

**CEDEX**

# JORNADA TECNICA DE COORDINACION PARA LA IMPLANTACION DE LOS PGRI DE 2º CICLO Y REVISION DEL 3er CICLO DE LA DIRECTIVA DE INUNDACIONES

Propuesta de metodología para la identificación de nuevas ARPSis como consecuencia del aumento de riesgo debido al efecto del cambio climático.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

U  
23

# Antecedentes y objetivos

**La Directiva 2007/60/CE de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación establece la consideración del cambio climático:**

- Revisiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI)
- Revisiones de los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI)

## Revisión EPRI de segundo ciclo:

“Incorporación del Cambio Climático en la Evaluación Preliminar del Riesgo de inundación (EPRI) en el Segundo Ciclo de Aplicación de la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE)” (MITECO, 2018)

## Revisión PGRI de segundo ciclo:

“Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEDEX, 2021)

## Revisión EPRI de tercer ciclo:

“Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEDEX, 2021)

**Propuesta de metodología para la identificación de nuevas ARPSis como consecuencia del aumento de riesgo debido al efecto del cambio climático.**



Precipitación diaria  
máxima anual  
acumulada



Caudales de  
avenida

# Metodología propuesta

- **Información de partida: tasas de cambio en cuantil de precipitación máxima**
- **Estimación de tasas de cambio en cuantil de caudales máximos**
- **Identificación preliminar de tramos candidatos a ARPSI**
- **Estimación del incremento de inundabilidad al incorporar el efecto del cambio climático**
- **Selección de nuevas ARPSIs**

# Información de partida

## “Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEDEX, 2021)

- EURO-CORDEX: simulaciones de precipitación de 15 proyecciones climáticas regionales procedentes de 5 modelos climáticos globales (5º Informe de Evaluación del IPCC)
- Variables estudiadas (6 variables):
  - **Precipitación diaria máxima anual**
  - **Precipitación máxima horaria**

**Factor de torrencialidad**
- Estudio centrado en:
  - Periodos de retorno: 10, 100 y **500 años**
  - Periodos de estudio:
    - Periodo de control: 1971-2000
    - Periodos de impacto: 2011-2040, **2041-2070** y 2071-2100
  - Escenarios de emisiones: **RCP 4.5 y 8.5**
- Resultados:
  - **Cuantiles mediante ajuste regional** de la distribución **SQRT-ET<sub>max</sub>** (“Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” (DGC, 1999)):
    - **Tasas de cambio en cuantil de precipitación diaria máxima anual**
    - **Cambios relativos regionales del factor de torrencialidad**

# Estimación de tasas de cambio en cuantil de caudal

## Cálculo de los caudales con el método racional en situación actual y futura

### Método racional modificado (Témez, 1991)

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

$$I(T, t_c) = I_d \cdot F_{int}; \quad I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \cdot \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$

$$F_{int} = \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t_c^{0,1}}$$

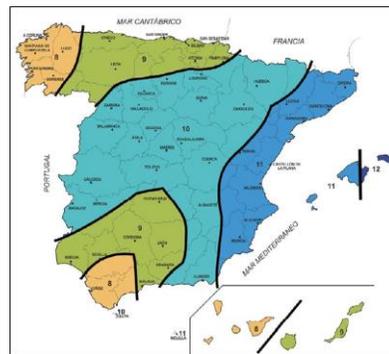
### Variables en situación actual

$P_{d,actual}$



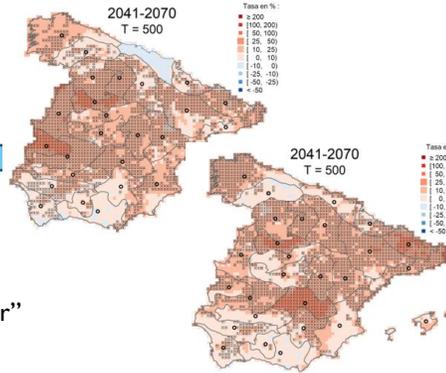
“Máximas lluvias diarias en la España peninsular”  
T=500 años

$\frac{I_1}{I_d}, actual$



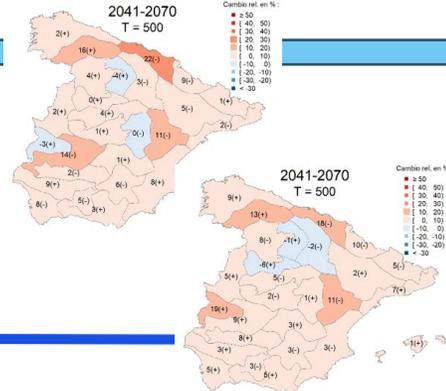
Mapa de factor de torrencialidad (I1/I<sub>d</sub>)

### Tasas de cambio en cuantil de precipitación diaria máxima anual 2041-2070 RCP 4.5 y 8.5; T = 500 años



$P_{d,futura}$

### Cambios relativos regionales en el factor de torrencialidad 2041-2070 RCP 4.5 y 8.5 T = 500 años



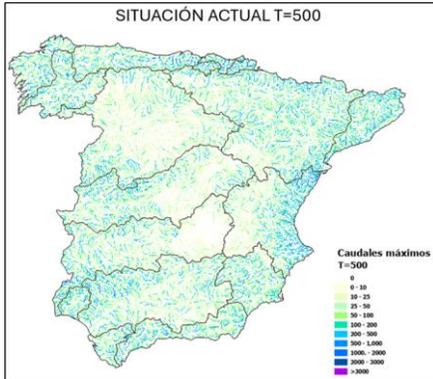
$\frac{I_1}{I_d}, futuro$

# Estimación de tasas de cambio en cuantil de caudal

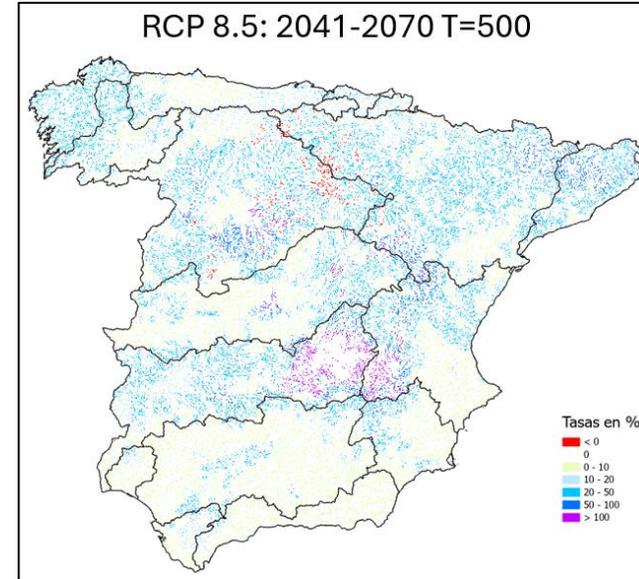
## Cuantil de caudal

## Tasas de cambio en cuantil de caudal (TCQ)

$q_{T500}^{act}$

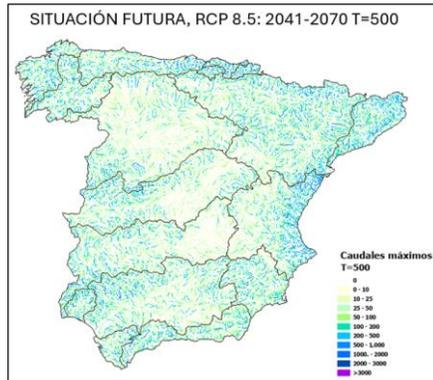
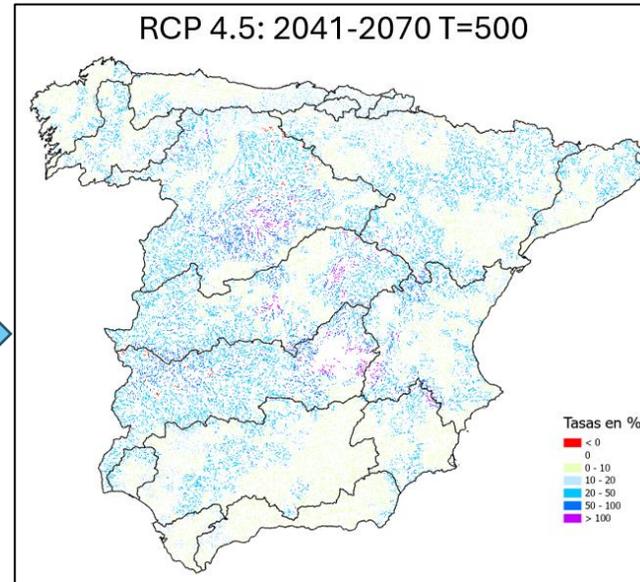
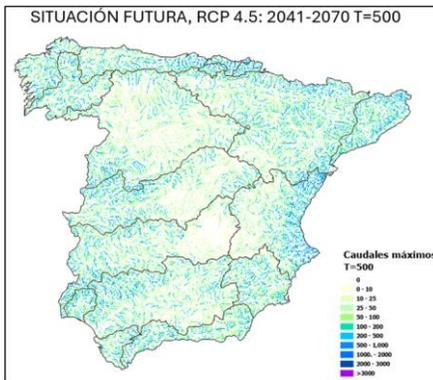


$$C_Q [\%] = \frac{(q_{T500}^{fut} - q_{T500}^{act})}{q_{T500}^{act}} 100$$



Areas < 500 km<sup>2</sup>

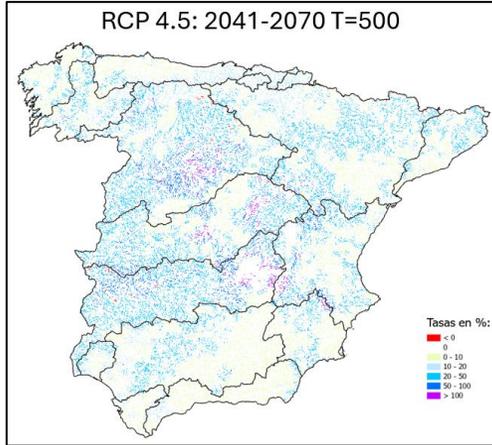
$q_{T500}^{fut}$



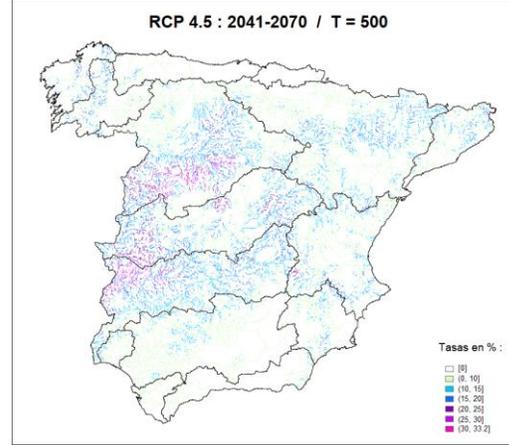
# Estimación de tasas de cambio en cuantil de caudal

## Tasas de cambio Caudal (TCQ)

Áreas < 500 km<sup>2</sup>

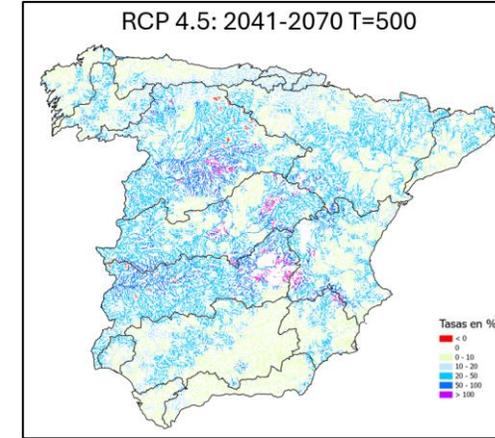


## Tasas de cambio Precipitación acumulada (TCP)

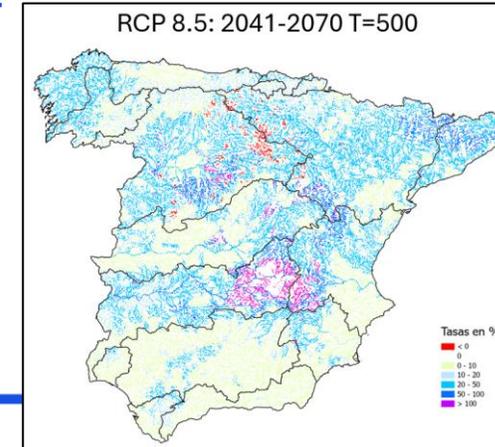
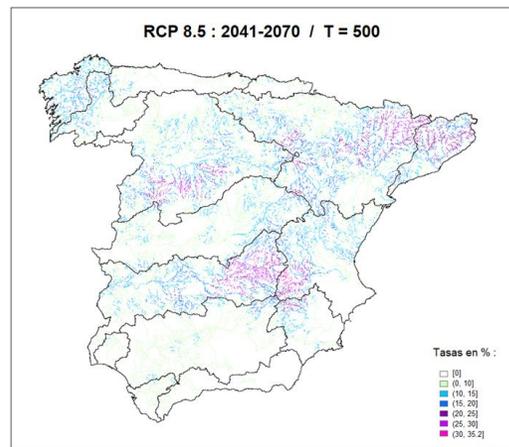
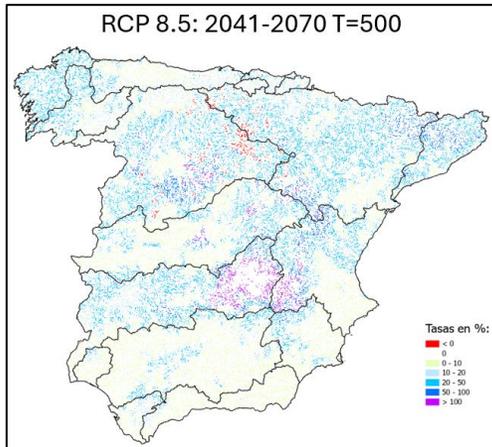


## Tasas de cambio Caudal (TCQ)

Áreas > 5 km<sup>2</sup>



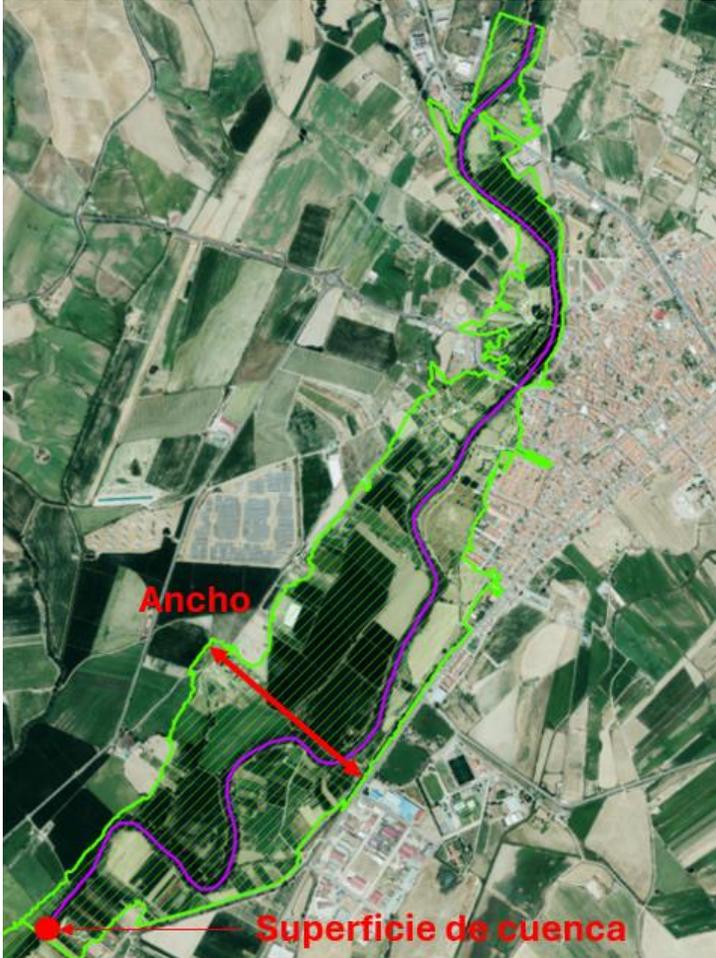
Relaciones TCQ / TCP  
Áreas < 500 km<sup>2</sup>



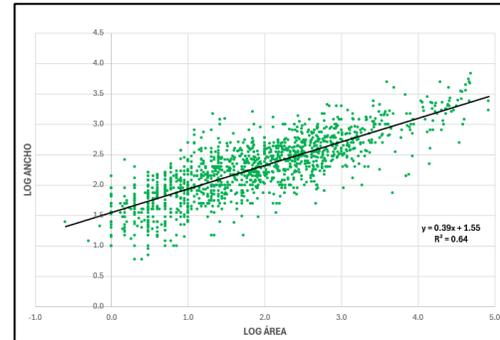
# Identificación preliminar de tramos

Riesgo potencial = Peligrosidad x Vulnerabilidad

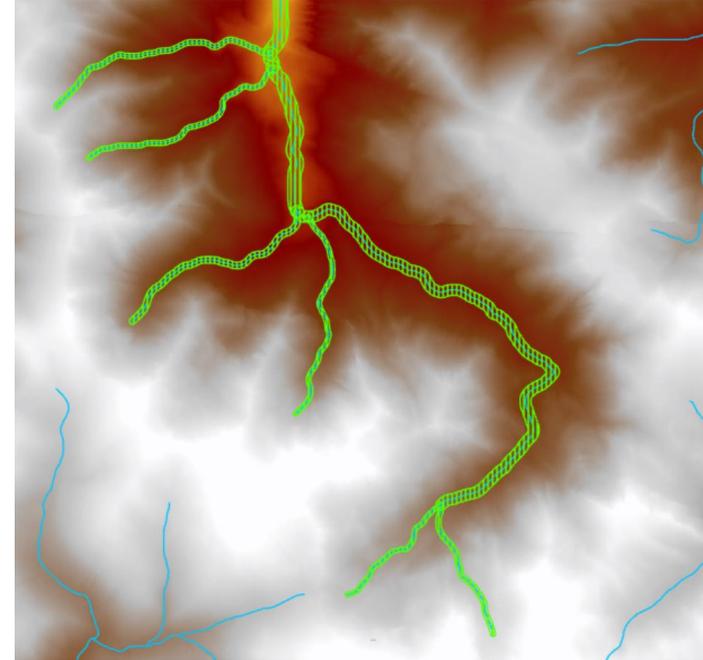
Zona inundable (T= 500 años) SNCZI



Correlación Ancho/Superficie de cuenca



Buffer proximidad cauce



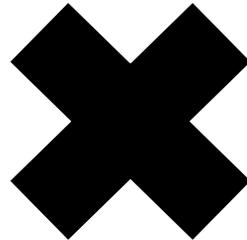
# Identificación preliminar de tramos

Riesgo potencial = Peligrosidad x Vulnerabilidad

## Capas de partida:

- Red de drenaje “Tramos de ríos de España clasificados según Pfafstetter modificado”
- “Superficie de cuenca acumulada 25x25 m”

## Buffer proximidad cauce



## Información de partida:

- Sistema de Información de Ocupación del suelo en España (SIOSE)
- Selección de polígonos de usos vulnerables (CODIIGE):
  - Urbano (casco, Ensanche y discontinuo)
  - Terciario



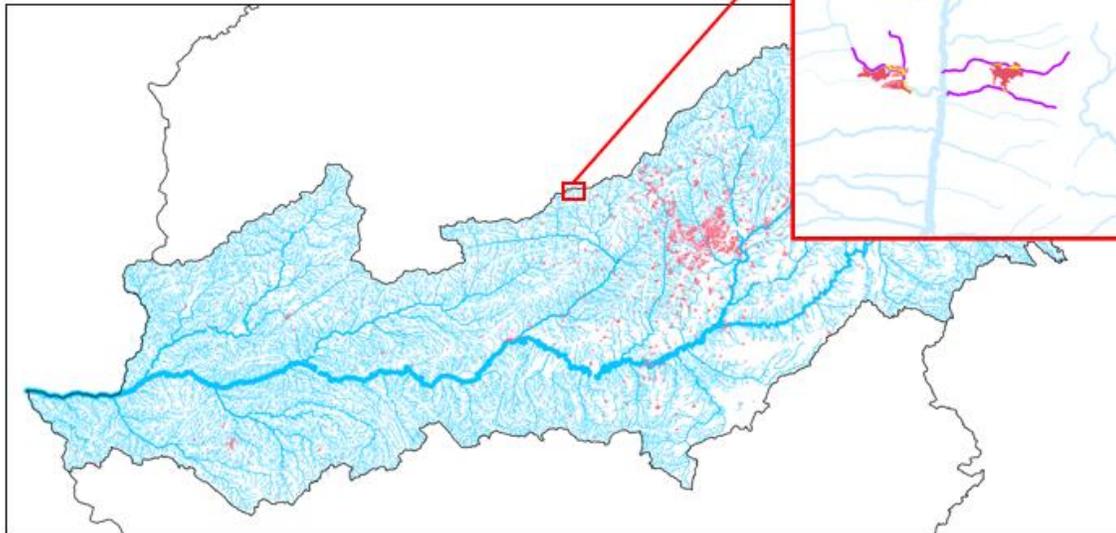
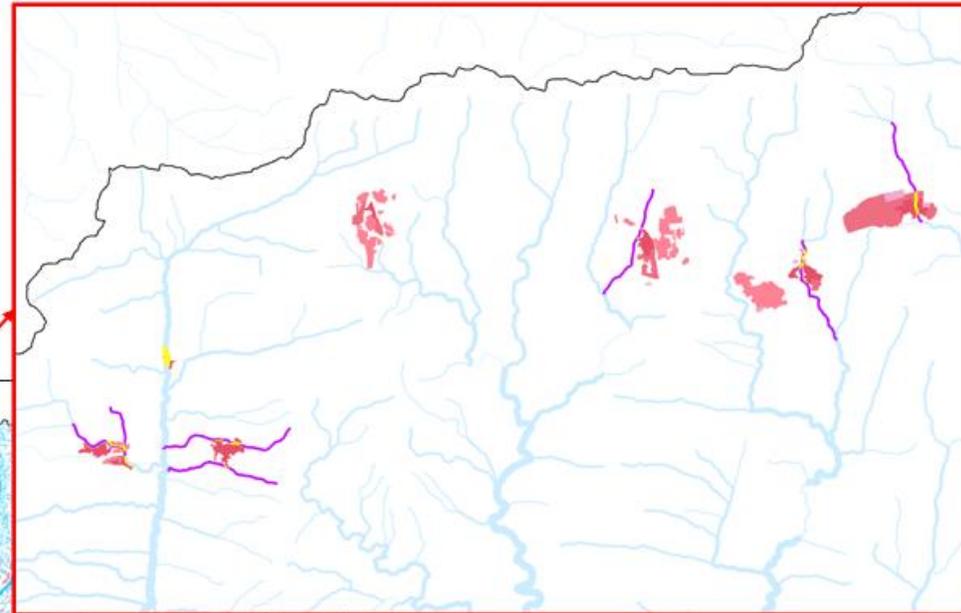
# Identificación preliminar de tramos

## CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL TAJO

### Selección inicial de tramos:

#### Intersección de polígonos:

- Buffer
- Usos vulnerables (SIOSE):



### Filtrado de tramos: se eliminan

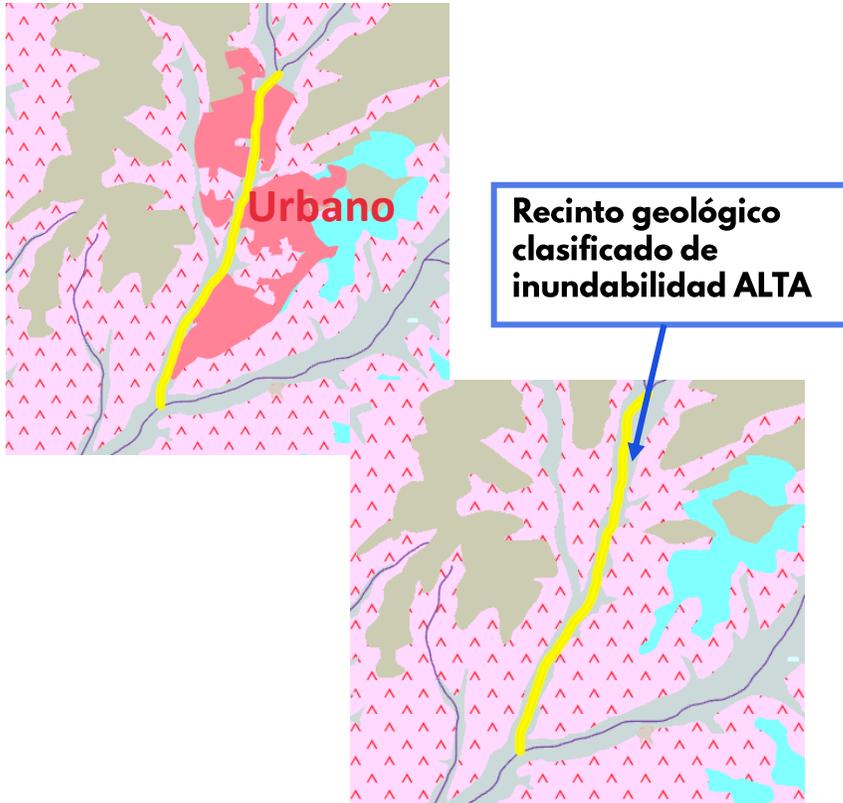
- ARPSIs declaradas de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> ciclo
- Tramos en zonas donde:
  - TCP 4.5 < 10%
  - TCP 8.5 < 10%

# Identificación preliminar de tramos

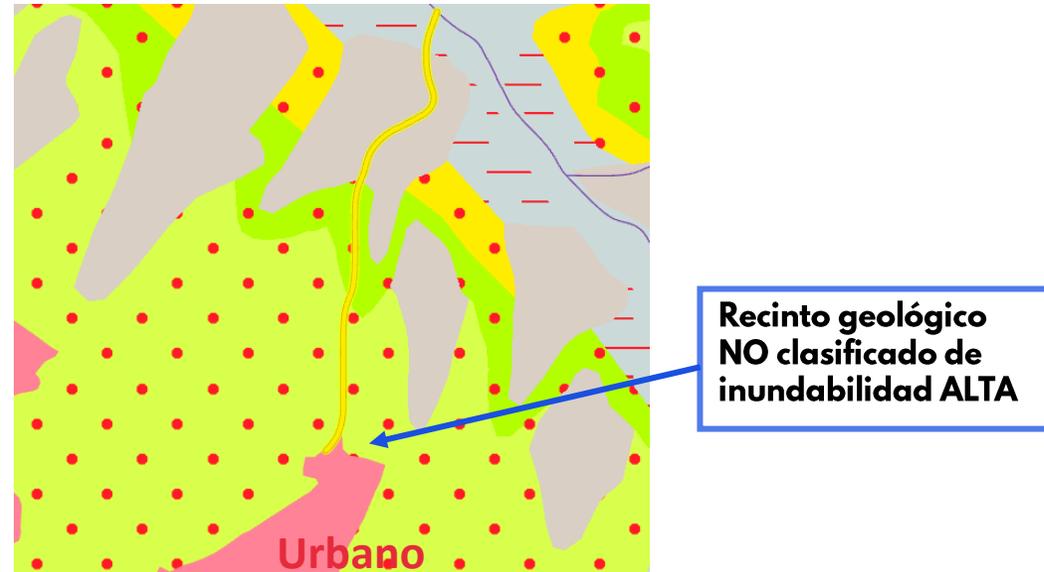
## CASO DE ESTUDIO: CUENCA DELTAJO

Filtrado de tramos: Criterios geomorfológicos: GEODE (recintos geológicos de INUNDABILIDAD ALTA)

### SELECCIONADO



### NO SELECCIONADO



# Identificación preliminar de tramos

## CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL TAJO

Filtrado de tramos: tramos subterráneos o encauzados



# Estimación del incremento de inundabilidad

**Cálculo hidráulico simplificado: HECRAS (cálculo en régimen uniforme)**

**Caudales en situación actual y futura:**

**Caudales en situación actual:**  
Superficie cuenca del tramo = 75 km<sup>2</sup>  
 $Q_{\text{Sit. Actual}} = Q_{\text{CAUMAX}} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$

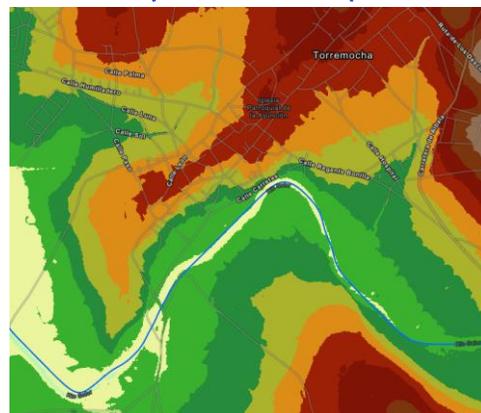
**Tasas de cambio en cuantil de caudal:**

- $TCQ_{\text{RCP4.5}} = 50\%$
- $TCQ_{\text{RCP8.5}} = 38\%$

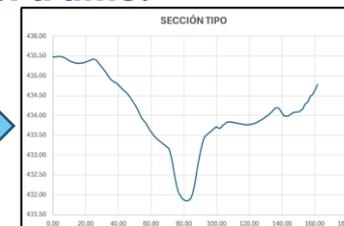
**Caudales en situación futura:**

- $Q_{\text{Sit. Futura}_{\text{RCP4.5}}} = 218 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sit. Futura}_{\text{RCP8.5}}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$

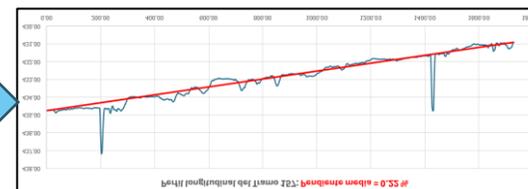
MODELO DIGITAL DEL TERRENO DEL LIDAR (resolución: 2 m)



• **Sección característica del tramo:**



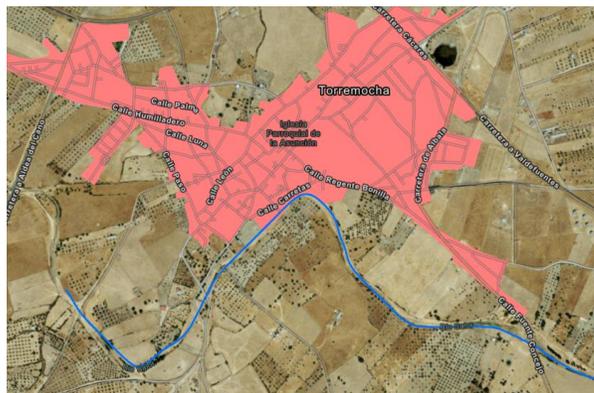
• **Pendiente media del tramo:**



• **Número de Manning:**



Anejo V de la Guía SNCZI



# Estimación del incremento de inundabilidad

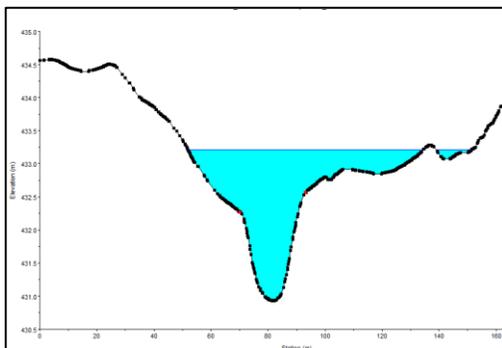
## Cálculo hidráulico simplificado:

HECRAS (cálculo en régimen uniforme )

Caudales en situación actual:

$Q_{CAUMAX}$  Sit. Actual = 145 m<sup>3</sup>/s

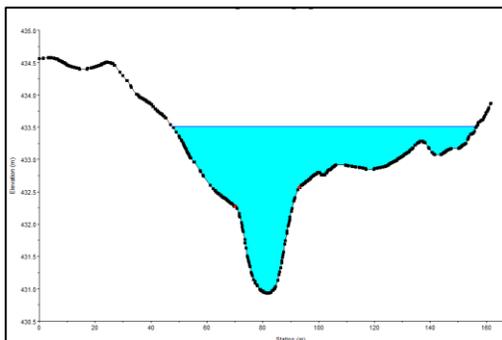
Calado Sit. Actual = 2.29 m



Caudales en situación futura:

$Q$  Sit. FuturaRCP4.5 = 218 m<sup>3</sup>/s

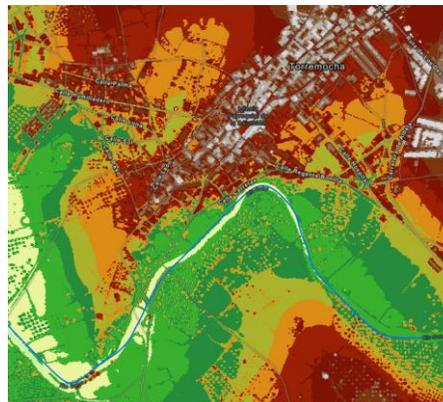
Calado Sit. Futura = 2.58 m



Superficies de nivel interpolado



Modelo digital de superficies LIDAR



The logo for CEDEX, consisting of the letters 'CEDEX' in a bold, white, sans-serif font with a stylized, blocky appearance. The letters are set against a dark blue background that features a photograph of a large dam or reservoir with a hill in the background.

**Centro de Estudios Hidrográficos**

## Localización

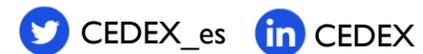
Paseo Bajo de la Virgen del Puerto nº 3

Madrid

28005

## Web

<https://ceh.cedex.es/web/>



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

**U  
23**