



Gestión Sostenible del Agua en el Medio Rural Orcera 2026

Cursos de desarrollo territorial UJA 2026 Orcera
16-18 de junio de 2026

Sesión II.3

Estudios de Inundabilidad Urbana.
Gestión del Riesgo de Inundación

PATRICIO BOHÓRQUEZ, CATEDRÁTICO DE MECÁNICA DE FLUIDOS (
PRMEDINA@UJAEN.ES)

CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE UJA



Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Índice

- Motivación
 - Sitios de estudio
 - Causas de las inundaciones y pérdida de suelo
 - Factores climáticos
 - Factores antropogénicos
 - Simulación de estrategias de mitigación con GPU
 - Análisis de mapas de calado y velocidad
 - Relevancia de los esfuerzos cortantes
 - Histogramas: analogía entre cuencas
 - Mapas de riesgo de utilidad legal
 - Conclusiones
- a. Escenario actual
 - b. Vegetación riparia
 - c. Cobertura vegetal
 - d. Humedales
 - e. Balsas
 - f. Infraestructuras





Universidad
de Jaén

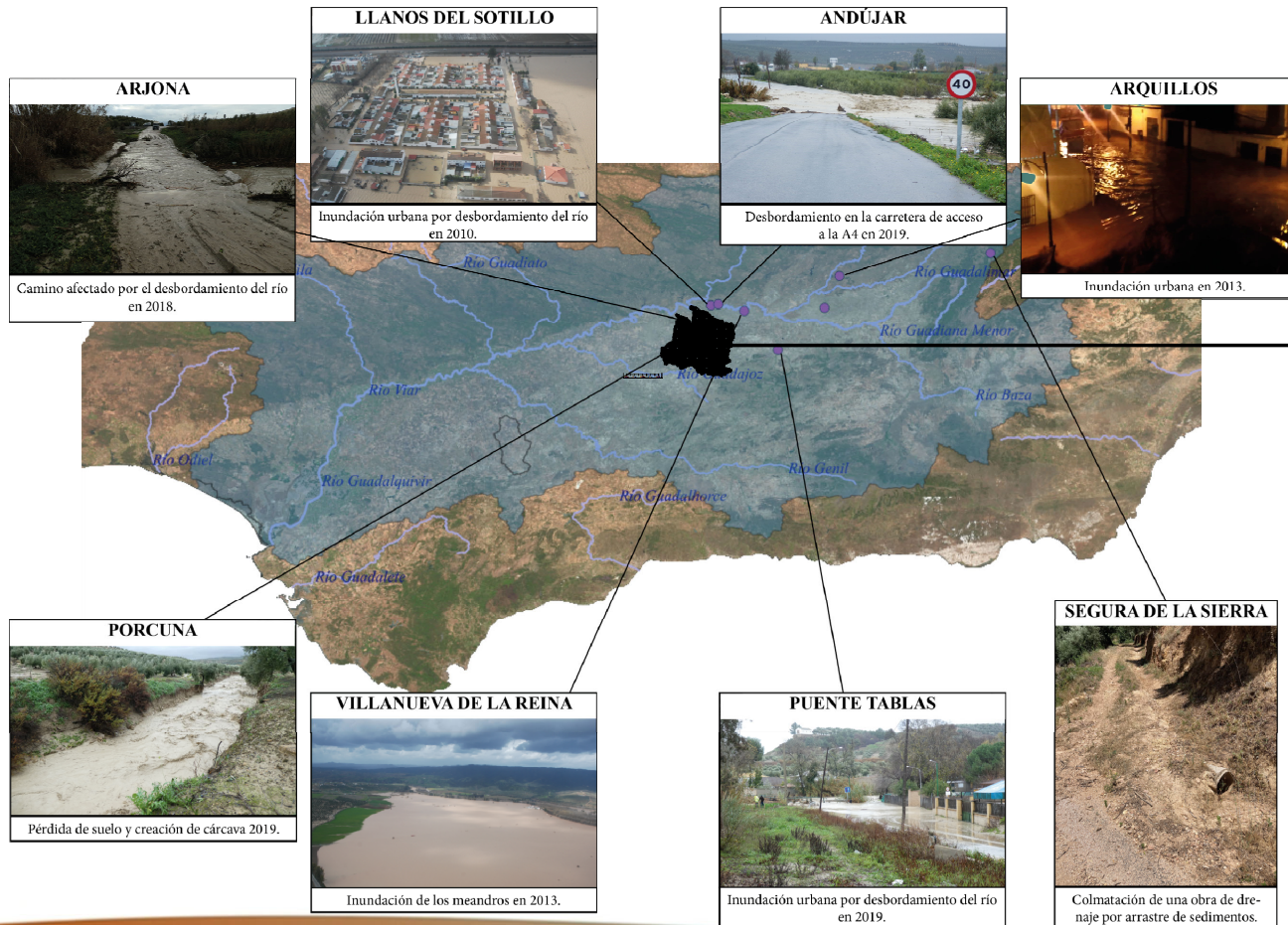


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

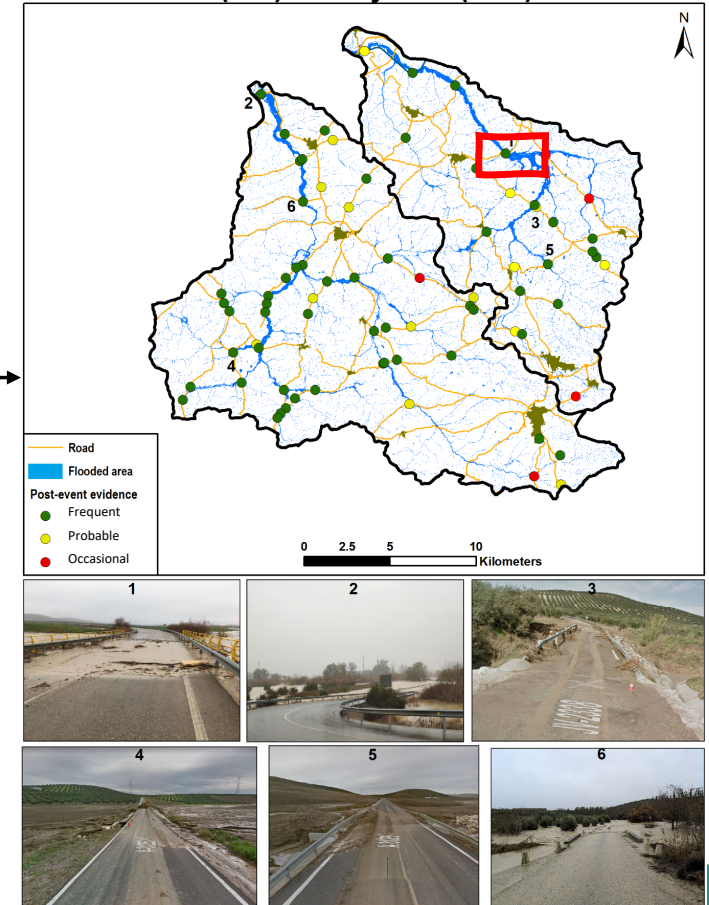


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Motivación



Porcuna (B I) & Arjona (B II) Basins





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

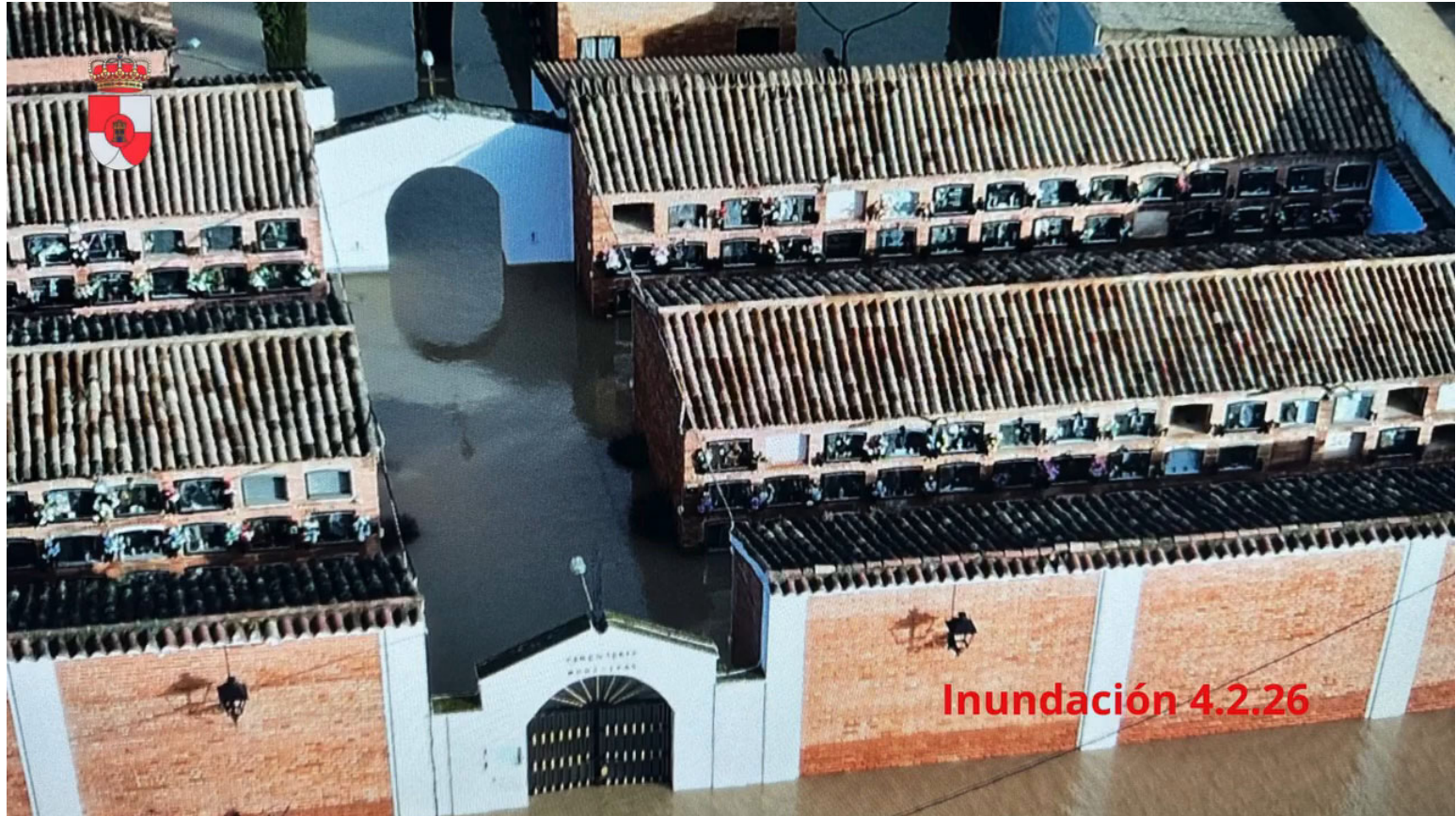
Recurrencia

Villanueva de la Reina

4 de febrero de 2026 →



17 de febrero de 1963



<https://www.facebook.com/HoraJaen/videos/-as%C3%AD-se-ve-villanueva-de-la-reina-desde-el-aire/1785500105463310/>





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Recurrencia



Jaén

16 de junio de 2026



Puente de la Sierra

16 de junio de 2026



Puente Tablas

22 Septiembre de 2021





Universidad
de Jaén

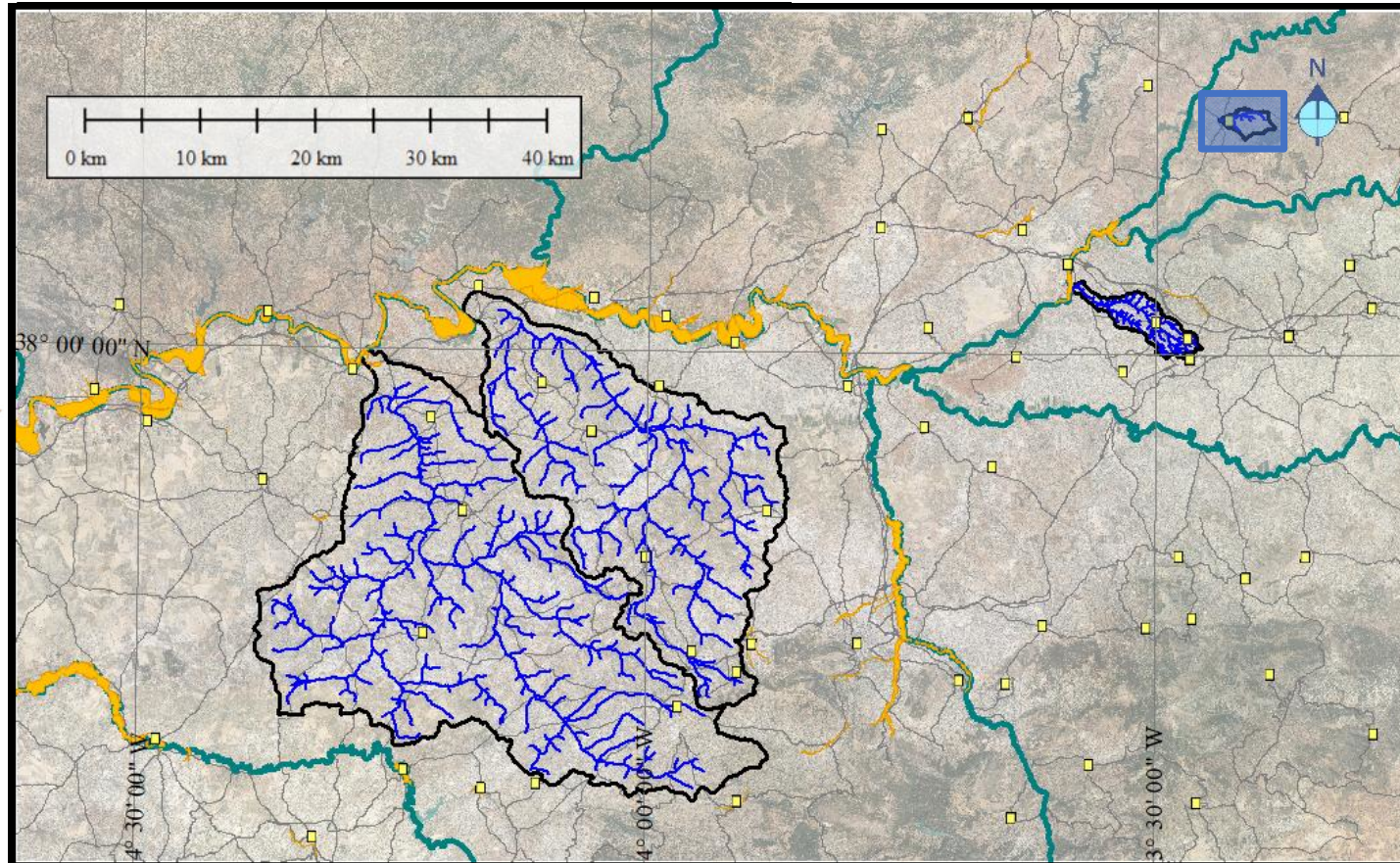
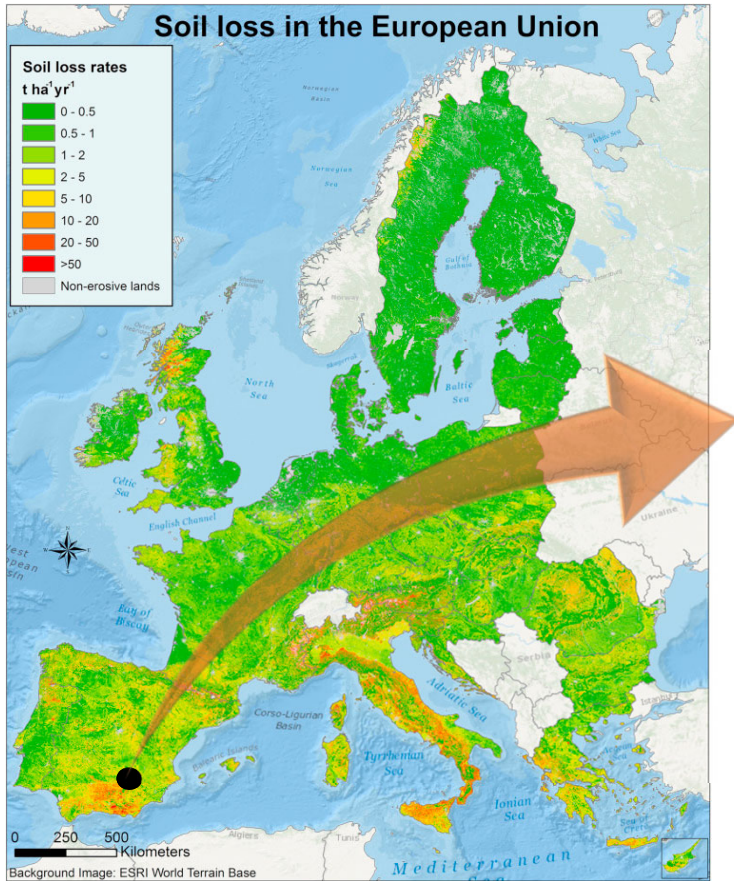


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Sitios de estudio





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Inundaciones regionales de interés internacional

mdpi.com/2076-3417/13/5/2882

MDPI Journals Topics Information Author Services Initiatives About Sign In / Sign Up

Search for Articles: Title / Keyword Author / Affiliation / Email Applied Sciences All Article Types Search

Journals / Applied Sciences / Volume 13 / Issue 5 / 10.3390/app13052882

applied sciences

Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

Article Menu

Academic Editors

Gordon Gilja

Manousos Valyrakis

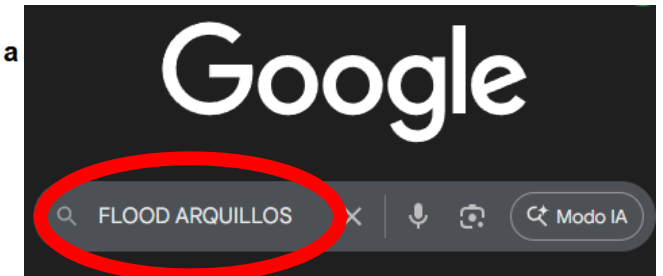
Nature-Based Solutions for Flood Mitigation and Soil Conservation in a Steep-Slope Olive-Orchard Catchment (Arquillos, SE Spain)

by Patricio Bohorquez ^{1,2,*}, Francisco José Pérez-Latorre ^{2,3}, Inmaculada González-Planet ¹, Raquel Jiménez-Melero ^{2,4} and Gema Parra ^{2,4}

¹ Department of Mechanical and Mining Engineering, University of Jaén, 23071 Jaén, Spain
² Centre of Advanced Studies in Earth Science, University of Jaén, 23071 Jaén, Spain
³ Department of Mechanical and Mining Engineering, University of Jaén, 23070 Linares, Spain
⁴ Department of Animal Biology, Plant Biology and Ecology, University of Jaén, 23071 Jaén, Spain
 * Author to whom correspondence should be addressed.

Appl. Sci. **2023**, *13*(5), 2882; <https://doi.org/10.3390/app13052882>

Order Article Reprints





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Inundaciones regionales de interés internacional

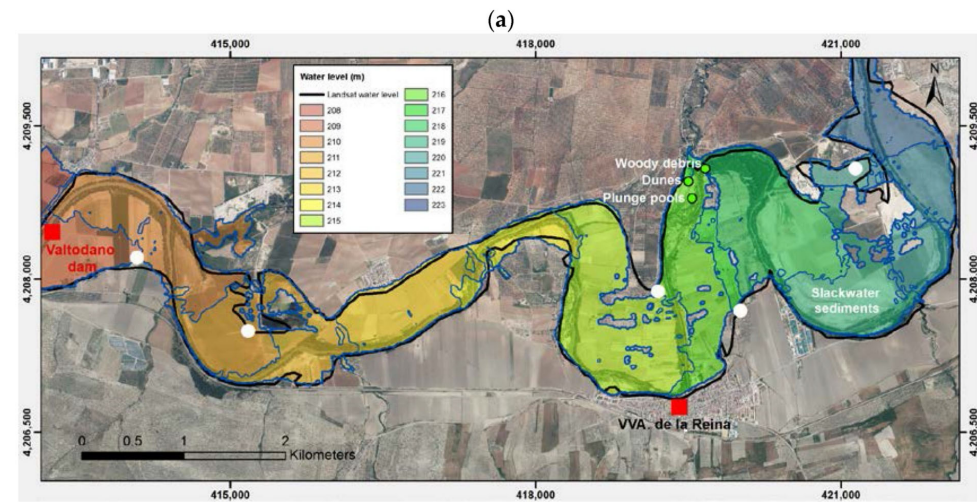
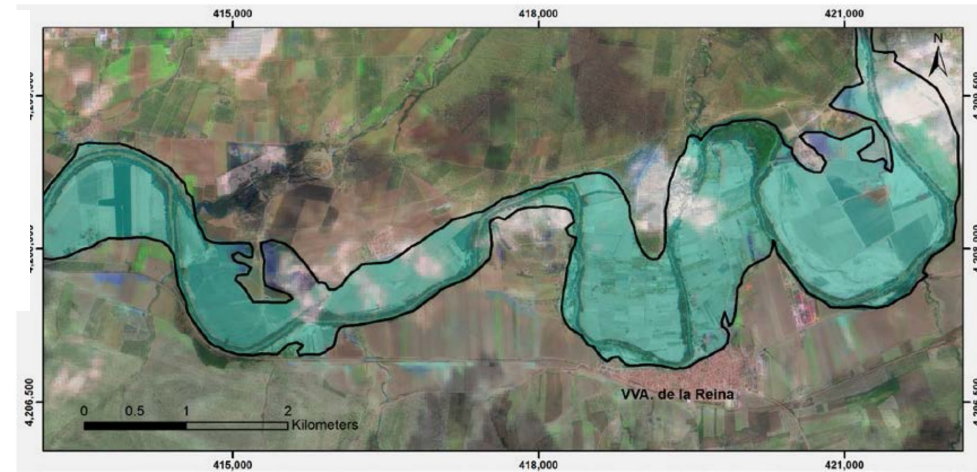
100 Years of Competition between Reduction in Channel Capacity and Streamflow during Floods in the Guadalquivir River (Southern Spain)

by Patricio Bohorquez * and José David Del Moral-Erencia

Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra (CEACTierra), Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain

* Author to whom correspondence should be addressed.

Remote Sens. **2017**, *9*(7), 727; <https://doi.org/10.3390/rs9070727>





Universidad
de Jaén



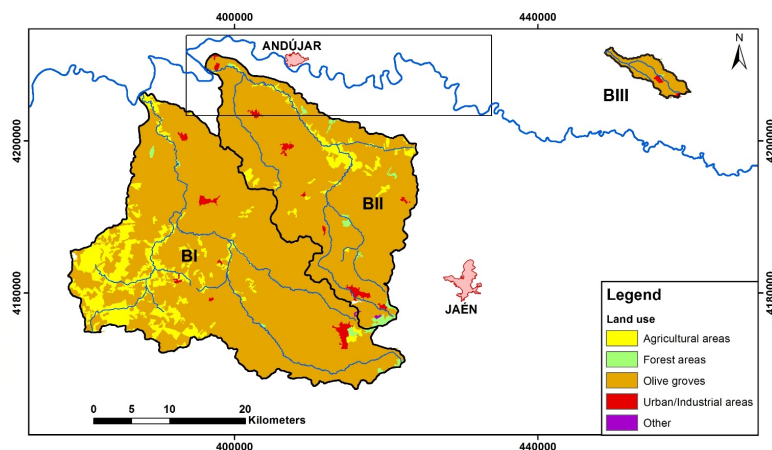
CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Sitios de estudio

	BI	BII	BIII
	%	%	%
Superficie olivar	84.5	91.1	94.6
Cultivo herbáceo	11.8	2.9	2.7
Bosque	1.7	2.7	1.5
Zona urbana	0.7	1.1	0.9
Otros	1.3	2.2	0.3



Cuenca	Porcuna (BI)	Arjona (BII)	Ibros (BIII)
Area de drenaje (km ²)	810	490	25.6
Superficie de olivar (%)	85	91	95
Pendiente media (°)	6.4	7.0	9.8
Altura media (masl)	395	378	523
Longitud del arroyo (km)	56	49	15.3
Pendiente del arroyo (°)	0.69	0.62	2.0
Profundidad del arroyo (m)	39.8	26.7	9.6-19.1
Ancho del arroyo (m)	40	27	15
Ancho de la llanura de inundación (m)	243-470	198-660	22-59
Caudal punta (m ³ ·s ⁻¹)	697	626	187
Tiempo de respuesta (min)	6.4	4.6	1.6
Precipitación (mm·h ⁻¹)	3.1	4.6	26.3





Universidad
de Jaén

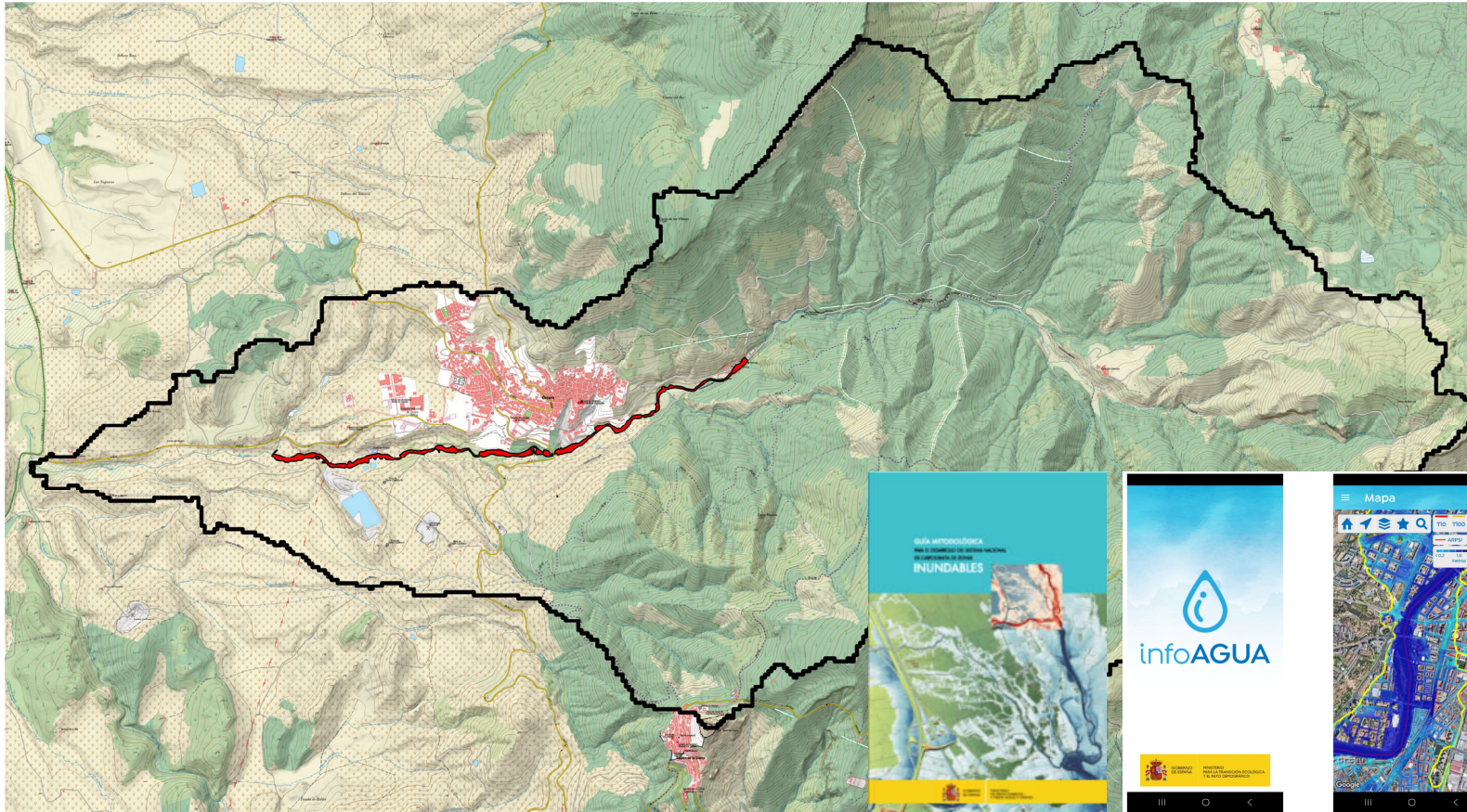


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Sitios de estudio



Cuenca	Orcera
Area de drenaje (km ²)	20.5
Superficie de bosque aguas arriba de la ARPSI (%)	85
Pendiente media (°)	29.6
Altura media (masl)	994
Longitud del arroyo (km)	9.5
Pendiente del arroyo (°)	2.5
Profundidad del arroyo (m)	1.5-2.5
Ancho del arroyo (m)	5-10
Ancho de la llanura de inundación (m)	30
Caudal punta (m ³ ·s ⁻¹)	53
Tiempo de respuesta (min)	-
Precipitación (mm·d ⁻¹)	4





Universidad
de Jaén



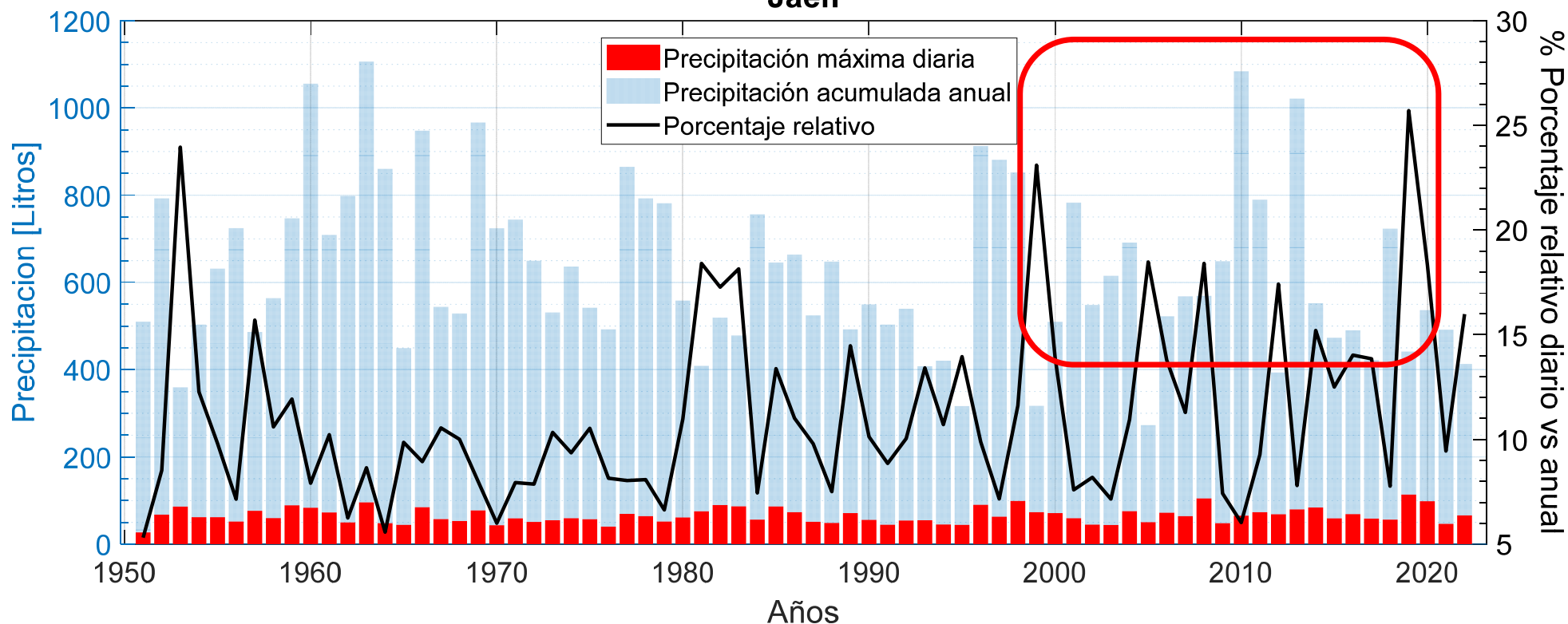
CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

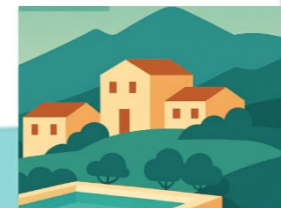
Precipitación (Jaén provincia)

Jaén



EN UN SOLO DÍA LLUEVE UN 15 Y 25 PORCIENTO DEL TOTAL ANUAL

Entre 1950 y 1980 era solo el 5-10 %





Universidad
de Jaén

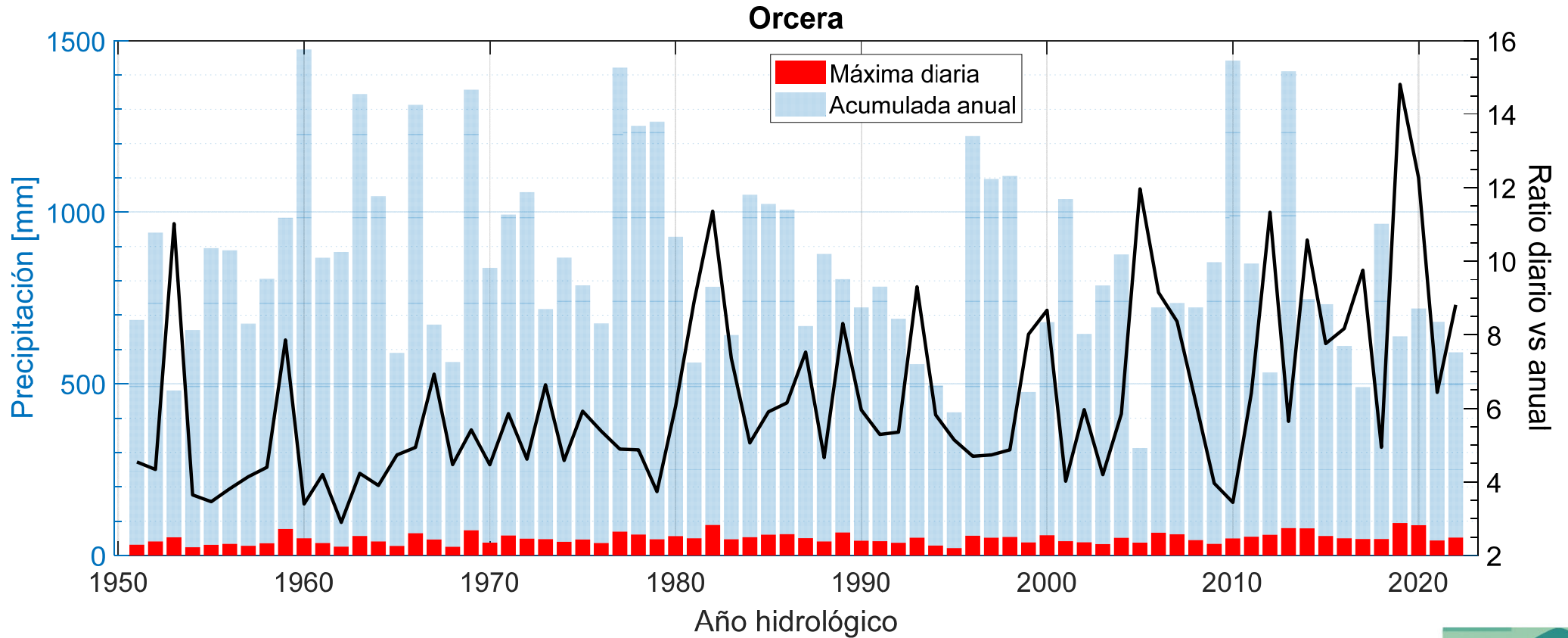


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Precipitación (Orcera)





Universidad
de Jaén

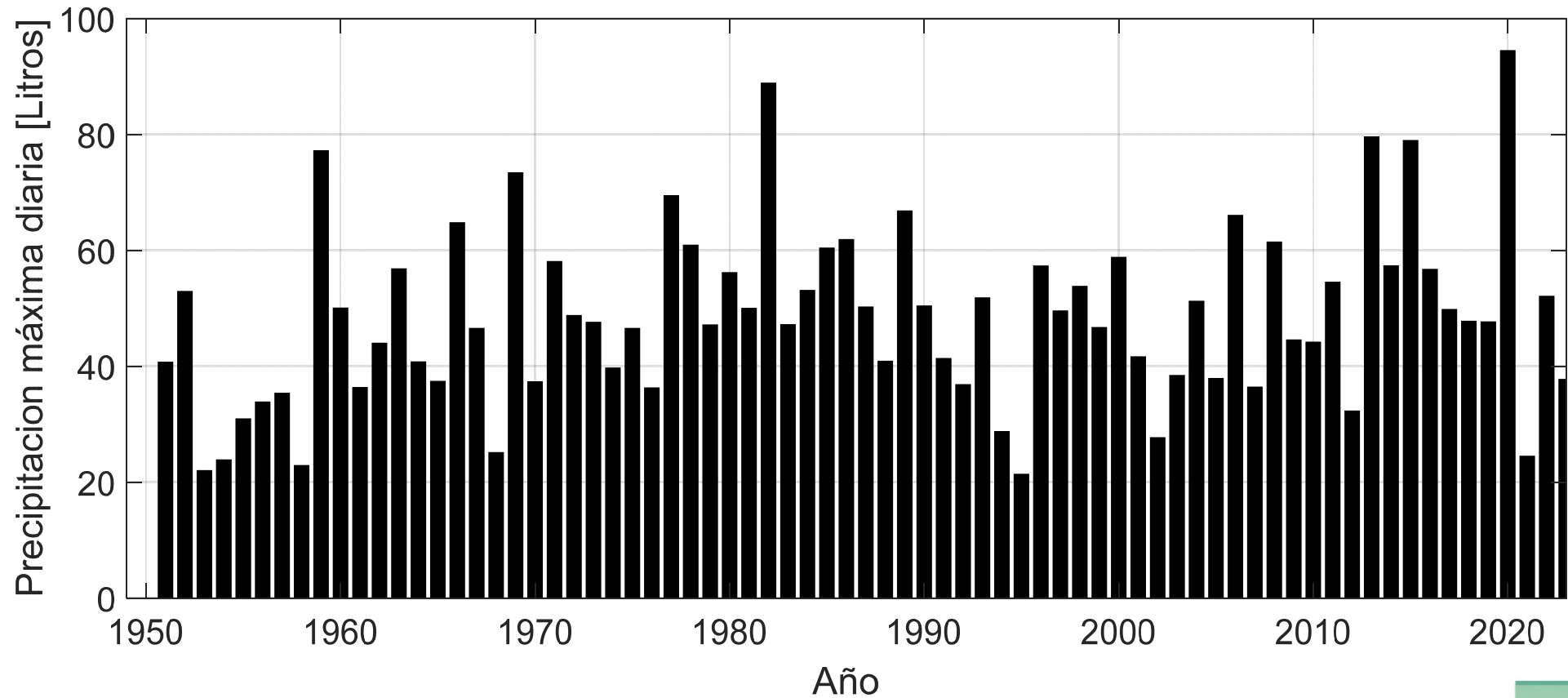


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Precipitación (Orcera)





Universidad
de Jaén

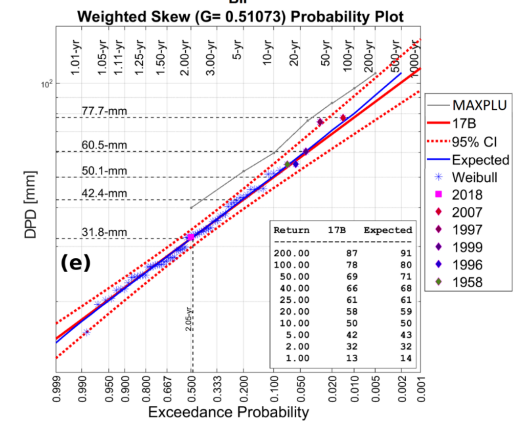
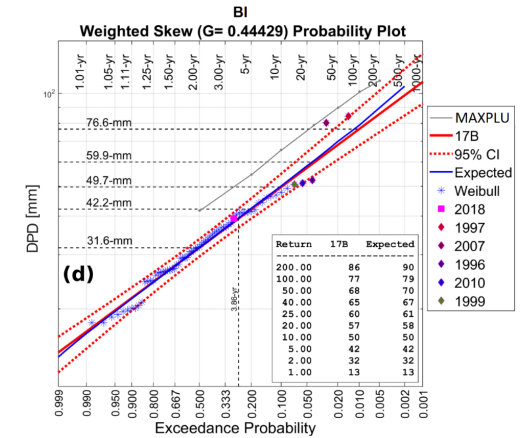
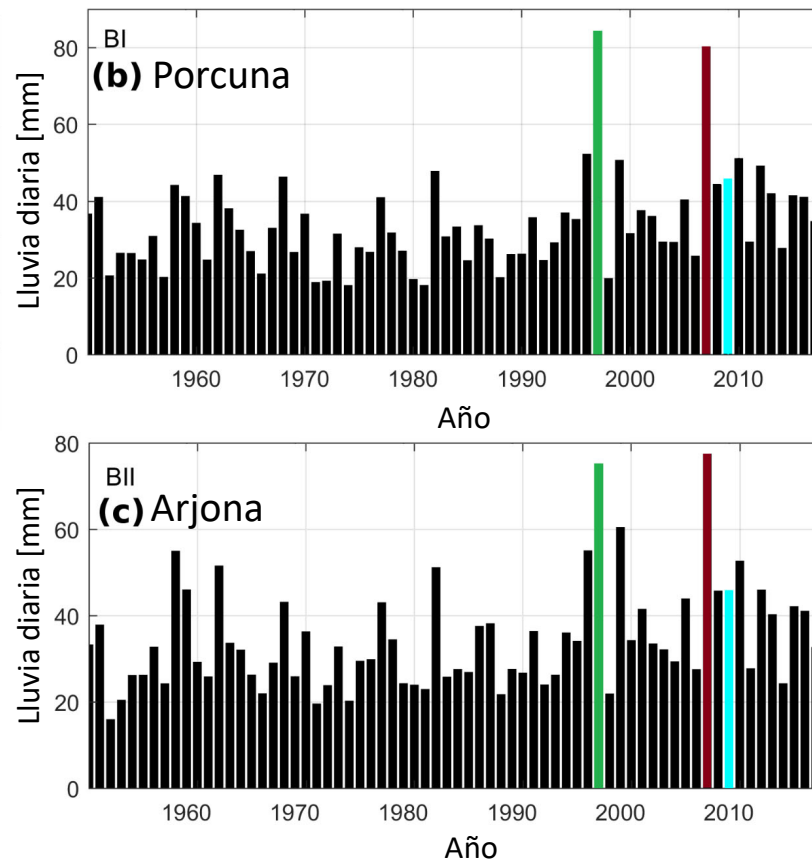
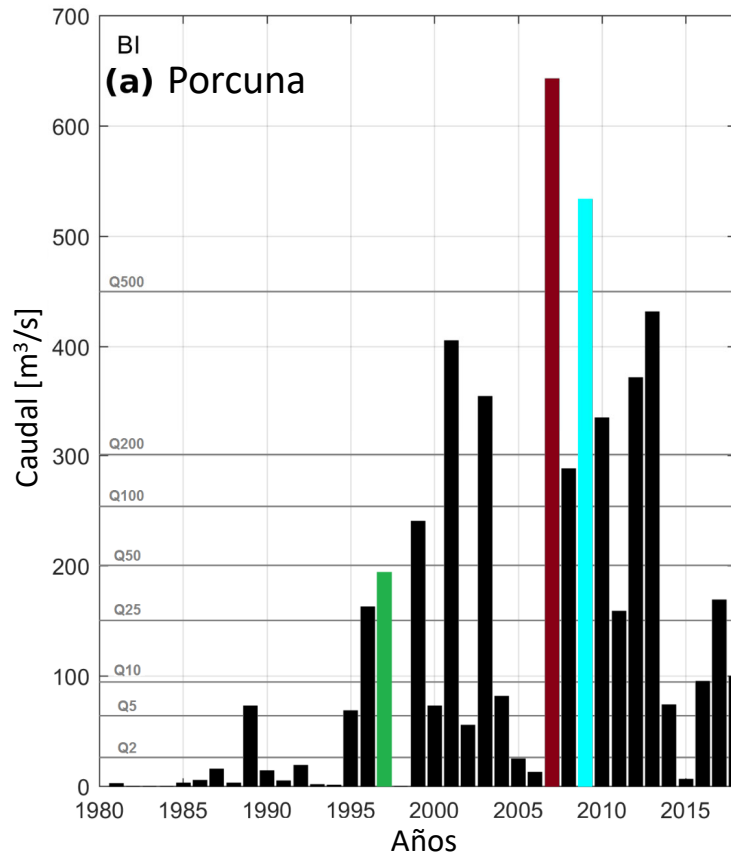


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

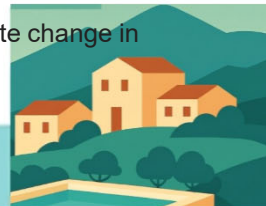


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Precipitación (B I-II)



Moral-Erencia, J. D., Bohorquez, P., Jimenez-Ruiz, P. J. & Pérez-Latorre, F. J. (2020). Slackwater sediments record the increase in sub-daily rain flood due to climate change in a European Mediterranean catchment. *Water Resources Management*, 34(14), 4431-4447.





Universidad
de Jaén

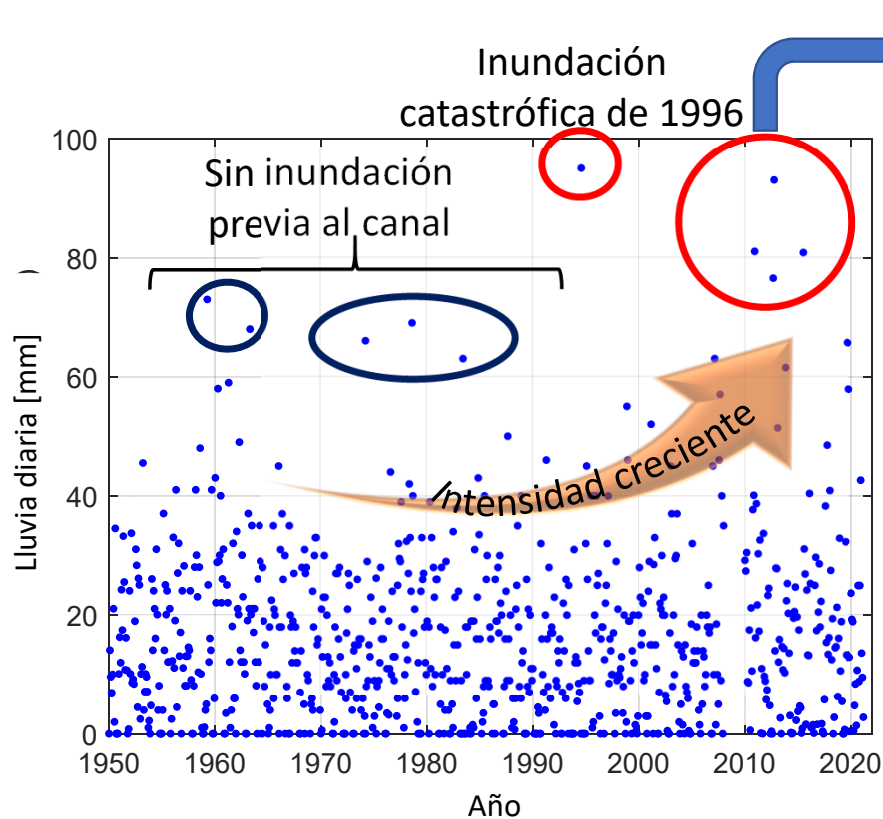


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

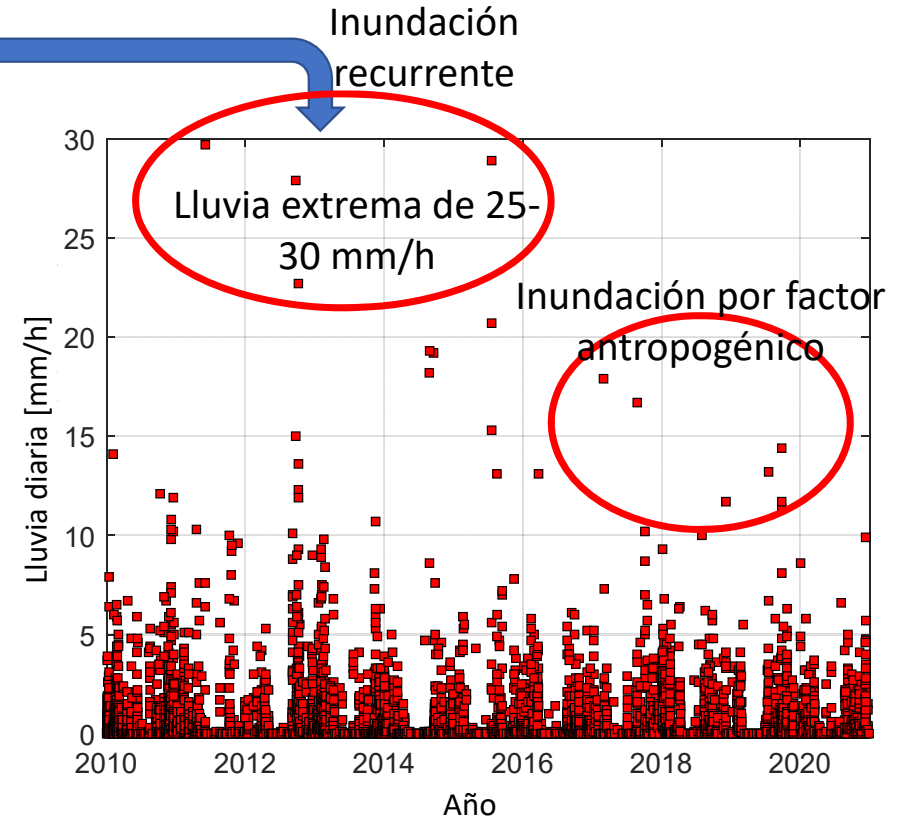


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Precipitación en Arquillos



Manillas - Cuenca IV





Universidad
de Jaén

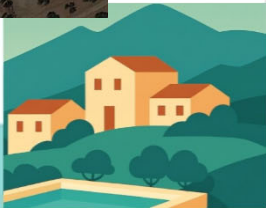
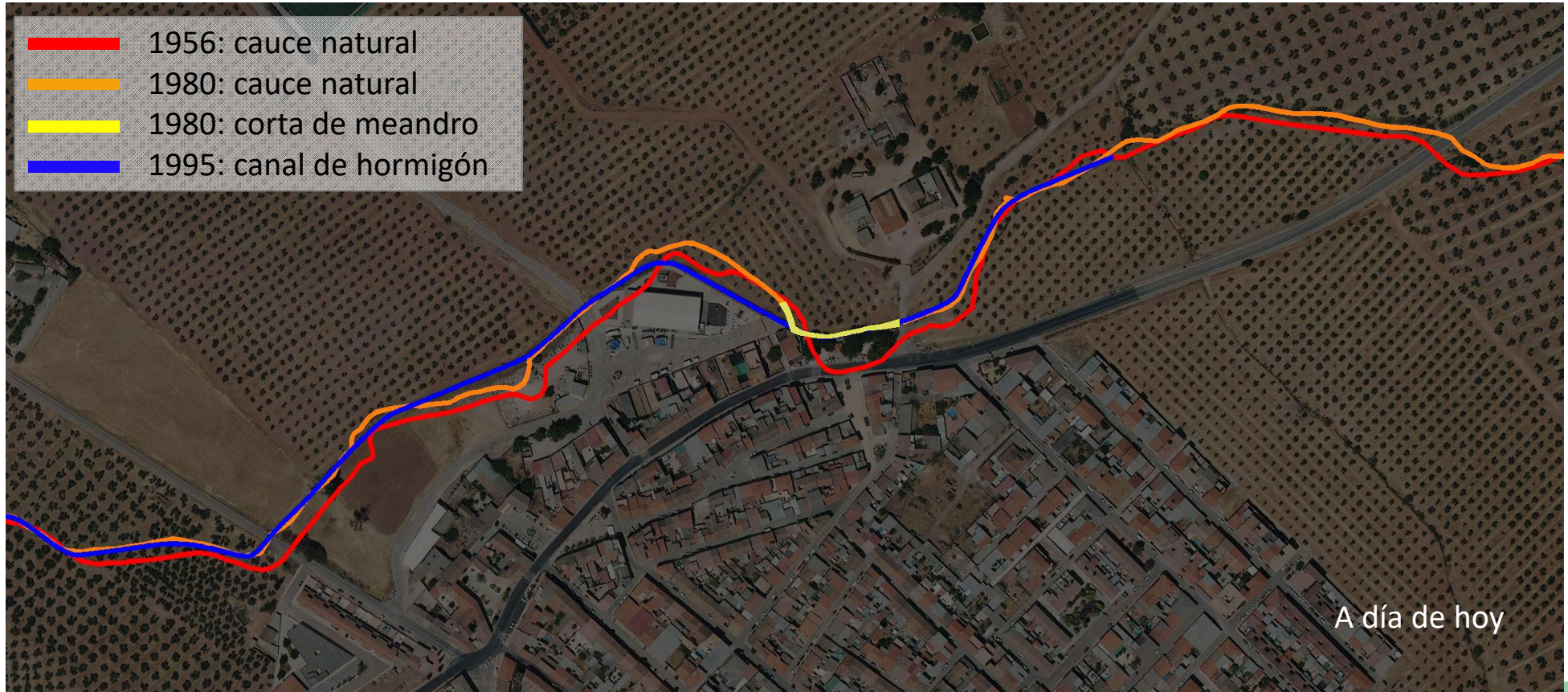


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Evolución urbanística





Universidad
de Jaén

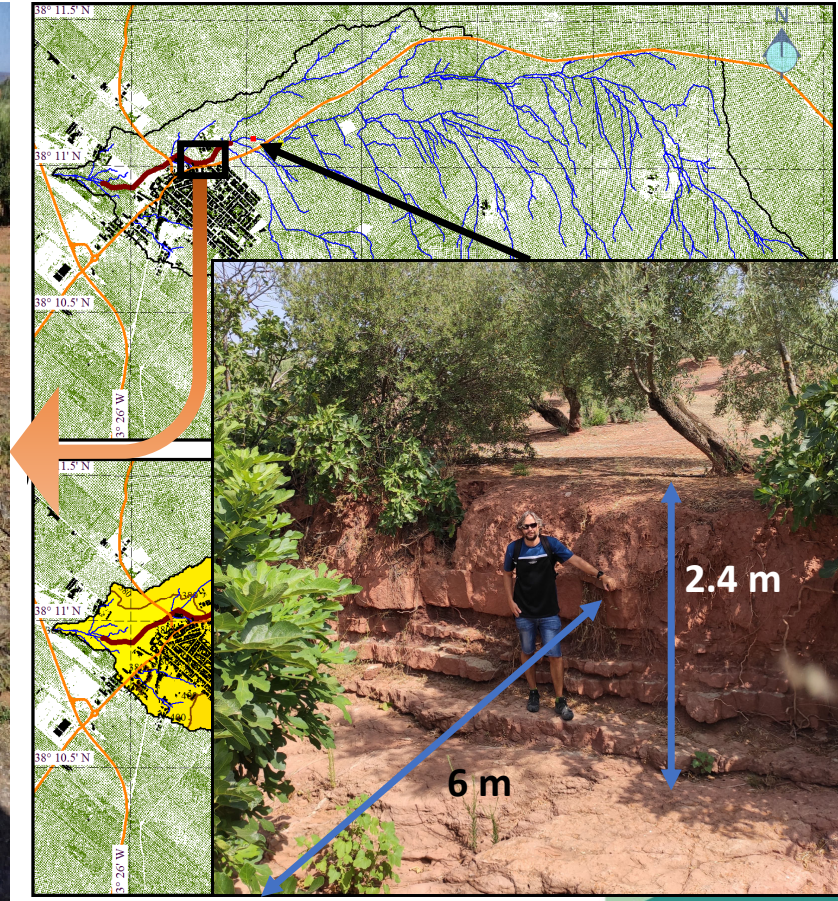
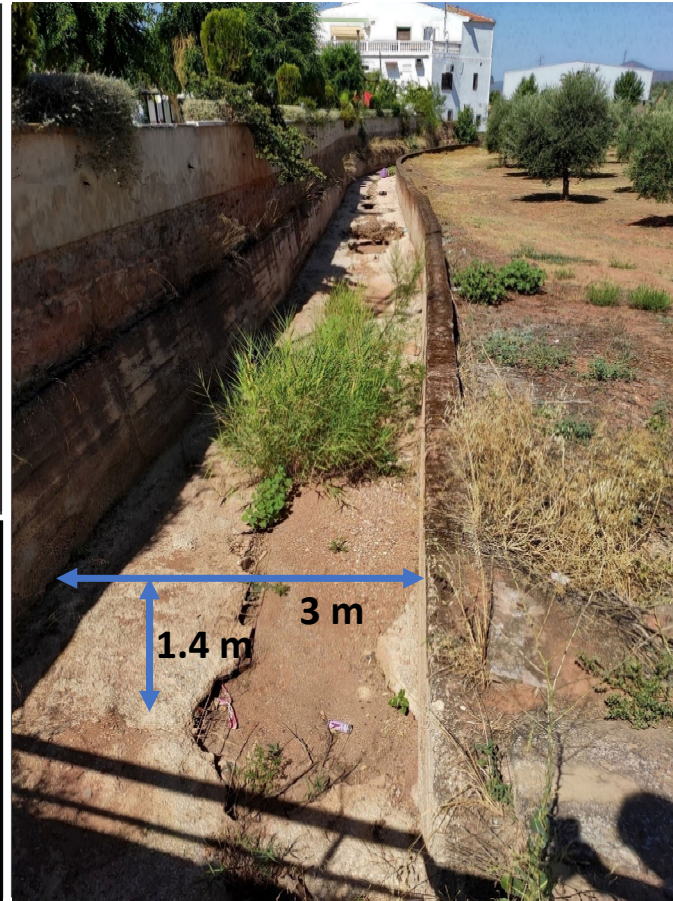


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

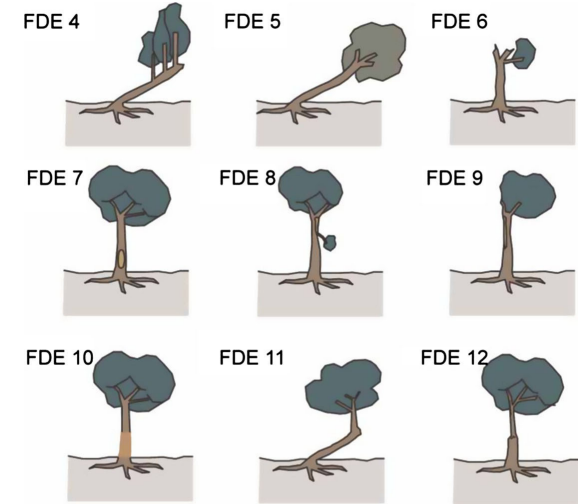
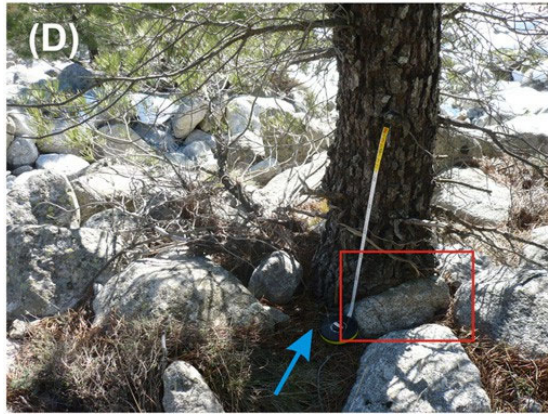


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Inundaciones históricas



Inundaciones históricas



Dendrocronología: Daño de inundación en el árbol =
ruptura en su desarrollo/crecimiento previo al impacto





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Modelado hidrológico





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Índice

- Motivación
 - Sitios de estudio
 - Causas de las inundaciones y pérdida de suelo
 - Factores climáticos
 - Factores antropogénicos
 - Simulación de estrategias de mitigación con GPU
 - Análisis de mapas de calado y velocidad
 - Relevancia de los esfuerzos cortantes
 - Histogramas: analogía entre cuencas
 - Mapas de riesgo de utilidad legal
 - Conclusiones
- a. Escenario actual
 - b. Vegetación riparia
 - c. Cobertura vegetal
 - d. Humedales
 - e. Balsas
 - f. Infraestructuras





Universidad
de Jaén

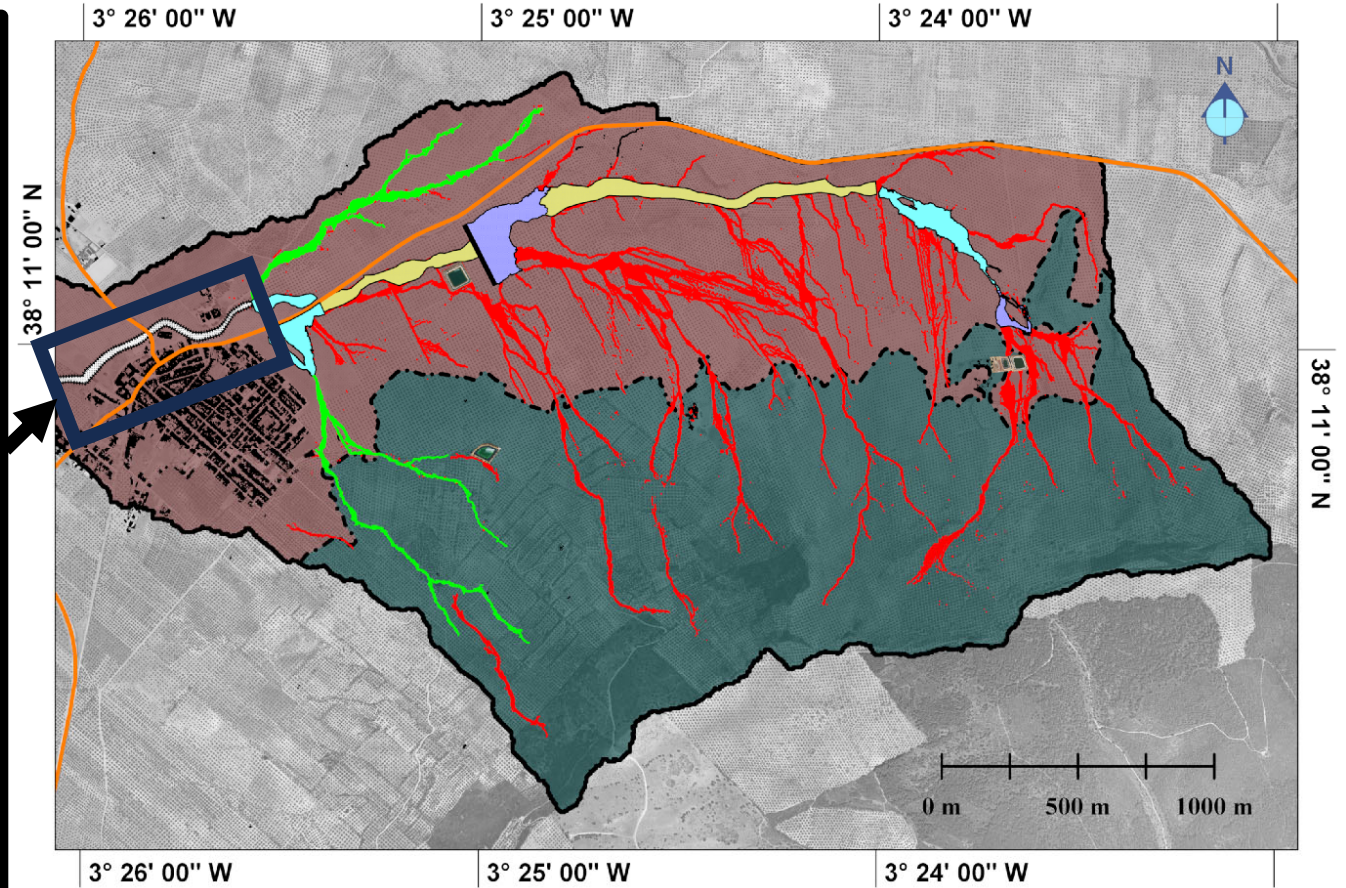


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategia de mitigación : canal





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategias de mitigación

A – Actualidad

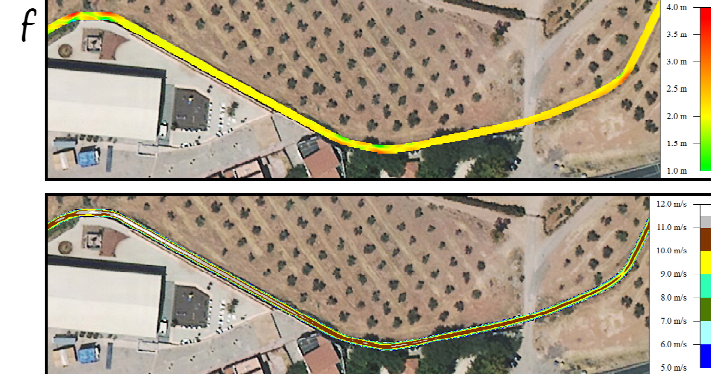
B – Textura del suelo del olivar y cauce

C – Textura del suelo del olivar

D – Humedal artificial

E – Balsa de regadío

F – Ampliación del canal (4 m)





Universidad
de Jaén

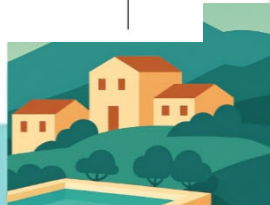
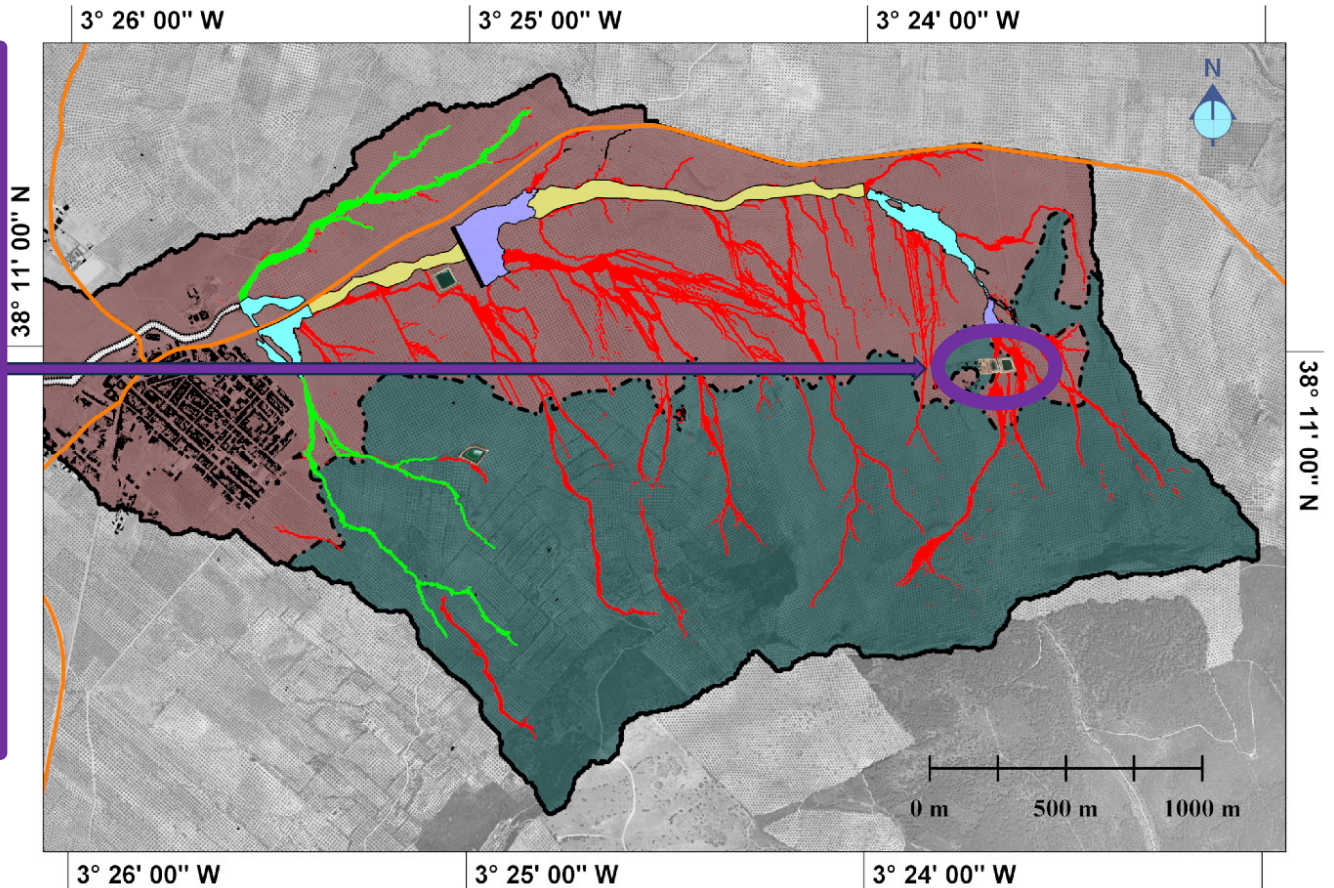


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategia de mitigación: inspiración





Universidad
de Jaén

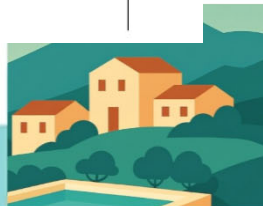
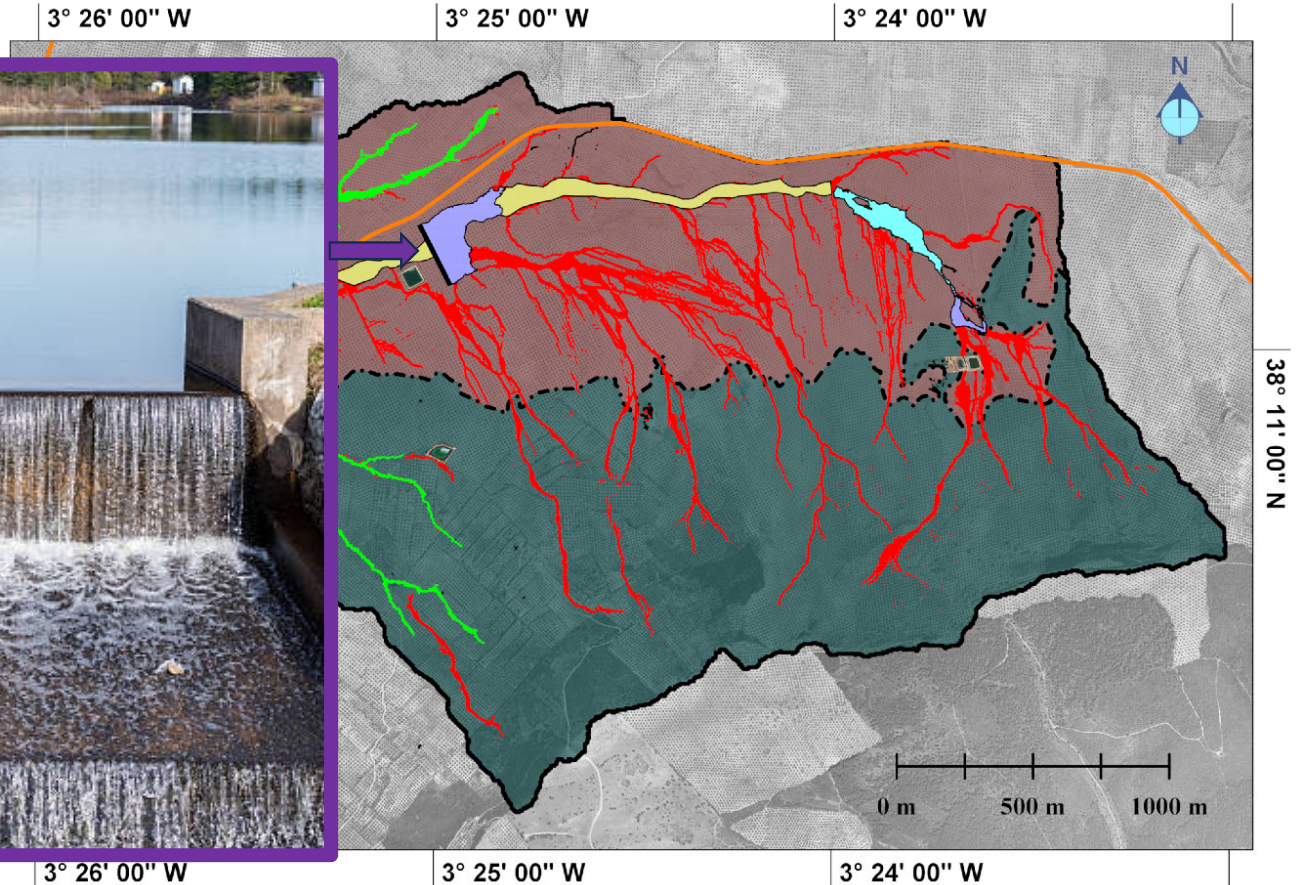


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategia de mitigación: balsa/humedal





Universidad
de Jaén

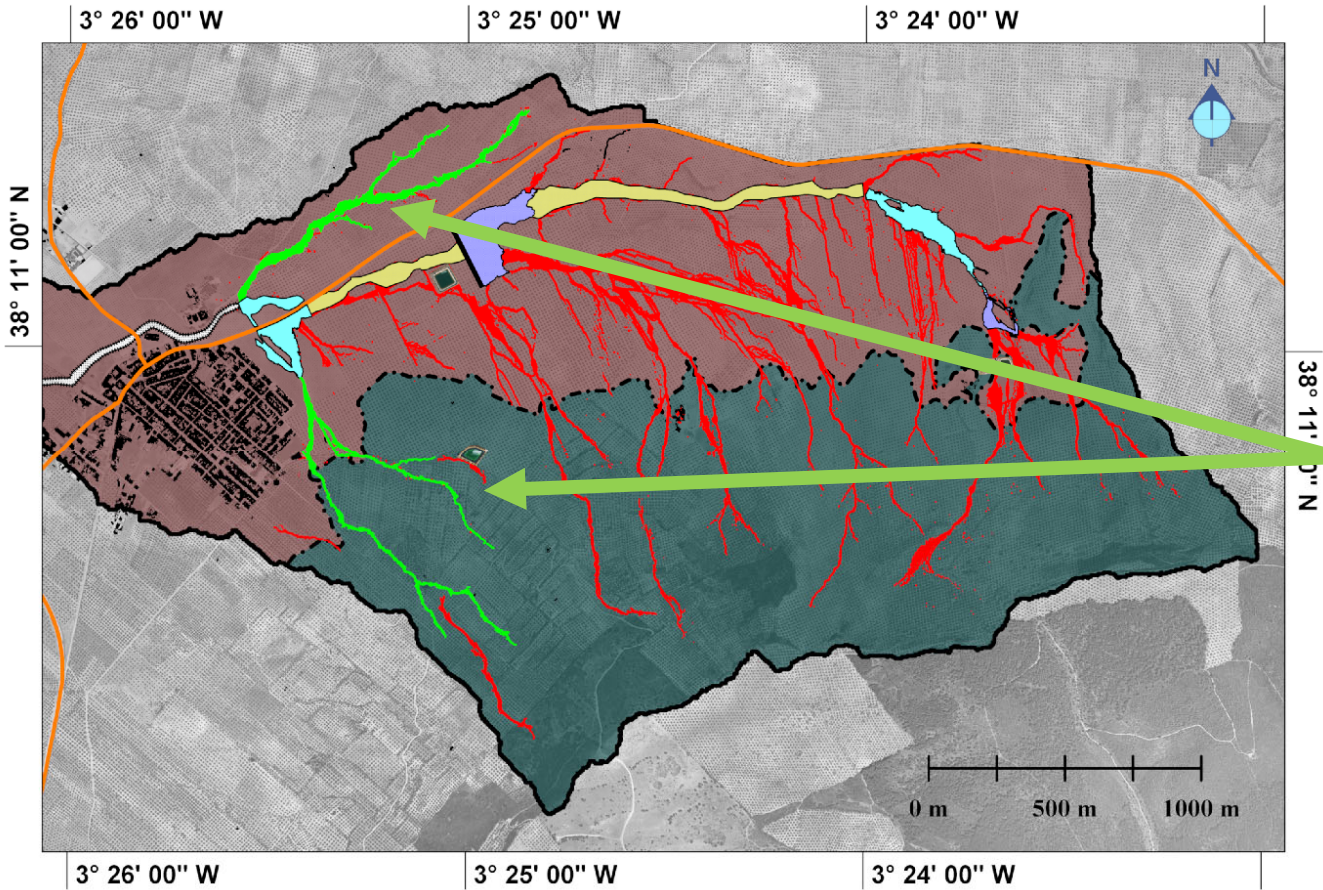


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategia de mitigación: diques





Universidad
de Jaén

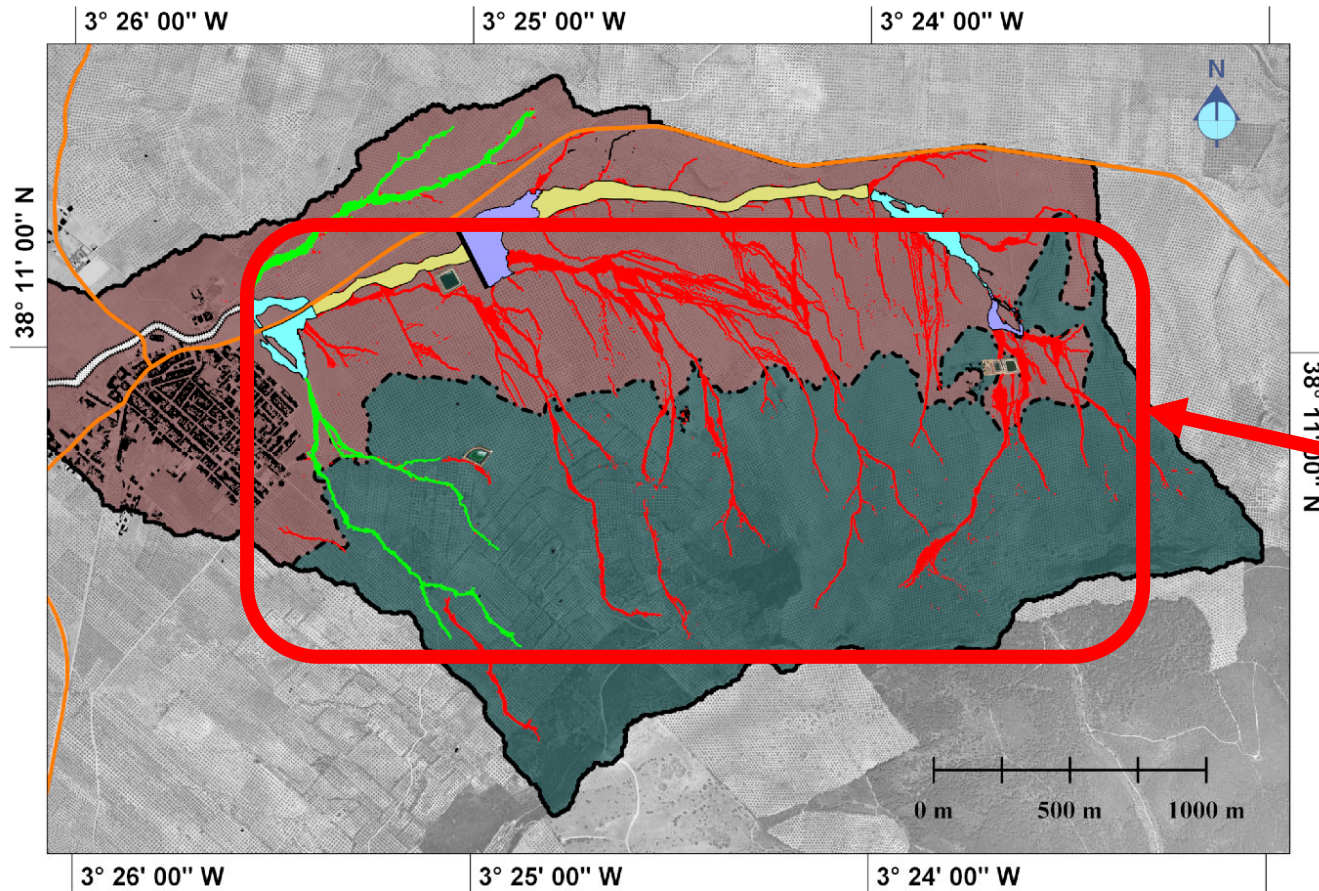


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Estrategia de mitigación: fajinas





Universidad
de Jaén

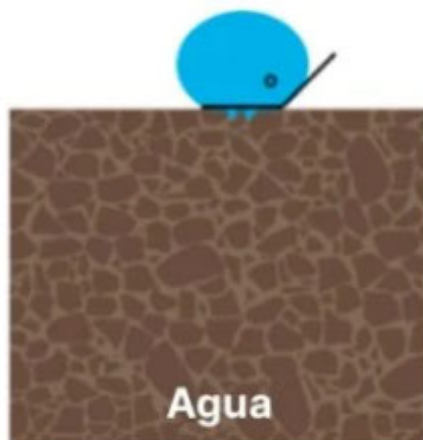
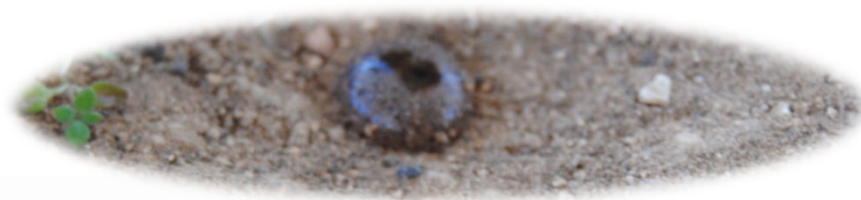


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Infiltración



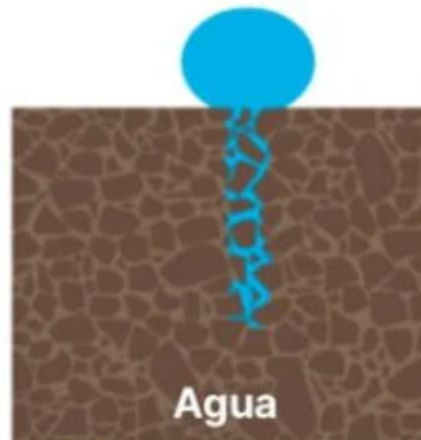
Agua

El agua goteaba con un elevado ángulo de contacto y, por tanto, tensión superficial. Es probable que se produzcan encharcamientos y pérdidas por escorrentía.



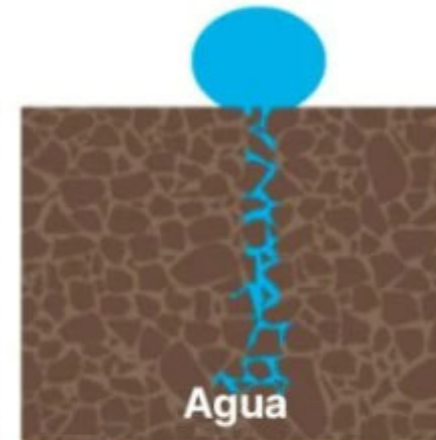
Agua

Tasa de infiltración reducida en suelos hidrófobos, en una superficie pequeña.



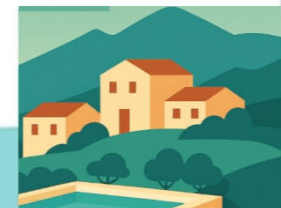
Agua

El flujo preferente de agua se desplaza en línea recta a través de las fisuras y grietas del suelo, siguiendo el camino de menor resistencia.



Agua

Los nutrientes y los productos fitosanitarios siguen el flujo preferencial y se filtran a las aguas subterráneas y/o a los productos fitosanitarios.





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Infiltración

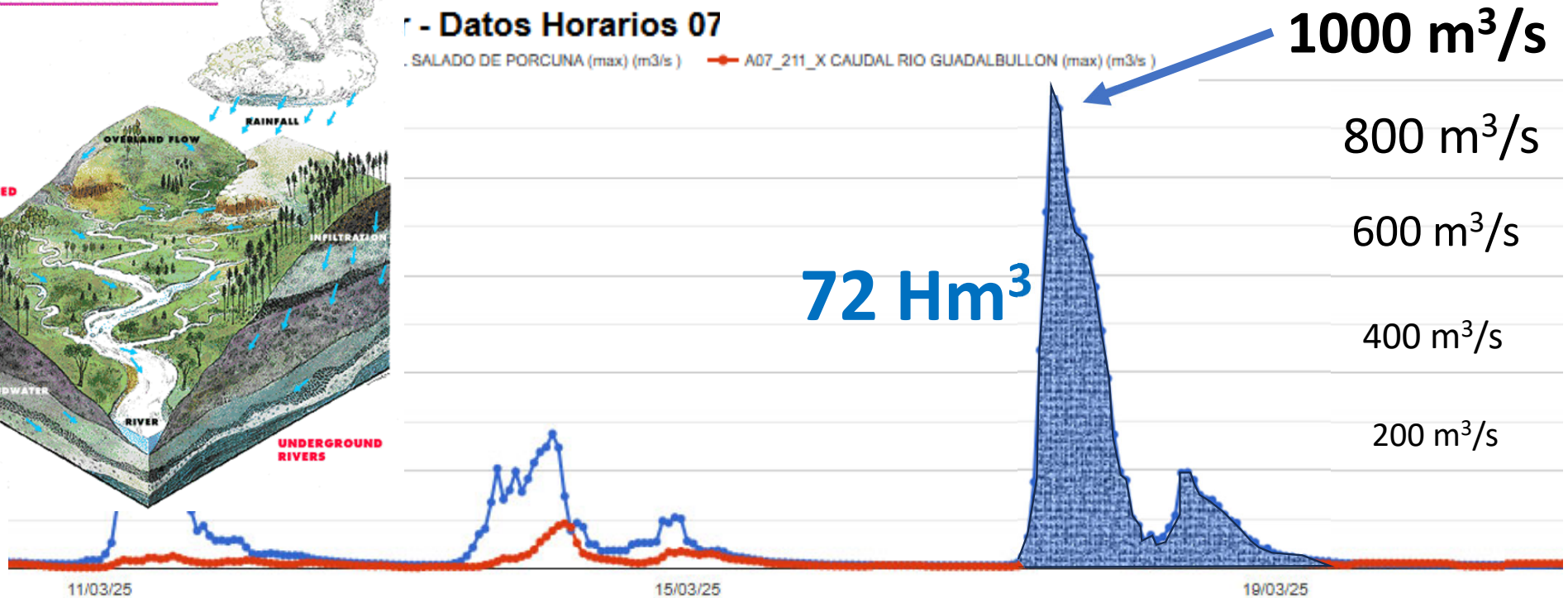


What Is a Watershed?



- Datos Horarios 07

SALADO DE PORCUNA (max) (m³/s) → A07_211_X CAUDAL RIO GUADALBULLON (max) (m³/s)



Con la lluvia de UN solo día, se podría dotar
durante 6 meses a 5 M olivos (2500 m³/Ha)

Estudios de Inundabilidad Urbana. Plan de Gestión del Riesgo de Inundación





Universidad
de Jaén

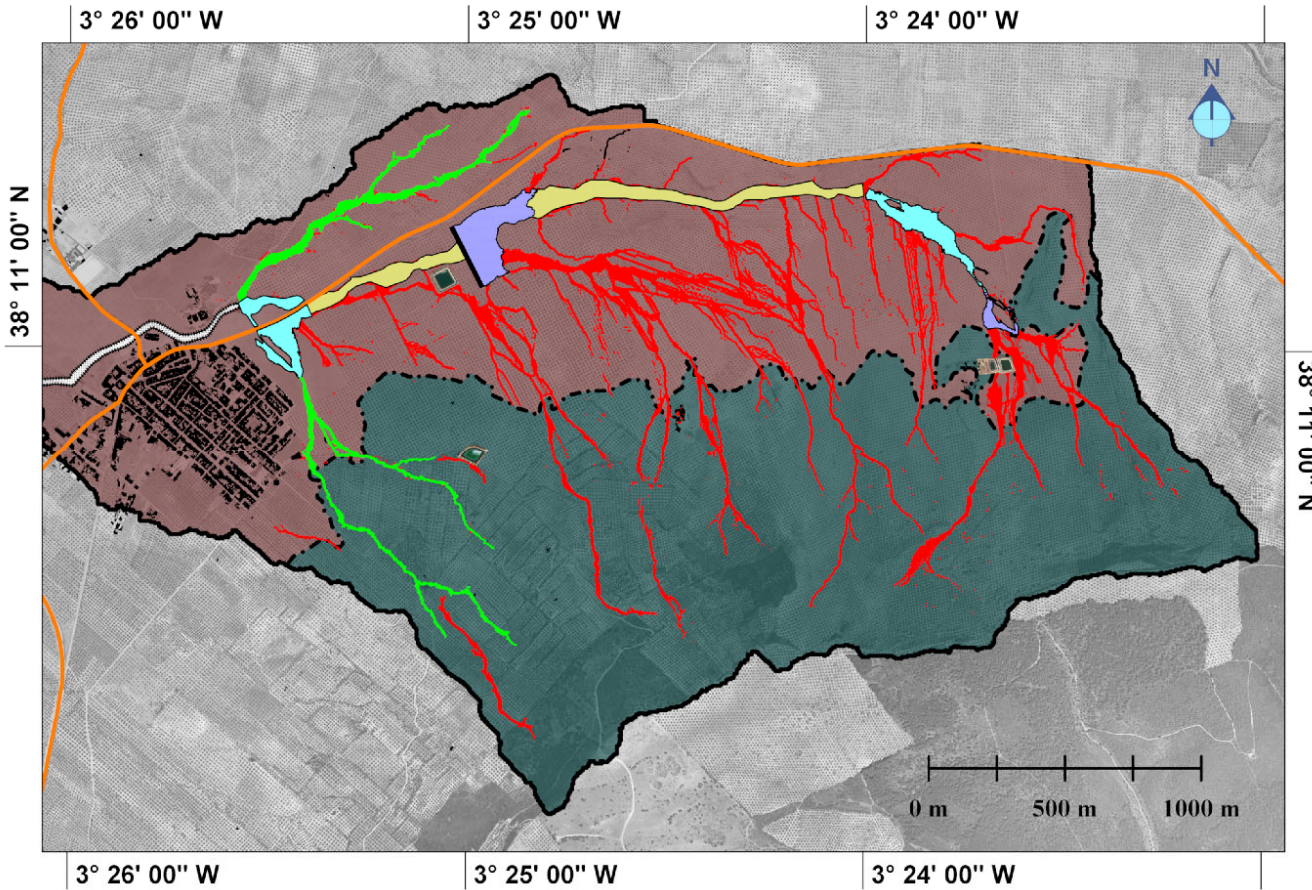


CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Gestión del agua e infiltración





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



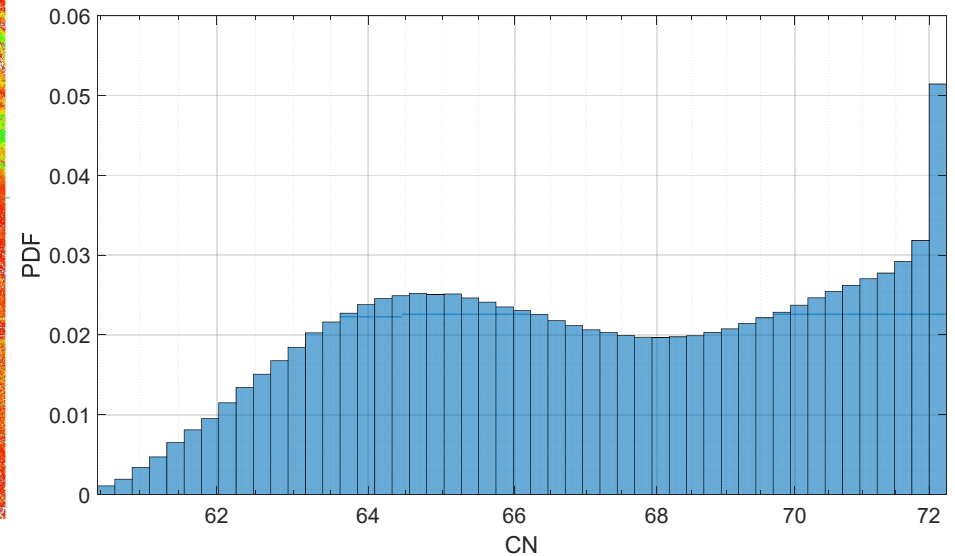
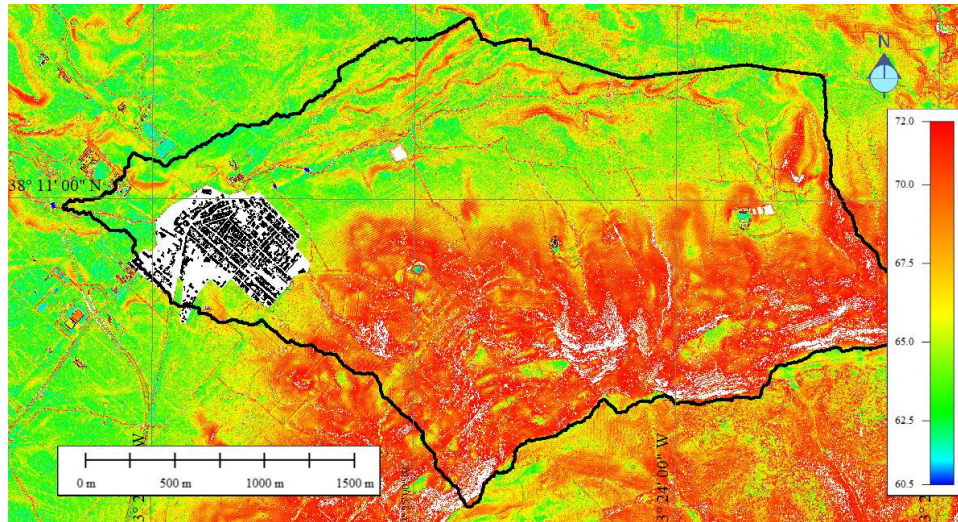
Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Infiltración

CN 100: Suelo hidrofóbico

CN 89: Sin labranza, suelo desnudo

CN 64: Cubierta vegetal (70%)



Modelo físico para espaciado de olivos de 6- por 7-m y radio de copa de 2 m con tipo de suelo C: suelo arcilloso con poca infiltración (1.3–3.8 mm por hora).

- Ajmal, M., Waseem, M., Kim, D., & Kim, T. W. (2020). A pragmatic slope-adjusted curve number model to reduce uncertainty in predicting flood runoff from steep watersheds. *Water*, 12(5), 1469.
- Burguet, M.; Taguas, E.V.; Cerdà, A.; Gómez, J. (2016) Soil water repellency assessment in olive groves in Southern and Eastern Spain. *Catena*, 147, 187–195.
- Romero, P., Castro, G., Gómez, J. A., & Fereres, E. (2007). Curve number values for olive orchards under different soil management. *Soil Science Society of America Journal*, 71(6), 1758-1769.





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Modelado hidrológico

Ecuaciones de aguas someras bidimensionales:

1.5 pts/m² (res. 0.8 m)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h \mathbf{u}) = \text{PMR} - I$$

$$\frac{\partial h \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (h \mathbf{u} \mathbf{u}) + \nabla \left(\frac{g h^2}{2} \right) = -g h \nabla z - \frac{g n^2}{h^{1/3}} \mathbf{u} |\mathbf{u}|$$



2D hydraulic modelling

European Floods Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks

Software IBERPLUS: García-Feal, O., González-Cao, J., Gómez-Gesteira, M., Cea, L., Domínguez, J.M. and Formella, A. (2018). An accelerated tool for flood modelling based on Iber. *Water*, 10(10), 1459

	B IV	B I	B II	B III
Resolución	10 cm – 1.5 10 m	10 m	10 m	6 – 10 m
Malla basta	640 K	10 M	10 M	600 K
Malla fina	7 M	-	-	-

SIMUS
2*6*3 = 36



Malla basta: 10 cm, 5 m, 10 m
Malla fina: 10 cm, 1 m, 1.5 m





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

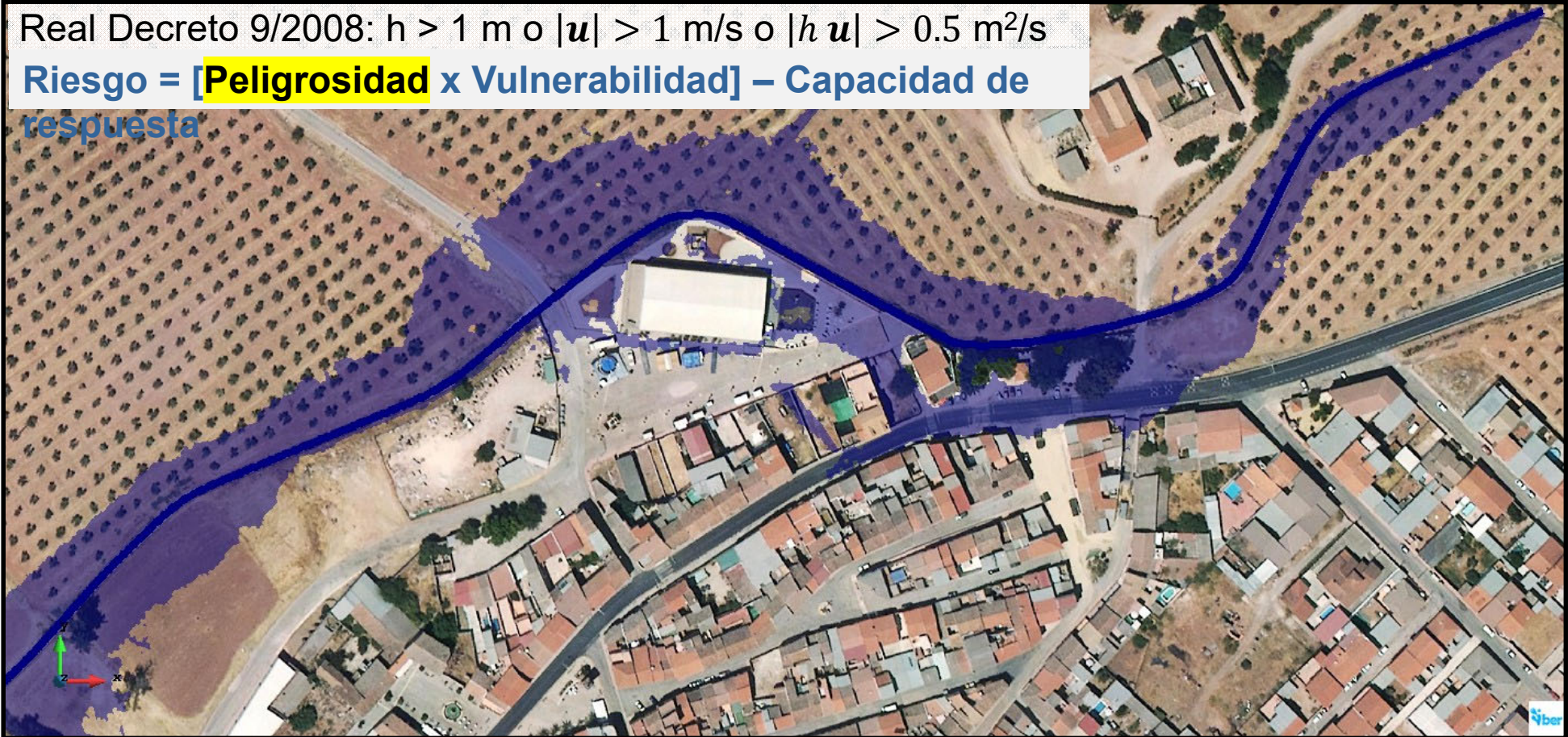


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Inundación urbana (actual)

Real Decreto 9/2008: $h > 1 \text{ m}$ o $|u| > 1 \text{ m/s}$ o $|h u| > 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$

Riesgo = [Peligrosidad x Vulnerabilidad] – Capacidad de respuesta





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE

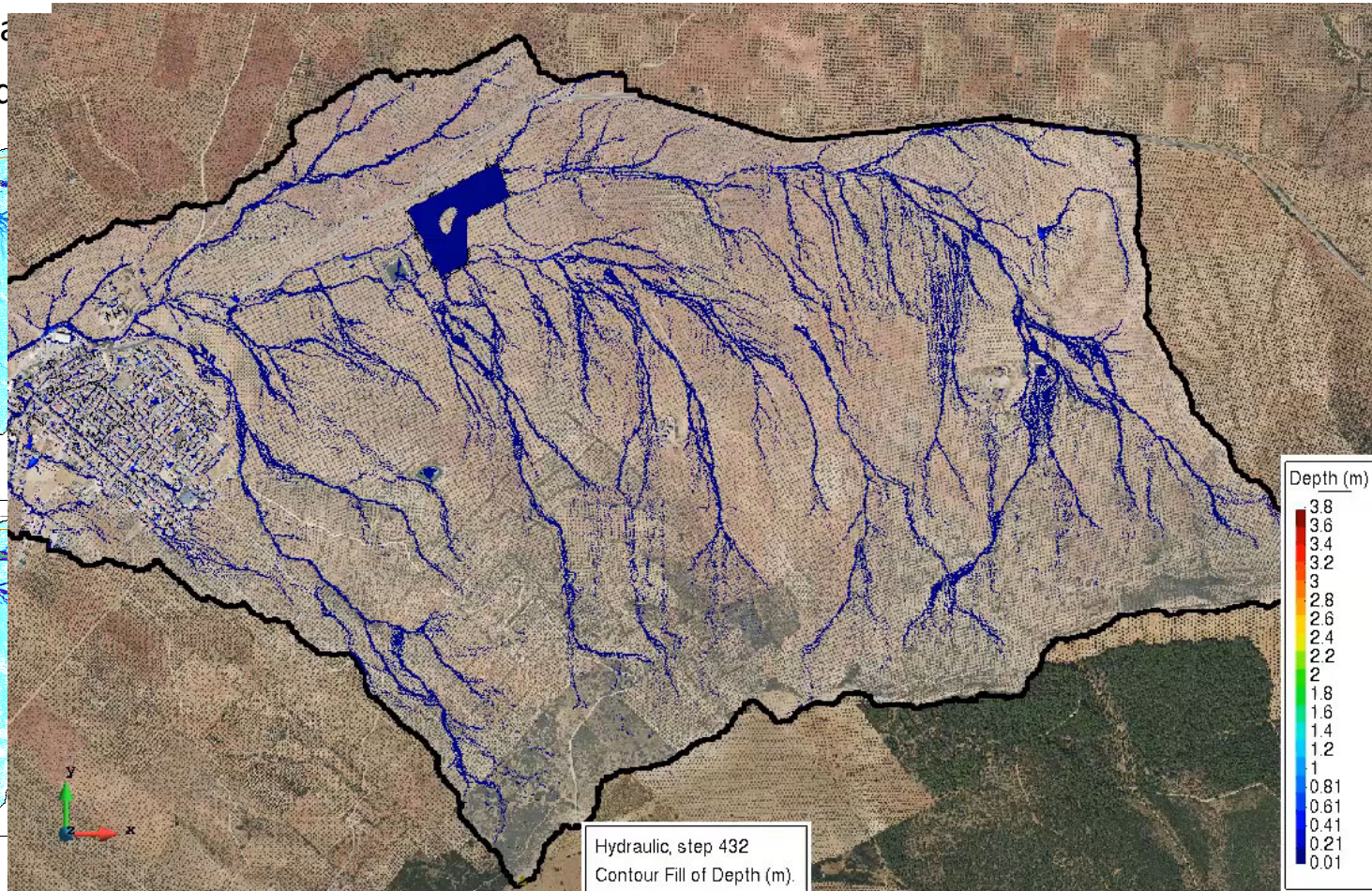
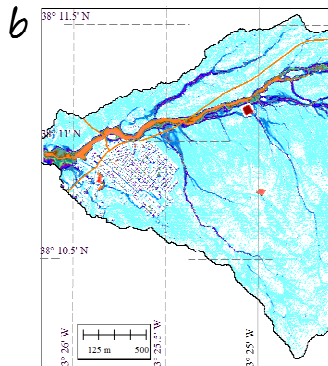
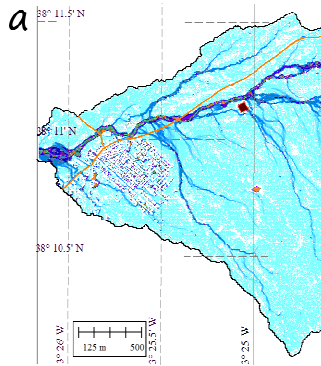


Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Escorrentías

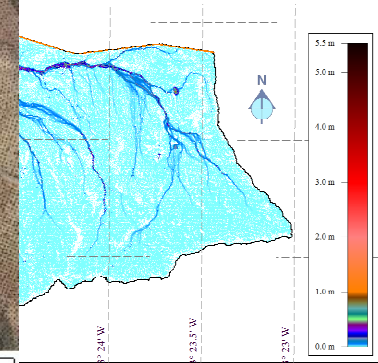
A 100 – Actualidad

B 100– Textura c



gadió

del canal (4 m)





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Solución óptima

A 100 – Actualidad

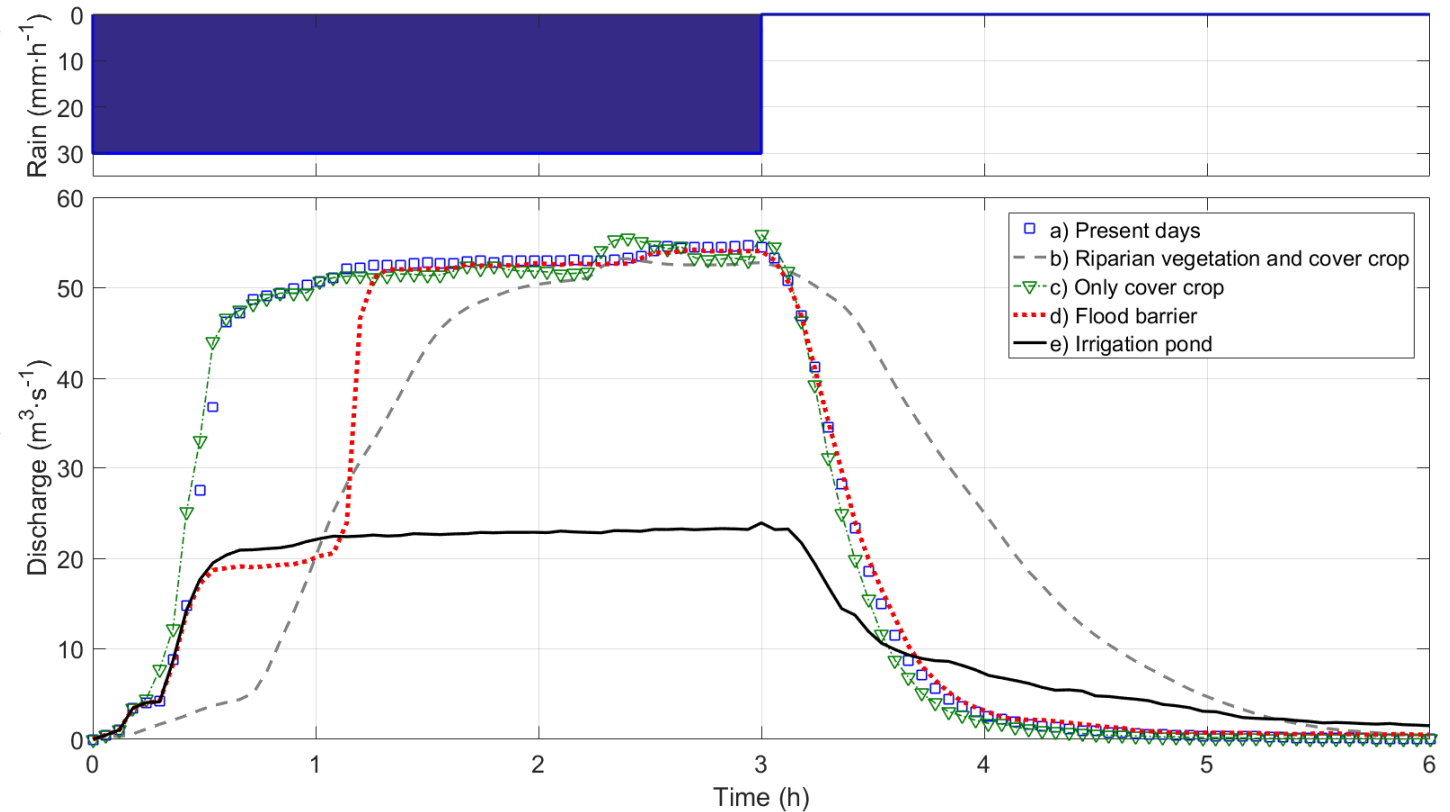
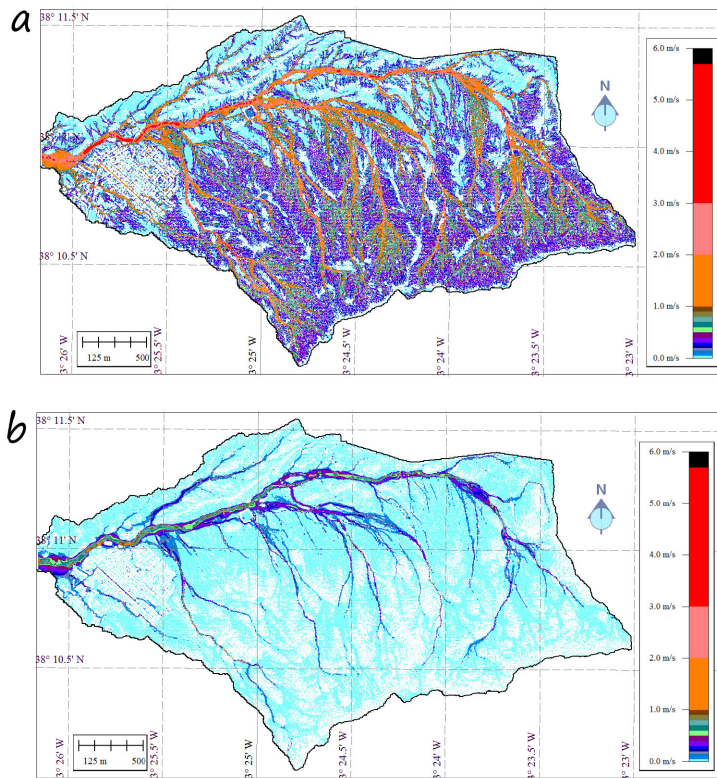
B 100– Textura del suelo del olivar y cauce

C 100 – Textura del suelo del olivar

D 100 – Humedal artificial

E 100 – Balsa de regadío

F 100 – Ampliación del canal (4 m)





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Solución óptima

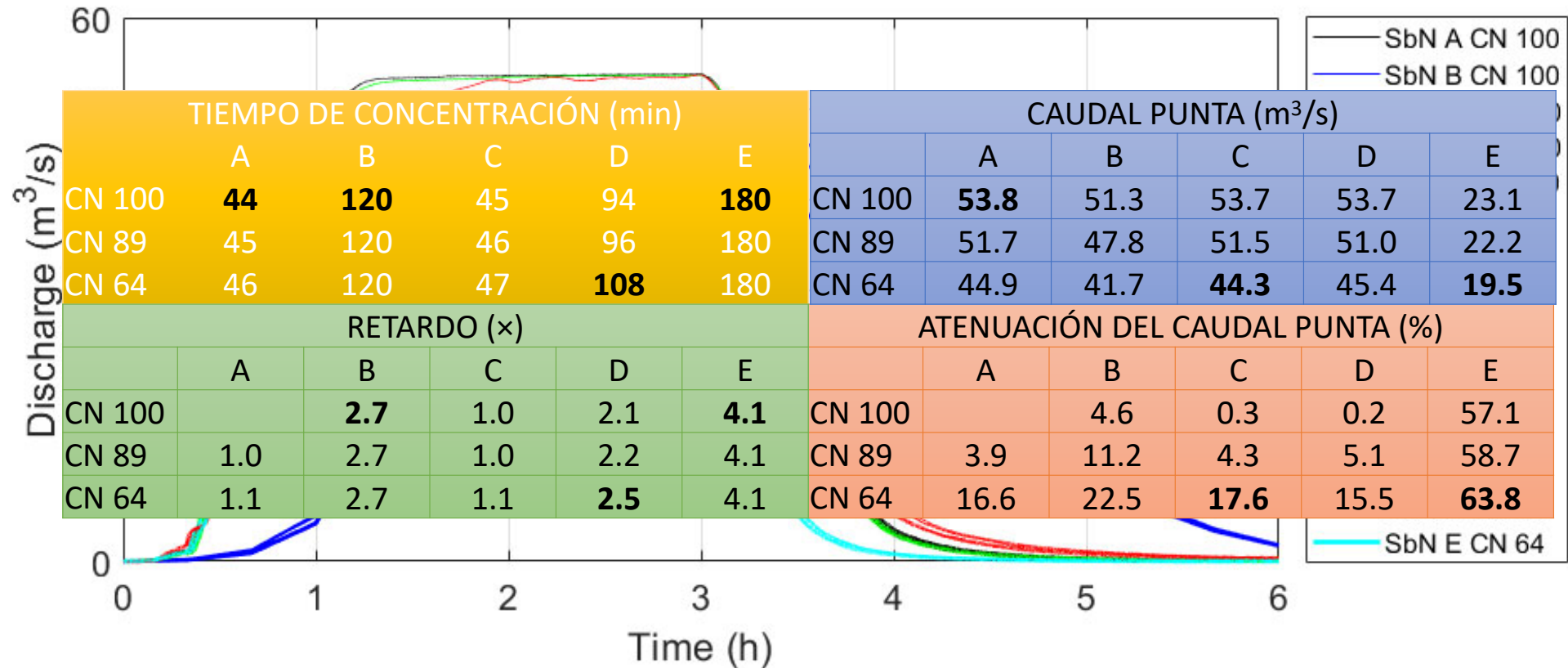
A – Actualidad

C – Textura del suelo del olivar

E – Balsa de regadío

B – Textura del suelo del olivar y cauce

D – Humedal artificial





Universidad
de Jaén



CENTRO de FORMACIÓN
e INNOVACIÓN DOCENTE



Excmo. Ayuntamiento
de Orcera

Conclusiones

- La cubierta vegetal contribuye a la conservación del suelo y la recarga de acuíferos.
- Para lluvias intensas ($30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$), las actuaciones sobre cárcavas y arroyos retardan la inundación y dan mayor tiempo de respuesta.
- El dique transversal crearía un humedal que previene inundaciones súbitas (1 h). La balsa sería eficaz para lluvias de mayor duración (hasta 3 h).
- Para lluvias bajas ($5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$), los efectos de la cobertura vegetal son mucho más beneficiosos para prevenir inundaciones.
- Las Soluciones basadas en la Naturaleza e Ingeniería Civil pueden resolver el actual problema de inundación y erosión del suelo.
- Se necesita de la participación de los agricultores para implementarlas.

