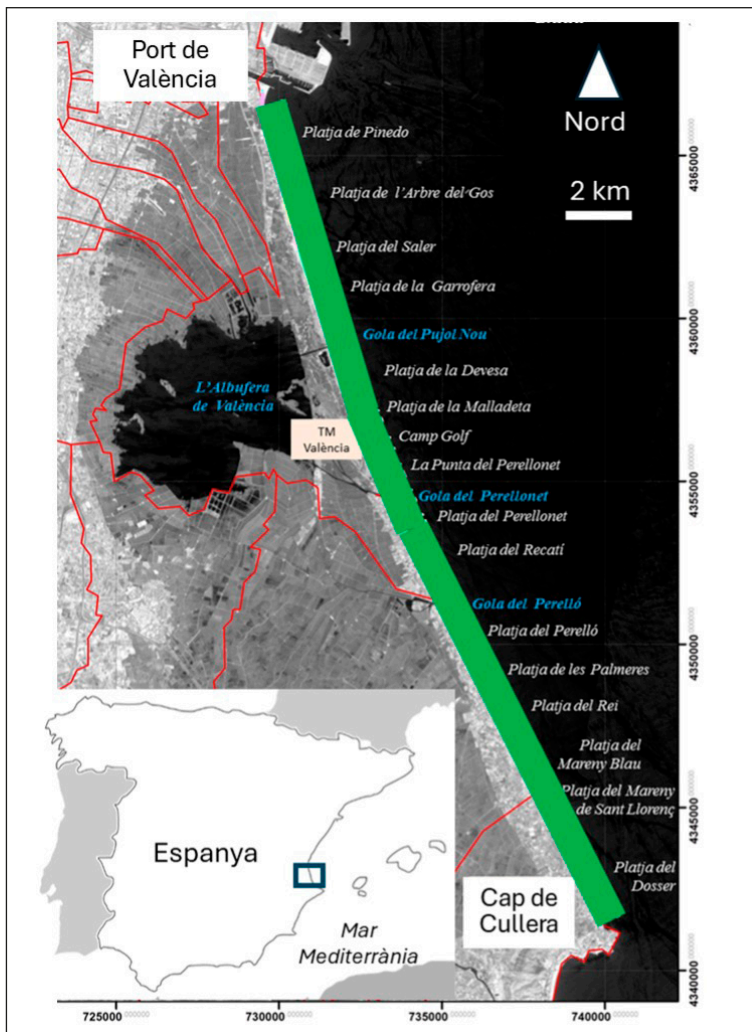
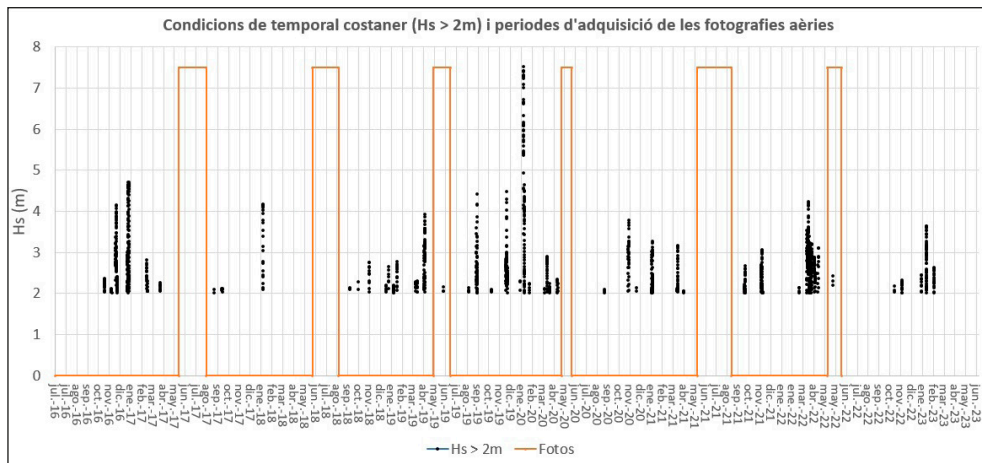


Figura 2. Dades d'altura d'onatge (Hs, en m) al llarg del període des de juliol de 2016 fins a juliol del punt SIMAR 2081112



Font: obtingut de la pàgina de Puertos del Estado (<https://www.puertos.es/>), on s'identifiquen les condicions de temporal amb  $H_s > 2$  m. En taronja es mostren els períodes al llarg dels quals s'han adquirit les fotografies amb què s'han fet les ortofotos i que s'han emprat en aquests estudi per a crear els MDS.

## METODOLOGIA

La metodologia desenvolupada segueix dos fases diferents: l'obtenció d'un MDS prou precís i la definició d'un protocol analític que permeta quantificar els canvis sobre trams costaners predefinitos. Al mateix temps, es distingeixen els dos ambients essencials que hi trobem a la zona d'estudi, el front dunar i la platja.

### *Obtenció de models digitals de superfície*

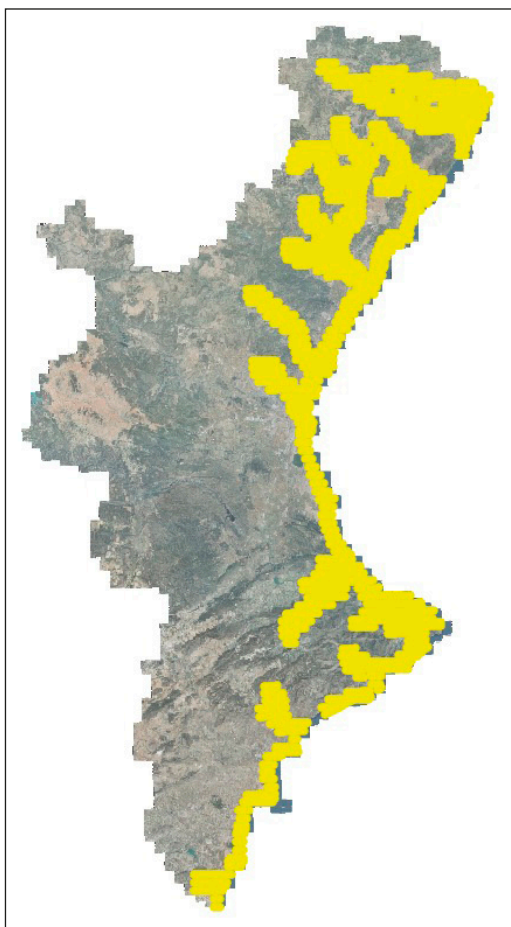
Per a aconseguir aquests objectius se segueixen tres fases diferents, que passen per (a) l'ajust del bloc fotogramètric amb què obtindre els models de superfícies, (b) un procés de refinament local per a millorar la precisió altimètrica dels esmentats models, i (c) l'emascament de la zona de mar.

### *Ajust del bloc fotogramètric i creació del model de superfícies*

Quant a l'obtenció dels models, s'ha treballat amb informació fotogràfica i dades auxiliars subministrades per l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV). Des de 2017, l'ICV ha fet vols fotogramètrics de la Comunitat Valenciana per a l'elaboració d'una ortofotografia anual (<https://icv.gva.es/va/ortofotos>). La novetat del present projecte és l'aprofitament de les fotografies adquirides per a crear les ortofotos i obtindre un nou producte per al qual no estaven originalment pensades: els MDS. S'ha treballat sobre una àrea molt ampla, com és tota la costa valenciana i algunes de les valls dels principals cursos fluvials (figura 3), i sobre sis sèries de registres, les que van des del 2017 fins al 2022 (figura 2). Treballar sobre

un territori tan gran permet ajustar millor els models fotogramètrics i aconseguir uns resultats més robustos. Les fotografies aèries presenten un solapament longitudinal i transversal sempre major al 60 i 30 %, respectivament.

Figura 3. Zona ocupada per les dades subministrades (visualitzada pel model de superfícies de 2019) superposada a l'ortofotografia de la Comunitat Valenciana



Cada sèrie anual es compon de més de 2.000 fotogrames (taula 1) que s'han processat per separat. Cada vol ha sigut processat sense ser dividit en zones d'anàlisi o d'interés, sinó sobre la totalitat de la zona amb dades disponibles per guanyar, d'aquesta forma, major robustesa en el model final. De fet, el processament conjunt de cada vol anual és més costós computacionalment, però permet un millor ajust dels paràmetres de distorsió d'una mateixa càmera que haja format part de l'adquisició de tota la zona i, paral·lelament, dona continuïtat al conjunt de cada model anual.

Taula 1. Número de fotogrames utilitzats en cadascun dels vols anuals gestionats

Any	N.º fotogrames
2017	2418
2018	2264
2019	2271
2020	2498
2021	2297
2022	2249

Les fotografies han sigut subministrades per l'ICV, amb els paràmetres d'orientació inicial que s'han emprat. Ara bé, aquesta informació resulta insuficient per a generar models 3D acurats i, per això, s'ha requerit afegir punts de control, per tal d'ajustar l'orientació de totes les fotografies. Òbviament, aquests punts de control han hagut de complir la condició d'haver-se mantingut estables al llarg del temps. La informació altimètrica dels punts de control s'ha obtingut dels darrers alçaments LiDAR associats al PNOA, que al territori valencià són del 2015 i 2017 (segons la província en què es treballa). Així mateix, per a l'any 2015 també s'ha disposat una ortofotografia associada al PNOA. Per aquest motiu, s'han escollit uns 500 punts de control i se'ls ha donat cota amb el model d'elevacions obtingut del LIDAR que s'emprarà com a referència.

El procés fotogramètric s'ha fet emprant el *software* Agisoft Metashape, amb què s'han orientat els fotogrames i s'ha generat un primer producte tridimensional de tot el territori per cada any. El producte 3D obtingut ha sigut un MDS ràster d'1 m de resolució que considerarem provisional. Per tal de verificar la seua qualitat, s'ha fet una primera avaluació de la precisió emprant els punts de control de l'ajust fotogramètric. En la taula 2 es mostren els estadístics que evidencien la correcció del MDS obtingut. En ella, es quantifiquen les desviacions estàndard del posicionament planimètric i altimètric.

Taula 2. Desviacions típiques dels punts de control (valors en metres)

Any	Desv. est. XY (m)	Desv. est. Z (m)
2017	0.282	0.378
2018	0.244	0.317
2019	0.278	0.348
2020	0.241	0.284
2021	0.250	0.287
2022	0.241	0.284

Els valors proven que els MDS provisionals són bàsicament correctes amb errors en altimetria lleugerament per damunt dels que es poden obtenir de sistemes estàndard com és el LIDAR. A nivell planimètric, s'ha verificat uns resultats molt acurats, però a nivell altimètric veiem que l'error més gros es relaciona amb el fet que, localment, hi ha àrees que estan globalment per damunt i d'altres enfonsades respecte a la posició real. Per aqueixa raó cal aplicar una correcció de caràcter més local que assegure que els models són comparables entre ells i respecte als models de referència obtinguts dels vols LiDAR del PNOA.

### Correcció dels MDS a escala local

Amb la finalitat de corregir biaixos geogràfics que hi trobem a escala local es proposa fer una comprovació massiva de punts que sabem que s'han mantingut altimètricament estables al llarg del període estudiat (en aquest cas, entre 2015, any del vol LIDAR que emprarem com a referència fins al 2022, últim dels anys estudiats). Les anàlisis en aquesta fase ja es centren únicament en la zona d'interés que ara s'està analitzant, és a dir, entre València i el cap de Cullera.

Considerem que la major part de les carreteres i vials que hi ha al territori no han variat la seua altitud i, per tant, es poden emprar per a fer les anàlisis massives. A partir de la cartografia 1/5.000 del ICV (<https://icv.gva.es/va/cv05>), s'han seleccionat els eixos dels vials i s'ha extret un punt cada 5 m de manera que hem pogut disposar de més de 45.000 punts de control. En ells s'ha mesurat, per un costat, l'altitud al Model Digital d'Elevacions (MDE) obtingut a partir de les dades LIDAR del PNOA adquirides en 2015 i també en cadascun dels 6 MDS obtinguts fotogramètricament. Els resultats (taula 3), centrats en l'estudi de la zona que ací s'analitzarà, és a dir, el tram València-Cullera, mostren uns biaixos sempre menors als 15 cm i sempre dins d'unes desviacions típiques menors a 26 cm.

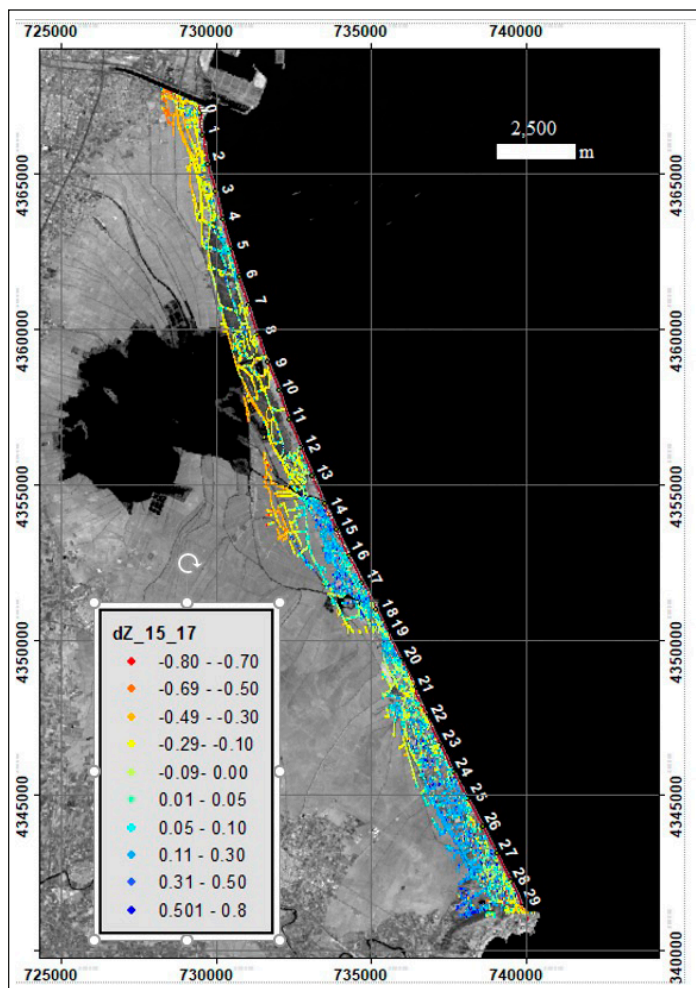
Taula 3. Estadístics bàsics de control dels errors avaluats (en metres) en el tram València-Cullera abans de fer qualsevol correcció local

Any	Punts	Biaix	Desv. est.	RMSE
2017	45065	-0.026	0.227	0.229
2018	45065	0.117	0.188	0.222
2019	45065	0.069	0.208	0.219
2020	45065	0.115	0.187	0.219
2021	45065	0.074	0.185	0.199
2022	45065	0.048	0.191	0.196

L'anàlisi de les divergències de les cotes en els punts de vials emprats ha permès observar biaixos desigualment repartits, però amb una clara distribució geogràfica. És a dir, hi ha zones on els errors són positius i d'altres en què aquests són negatius. Encara que els biaixos mitjans (taula 3) queden per davall de la desviació típica, la seua particularització a la zona d'estudi invita a entendre que no és una

condició constant en tot el territori ni una component aleatòria, sinó que presenta una tendència espacial. A la figura 4 apareixen els aproximadament 45.000 punts de control situats sobre els vials de la zona d'estudi, i amb el seu color s'indica la magnitud i el sentit de l'error respecte al model altimètric de referència. S'aprecien errors negatius (tons rogencs) relativament alts a la part nord-occidental, tocant a la desembocadura del nou llit del Túria, que contrasta amb altres àrees on veiem errors positius (tons blavosos), com passa a la part meridional, ja al terme de Cullera.

Figura. 4. Distribució d'errors mesurats sobre els vials



Els diferents colors representen la magnitud de la diferència altimètrica (expressada en metres). S'aprecien biaixos geogràfics de manera que, en alguns llocs, els nous models estan per damunt dels considerats com a referència i en altres per davall.



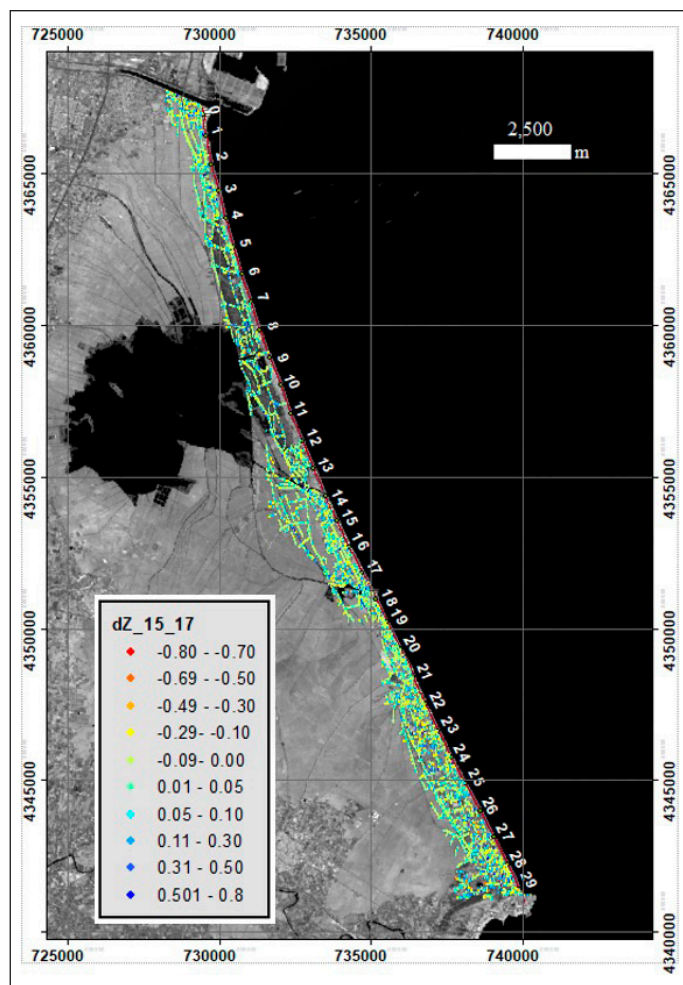
Per minimitzar aquests biaixos, així com el seu efecte en el càlcul dels volums posteriors, s'han creat models correctors de superfície. És a dir, les diferències de cota entre el Lidar de referència i cada MDS al llarg dels vials ha sigut emprat per a crear uns models de superfície d'error mitjançant tècniques geoestadístiques com el *kriging* ordinari. Cada nou model d'errors (un per cada any analitzat) s'ha restat als MDS anuals obtinguts per fotogrametria i s'han obtingut uns nous MDS definitius, on ha quedat minimitzada qualsevol desviació sistemàtica de naturalesa geogràfica, tal com queda evidenciat a la figura 5. Aquests nous models, a més, milloren substancialment la precisió global, com demostren els estadístics generals que es presenten a la taula 4, amb precisions millors, fins i tot, a les esperables amb la tecnologia LIDAR. Aquests MDS seran, per tant, la font d'informació altimètrica que s'emprarà per a quantificar els canvis a la platja i en el front dunar.

Taula 4. Estadístics bàsics de control dels errors avaluats (en metres) en el tram València-Cullera posterior a la correcció local

Any	Punts	Biaix	Desv. est.	RMSE
2017	45065	0.000	0.134	0.134
2018	45065	0.000	0.127	0.127
2019	45065	0.000	0.134	0.134
2020	45065	0.001	0.125	0.125
2021	45065	0.000	0.137	0.137
2022	45065	0.000	0.128	0.128

Potser sorprén per què s'empren els MDS, que recordem, són models amb les altituds del terreny tot considerant els elements que hi ha sobre el terra, com ara cases, vegetació, infraestructures. Generalment, quan es pretenen avaluar canvis en el terreny, s'utilitzen el Models Digitals d'Elevacions (MDE) que només recullen la informació altimètrica del terra. La raó per a emprar els MDS es troba en la dificultat de derivar els MDE a partir dels MDS quan partim d'una informació obtinguda per fotogrametria. A diferència del que passa quan es treballa amb dades LIDAR, on alguns dels punts registrats arriben a terra, ací no passa així, ja que només es registra una única dada altimètrica per píxel. Per aquesta raó, no es poden aplicar els filtres estàndard que s'utilitzen per a diferenciar el terreny dels elements que hi ha sobre ell. De tota manera, en treballar a la platja o enfront de la duna és evident que hi ha molt poca vegetació que provoqe errades. Sí que és cert, però, que l'efecte de persones a la platja no es pot resoldre i, per tant, serà un error que s'arrossegarà amb aquesta font d'informació.

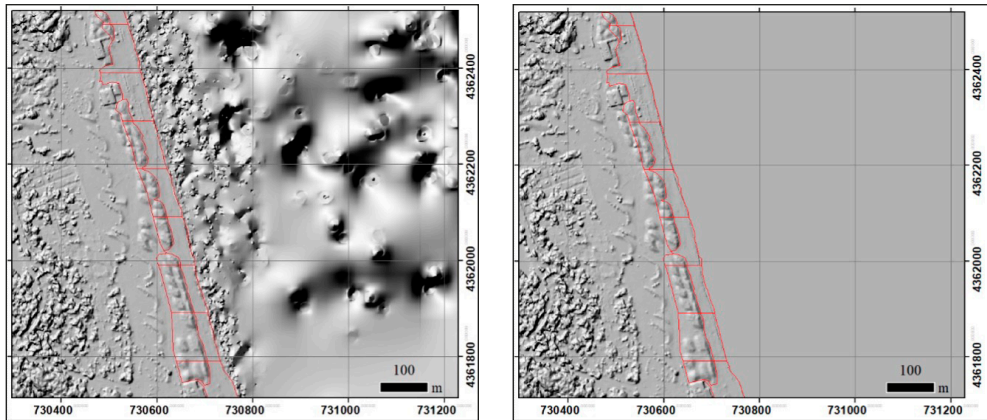
Figura 5. Distribució d'errors mesurats una vegada aplicada la correcció local



### *Mètode per computar sistemàticament els canvis en platja i duna*

Abans de mesurar els canvis entre els successius MDS anuals s'ha d'eliminar la informació de la zona marina, ja que les altituds allí obtingudes són clarament errònies tal com prova la figura 6. Aquests errors a la zona marina es deuen al fet que el procediment fotogramètric localitza punts homòlegs en diferents fotografies per a triangular la seua posició en l'espai tridimensional. És necessari, per tant, que els punts homòlegs no es moguen durant el temps transcorregut entre les fotografies. Dins la mar, amb l'efecte de les ones, no es compleix aquesta condició i, per això, les cotes a la part aquàtica dels MDS s'han de considerar erronis i cal eliminar-los (figura 6).

Figura 6. Detall de l'efecte erroni de la fotogrametria en l'espai de mar i com es corregeix amb l'emascament



Per a fer-ho, per cada any processat i analitzat s'ha fotointerpretat la línia de costa i s'ha creat un polígon que cobreix la zona marina i que ha sigut emprat per a emmascarar la mar i donar-li un valor constant igual a zero. Així, s'arriba a un conjunt de models de superfícies amb resolució d'1 metre per píxel. Cada píxel representa l'altitud del terreny i permet, en comparar-los, calcular els canvis volumètrics haguts entre les dates dels diferents vols.

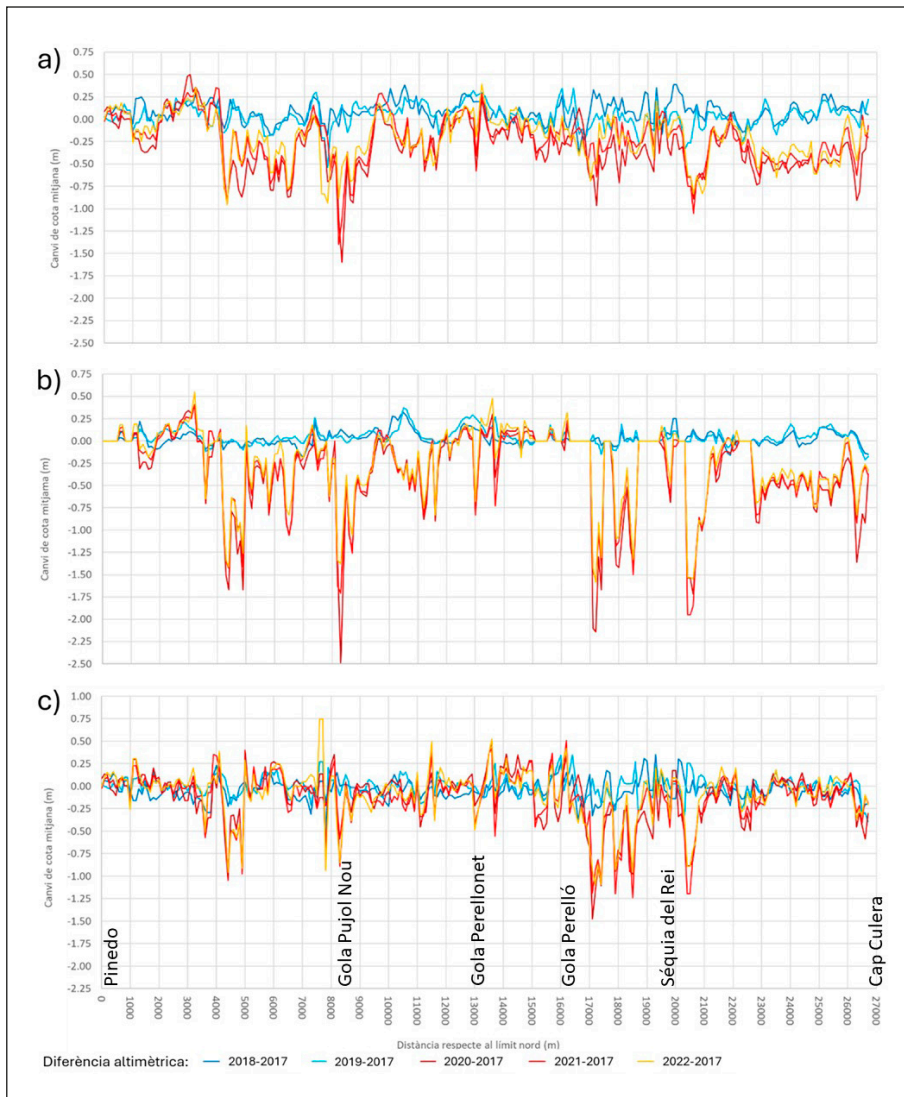
L'anàlisi de canvis volumètrics s'ha fet de forma sistemàtica sobre unitats geogràfiques predefinides i separant els dos ambients diferents que hi trobem: el front dunar i la platja emergida, tal com es pot observar amb les línies roges que apareixen a la figura 6. Aquesta anàlisi incorpora dos problemes associats a la mobilitat d'aquests ambients: per un costat, la del límit marí entre les successives fotografies i, per un altre, la del límit del front dunar. La mobilitat instantània del límit marí entre successives fotografies condiciona la zona que podrà triangular-se per a traure el MDS. La mobilitat del front dunar es deu a la forta erosió associada sobretot als efectes del temporal Glòria i que fa canviar l'espai ocupat per duna i platja. S'ha de dir que, en aquest estudi, focalitzem la nostra atenció exclusivament en la dinàmica costanera i, per tant, no analitzem els conjunts dunars totalment, sinó només el front dunar que és el que es pot veure afectat directament per l'onatge. Per això, hem determinat un límit interior que constreny l'espai límit terra endins. D'altra banda, el límit de les dunes amb la platja ha quedat establert sobre el MDS de 2017 i es manté constant per a tot l'estudi. Així, si els canvis (guanys o pèrdues) que hi trobarem en anys successius sempre es contrastaran respecte a aqueixa primera data (2017). Els càlculs del volum s'han anat fent per trams longitudinals d'uns 100 m de longitud, com s'aprecia en la figura 6.

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

En la figura 7 es presenten els canvis registrats en cadascun dels anys estudiats respecte a la situació en 2017. D'una banda, es mostren els canvis globals del conjunt del sistema platja-duna (7a), és a dir,

considerant tant la platja com el front dunar en cadascuna de les unitats d'uns 100 m de longitud en què s'ha dividit la zona d'estudi. D'altra banda, es presenten els canvis només en les dunes (7b), així com només considerant la platja emergida (7c). En tons blaus es presenten els canvis registrats abans del temporal Glòria i, en tons càlids, els ocorreguts després. Els resultats evidencien el fort impacte d'aquest fenomen i com, passats ja tres anys, les pèrdues encara són bastant elevades.

Figura 7. Canvis (respecte a 2017) de l'elevació mitjana a) sobre tot el sistema platja-duna; b) només sobre la duna; i c) només sobre la platja emergida

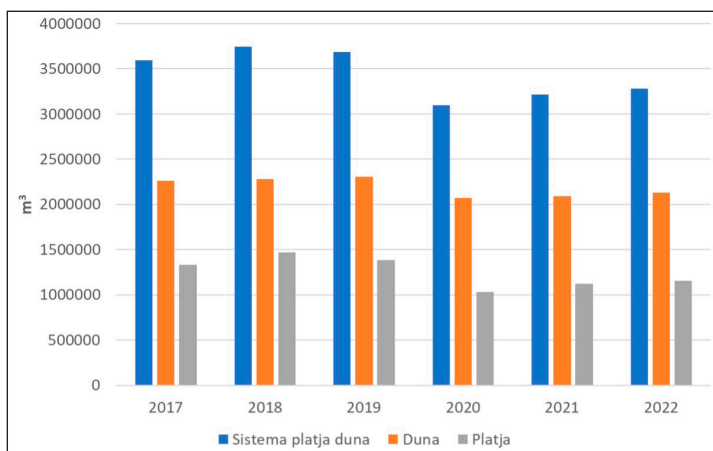


En la taula 5 es presenten el volum total mesurat en cadascun dels anys i el percentatge que això suposa respecte a la situació de 2017. Aquestes dades permeten observar com, durant els anys 2018 i 2019, hi hagué un lleuger increment de material mentre que l'any 2020 hi hagué una forta pèrdua seguida d'una progressiva recuperació (figura 8). També s'aprecia que, si bé el canvi després de 2020 afectà a tots els ambients (duna i platja), els processos de recuperació són clars en la platja però molt més lleugers a les dunes. Aquest fet és perfectament lògic, ja que, perquè s'inicié el procés de recuperació de la duna, necessàriament s'ha d'haver creat un excipient ja a la platja seca de manera que el vent pugui arrossegar l'arena i acumular-la a la duna.

Taula 5. Volum total (m³) existent cada any analitzat en tota la zona d'estudi i percentatge (%) de canvi respecte a 2017 (valors majors a 100 indiquen acumulació, inferior erosió)

	Sistema platja duna		Duna		Platja	
	Volum total (m³)	Percentatge canvi	Volum total (m³)	Percentatge canvi	Volum total (m³)	Percentatge canvi
2017	3.594.461	100,00	2.262.163	100,00	1.332.298	100,00
2018	3.748.073	104,27	2.281.083	100,84	1.466.990	110,11
2019	3.686.084	102,55	2.304.003	101,85	1.382.080	103,74
2020	3.097.440	86,17	2.068.646	91,45	1.028.794	77,22
2021	3.214.701	89,43	2.090.609	92,42	1.124.091	84,37
2022	3.279.232	91,23	2.126.958	94,02	1.152.274	86,49

Figura 8. Volums totals registrats en cadascun dels anys estudiats diferenciant la duna i la platja, i també el conjunt del sistema platja-duna



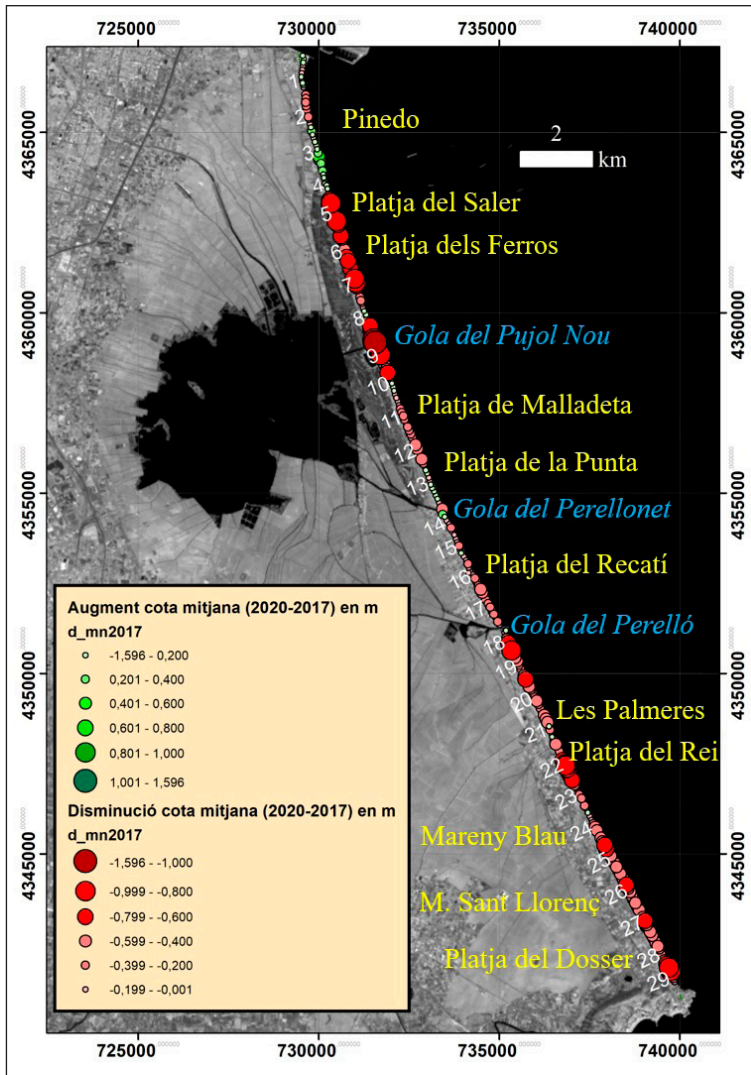
Aquests fets ja s'havien observat en treballs preliminars realitzats a aquesta zona (Pardo-Pascual et al., 2022b) però no amb el grau de seguretat amb què ara es pot reafirmar al poder disposar de més dades. Un treball anterior basat en tres alçaments topogràfics fets amb LiDAR exclusivament sobre la Devesa del Saler (Pardo-Pascual et al., 2021) també evidenciava aquesta realitat que ara podem confirmar de forma clara sobre tota la restinga que tanca l'Albufera de València.

De tot el que s'ha presentat resulta evident que els canvis més importants es detecten immediatament després del temporal Gloria i que presenten unes diferències geogràfiques molt importants (figura 7). Així, quan es cartografien els canvis (distingint guanys i pèrdues) registrats entre 2017 i 2020 (figura 9) es pot observar que els majors canvis es troben a la Platja del Saler i del Ferros, així com al nord i sud de la gola del Pujol Nou. Les platges i dunes que hi ha entre les goles del Pujol i del Perellonet registren, excepte la zona de la Brava (immediata al Pujol), unes pèrdues molt més moderades. De fet, a la zona de la Punta es detecten guanys. Entre la gola del Perellonet i la del Perelló les pèrdues, si bé generalitzades, no són tan grans com més al nord i al sud. Així, al sud del Perelló tornem a trobar pèrdues molt fortes. Al sud de la platja del Rei, també trobem una zona greument afectada que segueix cap al sud per les platges dels Marenys Blau, de Sant Llorenç i la platja del Dosser. Això coincideix amb les anàlisis fetes amb l'estudi de línies de costa derivades de les imatges de satèl·lit (Pardo-Pascual et al., 2022a,c). En aquestes anàlisis es destacava l'aparent contradicció que àrees potencialment acumulatives (per estar recolzades sobre el promontori calcari del Cap de Cullera) hagen mantingut una dinàmica fortament erosiva, sobretot després del cicle de grans temporals culminats pel Glòria que hi hagué entre els estius de 2019 i 2020.

Tots aquests resultats evidencien la mancança de sediment d'aquesta cèl·lula sedimentària costanera deguda, en part, a la interrupció del transport longitudinal de sediments provocat pels dics del port de València des de fa dècades. A més, els rius, especialment el Túria, aporten menys sediments al sistema platja-duna. Finalment, aquests resultats proven que els grans temporals, com el Glòria, marquen fites clau en la dinàmica evolutiva d'un sector com el que estem estudiant.

La història morfofodinàmica recent de les platges i dunes que hi ha entre València i Cullera és un exemple paradigmàtic dels problemes als quals ens hem d'anar enfrontant cada vegada més com a societat. Estem davant d'una realitat en què àrees on històricament ha predominat l'acumulació de sediments arenosos (Sanjaume, 1985) –almenys des del màxim flandrià fins fa menys de cent anys–, ara es veuen immerses en una dinàmica erosiva creixent a causa d'alteracions humanes, tant dins del sistema litoral (com són els ports i el espigons) com fora d'aquest (com les alteracions en la dinàmica sedimentària fluvial). A això s'afegeixen els canvis en les condicions marines, on les situacions de temporals de gran energia són cada vegada més freqüents i virulents, fet que molts autors associen als efectes del canvi climàtic a les costes (Sweet et al., 2014, 2022, Oppenheimer et al., 2019).

Figura 9. Mapa dels canvis al sistema platja-duna entre l'any 2017 i el 2020



## CONCLUSIONS

L'aportació metodològica d'aquest treball demostra que l'ús de sèries de fotografies aèries recents (i futures) ens pot proporcionar dades rigoroses per a quantificar i monitorar els efectes de les intervencions costaneres. Recentment, la zona d'estudi ha rebut l'aportació de més de 3 milions de metres cúbics d'arena, cosa que, previsiblement, modificarà significativament l'evolució de la costa durant els pròxims

anys o dècades. Disposar de mètodes eficients i precisos per a mesurar aquests canvis i avaluar l'impacte real d'aquestes accions és clau per a fer valoracions rigoroses i decidir, si és possible, l'èxit o el fracàs d'aquestes intervencions sobre el sistema costaner.

#### AGRAÏMENTS

Aquesta recerca està suportada pel projecte SIMONPLA integrat dins del programa ThinkinAzul del Ministeri de Ciència i Innovació amb fons de la Unió Europea NextGenerationEU (PRTR-c17.11) i la Generalitat Valenciana, el contracte de M. Salas (Programa de Requalificació) pel Ministeri d'Universitats finançat per la UE-NextGenerationEU i la beca Primers Projectes d'Investigació (PAID-06-22) del Vicerectorat d'Investigació de la Universitat Politècnica de València (UPV). Els autors agraeixen a l'Institut Cartogràfic Valencià la cessió de les fotografies aèries i les seues dades auxiliars que han estat la font d'informació primària bàsica del present estudi.

#### REFERÈNCIES

- Almonacid-Caballer, J., Gorkovchuk, D., Palomar-Vázquez, J., Cabezas-Rabadán, C., & Pardo-Pascual, J. E. (2024). Monitorización tridimensional del sistema playa-duna del norte de Cullera (Valencia) mediante fotografías aéreas. XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Teledetección y Cambio Global: Retos y Oportunidades para un Crecimiento Azul, 653-656, 4-7 junio, Cádiz.
- Almonacid-Caballer, J., Gorkovchuk, D., Palomar-Vázquez, J., & Pardo-Pascual, J. E. (2023). Posibilidades y limitaciones de las fotografías aéreas adquiridas para la generación de ortofotos como fuente de información documental 3D. Ejemplo de aplicación en la Rambla de la Viuda (2017-2021). En I Jornadas de Morfodinámica Fluvial y Observación de Sedimentos en Ríos (MorFOS): Jornada anual de I-D-i en inundaciones, 15 y 16 de noviembre del 2023. Zaragoza-España.
- Amores, A., Marcos, M., Carrió, D. S., & Gómez-Pujol, L. (2020). Coastal impacts of Storm Gloria (January 2020) over the north-western Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7), 1955-1968.
- Anfuso, G., Loureiro, C., Taouati, M., Smyth, T., & Jackson, D. (2020). Spatial Variability of Beach Impact from Post-Tropical Cyclone Katia (2011) on Northern Ireland's North Coast. *Water*, 12(5), 1380. <https://doi.org/10.3390/w12051380>
- Berdalet, E., Marrasé, C., & Pelegrí, J. L. (2020). Resumen sobre la Formación y Consecuencias de la Borrasca Gloria (19-24 enero 2020). (ICM) Informes y documentos de trabajo, 38 pp. doi: 10.20350/digitalCSIC/12496
- Boak, E. H. & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*, 21(4), 688-703.
- Briceño de Urbaneja, I. C., Pardo-Pascual, J. E., Cabezas-Rabadán, C., Aguirre, C., Martínez, C., Pérez-Martínez, W., & Palomar-Vázquez, J. (2024). Characterization of Multi-Decadal Beach Changes in Cartagena Bay (Valparaíso, Chile) from Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 16(13), 2360.



- Burvingt, O., Masselink, G., Russell, P., & Scott, T. (2017). Classification of beach response to extreme storms. *Geomorphology*, 295, 722-737.
- Castelle, B. & Harley, M. (2020). Extreme events: impact and recovery. En *Sandy beach morphodynamics* (pp. 533-556). Elsevier.
- Ciavola, P. & Coco, G. (Eds.). (2017). *Coastal storms: processes and impacts*. John Wiley Sons.
- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., Roch-Talens, A., & Guillén, J. (2024). Satellite observations of storm erosion and recovery of the Ebro Delta coastline, NE Spain. *Coastal Engineering*, 188, 104451.
- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., & Fernández-Sarría, A. (2019). Characterizing beach changes using high-frequency Sentinel-2 derived shorelines on the Valencian coast (Spanish Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 691, 216-231.
- De Alfonso, M., Lin-Ye, J., García-Valdecasas, J. M., Pérez-Rubio, S., Luna, M. Y., Santos-Muñoz, D., & Álvarez-Fanjul, E. (2021). Storm Gloria: sea state evolution based on in situ measurements and modeled data and its impact on extreme values. *Frontiers in Marine Science*, 8, 646873.
- Nijland, W., Reshitnyk, L. Y., Starzomski, B. M., Reynolds, J. D., Darimont, C. T., & Nelson, T. A. (2017). Deriving rich coastal morphology and shore zone classification from LIDAR terrain models. *Journal of Coastal Research*, 33(4), 949-958.
- Ojeda Zújar, J., Vallejo Villalta, L.I., Hernández Calvento, L., & Álvarez Francoso, J. I. (2007). Fotogrametría digital y lidar como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 215-233.
- Oppenheimer, et al. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. En Pörtner, H.-O. et al. (eds.). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (pp. 321-445). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Pardo-Pascual, J. E., Cabezas-Rabadán, C., & Palomar-Vázquez, J. (2021). Anàlisi dels canvis morfològics del cordó dunar i les platges de la Devesa del Saler a conseqüència del temporal Gloria. En Vicenç, M. Rosselló, *geògraf, als seus 90 anys* (pp. 393-418). Publicacions de la Universitat de València. ISBN:978-84-9133-428-6.
- Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., & Cabezas-Rabadán, C. (2022a). Estudio de los cambios de posición de la línea de costa en las playas del segmento València - Cullera (1984-2020) a partir de imágenes de satélite de resolución media de libre acceso. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 108, 79-104. DOI: 10.7203/CGUV.108.23828.
- Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Palomar-Vázquez, J., & Cabezas-Rabadán, C. (2022b). Monitorización tridimensional del impacto del temporal Gloriasobre el frente dunar de las playas de la Devesa del Saler (Valencia). En *XI Jornadas de Geomorfología Litoral. Galicia 2022: Actas: Santiago de Compostela, 27-29 de julio de 2022* (pp. 223-227). Servicio de Publicaciones.
- Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., & Cabezas-Rabadán, C., (2022c). Analysis of the morphological changes of the beaches along the segment València - Cullera (E Spain) from satellite-derived shorelines. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48. DOI: 10.18172/cig.5215.

- Pitman, S. J., Coco, G., Hart, D. E., & Shulmeister, J. (2024). Observations of beach cusp morphodynamics on a composite beach. *Geomorphology*, 447, 109026.
- Psuty, N. P. & Silveira, T. M. (2011). Tracking coastal geomorphological change: an application of protocols to collect geotemporal data sets at the national level in the US. *Journal of Coastal Research*, 1253-1257.
- Sweet, W. V. & Park, J. (2014). From the extreme to the mean: Acceleration and tipping points of coastal inundation from sea level rise. *Earth's Future*, 2, 579-600, DOI: 10.1002/2014EF000272.
- Sweet, W. V., et al. (2022). *Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines*. NOAA Technical Report NOS 01. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Silver Spring, MD, 111 pp. <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/sealevelrise/noaa-nostechrpt01-global-regional-SLR-scenarios-US.pdf>

Cómo citar este artículo:

Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Gorkovchuk, D., Palomar-Vázquez, J. & Cabezas-Rabadán, C. (2024). Avaluació dels canvis volumètrics de les platges i front dunar entre València i Cullera (2017-2022). *Cuadernos de Geografía*, 112, 175-194.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29267>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

GERARDO BENITO<sup>a</sup>; MARÍA PILAR RABANAQUE<sup>a</sup>; CARLOS SANCHIS-IBOR<sup>b</sup>;  
OLEGARIO CASTILLO<sup>c</sup>; DANIEL VÁZQUEZ-TARRÍO<sup>d</sup>; MIKEL CALLE<sup>e</sup>;  
VANESA MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ<sup>f</sup>; YOLANDA SANCHEZ-MOYA<sup>e</sup>

## MONITORIZACIÓN DE CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS Y TRANSPORTE DE CARGA DE FONDO DURANTE FLUJOS ANUALES EN LA RAMBLA DE CERVERA (CASTELLÓN)

### RESUMEN

La mayor parte de los ríos efímeros mediterráneos (ramblas) se encuentran en un estado notable de degradación después de décadas de impactos humanos severos (e. g. extracción de gravas). La temporalidad del caudal en las ramblas ha contribuido a su abandono social y legislativo. Nuestra compañera Francesca Segura ha sido un referente en el estudio de la evolución y los procesos morfodinámicos de las ramblas y en la lucha por su conservación. En este trabajo del proyecto EPHIDREAMS, del que forma parte, se describen los resultados preliminares de la monitorización de dos tramos de la rambla de Cervera (Castellón) durante flujos efímeros (enero y abril de 2020). Se han dispuesto sensores de

---

a Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC, calle Serrano, 115 bis, 28006 Madrid. benito@mncn.csic.es. <https://orcid.org/0000-0003-0724-1790>; m.rabanaque@mncn.csic.es. <https://orcid.org/0000-0002-6551-9351>

b Centro Valenciano de Estudios del Riego, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46007 València. csanchis@hma.upv.es. <https://orcid.org/0000-0002-8795-2922>

c Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Algeciras, Universidad de Cádiz, 11202 Algeciras, Cádiz. olegario.castillo@gm.uca.es. <https://orcid.org/0000-0001-6020-103X>

d Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático, Instituto Geológico y Minero de España, IGME, CSIC, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. d.vazquezarrio@igme.es. <https://orcid.org/0000-0002-5658-4426>

e Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, C. de José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid. mikelcal@ucm.es. <https://orcid.org/0000-0003-1590-6772>; yol@ucm.es. <https://orcid.org/0000-0002-1966-3838>

f Departamento de Sistemas y Recursos Naturales, E.T.S. Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid. vanesa.mfernandez@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-0922-4134>

Fecha de recepción: 20-09-2024. Fecha de aceptación: 30-09-2024.

presión para el registro de calado, sensores de impacto para determinar la intensidad del transporte de carga de fondo y fotogrametría para obtener MDT de alta resolución. De estas técnicas se han obtenido mapas geomorfológicos diacrónicos, modelos hidráulicos bidimensionales y cuantificación de tasas de transporte de sedimento. En el tramo superior (Enroig), ambos eventos registraron un pico de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , observándose cómo su cauce entrelazado y la alta disponibilidad de sedimento permiten una mayor eficiencia en la construcción de formas (barras laterales y mediales incipientes) y el transporte de gravas. En el tramo medio (Cervera del Maestre), con un valle semiconfinado de cauce estrecho y único, se registraron picos de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (enero) y  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  (abril). En este tramo, las condiciones de mayor energía y régimen próximo a flujo crítico impidieron la acumulación lateral de barras, dominando el depósito de lóbulos durante la etapa final del hidrograma. Aunque el volumen de sedimento transportado sea modesto ( $660 \text{ m}^3$  en Enroig y  $800 \text{ m}^3$  en Cervera), resulta evidente que estos eventos frecuentes son críticos para mantener la actividad morfológica y la conectividad sedimentaria, impidiendo el estrangulamiento del cauce por crecimiento de la vegetación.

PALABRAS CLAVE: ríos efímeros; cambios morfosedimentarios; monitorización de caudal y transporte de sedimento; recuperación de ríos degradados.

## MONITORING GEOMORPHOLOGICAL CHANGES AND SEDIMENT TRANSPORT DURING ANNUAL FLOWS IN THE RAMBLA DE CERVERA (CASTELLÓN)

### ABSTRACT

Most Mediterranean ephemeral rivers (*ramblas*) show a significant state of degradation after decades of severe human impacts (e. g. gravel extraction). The seasonal flow in these ramblas has contributed to their social and legislative abandonment. Our colleague Francesca Segura has been a reference in the study of the evolution and morphodynamic processes of the ramblas and in the struggle for their conservation. In this work of the EPHIDREAMS project, of which she is part, we describe the preliminary results of the monitoring of two reaches of the Rambla de Cervera (Castellón) during temporary flows (January and April 2020). Pressure sensors have been used to record the depth, impact sensors have served to determine the intensity of bed load transport, and photogrammetry has been applied to obtain high-resolution DTMs. From these techniques diachronic geomorphological maps, two-dimensional hydraulic models and the quantification of sediment transport rates have been obtained. In the upper reach (Enroig), both events recorded a peak flow of  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , showing how its braided channel and the high availability of sediment allow a greater efficiency in the construction of forms (incipient lateral and medial bars) and the transport of gravels. In the middle reach (Cervera del Maestre), with a semi-confined valley with a narrow single channel, peaks of  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (January) and  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  (April) were recorded. In this reach, the conditions of higher energy and regime close to critical flow prevented the lateral accumulation of bars, dominating the deposition of lobes during the recession stage of the hydrograph. Although the volume of sediment transported is modest ( $660 \text{ m}^3$  at Enroig and  $800 \text{ m}^3$  at

Cervera), it is evident that these frequent events are critical to maintain morphological activity and sediment connectivity, preventing channel narrowing due to vegetation growth.

KEYWORDS: ephemeral rivers; morphosedimentary changes; flow monitoring and sediment transport; recovery of degraded rivers.

Caldrà educar les noves generacions en una visió més pròxima a la natura, i fer-los entendre que les rambls són rius secs que mai respondran a la imatge idíl·lica i estereotipada d'un riu amb aigua, i que la seua missió consisteix a transportar els sediments més gruixuts de la terra al mar.

Segura-Beltrán (2013)

## INTRODUCCIÓN

La rambla de Cervera es un curso fluvial que ha atesorado valores naturales y ha sufrido los impactos observados en otros muchos ríos efímeros del Mediterráneo. Hasta bien avanzado el siglo xx, esta rambla fue un río de piedras, un amplio *codolar* de gravas, cantos y bloques que las crecidas iban desplazando lentamente hacia la mar, siguiendo un ritmo espasmódico. Por su lecho descendían los sedimentos que alimentaban las playas del Baix Maestrat. Sin agua en tiempo seco, los aprovechamientos humanos apenas alteraron el curso de la rambla. Los molinos y los huertos estaban levemente separados de sus márgenes, junto a las fuentes y barrancos tributarios. También las poblaciones y los lugares de culto se localizaban prudentemente a cierta distancia. La rambla fue un espacio natural relativamente secundario para la vida rural, poco transitado y solo frecuentado por *les raberes* (rebaños) que mantenían desnudo el lecho.

A lo largo del siglo xx, las montañas y valles del Maestrat fueron despoblándose y la retirada de sus habitantes redujo la presión humana sobre las laderas de la cuenca, facilitando un proceso de reforestación y reduciendo la llegada de sedimento al cauce. Durante la segunda mitad del siglo, diversas empresas dedicadas a la extracción de áridos se instalaron en la rambla de Cervera, sustrayendo ingentes cantidades de sedimentos que se destinaron a la construcción. Solo entre 1980 y 1988 se retiraron, según las cifras comunicadas por las empresas al organismo de cuenca, 329.639 m<sup>3</sup> de sedimento (Pardo, 1991). El volumen detraído del cauce (y el negado al mar), durante seis décadas de intensa explotación, nunca ha podido ser estimado, pero casi con toda seguridad es de un orden de magnitud mayor a dicha cifra. Esta explotación minera intensificó el déficit sedimentario, modificando severamente la morfología fluvial. Entre 1946 y 2006, el cauce se estrechó un 68,5 % y el canal de gravas se encajó, con una incisión media de 3,5 m (Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2013). La rambla abandonó su habitual patrón trenzado, y adoptó una forma en planta de canal único. A día de hoy, el lecho del cauce sigue estando compuesto principalmente por cantos rodados y gravas, pero en la parte baja del río, donde el lecho está acorazado, estos materiales solo aparecen de forma intermitente, como plumas aisladas.

Nuestra compañera Francesca Segura ha pasado buena parte de su vida observando, con interés y preocupación, los cambios operados en la rambla, bajando al Pont de la Serafina desde su casa de Xert

cada vez que las aguas tomaban el cauce o transitándola durante largas jornadas de trabajo de campo. Quienes la hemos acompañado hemos disfrutado de una guía excepcional, de su rigor científico y de su afán didáctico, y también de su visión crítica sobre las acciones antrópicas que han alterado severamente el equilibrio sedimentario y la morfología de la rambla. Este artículo es tan suyo como nuestro. Forma parte de un proyecto más amplio de investigación sobre el balance sedimentario de los ríos efímeros mediterráneos (EPHIDREAMS) en el que ella ha participado en los últimos años y en el que hemos compartido muchas horas rambleras. Quizás de forma poco decorosa, la hemos apartado de su redacción. Nos han podido las ganas de que, a la hora de rendir tributo a su trayectoria y agradecer su amistad, lo hiciéramos con un trabajo sobre la rambla que la vio nacer y crecer personal y profesionalmente.

Este trabajo se orienta al que ha sido su objeto preferido de investigación. Se añade a otros, suyos y ajenos, que durante las últimas décadas han analizado el comportamiento hidrogeomorfológico de los sistemas fluviales en contextos de déficit sedimentario. En este tiempo, singularmente desde la publicación del trabajo pionero de Kondolf (1994), se han multiplicado los estudios que han abordado los efectos de la detracción o retención de sedimentos fluviales (Liébault y Piégay, 2002; Surian y Ribaldi, 2004; Rovira et al., 2005; Martín-Vide et al., 2010; García-Ruíz y Lana-Renault, 2011; Scorpio et al., 2015). Con cierto retraso, esta cuestión ha comenzado a analizarse también en los ríos efímeros (Conesa y Pérez, 2014; Calle et al., 2017), a donde llega siempre más tarde el interés humano.

En estos espacios quedan bastantes cuestiones por esclarecer: 1) cómo se desarrollan las trayectorias de ajuste fluvial a las nuevas condiciones hidrogeomorfológicas; 2) qué particularidades presenta la interacción del flujo y las formas del cauce con la vegetación; 3) cómo cuantificar los volúmenes de sedimento desaparecidos; y 4) cómo analizar la conectividad ladera-cauce-litoral, entre otras muchas cuestiones. En los últimos años se están desarrollando nuevas técnicas que van a permitir avanzar en este campo. Estas incluyen el uso de sensores de impacto, teledetección desde drones, aprendizaje automático, modelación topográfica de precisión o modelación hidrológico-hidráulica, entre otras (e. g. Vericat et al., 2017; Sanchis-Ibor et al., 2017; Calle et al., 2020; Rabanaque et al., 2022, 2024). De todo ello, además, deben obtenerse conclusiones determinantes para guiar la gestión futura de estos cauces y sus cuencas (Ollero et al., 2021).

Sobre la rambla de Cervera, que nuestra compañera ha analizado en numerosos trabajos (Segura-Beltrán, 1983, 1990; Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2013; Sanchis-Ibor y Segura-Beltrán, 2014; Segura-Beltrán et al., 2020), se pueden plantear varias de estas preguntas y aplicar buena parte de las técnicas referidas, algunas de las cuales se han ensayado con éxito en ríos próximos (Calle, 2019; Rabanaque, 2024). En las siguientes líneas, vamos a centrarnos en estas cuestiones, analizando la respuesta de la rambla a dos eventos de crecida, que tuvieron lugar los días 22 de enero y 1 de abril de 2020, a fin de estudiar los cambios en la morfodinámica y en la vegetación observados durante y con posterioridad a estos episodios. El trabajo emplea modelos digitales del terreno y modelos diferenciales basados en vuelos fotogramétricos, analiza información aportada por sensores de impacto y modelos hidráulicos, y los combina con otras técnicas de análisis hidrológico, geomorfológico y de vegetación. Pretende caracterizar los procesos de erosión y acumulación y relacionarlos con los factores hidrológico-hidráulicos, morfológicos y bióticos que los condicionan. Se trata, en definitiva, de un trabajo orientado a mejorar

la comprensión del comportamiento de los ríos efímeros que llevan varias décadas experimentando procesos de ajuste a las condiciones de déficit sedimentario y a calibrar el potencial de las nuevas técnicas aplicadas al estudio de estos fenómenos.

### ÁREA DE ESTUDIO, MATERIALES Y MÉTODOS

#### *La rambla de Cervera*

La rambla de Cervera se localiza en el norte de la Comunitat Valenciana, drena una cuenca de 340 km<sup>2</sup> y presenta una longitud de 44 km con una pendiente media del 1,4 % (figura 1). Su curso atraviesa una secuencia alterna de depresiones y bloques tectónicos (*horst* y *grabens*), resultado de una fase compresiva (Mioceno) y dos distensivas (Terciario-Cuaternario) postorogénicas (Alpinas). En los *horst* predominan los materiales calcáreos mesozoicos apenas karstificados. El graben interior está relleno de sedimentos heterogéneos pliocuaternarios y, en la llanura costera, el río ha formado un abanico aluvial cuaternario, que se superpone a sedimentos detríticos terciarios y coalesce con otros cuerpos sedimentarios similares (Segura-Beltrán, 1995).

La cuenca de drenaje presenta precipitaciones medias anuales que oscilan entre 700 mm en la cabecera (1.160 msnm) y 480 mm en la desembocadura. La máxima precipitación mensual se produce predominantemente en otoño, con un pico secundario en primavera y una marcada estación seca en verano. El caudal en la rambla solo se genera después de fuertes lluvias. La combinación de fuertes pendientes con suelos poco profundos y precipitaciones intensas e irregularmente distribuidas suele generar crecidas que activan el caudal del río con una media de dos a cuatro veces al año, siendo el caudal discontinuo a lo largo del cauce, debido a la permeabilidad de las gravas y el sustrato rocoso (Segura-Beltrán, 1990).

Figura 1. Cuenca de la rambla de Cervera y localización de los dos tramos de estudio en Enroig (1) y Cervera del Maestre (2)



El monitoreo de los cambios morfométricos y de vegetación se ha centrado en dos tramos del curso medio de la rambla (figura 1). El primero se sitúa en Enroig (aldea del término municipal de Xert) y tiene una longitud de 1.148 m. Recibe por su derecha las aportaciones del barranco de Catinells y está atravesado por dos vados de hormigón. El primer vado se corresponde con el Camí del Mas de la Creu (en adelante, vado de Enroig) y está localizado aguas arriba. Tiene una serie de drenajes inferiores algunos obstruidos por sedimento. Sin embargo, el emplazado aguas abajo, en el Camí del Mas de l'Om (en adelante, vado del Barrio), consiste en una batea que permite el paso del agua y sedimento por encima de la vía. El segundo tramo está localizado en Cervera del Maestre, donde la rambla recibe por la derecha el barranco de la Torn. Tiene una longitud de 690 m y está atravesado por dos vados de hormigón. En ambos casos se trata de losas de hormigón enrasadas con el lecho de gravas. Tanto estos pasos como los de Enroig quedan inundados varias horas o días durante cada evento de escorrentía, y requieren la remoción del sedimento para permitir la circulación de vehículos.

### *Materiales y métodos*

El monitoreo de los cambios consta de las siguientes fuentes de datos y técnicas: 1) imágenes aéreas RGB y modelos digitales del terreno obtenidos mediante vuelos de dron antes y después de cada evento para el tramo estudiado; 2) imágenes de fotografía aérea del conjunto de la rambla disponibles anualmente (i. e. junio de 2019 y junio de 2020); 3) registro de nivel de agua cincominutal y altura de flotantes asociados al evento de inundación; 4) sensores de impacto para registro en tiempo real de las partículas de grava transportada como carga de fondo. En este trabajo se describen los cambios geomorfológicos y sedimentarios asociados al año hidrológico 2019-2020, y que incluyen dos eventos de escorrentía ocurridos el 22 de enero de 2020 y el 1 de abril de 2020.

### Reconstrucción de MDT y detección de cambios

La reconstrucción 3D de los tramos de estudio se ha realizado con fotogrametría digital (*software* Agisoft Metashape) obtenida mediante vuelos de dron DJI Phantom 4 RTK durante junio de 2019, febrero de 2020 y abril de 2020. La altura de vuelo se fijó en 50 metros con un solape del 80 % horizontal y verticalmente. Para corregir la nube de puntos y localizar correctamente los MDT, se pusieron puntos de control (GCP) distribuidos igualmente por las dos áreas de estudio. Estos GCP fueron tomados con el GPS GNSS Trimble R8. Los MDT y ortomosaicos son generados a partir de: 1) la alineación de las imágenes con alta precisión; y 2) el cálculo de los mapas de profundidad para la generación de la malla con alta calidad. Una vez obtenidos los MDT se calculó su precisión dividiéndolos en dos conjuntos de GCP, utilizados como puntos de control y puntos de validación. En este caso se han utilizado dos tercios de los puntos como control y un tercio como validación.

Los cambios geomorfológicos se pueden cuantificar a partir de la diferencia de MDT (Difference of DEM, DoD en inglés). Esta diferencia es el resultado de la diferencia entre el MDT más reciente y el MDT más antiguo.



### Morfometría de los tramos fluviales estudiados en el contexto de la rambla

La cartografía geomorfológica de los dos tramos fluviales se ha efectuado a partir de las imágenes obtenidas por los tres vuelos de dron citados y se ha apoyado en las observaciones realizadas durante las visitas de campo que tuvieron lugar en las mismas fechas que los vuelos. Las dos áreas de estudio se encuentran en dos sectores en los que la rambla atraviesa dos pilares tectónicos (*horst*), por lo que el cauce es más estrecho que en otras zonas del tramo medio y presenta unos claros límites laterales, marcados por taludes verticales. Por ello, la delimitación del cauce cartografiado, efectuada mediante ArcGIS Pro, ha sido sencilla. Se han distinguido nueve unidades para los tres períodos. Tres corresponden a diferentes tipos de cauces: el cauce principal sobre lecho de gravas, los tramos de cauce sobre lecho rocoso y los pequeños cauces que se desarrollan sobre las barras. Otras tres distinguen tres tipos de barras mediales, en función de la vegetación: incipiente cuando predominan las herbáceas anuales; consolidadas cuando hay predominio de la vegetación arbustiva; y muy consolidadas cuando se hallan bajo estrato arbóreo. El mismo criterio se ha utilizado para distinguir tres tipos de barras laterales. La medición de las superficies de estas formas ha permitido cuantificar los cambios morfológicos del cauce.

### Registro de calado e hidrograma de los eventos

El calado de agua en tiempo real se obtuvo mediante transductores de presión (PT), en concreto con un Levelogger® Edge Modelo 3001 fabricado por Solinst. Las mediciones de calado se establecieron con un intervalo de tiempo de 5 min. La ubicación del dispositivo se sitúa en ambas zonas en un punto de cota baja de la margen derecha del vado. La corrección de la presión atmosférica para obtener el calado real se realizó mediante *barologgers* situados en las proximidades de los PT. Igualmente, después de cada evento se identificaron restos de flotantes frescos cerca de los PT y a lo largo de los tramos de estudio, siendo localizados su altura y posición mediante GPS GNSS.

### Modelización hidráulica

En las zonas de estudio se ha implementado un modelo hidráulico bidimensional mediante el *software* Iber versión 3.2.2 (Bladé et al., 2014), que permite transformar los calados registrados en los *leveloggers* a caudal, así como estimar los caudales asociados a los flotantes. Este modelo Iber resuelve las ecuaciones de aguas someras o de Saint-Venant en un dominio bidimensional mediante esquemas numéricos en volúmenes finitos (Bladé et al., 2014).

La topografía del lugar de estudio se ha obtenido a partir de datos LiDAR, recogidos por el proyecto PNOA en 2017. Se ha empleado esta topografía LiDAR, dado que permite la modelización hidráulica fuera de los tramos de estudio, y por tanto obtener una perspectiva global de las condiciones de la rambla durante los eventos. Las fotografías aéreas muestran que los principales elementos y formas geomorfológicas (barras, bancos e islas) no se han modificado significativamente entre el momento de captura de los datos LiDAR y el periodo analizado en este trabajo (2020).

### Registro de la carga de fondo y transporte de sedimento

El transporte de partículas por carga de fondo se ha monitorizado utilizando sensores de placa de impacto “tipo Benson” descritos en Downs et al. (2016) y Soar y Downs (2017), fijados sobre los vados de hormigón que cruzan la rambla (figura 1). Estos dispositivos consisten en una placa de acero inoxidable ( $150 \times 130 \times 6$  mm) y un sensor (acelerómetro) acoplado en su parte posterior, el cual es capaz de transformar la vibración causada por el impacto de partículas contra la placa de acero en un impulso eléctrico. El dispositivo instrumental incluye también un registrador de datos Tinytag (*datalogger*) conectado al sensor y que almacena el número de impactos totales durante intervalos de tiempo personalizables. La “placa de impacto” consta, por tanto, de todos los componentes anteriores apilados y alimentados por una batería autónoma.

Esta placa registra impactos asociados con amplitudes de señal superiores a 20 mV e inferiores a 100 V, aproximadamente, y el conteo total se almacena cada 60 s. De acuerdo con la estructura de almacenamiento de datos, el número máximo teórico de impactos registrables es de 255 por intervalo de tiempo, una cantidad adecuada teniendo en cuenta la gran actividad de transporte que se espera durante las inundaciones. Para evitar recuentos duplicados producidos por el propio canto de grava al rodar, se han suprimido los impactos registrados con menos de 0,2 s de diferencia (Calle et al., 2018).

El emplazamiento sobre pasos de camino de hormigón que cruzan a nivel del lecho del río se seleccionó teniendo en cuenta las condiciones críticas de flujo que se generan justo en el borde aguas abajo. Las velocidades y fuerza de corte del flujo en condiciones de régimen crítico evitan que el sensor quede enterrado, al producirse un efecto de lavado sobre la carretera. Los datos se sumaron en periodos de 5 min para ajustarlos a los datos del nivel del agua registrados a intervalos de 5 min. Las placas de impacto aportan una información muy valiosa sobre el comportamiento de los procesos de transporte de sedimentos durante el transcurso de los dos hidrogramas analizados. Igualmente, nos permiten realizar una estimación orientativa del volumen mínimo de carga sólida movilizada. De acuerdo con la información de calibración aportada por el fabricante de los dispositivos, los sensores de tipo D registran impactos de partículas de grava entre 5,5 y 67 mm de diámetro medio. En estudios de laboratorio (Benson com. pers.), se ha podido calibrar de tal forma que 25 impactos equivaldrían a un transporte de 3 kg de sedimento (Calle et al., 2018). Considerando el número de impactos registrados y asumiendo un transporte medio similar en la sección activa del cauce durante diferentes estadios del flujo, se puede estimar el volumen para gravas de caliza de  $1600 \text{ kg/m}^3$  de densidad media. Las estimaciones obtenidas con estos sensores corresponden a volúmenes mínimos de transporte, dado que los sensores durante momentos de elevado número de impactos se saturan y no registran adecuadamente. Igualmente, la supresión de los impactos cuando se producen con menos de 0,2 s puede afectar al registro de cantos en momentos de altas intensidades de transporte de fondo.

En paralelo a la medida en campo del transporte de fondo con las “placas de impacto”, también se ha realizado una estimación de las tasas de transporte durante los dos eventos estudiados, mediante el uso de ecuaciones de transporte de sedimento. Entre las múltiples formulaciones propuestas en la literatura para el cálculo de los “arrastres” en ríos de lecho grueso, aquí hemos optado por utilizar la ecuación de

Recking (Recking, 2013; Recking et al., 2016). Se ha decidido aplicar esta ecuación porque ha sido ajustada utilizando una base de datos muy amplia de medidas en campo y laboratorio, las cuales cubren un rango de valores de pendiente (0,0002-0,30 m/m) y de tamaños de partícula (0,1-204 mm) que abarcan los correspondientes a la Rambla de Cervera. Asimismo, un estudio comparativo de fórmulas de carga de fondo realizado por Hinton et al. (2018) indicó que la ecuación de Recking aporta estimaciones adecuadas y mejores que otras ecuaciones propuestas para ríos de lecho grueso.

La ecuación de Recking estima las tasas de transporte de sedimento ( $q_s$ ; en  $m^3/s$ , utilizando unidades del sistema internacional) a partir de la siguiente expresión:

$$q_s = 14\sqrt{1.65gD_{84}^3} \frac{\tau^{2.5}}{1 + (\frac{\tau_m^*}{\tau})^4} B$$

donde  $g$  es el valor de la aceleración de la gravedad ( $9,81 m/s^2$ ),  $D_{84}$  es el percentil 84 de la distribución granulométrica,  $B$  es la anchura del cauce activo y  $\tau^*$  es el llamado parámetro de Shields:

$$\tau^* = \frac{\tau}{1650gD_{84}}$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante de fondo. Por último,  $\tau_m^*$  es un valor de referencia del parámetro de Shields que marca un cambio en las condiciones de movilidad del lecho: esto es, la transición desde condiciones de “movilidad parcial” a condiciones de “total movilidad” del lecho. Este valor de referencia se estima a partir de la siguiente expresión:

$$\tau_m^* = (5S + 0.06) \left(\frac{D_{84}}{D_{50}}\right)^{4.4\sqrt{S}-1.5}$$

donde  $S$  es la pendiente del lecho y  $D_{50}$  es la mediana de la distribución granulométrica.

La aplicación de esta serie de ecuaciones nos permite dar una estimación del volumen de carga sólida asociado a cada valor de caudal. Es decir, esta serie de ecuaciones nos permite establecer una relación única entre caudal líquido y volúmenes de carga sólida. Sin embargo, diversos trabajos han mostrado que las tasas de transporte de sedimento fluctúan enormemente para un mismo valor de caudal, en relación con numerosos procesos tales como oscilaciones en el grado de acorazamiento del lecho (Gomez, 1983; Powell, 1998; Vázquez-Tarrío et al., 2020), cambios en las condiciones de turbulencia del flujo (Nelson et al., 1995), fluctuaciones en el comportamiento de la capa activa (Parker, 2008; Recking et al. 2023), migración de macroformas (Dinehart, 1992; Whiting et al., 1988; Recking et al., 2009; Dhont and Ancey, 2018), colapso de orillas (Molnar et al., 2010) o cambios en los aportes de sedimento (Rickenmann, 2020).

Por tanto, la asunción de una relación unívoca entre caudal líquido y carga sólida, implícita en cualquier ecuación de transporte de sedimento, no es del todo realista. En este sentido, algunos autores

han sugerido que las ecuaciones de transporte de sedimento podrían ser combinadas con distribuciones de probabilidad de los distintos parámetros de entrada y, utilizando métodos de remuestreo estadístico, reproducir las oscilaciones o variabilidad natural en los valores de las tasas de transporte de sedimento (Monsalve et al., 2020; Recking et al., 2024). Usando una aproximación similar a esta, Recking et al. (2024) han logrado reproducir de manera satisfactoria la variabilidad natural en las tasas de transporte de sedimento en el río Severaisse, un río trezado situado en el macizo de los Ecrins (Alpes franceses). Por ello, hemos asumido que también podría representar una “estrategia” adecuada para una primera aproximación a los volúmenes de sedimento transportados en la rambla de Cervera.

Así, basándonos en los resultados del modelo hidráulico bidimensional, hemos asumido una distribución normal para las cortantes. El valor medio de esta distribución ha sido determinado a partir de una curva de correlación entre cortante promedio en el tramo y caudal (establecida a partir de los resultados del modelo hidráulico); como coeficiente de variación hemos utilizado un valor de 0,7, también basándonos en los resultados del modelo hidráulico. Para el valor del  $D_{84}$ , hemos utilizado como distribución de frecuencias la curva granulométrica medida en campo. Por último, para la pendiente y la anchura de cauce activo, hemos asumido sendas distribuciones normales, cuyas medias y desviaciones estándar han sido determinadas a partir de varias medidas realizadas directamente sobre los modelos digitales de elevaciones disponibles.

Una vez definidas las distribuciones de frecuencias anteriores, las hemos remuestreado de manera aleatoria y generado una población artificial de 10.000 combinaciones posibles, de los distintos parámetros, para cada valor del caudal (de la serie de caudales quinceminutales disponibles para cada evento de crecidas). De este modo, hemos resuelto la serie de ecuaciones de Recking (10.000 veces para cada caudal) y hemos estimado el valor promedio de carga sólida asociado a cada paso quinceminutal del hidrograma, así como el rango de oscilación natural esperable a un nivel de confianza del 95 %.

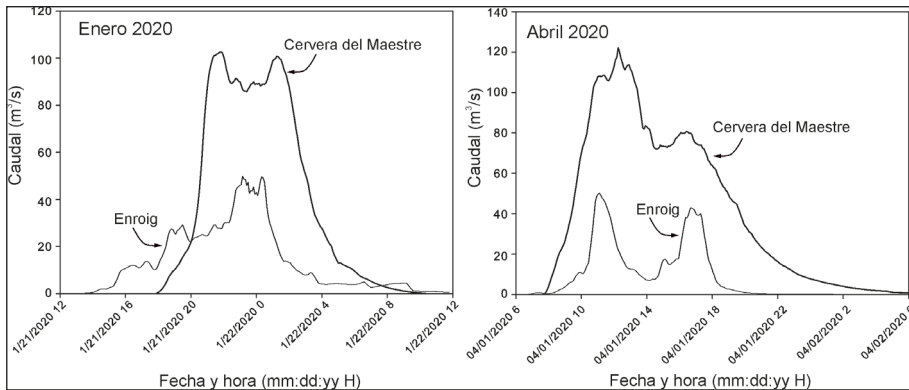
## RESULTADOS

En este apartado se describe la magnitud y duración de los caudales producidos durante el invierno-primavera de 2020, cambios geomorfológicos y sedimentarios incluyendo el papel de la vegetación, la relación entre geomorfología e hidráulica y la estimación del volumen y tasa de transporte de sedimento durante los eventos.

### *Caracterización hidrológica*

En los vados de Enroig y Cervera del Maestre se obtuvo un registro de los niveles de inundación en intervalos de 5 min, que se convirtieron a caudal utilizando un modelo hidráulico 2D (Iber). Durante el periodo de estudio se produjeron dos eventos de caudal en la rambla, en concreto el 22 de enero y el 1 de abril de 2020.

Figura 2. Hidrogramas de los eventos de inundación registrados en enero y abril de 2020 en Enroig y Cervera del Maestre. Los caudales se han obtenido de la relación entre calado y caudal a partir de la modelización hidráulica 2D. La cuenca vertiente en Enroig es de 150 km<sup>2</sup>, mientras que en Cervera del Maestre es de 250 km<sup>2</sup>



En Enroig el hidrograma de enero de 2020 tuvo una duración de 16 h con un pico principal de 50 m<sup>3</sup>/s (figura 2). En el vado de Enroig el calado alcanzó 0,36 m, mientras que la observación de flotantes aguas arriba muestra una profundidad media de ~1 m sobre el lecho. En el vado de Cervera del Maestre, este evento igualmente registró una duración de 17 h, con un calado máximo de 0,56 m y que corresponde a un caudal de 102 m<sup>3</sup>/s (figura 2). Aguas arriba del vado, los flotantes asociados a este evento encajan con la superficie de nivel de agua calculada con el modelo hidráulico para este caudal y alcanzan un calado de 1,45 m sobre el lecho.

En Enroig, el hidrograma de abril de 2020 tuvo una duración total de ~12 h y consistió en dos picos de 7 h 30 min y de 4 h 30 min en los que se alcanzaron 50 y 43 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. En el vado de Cervera del Maestre, este evento tuvo una duración de ~26 horas con dos picos de 0,6 m y 0,46 m cuyo caudal se estima en 120 m<sup>3</sup>/s y 80 m<sup>3</sup>/s (figura 2). Los flotantes aguas arriba del vado alcanzaron una altura de 1,56 m sobre el lecho de la rambla. En Cervera del Maestre, este evento de abril de 2020 ha sido, por tanto, ligeramente superior tanto en caudal pico como en duración, respecto al evento de enero de 2020.

### *Cambios geomorfológicos y sedimentarios*

#### Tramo de Enroig

La estructura morfológica del tramo de Enroig se caracteriza por un patrón trenzado de barras múltiples. En este sector la rambla atraviesa un sector con valle relativamente ancho, elevada pendiente (0,02 %), condiciones de alta potencia de corriente, bancos erosionables y material de lecho móvil. Los márgenes del cauce y del propio valle están formados por material aluvial cuaternario, lo que constituye una fuente de sedimentos. La morfología actual muestra múltiples barras mediales y laterales con una dimensión media de 35 m de anchura y 95 m de longitud (figura 3a). En general, se observa una

asimetría de las barras en torno a un cauce dominante que puede modificar su localización en relación a la magnitud del flujo. En el tramo aguas arriba del vado de Enroig, se desarrollan 4 filas de barras en una sección transversal dentro del cauce fluvial (figura 3a). La elevada erosión que presentan estas barras en su cola y el desarrollo de frecuentes nodos de incisión denotan la elevada discontinuidad en el transporte de sedimentos (figura 3b).

Figura 3. a) Mapa geomorfológico de formas fluviales en Enroig para los distintos periodos de estudio. b) Porcentaje de cada una de las formas fluviales en cada uno de los periodos

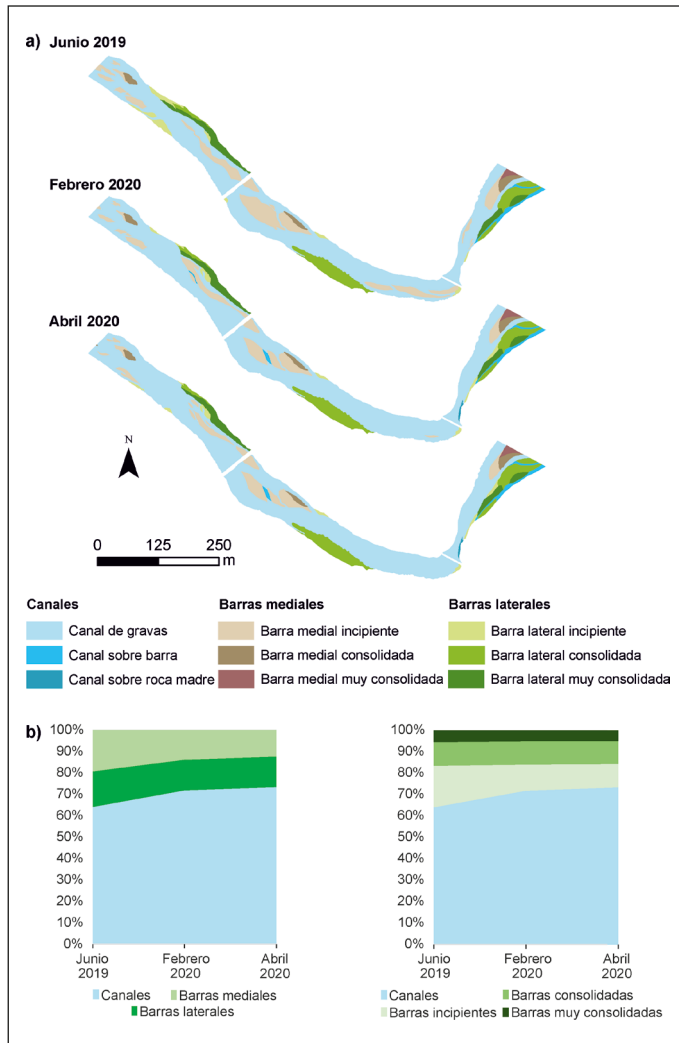
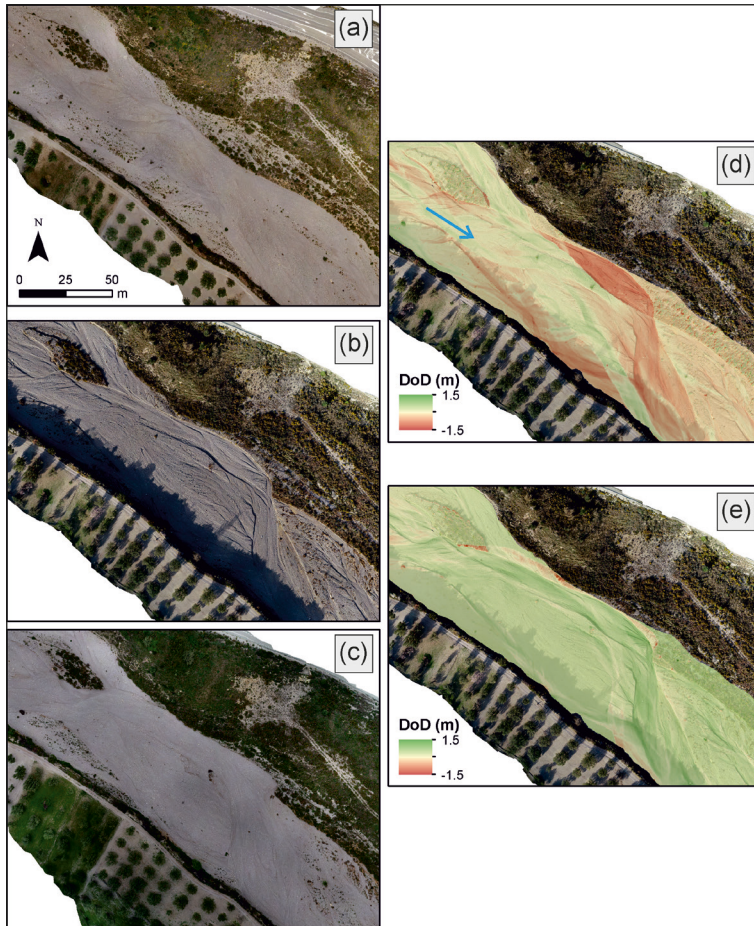


Figura 4. Fotografía aérea realizada con dron a 50 m en el sector aguas arriba del vado de Enroig. a) Junio de 2019: Cauce trenzado con barras mediales, algunas con vegetación incipiente, y derrame lateral en margen izquierdo; b) febrero de 2020: evolución del cauce a un complejo de barras y lóbulos con bordes bien marcados y erosión del banco en margen izquierdo; c) mayo de 2020: evolución del complejo de barras mostrando una primera fase de desarrollo longitudinal y una segunda que corta a las anteriores de desarrollo lateral; d) modelo de diferencia (DoD) entre el MDT de mayo de 2020 menos el MDT de junio de 2019; e) modelo de diferencia (DoD) entre el MDT de febrero de 2020 menos el MDT de junio de 2019. Leyenda: DoD en metros. Tonos rojos denotan erosión y tonos verdes, agradación. Tonos amarillos indican la ausencia de cambio en la topografía entre MDT. La flecha azul en (d) indica la dirección del flujo



Desde el punto de vista geomorfológico, las dos crecidas ocurridas en enero y abril de 2020 produjeron cambios menores en las dimensiones del cauce en el tramo de Enroig. Sin embargo, los procesos dominantes (depósito y erosión) muestran contrastes entre ambos eventos a pesar de que los caudales pico fueron similares. En efecto, el DoD del evento de enero muestra un predominio de la erosión conducente a la expansión de cauce a expensas de la reducción de algunas barras mediales incipientes observadas en la

fotografía de 2019 (figuras 3 y 4a y b; tabla 1). En concreto, un complejo de barras mediales desarrolladas aguas arriba del segundo vado desapareció, al igual que se fraccionó otra barra medial aguas abajo del primer vado (figura 3). No obstante, tanto las barras laterales como las barras consolidadas o muy consolidadas por la vegetación apenas sufrieron cambios (figura 3). El cambio más significativo se produjo sobre algunas barras laterales consolidadas por vegetación debido a la erosión lateral del banco aluvial. En la figura 4b, el DoD muestra cómo el banco izquierdo ha retrocedido 15 m hacia el interior a lo largo de 65 m (área: 630 m<sup>2</sup>; espesor medio: 0,65 m; porosidad: ~30 %), lo que supone una aportación puntual de ~286 m<sup>3</sup> de grava (figura 4a, b y d). En el caso del evento de abril, las zonas inundadas fueron similares, pero en general el DoD muestra el predominio de la agradación en el fondo del cauce principal y, en menor medida, en los cauces secundarios que circundan las barras mediales (figura 4e). Los procesos de erosión son menores y se concentran puntualmente en el banco izquierdo y en la cola de algunas barras laterales.

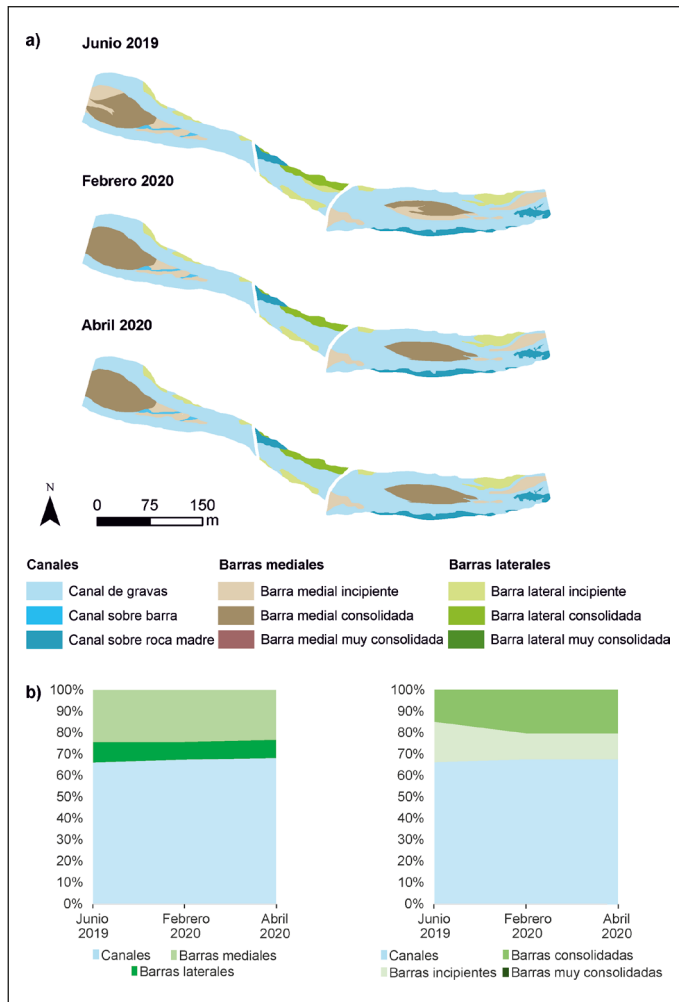
Tabla 1. Área (m<sup>2</sup>) de las formas fluviales agrupadas por clase para los distintos periodos de estudio en Enroig

	Junio 2019	Febrero 2020	Abril 2020
Cauce	43.659	48.926	49.978
Barras incipientes	13.203	8.319	7.476
Barras consolidadas	7.535	7.443	7.298
Barras muy consolidadas	3.687	3.397	3.333
TOTAL	68.085	68.085	68.085

	Junio 2019	Febrero 2020	Abril 2020
Cauce	43.659	48.925	49.977
Barras laterales	11.360	9.796	9.778
Barras mediales	13.064	9.362	8.327
TOTAL	68.085	68.085	68.085



Figura 5. a) Mapa geomorfológico de formas fluviales en Cervera del Maestre para los distintos periodos de estudio. b) Porcentaje de cada una de las formas fluviales en cada uno de los periodos



### Tramo de Cervera del Maestre

La morfología en el tramo de Cervera del Maestre está controlada por el encajamiento del valle en calizas cretácicas. La rambla presenta un lecho aluvial de entre 70 y 100 m de anchura, con frecuentes afloramientos del sustrato rocoso tanto en los laterales como en el fondo del cauce. En general, presenta un cauce único con desarrollo de barras mediales y laterales (figura 5a). En el sector estudiado, la dimensión media de las barras mediales es de 30 m de anchura y 130 m de longitud, mientras que las barras laterales tienen 25 m de anchura y 150 m de longitud. Algunas barras mediales se encuentran

fuertemente consolidadas por la vegetación, y su estabilidad se encuentra favorecida por el afloramiento del sustrato. Los efectos de la extracción de gravas del lecho en este tramo son visibles no solo por la incisión del lecho, sino también por la acumulación de grandes bloques en los márgenes del valle.

Los cambios geomorfológicos ocasionados por las crecidas de enero y abril de 2020 fueron menores y apenas han modificado la extensión de las barras laterales o mediales (figura 5). La extensión de la superficie de agua para los caudales registrados de 100 m<sup>3</sup>/s y 120 m<sup>3</sup>/s inundó el cauce fluvial y zonas laterales ocupadas por afloramientos rocosos o cubiertas por vegetación. En las formas de fondo de lecho se observa que el evento de enero de 2020 acumuló lóbulos y mantos de gravas cubriendo algunos afloramientos rocosos del lecho presentes en junio de 2019 (figura 5, 6a y b; tabla 2). La erosión, aunque escasa, se centró en algunos cauces secundarios y en zonas con rugosidad debida a la vegetación y sectores de rápidos donde afloran grandes bloques (figura 6d).

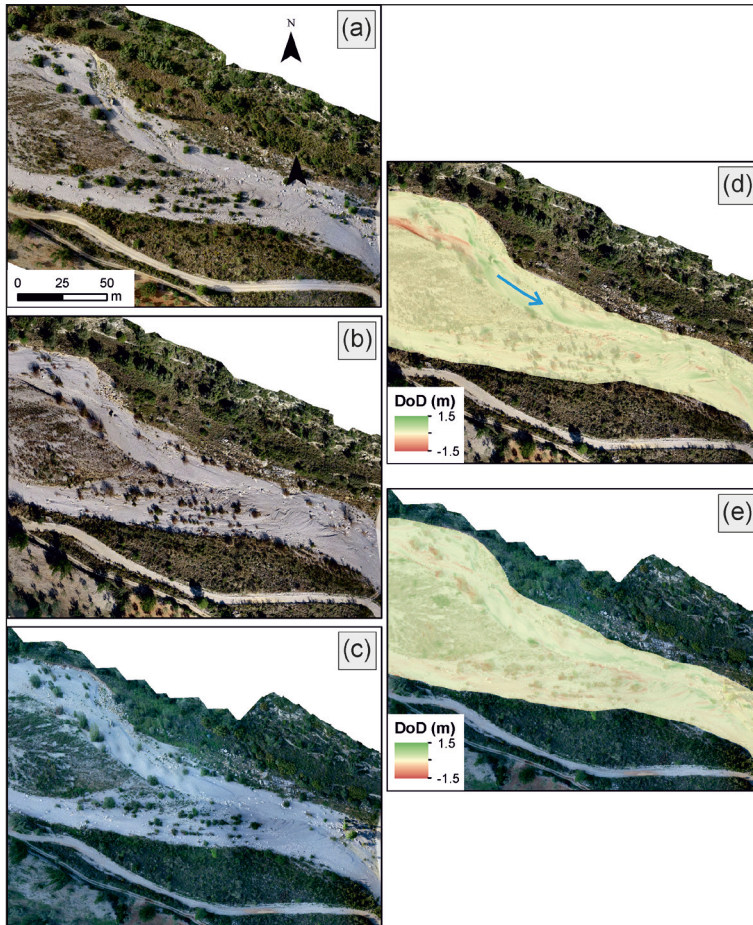
En el evento de abril se repite la distribución de acumulación de lóbulos en el lecho del cauce principal (margen izquierda) (figura 6c), mientras que en el cauce secundario de la margen derecha tiende a predominar la erosión. Las formas de lecho desarrolladas durante el evento de abril de 2020 (figura 6) reflejan condiciones de energía transitorias, posiblemente asociadas a los picos del hidrograma de inundación de 120 m<sup>3</sup>/s y 80 m<sup>3</sup>/s. Por ejemplo, aguas arriba del vado, se observa la formación de múltiples lóbulos con frentes de agradación (figura 6c, e). Igualmente, aguas abajo del vado se muestra la formación de frentes de avalancha de lóbulos sobre un lecho parcialmente erosionado, de lo que se infiere una primera fase de erosión del fondo y una posterior acreción frontal de los lóbulos de grava.

Tabla 2. Área (m<sup>2</sup>) de las formas fluviales agrupadas por clase para los distintos periodos de estudio en Cervera del Maestre

	Junio 2019	Febrero 2020	Abril 2020
Cauce	24.131	24.581	24.581
Barras incipientes	6.843	4.432	4.432
Barras consolidadas	5.412	7.372	7.372
Barras muy consolidadas	-	-	-
TOTAL	36.386	36.386	36.386

	Junio 2019	Febrero 2020	Abril 2020
Cauce	24.131	24.581	24.581
Barras laterales	3.479	3.029	3.029
Barras mediales	8.776	8.776	8.328
TOTAL	36.386	36.386	36.386

Figura 6. Fotografía aérea realizada con dron a 50 m en el sector aguas arriba del vado de Cervera del Maestre. a) Junio de 2019: formas de lecho que evolucionan desde lóbulos de gravas alternantes entorno a un cauce incidido; b) febrero de 2020: lecho con manto plano de gravas con acumulación elongada en la sombra de obstáculos (vegetación y bloques); c) mayo de 2020: lóbulos de grava asociadas a pulsos con importante aporte de sedimento; d) modelo de diferencia (DoD) entre el MDT de febrero de 2020 menos el MDT de junio de 2019; e) modelo de diferencia (DoD) entre el MDT de mayo de 2020 menos el MDT de febrero de 2020. Leyenda: DoD en metros. Tonos rojos denotan erosión y tonos verdes, agradación. Tonos amarillos indican la ausencia de cambio en la topografía entre MDT. La flecha azul en (d) indica la dirección del flujo



### *Relaciones entre hidráulica y geomorfología*

Los valores de calado registrados en el sensor de presión se han transformado en caudal usando la curva de gasto obtenida con el modelo hidráulico 2D (Iber). Las condiciones hidráulicas próximas a calado crítico en el punto del sensor han producido problemas de estabilidad en los registros cincominutales, cuyos valores tuvieron que promediarse cada 15 min. La toma de datos de altura de flotantes asociados

a cada evento registrado permitió comprobar y ajustar las relaciones entre calado y caudal en el punto del sensor de presión. Los parámetros hidráulicos del hidrograma del evento calculados con el modelo hidráulico permiten una cuantificación de las condiciones energéticas asociadas a la erosión, depósito y estabilización de las formas fluviales. En este apartado se describen las principales relaciones de las condiciones de energía del flujo con las formas fluviales cartografiadas.

### Enroig

En tramos anchos con fondo aluvial y bancos erosionables, los cauces tienden a establecer una anchura, profundidad y gradiente que minimiza la tasa de disipación de energía. Las formas aluviales se pueden cuantificar en términos del esfuerzo cortante y potencia del flujo que se asocia al trabajo geomórfico del flujo. En el tramo de Enroig, la mayor tasa de disipación de energía se produce en el entorno de los vados, donde el flujo alcanza un régimen supercrítico (figura 7a). Por ejemplo, en el vado del barrio de Enroig se alcanzan valores de cortante de flujo de hasta 535 Pa y potencia de 3600 W/m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>), capaces de arrastrar bloques de 600 mm de diámetro, mientras que en el vado de Catinells se alcanzan cortantes de 225 Pa y 940 W/m<sup>2</sup> de potencia, con arrastre de gravas de 230 mm de diámetro. Estas condiciones energéticas explican la incisión de >2 m aguas abajo del vado del Barrio, y de >1m en el vado de Catinells.

En relación con las formas fluviales diferenciadas en la cartografía geomorfológica, los cauces sobre roca presentan la media más elevada de valores de esfuerzo cortante (135 Pa; figura 7a) y potencia (480 W/m<sup>2</sup>), que explican la ausencia de sedimento de grava con diámetro medio <100 mm. En el caso del cauce de gravas, el valor medio de la cortante es de 50 Pa (150 W/m<sup>2</sup>), que presenta una escasa variación entre los eventos analizados. Los valores máximos de cortante 100-150 Pa se localizan en el fondo de los cauces trenzados, particularmente en los puntos de confluencia, y en la base de los bancos aluviales. Las barras mediales se asocian a condiciones de energía ligeramente superiores a las barras laterales, con valores medios de 40 Pa y 33 Pa (70 y 50 W/m<sup>2</sup>), respectivamente (figura 7a). En general, se observa que las barras incipientes se exponen a condiciones energéticas ligeramente superiores que aquellas consolidadas por la vegetación, lo que muestra una paulatina resistencia a la erosión. Por ejemplo, las barras laterales en condiciones incipientes se asocian a esfuerzo cortante medio de 30 Pa, mientras que en su estadio consolidado la cortante media no supera 18 Pa.

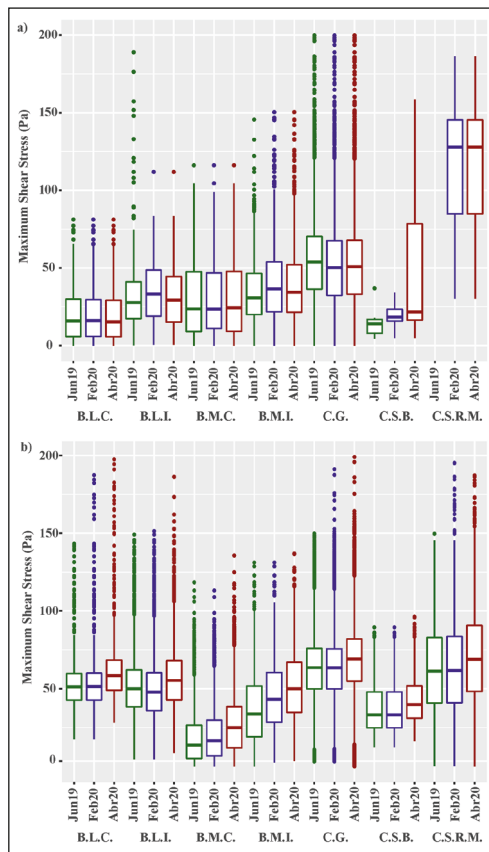
Las velocidades del flujo siguen un patrón similar, con valores medios de 3,5 m/s en los cauces en roca, 2,4 m/s en cauces de gravas, 1,4 m/s en barras incipientes (mediales y laterales), 1,1 m/s en barra medial consolidada y muy consolidada, y 0,7 m/s en barras laterales consolidada y muy consolidada.

### Cervera del Maestre

En tramos confinados por sustrato rocoso, las formas fluviales y la vegetación ejercen un papel relevante en la disipación de la energía del flujo. En el tramo de Cervera del Maestre, la elevada pendiente y el confinamiento lateral en roca del cauce conllevan un continuo balance entre las fuerzas inerciales y gravitacionales mostrado en el régimen del flujo. En concreto, el número de Froude en el cauce de gravas nos muestra valores medios de 0,95, mientras que en las barras laterales y mediales incipientes alcanza

valores medios de 1 (régimen crítico) que sugieren condiciones de superficie de agua muy inestables. En su conjunto, las diferencias en las condiciones de energía asociadas al cauce y a las barras laterales no son muy diferentes. En efecto, los valores medios del esfuerzo cortante en el cauce de gravas para caudales de 100 m<sup>3</sup>/s (figura 7b) y 120 m<sup>3</sup>/s son de 63 Pa y 69 Pa (potencia del flujo de 180 y 210 W/m<sup>2</sup>, respectivamente), mientras que en las barras laterales incipientes son de 51 Pa y 58 Pa (potencia de flujo de 120 y 150 W/m<sup>2</sup>). En las barras mediales incipientes las condiciones de energía de flujo son similares, con valores de cortantes de 56 Pa y 64 Pa (potencia de 115 y 142 W/m<sup>2</sup>) para caudales de 100 m<sup>3</sup>/s y 120 m<sup>3</sup>/s. La escasa diferencia de los valores de energía del flujo ejercido sobre diferentes formas indica que, a caudal pico, el conjunto forma parte de la zona de flujo preferente. Así, cada una de las formas actúa en la disipación de la energía (fricción, turbulencia y redistribución de flujo) y en el balance de las fuerzas inerciales y gravitacionales.

Figura 7. a) Energía del flujo en Enroig para un caudal de 50 m<sup>3</sup>/s asociada a diferentes formas fluviales; b) ídem en Cervera del Maestre para caudal de 100 m<sup>3</sup>/s (Jun19 y Feb20) y de 120 m<sup>3</sup>/s (Abr20). Leyenda: B.L.C.: barra lateral consolidada; B.L.I.: barra lateral incipiente; B.M.C.: barra medial consolidada; B.M.I. barra medial incipiente; C.G.: canal de grava; C.S.B. canal sobre barra; C.S.R.M.: canal sobre roca madre



La velocidad media del flujo en el cauce de gravas varía entre 2,6 y 2,8 m/s para caudales de 100 y 120 m<sup>3</sup>/s, siendo similares a las calculadas en la unidad de barra lateral incipiente de 2,16 y 2,38 m/s, y en la barra lateral consolidada con 2,35 y 2,57 m/s. En el caso de las barras mediales, la velocidad de flujo varía entre los 1,9-2 m/s en su estadio incipiente y los 1-1,2 m/s en su estado consolidado. En las condiciones medias de cortante del flujo, el diámetro medio de las gravas que arrastra el cauce de gravas se encuentra en el rango de los 80 y 100 mm, aunque puntualmente el diámetro crítico puede alcanzar los 150-200 mm.

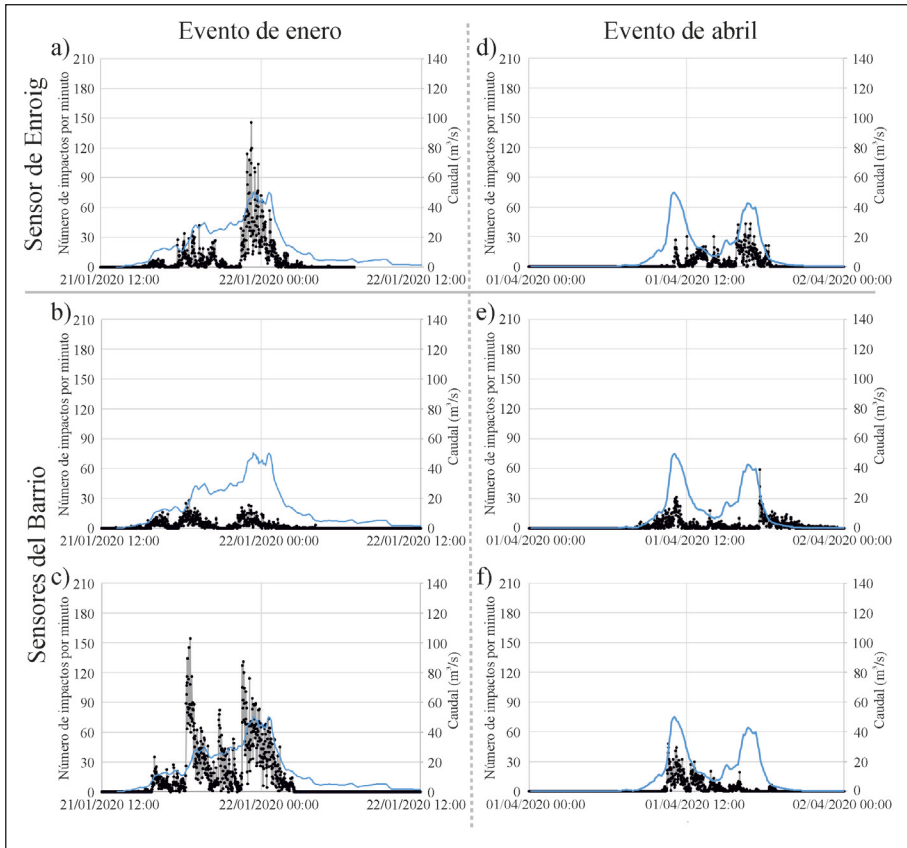
### *Estimación del volumen y tasa de transporte de sedimento*

Después de mostrar la hidráulica y los cambios geomorfológicos registrados tras los eventos de crecida, en este apartado se describen los resultados del transporte de sedimento obtenidos de los sensores de impacto y la aplicación de ecuaciones de transporte de carga de fondo.

En Enroig (vado de Catinells) se ha estimado, mediante la ecuación de Recking, un volumen de sedimento transportado durante el evento de enero de 339 m<sup>3</sup> (200-533 m<sup>3</sup>, con un rango de incertidumbre del 95 %). En el sensor instalado en el vado de Catinells se registraron 8.320 impactos durante el mismo evento. Asumiendo una anchura media de 70 m y según las especificaciones del fabricante, que estima un transporte de 3 kg de sedimento por cada 25 impactos en sensores de mayor sensibilidad, se puede hacer una aproximación conservadora del volumen de sedimento que ha atravesado la sección. Así, teniendo en cuenta una densidad de la grava de 1.600 kg/m<sup>3</sup>, estos impactos suponen un transporte total durante el evento de 291 m<sup>3</sup>. En el vado del Barrio, con dos sensores instalados en las partes interna y externa de la curvatura del cauce, se registraron 3.071 impactos y 18.304 impactos, respectivamente. Suponiendo un transporte homogéneo en la sección de 45 m de anchura, proporciona una horquilla de volumen mínimo de sedimento transportado de entre 69 y 412 m<sup>3</sup>. Por tanto, los valores estimados con la ecuación y los esperados a partir del número de impactos registrados se encuentran en el mismo orden de magnitud y son coherentes entre sí.

La distribución del transporte (impactos) en relación con el hidrograma (figura 8a, b y c) muestra que la respuesta sedimentaria es mayor en los momentos de ascenso de caudal, cuya punta de transporte la alcanza antes que el máximo de flujo (Enroig y Barrio). Igualmente, se observa cómo el sensor de Enroig (figura 8a) presenta una respuesta de mayor magnitud correspondiente al tramo de más caudal. Sin embargo, los sensores del Barrio (figura 8b, c) muestran dos picos de transporte similares en respuesta a caudales diferentes, de 30 y 50 m<sup>3</sup>/s. Además, se puede observar la histéresis del transporte en ambos casos, aunque es más clara en el Barrio, donde el sensor del margen derecho registra una intensidad de impactos o transporte que disminuye rápidamente sin una disminución del caudal (figura 8c). Esta diferencia de comportamientos entre vados se puede argumentar desde varios puntos de vista: 1) la sección más ancha del vado de Enroig puede conducir a la migración del cauce principal o de las barras y afectar al transporte, mientras que la sección estrecha en el Barrio permite obtener valores más representativos del comportamiento general como respuesta al hidrograma, o 2) la inyección de agua y sedimento que vierte aguas abajo del vado de Catinells podría aportar sedimento extra durante el primer pico del hidrograma en el Barrio.

Figura 8. a) y d). Número de impactos por minuto registrados en el vado de Enroig durante el evento de enero y abril. b) y c), e) y f) Número de impactos por minuto registrados en el vado del Barrio durante el evento de enero y abril en los dos sensores instalados



En el evento de abril de 2020, se ha estimado un transporte de sedimento en el tramo de Enroig de  $220 \text{ m}^3$  mediante la ecuación de Recking, con un rango de incertidumbre de  $113\text{-}386 \text{ m}^3$  al 95 % de confianza. En este evento, el sensor del vado de Enroig (Catinells) registró 3.811 impactos (figura 9d), que suponen un transporte total de  $133 \text{ m}^3$ . En el vado del Barrio, los sensores registraron 3.197 y 3.007 impactos (figura 9e, f), que resultan en un volumen mínimo de transporte de 72 y  $68 \text{ m}^3$ , respectivamente. Nuevamente, los valores registrados con las placas de impacto y los estimados con la ecuación de transporte de sedimento se encuentran en un mismo orden de magnitud. Además, también llama la atención la notable diferencia en la magnitud de la respuesta respecto al evento de enero. A su vez, si observamos las respuestas de forma individual en cada vado frente a un hidrograma de dos curvas de ascenso muy marcadas, vemos que la distribución temporal de los impactos difiere en Enroig y el Barrio. En la sección ancha de Enroig (figura 8e), observamos una respuesta casi nula al primer

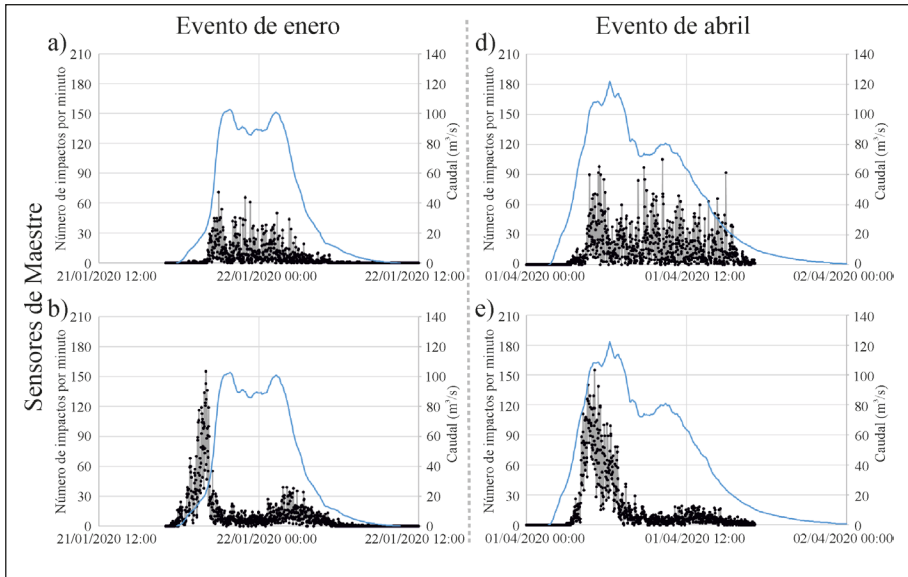
aumento de caudal y después un progresivo aumento de la intensidad del transporte que sí que coincide con el máximo caudal del segundo ascenso del hidrograma. Sin embargo, en el caso de la sección más confinada del Barrio, observamos una mayor respuesta al primer ascenso, esta vez sin una histéresis clara. En el segundo ascenso de caudal, tenemos una respuesta casi nula hasta prácticamente el final del hidrograma, donde se observa un pico bastante marcado en el sensor del margen izquierdo (figura 8e).

En la sección de Cervera del Maestre, el transporte total de sedimento estimado con la ecuación de Recking para el evento de enero de 2020 es de  $313 \text{ m}^3$  (con un rango de incertidumbre al 95 % de entre  $190$  y  $491 \text{ m}^3$ ). Los sensores instalados en el vado registraron un total de 5.821 y 11.877 impactos (figura 9a, b), que suponen un transporte homogéneo en la sección de 52 m de anchura, y si realizamos la misma transformación que en el caso anterior, podemos obtener una horquilla de volumen mínimo de sedimento transportado de entre 151 y  $309 \text{ m}^3$ . En el evento de abril, la estimación de transporte de sedimento con la ecuación de Recking ha sido de  $483 \text{ m}^3$  (en un rango al 95 % de entre 288 y  $652 \text{ m}^3$ ). A su vez, los sensores de impacto contabilizaron un total de 15.158 y 16.079 impactos (figura 9c, d). De nuevo, suponiendo de nuevo un transporte homogéneo en la sección, la horquilla de volumen mínimo de sedimento transportado se estima entre 394 y  $418 \text{ m}^3$  de grava. Por tanto, en la sección de Cervera de Maestre los valores registrados con las “placas de impacto” parecen coherentes con las estimaciones realizadas con la ecuación de transporte de sedimento de Recking.

Si atendemos a la distribución temporal de los impactos y su respuesta al hidrograma, podemos observar una respuesta similar en ambos eventos, a pesar de presentar diferentes curvas de ascenso y descenso del caudal (figura 9). En este caso de cauce confinado, vemos que existe una respuesta mayor al comienzo del hidrograma y antes de alcanzar el pico de caudal, sobre todo visible en el sensor de la parte derecha (figura 9b, d). En ambos eventos vemos cómo la intensidad de los impactos desciende rápidamente hacia la mitad del hidrograma, y se mantiene más o menos constante durante el resto del evento. Sin embargo, se observa un cierto aumento en la parte final descendente del hidrograma (figura 9b, d). En el caso del sensor del margen izquierdo, vemos que presenta un comportamiento progresivamente descendente tras el pico inicial en ambos eventos (figura 9a, b). En este caso parece claro que la señal sedimentaria aparece distorsionada probablemente por la saturación del sensor frente a una alta tasa de transporte. Este hecho que queda representado sobre todo en el gráfico de la figura 9, donde se observa una fuerte variación de impactos por minuto en momentos cercanos en el tiempo (1-2 min).



Figura 9. a) y b) Tasa de impactos por minuto en el vado de Cervera del Maestre durante el evento de enero en los dos sensores instalados. c) y d) Tasa de impactos por minuto en el vado de Cervera del Maestre durante el evento de abril



## DISCUSIÓN

El diseño experimental y metodológico implementado en este estudio proporciona datos precisos y fiables sobre la dinámica de cambio morfológico y de transporte de sedimentos durante eventos frecuentes, contribuyendo así al estudio de procesos hidrológicos y geomorfológicos operativos en la actualidad. Este análisis de la dinámica actual nos permite avanzar en el entendimiento de las condiciones “naturales” de referencia, así como cuantificar las tasas de los procesos e identificación de los desequilibrios en diferentes sectores de las ramblas.

En esta sección discutimos sobre el diseño experimental de campo, la respuesta geomorfológica a eventos frecuentes de baja magnitud, las tasas de recuperación y fuentes de sedimento, y las posibles estrategias de gestión del sedimento para la recuperación de la integridad morfosedimentaria de los ríos efímeros mediterráneos.

### *Evaluación del diseño experimental de campo y la modelización morfodinámica*

La caracterización de los procesos fluviales y la evolución de formas requieren de técnicas que registren no solo los cambios entre el estadio inicial y final asociado a cada evento, sino también del flujo de agua y sedimento durante los eventos. La fotogrametría con vuelos de dron permite determinar los cambios geomorfológicos en planta, mientras que los cambios volumétricos se obtienen con la diferencia

de MDT previos y posteriores al evento (DoD). Por otro lado, la instalación de sensores de nivel de agua y de placas de impacto que registran el conteo de las partículas de grava proporcionan información sobre el hidrograma del evento y la respuesta en tiempo y frecuencia de las tasas de transporte de carga de fondo. Esta información se ha combinado con cartografía geomorfológica diacrónica, modelos hidráulicos bidimensionales para estimar las condiciones de energía y trabajo geomórfico durante el evento, y cálculos de transporte de sedimento total a partir de ecuaciones de carga de fondo. Este diseño experimental de campo no está exento de problemas cuya solución, en la mayoría de los casos, requiere un proceso de prueba y error, dado que cada tramo o sector del río requiere de variantes en el diseño experimental general.

En este diseño experimental son diversos los desafíos encontrados: 1) búsqueda de un emplazamiento con sección transversal estable y sin acumulación de gravas durante el evento; 2) posible presencia de condiciones hidrológicas cambiantes que pueden afectar a la consistencia de las mediciones de los sensores; 3) calibración de la instrumentación y posibles desajustes debido a las condiciones extremas de campo; y 4) descarga de datos, incluida la reparación de equipos en caso de daños, y manejo de gran cantidad de datos, que puede verse comprometida por errores humanos o tecnológicos.

En la búsqueda de un emplazamiento sobre lecho estable, se sugiere la instalación de los sensores sobre carreteras transversales y, particularmente, en vados de hormigón enrasados en el lecho del cauce. Se recomienda evitar vados o estructuras que presenten colectores o drenajes inferiores, ya que alteran la dinámica hidrosedimentaria. Idealmente, los sensores de presión para el registro de calado se deben localizar en el lateral y en posición horizontal, aunque, en la práctica, resulta imposible encontrar bancos verticales estables. En los tramos de estudio, se posicionaron en el lateral e insertados en una perforación realizada en el vado de hormigón. En el caso del nivel de presión, se recomienda su instalación en el sector de hormigón aguas arriba del vado, dado que en el inferior se genera una sobreaceleración del flujo que aumenta la inestabilidad de las medidas del sensor. Por otra parte, se recomienda la instalación de los sensores de impacto aguas abajo del vado, pues la aceleración del flujo impide que termine enterrado en gravas. Las tapas que cubren los sensores tienen que enrasar con la superficie del hormigón, ya que de otro modo son fácilmente arrancadas por la corriente de agua y el arrastre de gravas. Los resultados de las placas de impacto en términos de volumen de sedimento transportado requerirían de un proceso de calibración individual para cada placa. En este sentido, el volumen de sedimento transportado basado en el número de impactos en las placas se debe de tomar con cautela y como valor mínimo y aproximado.

### *Respuesta geomorfológica a eventos de flujo en la rambla*

La cartografía geomorfológica de los tramos estudiados muestra que durante los eventos anuales se producen cambios menores. Estos eventos contribuyen a mantener las secciones activas sin vegetación anual y evitar la consolidación de la vegetación arbustiva. Sin embargo, desde el punto de vista de trabajo geomórfico y transporte de sedimento sus efectos son discretos. La respuesta geomorfológica a estos eventos menores es desigual entre los tramos estudiados, y depende de factores estructurales (anchura de cauce y patrón fluvial) y factores dinámicos (magnitud y duración de los eventos).

El tramo de Enroig se localiza en la parte media-alta de la cuenca, caracterizado por un cauce trezado dentro de un valle aluvial ancho. En este tramo, la capacidad de transporte está limitado por el caudal ( $Q$  50 m<sup>3</sup>/s) y el escaso calado ( $d$ : 0,45 m en cauce) que se genera en inundaciones anuales. El modelo hidráulico bidimensional muestra un patrón en el esfuerzo cortante variable y complejo, con valores de la cortante esfuerzo más elevados en los canales que componen el cauce trezado y particularmente en aquellos más estrechos y profundos y en las zonas de convergencia entre ellos (figura 10a). En los cauces trezados, los valores medios del número de Froude ( $>1$ ) muestran un régimen rápido con velocidades medias de 2,4 m/s y un esfuerzo cortante medio de 52 Pa. Este valor de esfuerzo cortante implica que a caudal máximo el flujo transporta tamaños de grava de hasta 64 mm, siendo coherente con las fracciones granulométricas (1-44 mm) muestreadas en campo (tabla 3). En las partes altas de las barras laterales

Tabla 3. Resultado de las granulometrías de muestras de sedimento transportado en enero de 2020 (arriba) y abril de 2020 (abajo). Leyenda: Sup.: muestra tomada aguas arriba del vado. Inf.: muestra tomada aguas abajo del vado. El sector se refiere al nombre del vado

Sector	Enroig sup.	Enroig inf.	Cervera sup.	Cervera inf.
% finos (<2 mm)	1,1	0,4	1,4	8,3
D5 (mm)	4	5	4	1
D16 (mm)	8	7	9	9
D25 (mm)	10	9	12	13
D50 (mm)	16	15	18	21
D75 (mm)	24	25	24	31
D84 (mm)	30	30	28	38
D95 (mm)	44	57	72	61

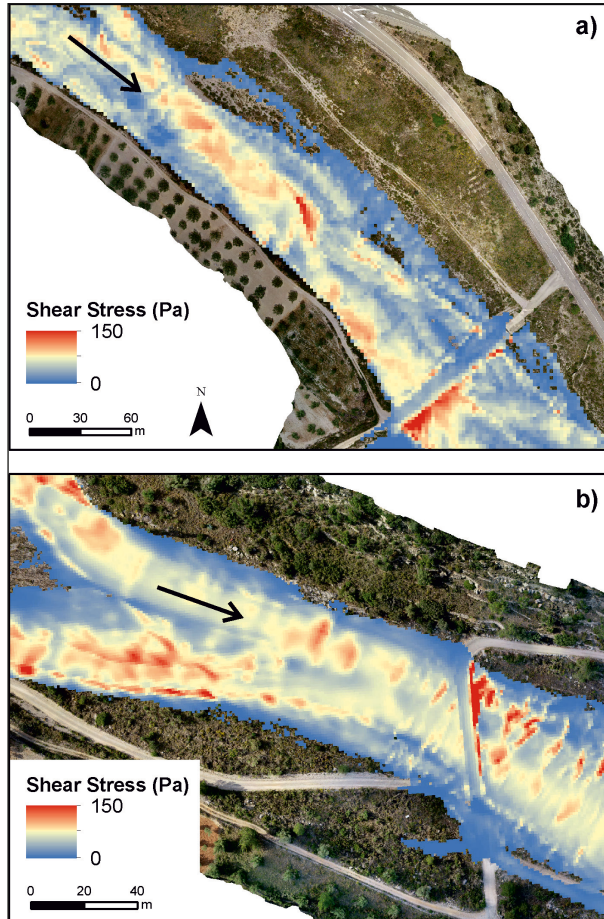
Sector	Enroig sup.	Enroig inf.	Cervera sup.	Cervera inf.
% finos (<2 mm)	1,7	3,4	3,1	2,7
D5 (mm)	4	3	3	3
D16 (mm)	7	8	9	9
D25 (mm)	9	10	12	12
D50 (mm)	15	17	18	21
D75 (mm)	25	25	32	31
D84 (mm)	33	29	50	46
D95 (mm)	44	40	79	70

y mediales, el esfuerzo cortante medio varía entre 30-38 Pa, con arrastre de partículas de 38-48 mm. Por tanto, el patrón de distribución espacial de la cortante y la potencia del flujo sugieren que la mayor parte del trabajo geomórfico y la disipación de la energía se concentran en los cauces trenzados y alrededor de los obstáculos o márgenes de barras e islas, mientras que, en las barras laterales y mediales, con menor transporte, presentan tendencia a la agradación. Las zonas de acumulación coinciden con la expansión local del flujo (figura 10a), zonas aguas abajo de obstáculos (grandes bloques, vegetación e islas) y zona interna de las curvaturas del cauce. De forma puntual, se observa la formación de *crevasse splay* o inyección de gravas por encima del banco del cauce o sobre barras aluviales, que conlleva el arrastre parcial de la vegetación.

El tramo de Cervera del Maestre se localiza en la parte media de la cuenca y, estructuralmente, corresponde a un pilar tectónico (*horst*) que genera un encajamiento del valle fluvial con estrechamiento del cauce. Los caudales asociados con crecidas anuales o estacionales aumentan respecto al tramo de Enroig, registrándose caudales de 100 y 120 m<sup>3</sup>/s para los eventos de enero y abril de 2020. El cauce en Cervera del Maestre aumenta su pendiente y se alternan tramos rectos de cauce único con barras mediales e islas (en aluvial o sustrato rocoso) que fuerzan la división del cauce. El valor medio del número de Froude en las diferentes unidades fluviales se sitúa próximo a 1 (flujo crítico o mínima energía específica), representando una condición de equilibrio inestable (Grant, 1997). En detalle, se muestra un mapa con bandas transversales a la dirección del flujo donde alteran valores próximos a régimen crítico (Froude:1). En estas condiciones las perturbaciones del lecho generan ondas estacionarias debido al balance entre fuerzas inerciales y gravitacionales. Estas ondas se pueden observar igualmente en otros parámetros de energía del flujo, como el esfuerzo cortante y la potencia del flujo (figura 10b). En el caso de Cervera del Maestre, la zona de flujo preferente se extiende no solo al cauce de gravas, sino que alcanza el margen del valle, donde la rugosidad aumenta con la densidad de la vegetación. Por tanto, las diferencias del esfuerzo cortante medio entre las diferentes formas fluviales son pequeñas, indicando una activación generalizada de la geomorfología y los procesos en las zonas con lámina de agua de inundación.

En la distribución espacial de la erosión y depósito, se muestran sectores donde se excede la capacidad del transporte de sedimento y que se reflejan en la erosión con formación de pozas y rápidos donde afloran bloques y sustrato rocoso desnudo (figura 6). Estas zonas se localizan en la base de bancos laterales y aguas abajo de los vados que atraviesan la rambla (figura 10). Las zonas de acumulación de gravas en el cauce se localizan aguas abajo de las zonas de erosión y en zonas protegidas aguas abajo de obstáculos, como la vegetación, y en salientes rocosos en el lateral del valle. Los lóbulos de gravas observados en las fotografías aéreas, avanzando sobre fondos planos y carentes de gravas, sugieren una fase inicial de alta capacidad de transporte que activa el sistema morfológico en su conjunto, y una segunda fase durante la rama descendente del hidrograma donde domina la sedimentación asociada al avance de los lóbulos de grava. Posiblemente, el decaimiento rápido del caudal favorece la preservación de los lóbulos de gravas y sus frentes de avalancha.

Figura 10. Distribución del esfuerzo cortante durante el caudal máximo del evento de enero de 2020 obtenido con el modelo hidráulico bidimensional. a) Tramo de Enroig aguas arriba del vado con un caudal de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . b) Tramo de Cervera del Maestre aguas arriba del vado para un caudal de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Las flechas negras indican la dirección del flujo



### *Tasa de transporte y fuentes de sedimento*

En diversos estudios (Bagnold, 1977; Nanson y Croke, 1992; Parker et al., 2011; Gómez y Soar, 2023) se ha empleado el concepto de potencia total de flujo (*total stream power*) como indicador de la energía total disponible para realizar trabajo geomórfico. Este trabajo se traduce en la modificación de las dimensiones del cauce (e. g. anchura, movilidad) y en el balance sedimentario (depósito y erosión).

En Enroig, la potencia de flujo acumulada (PFA) durante el evento de enero se estima en  $1992 \text{ kJ}/\text{m}^2$ , que refleja una mayor capacidad de cambio geomórfico que los  $1447 \text{ kJ}/\text{m}^2$  del evento de abril de 2020. La PFA está relacionada con el volumen y la duración del hidrograma, que en el caso de enero registró 1,18

hm<sup>3</sup> de caudal líquido y 1590 minutos de duración, mientras que en abril se registraron 0,74 hm<sup>3</sup> durante 1365 minutos. Estos valores son coherentes con la estimación de 339 m<sup>3</sup> de sedimento transportado en enero, respecto a los 220 m<sup>3</sup> obtenidos para el evento de abril. En Cervera del Maestre la energía total disponible para realizar trabajo geomórfico durante el evento de enero se estima en 3.913 kJ/m<sup>2</sup> para un volumen de flujo de 2,47 hm<sup>3</sup>, con 1.010 minutos de duración. En el evento de abril la energía dispensada es mayor y se estima en 5.711 kJ/m<sup>2</sup> para un flujo total de 3,46 hm<sup>3</sup> con duración de 1.545 minutos. Estos valores resultan coherentes con la estimación del volumen total de transporte de sedimento de 313 m<sup>3</sup> en enero y 483 m<sup>3</sup> en abril. De acuerdo con estos resultados, se observa que el tramo aluvial de Enroig requiere la mitad de la energía (6-6,5 kJ/m<sup>2</sup>) que la gastada en el tramo de Cervera (12-12,5 kJ/m<sup>2</sup>) para movilizar 1 m<sup>3</sup> de sedimento. De esta manera se comprueba la mayor eficiencia de los tramos aluviales trenzados respecto a tramos semiconfinados y confinados, probablemente debido a que, en el segundo, una parte de este trabajo geomórfico se dedica a la erosión.

A escala intraevento, la relación de la potencia de flujo específica (PFS) con la distribución espacial o temporal de formas y procesos permite identificar los umbrales mínimos para activar o desactivar estos procesos. En el vado de Enroig (figura 8), se observa la activación del movimiento de grava con caudales relativamente pequeños (15 m<sup>3</sup>/s), equivalente a 20 W/m<sup>2</sup>, aunque solo por encima de 30 W/m<sup>2</sup> este transporte es significativo. Igualmente, la excedencia de este umbral mínimo no determina la activación del transporte, sino que la disponibilidad de sedimento y la conectividad con las fuentes (erosión de barras y cauce, vuelco de bancos) resultan críticas para que pueda producirse el transporte de sedimento. Por tanto, superado el umbral crítico de 30 W/m<sup>2</sup>, los intervalos con mayor tasa de transporte (conteo de partículas del sensor) se interpretan debido al movimiento de barras que se desplazan por acreción aguas abajo, mientras que la falta de impactos se interpreta como una reducción de la disponibilidad de sedimento que puede generar erosión al excederse la capacidad de transporte.

En Cervera del Maestre existe igualmente una activación del transporte de carga de fondo para caudales relativamente bajos (~10 m<sup>3</sup>/s), con un umbral mínimo de 30 W/m<sup>2</sup>. Los registros de los sensores de impacto (figura 10) nos muestran un aumento elevado en el número de impactos en la rama ascendente del hidrograma (hasta 160-230 impactos), mientras que en el resto sigue un patrón de tasa de impactos menor que refleja la forma del hidrograma. Este pico del transporte inicial se interpreta como debido a: 1) un aumento inicial del caudal que moviliza partículas de sedimento no compactadas que son fácilmente arrastradas a la columna de agua, y 2) la movilización de las gravas de los lóbulos acumuladas en el lecho durante la rama decreciente de la inundación previa. Resulta llamativo que el pico en la intensidad de impactos no se corresponde con el pico del hidrograma, lo que sugiere un agotamiento del sedimento fácilmente movilizable incluso cuando el caudal continúa aumentando.

Las diferencias de comportamiento entre los tramos de Enroig y Cervera del Maestre están en gran medida condicionadas por las fuentes de sedimento. En el caso de Enroig, existe una mayor disponibilidad de sedimento procedente de la erosión de los bancos y de las barras del lecho aluvial. Por tanto, la cantidad de sedimento transportada aguas abajo tiende a aproximarse a la capacidad de acarreo del flujo. Por su parte, en Cervera la capacidad de transporte es mayor que la disponibilidad de sedimento, cuya fuente principal se encuentra en la depresión aluvial del graben. En este caso, la cantidad transportada

corresponde a la disponibilidad de sedimento proveniente de aguas arriba, sumada al sedimento suelto acumulado durante el evento anterior en el lecho.

*Hacia una estrategia para la gestión del sedimento y la recuperación de la integridad morfo-sedimentaria*

La rambla de Cervera ha estado afectada por una extracción intensiva de gravas del cauce, principalmente entre 1980 y 2007, cuyo volumen mínimo se ha estimado en 358.000 m<sup>3</sup>, que se corresponde con una tasa de 7.984 m<sup>3</sup>/km (Pardo, 1991; Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2013). Según Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor (2013), en el periodo de mayor actividad (1980-1988) se extrajeron una media de 36.600 m<sup>3</sup>/año, que descendieron entre 2000 a 2007 a 3500 m<sup>3</sup>/año. Entre los cambios más significativos en el cauce se detecta la reducción de la anchura (65 %) y la incisión media de 3,5 m de la práctica totalidad de su lecho (Segura-Beltrán y Sanchis Ibor (2013). La rambla de Cervera no es un caso aislado, y se puede considerar un ejemplo de la historia y problemática de los ríos efímeros mediterráneos.

En la actualidad, existe un consenso sobre la imposibilidad de revertir estos cauces a las condiciones morfosedimentarias anteriores a estos impactos (Ollero et al., 2021) y, por lo tanto, las condiciones de referencia deben de fijarse de acuerdo con los procesos y equilibrios sedimentarios actuales (Rabanaque et al., 2024). Las crecidas extremas pueden desempeñar un papel importante en la recuperación de estos cauces fluviales degradados al impulsar procesos geomorfológicos naturales, creando nuevas formas y favoreciendo el transporte y depósito de sedimento y su conectividad (Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2011). Sin embargo, la baja frecuencia de eventos con magnitud suficiente para generar cambios sustanciales ha determinado un bajo ritmo de los procesos de ajuste fluvial, e incluso la invasión activa de la vegetación del entorno del cauce (Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2013; Rabanaque et al., 2024).

Otra cuestión es el papel de los eventos frecuentes en la recuperación de los ríos efímeros degradados hacia unas condiciones “naturales” mínimas que permitan la transferencia de sedimento y la recuperación geomorfológica a largo plazo. En el presente estudio se ha puesto de manifiesto la diversidad en la actividad morfosedimentaria y la eficiencia de los procesos sedimentarios según su contexto morfoestructural. En el tramo superior (Enroig), la conexión con fuentes de sedimento y cauces trenzados permite una mayor eficiencia en la construcción de formas (barras laterales y mediales incipientes) y el transporte de sedimento. En el tramo medio (Cervera del Maestre), de cauce estrecho y único, la hidráulica muestra unas condiciones próximas a régimen crítico que impide la acumulación lateral de barras, mientras que las formas de lecho (depósito de lóbulos) se asocian con la rama decreciente del hidrograma. En términos anuales, en el tramo de Enroig se ha transportado un volumen de sedimento de 660 m<sup>3</sup>, mientras que en Cervera se transportaron 800 m<sup>3</sup>, a pesar de que en esta segunda zona el caudal pico y el volumen del hidrograma fueron el doble. Por lo tanto, existe un doble problema de fuentes de sedimento y de alta conectividad del sedimento, que habría que modificar para acelerar la recuperación en los tramos bajos. Al proporcionar perturbaciones regulares, estos eventos anuales son críticos para mantener la actividad morfológica y evitar el taponamiento de los cauces por crecimiento de la vegetación. En definitiva,

los esfuerzos deben de centrarse en favorecer el intercambio de sedimento (lateral y longitudinal) y el mantenimiento de las funciones morfosedimentarias.

## CONCLUSIONES

Los ríos efímeros mediterráneos presentan condiciones hidromorfológicas muy alteradas debido a décadas de extracción intensiva de gravas, paso de vehículos, conducciones de agua y vertidos de residuos. Sin duda, los eventos extremos presentan un papel relevante en la reactivación de los procesos y la conectividad sedimentaria (Segura-Beltrán y Sanchis-Ibor, 2011). Sin embargo, su baja frecuencia limita su capacidad para mantener las condiciones morfosedimentarias del cauce y la recuperación de los procesos de los sistemas fluviales efímeros. Por tanto, los eventos anuales de baja magnitud presentan un papel significativo en la recuperación de la dinámica y la integridad geomorfológica en ríos degradados. En este trabajo se analiza la dinámica morfosedimentaria asociada a caudales anuales utilizando una combinación de técnicas y métodos, como: 1) registros continuos mediante sensores de caudal y de impacto de partículas transportadas como carga de fondo; 2) fotogrametría basada en vuelos de dron; 3) cartografía geomorfológica diacrónica; 4) modelado hidráulico bidimensional, y 5) cálculos de transporte de sedimento mediante ecuaciones de carga de fondo. En concreto, se han estudiado dos tramos de la rambla (Enroig y Cervera del Maestre) durante dos eventos de flujo (enero y abril de 2020) considerados frecuentes (periodo de retorno medio de 2 años). El seguimiento de la respuesta morfosedimentaria a eventos frecuentes permite la cuantificación de la tasa de los procesos y las condiciones físicas y estructurales de cada tramo que determinan su trayectoria de recuperación fluvial.

En el tramo de Enroig, representativo de sectores con valle aluvial y cauce trenzado, los eventos de enero y abril (máximo de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) produjeron la expansión del cauce a expensas de la reducción de barras mediales incipientes, y la migración de las barras entrelazadas que componen el lecho. La distribución de energía relacionada con el esfuerzo cortante y la potencial del flujo muestra una gradación entre las diferentes formas fluviales, con los valores más altos de potencia en el fondo de los cauces trenzados ( $150 \text{ W}/\text{m}^2$ ), barras mediales ( $70 \text{ W}/\text{m}^2$ ) y barras laterales ( $50 \text{ W}/\text{m}^2$ ). En general, los máximos del esfuerzo cortante presentan un patrón discontinuo, siendo frecuente su localización en la base de bancos y terrazas aluviales, lo que favorece su derrumbe y la inyección de sedimentos.

En el tramo de Cervera del Maestre, representativo de las zonas de graben, con un valle semiconfinado en roca y cauce único con islas mediales y barras laterales, las crecidas de enero y abril de 2020 ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ) apenas ocasionaron cambios en las barras laterales y mediales, siendo de destacar el depósito de lóbulos en el lecho del cauce asociados al estadio de recesión del hidrograma. Las condiciones hidráulicas muestran un régimen próximo a crítico (Froude  $\approx 0,95$ ), con la potencia de flujo que gradada desde el cauce de gravas ( $180$  y  $210 \text{ W}/\text{m}^2$ ), las barras laterales incipientes ( $120$  y  $150 \text{ W}/\text{m}^2$ ) y las barras mediales incipientes (potencia de  $115$  y  $142 \text{ W}/\text{m}^2$ ), para caudales de  $100$  y  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La estimación de volumen de sedimento transportado mediante la ecuación de Recking (2013) muestra una buena correlación con la energía total disponible en cada evento, que responde al balance entre volumen del flujo, caudal pico y duración. En Enroig, la estimación para el evento de enero ( $1,18 \text{ hm}^3$  y



1.590 minutos) corresponde a un transporte de 339 m<sup>3</sup> con una energía total dispensada de 1.992 kJ/m<sup>2</sup>. En el evento de abril (0,74 hm<sup>3</sup> y 1.365 minutos), se ha estimado un volumen de sedimento transportado de 220 m<sup>3</sup>, por una potencia de flujo acumulada de 1.447 kJ/m<sup>2</sup>. En Cervera del Maestre, la crecida de enero (2,47 hm<sup>3</sup> y 1.010 minutos) se ha estimado un volumen de sedimento transportado de 313 m<sup>3</sup> para una potencia total de flujo de 3.913 kJ/m<sup>2</sup>. En la crecida de abril (3,46 hm<sup>3</sup> y 1.545 minutos) se ha estimado un volumen de sedimento transportado de 483 m<sup>3</sup> con potencial total de 5.711 kJ/m<sup>2</sup>. Este transporte de sedimento calculado con la ecuación de Recking resulta coherente con las estimaciones de transporte de sedimento obtenidas a partir del número de impacto total registrado en sensores de fondo.

El registro temporal de impactos en sensores muestra una respuesta de transporte muy alta asociada a los estadios iniciales y ascendentes del hidrograma, con un pico en el número de impactos anterior al pico del hidrograma. Este pico de transporte de partículas se interpreta con una alta capacidad de transporte del frente de la crecida que moviliza las partículas de sedimento acumuladas en la fase decreciente del hidrograma anterior. Por su parte, la falta de correspondencia entre los picos de transporte y del hidrograma se explica por el agotamiento del sedimento y la falta de conexión con las fuentes. Igualmente, las intensidades mayores en el número de impactos reflejan el paso de frentes de barras de gravas sobre la localización de los sensores.

En líneas generales, este estudio demuestra la mayor capacidad de transporte y recuperación de las formas aluviales en el tramo con cauce trenzado en la depresión aluvial (Enroig). En el tramo semiconfinado (Cervera del Maestre) predominan los procesos de transporte, mientras que el depósito se asocia principalmente a los estadios finales del hidrograma. En este tramo de Cervera se espera que las grandes inundaciones con calado suficiente como para inundar las zonas aluviales con vegetación consolidada puedan crear las condiciones para acelerar la recuperación natural y la continuidad sedimentaria de la rambla.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido desarrollada dentro del proyecto EPHIDREAMS (PID2020-116537RB100), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación MCIN/AEI/10.13039/501100011033, cofinanciado con fondos FEDER, y por la subvención de la Dirección General del Agua (DGA) del MITERD (Subvenciones MNCN-CSIC 20223TE002 y 20233TE011, e IGME-CSIC 20223TE002-Tarquín 2). Este trabajo forma parte de la actividad CSIC-PTI TELEDETECT. Este artículo es una contribución del Laboratorio de Hidrología y Cambio Climático ([www.floodsresearch.com](http://www.floodsresearch.com); Twitter: [floods\\_research](https://twitter.com/floods_research); Instagram: [@inundaciones\\_investigacion](https://www.instagram.com/inundaciones_investigacion)). Los autores agradecen al editor y a los revisores de la revista *Cuadernos de Geografía* sus valiosos comentarios y sugerencias.

#### REFERENCIAS

Bagnold, R. A., (1977). Bed load transport by natural rivers. *Water Resour. Res.*, 13(2), 303-312, DOI: 10.1029/WR013i002p00303

- Bladé, E., Cea L., Corestein G., Escolano E., Puertas J., Vázquez-Cendón E., Dolz J., & Coll A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30, 1-10. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Calle, M. (2019). *Morphosedimentary dynamics of ephemeral rivers affected by gravel mining: GIS mapping and geomorphic change detection*. Universidad Complutense de Madrid, 20 June.
- Calle, M., Alho, P., & Benito, G. (2017). Channel dynamics and geomorphic resilience in an ephemeral Mediterranean river affected by gravel mining. *Geomorphology*, 285, 333-346. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.02.026
- Calle M., Alho P., & Benito G. (2018). Monitoring ephemeral river changes during floods with SfM photogrammetry. *Journal of Iberian Geology*, 44, 355-373. DOI: 10.1007/s41513-018-0078-y
- Calle M., Calle J., Alho P., & Benito G. (2020). Inferring sediment transfers and functional connectivity of rivers from repeat topographic surveys. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45, 681-693. DOI: 10.1002/esp.4765
- Conesa García, C. & Pérez Cutillas, P. (2014). Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 25-44. DOI: 10.4067/S0718-34022014000300003
- Dhont, B. & Ancey, C. (2018). Are Bedload Transport Pulses in Gravel Bed Rivers Created by Bar Migration or Sediment Waves? *Geophysical Research Letters*, 45, 5501-5508. DOI: 10.1029/2018GL077792
- Dinehart, R. L. (1992). Evolution of coarse gravel bed forms: field measurements at flood stage. *Water Resources Research*, 28, 2667-2689. DOI: 10.1029/92WR01357
- Downs, P. W., Soar, P. J. & Taylor, A. (2016). The anatomy of effective discharge: the dynamics of coarse sediment transport revealed using continuous bedload monitoring in a gravel-bed river during a very wet year. *Earth Surf. Proc. and Landf.*, 41(2), 147-161. DOI: 10.1002/esp.3785
- García-Ruíz, J. M. & Lana-Renault, N. (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region-A review. *Agric., Ecosyst. Environ*, 140(3-4), 317-338. DOI: 10.1016/j.agee.2011.01.003
- Gomez, B. (1983). Temporal variations in bedload transport rates: the effects of progressive bed armouring. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 41-54. DOI: 10.1002/esp.3290080105
- Gomez B. & Soar P. J. (2023). Bedload transport and the stream power approach. *Proc. R. Soc. A*, 479, 20220783. DOI: 10.1098/rspa.2022.0783
- Grant, G. E. (1997). Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams: a new hypothesis. *Water Resources Research*, 33, 349-358.
- Hinton, D., Hotchkiss, R. H., & Cope, M. (2018). Comparison of calibrated empirical and semi-empirical methods for bedload transport rate prediction in gravel bed streams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 144, 17. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001474
- Kondolf, G. M. (1994). Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape Urban Plann.*, 28, 225-243.

- Liébault, F. & Piégay, H. (2002). Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 425-444. DOI: 10.1002/esp.328
- Martín-Vide, J. P., Ferrer-Boix, C., & Ollero, A. (2010). Incision due to gravel mining: modeling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology*, 117, 261-271. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.01.019
- Molnar, P., Densmore, A. L., McArdeell, B. W., Turowski, J. M., & Burlando, P. (2010). Analysis of changes in the step-pool morphology and channel profile of a steep mountain stream following a large flood. *Geomorphology*, 124, 85-94. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.08.014
- Monsalve, A., Segura, C., Hucke, N., & Katz, S. (2020). A bed load transport equation based on the spatial distribution of shear stress - Oak Creek revisited. *Earth Surf. Dynam.*, 8, 825-839. DOI: 10.5194/esurf-8-825-2020
- Nanson, G. C. & Croke, J. C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4(6), 459-486. DOI: 10.1016/0169-555X(92)90039-Q
- Nelson, J. M., Shreve, R. L., McLean, S. R., & Drake, T. G. (1995). Role of near-bed turbulence structure in bed load transport and bed form mechanics. *Water Resources Research*, 31, 2071-2086.
- Ollero A., Conesa-García C., & Vidal-Abarca M. R. (2021). Buenas prácticas en gestión y restauración de cursos efímeros mediterráneos: resiliencia y adaptación al cambio climático. *Editum*. Ediciones de la Universidad de Murcia
- Pardo, J. E. (1991). *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. COPUT, Generalitat Valenciana, 240 pp.
- Parker, G. (2008). Transport of gravel and sediment mixtures. ASCE Manual 54 Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice. ASCE. Reston, VA, *American Society of Civil Engineers*, 1132 pp.
- Parker, G., Clifford, N. J., & Thorne, C. R. (2011). Understanding the influence of slope on the threshold of coarse grain motion: Revisiting critical stream power. *Geomorphology*, 126, 51-65. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.10.027
- Powell, D. M. (1998). Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. *Prog. Phys. Geogr.*, 22, 1-32. DOI: 10.1177/03091333980220010
- Rabanaque, M. P. (2024). *Hydromorphological analysis of ephemeral streams: integrating remote sensing and machine learning approaches*. Universidad de Zaragoza: Zaragoza, 17 June.
- Rabanaque, M. P., Martínez-Fernández, V., Calle, M., & Benito, G. (2022). Basin-wide hydromorphological analysis of ephemeral streams using machine learning algorithms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47, 328-344. DOI: 10.1002/esp.5250
- Rabanaque, M. P., Martínez-Fernández V., Calle, M., Castillo, O., & Benito, G. (2024). Spatio-temporal analysis of geomorphic recovery along an altered ephemeral stream using automated image processing. *Geomorphology*, 450, 109069. DOI: 10.1016/j.geomorph.2024.109069
- Recking, A. (2013). A simple method for calculating reach-averaged bedload transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000653

- Recking, A., Frey, P., Paquier, A., & Belleudy, P. (2009). An experimental investigation of mechanisms responsible for bedload sheet production and migration. *J. Geophys. Res.*, 114, F03010.
- Recking, A., Johannot, A., Horita, K., Nasr, M., Zanker, S., Vázquez-Tarrió, D., Fontaine, F., & Melun, G. (2024). An attempt to take into account natural variability in 1D bedload prediction. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. DOI: 10.1029/2023JF007601
- Recking, A., Piton, G., Vazquez-Tarrió, D., & Parker, G. (2016). Quantifying the morphological print of bedload transport. *Earth Surface Processes and Landform*. DOI: 10.1002/esp.3869
- Recking, A., Vázquez Tarrío, D., & Piton, G. (2023). The contribution of grain sorting to the dynamics of the bedload active layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(5), 979-996. DOI: 10.1002/esp.5530
- Rickenmann, D. (2020). Effect of Sediment Supply on Cyclic Fluctuations of the Disequilibrium Ratio and Threshold Transport Discharge, Inferred From Bedload Transport Measurements Over 27 Years at the Swiss Erlenbach Stream. *Water Resources Research*, 56. DOI: 10.1029/2020WR027741
- Rovira, A., Batalla, R. J., & Sala, M. (2005). Response of a river sediment budget after historical gravel mining (the lower Tordera, NE Spain). *River Research and Applications*, 21(7), 829-847. DOI: 10.1002/rra.885
- Sanchis-Ibor, C. & Segura-Beltrán, F. (2014). Spatial variability of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream in the last six decades (1946-2006). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 40, 89. DOI: 10.18172/cig.2530
- Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltrán, F., & Almonacid-Caballer, J. (2017). Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena*, 158, 357-370. DOI: 10.1016/j.catena.2017.07.012
- Scorpio, V., Aucelli, P. P., Giano, S. I., Pisano, L., Robustelli, G., Roskopf, C. M., & Schiattarella, M. (2015). River channel adjustments in Southern Italy over the past 150 years and implications for channel recovery. *Geomorphology*, 251, 77-90. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.07.008
- Segura-Beltrán, F. (1983). Las terrazas de la rambla de Cervera. *Cuadernos de Geografía*, 34, 1-30.
- Segura-Beltrán, F. (1990). *Las ramblas valencianas: algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología*. València, Universitat de València.
- Segura-Beltrán, F. (1995). El Cuaternario continental en las tierras septentrionales valencianas. *El cuaternario del País Valenciano*, 83-96 pp.
- Segura-Beltrán, F. (2013). Rambles i barrancs: els rius de pedres. *Mètode Science Studies Journal*, 38. <https://metode.cat/revistes-metode/monografics/rambles-i-barrancs-els-rius-de-pedres.html>
- Segura-Beltrán, F. & Sanchis-Ibor, C. (2011). Efectos de una crecida en un cauce antropizado. La riada del Palància de octubre de 2000. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 147-168. DOI: 10.7203/CGUV.14215
- Segura-Beltrán, F. & Sanchis-Ibor, C. (2013). Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201, 199-214. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.06.021

- Segura-Beltrán F, Sanchis-Ibor C., & Vidal-Salvador A. (2020). La incisión como efecto de los cambios ambientales en ríos efímeros. En *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía* (pp. 145-160). PUV-Tirant lo Blanch.
- Soar, P. J. & Downs, P. W. (2017). Estimating bedload transport rates in a gravel-bed river using seismic impact plates: Model development and application. *Environmental Modelling & Software*, 90, 182-200.
- Surian, N. & Rinaldi, M. (2004). *Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers*. IAHS publication, 288, 276-282.
- Vázquez-Tarrío, D., Piégay, H., & Menéndez-Duarte, R. (2020). Textural signatures of sediment supply in gravel-bed rivers: Revisiting the armour ratio. *Earth-Science Reviews*, 207, 103211. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103211
- Vericat, D., Wheaton, J. M., & Brasington, J. (2017). Revisiting the morphological approach: Opportunities and challenges with repeat high-resolution topography. En *Gravel-Bed Rivers: Process and Disasters* (pp. 121-158). Nueva York: Wiley.
- Whiting, P., Dietrich, W. E., Leopold, L. B., Drake, T. G., & Sherve, R. L. (1988). Bedload sheets in heterogenous sediments. *Geology*, 16(2), 105, C109. DOI: 10.1130/0091-7613(1988)016<0105:BSIHS>2.3.CO;2

Cómo citar este artículo:

Benito, G., Rabanaque, M. P., Sanchis-Ibor, C., Castillo, O., Vázquez-Tarrío, D., Calle, M., Martínez-Fernández, V., & Sanchez-Moya, Y. (2024). Monitorización de cambios geomorfológicos y transporte de carga de fondo durante flujos anuales en la rambla de Cervera (Castellón). *Cuadernos de Geografía*, 112, 195-229.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29261>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



ANDRÉS DÍEZ-HERRERO<sup>a</sup>; MARIO HERNÁNDEZ RUIZ<sup>a</sup>; JULIO LÓPEZ GUTIÉRREZ<sup>a</sup>;  
JAVIER MARTÍNEZ-MARTÍNEZ<sup>b</sup>; JOSÉ F. MEDIATO<sup>a</sup>; JUANA VEGAS<sup>a</sup>; MARÍA  
ÁNGELES PERUCHA<sup>a</sup>; DANIEL VÁZQUEZ-TARRÍO<sup>a</sup>; K. PATRICIA SANDOVAL-  
RINCÓN<sup>a</sup>; JULIO GARROTE<sup>c</sup>; J. HERIBERTO LORENZO<sup>d</sup>; ERNEST BLADÉ I  
CASTELLET<sup>e</sup>; MARCOS SANZ-RAMOS<sup>e</sup>; NIEVES SÁNCHEZ<sup>f</sup>; INÉS GALINDO<sup>f</sup>

## ENSAYOS EN CAMPO DE REMOVILIZACIÓN HÍDRICA DE PIROCLASTOS DEL VOLCÁN DE TAJOGAITE DE 2021 (LA PALMA, ISLAS CANARIAS)

### RESUMEN

La erupción del volcán de Tajogaite en la isla de La Palma (Islas Canarias), entre septiembre y diciembre de 2021, generó una ingente cantidad de depósitos piroclásticos de caída (tefra), de los que aún permanecen acumulaciones en sectores próximos al cono que superan los 3 m de espesor. Durante

---

a Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC). Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. andres.diez@igme.es, <https://orcid.org/0000-0003-1106-191X>. m.hernandez@igme.es, <https://orcid.org/0000-0002-4088-2269>. j.lopezgu@igme.es, <https://orcid.org/0000-0003-4250-8788>. jf.mediateo@igme.es, <https://orcid.org/0000-0002-4333-1163>. j.vegas@igme.es, <https://orcid.org/0000-0001-9137-0020>. ma.perucha@igme.es, <https://orcid.org/0000-0003-1960-9265>. d.vazqueztarrio@igme.es, <https://orcid.org/0000-0002-5658-4426>. kp.sandoval@igme.es, <https://orcid.org/0009-0000-5934-659X>

b Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC). C/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos (Comunidad de Madrid). javier.martinez@igme.es, <https://orcid.org/0000-0002-2067-6644>

c Dept. Geodinámica, Estratigrafía, y Paleontología, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid (UCM). C/ José Antonio Nováis, 12, 28040 Madrid. juliog@ucm.es, <https://orcid.org/0000-0002-7727-8014>

d Parque Nacional Caldera de Taburiente (Gobierno de Canarias), Centro de Visitantes de El Paso. Carretera general de Padrón, n.º 47, 38750 El Paso (Santa Cruz de Tenerife). jlorperl@gobiernodecanarias.org, <https://orcid.org/0009-0008-1423-6811>

e Instituto Flumen, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) - International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE). Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona. ernest.blade@upc.edu, <https://orcid.org/0000-0003-1770-3960>. marcos.sanz-ramos@upc.edu, <https://orcid.org/0000-0003-2534-0039>

f Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Unidad Territorial de Canarias. C/ Alonso Alvarado, 43, 2A, 35003 Las Palmas de Gran Canaria. n.sanchez@igme.es, <https://orcid.org/0000-0001-9239-5254>. i.galindo@igme.es, <https://orcid.org/0000-0002-2545-5234>

Fecha de recepción: 11-09-2024. Fecha de aceptación: 01-10-2024.

la erupción, y con posterioridad a esta, se ha producido la removilización de la tefra, tanto por acciones antrópicas de retirada y limpieza en edificios, vías de comunicación y otras infraestructuras, como por procesos naturales debidos a las dinámicas volcánica, eólica, gravitacional e hídrica. Para estimar la capacidad de removilización hídrica en los procesos naturales y prevenir posibles peligros y riesgos asociados a eventos extremos de tipo *lahar* por precipitaciones intensas, se han realizado ensayos de removilización antrópica en campo, usando lluvia artificial y escorrentía concentrada sobre microparcelas experimentales y sectores de laderas y fondo de uno de los barrancos del sector suroccidental de la isla (barranco de Tamanca). Con ellos se ha podido estimar qué variables (pendiente, granulometría y tipo de cobertura de la superficie, tefra desnuda, vegetada o roca consolidada) condicionan tanto la generación de la escorrentía como el inicio de la removilización, así como obtener unos valores umbral orientativos. Entre todas las variables, la que mayor influencia tiene en el inicio de las removilizaciones no es la pendiente, como cabría esperar, sino la concentración de la escorrentía en superficies impermeables (rocas consolidadas, superficies antropizadas) o en las ramas y tallos de la vegetación arbustiva y arbórea. Estos resultados tienen utilidad práctica para la cartografía preventiva de las zonas susceptibles de ser removilizadas, como valores de entrada en modelos numéricos de desencadenamiento y circulación de flujos no newtonianos por laderas y barrancos, de los que derivarán mapas de riesgos para la ordenación territorial y la gestión de las emergencias.

PALABRAS CLAVE: lahares; La Palma; piroclastos; removilización; Tajogaite; volcán.

## FIELD TESTS OF HYDRIC TEPHRA REMOBILISATIONS AT THE TAJOGAITE 2021 VOLCANO (LA PALMA, CANARY ISLANDS, SPAIN)

### ABSTRACT

The eruption of the Tajogaite volcano at the island of La Palma (Canary Islands, Spain) between September and December 2021 generated a huge amount of fallout deposits (tephra), of which there are still accumulations of more than 3 metres thick in sectors close to the cone. During and after the eruption, the tephra has been remobilised, both by anthropic actions of removal from buildings, roads and other infrastructures, and by natural processes due to volcanic, aeolian, gravitational and runoff dynamics. Several remobilisation tests were carried out on field to estimate the water remobilisation capacity and prevent possible hazards and risks associated with extreme lahar-type events due to intense rainfall. They consisted on artificial rainfall and concentrated runoff on experimental micro-plots and sectors of slopes and at the bottom of one of the ravines in the southwestern sector of the island (Tamanca ravine). Therefore, it has been possible to estimate which variables (slope, granulometry, type of surface cover) condition both the generation of runoff and the start of remobilisation, as well as some indicative threshold values. Among all the variables, the one that has the greatest influence on the onset of remobilisations is not the slope, as might be expected, but the concentration of runoff on impermeable surfaces (consolidated rocks, anthropised surfaces) or on the branches and stems of shrub and tree vegetation. These results are of practical use for preventive mapping of areas susceptible to



suffer remobilisation. They may constitute the input for numerical models simulating the triggering and circulation of non-Newtonian flows on slopes and gullies, from which risk maps for land-use planning and emergency management will be derived.

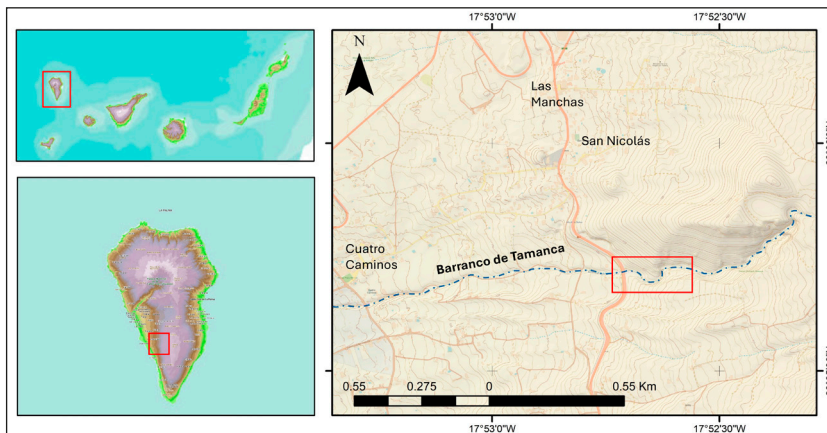
KEYWORDS: lahars; La Palma; remobilization; Tajogaite; tephra; volcano.

## INTRODUCCIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

### *La erupción volcánica del Tajogaite en 2021 y los materiales emitidos*

Entre el día 19 de septiembre y el 13 de diciembre de 2021 tuvo lugar una erupción volcánica fisural con estilo eruptivo predominantemente estromboliano con algunos pulsos freatomagmáticos (magnitud VEI 3; PEVOLCA, 2021), emisión de gases, piroclastos y lavas desde la zona comprendida en el paraje de Cabeza de Vaca, en la vertiente noroccidental de la dorsal volcánica de Cumbre Vieja, en la isla de La Palma (Islas Canarias).

Figura 1. Situación geográfica de la zona de estudio en el contexto del archipiélago canario, en la isla de La Palma, dentro del sector suroccidental de la dorsal de Cumbre Vieja y el barranco de Tamanca en el cruce de la carretera LP-2 entre las localidades de Jedey y Las Manchas



Fuente de la base topográfica: WMS Mapa Topográfico Integrado de Canarias, IDECanarias.

A lo largo del evento eruptivo se emitió un volumen de lava superior a 200 Mm<sup>3</sup> a través de dos alineaciones eruptivas, la principal de dirección N130°E y N70°E en las fases finales (Rodríguez Pascua et al., 2024). Esta fisura, de 0,5 km de longitud, llegó a tener más de una docena de centros de emisión que generaron un cono de piroclastos principal, con un volumen de 34 Mm<sup>3</sup>, 200 m de altura máxima respecto a la topografía preeruptiva, 700 m de longitud media basal y un cráter principal elíptico de 172 × 106 m (PEVOLCA, 2021; Pérez-López et al., 2024). El campo de coladas de lava originado, de composición tefrítica-basanítica, ha ocupado una superficie superior a 1200 ha, con tipología mayoritariamente de

tipo a'ā (localmente denominado “malpaís”) y minoritariamente de tipo pāhoehoe (principalmente del tipo “cordadas”), con un espesor máximo estimado de 70 m y medio de 12 m y con un recorrido máximo subaéreo superior a 6,5 km y submarino superior a 1,1 km (PEVOLCA, 2021; Romero et al., 2022; Sanz-Mangas et al., 2024). También se han formado dos deltas lávicos principales, con una extensión subaérea de 48 ha y submarina estimada de 21 ha (Sáez-Gabarrón et al., 2024).

El depósito de tefra acumulado nada más finalizar la erupción oscilaba entre los 3 m de espesor en las zonas próximas al cono principal y una capa de espesor milimétrico en las partes más distales. Está formado por piroclastos de tamaños entre bloques y bombas (con un alcance máximo en trayectorias balísticas de 1,5 km desde los cráteres; Day et al., 2022), lapilli y ceniza (tefra; Mata et al., 2022; Romero et al., 2022). Esta última alcanzó toda la isla de La Palma (figura 1) y se registró incluso en el resto de Islas Canarias occidentales en las fases de mayor explosividad (Bonadonna et al., 2023; Montoya et al., 2024).

### *La removilización de los productos piroclásticos del volcán de Tajogaite y su interés*

Al tratarse de una erupción calificada como urbana, puesto que afectó gravemente a varios núcleos de población de los municipios de Los Llanos de Aridane, El Paso y Tazacorte y a miles de edificaciones (viviendas, comercios e industrias), vías de comunicación y explotaciones agropecuarias, muchos de los productos y las mesoformas y microformas volcánicas que se iban generando también fueron modificadas o destruidas antrópicamente desde el principio de la erupción, para garantizar la seguridad de personas y bienes (hundimiento de cubiertas y tejados), y recuperar la actividad socioeconómica del sector afectado (apertura de vías provisionales de comunicación y abastecimiento de agua y energía). Pero, sobre todo desde la finalización de la erupción y el retorno de la población a las zonas afectadas, se está produciendo un proceso acelerado de remoción de los mantos piroclásticos y de las coladas lávicas para la apertura de vías de comunicación, calles, limpieza de edificaciones y campos de cultivo, reposición de tendidos de energía y comunicaciones, etc. (Bautista, 2022).

A este desplazamiento y retirada de los materiales y productos eruptivos por acción antrópica se suma una removilización natural, durante y tras la erupción, por varios procesos geodinámicos y acciones geomorfológicas: *i*) los procesos volcánicos, como el avance de las coladas de lava, que enterraron, compactaron, desplazaron, empujaron e incorporaron ingentes cantidades de depósitos piroclásticos previos o coetáneos; *ii*) los procesos eólicos por vientos persistentes que erosionaron las acumulaciones de tefra y produjeron acumulaciones y formas deposicionales en otros sectores (Mediato et al., 2023); *iii*) los procesos gravitacionales, que produjeron removilizaciones de piroclastos por diferentes tipos de movimientos del terreno, desde desprendimientos hasta deslizamientos, avalanchas de derrubios (*debris avalanches*), flujos granulares de derrubios (*debris flows*), etc.; y *iv*) procesos fluviales y de arroyada *sensu lato*, incluyendo desde pequeños regueros (*rills*), canalillos entrelazados (*braids*), regueros y cárcavas (*gullies*) en laderas y vertientes (Díez-Herrero et al., 2023, 2024; figura 2), hasta el desplazamiento por cañadas y barrancos en la fase canalizada de la escorrentía superficial en eventos de avenidas torrenciales súbitas (*flash floods*) y avenidas de derrubios (*debris floods*).

Figura 2. Removilización natural de los mantos de piroclastos del volcán Tajogaite como consecuencia de eventos posteruptivos de precipitación intensa, que generaron erosión en la cabecera e incisión de canales, transporte y depósito de diques naturales (*levees*) y lóbulos superpuestos de escala decimétrica, formando conos complejos



El tamaño de la flecha negra en la escala de cartulina blanca son 10 cm de largo.

Tal ha sido el volumen y la intensidad de las removilizaciones artificiales y naturales de los productos piroclásticos de la erupción volcánica, que se han tenido que proponer diferentes estrategias de geoconservación de algunas de las formas y materiales más singulares de interés patrimonial (Vegas et al., 2022).

El estudio de las removilizaciones naturales (o antrópicamente inducidas) de piroclastos durante y tras una erupción volcánica tiene un doble interés científico-técnico: por un lado, desde el punto de vista teórico y académico, la caracterización y cuantificación de los procesos y formas de removilización interesa para conocer la evolución de los relieves volcánicos y de su incidencia en los paisajes presentes y pretéritos; y, por otro, desde una perspectiva técnica y aplicada, la predicción y estimación espacio-temporal de la removilización futura de la tefra puede tener interés en los estudios de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo asociados a eventos extremos súbitos (lahares, flujos hiperconcentrados, flujos de derrubios, avenidas de derrubios).

Efectivamente, de todos los procesos y fenómenos naturales de removilización de piroclastos en entornos volcánicos, aquellos ligados a procesos hidrodinámicos suelen ser los potencialmente más peligrosos, bien sea por la mezcla de la tefra con agua procedente de la rotura de almacenamientos (lagos naturales o embalses artificiales), bien sea por la rápida fusión de acumulaciones de nieve o hielo (glaciares), bien sea por precipitaciones prolongadas o intensas, que generan flujos de comportamiento dinámico no newtoniano, habitualmente agrupados bajo la denominación genérica de lahares (aunque muchas veces no utilizada de forma apropiada y acorde con dónde y cómo fueron definidos).

Estos flujos hídricos no newtonianos con materiales piroclásticos se suelen clasificar entre los peligros volcánicos indirectos, secundarios o derivados, a pesar de que en numerosas ocasiones son fenómenos catastróficos que causan mayores daños y efectos que la propia emisión de materiales efusivos. Tal fue el caso de eventos como los lahares por la erupción del Nevado del Ruiz (Colombia), que causó decenas de miles de víctimas mortales en la localidad de Armero en 1985 (Voight, 1990).

El archipiélago canario y en particular las erupciones históricas en la isla de La Palma no son ajenas a estos fenómenos de removilización hídrica súbita, a pesar de tratarse de volcanes monogenéticos y no de grandes estratovolcanes, y a pesar de tratarse de piroclastos de composición fundamentalmente máfica y no sálica como en las cordilleras andinas o los volcanes asiáticos. De hecho, el desastre volcánico documentado que ha producido un mayor número de víctimas mortales en Canarias no ha sido ningún peligro directo asociado a las erupciones históricas conocidas (desde el siglo xv a la actualidad), que han producido en total 24 víctimas mortales (la mayor parte de ellas por los sismos asociados a la erupción o la emisión de gases), sino un desastre volcánico indirecto: la denominada tragedia de El Llanito, una avenida torrencial súbita con elevada carga sólida piroclástica transportada, que se produjo la noche del 15 al 16 de enero de 1957 en el barranco de Amargavinos a su paso por la pedanía de San Pedro (Breña Alta, La Palma), tras unas intensas lluvias en la vertiente oriental de Cumbre Vieja que removilizaron los piroclastos depositados unos años antes durante la erupción del volcán San Juan (junio-agosto de 1949) y otros volcanes anteriores. Según datos de la época (prensa local y nacional; informes técnicos), durante este único evento y en apenas unas horas se produjeron: 22 (o 24, según las fuentes) víctimas mortales, cuyos nombres y edades aparecen en el monolito conmemorativo existente en el actual puente sobre el barranco; 413 personas evacuadas o desplazadas; 101 viviendas totalmente destruidas; 74 viviendas parcialmente destruidas; y 20 puentes con daños. Incluso se tienen noticias vagas de que, poco después de esa erupción del volcán San Juan en 1949, las fuertes lluvias otoñales e invernales produjeron flujos de cenizas que destruyeron puentes y las primeras reparaciones de las carreteras en la vertiente occidental de Cumbre Vieja.

### *Objetivo y alcance de la investigación*

Por este doble interés del estudio de las removilizaciones hídricas de la tefra del volcán de Tajogaite de 2021, el teórico y el aplicado, pero sobre todo por sus implicaciones en el análisis de la susceptibilidad del desencadenamiento de los flujos no newtonianos, su peligrosidad y los riesgos asociados, desde el inicio de la erupción y sobre todo desde su finalización, el equipo del IGME-CSIC, con la colaboración de otros profesores universitarios e investigadores (Universidad Complutense de Madrid –UCM– y Universitat Politècnica de Catalunya –UPC–) decidieron hacer un estudio integral de estos fenómenos, los factores condicionantes y desencadenantes y su posible predicción espaciotemporal. Para ello se adoptó la metodología general, altamente contrastada en otras zonas con lahares frecuentes (Galárraga, 2005), que consta de varias etapas o tareas: *i*) estudio del espesor y características de los piroclastos; *ii*) caracterización del régimen de precipitaciones; *iii*) estimación del régimen de escurrimiento; *iv*) cálculo del porcentaje de piroclastos removilizables; y *v*) modelación numérica de los flujos no newtonianos. La

primera tarea, la caracterización de la tefra depositada por el volcán Tajogaite y su distribución espacio-temporal, ya ha sido abordada por diversos autores y dentro del equipo IGME-CSIC con la operación Cenicienta (Montoya et al., 2024). El régimen de precipitaciones en el entorno del volcán de Tajogaite y la caracterización morfodinámica de las removilizaciones posteruptivas también han sido tratadas en trabajos recientes (Díez Herrero et al., 2024). Por ello, antes de abordar la fase final de modelación numérica (en desarrollo), restan por abordar las tareas de estimación del régimen de escurrimiento y el cálculo del porcentaje de piroclastos removilizables según diferentes variables condicionantes.

En consecuencia, el objetivo principal de este trabajo es la caracterización de los parámetros hidrológicos (como el umbral de escorrentía), morfométricos (como la pendiente) y fisiográficos (como la vegetación) que condicionan el inicio de las removilizaciones de piroclastos en la zona de afección del volcán de Tajogaite. Y, para ello, se han diseñado y desarrollado una serie de ensayos de precipitación artificial sobre diferentes superficies y coberteras en campo que permiten estimar esos parámetros y determinar las variables de control y sus valores umbral.

No obstante, estos ensayos y sus resultados tienen un alcance limitado, como se expondrá en el apartado de discusión, y forman parte de una marcha metodológica más general, que requerirá que sean completados y replicados para que se puedan considerar estadísticamente representativos.

## METODOLOGÍA

Para el estudio de la génesis de la escorrentía superficial (abstracciones iniciales, umbral y coeficiente de escorrentía, permeabilidad vertical saturada) y la caracterización del inicio de la removilización de materiales por erosión superficial se viene empleando desde hace décadas una amplia gama de metodologías y aproximaciones (Sala y Gallart, 1988; Cerdá y Jordá, 2010): simuladores de lluvia artificial; infiltrómetros, tanto de anillo doble como de anillo sencillo; levantamientos microtopográficos seriados y microperfiladores; parcelas experimentales, cerradas o abiertas, y a diferentes escalas, desde las cuencas hidrográficas, laderas o microparcels; trampas de captación de sedimentos removilizados, desde cajas Gerlach, divisores y fosos con sistemas de monitorización; marcaje de materiales removilizables por técnicas cromáticas, magnéticas o radioseguimiento; monitorización instrumental del proceso de movilización, con aparatos como turbidímetros; y adquisición de imágenes seriadas (videgrabaciones terrestres, drones, LiDAR, InSAR).

La elección de uno u otro método se realiza en función de cuáles sean los objetivos concretos, el contexto de estudio y la disponibilidad de recursos humanos y materiales. En nuestro caso, hubo que recurrir a metodologías sencillas y de fácil ejecución, ya que la investigación se desarrolló durante o tras una erupción volcánica en situación de emergencia nivel 2 (y luego nivel 1), compatibilizándolo con el asesoramiento científico a la dirección y gestión de la emergencia (PEVOLCA) y con restricción de acceso a determinadas zonas.

Además, a las incertidumbres y fuentes de error en los estudios hidrológicos-geomorfológicos habituales con estas técnicas en áreas emergidas, en los terrenos volcánicos se suman las particularidades de estos materiales, como: el denominado efecto de la repelencia al agua (Chhoden et al., 2009); la

heterogeneidad en la cohesión debida a las propiedades magnéticas (Larrasoña et al., 2024), eléctricas y termodinámicas de los materiales piroclásticos (Ontiveros-Ortega et al., 2023); la disposición de los depósitos de tefra y los ajustes por compactación y subsidencia cuando acaban de ser depositados hace días o pocos meses; el diferente comportamiento hidrológico de la secuencia de piroclastos según su granulometría, como la capa de ceniza fina caída el 22 de octubre, que actúa como barrera del flujo subsuperficial; y la escasez de estudios experimentales y datos empíricos disponibles para terrenos volcánicos en la literatura internacional, salvo excepciones en ambientes andinos (Zehetner y Miller, 2006).

Por ello, lejos de recurrir a fórmulas establecidas o valores tabulados estandarizados establecidos en zonas volcánicas (Mongil Manso, 2010), que no serían de aplicación para otros objetivos o fuera de las zonas donde fueron establecidos, ni a ensayos en laboratorio con cambios en la disposición y cohesión de los materiales (Jones et al., 2017; Williams et al., 2021), se ha considerado importante desarrollar ensayos empíricos en campo, específicos para la zona de estudio, sin alterar sus condiciones naturales. El diseño experimental de los ensayos se ha hecho para correlacionar las estimaciones de estos parámetros a tres escalas espaciales complementarias y sucesivas en la removilización de los piroclastos del Tajogaite:

- Microparcels acotadas en interfluvios, de área conocida, mediante precipitación artificial con medios manuales (regaderas).
- Sectores de laderas y vertientes, sin perímetro delimitado, con precipitación artificial con medios mecánicos-hidráulicos (camiones autobomba).
- Lecho de barrancos, con escorrentía concentrada a partir de entrada mecánica-hidráulica (camiones autobomba).

En los tres casos se realizó un control de la precipitación o caudales de entrada y los tiempos transcurridos desde el inicio de los ensayos hasta el inicio de la escorrentía superficial, la removilización o la formación de formas de erosión (surcos, canales) o depósito (lóbulos).

### *Ensayos en las microparcels acotadas en interfluvios*

Para la estimación experimental del umbral de escorrentía ( $P_0$ ) y del umbral de removilización superficial de piroclastos ( $P_r$ ) en superficies de interfluvios y laderas con pendientes suaves desprovistas de vegetación arbustiva (piroclastos en superficie), se seleccionó una veintena de localizaciones representativas de la zona afectada por la caída y acumulación de tefra en la erupción del Tajogaite (sector suroccidental del cono y las coladas), tanto en Las Manchas como en las proximidades del mirador astronómico de El Pilar.

Las microparcels experimentales se delimitaron hincando en la superficie un aro metálico de 30 cm de diámetro (0,07 m<sup>2</sup> de superficie interior) y 10 cm de altura, semejante al utilizado como molde en repostería (figura 3), al que se practicó una apertura en el perímetro para registrar la salida de escorrentía y recoger los materiales removilizados (cubicación y granulometría). Para los ensayos de infiltración de anillo simple se usaron también vasos cilíndricos de medida (0,11 m<sup>2</sup>) y aros elípticos (0,10 m<sup>2</sup>).

El sistema generador de la lluvia artificial, por motivos logísticos (actuación durante la emergencia por erupción volcánica de 2021), hubo que simplificarlo respecto a los sistemas habituales de proyectos de investigación (Benito et al., 2001), que requieren la elección detallada del tamaño de gota de lluvia (mediante válvulas), la altura y velocidad de caída, y la intensidad de precipitación. Aquí únicamente se pudo controlar la intensidad de lluvia, tratando que los otros parámetros fueran uniformes en los diferentes ensayos y representativos de la lluvia habitual de Canarias, con el simple empleo de regaderas manuales aforadas.

Todos los ensayos fueron documentados mediante fotografías previas, durante y posteriores de las microparcels, así como con videograbaciones de cada ensayo. La toma de datos se completaba con la caracterización superficial, levantamiento de columnas y toma de muestras de los piroclastos (lapilli, ceniza).

Figura 3. Materiales básicos necesarios para los ensayos de lluvia artificial en microparcels experimentales en interfluvios y medición de la escorrentía y la removilización de piroclastos empleados durante la emergencia volcánica de 2021 en la isla de La Palma



### *Ensayos en sectores de laderas y lecho de barrancos*

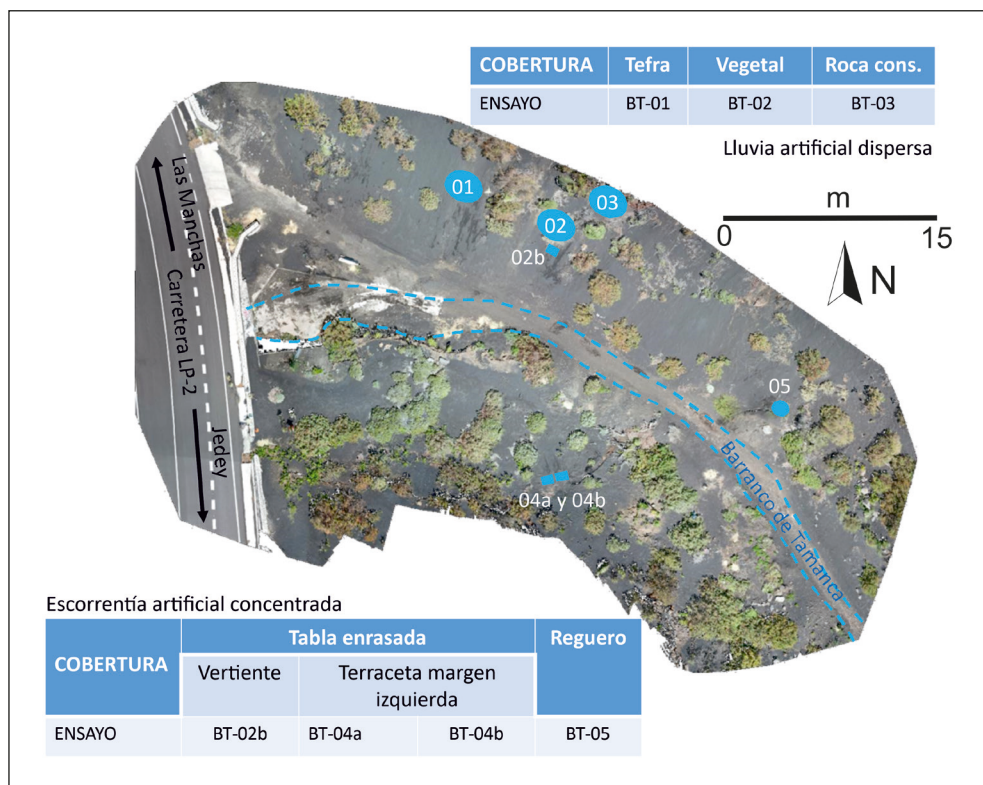
Para la selección de los parajes en campo donde se realizarían los ensayos de parcelas experimentales en laderas y barrancos, se cruzaron cartografías temáticas buscando la coincidencia de varios factores limitantes:

- Existencia de una acumulación con espesores significativos de piroclastos (lapilli y ceniza) para poder ser removilizados, con diferente rango de pendientes y cubierta vegetal (suelo desnudo, cubierta herbácea, cubierta arbustiva), lo que restringe la zona de ensayos al sector suroccidental del cono y coladas (zona de Las Manchas-Jedey).

- Existencia de disponibilidad de agua abundante para realizar los ensayos de lluvia artificial y poder recargar con rapidez los depósitos de las autobombas, lo que restringe el sector a las proximidades de las balsas de riego o zonas accesibles al tráfico rodado con tomas de agua.
- Existencia de vías de comunicación para tráfico rodado que posibilite el acceso de los camiones autobomba y la logística del equipo humano y material, lo que restringe la zona de ensayos a las principales carreteras asfaltadas y algunas de las pistas forestales.
- Existencia de barrancos o cañadas donde ensayar la removilización en el lecho de corrientes fluviales efímeras, representativas de La Palma.

La única localización donde confluyen todos los factores limitantes es el cruce del barranco de Tamanca con la carretera LP-2, entre las localidades de Jedey y Las Manchas (figura 4).

Figura 4. Ortoimagen de la localización del tramo del barranco de Tamanca (BT), aguas arriba del drenaje transversal bajo la carretera LP2, en la cual se concentraron los ensayos en lluvia artificial en laderas (BT-01, BT-02 y BT-03) y escorrentía en rellanos y fondo de aquel (BT-02b, BT-04a, BT-04b y BT-05)





Los sectores de las laderas y fondo del barranco donde realizar los ensayos se eligieron buscando abarcar una amplia gama de pendientes y coberteras superficiales (piroclastos desnudos, cubierta arbustiva, afloramientos de rocas consolidadas en cabecera); y además con suficiente extensión como para repetir los ensayos, si fuera necesario, sin tener que utilizar sectores previamente alterados.

El sistema generador de la lluvia artificial para sectores de ladera, de aproximadamente 9 m<sup>2</sup> de superficie, tuvo que ser necesariamente mecánico-hidráulico, empleando camiones autobomba de incendios urbanos y forestales, que disponen de bombas de presión regulable y mangueras con válvulas difusoras de caudal y tipología de lluvia variables. En concreto, se emplearon en los ensayos dos camiones autobomba con depósitos de agua de capacidades de 9000 l (nodriza de bomberos forestales del parque nacional de la Caldera de Taburiente) y 3000 l (bomberos del Cabildo Insular de La Palma), con recargas del primero al segundo para asegurar la continuidad de los ensayos. Los caudales de salida se establecieron en 300 l/min (con presiones entre 6 y 7 atm), y la altura de vertido fue la correspondiente a una persona ubicada en la parte superior del depósito del camión, con trayectoria parabólica de vertido. Para el control de la lluvia artificial total precipitada en el sector de ladera, se ubicaron cuatro pluviómetros de copa totalizadores en los cuatro extremos del sector ensayado.

El sistema generador de la escorrentía para los ensayos en el lecho y márgenes del barranco de Tamanca fueron también los camiones autobomba con mangueras, pero sin válvulas de difusión, sino con boca libre, con control del caudal efectivo emitido mediante aforo con bidón de capacidad conocida. Para conocer el ancho y la profundidad de la lámina de la escorrentía, se utilizaron unas tablas cuadradas (50 × 50 cm) de madera aglomerada sobre las que se realizó el vertido del caudal de la manguera.

En todos los ensayos, el control visual del inicio de la escorrentía, removilización y generación de formas erosivas (regueros) y deposicionales (lóbulos) fue realizado por las mismas dos personas, provistas de cronómetros.

Además, con anterioridad y posterioridad a los ensayos en las vertientes y lecho del barranco, se realizaron vuelos con dron para la obtención de imágenes para restitución fotogramétrica de modelos digitales de elevación de alta resolución espacial, grabación de los ensayos en vídeo y realización de columnas estratigráficas del depósito de piroclastos, con toma de muestras para granulometría en las zonas de removilización y en los depósitos (lóbulos y mantos).

De tal forma que la secuencia completa y detallada de las tareas realizadas es la siguiente (figura 5):

1. Reconocimiento general del tramo del barranco en el que se realizarán los ensayos, con medición de longitudes y pendientes de las vertientes y fondo del barranco.
2. Levantamiento de columna sedimentológica de la secuencia superficial de tefra en un lateral, fuera de la zona ensayada.
3. Marcaje de puntos de control topográfico en elementos fijos (no removilizables) con pintura en espray.

Figura 5. Tareas para la realización de los ensayos de removilización de piroclastos en las laderas, lecho y replanos del barranco de Tamanca (véase explicación según la numeración en el texto)



4. Toma de coordenadas X, Y y Z de los puntos de control con receptor GPS en modo diferencial con correcciones RTK.
5. Vuelo previo a los ensayos con drones, para posterior restitución fotogramétrica y obtener MDE de alta resolución.
6. Selección de las parcelas de ensayo.
7. Colocación de pluviómetros de copa en los extremos de la parcela de ensayo y un jalón-flexómetro de escala.
8. Ubicación del camión motobomba en posición frontal y de los operarios en la parte superior del vehículo.
9. Selección de la boca o válvula de salida, el caudal y la presión de la manguera.
10. Videograbación y fotografiado del ensayo completo, tanto desde superficie como con un vuelo de dron.
11. Inicio del ensayo, con cronometrado de tiempos y observación del inicio de la escorrentía superficial y la removilización de la tefra.
12. Finalización del ensayo cuando se alcance la removilización significativa, a juicio del coordinador de los ensayos.
13. Medición de la precipitación recogida por los pluviómetros de copa situados en las esquinas de la zona de ensayo.
14. Estimación, si procede, del caudal de salida por la manguera, mediante aforo por cubicación con recipiente (bidón).
15. Vuelo con drones tras los ensayos para posterior restitución fotogramétrica y obtener MDE de alta resolución.
16. Muestreo de la tefra removilizada en los lóbulos y depósitos para análisis granulométrico.

## RESULTADOS

Los ensayos se realizaron tanto durante el proceso eruptivo (16 a 19 de octubre de 2021) como con posterioridad a este, en varias campañas en diciembre de 2021 y abril de 2024. Los resultados preliminares de estos ensayos, pendientes de ser calibrados y validados y, en su caso, completados con otros ensayos en diferentes rangos de valores (granulometría, pendientes, orientación, vegetación...), se enumeran a continuación.

### *Resultados de los ensayos en las microparcels acotadas en interfluvios*

Se realizaron un total de 18 ensayos en microparcels, con granulometría superficial de piroclastos, tanto de lapilli como de ceniza, en un rango de pendientes (S) que oscilaron entre el 8 y el 46 %, y con caudal de lluvia artificial entre 52 y 118 l/min. Los resultados de cantidades de lluvia artificial necesaria para inicio de la escorrentía superficial (umbral de escorrentía,  $P_0$ ) e inicio de la removilización superficial de piroclastos ( $P_c$ ) se recogen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Parámetros de control de los ocho ensayos de lluvia artificial en las microparcels experimentales y resultados de generación de escorrentía y removilización

Ensayo n.º	Pendiente (%)	Sustrato	Espesor (cm)	Caudal (l/min)	Precipitación (l/m <sup>2</sup> ) hasta	
					Escorrentía	Movilización
1	12	Ceniza	4	118	28,0	26,1
2	12	Lapilli	26	118	511,3	
6	15	Piroclastos	30	118	283,9	428,7
7	15	Ceniza	30	118	16,2	33,3
8	55	Ceniza	34	118	68,8	78,6
10	44	Ceniza	34	52	7,8	8,2
14	9	Piroclastos	34	52	36,8	51,0
16	47	Piroclastos	34	52	5,5	5,6

Tabla 2. Parámetros de control de los ensayos de infiltración de agua en la superficie del depósito piroclástico y resultados de los volúmenes específicos

Ensayo n.º	Pendiente (%)	Sustrato	Espesor (cm)	Intensidad de infiltración (l/s)
3		Lapilli	1	0,03
4		Ceniza	1,7	0,01
5		Lapilli	1	0,03
8	55,4	Ceniza	34	0,24
9	55,4	Lapilli	34	0,29
10	44,5	Ceniza	34	0,23
11	44,5	Ceniza	34	0,02
12	44,5	Ceniza	34	0,01
13	44,5	Lapilli	34	0,02
14	34	Piroclastos	0,37	0,22
15	34	Ceniza	0,37	0,20
17	34	Piroclastos	0,37	0,24
18	34	Piroclastos	0,37	0,21

Como puede comprobarse, los valores de precipitación total necesaria para producir el inicio de escorrentía superficial en las microparcels experimentales presentan una amplia dispersión (por encima de un orden de magnitud), entre un máximo de 651,04 l/m<sup>2</sup> y un mínimo de 12,00 l/m<sup>2</sup>. Esto da una idea de la variabilidad espaciotemporal de las variables que controlan los fenómenos físicos que intervienen en la transformación precipitación-escorrentía, y en la complejidad de diseñar ensayos representativos en campo, con todas las variables actuando.

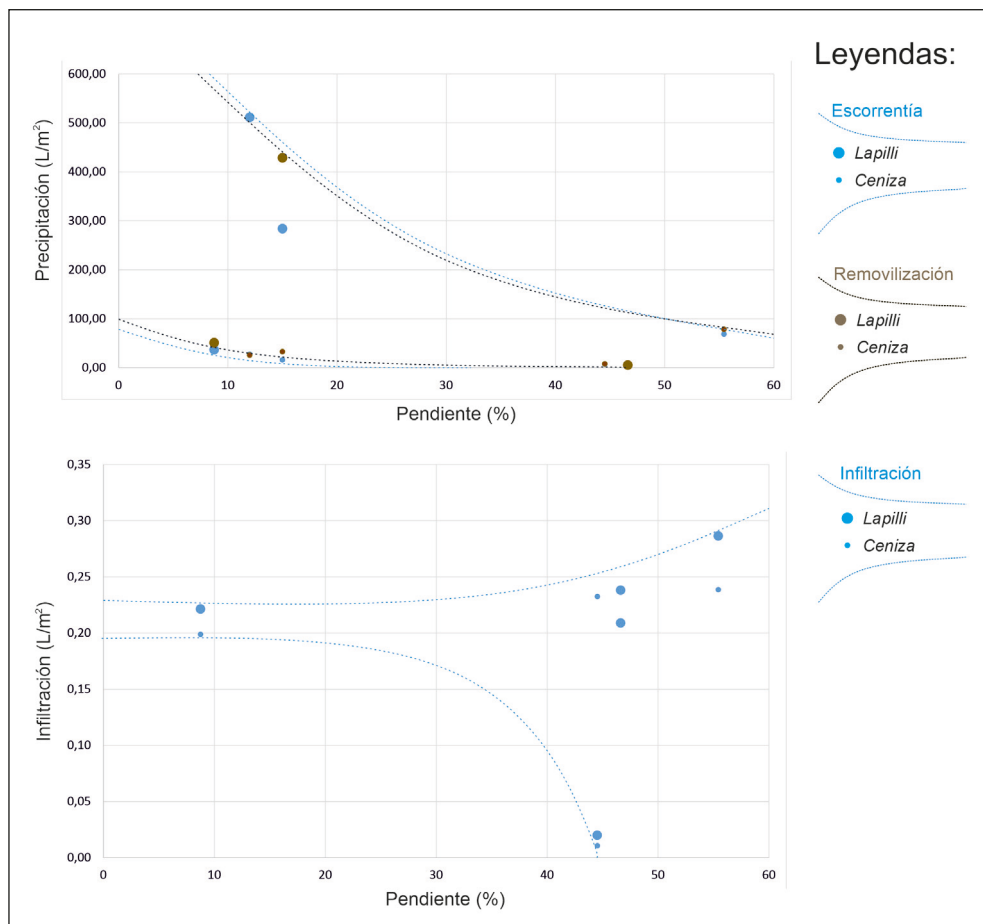
También se puede observar la alta variabilidad en la intensidad de la infiltración areal entre 0,1 y 0,3 l/m<sup>2</sup>·s, reflejo de que la infiltración es un fenómeno altamente no lineal en este tipo de sustratos o suelos, como da a entender la ecuación de Richards para transporte de agua en un medio poroso no saturado (Richards, 1931) y sus soluciones analíticas (Timlin et al., 1999).

Entre todas las variables físicas que pueden ayudar a entender esta variabilidad espacial de los valores se encuentran las morfométricas (pendiente y orientación de la superficie de ensayo) y las características granulométricas del material piroclástico en superficie (lapilli o ceniza). Por ello se han representado la cantidad total de precipitación areal desencadenante de la escorrentía (umbral de escorrentía,  $P_0$ ), la removilización de piroclastos ( $P_r$ ) y las tasas de infiltración frente a la pendiente de la superficie ( $S$ ), diferenciando entre mantos de lapilli y ceniza (figura 6).

Si bien no parece existir un patrón claro de control de la pendiente o la granulometría de la superficie del ensayo en la precipitación para generar escorrentía, sí que parece observarse una cierta tendencia a que con menores pendientes (5-15 %) son precisas mayores cantidades de precipitación (400-500 l/m<sup>2</sup>) para iniciarse la escorrentía en las microparcels, mientras que con mayores pendientes (45-55 %) se necesitan menores cantidades de precipitación (inferiores a 100 l/m<sup>2</sup>). Algo parecido ocurre con la removilización de piroclastos, que requiere variables cantidades altas, de hasta más de 400 l/m<sup>2</sup> para bajas pendientes (8-15 %), frente a las menores precipitaciones areales (también inferiores a 100 l/m<sup>2</sup>) para pendientes elevadas de removilización (45-55 %). Aunque no se observa un control granulométrico significativo, sí que se requieren mayores cantidades de precipitación para la generación de escorrentía y removilización en el lapilli respecto a la ceniza del mismo depósito de tefra.

Todo lo contrario parece ocurrir con las tasas de infiltración, que son mayores (del orden de 0,20 a 0,30 l/m<sup>2</sup>·s) para las mayores pendientes (45 al 55 %), aunque con enorme dispersión de valores y tasas de infiltración ligeramente menores (0,20 a 0,25 l/m<sup>2</sup>·s) para pendientes suaves (5-10 %). Sí que se observa un cierto control granulométrico, con menores tasas de infiltración en cenizas que en lapilli.

Figura 6. Precipitación ( $\text{L/m}^2$ ) para la generación de escorrentía ( $P_0$ ) e inicio de la removilización ( $P_r$ ), y tasas de infiltración ( $\text{L/m}^2\text{-s}$ ) resultantes de los ensayos en microparcelas de piroclastos en superficie con granulometrías de lapilli o ceniza



### Resultados de los ensayos en sectores de laderas y lecho del barranco de Tamanca

Resultados de los ensayos en parcelas de laderas del barranco de Tamanca en diciembre de 2021

En la campaña de diciembre de 2021, aun en situación de emergencia de nivel 2 por la erupción volcánica, se realizaron los 10 primeros ensayos en las vertientes del barranco de Tamanca con objeto de asesorar técnicamente al Comité Científico del PEVOLCA en la previsión de removilizaciones masivas de piroclastos asociadas a eventos de precipitación que agravasen la peligrosidad y generasen riesgos adicionales para la población, sus bienes o los servicios. Se contó con la colaboración de la Unidad

Militar de Emergencias (UME), que aportó dos camiones autobomba de bomberos con su dotación de equipo humano.

Se realizaron en la ladera derecha del barranco de Tamanca, aguas arriba del puente sobre la carretera LP-2, tanto en superficie de piroclastos desnudos como con vegetación arbustiva, con un rango de pendientes (S) del 4 al 37 %, y con caudales de 50, 150, 380 y 600 l/min. Los resultados de esos 10 ensayos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de control de los ensayos de lluvia artificial en los sectores de la ladera del barranco de Tamanca en diciembre de 2021 y su duración

Ensayo n.º	Pendiente (°)	Cobertera del suelo	Caudal (l/min)	Precipitación (l/m <sup>2</sup> ) inicio	
				Escorrentía	Removilización
1	4	Desnudo	600	42,2	75,6
2	6	Desnudo	380	58,4	81,6
3	6	Desnudo	150	32,8	73,3
4	10	Desnudo	50	22,2	22,2
5	37	Arbustos	50	27,8	27,8
6	37	Arbustos	150	33,3	33,3
7	37	Arbustos	380	9,1	9,1
8	37	Arbustos	600	33,3	33,3
9	35	Desnudo	600	94,4	94,4
10	35	Desnudo	150	166,7	166,7

Los valores resultantes de precipitación para que se produzca la escorrentía ( $P_0$ ) y removilización ( $P_r$ ) muestran igualmente una enorme dispersión, nuevamente de un orden de magnitud, entre poco más de 10 l/m<sup>2</sup> y cerca de 100 l/m<sup>2</sup>; e incluso hubo un ensayo con más de 160 l/m<sup>2</sup> que no produjo escorrentía superficial y, por supuesto, tampoco removilización.

Para explicar esta enorme variabilidad en función de los factores condicionantes se ha cruzado la precipitación para generar escorrentía y removilización con la pendiente de la superficie de ensayo y los caudales del ensayo, para observar la posible incidencia de la intensidad de precipitación, y separando la naturaleza de la superficie del ensayo, según sean piroclastos desnudos, cubiertos por vegetación arbustiva o superficies parcialmente rocosas consolidadas (figuras 7 y 8).

Se observa una muy ligera influencia de la pendiente de la superficie de ensayo en la cantidad de precipitación necesaria para la generación de la escorrentía, que solo oscila entre 20 y 60 l/m<sup>2</sup> para pendientes bajas (menores de 10°), y algo menos de 100 l/m<sup>2</sup> para pendientes altas (30-35°). Sí que se observa una influencia significativa de los caudales de precipitación, que prácticamente duplican la cantidad de precipitación total con caudales altos (unos 100 l/m<sup>2</sup> para 600 l/min) respecto a los menores caudales ensayados (unos 40 l/m<sup>2</sup> para 150 l/min).

La variable que resulta claramente discriminante de los valores de precipitación necesarios para inicio de la escorrentía es la naturaleza de la superficie del ensayo, con mayores valores de precipitación necesaria en el caso de superficie de piroclastos desnudos respecto a zonas cubiertas por vegetación arbustiva, aunque sea dispersa.

Figura 7. Precipitación total ( $l/m^2$ ) necesaria para inicio de la escorrentía ( $P_0$ ) en sectores de ladera no acotados con piroclastos desnudos, vegetación arbustiva o ensayos en los que no se llegó a generar escorrentía, para los ensayos de diciembre de 2021, respecto a la pendiente ( $S$ , en grados) y al caudal ( $Q$ , en  $l/min$ )

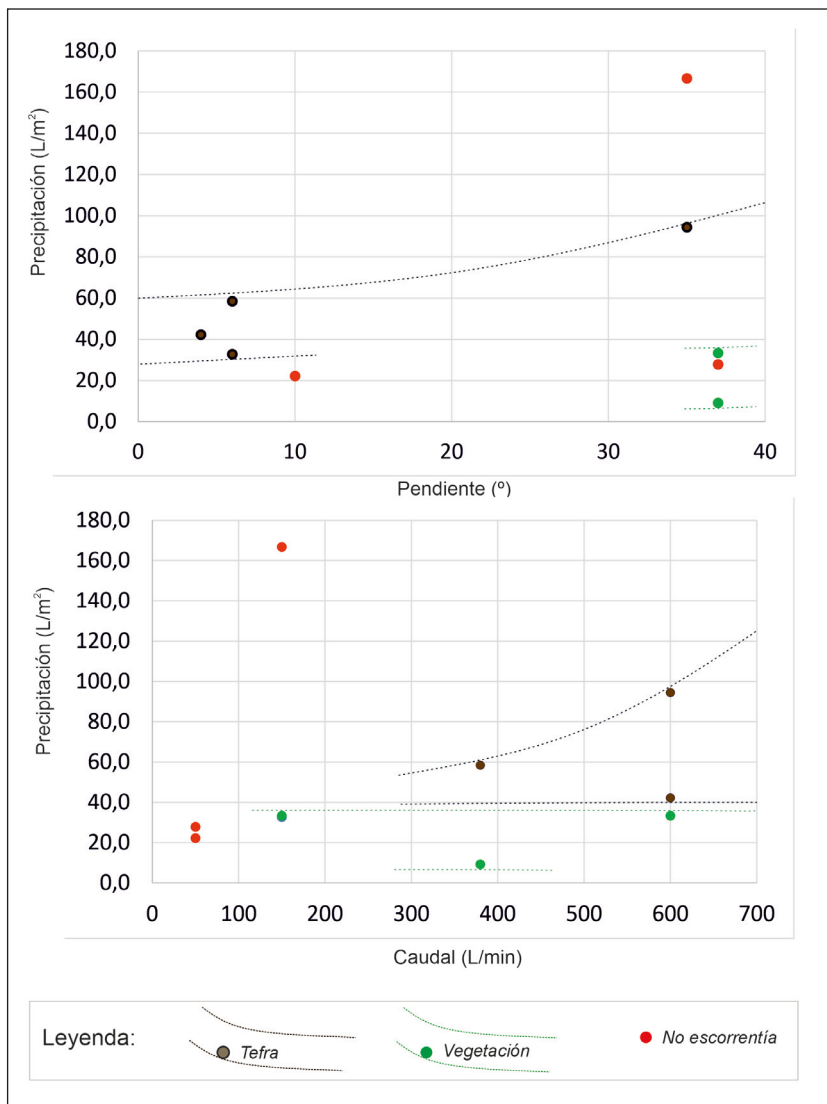
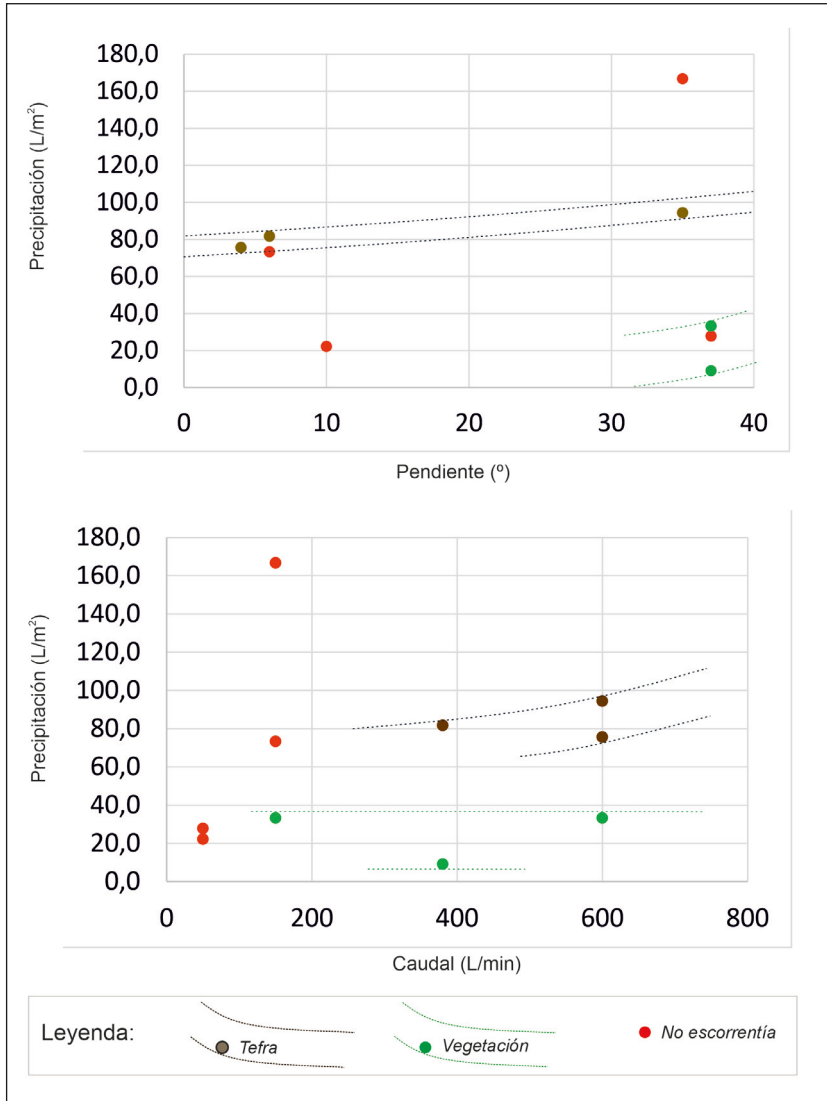




Figura 8. Precipitación total (l/m<sup>2</sup>) necesaria para inicio de la removilización de tefra (P<sub>i</sub>) en sectores de ladera no acotados con piroclastos desnudos, vegetación arbustiva o ensayos en los que no se llegó a producir removilización, para los ensayos de diciembre de 2021, respecto a la pendiente (S, en porcentaje) y al caudal (Q, en l/min).



En el caso de la removilización de los depósitos de tefra, la pendiente de la superficie de ensayo para un mismo tipo de cobertera apenas parece tener influencia en la precipitación total necesaria para su inicio, oscilando tan solo entre 70 y 100 l/m<sup>2</sup> para piroclastos desnudos y pendientes de 5 y 35°,

respectivamente. Tampoco es demasiado significativa la influencia de los caudales de ensayo y, por lo tanto, de la intensidad de la precipitación, aunque se ven precipitaciones totales mayores necesarias para mayores caudales; sí se observa que con caudales menores (bajas intensidades de precipitación) en varios ensayos no se produjo escorrentía, lo que indicaría que el depósito de tefra es capaz de absorber bajas intensidades de precipitación durante periodos significativos de tiempo sin generar una escorrentía capaz de remobilizar las partículas más superficiales.

Nuevamente, el factor condicionante de esta cantidad de precipitación para la remobilización vuelve a ser la naturaleza de la superficie, cobertera o sustrato del ensayo: las superficies de piroclastos desnudos precisan una cantidad de precipitación que duplica o triplica la necesaria para producir la remobilización en zonas cubiertas por vegetación arbustiva.

#### Resultados de los ensayos en parcelas de laderas, lecho y rellanos del barranco de Tamanca en abril de 2024

En la campaña de ensayos desarrollada en abril de 2024, ya en fase de emergencia nivel 1, y con más tiempo y medios humanos y materiales para la coordinación logística de estos, se pudieron realizar 7 nuevos ensayos, alguno de ellos replicando los realizados en diciembre de 2021 y otros con nuevos diseños experimentales (lecho y rellanos de las márgenes del barranco de Tamanca). Sus características y los resultados en precipitaciones y caudales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de precipitación ( $l/m^2$ ), caudal ( $l/s$ ) o volumen vertido (L) para el inicio de la escorrentía (E1), las sucesivas remobilizaciones de piroclastos (R1...R5) y la formación de lóbulos de depósito (L1, L2) de los ensayos de lluvia artificial en los sectores de la ladera, lecho y rellanos de las márgenes del barranco de Tamanca (BT-) en abril de 2024

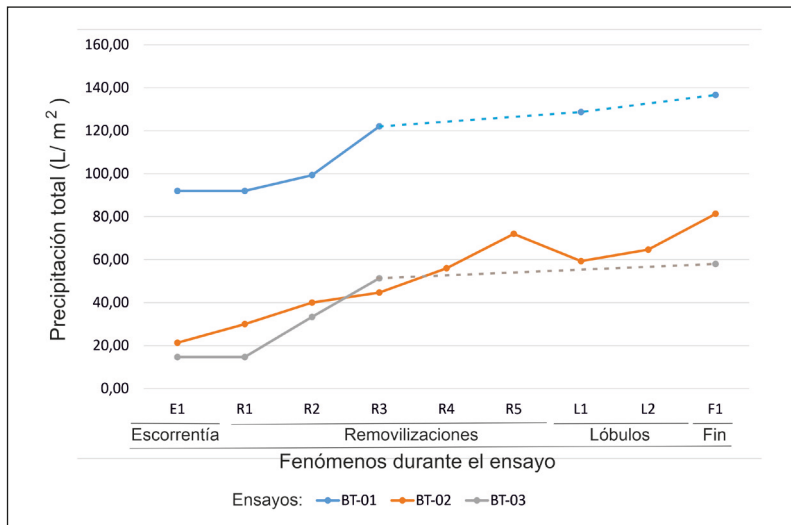
Ensayo n.º	S (°)	Caudal ( $l/min$ )	Precipitación de fenomenología ( $l/m^2$ )							
			Escorrentía	Remobilización					Lóbulos	
				E1	R1	R2	R3	R4	R5	L1
BT-01	32	360	92,00	92,00	99,33	122,00			128,67	
BT-02	31	360	21,33	30,00	40,00	44,67	56,00	72,00	59,33	64,67
BT-03	34	360	14,67	14,67	33,33	51,33				
BT-02b	32	360	126,00	126,00	180,00					
BT-04a	11	23,29		10,48					2,33	6,21
BT-04b	11	89,58							10,45	17,92
BT-05	15	360							30,00	102,00

Los resultados recogidos en la tabla 4 muestran nuevamente una enorme dispersión de valores de precipitaciones, caudales y volúmenes de agua necesarios para el inicio de la escorrentía, remobiliza-

ciones y formación de lóbulos, que oscilan entre 21,33 y 126,00 l/m<sup>2</sup> (escorrentía), 10,48 y 126,00 l/m<sup>2</sup> (primeras removilizaciones), y 2,33 l/s y 128,67 l/m<sup>2</sup> (formación de lóbulos). Todo ello dependiendo del tipo de ensayo (lluvia artificial o vertido de arroyada), la naturaleza de la superficie de ensayo (piroclastos desnudos, vegetación arbustiva o roca consolidada) y su pendiente.

Nuevamente, dentro de un mismo tipo de ensayos (lluvia artificial en las vertientes del barranco), el factor determinante es, más que la pendiente, la naturaleza de la superficie de ensayo. Existe una diferencia sustancial entre la precipitación artificial necesaria para producir escorrentía, removilizaciones y lóbulos cuando los ensayos se realizan sobre piroclastos desnudos (92,00 l/m<sup>2</sup>) respecto a los realizados en zonas parcialmente cubiertas por vegetación arbustiva (21,33 l/m<sup>2</sup>) o sobre superficies de roca consolidada o cementada (14,67 l/m<sup>2</sup>). Es más, se observa un incremento creciente en estos tres ensayos desde la generación de escorrentía, las sucesivas removilizaciones y formación de lóbulos (figura 9).

Figura 9. Precipitación total (l/m<sup>2</sup>) necesaria para inicio de la escorrentía (E) removilización de tefra (R) y formación de lóbulos de depósito (L) en sectores de ladera no acotados con piroclastos desnudos (BT-01), vegetación arbustiva (BT-02) o afloramientos de rocas consolidadas en cabecera (BT-03)



### Resultados de los análisis granulométricos de los piroclastos y sus removilizaciones en el barranco de Tamanca en abril de 2024

Se muestrearon y analizaron en torre de tamices los depósitos piroclásticos de las laderas y lecho del barranco de Tamanca, tanto para la tefra sin movilizar previa a los ensayos como para el material de los lóbulos de depósito del material removilizado. Los resultados de los análisis granulométricos de las ocho muestras se exponen en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los análisis granulométricos con torre de tamices para las ocho muestras de los piroclastos de las laderas y lecho de las removilizaciones del barranco de Tamanca

Tamices a.s.t.m.		Muestra							
		BT-01-R	BT-01-L	BT-02-R	BT-02-L	BT-04-R	BT-04-L	BT-05-R	BT-05-L
n.º	Abertura (mm)	Porcentaje de la muestra que pasa por el tamiz (%)							
4	5	100	100	100	100	100	100	100	100
10	2	94,45	98,62	96,90	99,23	89,43	88,91	94,57	96,29
16	1,2	91,85	94,57	95,57	98,71	85,75	86,39	71,67	89,42
30	0,6	62,85	65,98	70,80	78,96	58,47	54,44	24,21	57,56
50	0,3	30,37	33,63	41,14	32,69	34,17	27,91	8,24	25,05
100	0,15	14,48	14,90	17,42	8,88	19,83	16,10	6,61	10,40
200	0,075	8,52	6,38	7,26	2,49	14,48	12,42	6,01	5,93

En color verde, las fracciones de muestra que experimentan un incremento del porcentaje de muestra retenida entre la situación previa al ensayo de removilización (R) y el depósito en los lóbulos (L); en color rojo, las que experimentan un decrecimiento o descenso del porcentaje entre antes y después del ensayo.

De cara a conocer si en las removilizaciones se produce una erosión, transporte y removilización selectivas de los piroclastos según las granulometrías, o un efecto tamizado, gradación o sesgo de tamaños, se puede deducir de los resultados (tabla 6):

- En los ensayos de precipitación en vertiente o talud de tefra (BT-01), se produjo una ligera granoselección, con removilización de la fracción fina de la referencia a los lóbulos.
- En los ensayos en vertiente o talud de tefra sobre tabla (BT-02), se produjo una ligera granoselección, con removilización de la fracción gruesa de la referencia a los lóbulos.
- En el ensayo en escorrentía concentrada en llano sobre tabla (BT-04), se produjo una severa granoselección, con removilización de la fracción gruesa de la referencia a los lóbulos.
- En el ensayo en escorrentía concentrada en reguero (BT-05) se produjo una severa granoselección con removilización de la fracción media de la referencia a los lóbulos.

## DISCUSIÓN

Como se puede observar en los resultados preliminares y su amplia variabilidad y dispersión espaciotemporal, los valores obtenidos tienen limitaciones, fuentes de error e incertidumbres que tener en cuenta en su interpretación, y que derivan de:

- Un número limitado de ensayos, algunos sin las réplicas necesarias, lo que hace que los resultados cuantitativos no sean estadísticamente significativos, tan solo válidos cualitativamente para ser comparados entre sí.
- Los problemas logísticos surgidos durante el desarrollo de los ensayos, como: disponibilidad limitada de los medios humanos y recursos materiales, especialmente durante la emergencia por erupción volcánica; la falta de control de caudales exactos vertidos por los camiones autobomba; los vientos racheados durante los ensayos, que desviaban la columna de precipitación haciendo que la caída no fuera uniforme en toda la superficie ensayada; la altura y velocidad de caída de las gotas de lluvia, que no pudo garantizarse que fuera uniforme; así como la superficie de aplicación, que fue variable en los ensayos y difícilmente cuantificable con precisión.
- La componente de subjetividad de los observadores en la detección y anotación de la fenomenología (escorrentía, removilización, formación de lóbulos), a pesar de que se trató de mantener a las mismas personas y criterios homogéneos.

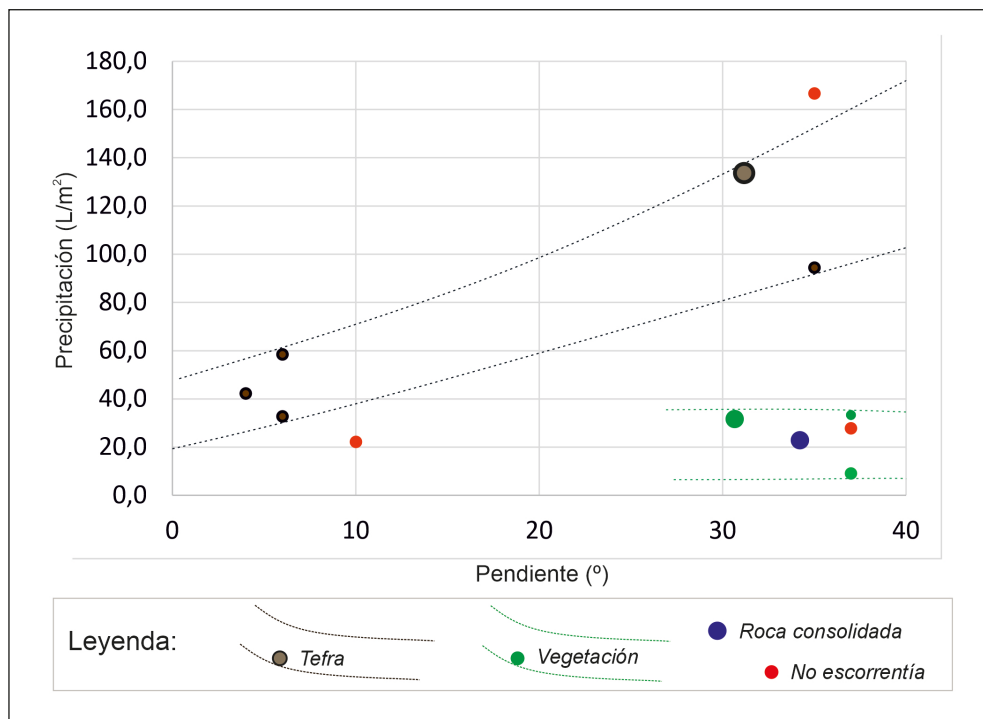
A pesar de ello, cuando se correlacionan los resultados de las diferentes campañas de ensayos, especialmente aquellos que han sido replicados, como los de las vertientes de las márgenes del barranco de Tamanca, se observa una lógica y coherencia, pudiendo establecerse ciertos umbrales o límites superiores para los valores de inicio de la escorrentía y removilización en función de las diferentes variables (figuras 10 y 11).

Como ya se observaba en los resultados parciales de los distintos ensayos, también en las gráficas totales de los ensayos de generación de la escorrentía e inicio de la removilización (figuras 10 y 11) se comprueba que la pendiente de la superficie tiene cierta incidencia en la precipitación total necesaria, pero la variable discriminante que mayor influencia tiene en los resultados es el tipo de superficie donde se realizaron los ensayos.

Efectivamente, pueden definirse varios sectores en la figura 11, con líneas que separan los valores de precipitación necesaria para removilizar los piroclastos cuando la superficie tiene tefra desnuda (valores entre 70 y 140 l/m<sup>2</sup>), de los de cubierta con vegetación arbustiva (entre 10 y 45 l/m<sup>2</sup>) o los de roca consolidada (sobre 20 l/m<sup>2</sup>).

La granulometría de los piroclastos y la pendiente, aunque a pequeña escala (microparcelas experimentales), pueden tener cierta incidencia; en las vertientes de los barrancos y en mesoescala y macroescala únicamente matizan esos intervalos de valores. Además, la pendiente parece condicionar la génesis de la escorrentía y el inicio de la removilización de piroclastos en sentido inverso a lo que podría pensarse, al menos en las superficies de tefra desnuda: a mayores valores de pendiente de las vertientes, mayor es la precipitación necesaria para iniciar ambos fenómenos. La influencia de la infiltración diferencial (Jones et al., 2017) y del flujo subsuperficial (con saturación del flujo en superficie en la base de la ladera) en estos medios porosos, pero tan anisótropos, podría explicar esta aparente contradicción.

Figura 10. Precipitación total ( $l/m^2$ , en ordenadas) frente a la pendiente (% en abscisas) necesarias para el inicio de la escorrentía en sectores de ladera no acotados con piroclastos desnudos, vegetación arbustiva o ensayos en los que no se llegó a generar escorrentía, para todos los ensayos realizados (diciembre de 2021, puntos pequeños; y abril de 2024, puntos grandes)

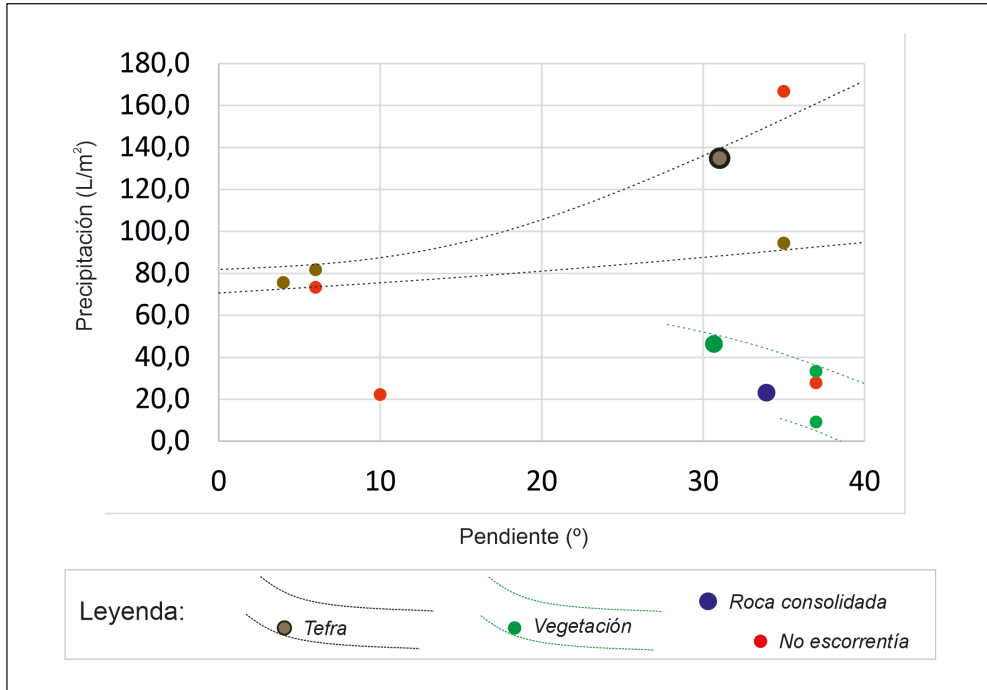


Estos resultados son básicos y fundamentales en su aplicación práctica para alimentar modelos numéricos de simulación de removilizaciones de piroclastos que podrían dar lugar a flujos no newtonianos (comúnmente agrupados como flujos de derrubios, flujos hiperconcentrados o lahares). Esperamos que permitan obtener escenarios y cartografías de susceptibilidad de desencadenamiento y desplazamiento de los flujos, y realizar mapas de peligrosidad y riesgo por lahares (Iverson et al., 1998).

Las aproximaciones metodológicas habituales de estos modelos y sus aplicaciones (Pierson et al., 2014) suelen fundamentarse en formulaciones de estabilidad de laderas y taludes (Baumann et al., 2018), en las que las variables discriminantes suelen ser la pendiente y las propiedades geomecánicas de los materiales (granulometría, cohesión; Fairchild, 1987).

Pero, precisamente por la importancia demostrada en nuestros ensayos de otras variables distintas a la pendiente de la superficie del terreno, en las aproximaciones metodológicas y modelos numéricos de simulación de flujos y cartografía de peligrosidad y riesgo deberían primarse, al menos en este caso, no solo la estabilidad de laderas (Miranda-Hardisson et al., 2023) y los movimientos del terreno (flujos granulares gravitacionales en seco), sino también la transformación de la precipitación en escorrentía

Figura 11. Precipitación total (l/m<sup>2</sup>, en ordenadas) frente a la pendiente (% en abscisas) necesarias para inicio de la removilización de piroclastos en sectores de ladera no acotados con piroclastos desnudos, vegetación arbustiva o ensayos en los que no se llegó a generar escorrentía, para todos los ensayos realizados (diciembre de 2021, puntos pequeños; y abril de 2024, puntos grandes)



(superficial y subsuperficial; Jones et al., 2015), incluyendo la precipitación antecedente (Jones et al., 2017), con módulos hidrológicos en modelos hidrodinámicos que permitan incorporar la reología de flujos no newtonianos, como se está ensayando para el caso de aludes de nieve o roturas de balsas de lodos, entre otros fenómenos análogos.

En definitiva, como principal aportación de estos ensayos a la prevención futura de eventos extremos de removilización de piroclastos (lahares) y reducción de los daños asociados, se podría proponer que, en las metodologías de análisis y simulación, se tomen en consideración otras variables además de la pendiente y la geotecnia, como es la génesis de la escorrentía y su concentración en determinadas superficies y coberteras, que pueden ser fácilmente integradas mediante reclasificaciones y álgebra de mapas mediante sistemas de información geográfica.

## CONCLUSIONES

Aunque se trata de un número de ensayos muy pequeño, con las limitaciones metodológicas y logísticas anteriormente expuestas, a modo de resumen se han obtenido las siguientes conclusiones provisionales:

- En las microparcels experimentales de los interfluvios existe una tenue relación directa del inicio de la escorrentía con las pendientes e intensidades de precipitación, e inversa con la granulometría de los piroclastos.
- En las vertientes de los barrancos, los umbrales de escorrentía ( $P_0$ ) y de removilización ( $P_r$ ) sobre tefra desprovista de vegetación, oscila entre valores de 70 y 90 l/m<sup>2</sup>, según la pendiente; mientras que  $P_0$  y  $P_r$  toman un valor cuatro veces inferior a dichos umbrales cuando la precipitación se produce sobre vegetación arbustiva (20 l/m<sup>2</sup>) o roca consolidada (15 l/m<sup>2</sup>).
- La pendiente de la ladera parece tener poca incidencia y, además, tiene una relación directa con los umbrales (a mayor pendiente, mayores umbrales), en contra de lo que parece lógico para movimientos gravitacionales y escorrentía hortoniana clásica.
- La concentración de la precipitación, por superficies impermeables o vegetadas, formando escorrentía, parece ser la principal acción que produce la removilización de la tefra, muy por encima de su granulometría o la pendiente.
- La vegetación arbórea y arbustiva tiene un papel clave en la concentración de la precipitación por escurrimiento cortical, lo que altera localmente el balance entre infiltración y escorrentía, facilitando el inicio de los flujos de removilización hídrica no newtonianos.

Por lo tanto, y a modo de conclusión global, el principal control del desencadenamiento de las removilizaciones hídricas en depósitos de tefra tras erupciones estrombolianas no es la pendiente ni la granulometría, sino la disponibilidad hídrica de escorrentía concentrada por efecto de superficies impermeables o de concentración al pie de afloramientos rocosos, ejemplares arbóreos y arbustivos o fondo de vaguadas con flujo subsuperficial. Esta cuestión debería ser tenida en consideración en los análisis de peligrosidad volcánica para su inclusión en los modelos de simulación de lahares, que deberían incorporarse a la cartografía de peligrosidad y riesgo volcánico. Especialmente necesarios son estos estudios en contextos de erupciones de tipo hawaiano o estromboliano, con bajos índices de explosividad, donde la emisión de lavas y piroclastos son menos peligrosos, aunque sí que lo pueden ser fenómenos secundarios o indirectos como lahares y flujos no newtonianos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer su inestimable colaboración y ayuda en la realización de los ensayos e investigaciones a los responsables (director y directora adjunta), agentes medioambientales, conductores y el resto del personal del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente; responsables y técnicos de emergencias



(CECOPIN), Protección Civil, bomberos y Servicio de Medioambiente del Cabildo Insular de La Palma; responsables y técnicos de la red de carreteras del Gobierno de Canarias; Unidad Militar de Emergencias (UME; Ministerio de Defensa) y su dotación de recursos humanos y medios técnicos.

#### FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las investigaciones científicas en las que se enmarcan los ensayos presentados están financiadas por: Proyecto Intramural Especial (PIE) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) titulado “Investigación geológica de la erupción de 2021 en Cumbre Vieja” (referencia 20223PAL002), que incluye el Objetivo 3 ‘Estudio de flujos hiperconcentrados’; proyecto “Investigación Geológica dirigida a la recuperación de la Isla de la Palma tras la erupción del volcán 2021” (GEOPALMA; referencias BDC CSIC 20223TE006 y Gobierno de Canarias 227G0165), financiado por el Gobierno de Canarias, dentro del Plan de Recuperación de la Isla de La Palma; y la subvención 2023-2026 firmada entre la Dirección General del Agua (DGA, MITERD) y el CSIC, en la que se incluye la actuación “Morfodinámica sedimentaria” (referencia BDC CSIC 20233TE012), proyecto Tarquín 2 (referencia 3157 del IGME-CSIC). Igualmente, una de las autoras (K.P. Sandoval) disfruta de una ayuda para la contratación de personal investigador predoctoral en formación PIPF-2022/ECO-24879, financiada por la Comunidad de Madrid.

#### REFERENCIAS

- Baumann, V., Bonadonna, C., Cuomo, S., Moscariello, M., & Manzella, I. (2018). Slope stability models for rainfall-induced lahars during long-lasting eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 359, 78-94.
- Bautista, L. (2022): Despliegue “sin precedentes” para retirar más de 10.000 toneladas de ceniza en La Palma. *ABC Canarias*, 10-01-2022. [https://www.abc.es/espana/canarias/abci-desplieguesin-precedentes-para-retirar-mas-10000-toneladasceniza-palma-202201101820\\_noticia.html](https://www.abc.es/espana/canarias/abci-desplieguesin-precedentes-para-retirar-mas-10000-toneladasceniza-palma-202201101820_noticia.html) (acceso junio 2022).
- Benito, E., De Blas, E., Santiago, J. L., & Varela, M. E. (2001). Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 26, 211-220.
- Bonadonna, C., Pistolesi M., Domínguez, L., Freret-Lorgeril, V., Rossi, E., Fries, A., Biass, S., Voloschina, M., Lemus, J., Romero J. E., Zanon, V., Pastore, C., Reyes Hardy, M.-P., Di Maio, L. S., Gabellini, P., Martín-Lorenzo, A., Rodríguez, F., & Pérez, N. M. (2023). Tephra sedimentation and grain size associated with pulsatory activity: the 2021 Tajogaite eruption of Cumbre Vieja (La Palma, Canary Islands, Spain). *Front. Earth Sci.*, 11, 1166073. doi: 10.3389/feart.2023.1166073
- Cerdà, A. & Jordán, A. (2010). Métodos para la cuantificación de la pérdida de suelo y aguas tras incendios forestales, con especial referencia a las parcelas experimentales. En: *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales* (capítulo 2.5, pp. 187-241). Cátedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, FUEGORED.

- Chhoden, T., Kumara Karunarathana, A., Kawamoto, K., Komatsu, T., & Moldrup, P. (2009). Water Repellency Effects on Water Retention in Heat Pre-treated Volcanic Ash Soil. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2009*, abstract id. H11E-0864.
- Day, J. M. D., Geiger, H., Troll, V. R., Pérez-Torrado, F. J., Aulinas, M., Gisbert, G., & Carracedo J. C. (2022). Bouncing Spallation Bombs During the 2021 La Palma Eruption, Canary Islands, Spain. *Earth Science, Systems and Society*. 2:10063. DOI: 10.3389/ess.2022.10063
- Díez Herrero, A., Hernández Ruiz, M., López Gutiérrez, J., Vegas, J., Martínez-Martínez, J., Mediato, J. F., Perucha, M. A., Garrote, J., Lorenzo, J. H., Sánchez, N., & Galindo, I. (2023). Génesis de la escorrentía superficial y removilización por flujos no newtonianos de los depósitos piroclásticos de la erupción volcánica de 2021 en La Palma. En Desir, G., Nadal, E., & Regués, D. (eds.). *Libro actas de la XVI Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 76-77). Sociedad Española de Geomorfología.
- Díez-Herrero, A., Hernández Ruiz, M., López Gutiérrez, J., Martínez-Martínez, J., Mediato, J. F., Perucha, M. A., Garrote, J., Sánchez, N., Galindo, I., & Lorenzo, J. H. (2024). Caracterización morfodinámica de las removilizaciones de tefra por flujos hídricos no newtonianos post-eruptivos en el Volcán de Tajogaite. *Geo-Temas*, 20, 989.
- Fairchild, L. H. (1987). The importance of lahar initiation processes. *Reviews in Engineering Geology*, 7, 51-62.
- Galárraga, R. (2005). *SABO in Ecuador*. November 20-26, 2005. Water Sciences Unit, Department of Civil and Environmental Engineering, Lima-Perú. Escuela Politécnica Nacional-Quito, Ecuador.
- Iverson, R. M., Schilling, S. P., & Vallance, J. W. (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. *Geological Society of America Bulletin*, 110(8), 972-984.
- Jones, R., Manville, V., & Andrade, D. (2015). Probabilistic analysis of rain-triggered lahar initiation at Tungurahua volcano. *Bulletin of Volcanology*, 77, 1-19.
- Jones, R., Thomas, R. E., Peakall, J., & Manville, V. (2017). Rainfall-runoff properties of tephra: Simulated effects of grain-size and antecedent rainfall. *Geomorphology*, 282, 39-51.
- Larrasoña, J. C., Mata, M. P., Pérez-Landazábal, J. I., Gómez-Polo, C., Garayo, E., Espeso, J. I., López-Ortega, A., Rodríguez-Pascua, M. A., Perucha, M. A., Martínez-Martínez, J., Pérez-López, R., López-Gutiérrez, J., Mediato, J. F., Vegas, J., Galindo, I., & Sánchez, N. (2024). Propiedades magnéticas de los depósitos piroclásticos del volcán Tajogaite (La Palma, Islas Canarias) y su aportación al conocimiento sobre la evolución de la erupción de 2021. *Geotemas*, 20, 997.
- Mata, M. P., Ordóñez-Casado, B., del Moral, B., Mediato Arribas, J. F., Bellido Martín, E., Castillo, M., Vegas, J., Martínez Martínez, J., Sánchez-España, J., Pérez, R., Sánchez, N., & Galindo, I. (2022). Composición del material piroclástico de la erupción de 2021 en Cumbre Vieja (Isla de La Palma). *Macla*, 26, 116-117.
- Mediato, J. F., Martínez-Martínez, J., Montoya, I., Lozano, G., Perucha, M. S., Vegas, J., Rodríguez Pascua, M. A., Pérez López, R., Díez Herrero, A., Sanz Mangas, D., López Gutiérrez, J., Mateos, R. M., Sánchez, N., & Galindo, I. (2023). Wind influence on volcanoclastic deposits of 2021 eruption in La Palma (Canary Islands). Theme 9. Volcaniclastic deposits, Special Session 9.1. Volcanism and

- sedimentology. Poster presentation. *36th International Meeting of Sedimentology*, June 12-16, 2023, Dubrovnik, Croatia, *Abstracts Book*, p. 306. Croatian Geological Society (HGD).
- Miranda-Hardisson, A., González de Vallejo, L., Rodríguez-Losada, J. A., Hernández-Gutiérrez, L., De Villepreux, E., Álvarez-Hernández, A., Cervigón Tomico, G., De los Ríos Díaz, H., Afonso-Falcón, D., & Pérez, N. M. (2023). Stability analysis of the Tajogaite volcano slopes and lahar hazards for reconstruction and land planning in the affected areas, La Palma, Canary Islands. *EGU General Assembly 2023*. Viena, Austria, 24-28 Apr 2023, EGU23-6926. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-6926>
- Mongil Manso, J. (2010). Adaptación de las tablas del Número de Curva para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (isla de La Palma, España). *Boletín Geológico y Minero*, 121(2), 179-188.
- Montoya, I., Vegas, J., Mediato, J. F., Rodríguez-Pascua, M. A., Pérez-López, R., Martínez-Martínez, J., López-Gutiérrez, J., Perucha, M. A., Galindo, I., Díaz-Muñoz, J. A., Lozano, G., Díez-Herrero, A., Mateos, R., López, J. M., Galindo, E., & Sánchez, N. (2024). Evolución espacial y temporal de la dispersión de tefra en la erupción de 2021 en la isla de La Palma. *Geo-Temas*, 20, 1014.
- Ontiveros-Ortega, A., Moleón-Baca, J. A., Mesa, R. H., Abad, I., & Sánchez-Gómez, M. (2023). Heterogeneities in the Cohesion of the Deposits of the 2021 Tajogaite Eruption of La Palma (Canary Islands, Spain). *Geosciences*, 13, 346. <https://doi.org/10.3390/geosciences13110346>
- Pérez-López, R., Silva, P. G., Sanz-Mangas, D., Ezquerro, P., Bru, G., Rodríguez-Pascua, M. A., Élez, J., Giner-Robles, J. L., & Galindo, I. (2024). Evolución morfométrica del cono monogenético de Tajogaite durante la erupción de La Palma (2021). *Geotemas*, 20, 1025.
- PEVOLCA (2021). *Resumen de datos del proceso eruptivo*. Comité Científico del Plan de Emergencia Volcánica de Canarias, 2 pp. <https://www.gobiernodecanarias.org/emergencias/planes-de-emergencias/pevolca.html> (acceso junio 2022).
- Pierson, T. C., Wood, N. J., & Driedger, C. L. (2014). Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *Journal of Applied Volcanology*, 3, 1-25.
- Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, 1(5), 318-333. Doi: 10.1063/1.1745010.
- Rodríguez-Pascua, M. A., Pérez-López, R., Perucha, M. A., Sánchez, N., López-Gutiérrez, J., Mediato, J. F., Sanz-Mangas, D., Lozano, G., Galindo, I., García-Davalillo, J. C., Lorenzo, C., & Béjar, M. (2024). Las fallas activas responsables de la erupción del Tajogaite 2021 (La Palma, Islas Canarias, España). *Geotemas*, 20, 1028.
- Romero, J. E., Burton, M., Cáceres, F., Taddeucci, J., Civico, R., Ricci, T., Pankhurst, M. J., Hernández, P. A., Bonadonna, C., Llewellyn, E. W., Pistolesi, M., Polacci, M., Solana, C., D'Auria, L., Arzilli, F., Andronico, D., Rodríguez, F., Asensio-Ramos, M., Martín-Lorenzo, A., Hayer, C., Scarlato, P., & Pérez, N. M. (2022). The initial phase of the 2021 Cumbre Vieja ridge eruption (Canary Islands): Products and dynamics controlling edifice growth and collapse. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431, 107642. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107642>

- Sáez-Gabarrón, L., Galindo, I., Sanz-Mangas, D., Vegas, J., García-Davalillo, J. C., Hernández, M., Pérez-López, R., Camuñas, C., Lorenzo Carnicero, C., Rodríguez-Pascua, M. A., Perucha, M. A., López Gutiérrez, J., Lozano, G., & Sánchez, N. (2024). Evolución de los deltas de lava durante la actividad volcánica de 2021 en La Palma (Islas Canarias). *Geotemas*, 20, 1031.
- Sala, M. & Gallart, F. (eds.) (1988). *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*. Monografía n.º 1. Barcelona: Sociedad Española de Geomorfología.
- Sanz-Mangas, D., Lozano, G., Galindo, I., Vegas, J., Pérez-López, R., López-Gutiérrez, J., García-Davalillo, J. C., Hernández, M., Camuñas, C., Lorenzo, C., Rodríguez-Pascua, M. A., Perucha, M. A., Sáez-Gabarrón, L., & Sánchez, N. (2024). Cartografía geológica del campo de lavas del Volcán de Tajogaite (2021), La Palma. *Geotemas*, 20, 1039.
- Timlin, D. J., Ahuja, L. R., Pachepsky, Y., Williams, R. D., Giménez, D., & Rawls, W. (1999). Use of Brooks Corey parameters to improve estimates of saturated conductivity from effective porosity. *Soil Sci.*, 63(5), 1086-1092. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351086x>
- Vegas, J., Baeza, E., Cabrera, A., Díez-Herrero, A., Galindo, I., Sánchez, N., Mediato, J. F., Martínez-Martínez, J., López-Gutiérrez, J., Rodríguez-Pascua, M. A., Perucha, M. A., Moreno, X., Pérez-López, R., Lozano, G., & Baeza, E. (2022). Geoconservación *ex situ* de patrimonio geológico efímero durante una emergencia volcánica: la erupción de La Palma 2021. *Geo-Temas*, 19, 91-94.
- Voight, B. (1990). The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 42(1-2), 151-188.
- Williams, G. T., Jenkins, S. F., Lee, D. W. J., & Wee, S. J. (2021). How rainfall influences tephra fall loading - an experimental approach. *Bulletin of Volcanology*, 83, 42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01465-0>
- Zehetner, F. & Miller, W. (2006). Erodibility and runoff-infiltration characteristics of volcanic ash soils along an altitudinal climosequence in the Ecuadorian Andes. *Catena*, 65(3), 201-213. DOI: 10.1016/j.catena.2005.10.003

Cómo citar este artículo:

Díez-Herrero, A., Hernández Ruiz, M., López Gutiérrez, J., Martínez-Martínez, J., Mediato, J. F., Vegas, J.; Perucha, M. Á., Vázquez-Tarrió, D., Sandoval-Rincón, K. P., Garrote, J., Heriberto Lorenzo, J., Bladé i Castellet, E., Sanz-Ramos, M., Sánchez, N., & Galindo, I. (2024). Ensayos en campo de removilización hídrica de piroclastos del volcán de Tajogaite de 2021 (La Palma, Islas Canarias). *Cuadernos de Geografía*, 112, 231-260. <https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29566>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

ELOY DEL ROSARIO RODRÍGUEZ<sup>a</sup>  
LEVÍ GARCÍA ROMERO<sup>b</sup>  
EMMA PÉREZ-CHACÓN ESPINO<sup>c</sup>

## ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA PRESIÓN HUMANA DURANTE EVENTOS FESTIVOS: APLICACIONES A LA GESTIÓN DE LA NOCHE DE SAN JUAN EN LA PLAYA URBANA DE LAS CANTERAS (LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, ESPAÑA)

### RESUMEN

Se analizan, desde una perspectiva geográfica, los efectos de la celebración de la noche de San Juan en la playa urbana de las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria). El estudio espaciotemporal de la distribución de las personas se realiza mediante el análisis de fotografías síncronas tomadas en diferentes puntos de la playa, y su tratamiento posterior a partir de sistemas de información geográfica. Los resultados permiten sectorizar dónde y en qué momentos se supera la capacidad de carga de la playa, así como la relación entre las zonas más congestionadas y la localización del escenario donde se realizan

---

a Grupo de Investigación de Geografía, Medio Ambiente y Tecnologías de la Información Geográfica GEOTIGMA, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC. C/ Pérez del Toro, 1, 35003 Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas, España. eloy.rosario101@alu.ulpgc.es, <https://orcid.org/0009-0001-3926-5810>

b Departamento de Geografía. Grupo de Investigación de Geografía, Medio Ambiente y Tecnologías de la Información Geográfica, GEOTIGMA, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC. C/ Pérez del Toro, 1, 35003 Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas, España. levi.garcia@ulpgc.es, <https://orcid.org/0000-0002-4985-9073>

c Departamento de Geografía. Grupo de Investigación de Geografía, Medio Ambiente y Tecnologías de la Información Geográfica, GEOTIGMA, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC. C/ Pérez del Toro, 1, 35003 Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas, España. emma.perez-chacon@ulpgc.es, <https://orcid.org/0000-0002-1448-8364>

Fecha de recepción: 02-08-2024. Fecha de aceptación: 27-09-2024.

las actuaciones. En conjunto, estos hallazgos han sido de gran utilidad para la gestión de la playa pues, junto a otros informes, han servido para justificar técnicamente el traslado de las actuaciones fuera del entorno de la playa, con el fin de preservar su uso sostenible.

**PALABRAS CLAVE:** playa urbana; capacidad de carga; análisis geográfico; gestión de eventos multitudinarios.

GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF HUMAN PRESSURE RELATED  
TO FESTIVE EVENTS: APPLICATIONS TO MANAGEMENT  
OF THE CELEBRATION OF SAINT JOHN'S EVE ON THE URBAN BEACH  
OF LAS CANTERAS (LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, SPAIN)

ABSTRACT

An analysis is undertaken from a geographical perspective of the effects of the celebration of Saint John's Eve on the urban beach of las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria, Canary Islands, Spain). A spatio-temporal study of the distribution of people is performed by analysing synchronous photographs taken at different points on the beach which are subsequently processed through geographic information systems. The results allow the sectorization of where and when the carrying capacity of the beach is exceeded, as well as the determination of the relationship between the most congested areas and the location of the stage where the events are performed. Overall, the findings provide useful information for management of the beach as, together with other reports, they serve to technically justify relocation of the activities undertaken outside the beach environment in order to preserve its sustainable use.

**KEYWORDS:** urban beach; carrying capacity; geographic analysis; large-scale event management.

INTRODUCCIÓN

Los litorales constituyen uno de los espacios más apreciados por las sociedades actuales (Cerdá, 2002). La ocupación que estos han experimentado en España ha supuesto, en muchos casos, su intensa artificialización y la generación de numerosos problemas ambientales. En paralelo, el conocimiento científico del litoral es una clave fundamental para su gestión sostenible, por lo que, desde estas líneas, agradecemos a la profesora Segura sus investigaciones sobre diversos aspectos del litoral mediterráneo. Aunque sus mayores aportaciones se centran en el estudio de los procesos fluviales, también recorre el camino de los cursos de agua hacia el mar, analizando lo que sucede en sus desembocaduras (Segura, 1993), la evolución cuaternaria de las albuferas (Segura et al., 1995), los cambios que se producen en la costa del golfo de Valencia (Sanjaume et al., 1996) o el estudio de las lagunas costeras (Sanjaume et al., 2019). A su vez, afronta el análisis diacrónico del delta del Ebro, a partir de cartografía histórica, fotografías aéreas y mapas topográficos (Manzana et al., 2016), aportando valiosa información sobre la evolución de esta llanura deltaica, actualmente con tantos problemas de gestión ambiental. En definitiva, con sus aportaciones podemos aprender, como ella misma señala, qué sucede “Quan la mar envaeix les

desembocaduras fluviales” (Segura, 2012, p. 45). Y aunque ese título se refiere a la formación de calas en costas mediterráneas calizas, se puede utilizar como una buena metáfora para comprender que los ríos o barrancos, y las desembocaduras, son parte de un mismo sistema, cuestión también extrapolable a la comprensión integrada de los litorales.

Entre los diversos tipos de litorales, aquellos que poseen playas son muy valorados. No sólo como recurso, para el turismo de “sol y playa”, sino también como espacio de ocio para la población local (Enríquez et al., 2018). En las últimas décadas, muchas playas del litoral español se han convertido en escenario de eventos festivos multitudinarios. Aunque se trata de una cuestión todavía escasamente estudiada, los efectos de esta práctica comienzan a ser conocidos, y apuntan a la existencia de impactos negativos significativos en estos ecosistemas, desde la zona supramareal hasta la submareal, así como en la población residente en el entorno de las playas, cuando estas son urbanas o semiurbanas. Entre esos impactos destaca la contaminación por desechos y la alteración de los ecosistemas costeros.

Por lo que respecta a la primera cuestión, las fiestas en playas generan una gran cantidad de desechos, incluyendo plásticos y otros residuos sólidos, que terminan en el mar. Estos desechos pueden afectar negativamente a la fauna marina, dañando hábitats críticos y poniendo en riesgo a las especies que ingieren o quedan atrapadas en la basura marina (Sheavly y Register, 2007). Reverté y Pérez (2017) insisten en este aspecto señalando que, entre las grandes cantidades de basura, generadas por estos eventos, se incluyen plásticos, botellas, latas y colillas de cigarro, entre otras. Belzagui y Gutiérrez-Bouzán (2021) destacan el impacto negativo de las colillas de cigarrillo en el ambiente marino. Estas contienen microfibras tóxicas que, al ser arrastradas al mar, pueden ser ingeridas por organismos marinos, desde el zooplancton hasta las ballenas, causando daño a la fauna acuática. Además, las colillas no son biodegradables, lo que contribuye a la contaminación persistente en los océanos y a la formación de microplásticos. Estos residuos pueden acabar en el mar, y afectar a la vida marina y contaminar el agua. La acumulación de basura no solo afecta al paisaje y a la calidad del agua, sino que también representa un riesgo para la biota local.

En cuanto a la alteración de ecosistemas costeros, esta se puede incrementar significativamente por la presencia masiva de personas y actividades recreativas en las playas. Esto incluye la compactación del suelo, la destrucción de vegetación nativa y la perturbación de la fauna local, cuestiones que pueden tener efectos negativos a largo plazo en la biodiversidad y la resiliencia de estos ecosistemas (Harding, 2016). Otras perturbaciones pueden estar ocasionadas por el volumen alto de la música durante varias horas (Reverté y Pérez, 2017), cuestión que no solo puede afectar a la fauna local, sino también a la población residente. Las aves, y otras especies animales, pueden verse obligadas a abandonar sus hábitats naturales debido al estrés y a la alteración de sus patrones normales de comportamiento. Por su parte, es muy numerosa la información sobre este tema en los medios de comunicación, y en las redes sociales. Ello pone de manifiesto que la celebración de eventos festivos multitudinarios en las playas está suscitando debate y preocupación.

Otro aspecto de interés es conocer si durante estos eventos se supera o no la capacidad de carga de la playa, criterio que sirve como referencia. Se trata de un concepto inicialmente utilizado en el ámbito de la agronomía, que luego es aplicado al de la ecología y, finalmente, al de la gestión y a la actividad turística. Desde ese último aspecto, se entiende como “el número máximo de personas que pueden visitar

un destino turístico al mismo tiempo sin poner en peligro el medio físico, económico o sociocultural y causar la disminución en el nivel de satisfacción de los visitantes” (OMT, 1999). La metodología propuesta por Cifuentes (1992) para su cálculo ha sido ampliamente aplicada en espacios protegidos, con el fin de estimar el número de visitantes que puede asumir un área sin que se deterioren sus valores naturales. Asimismo, esta metodología también ha sido adaptada para estudiar la capacidad de carga de las playas, tanto desde el punto de vista ambiental (Del Rosario y Pérez-Chacón, 2019) como perceptual (Pereira, 2002). Una revisión del concepto de capacidad de carga, y de las metodologías utilizadas para su evaluación se puede encontrar en Santos y Brilha (2023).

El trabajo presentado en este artículo se enmarca precisamente en la controversia suscitada, en Las Palmas de Gran Canaria, por la celebración en la playa urbana de las Canteras de la noche de San Juan (patrón de la ciudad). Algunos colectivos valoran positivamente la posibilidad de usar ese entorno para la fiesta, como se ha hecho tradicionalmente, pero otros consideran que el número de participantes se ha incrementado de tal manera que ya no es posible conciliar esa actividad con el uso sostenible de la playa. Ante la ausencia de estudios sobre los efectos de este tipo de celebraciones, y atendiendo a una petición de la unidad técnica de Ciudad de Mar (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria), se inician trabajos de carácter científico para realizar una primera aproximación al problema, considerando aspectos ambientales y sociales. En las investigaciones intervienen diferentes equipos multidisciplinares, en el marco de un convenio suscrito entre el Ayuntamiento y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Se estudian las afecciones ambientales en la playa y su entorno, la valoración social de las consecuencias del evento, así como la distribución espacial de los asistentes, y su evolución temporal desde el comienzo de la fiesta hasta su finalización, determinando por sectores en qué momentos se supera su capacidad de carga. Los resultados de este último aspecto, relativo al análisis geográfico, son los que se presentan en este artículo.

### ÁREA DE ESTUDIO

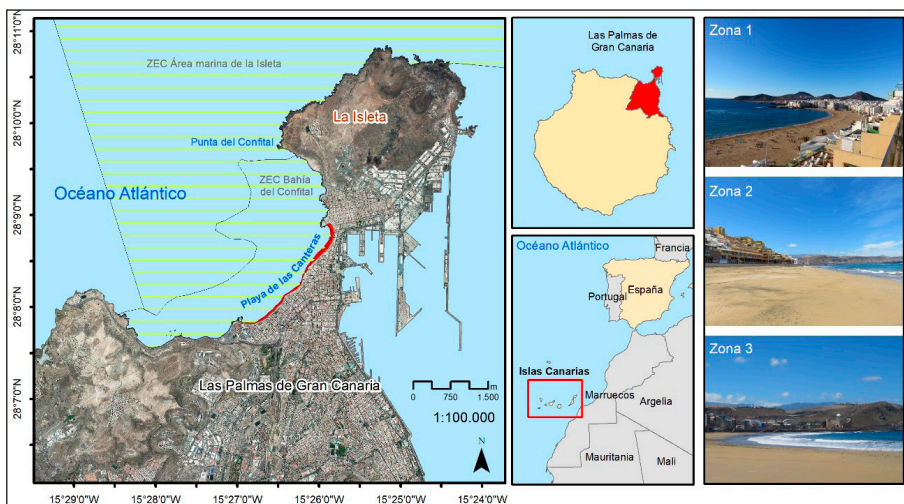
La playa de las Canteras se localiza en la bahía del Confital, que, situada en el extremo noreste de la isla de Gran Canaria (figura 1), se encuentra en el municipio de Las Palmas de Gran Canaria. Se trata de una playa por la que accedían desde el mar los sedimentos que alimentaban el campo de dunas de Guanarteme, hoy desaparecido bajo el crecimiento urbano de la ciudad (Santana et al., 2014). A pesar de que su dinámica natural ha sido sustancialmente modificada, este ecosistema conserva una alta geodiversidad y biodiversidad.

La playa tiene una longitud de 2.250 metros, y en ella se pueden diferenciar tres sectores: el arco norte, que es una zona amplia donde se produce acumulación de sedimentos arenosos; el arco central, sector más pequeño en el que destacan su geodiversidad y biodiversidad costeras; y, finalmente, el arco sur, donde la dinámica de los sedimentos es más activa y hay más erosión. Una parte de este conjunto se encuentra protegida por una barra litoral, denominada barra de las Canteras, pues en ella se extraían antiguamente calcarenitas para ser utilizadas como roca ornamental.



Sus valores naturales se localizan tanto en la zona sumergida como en la emergida. En el área marina próxima a la playa se encuentran dos zonas de especial conservación: la ZEC bahía del Confital (ES7010037) y el área marina de La Isleta (ES7010016), ambas integradas en la Red de Áreas Marinas Protegidas de España y con altos valores de biodiversidad. Por su parte, en el área emergida destaca la geodiversidad (Déniz y Mangas, 2012; Menéndez et al., 2020), donde algunos sectores de la playa han sido declarados lugares de interés geológico por el Instituto Geológico y Minero de España, ya que aparecen afloramientos de paleoplayas, paleosuelos y paleodunas holocenas.

Figura 1. Área de estudio. Fotografías de la playa de las Canteras: arcos norte (zona 1), central (zona 2) y sur (zona 3)



La playa de las Canteras es la que recibe mayor afluencia de visitantes en la ciudad, tanto locales como turistas, pudiendo alcanzar en ocasiones hasta los 70.000 usuarios al día. Esta área costera experimenta una creciente presión humana, lo que incide tanto en la calidad de sus aguas de baño como en las especies y hábitats marinos que alberga, y en el disfrute de la ciudadanía. Sin embargo, la gestión de la playa ha permitido la obtención de distintos galardones internacionales que reconocen la calidad de sus servicios y gestión, como la ISO 14001, la Q de calidad turística, el certificado de accesibilidad universal o el sello de compromiso de calidad en destino.

Una singularidad de la gestión de esta playa es la existencia de la denominada “Micro Área Ecoturística de Las Canteras” (<https://microareas.org/las-canteras/>) que, impulsada por las administraciones locales y asociaciones, es una referencia en la promoción de iniciativas de desarrollo sostenible a partir de la participación ciudadana. Se trata de un modelo innovador de gestión del litoral, cuyas iniciativas están siendo tomadas en cuenta por parte de los gestores que tienen competencias en este espacio.

## OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

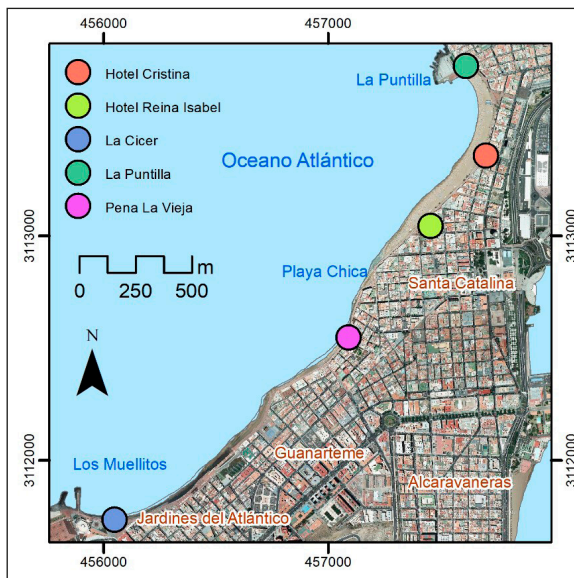
El objetivo general de esta investigación consiste en analizar, desde una perspectiva geográfica, la distribución de presión humana durante un evento multitudinario, como es la celebración de la noche de San Juan en la playa urbana de las Canteras. Para conseguir este objetivo se plantean, de forma secuenciada, los siguientes objetivos específicos: *a)* analizar, desde un punto de vista espaciotemporal, la distribución de los asistentes al evento anteriormente citado, diseñando para ello una metodología específica; *b)* calcular la capacidad de carga de la playa por sectores; *c)* determinar en qué lugares de la playa y momentos se excede la capacidad de carga y, por tanto, no se hace un uso sostenible de este espacio natural.

Por su parte, la metodología empleada para realizar el análisis espaciotemporal de la distribución de las personas en la playa, durante la festividad de San Juan 2018, se estructura en tres fases: el recuento de personas, su análisis y cartografía mediante herramientas de sistema de información geográfica, el cálculo de la capacidad de carga y la determinación de las zonas en las que ésta es superada desde que se inicia la celebración hasta que termina.

### *Recuento de personas de forma directa mediante el uso de fotografías síncronas*

Se realizaron fotografías desde cuatro puntos elevados y uno en superficie (figura 2), para captar imágenes de toda la playa (resolución de aproximada de  $3.000 \times 2.000$  píxeles). Estas fueron tomadas

Figura 2. Localización de cámaras fotográficas (círculos en color)



Fuente: ortofoto de IDECanarias de 2018.

cada media hora, desde las 18:00 hasta las 00:30 h del 23 de junio de 2018, y siempre desde el mismo ángulo, con el objetivo de poder realizar comparaciones entre estas. Asimismo, se utilizaron imágenes de *webcam*, procedentes de cámaras instaladas a lo largo de la playa, que sirvieron para completar aquellos huecos que las nuestras no podían cubrir.

Una vez obtenidas las imágenes se procedió a realizar el recuento de personas situadas en la playa, excluyendo las que estaban en el paseo marítimo. A partir de las 22:30 h se procedió a realizar el recuento de personas mediante un procedimiento de extrapolación realizado en un sistema de información geográfica, tal como se explica en el subapartado siguiente.

#### *Recuento de personas mediante extrapolación en un sistema de información geográfica*

Para hacer el recuento de las personas se generaron una serie de transectos a lo largo de la playa, utilizando como medida de referencia la instalación de las farolas existentes (figura 3).

Dadas las dimensiones de la playa de las Canteras, esta se subdividió para su estudio en tres sectores, denominados zona 1, 2 y 3. A su vez, en cada sector, se trazaron diferentes transectos para analizar la distribución de personas con un mayor grado de detalle, considerando como unidad básica el área comprendida entre dos transectos. Desde el punto de vista de la toponimia, la zona 1 se corresponde con la Puntilla y playa Grande; la zona 2 con playa Chica, El Charcón y Peña La Vieja y, finalmente, la zona 3 con la Cícer y Los Muellillos.

Zona 1: en este ámbito se diferenciaron 30 unidades entre transectos, y un polígono donde se localiza el escenario y su entorno de seguridad. Las unidades que conforman este sector discurren desde el número 48 hasta el 78. La superficie útil para las personas (zona de reposo) es de 61.967 m<sup>2</sup>. El polígono donde se encuentra el escenario (denominado 0) tiene una superficie de 1.138 m<sup>2</sup>. Las unidades entre los transectos 72 y 73 son los más próximas al escenario, por lo que sus datos van a tener una especial relevancia en este estudio.

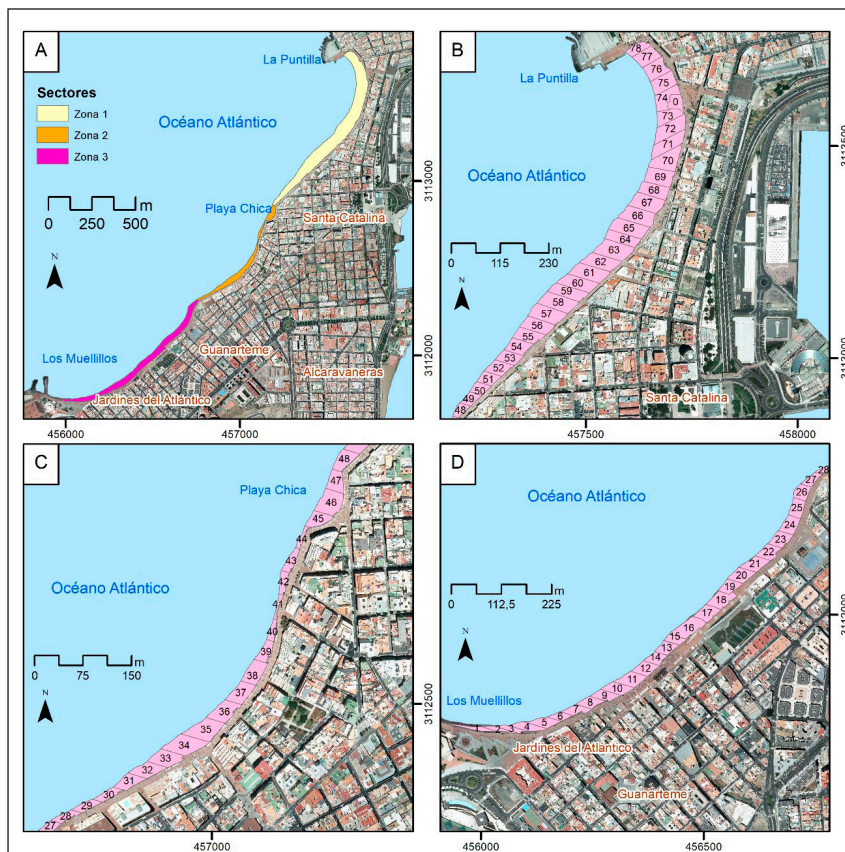
Zona 2: este sector consta de 20 unidades entre transectos, desde el 28 hasta el 48, y presenta una superficie total de 13.991 m<sup>2</sup>. De ellas, destacan las unidades 45,46 y 47, ya que conforman el ámbito denominado como Playa Chica, que tiene una superficie de 2.629 m<sup>2</sup> de zona de reposo. A lo largo de este sector predominan áreas donde no se pueden ubicar los usuarios, ya que, tanto por la superficie que se cubre cuando sube la marea, como por el afloramiento rocoso existente, hay momentos en los que prácticamente no existe la zona de reposo. El otro ámbito que tener en cuenta en este sector es el conocido como peña la Vieja. Este se localiza entre las unidades 28 y 39, con una superficie total de 9.856 m<sup>2</sup>.

Zona 3: este sector fue dividido en 27 unidades entre transectos, y la suma de la superficie de todas ellas es de 28.682 m<sup>2</sup>. Estas unidades van desde la 1 hasta la 28. Toda esta zona es conocida como La Cícer, salvo el área más cercana al auditorio Alfredo Kraus, denominada los Muellillos (unidad 3). Este sector de la playa presenta una parte cubierta principalmente por cantos, lo que dificulta la acomodación de usuarios en la playa.

Finalmente, se contabilizaron las personas que estaban en 1 m<sup>2</sup> en las fotografías y se extrapolaron a cada uno de los transectos. Para ello se tomaron lugares de referencia sobre la fotografía y se realizaron

medidas en una ortofoto de IDECanarias OrtoExpress 2016-2020 (resolución 10-12.5 cm/píxel). Asimismo, se tuvieron en cuenta los espacios que no podían ser utilizados por personas, como el perímetro de seguridad en torno al escenario.

Figura 3. Zonas y transectos delimitados en la playa de las Canteras. A: zonas 1,2 y 3 de la playa. B: sectores de la zona 1. C: sectores de la zona 2. D: sectores zona 3



Fuente: ortofoto de IDEcanarias de 2018.

### *Estimación de la capacidad de carga de la playa de las Canteras*

Se estimó la cantidad de personas que podrían acudir a la playa de forma simultánea, sin que se degradasen las condiciones ambientales de la playa, y sin que la calidad de la visita se redujera drásticamente por la afluencia masiva de personas. Para realizar este cálculo se adaptó la metodología que, para espacios protegidos, propone Cifuentes (1992). Esta metodología se estructura a partir del cálculo secuencial de la capacidad de carga física (CCF), capacidad de carga real (CCR) y la capacidad de carga efectiva (CCE).

La capacidad de carga física (CCF) evalúa el límite máximo de personas que puede recibir simultáneamente un lugar determinado. Se calcula dividiendo la superficie útil de la playa entre el número de usuarios, teniendo en cuenta que, al tratarse de un evento festivo, se considerarían dos posibilidades: 1 m<sup>2</sup> por usuario y 4 m<sup>2</sup>. La primera opción se justifica porque Feliciani et al. (2021) recomiendan un área comprendida entre 0,5 y 1 m<sup>2</sup> por usuario, dependiendo de las condiciones físicas de un lugar, para un evento multitudinario. En este caso, al tratarse de una playa, se optó por un valor mínimo de 1 m<sup>2</sup>, para garantizar una mayor comodidad; mientras que para el máximo (4 m<sup>2</sup>) se adoptó como criterio el planteado por Roig (2003) para las playas urbanas.

La ecuación original establecida por Cifuentes es la siguiente:

$$CCF = (S/SP \times NV),$$

donde S: es la superficie disponible. SP: es la superficie media utilizada por una persona. NV: es el número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día.

La capacidad de carga física, en el modelo de Cifuentes (1992), no solo toma en consideración la superficie disponible y la superficie media utilizada por una persona, sino también el número de veces que el sitio puede ser visitado por una persona al día, el horario de visita y el tiempo promedio de las visitas. Para su aplicación al caso de la playa de las Canteras, no se ha tenido en cuenta el número de veces que una persona acude a la playa, pues lo que interesa conocer es el número de personas que pueden estar en la playa de manera simultánea. En este sentido, Ruschmann et al. (2008) tampoco lo consideraron, porque dichas variables son adecuadas para el estudio de la capacidad de carga de los senderos, o de otros atractivos turísticos que poseen un itinerario predeterminado, donde pueden acudir varios grupos de visitantes en períodos de tiempo sucesivos e ingreso controlado. Por ello, este aspecto no es aplicable a las actividades recreativas en las playas. Teniendo esto en cuenta, la ecuación finalmente aplicada en este trabajo es la siguiente:

$$CCF = (S/SP)$$

La capacidad de carga real (CCR): es el número máximo posible de visitas a un sitio determinado, después de considerar las limitaciones que éste presenta. Estas se formulan como factores de corrección, teniendo en cuenta variables físicas, ecológicas y sociales, que varían según la zona en la que se aplican. Se calcula atendiendo a la siguiente ecuación:

$$CCR = CCF (FC1 \times FC2 \times FC3 \times FC4 \times FC5 \times \dots \times FCn)$$

Para este caso el cálculo de cada factor se realizó siguiendo la siguiente ecuación:

$$FC = 1 - (MI/Mt)$$

FC: es el factor de corrección. MI: es la magnitud limitante. Mt: es la magnitud total.

En cuanto a los factores de corrección se escogieron los siguientes:

- Factor condicionante de precipitación (FCpp). Las condiciones atmosféricas adversas pueden condicionar la visita de los usuarios a un lugar determinado, aún más cuando se trata de una playa. Para la obtención de este factor se tuvieron en cuenta las precipitaciones ocurridas durante los años 2014-2018, recogidas en la estación meteorológica de Arucas C669B. Dicha estación está situada a una altitud de 86 metros, una longitud 153025 y una latitud 280830. Los datos fueron facilitados por la AEMET. Para su cálculo se computaron los días con precipitación mayor a  $0,1 \text{ l/m}^2$ , ya que, aunque las precipitaciones serían muy escasas, se presume que existe nubosidad abundante por lo que se reduce la asistencia de los usuarios a las playas.
- Factor condicionante de viento (FCv). A partir de una velocidad determinada, el viento puede ser molesto para el usuario de las playas. Según los expertos, a partir de una velocidad determinada el viento es capaz de mover partículas de arena. Máyer et al. (2012) señalan que “a partir de velocidades de entre 5,6 m/s y 6,7 m/s se obtienen valores de transporte significativos ( $1 \text{ g/m/s}$ )”. Por lo tanto, se contabilizaron los días al año en los que la velocidad media máxima del viento fuese igual o superior a los 5,6 m/s. Estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica mencionada en el apartado anterior.

Hay que señalar que estos factores limitantes, en el modelo de evaluación, se consideran para el conjunto del año, no para un solo día, pues lo que se estima es la capacidad de carga de la playa globalmente.

Finalmente, para calcular la capacidad de carga efectiva (CCE) se considera la capacidad de gestión (CG) que existe en la playa. Cuantos más servicios existan, mayor será su capacidad de carga efectiva y viceversa. En el caso de la playa de las Canteras se escogieron 24 indicadores de gestión (baños, papeleras, etc.), adaptando los utilizados por Cifuentes (1992) y Fernández y Bértola (2014).

#### *Cálculo y cartografía de las situaciones en las que se supera la capacidad de carga durante la celebración*

Para evaluar este aspecto se transfirió la información del conteo de personas a un sistema de información geográfica (SIG). Con ello se realizaron análisis espaciales, combinando esos datos con las capas de información correspondientes a la capacidad de carga eficiente de cada sector y transecto predefinido. De esta forma se comparó la distribución de personas por sectores e intervalos temporales con la capacidad de cada área, identificando los puntos críticos y los momentos en las que esta era superada.

## RESULTADOS

### *Análisis espaciotemporal del número de asistentes*

La investigación realizada ha permitido conocer el número de asistentes, y su distribución espaciotemporal, durante la celebración de la fiesta de San Juan. A su vez, y tras la evaluación de la capacidad

de carga por sectores, se ha podido conocer en qué momentos y dónde es superada, lo que permite determinar los lugares más congestionados y, con ello, aportar información valiosa para los gestores.

Tal y como se describió anteriormente, la playa de las Canteras se dividió en tres sectores para facilitar su análisis. En la zona 1 se incluyó el área del escenario y sus alrededores, siendo una de las más amplias. La zona 2 abarca áreas importantes como playa Chica y peña La Vieja, aunque algunas partes no son aptas para el uso, pues quedan sumergidas durante la pleamar y, además, hay afloramientos rocosos. La zona 3 se localiza entre La Cícer y Los Muellillos, pero su uso está limitado en ciertas áreas por la presencia de cantos rodados.

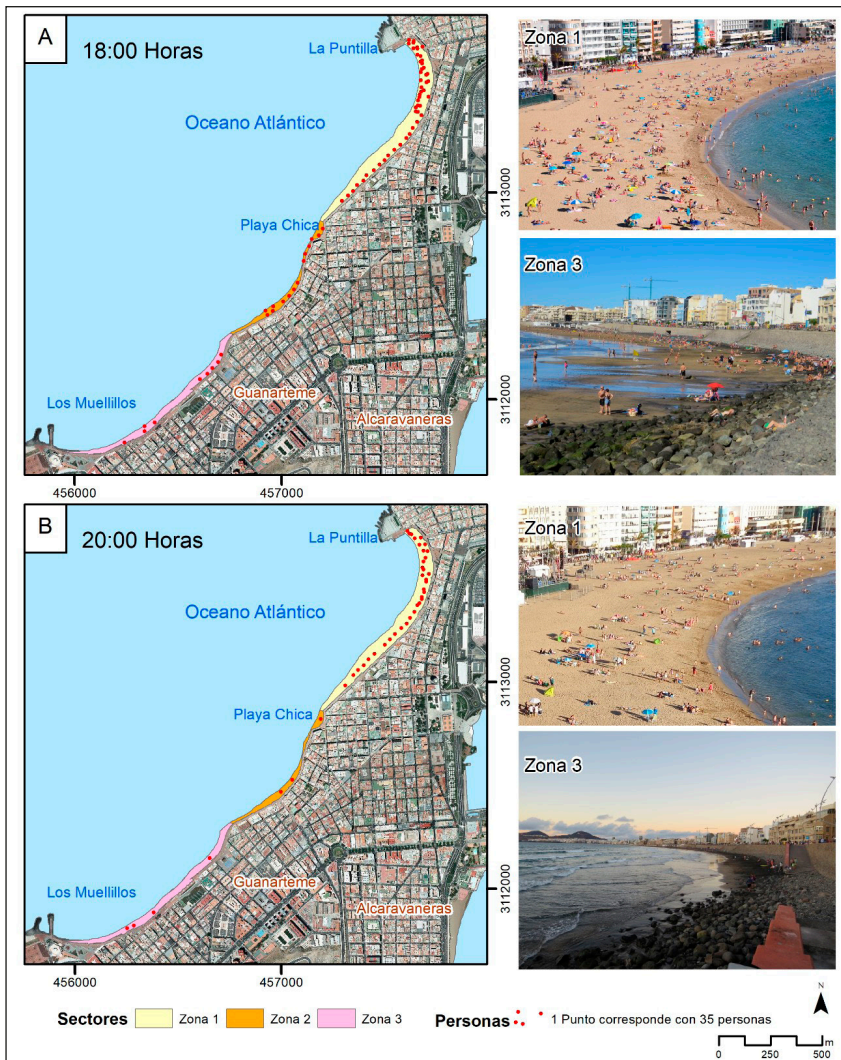
Hay que señalar que las condiciones climáticas del 23 de junio de 2018 fueron favorables para acudir a la playa: un día soleado, aunque ventoso, cuya temperatura máxima fue de 23,5 ° C. Esta circunstancia provocó que la afluencia de usuarios a la playa fuera elevada desde primeras horas del día. Sin embargo, cuando la intensidad de los rayos solares disminuyó, la sensación térmica fue de frío, debido a las rachas de viento, que llegaron a alcanzar los 8,9 m/s.

El recuento de personas para esta investigación se inició a las 18:00 h. (figura 4), y se contabilizó un total de 2.505 usuarios a lo largo de toda la playa (tabla 1). Es a partir de las 19:30 h cuando se percibe un descenso paulatino de personas en la playa; se registran unas 1.737. Esta circunstancia se debe, por un lado, a que las personas que disfrutaban del día de playa se han marchado y, por otro, a que aún no han llegado las que asistirán a la fiesta de San Juan. A partir de las 21:00 h comienza a aumentar el número de usuarios de manera gradual hasta las 22:30 h, cuando se eleva drásticamente (tabla 1, figura 5).

Tabla 1. Recuento de personas, por horas y sectores, en la playa de las Canteras durante la celebración de la noche de San Juan 2018

Horas	Zona 1 (personas)	Zona 2 (personas)	Zona 3 (personas)	Total
18:00:00	1.666	508	331	2.505
18:30:00	1.579	398	313	2.290
19:00:00	1.486	214	324	2.024
19:30:00	1.232	238	267	1.737
20:00:00	1.332	104	170	1.606
20:30:00	1.229	205	172	1.606
21:00:00	1.896	270	109	2.075
21:30:00	2.312	316	141	2.769
22:00:00	2.943	430	163	3.536
22:30:00	6.267	591	420	7.278
23:00:00	9.546	877	597	11.020
23:30:00	28.617	1726	4.685	35.029
0:00:00	37.024	2.879	5.438	45.341

Figura 4. Distribución espacial de las personas a las 18:00 h (A) y 20:00 h. (B)



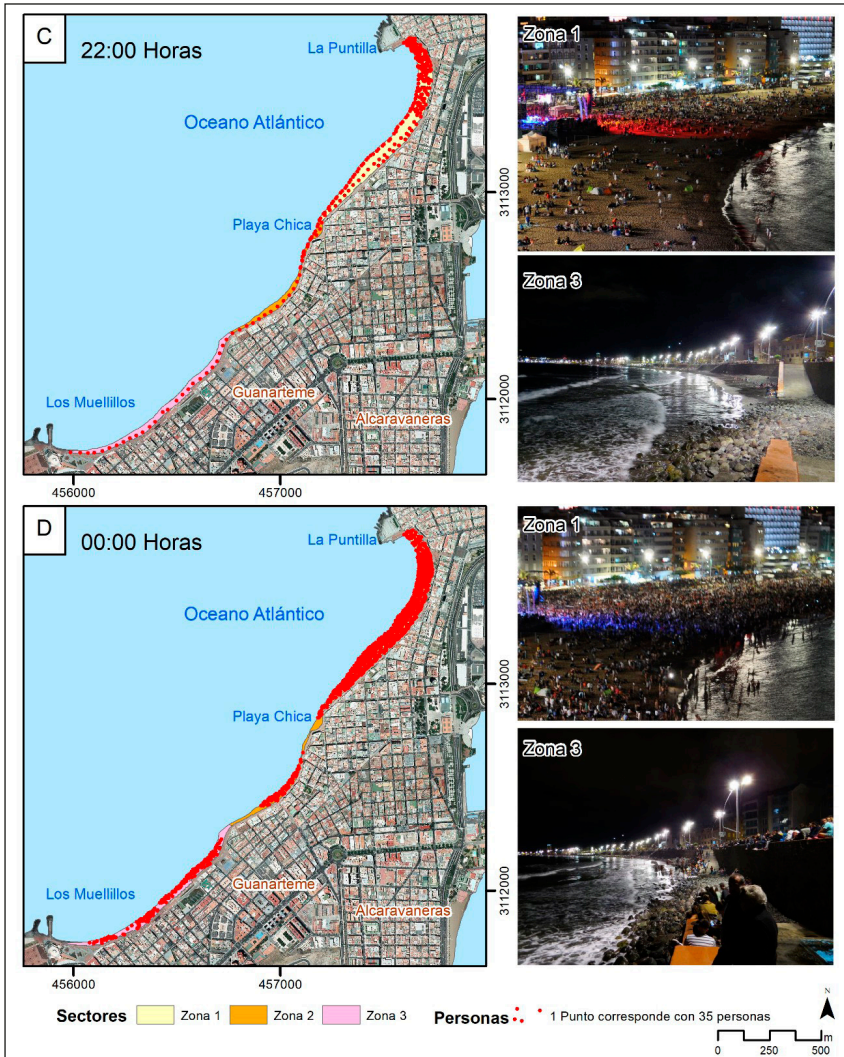
Fuente: elaboración propia a través de ortofoto IDEcanarias.

A partir de las 22:30 h se incrementa de manera notable el número de personas en la playa (7.278 personas), coincidiendo con el inicio del concierto que tuvo lugar en la zona de La Puntilla (zona 1). En los lugares más próximos al escenario se contabilizaron unas 6.300 personas. Sin embargo, en el resto de la playa el crecimiento seguía siendo gradual, hasta aumentar en unas cien personas por zona cada media hora (figura 5).



A las 23:00 h se produjo otro aumento elevado de usuarios. A pesar de que las cifras siguen siendo más elevadas en la zona 1, los incrementos de asistentes en las zonas 2 y 3 son ahora exponenciales, hasta aumentar en unas 300 personas más en cada sector (tabla 1).

Figura 5. Distribución espacial de los asistentes a las 22:00 h (C) y a las 00:00 h (D)



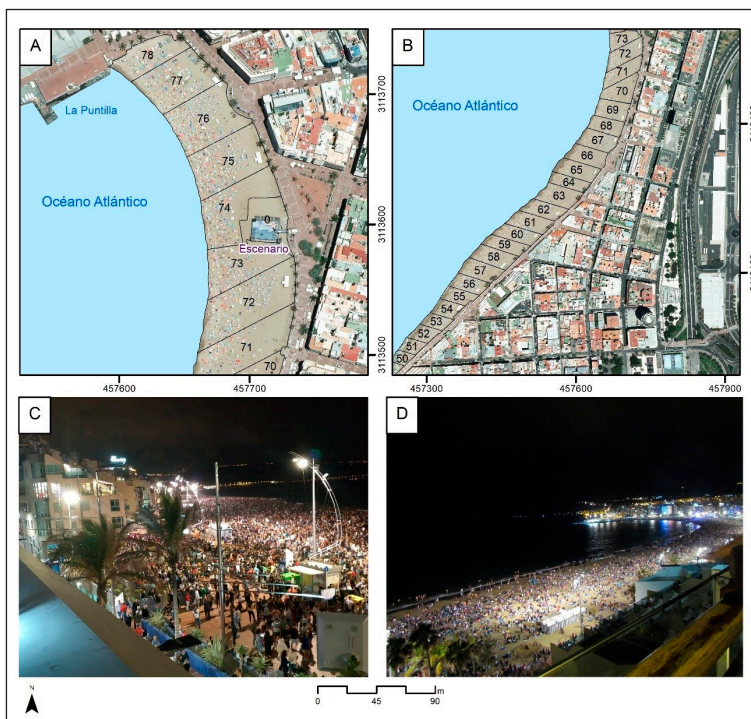
Fuente: elaboración propia a través de ortofoto IDEcanarias.

En la zona 1 se computaron 9.546 personas, mientras que en la zona 2 unas 877, y en la zona 3 en torno a 600. En total, se contabilizaron 11.020 usuarios, aproximadamente. Este incremento se debe, probablemente, a la llegada de asistentes que quieren disfrutar de los fuegos artificiales, sobre todo, en las zonas 2 y 3, mientras que en la zona 1, además del interés por los fuegos, el motivo fundamental podría ser la celebración del concierto frente a la plaza Saulo Torón.

A las 00:00 h se produce el momento de mayor afluencia de usuarios en la playa, pues se computó un total de 45.341 personas (figura 5). En la zona 1 se contabilizaron 37.024 personas, coincidiendo con el área de la playa donde los gestores concentraron los servicios y las actividades programadas para la celebración del evento. Es decir, la instalación del escenario, de los baños portátiles, servicios de emergencia y servicios sanitarios. En una de las entrevistas realizadas a los técnicos, ante la pregunta de por qué han localizado allí el escenario, uno de ellos señala: “El criterio que se emplea es, en cuanto a la ubicación del escenario, es porque es la parte de la playa más amable... y más llana por así decirlo, y como hay fuegos artificiales en la plaza de La Puntilla, pues por mera cercanía” (Ayuntamiento LPGC).

A ello se suma que algunos asistentes suelen realizar un “botellón” en la parte donde se amplía la playa en la zona 1. En este ámbito destacan, por una parte, las unidades de los transectos más próximos

Figura 6. Unidades delimitadas cerca del escenario y de la zona de “botellón” y fotos de su ocupación a las 00:00 h

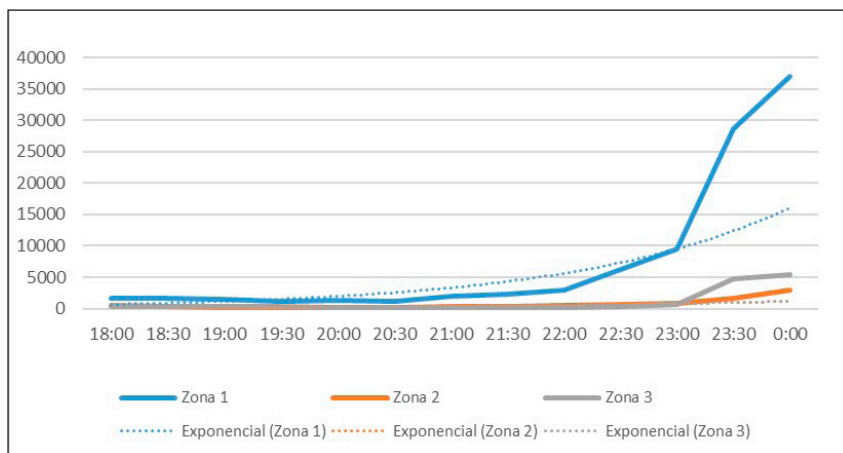


Fuente: elaboración propia a través de ortofoto de IDECanarias de 2018.

al escenario (72 y 73), los cuales suman una superficie de reposo de 4.198 m<sup>2</sup>. Pues en ellos, a la hora de máxima afluencia (00:00 h), se contabilizaron aproximadamente 14.204 personas (figura 6). Al lado de los anteriores, desde el transecto 56 al 71, es donde se encuentra la zona de “botellón”, cuya superficie es de 39.054 m<sup>2</sup>, y en ella se estimaron unas 17.044 personas a las 00:00 h. En definitiva, la afluencia de usuarios en los dos sectores descritos representa aproximadamente un 70 % del total de asistentes al evento, concentrándose en apenas un 41 % de la superficie total de la zona de reposo de la playa.

En síntesis, en la figura 7 se muestra la evolución del número de asistentes durante el periodo de tiempo estudiado (desde las 18:00 h hasta las 00:00 h). En la zona 1 se detecta un incremento exponencial de los asistentes ( $R^2 = 0,7371$ ), debido a que en las primeras horas existe un aumento del público poco significativo. En contrapartida, a partir de las 22:00 h este se eleva de manera drástica, pues este sector de la playa recibe en ese momento unos 34.100 asistentes. En las zonas 2 y 3 la tendencia es similar, con un incremento exponencial de  $R^2 = 0,343$  y  $R^2 = 0,4793$ , respectivamente, aunque los mayores incrementos comienzan a partir de las 23:00 h, una hora más tarde que en la zona 1. No obstante, el incremento es menor, pues en la zona 2 (playa Chica) aumenta en unas 2.000 personas, y en la zona 3 (La Cícer) lo hace en unas 4.850 personas.

Figura 7. Asistentes a la fiesta de San Juan por zonas entre las 18:00 h y las 00:00 h



### Capacidad de carga de la playa de las Canteras en la festividad de San Juan

Se establecieron dos modelos diferenciados para el cálculo de la capacidad de carga de la playa de las Canteras. Para el primero de ellos se utilizó un criterio de ocupación de 1 m<sup>2</sup> por usuario y, para el segundo, de 4 m<sup>2</sup>. En la tabla 2 se pueden observar los resultados de la capacidad de carga física, real y efectiva, calculados para cada uno de los dos modelos considerados.

Tabla 2. Capacidad de carga física (CCF). Capacidad de carga real (CCR). Capacidad de manejo (CM) y capacidad de carga efectiva (CCE) según criterio de ocupación (C. O.) de 1 m<sup>2</sup>/usuario o de 4 m<sup>2</sup>/usuario

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	CCF (personas)	FCv	FCpp	CCR 1m <sup>2</sup> (personas)	CCR 4m <sup>2</sup> (personas)	cm	CCE 1m <sup>2</sup> (personas)	CCE 4m <sup>2</sup> (personas)
1	61.967	15.776	0,84	0,85	44.244	11.061	0,96	42.474	10.619
2	13.991	3498	0,84	0,85	9.990	2.497	0,75	7.493	1.873
3	28.682	7.172	0,84	0,85	20.479	5.120	0,88	18.022	4.506
Total	104.640	26.445			74.713	18.678		67.988	16.997

FCv y FCpp son los factores de corrección utilizados (viento y precipitaciones).

En la playa de las Canteras, la zona 1 presenta la mayor capacidad de carga, con 42.474 personas bajo el criterio de 1 m<sup>2</sup> por usuario y 10.619 personas bajo el criterio de 4 m<sup>2</sup> por usuario. La zona 3 sigue en capacidad con 18.022 personas para 1 m<sup>2</sup> por usuario y 4.506 para 4 m<sup>2</sup> por usuario. La zona 2 tiene la menor capacidad, con 7.493 personas para 1 m<sup>2</sup> por usuario y 1.873 para 4 m<sup>2</sup> por usuario. La capacidad disminuye significativamente cuando se aplica el criterio de 4 m<sup>2</sup> por usuario, debido al mayor espacio requerido por persona, reduciendo la densidad de ocupación permitida en cada zona.

#### *Intervalos espaciotemporales en los que la capacidad de carga es superada*

Estos mismos cálculos fueron aplicados a cada uno de los transectos considerados, con el fin de poder realizar un análisis más detallado. En la tabla 3 se muestra el número de asistentes de la zona 1 por transectos, durante los momentos de mayor afluencia, desde las 22:00 h hasta las 00:00 h.

Tabla 3. Recuento de personas y capacidad de carga de la zona 1, la de mayor afluencia de asistentes.

Transectos	Horas					CCE 4 m <sup>2</sup>	CCE 1 m <sup>2</sup>
	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
78	24	51	72	216	324	186	746
77	34	73	103	309	464	310	1.239
76	43	92	130	391	587	335	1.340
75	63	94	133	399	598	349	1.396
74	296	545	1493	4.476	562	321	1.285
73	267	815	806	2.417	6.544	280	1.121
72	433	920	852	2.554	7.660	438	1.750
71	267	453	778	2.332	2.332	400	1.598
70	97	206	353	1.058	1.058	460	1.840

Transectos	Horas					CCE 4 m <sup>2</sup>	CCE 1 m <sup>2</sup>
	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
69	86	183	313	938	938	405	1.618
68	74	158	270	810	810	347	1.388
67	95	202	347	1.039	1.039	445	1.780
66	82	175	262	785	1.047	448	1.794
65	71	150	180	541	1.082	463	1.854
64	68	144	247	740	740	317	1.267
63	110	233	400	1.198	1.198	512	2.046
62	87	186	319	956	956	407	1.629
61	96	205	351	1.053	1.053	451	1.805
60	85	181	311	933	933	400	1.599
59	79	169	290	869	869	369	1.477
58	85	182	273	818	1.090	466	1.864
57	83	177	265	795	1.060	451	1.805
56	66	140	210	631	841	351	1.405
55	55	116	174	523	698	298	1.192
54	50	106	159	478	637	273	1.092
53	37	79	94	283	566	241	963
52	39	83	99	297	594	252	1.007
51	37	78	117	351	468	201	803
50	21	44	62	186	278	159	636
49	5	10	32	89	0	153	612
48	8	17	51	154	0	131	524
Total	2.943	6267	9.546	28.617	37.024	10.619	42.475

Como se puede apreciar en la tabla 3, desde las 22:30 h se supera la capacidad de carga efectiva (CCE), bajo el criterio de 4 m<sup>2</sup> por usuario, en los transectos de la zona 1 cercanos al escenario, específicamente en los transectos 72, 73 y 74, con un exceso inicial de 482, 535 y 224 personas, respectivamente. A medida que avanza la noche, entre las 23:00 y las 23:30 h, ese umbral se supera drásticamente, hasta alcanzar en el transecto 74 un exceso de 4.155 personas a las 23:30 h. Otros transectos, como el 71, 70 y 69, también muestran incrementos significativos en el número de personas que superan la capacidad de carga, con excesos que van desde 533 hasta 1.932 personas. A las 00:00 h, la situación se intensifica, con el transecto 72 excediendo su capacidad en 7.222 personas y el transecto 73 en 6.264 personas.

Desde el punto de vista de una capacidad de carga, considerando 1 m<sup>2</sup> por persona (CCE 1 m<sup>2</sup>), la superación de esta capacidad comienza a manifestarse a partir de las 23:00 h, con el transecto 74 excediendo su capacidad en 208 personas. Esta situación se intensifica notablemente entre las 23:30 y las 00:00 h. A las 23:30 h, el transecto 74 supera su capacidad en 3.191 personas, mientras que los transectos 73 y 72 exceden sus capacidades en 1.296 y 804 personas, respectivamente. A las 00:00 h, la situación se agrava, con el transecto 72 excediendo su capacidad en 5.910 personas y el transecto 73 en 5.423 personas.

Tabla 4. Recuento de personas y capacidad de carga por transectos en la zona 2

Transectos	Horas					CCE 4m <sup>2</sup>	CCE 1 m <sup>2</sup>
	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
47	36	49	73	144	179	96	385
46	0	0	0	0	231	167	667
45	0	0	0	0	216	89	355
44	0	0	0	0	0	27	110
43	0	0	0	0	0	62	248
42	0	0	0	0	0	51	203
41	4	5	8	15	0	21	82
40	15	21	31	61	0	41	163
39	27	38	56	111	0	74	298
38	46	63	93	184	276	123	493
37	45	61	91	180	270	121	483
36	50	69	103	202	302	135	540
35	66	90	134	264	396	177	707
34	70	96	142	279	418	187	747
33	71	99	146	286	286	127	510
32	0	0	0	0	167	111	445
31	0	0	0	0	91	92	368
30	0	0	0	0	46	60	239
29	0	0	0	0	0	58	231
28	0	0	0	0	0	54	218
Total	430	591	877	1.726	2.879	1.873	7.492

En la zona 2 (tabla 4), considerando el criterio de 4 m<sup>2</sup> por usuario, se observa que, a partir de las 23:30 h, varios transectos superan dicha capacidad. Específicamente, los transectos que van desde el 33

al 38 presentan excedentes significativos. Por ejemplo, el transecto 33 supera su capacidad en 159 personas, tanto a las 23:30 horas como a las 0:00 horas. El transecto 34 excede su capacidad en 92 personas a las 23:30 h y en 231 personas a las 0:00 h. De manera similar, los transectos 35, 36, 37 y 38 muestran excedentes que aumentan con el tiempo, indicando una creciente concentración de personas en esas áreas. Este incremento probablemente sea debido a llegada de visitantes que vienen a disfrutar de los fuegos artificiales.

En contraste, si se considera 1 m<sup>2</sup> por usuario, se evidencia que ningún transecto supera su capacidad máxima en ningún momento, lo que sugiere que, aunque la densidad de personas supera el nivel confortable de 1 persona por cada 4 m<sup>2</sup>, no ocurre lo mismo si consideramos el criterio de 1 persona por metro cuadrado.

En la tabla 5 (zona 3) se observa que, a partir de las 23:30 h, varios transectos superan significativamente la capacidad de carga para el criterio de 4 m<sup>2</sup> por persona, especialmente los transectos 11, 12, 19, 21, 22 y 23. Por ejemplo, el transecto 22 excede su capacidad de 190 personas en 294 personas, registrando un total de 484 asistentes tanto a las 23:30 como a las 0:00 horas. El transecto 19 supera su capacidad de 159 personas hasta los 220 personas, y alcanza los 379 asistentes en esos mismos horarios. Asimismo, el transecto 11 presenta un exceso de 211 personas sobre su capacidad de 231, sumando 442 asistentes a las 0:00 h. El aumento del número de personas hacia las 23:30 h podría justificarse por la asistencia a los fuegos artificiales, en contraste con la zona 1, donde este incremento de personas se observa alrededor de las 22:30 h, coincidiendo con el inicio del concierto.

Aplicando el criterio de 1 m<sup>2</sup> por usuario, la mayoría de los transectos mantuvieron una densidad de personas dentro de los límites calculados.

Tabla 5. Recuento de personas y capacidad de carga por transectos en la zona 3

Transectos	Horas					CCE 4 m <sup>2</sup>	CCE 1 m <sup>2</sup>
	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
27	6	12	19	0	0	111	443
26	6	18	19	0	0	160	639
25	6	20	0	116	116	183	732
24	9	25	0	256	256	201	805
23	10	30	13	245	367	192	769
22	15	40	29	484	484	190	761
21	13	35	42	263	394	206	825
20	12	35	42	342	342	205	818
19	11	30	45	379	379	159	636
18	10	25	39	256	342	242	968
17	9	25	43	209	278	205	821

Transectos	Horas					CCE 4 m <sup>2</sup>	CCE 1 m <sup>2</sup>
	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
16	7	18	32	301	451	322	1.289
15	5	12	31	133	200	105	419
14	5	12	51	175	263	138	550
13	5	12	15	175	290	152	608
12	5	10	30	240	360	188	754
11	5	10	29	295	442	231	926
10	4	8	35	101	126	198	793
9	4	8	50	79	99	155	620
8	4	6	12	0	0	150	600
7	3	6	11	0	0	142	568
6	2	4	0	0	0	98	393
5	2	4	0	90	90	167	668
4	2	4	0	130	130	156	625
3	1	5	10	392	4	93	370
2	1	3	0	15	15	85	340
1	1	3	0	8	8	70	280
Total	163	420	597	4.685	5.438	4.505	18.021

En la figura 8 se puede observar que a las 23:00 h solo se ha superado la capacidad de carga, para un criterio de ocupación de 1 m<sup>2</sup>/persona, en la zona del escenario, pero que en cuestión de treinta minutos lo hace desde la Puntilla hasta playa Chica, es decir, en la mayor parte de la zona.

Por su parte, considerando un criterio de ocupación de 4 m<sup>2</sup>/persona (figura 9), entre las 22:30 y las 23:00 h no existen diferencias significativas entre los diferentes sectores de la playa, pues solo se excede la capacidad de carga en torno al escenario. A partir de esta hora, en cuestión de 30 min, el incremento es exponencial en toda la playa, y a las 00:00 h se excede la capacidad de carga prácticamente en toda la zona desde La Puntilla hasta playa Chica.

En definitiva, es a partir de las 23:00 h cuando se comienza a sobrepasar la capacidad de carga de varios sectores de la playa. Cabe destacar la presión elevada que soporta la zona cercana al lugar donde se instala el escenario. A las 00:00 h se registra el momento de mayor afluencia de usuarios en la playa, pues se computaron en torno a 45.450 personas, solamente en la arena.



Figura 8. Distribución espacial de la capacidad de carga excedida a las 22:30 (A), 23:00 (B), 23:30 (C) y 00:00 h (D), considerando un criterio de ocupación de 1 m<sup>2</sup>/persona

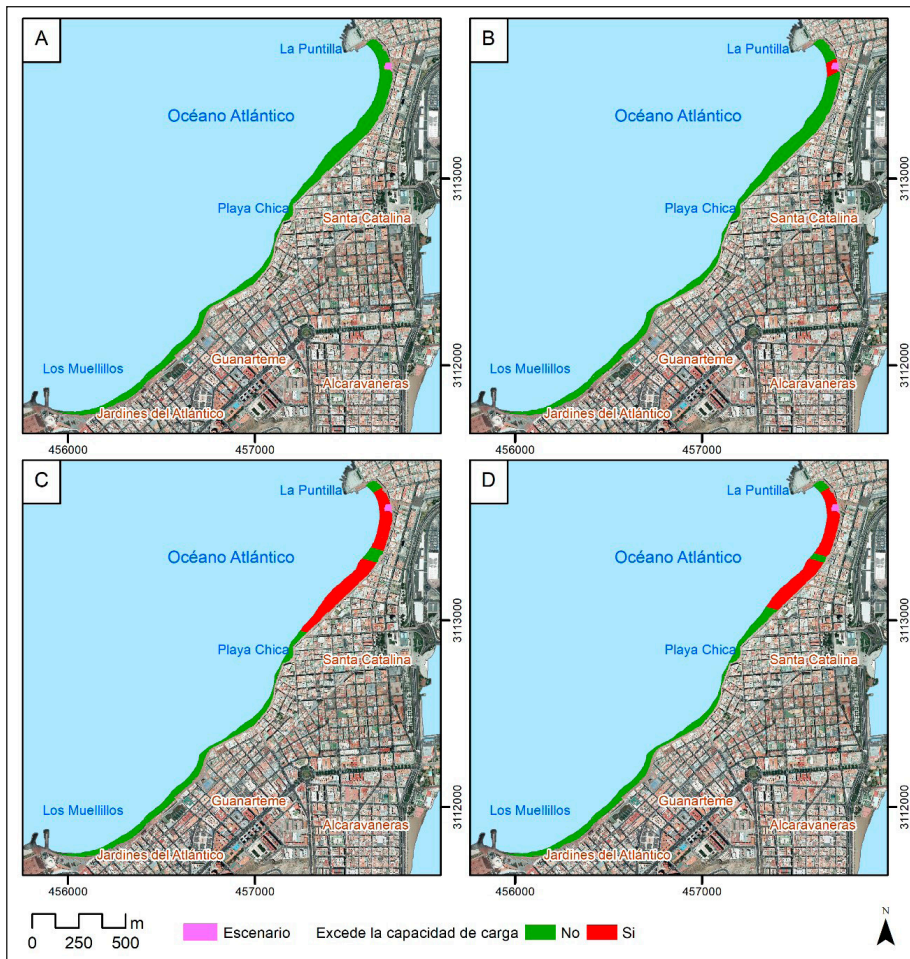


Figura 9. Distribución espacial de la capacidad de carga excedida a las 22:30 (A), 23:00 (B), 23:30 (C) y 00:00 h (D) para un criterio de ocupación de 4 m<sup>2</sup>/persona



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La problemática que generan los eventos multitudinarios en las playas ha sido poco investigada y, sin embargo, resulta fundamental conocerla para gestionar adecuadamente estas concentraciones humanas y minimizar sus impactos. Aunque en ocasiones se trate de playas urbanas, estas también constituyen ecosistemas con valor natural, cuyo funcionamiento es alterado si, en intervalos cortos de tiempo, pasan de recibir 2.505 personas (a las 18:00 h) a registrar 45.341 (a las 00:00 h), como se ha constatado en el caso estudiado. Y que, además, el incremento exponencial se produce en tan solo dos horas, desde las 22:00 h hasta la media noche. Por su parte, los gestores responsables tienen serias

dificultades para gestionar estos eventos, pues muchas veces carecen de criterios científico-técnicos en los que sustentar sus decisiones.

La investigación realizada sobre la celebración de la fiesta de San Juan, en la playa de las Canteras, ha permitido conocer la evolución espaciotemporal de la distribución de los asistentes. Al compararla por sectores e intervalos temporales, con la capacidad de carga de cada área, e identificar los puntos críticos y los momentos en las que esta era superada, se ofrece una información sustantiva para diseñar las estrategias de gestión de estos eventos, lo que representa una aportación de esta investigación.

Se ha constatado que, en tan solo el 41 % de la superficie útil de la playa, se concentra el 70 % de los asistentes, y que este hecho está directamente relacionado con la localización del escenario donde se realizan las actuaciones. Este se convierte en el núcleo central de atracción de personas y servicios y, con ello, en el área con mayor riesgo de que se generen impactos ambientales y sociales. A su vez, el incremento exponencial de asistentes se produce una hora antes en esta zona de la playa, coincidiendo con el comienzo de las actuaciones. En consecuencia, si se quiere reducir la presión sobre la playa es necesario trasladar el escenario a un lugar donde su impacto pueda ser amortiguado, como podrían ser infraestructuras o dotaciones cercanas, mejor preparadas para albergar tal cantidad de personas.

En este sentido, tras la realización del informe técnico donde se muestran estos resultados, junto con los obtenidos por otros grupos de investigación sobre los impactos de la fiesta (ambientales, acústicos, etc.), en el marco del convenio suscrito entre la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y el Ayuntamiento de esta ciudad, este inició un proceso de reflexión, en el que intervino el foro “Micro Área Ecoturística de Las Canteras”, como plataforma de participación ciudadana. El resultado final fue que, atendiendo a las recomendaciones científico-técnicas, el escenario para la celebración de la noche de San Juan en 2024 se trasladó a un área cercana, donde no existe afección directa al agua y a la arena de la playa.

Desde el punto de vista metodológico, el conteo de personas a partir de imágenes síncronas ha sido excesivamente laborioso, aunque ha permitido tener, por primera vez, una estimación de las personas que asisten a la festividad de San Juan, y en qué momento lo hacen. Es de esperar que, en un futuro próximo, tras la reciente implantación de un sistema de sensores en la playa para contar las personas que acceden a ella, estas investigaciones puedan continuar, pero implementando otras herramientas tecnológicas que podrían ser más precisas. Por su parte, la evaluación de la capacidad de carga (física, real y efectiva) ha resultado un criterio de referencia muy útil, que permite estimar qué sectores de la playa están congestionados en un momento dado. No obstante, es necesario seguir investigando para mejorar la adaptación del método de Cifuentes (1992) al caso específico de los eventos masivos en playas.

Como conclusión, hay que destacar que esta investigación es un ejemplo de transferencia de resultados desde la Universidad, que ha contado con la sensibilidad de los ciudadanos mediante procesos de participación, y de la corporación municipal, para minimizar los efectos de un evento multitudinario. Por todo ello, también se refuerza la idea de que las decisiones de gestión, tomadas a partir de los resultados de investigaciones científicas (binomio gestión-investigación), pueden encaminar a acciones más sostenibles desde el punto de vista ambiental, cuestión fundamental para la playa de las Canteras que, a pesar de su carácter urbano, presenta una alta geodiversidad y biodiversidad.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio se ha realizado en el marco de un convenio de colaboración suscrito entre la Fundación Canaria Parque Científico Tecnológico (FCPCT) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria para el desarrollo de acciones y estudios en el litoral de la bahía del Confital-Las Canteras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Belzagui, F. & Gutiérrez, C. (2021). El rastro invisible y tóxico de billones de colillas. *The Conversation*. <https://theconversation.com/el-rastro-invisible-y-toxico-de-billones-de-colillas-154598>.
- Cerdá, V. (2002). La gestión integrada de la costa ¿La última oportunidad? *Revista de Obras Públicas Ingeniería y Territorio*, 61, 8-15.
- Cifuentes, M. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1139>
- Déniz, I. & Mangas, J. (2012). Lugares de interés geológico en la costa de Las Palmas de Gran Canaria (Islas Canarias): inventario y valoración. *Geotemas*, 13, 1253-1256. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8156924>
- Del Rosario, E. J. & Pérez-Chacón, E. (2019). El análisis de la capacidad de carga de la playa Francesa (La Graciosa, Islas Canarias, España): una herramienta de diagnóstico para la gestión de áreas protegidas. En Durán, R., Guillén, J., Simarro, G. (eds.). *X Jornadas de Geomorfología Litoral. Libro de ponencias* (pp. 89-92). Castelldefels.
- Enríquez, T., Botero, C. M., Cantero, R., Pertuz, A., & Suarez, A. (2018). Willingness to pay for Beach Ecosystem Services: The case study of three Colombian beaches. *Ocean & Coastal Management*, 161, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.04.025>
- Feliciani, C., Shimura, K., & Nishinari, K. (2021). *Crowd Properties and Characteristics*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90012-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90012-0_2).
- Fernández, J. M. & Bértola, G. R. (2014). Capacidad de carga turística de las playas del partido de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 6(1), 55-73. <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar/article/view/6233>
- Harding, S. (2016). *Marine Debris: Understanding, Preventing, and Mitigating the Significant Adverse Impacts on Marine and Coastal Biodiversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-83-en.pdf>
- IDECanarias. (2024, noviembre 20). Listado de servicios. [https://www.idecanarias.es/listado\\_servicios](https://www.idecanarias.es/listado_servicios).
- Manzana, A., Segura, F., & Martínez, B., (2016). El delta del Ebro a través de la cartografía histórica y la fotografía aérea: evolución morfológica de la llanura deltaica (1858-2012). En *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Actas de la XIV Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 61-68).

- [https://www.researchgate.net/publication/309480117\\_El\\_delta\\_del\\_Ebro\\_a\\_traves\\_de\\_la\\_cartografia\\_historica\\_y\\_la\\_fotografia\\_aerea\\_evolucion\\_morfologica\\_de\\_la\\_llanura\\_deltaica\\_1858-2012](https://www.researchgate.net/publication/309480117_El_delta_del_Ebro_a_traves_de_la_cartografia_historica_y_la_fotografia_aerea_evolucion_morfologica_de_la_llanura_deltaica_1858-2012)
- Máyer, P., Pérez-Chacón, E., Cruz, N., & Hernández, L. (2012). Características del viento en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, islas canarias, España). *Nimbus*, 29-30, 381-397. [https://www.researchgate.net/publication/285869503\\_Caracteristicas\\_del\\_viento\\_en\\_el\\_campo\\_de\\_dunas\\_de\\_Maspalomas\\_Gran\\_Canaria\\_Islas\\_Canarias\\_Espana](https://www.researchgate.net/publication/285869503_Caracteristicas_del_viento_en_el_campo_de_dunas_de_Maspalomas_Gran_Canaria_Islas_Canarias_Espana)
- Menéndez, I., Herrera, A. C., & Mangas, J. (2020). Upper Quaternary coastal palaeoenvironments and palaeosea-levels in Las Canteras beach, Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Marine Geology*, 429, 106322. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106322>.
- Organización Mundial del Turismo (OMT) (1999). *Desarrollo turístico sostenible. Guía para planificadores locales*. Madrid: Edición para América Latina y Caribe.
- Pereira, C. (2002). Beach Carrying Capacity Assessment: How important is it? *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 36, 190-197. DOI: 10.2112/1551-5036-36.sp1.190
- Reverté, F. G. & Pérez, S. M. (2017). El impacto cultural y social de los eventos celebrados en destinos turísticos: La percepción desde el punto de vista de los organizadores. *Cuadernos de Turismo*, 39, 339-362. <https://doi.org/10.6018/turismo.40.309741>
- Roig, F. X. (2003). Análisis de la relación entre capacidad de carga física y capacidad de carga perceptual en playas naturales de la Isla de Menorca. *Investigaciones Geográficas*, (31), 107-118. <https://doi.org/10.14198/INGEO2003.31.07>.
- Ruschmann, D. M., Paolucci, L., & Maciel, N. A. (2008). Capacidade de carga no planejamento turístico: Estudo de caso da Praia Brava-Itajaí frente à implantação do Complexo Turístico Habitacional Canto da Brava. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 2(2), 42-63. <https://doi.org/10.7784/rbtur.v2i2.102>.
- Santana, A., Monteiro, M. L., & Hernández, L. (2014). Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Conservation*, 18(4), 323-337. <https://doi.org/10.1007/S11852-014-0320-5>.
- Santos, P. L. A. & Brilha, J. (2023). A Review on Tourism Carrying Capacity Assessment and a Proposal for Its Application on Geological Sites. *Geoheritage*, 15(2), 47. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00810-3>.
- Sanjaume, E., Rosselló, V. M., Carmona, P., López, M. J., Pardo, J. E., & Segura, F. (1996). Coastal changes in the Gulf of Valencia (Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 102, 95-118. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6318963>
- Sanjaume, E., Pardo, J., & Segura, F. (2019). Mediterranean Coastal Lagoons. En Morales, J. A. (ed.). *The Spanish Coastal Systems* (pp. 237-267). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_11).
- Segura, F. (1993). Morfología de las desembocaduras fluviales en el Norte del País Valenciano. En *II Reunión del Cuaternario Ibérico* (vol. 2, pp. 227-234). Madrid: IGME-AEQUA.

- Segura, F., Sanjaume Saumell, E., & Pardo, J. (1995). Evolución cuaternaria de las albuferas del sector septentrional del Golfo de Valencia. En *El Cuaternario del País Valenciano* (pp. 139-154). València: Departament de Geografia, Universitat de València.
- Segura, F. (2012). Quan la mar envaeix les desembocadures fluvials. *Mètode*, 74, 45-49. [https://metode.es/wp-content/uploads/2012/07/74ESP\\_044\\_049\\_desembocaduras.pdf](https://metode.es/wp-content/uploads/2012/07/74ESP_044_049_desembocaduras.pdf)
- Sheavly, S. B. & Register, K. M. (2007). Marine debris & plastics: environmental concerns, sources, impacts, and solutions. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(4), 301-305. DOI: 10.1007/s10924-007-0074-3

Cómo citar este artículo:

Del Rosario Rodríguez, E., García Romero, L., & Pérez-Chacón Espino, E. (2024). Análisis geográfico de la presión humana durante eventos festivos: aplicaciones a la gestión de la noche de San Juan en la playa urbana de las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria, España). *Cuadernos de Geografía*, 112, 261-286.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29321>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

OBDULIA MONTESERÍN ABELLA<sup>a</sup>

RESEÑA

## EL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA PROVINCIA DE CASTELLÓN. PASADO, PRESENTE Y FUTURO

**Autor:** Pablo Marco Dols

**Título:** El transporte público en la provincia de Castellón. Pasado, presente y futuro

**Lugar de la publicación:** Castellón de la Plana

**Editorial:** Diputació de Castelló, Col·lecció Universitària - Geografia i Història

**Año de la publicación:** 2024

**Número de páginas:** 544

En esta obra publicada por la Diputación de Castellón, dentro de su colección Universitaria, el autor, Pablo Marco Dols, completa su investigación iniciada en 2015 sobre el transporte público en las comarcas castellonenses, que culmina con su doctorado en Historia y Estudios Contemporáneos por la Universitat Jaume I. Su labor investigadora ha sido reconocida con el Premio Demetrio Ribes, impulsado por la Generalitat Valenciana junto con la Universitat de València, y el Premio Ciutat de Castelló de Humanidades, otorgado por el Ayuntamiento de Castellón.

La publicación se estructura en dos partes, precedidas de un capítulo de introducción. La primera recoge extensamente un análisis sobre la situación del transporte público de viajeros en la provincia y su evolución histórica desde principios del siglo xx. La segunda, que engloba los dos últimos capítulos, profundiza en la historia del sector empresarial castellonense del transporte de viajeros por carretera.

En la primera parte se estudian los distintos factores geográficos y legislativos que favorecieron las primeras líneas de viajeros y que han venido determinando su posterior evolución hasta configurar la actual red y oferta de servicios. En esta se observa cómo la inexistencia de servicios ferroviarios en determinadas comarcas con una importante actividad económica propició, a partir de finales de la primera

---

a Universitat Jaume I. monteser@uji.es, <https://orcid.org/0000-0002-6548-6983>

Fecha de recepción: 11-06-2024. Fecha de aceptación: 11-09-2024.

década del siglo xx, el desarrollo, por parte de la burguesía de esos municipios, de las primeras líneas de automóviles, como una posible solución a su aislamiento.

Resulta significativo el papel que desempeña el turismo en el establecimiento de los primeros servicios, de manera que algunos destinos turísticos del interior se convierten rápidamente en cabezales de diversas líneas que comunican con las estaciones de ferrocarril y las ciudades más próximas. En este aspecto destaca la Font d'en Segures de Benassal, conocida por las propiedades de las aguas y muy concurrida a principios del pasado siglo por agüistas de todo el país. Precisamente el tráfico de viajeros generado por esta afluencia de veraneantes no solo propició el establecimiento de algunas de las primeras líneas de la provincia, sino que favoreció el crecimiento de una empresa que acabó por situarse en la década de 1930 entre las principales de España en su sector: La Hispano de Fuente En Segures.

Esta primera parte se organiza en ocho capítulos, cada uno de los cuales se corresponde con las áreas funcionales en las que Marco, siguiendo los modelos propuestos por otros autores, organiza la estructura territorial de líneas de viajeros en la provincia. De esta manera, en cada capítulo se detallan, por un lado, las características del área y los principales procesos territoriales de cada una, y que han acabado repercutiendo en las pautas de movilidad de sus habitantes. Por otro, la evolución de los diferentes servicios de viajeros, tanto ferroviarios como, fundamentalmente, en autobús. Este doble análisis permite al autor mostrar las diversas carencias de adecuación entre la oferta de transporte y la demanda de movilidad que desde hace varias décadas padece la práctica totalidad de la provincia.

Para el autor, esta situación es fruto de un proceso histórico, y se identifica como momento clave la agudización del éxodo rural en la década de 1960, que agravó la pérdida de población en las comarcas rurales y aceleró la urbanización de áreas litorales que comenzaban a perfilarse como destino turístico de masas. La coincidencia histórica de estas tendencias con la intensificación de la motorización de la población generó un contexto que los operadores de transporte público fueron incapaces de afrontar, de modo que el vehículo particular se convierte en el eje principal de la movilidad.

Ante esta situación de servicios deficitarios en las áreas rurales y la generalización del automóvil en el litoral, el transporte público quedó relegado a la demanda cautiva. Y las administraciones públicas no intervinieron ante este hecho. Solo empezaron a actuar ante la amenaza de clausura de la mayoría de las líneas rurales, y aun así de forma parcial, sin plantearse en ningún caso una reforma en profundidad que permitiera resolver la problemática existente.

En la segunda parte del libro se estudia la historia del sector del transporte de viajeros, con la trayectoria de sus empresas y empresarios, lo que permite conocer el recorrido de los pioneros del transporte de principios del siglo xx; el surgimiento de grandes compañías, como la ya mencionada La Hispano de Fuente En Segures, o el proceso de concentración empresarial que ha transformado un sector caracterizado en sus primeras décadas por una fuerte atomización a una situación actual dominada por grandes grupos empresariales.

El primer capítulo de la segunda parte se centra, posiblemente, en el periodo más desconocido, que se corresponde con el inicio del proceso de motorización y la guerra civil. Se abordan las circuns-



tancias que llevaron a la creación de las primeras empresas, en la mayoría de los casos de existencia efímera; los desafíos que tuvieron que afrontar los conductores pioneros, o la manera en la que los cambios en el marco legislativo y la evolución técnica determinaron su evolución. Resulta significativa la distinta procedencia social de los primeros transportistas, la influencia que las compañías ferroviarias ejercían sobre los poderes públicos a la hora de defender sus intereses, o cómo el desarrollo tecnológico del automóvil lo convirtió progresivamente en una alternativa de movilidad cada vez más fiable y competitiva.

En el segundo capítulo de esta parte se describe la maltrecha situación de las empresas tras la guerra y la lenta recuperación de los servicios experimentada a lo largo de la posguerra; los grandes cambios acontecidos en el sector a partir de la década de 1960 con la escisión de La Hispano de Fuente En Segures; la profunda crisis de las empresas dedicadas a los servicios regulares y el auge de numerosos autónomos y microempresas dedicados a los discrecionales, o las consecuencias que para el sector supuso la entrada de España en el Mercado Común. Como en la primera parte, en esta segunda también se concluye analizando la situación actual del sector, caracterizada por un fuerte proceso de concentración llevado a cabo a lo largo de las últimas tres décadas y agudizado en los últimos años, con la consolidación de dos grandes grupos empresariales.

La obra de Pablo Marco es muy significativa. No solo ofrece claves sobre las disfuncionalidades en la oferta de servicios y su inadecuación a la realidad territorial, particularmente en relación con la despooblación y la movilidad urbana, sino que también su enfoque investigativo trasciende la visión sectorial e historicista con la que muchas veces se aborda la temática. Pero también arroja hechos que proporcionan un mejor entendimiento de la desvertebración y dualidad entre interior y litoral en la provincia.

No cabe duda del compromiso del autor con este territorio, no solo planteando de forma concisa las necesidades existentes, sino también mostrando el interés del tema para favorecer los indicadores de calidad de vida y sostenibilidad. De hecho, la administración autonómica presentó, durante el periodo de realización del libro, un nuevo mapa concesional de servicios de transporte de viajeros por carretera, en el que participa el autor. No obstante, las conclusiones que el autor extrae de este nuevo panorama no son extremadamente satisfactorias, pues si bien indica que en algunos aspectos la nueva oferta supondrá un importante avance respecto a la situación actual, en otros, especialmente en el ámbito urbano, los nuevos servicios resultan, para Marco, insuficientes, y no resuelven los problemas estructurales de movilidad en dicha área.

*El transporte público en la provincia de Castelló. Pasado, presente y futuro* es fruto de una meticulosa labor de investigación. Tras esta obra existe una brillante e impecable labor documental e investigadora en general. Su impecable escritura y habilidad para sistematizar la investigación en una obra tan extensamente estudiada, el uso de cartografía, entrevistas personales y otras fuentes que facilitan la comprensión de lo expuesto, la convierten en idónea para todos los públicos, especialmente para estudiantes de disciplinas afines, y muy recomendada a las administraciones públicas competentes. El conocimiento que muestra el autor sobre el transporte público, no solo en su dimensión histórica sino también territorial, convierte a esta obra un documento de referencia para las administraciones.

Este trabajo abre el camino para la realización de investigaciones similares sobre otros territorios, lo que facilitaría la realización de estudios comparados que permitirían relacionar diversos aspectos territoriales y comprender la situación y evolución histórica de los servicios de viajeros en España, así como su carácter transversal e importancia estratégica.

Cómo citar este artículo:

Monteserín Abella, O. (2024). El transporte público en la provincia de Castelló. Pasado, presente y futuro. *Cuadernos de Geografía*, 112, 287-290.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.112.29016>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.