



Desarrollo de una metodología en R para la obtención de soft data para calibración de modelos hidrológicos

Alejandro Sánchez Gómez

*Investigador predoctoral. Departamento de Geología,
Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá (UAH)*

alejandro.sanchezg@uah.es

***Modelización hidrológica con SWAT+ como
herramienta de mejora de gestión del agua***

15 de Junio de 2023

Introducción

Área de estudio

Flujo de trabajo en modelización hidrológica

Papel de la soft calibration

Soft data

Importancia del factor geología

Objetivos

Metodología

Flujo de trabajo

Paso 1: Datos de entrada

Paso 2: Cálculo del coeficiente de escorrentía

Paso 3: Estimación de la contribución subterránea

Resultados y Conclusiones

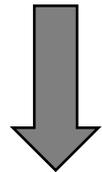


Fig. 1: Balsa de agua de manantial en Cifuentes.

Introducción. Área de estudio

Sector superior → Parte más relevante

- Alberga la mayor parte de la población (8 M habitantes).
- Es donde se sitúa el Trasvase Tajo-Segura (transfiere más de 330 hm³/año).
- Región menos regulada por embalses que el curso medio y bajo del río → Modelización menos compleja.



Resultados extrapolables al resto de la cuenca.

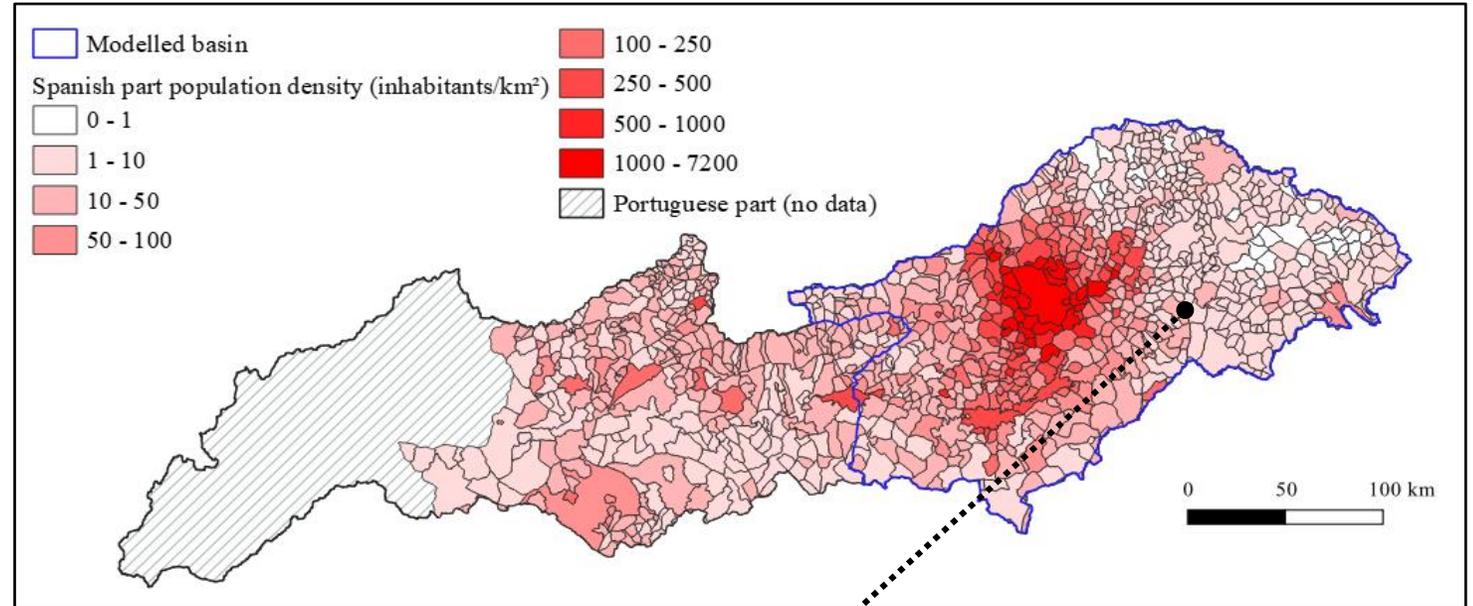


Fig. 2: Densidad de población en la demarcación española.

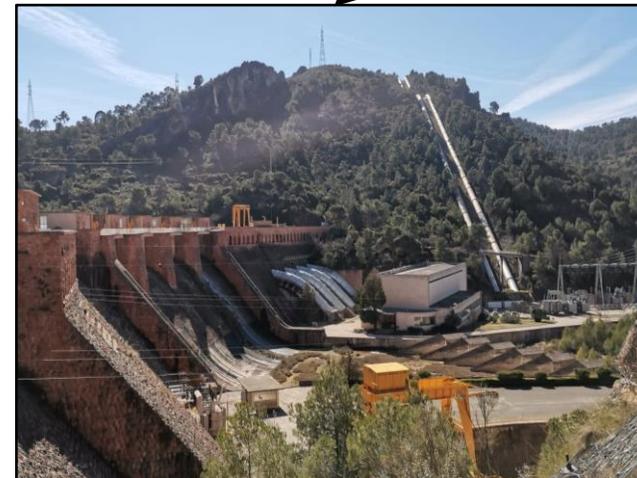


Fig. 3: Presa de Bolarque e inicio del Trasvase Tajo-Segura.

Introducción. Flujo de trabajo en modelización hidrológica

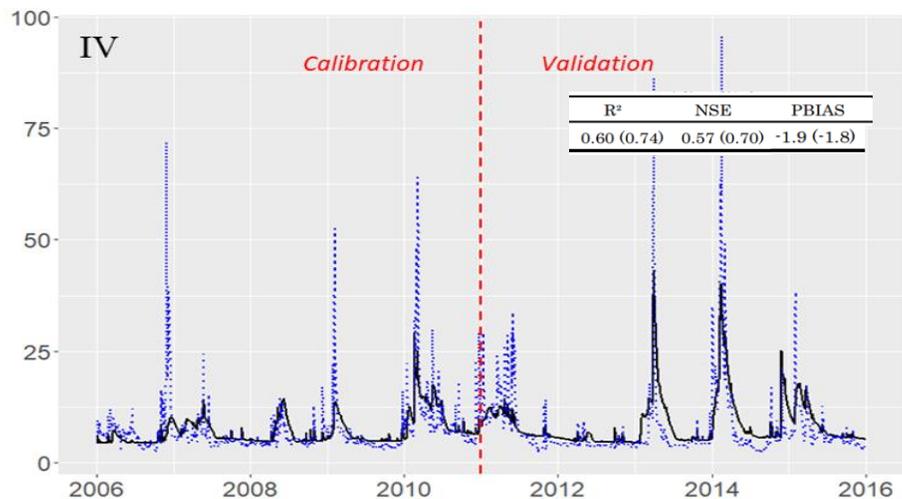
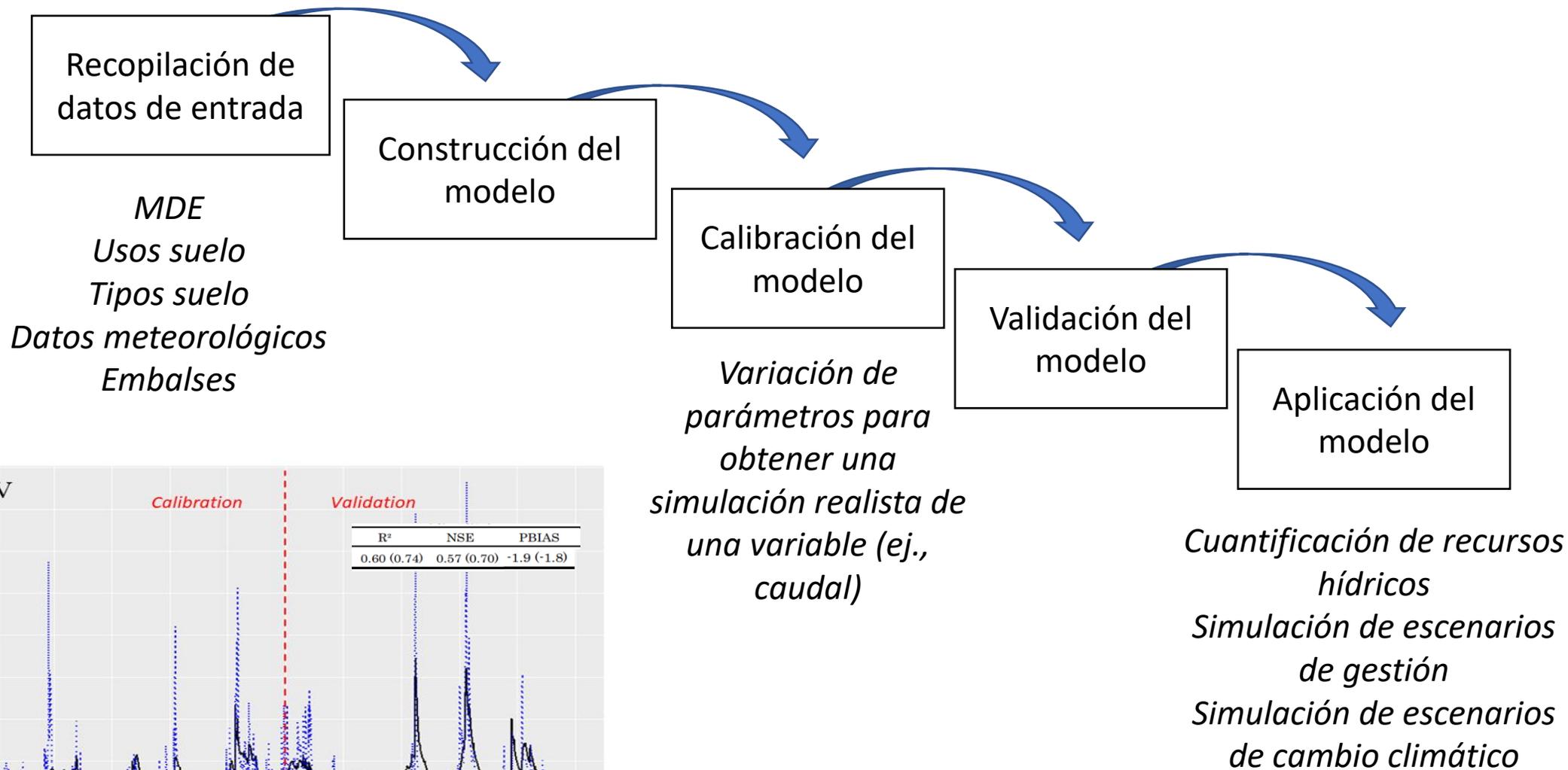


Fig. 4: Ejemplo de calibración y validación del caudal.

Introducción. Papel de la soft calibration

Soft calibration → Ajuste de parámetros clave en la simulación del balance hidrológico para asegurar que es simulado de una forma realista.

Una vez se han ajustado estos parámetros → **Hard calibration** (caudal)

Ejemplo 1: Hard calibration

NSE	R ²	PBIAS
0.748	0.754	-0.8

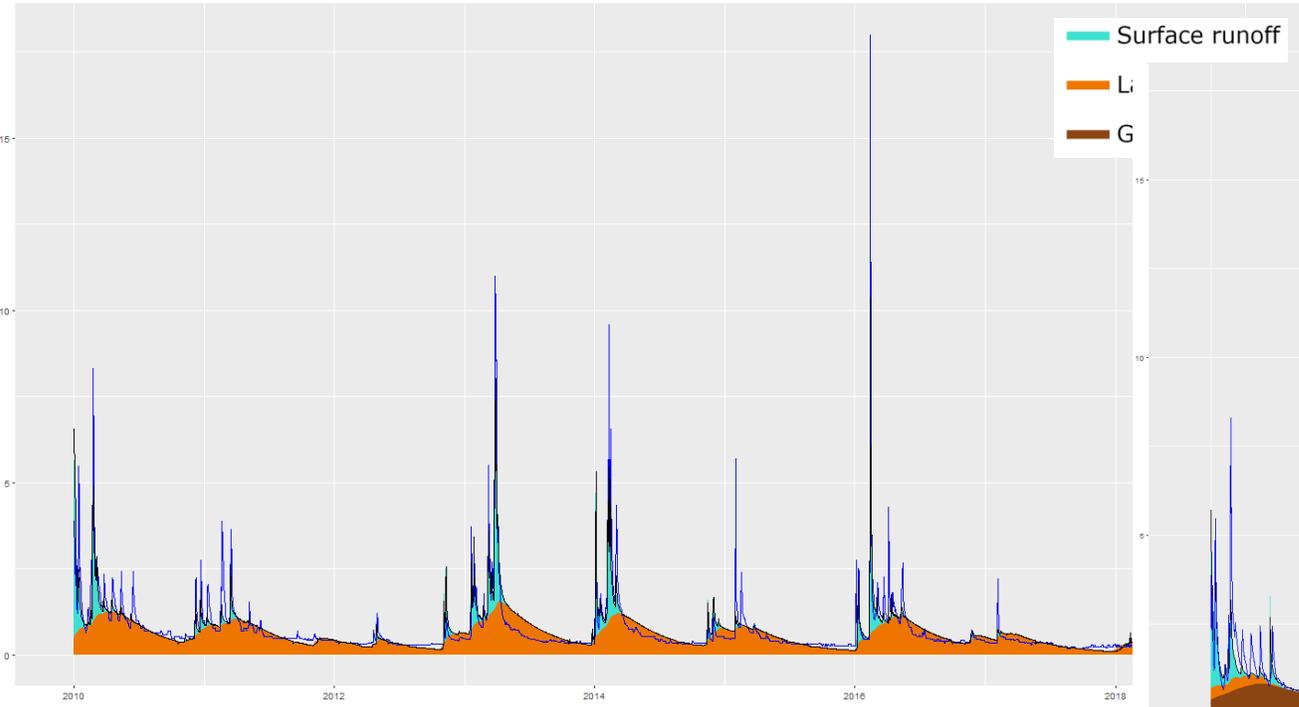


Fig. 5: Simulación de caudal y sus componentes (HC).

Ejemplo 2: Soft calibration + Hard calibration

NSE	R ²	PBIAS
0.57	0.61	3.5

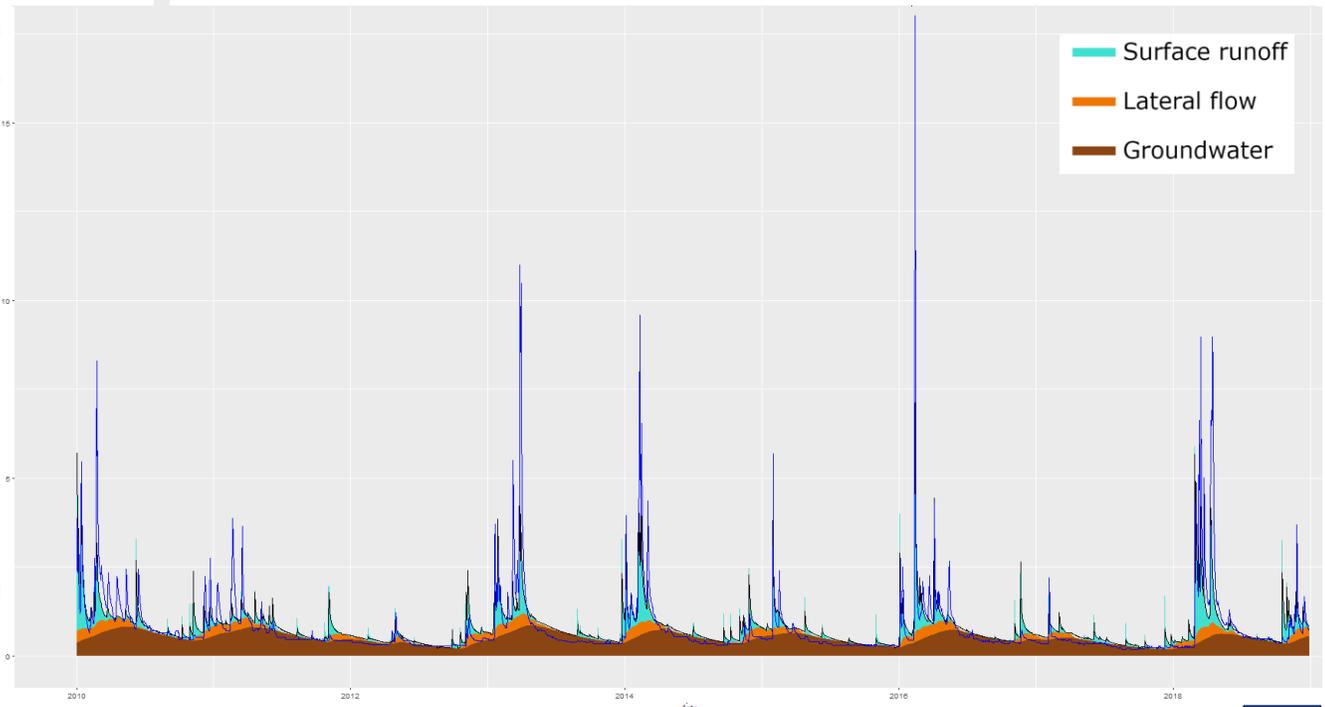


Fig. 6: Simulación de caudal y sus componentes (SC+HC).

Introducción. *Soft data*

Soft data: *Experiencia, estimaciones, mediciones.*

- *Valor máximo de caudal registrado.*
- *Rango de valores apropiados para un parámetro del modelo (ej., profundidad del suelo).*
- *Aportación media histórica de un río.*

Soft data: *Variables clave en climas Mediterráneos*

- Coeficiente de escorrentía (Escorrentía total / Precipitación).
- Porcentaje de aportación subterránea (Escorrentía subterránea / Escorrentía total).

¿Cómo saber qué son valores realistas?

De todo el agua que llueve ¿Cuánta se convierte en escorrentía?
¿Cuánta es evapotranspirada?

¿Qué parte del caudal del río proviene de acuíferos? ¿Qué parte es escorrentía directa?

Introducción. Importancia del factor geología

Cuenca del Tajo → Heterogeneidad geológica → Diferencia en los procesos hidrológicos → Necesidad de obtener datos para la soft calibration (*soft data*) en varias zonas o regiones geológicas.

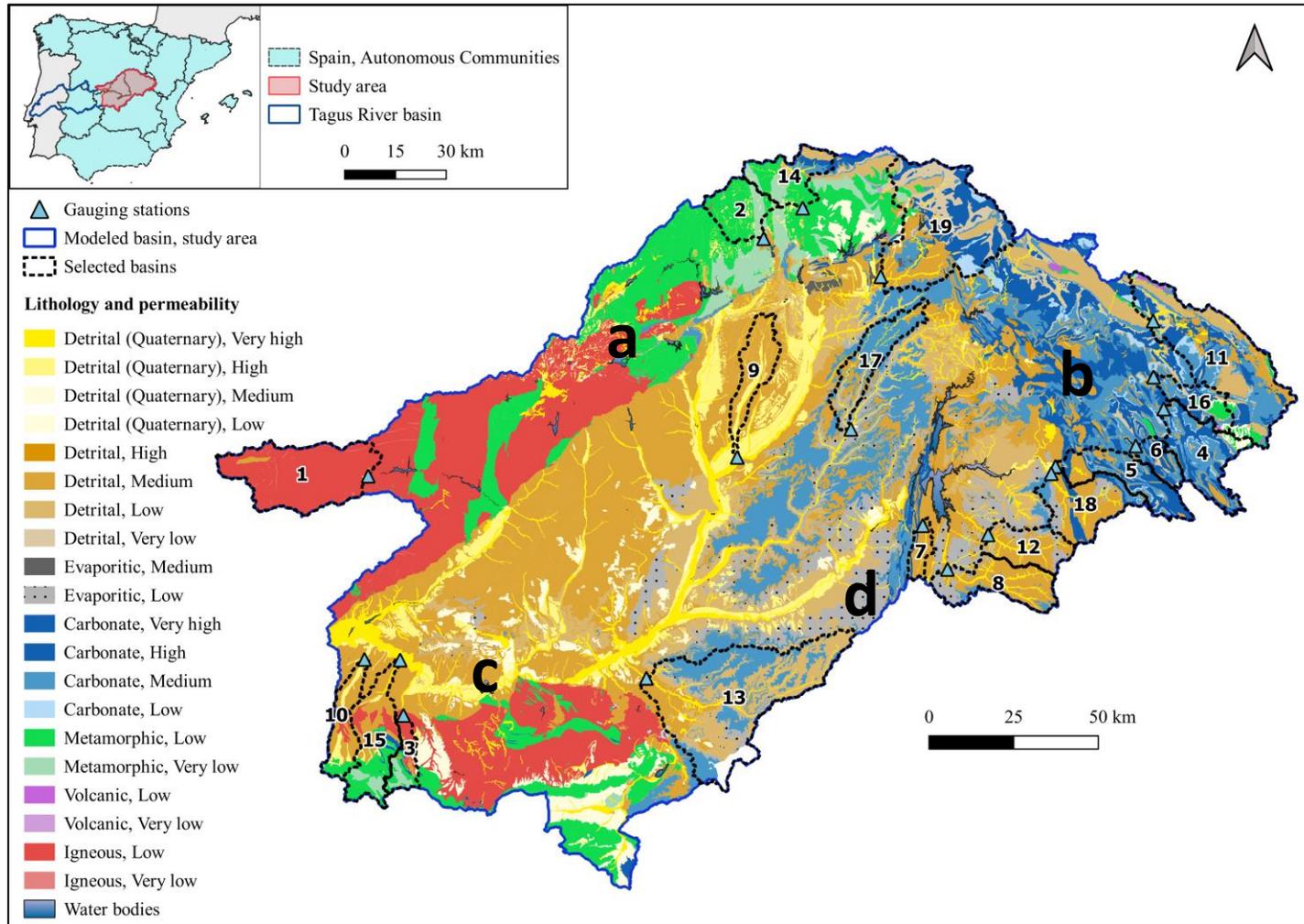


Fig. 7: Mapa de litología y permeabilidad del sector superior de la cuenca del Tajo.

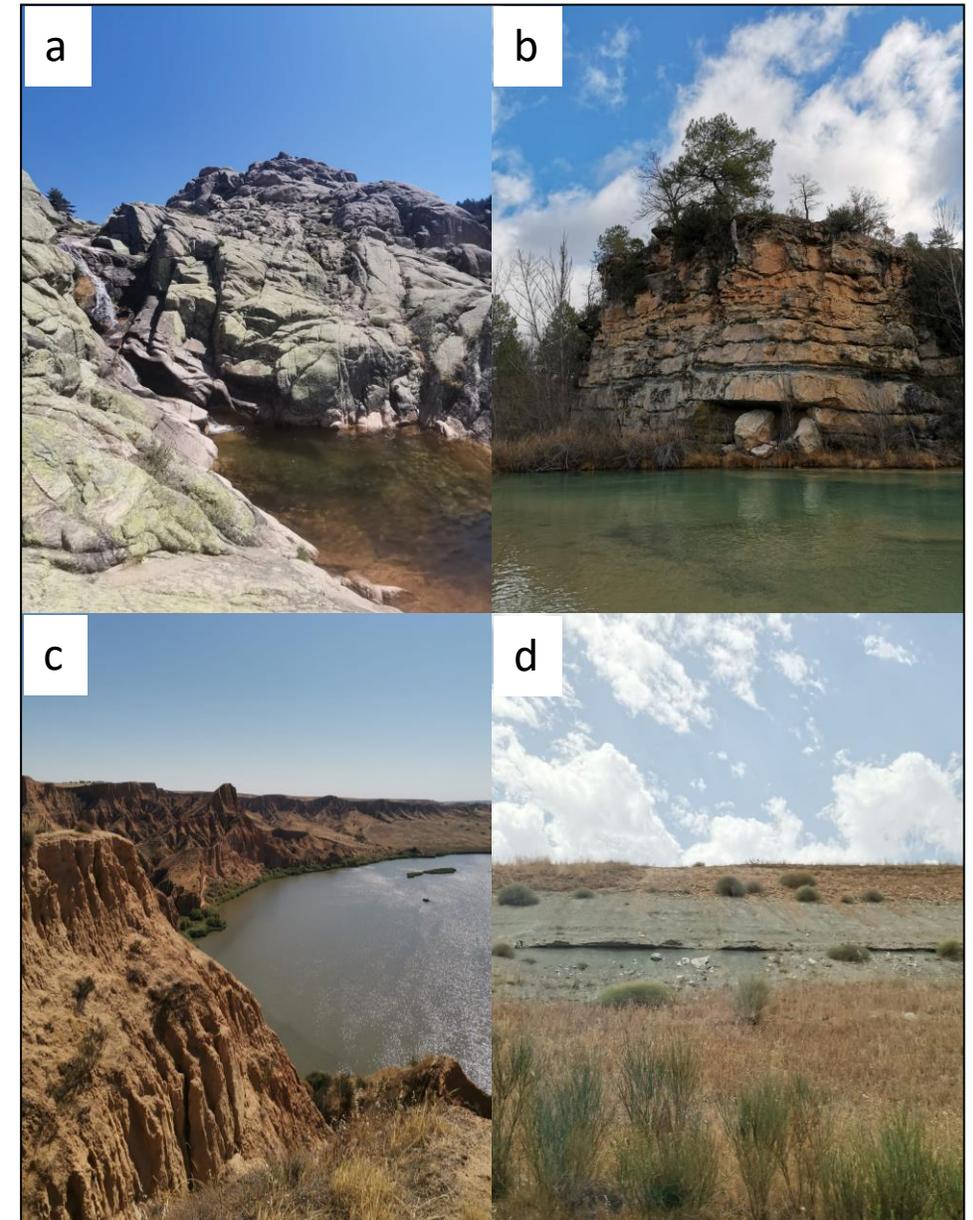


Fig. 8: Ejemplos de heterogeneidad geológica.

Objetivo

- Desarrollo de una metodología para la obtención de datos hidrológicos y meteorológicos a escala de cuenca (o subcuenca).
- Que permita obtener estas variables en varios lugares a la vez.
- Que sea reproducible y de libre acceso. https://github.com/alejandrosgz/Soft_data_collection_methodology
- Conocer la variación del comportamiento hidrológico en distintas regiones de la cuenca del Tajo.



Fig. 9: Logos de R, QGIS y GitHub.

Flujo de trabajo

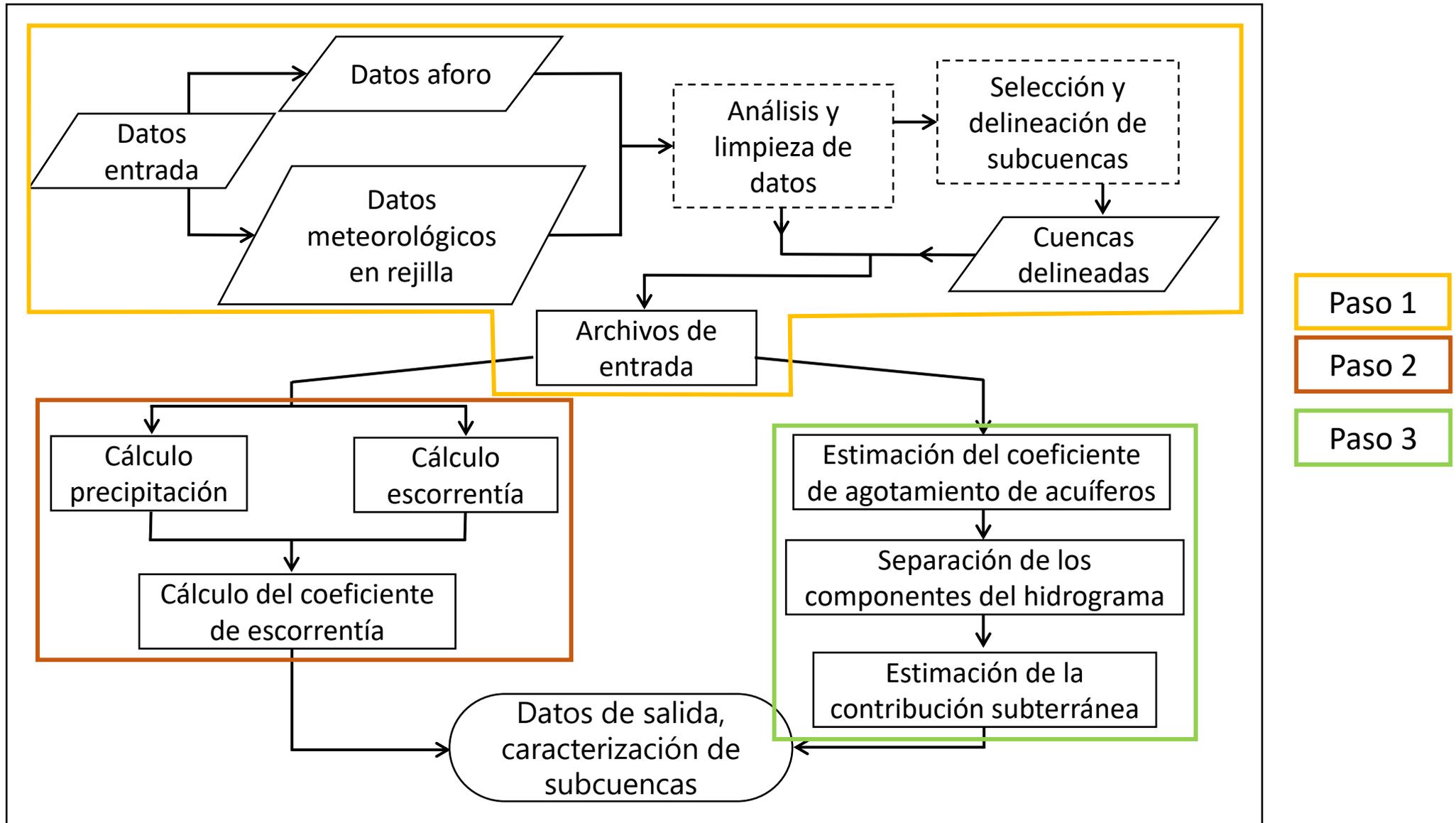


Fig. 10: Diagrama de flujo de la metodología desarrollada.

Paso 1: Datos de entrada

Datos meteorológicos en rejilla:

- Datos en rejilla de la AEMET: Datos diarios de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima con una resolución espacial de 5 kilómetros (1951-2019) (https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambioclimat/datos_diarios?w=2).
- Adaptados al formato SWAT por el grupo de investigación de Planificación y gestión de recursos hídricos (UCAM), disponibles en <https://swat.tamu.edu/data/spain/>. Convertidos a archivos txt (1 archivo por cada punto de la rejilla).

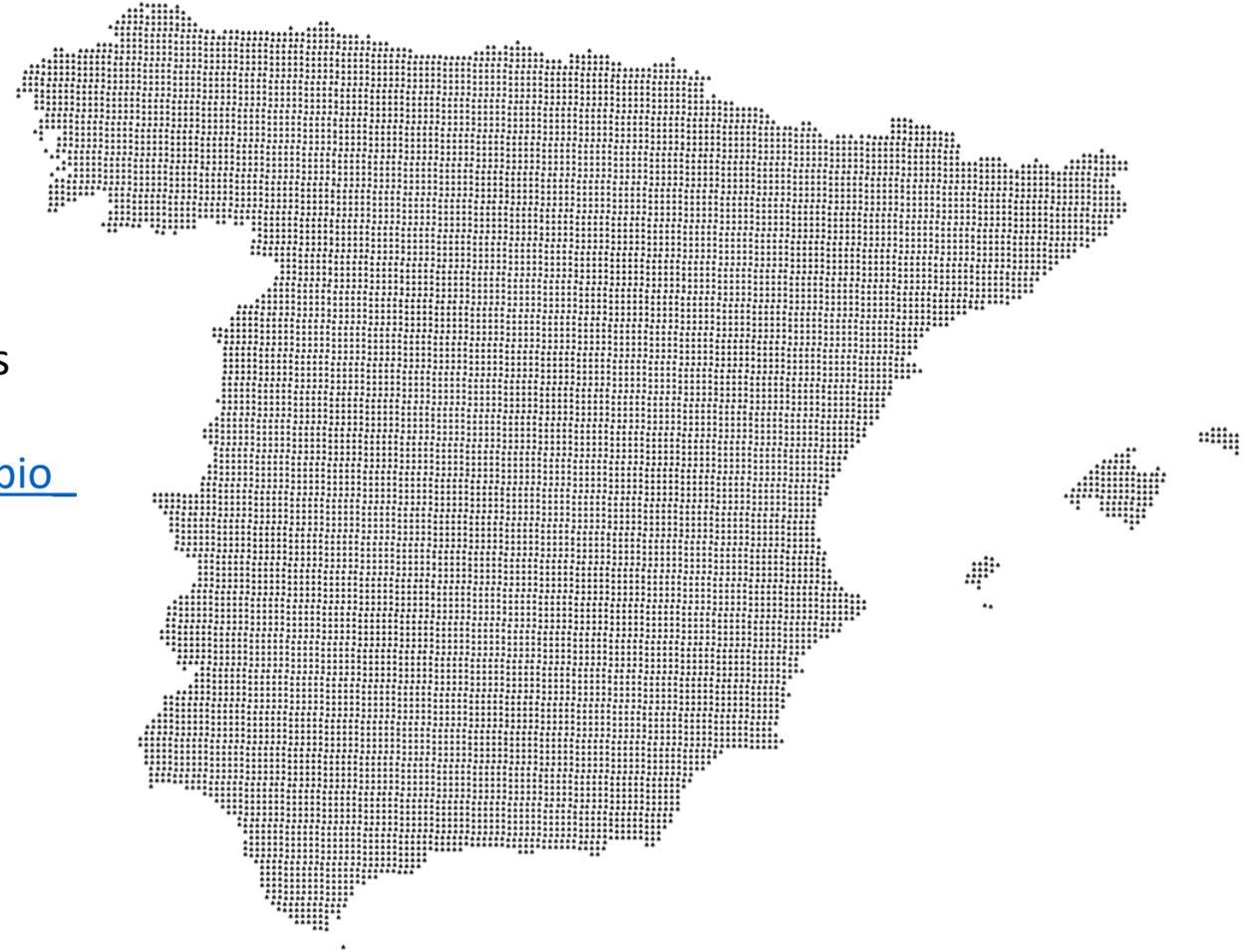


Fig. 11: Localización de puntos de la rejilla AEMET.

Paso 1: Datos de entrada

Datos de aforo:

- Descargados del anuario de aforos a nivel de demarcación hidrográfica <https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/demarcaciones.asp>.
- Archivo con datos diarios (m³/s) de todas las estaciones de aforo dentro de cada demarcación.
- Disponibilidad de datos variada (limpieza y análisis de datos).

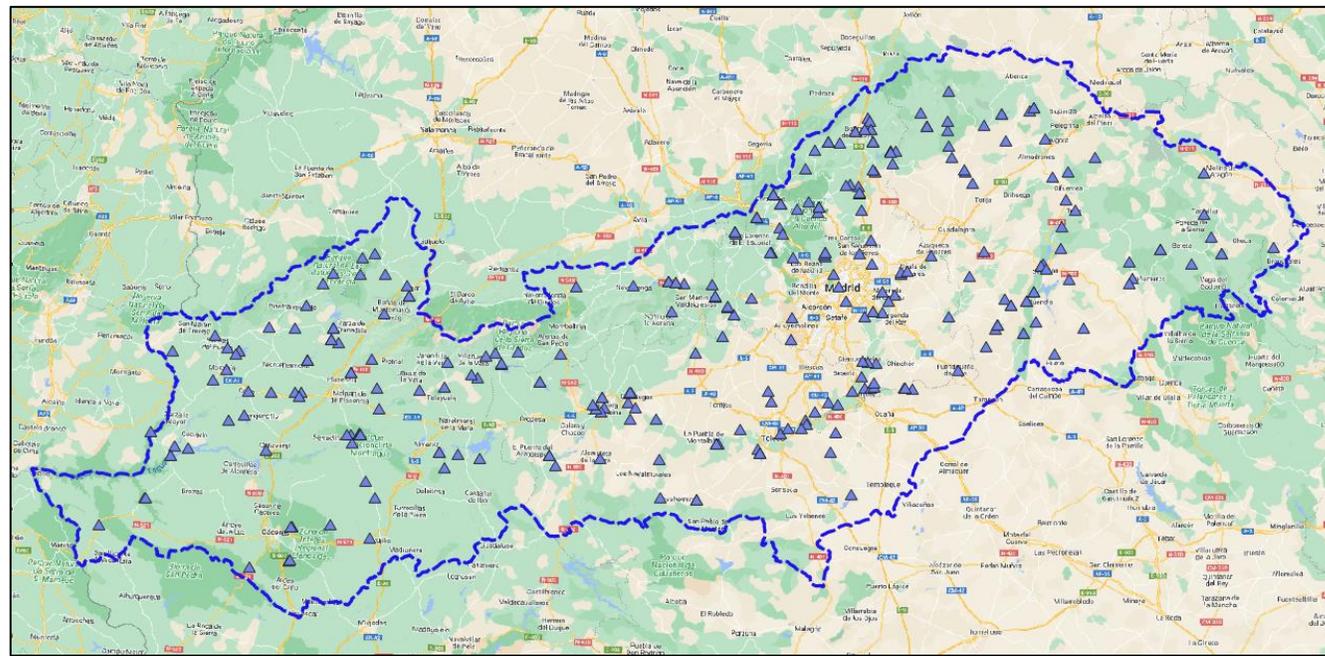


Fig. 12: Localización de estaciones de aforo de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA).

```
# A tibble: 2,399,462 x 4
  indroea fecha      altura caudal
  <int> <chr>      <dbl> <dbl>
1  3001 01/10/1945  0.46  1
2  3001 02/10/1945  0.47  1.15
3  3001 03/10/1945  0.46  1
4  3001 04/10/1945  0.48  1.31
5  3001 05/10/1945  0.48  1.31
6  3001 06/10/1945  0.47  1.15
7  3001 07/10/1945  0.48  1.31
8  3001 08/10/1945  0.49  1.46
9  3001 09/10/1945  0.49  1.46
10 3001 10/10/1945  0.5  1.62
# i 2,399,452 more rows
```

Fig. 13: Archivo aqliq.csv

Paso 1: Datos de entrada

Selección y delimitación de subcuencas

Criterios de selección:

- Localización de estaciones de aforo y disponibilidad de datos.
- Cuencas en régimen natural (ausencia de embalses o captaciones relevantes).
- Cuencas representativas de las distintas regiones geológicas objeto de estudio.

Delineación:

- Llevada a cabo en QGIS.

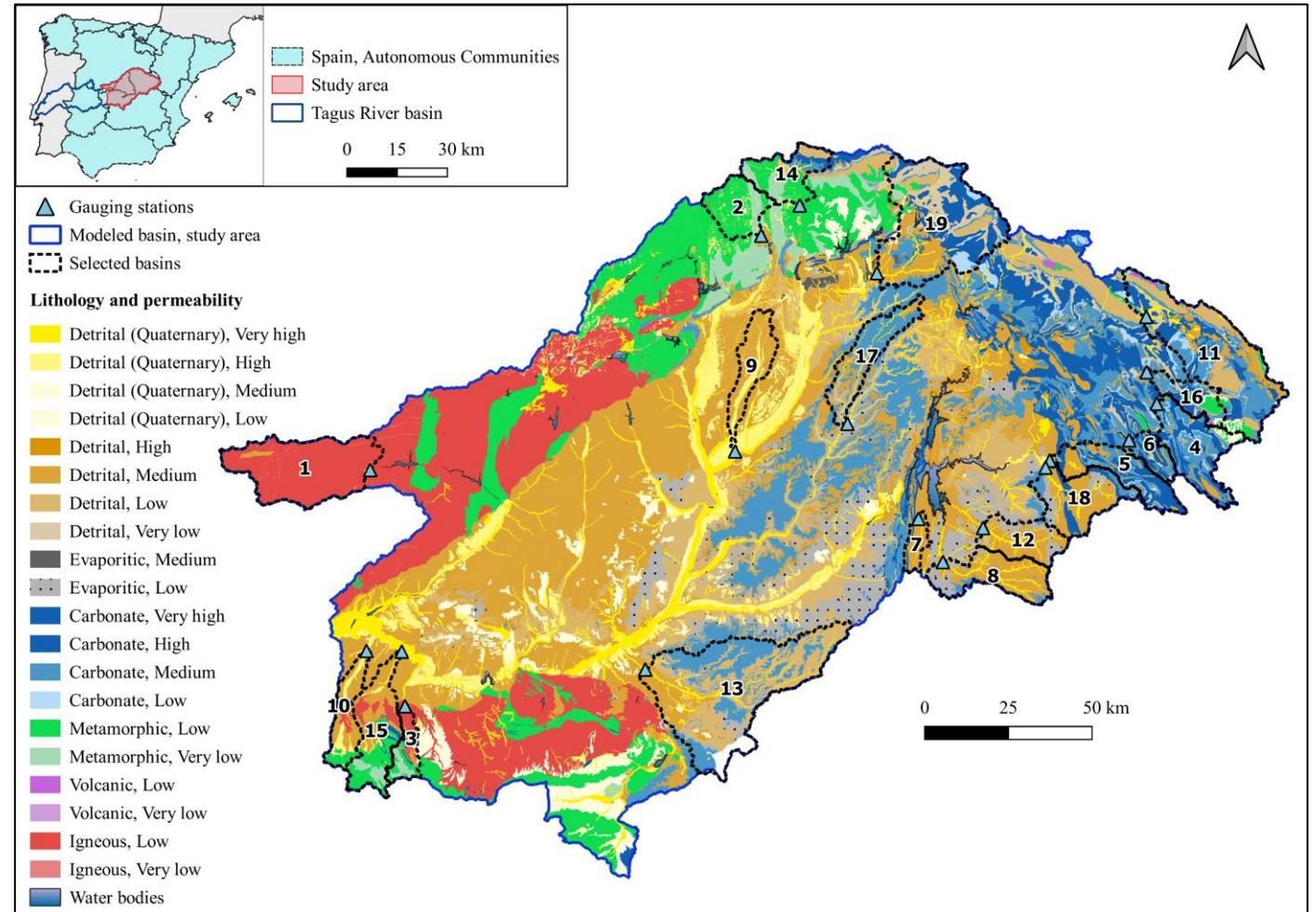


Fig. 14: Mapa de litología y permeabilidad del sector superior de la cuenca del Tago y subcuencas seleccionadas delineadas.

Paso 2: Cálculo del coeficiente de escorrentía

Cálculo de precipitación anual (mm)

- Cálculo de la precipitación media diaria en cada subcuenca entre los puntos de la gradilla (mm/d).
- Suma de datos de precipitación diaria para cada año (mm/año).

Cálculo de escorrentía (mm)

- Cálculo del caudal medio anual (m^3/s).
- Cálculo de la escorrentía total anual teniendo en cuenta el área de cada subcuenca (mm/año).

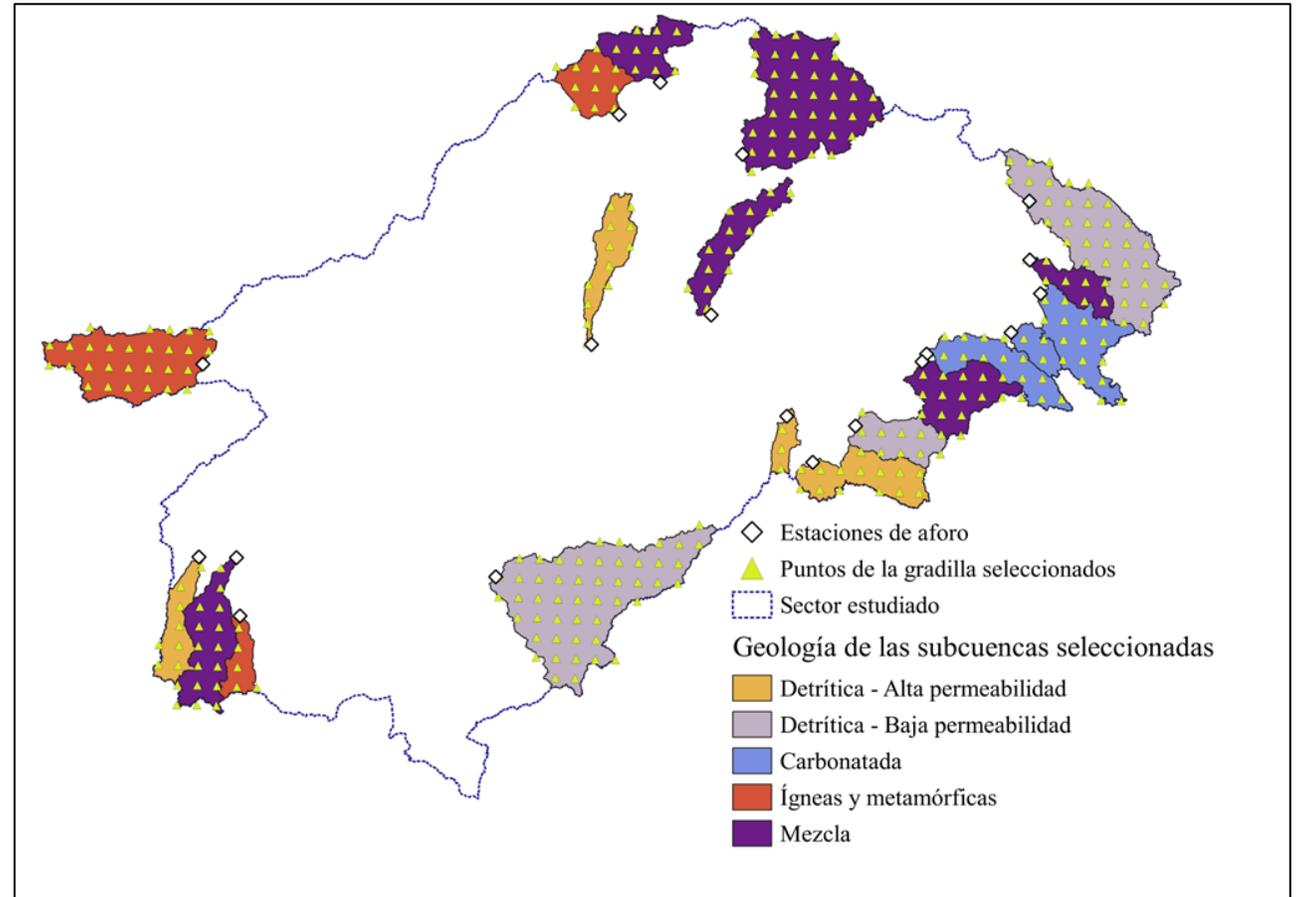


Fig. 15: Subcuencas seleccionadas, puntos de la gradilla dentro de ellas y estaciones de aforo.

Paso 2: Cálculo del coeficiente de escorrentía

Cálculo del coeficiente de escorrentía

$$C_e = \text{Escorrentía (mm)} / \text{Precipitación (mm)}$$

Obtención de valores **medios** para un periodo concreto (2010-2018) y valores anuales **máximos** y **mínimos**.

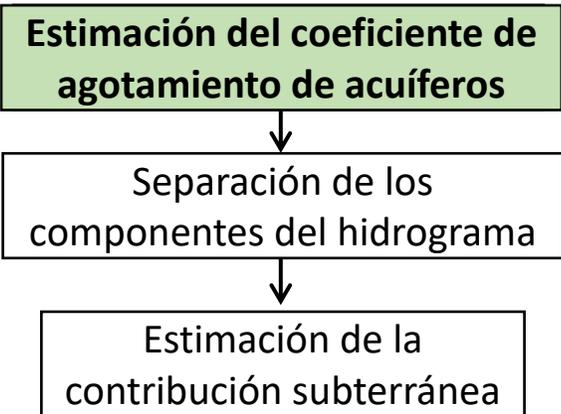
Obtenido para cada subcuenca y también agregado a nivel de región geológica.

Table III: Subbasins runoff coefficients. Average, minimum and maximum value for the entire period.

ID and Subbasin	Region	Mean Temperature	Mean Precipitation	Mean Runoff coefficient	Min Runoff coefficient	Max Runoff coefficient
1, Navaluenga	IMP	11.53	897	0.37	0.26	0.56
2, Matallana	IMP	9.08	907	0.47	0.25	0.57
3, Villarejo de Montalban	IMP	15.46	592	0.14	0.03	0.29
4, Peralejo de las Truchas	CRB	9.74	770	0.38	0.22	0.49
5, Priego Escabas	CRB	10.85	733	0.37	0.24	0.46
6, Santa Maria del Val	CRB	9.78	783	0.45	0.19	0.74
7, Jabalera	DTH	13.75	469	0.09	0.03	0.24
8, Huete	DTH	13.29	534	0.05	0.02	0.10
9, Torote	DTH	13.23	486	0.06	0.03	0.10
10, La Pueblanueva	DTH	15.89	522	0.06	0.01	0.15
11, Ventosa	DTL	11.03	553	0.08	0.05	0.14
12, La Peraleja	DTL	13.32	541	0.02	0.01	0.06
13, Villasequilla de Yepes	DTL	14.39	356	0.02	0.01	0.03
14, Valverde de los Arroyos	MIX	9.85	873	0.36	0.20	0.48
15, Malpica	MIX	15.99	555	0.17	0.05	0.31
16, Taravillas	MIX	10.46	695	0.19	0.09	0.30
17, Romanones	MIX	12.01	534	0.06	0.04	0.10
18, Priego Trabraque	MIX	11.29	626	0.03	0.01	0.08
19, Bujalaro	MIX	10.75	508	0.11	0.07	0.14

Fig. 16: Valores de coeficiente de escorrentía obtenidos a nivel de subcuenca.

Paso 3: Estimación de la contribución subterránea



- Calculada para tres eventos diferentes con la ecuación de Maillet (1905).

$$Q_t = Q_0 * e^{-\alpha * t}$$

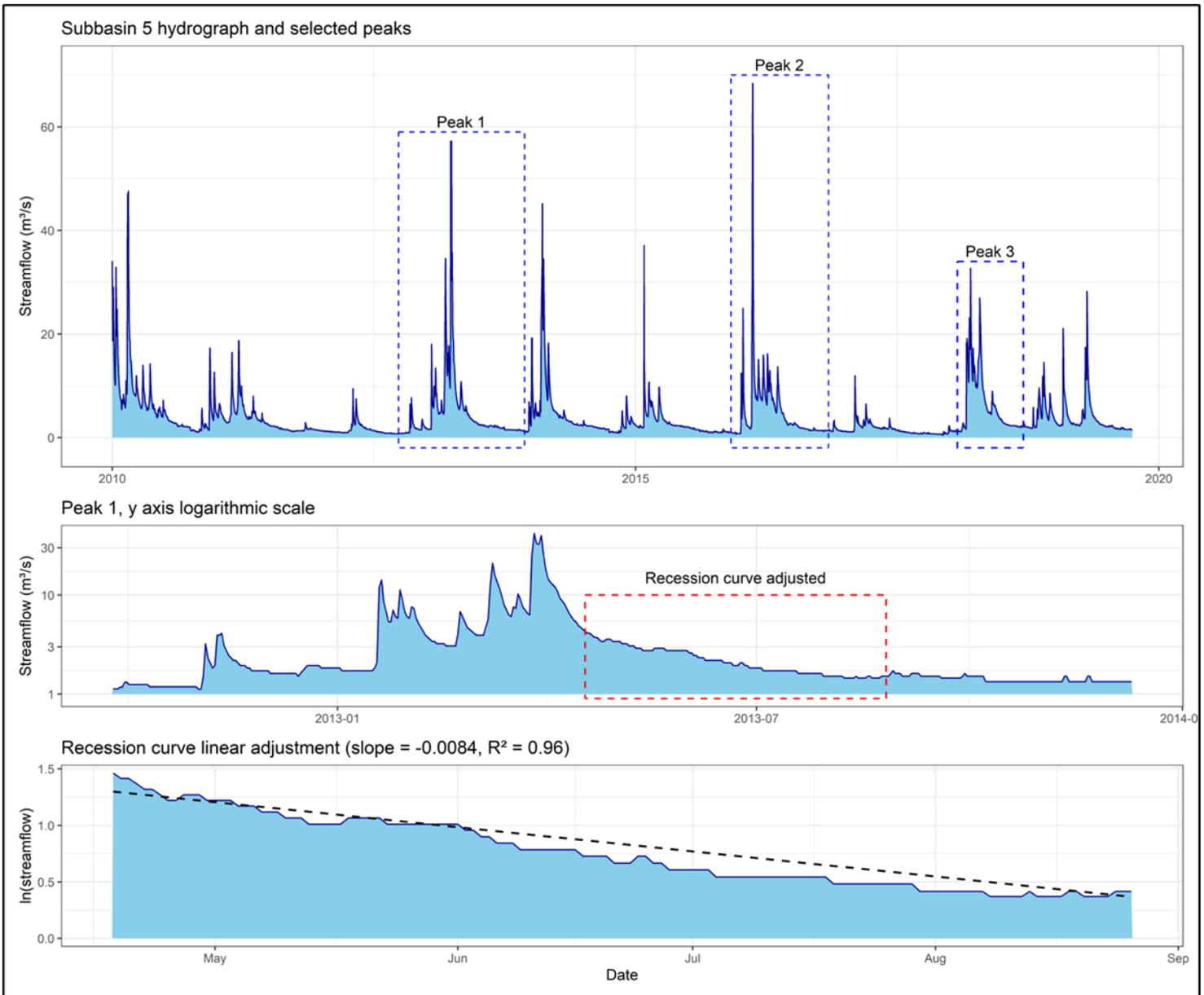


Fig. 17: Proceso de estimación del coeficiente de agotamiento.

Paso 3: Estimación de la contribución subterránea

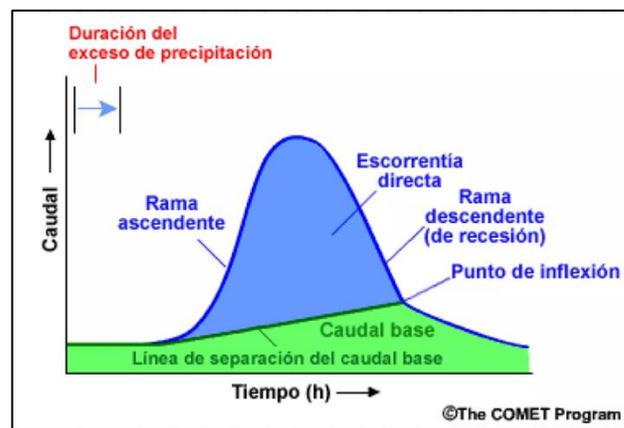
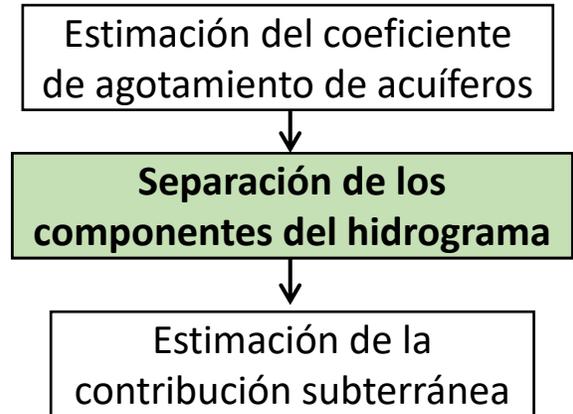


Fig. 18: Esquema de separación de componentes del hidrograma.

- Realizada mediante un **filtro digital** basado en Eckhardt (2005).
- El filtro utiliza 2 parámetros:
 - *alpha*: regula la respuesta del caudal base respecto al tiempo
 - *BFI_{max}*: regula la cantidad máxima de caudal base diario

Ajuste de un valor adecuado

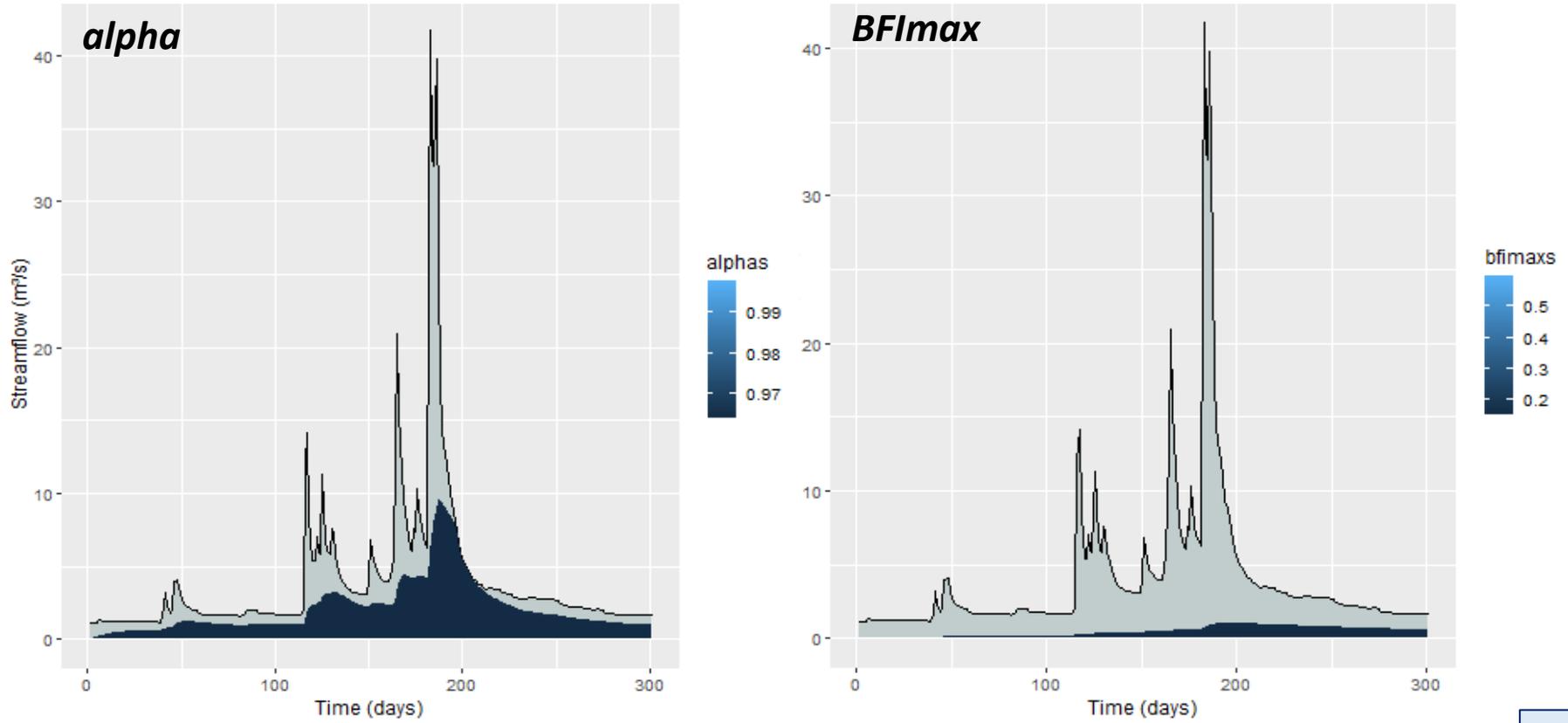
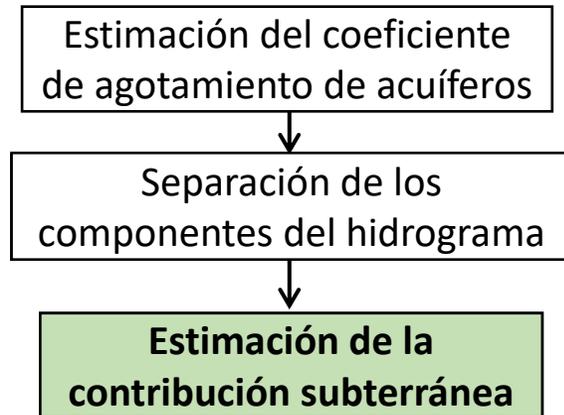


Fig. 19: Efecto de los parámetros alpha y BFI_{max}.

Paso 3: Estimación de la contribución subterránea



- Una vez separados los componentes del hidrograma, se calcula la fracción de contribución subterránea respecto a la total.

$$Bf_c = \frac{\sum_1^n b f_k}{\sum_1^n (b f_k + r n_k)}$$

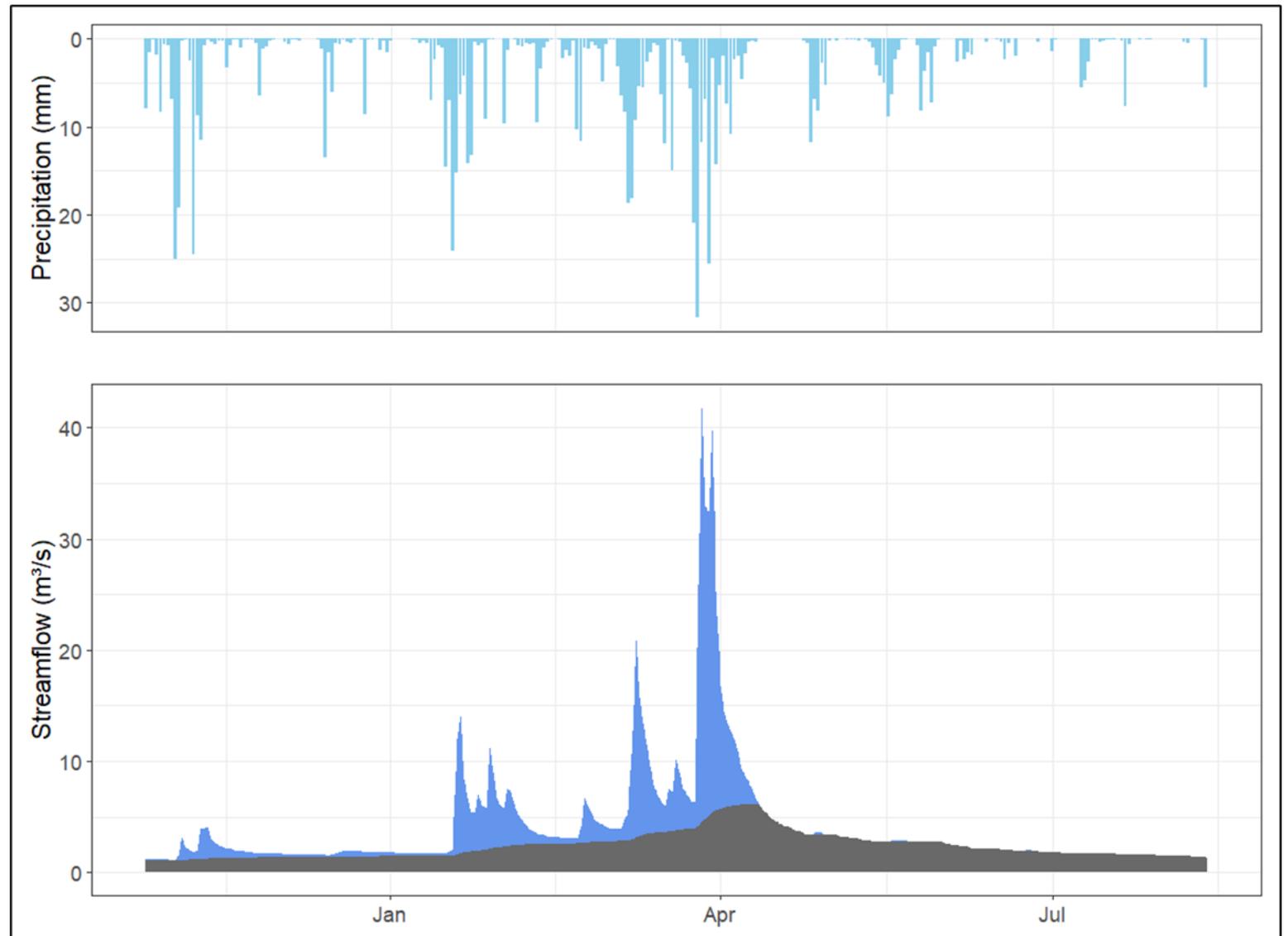


Fig. 20: Ejemplo de separación de componentes del hidrograma.

Resultados y conclusiones

- Se ha desarrollado una metodología **reproducible en todo el territorio nacional** para obtener datos hidrológicos y meteorológicos a escala de cuenca.
- Con esta metodología, se han obtenido valores de **coeficiente de escorrentía y contribución de agua subterránea** para 19 subcuencas del Tajo pertenecientes a 4 regiones geológicas.

Región	Precipitación (mm)	Coefficiente de escorrentía	Porcentaje de agua subterránea
Impermeable	799	0.33	0.22
Carbonatada	762	0.40	0.46
Detrítica Alta permeabilidad	503	0.07	0.34
Detrítica Baja permeabilidad	483	0.04	0.30
Mixtas	632	0.15	0.31

Fig. 21: Valores de coeficiente de escorrentía y contribución de agua subterránea obtenidos a escala de región geológica.

Siguientes pasos

- Estos valores han **guiado un proceso de soft calibration**, asegurando que el modelo reproduce el **balance hidrológico de forma realista en cada una de las regiones estudiadas**.

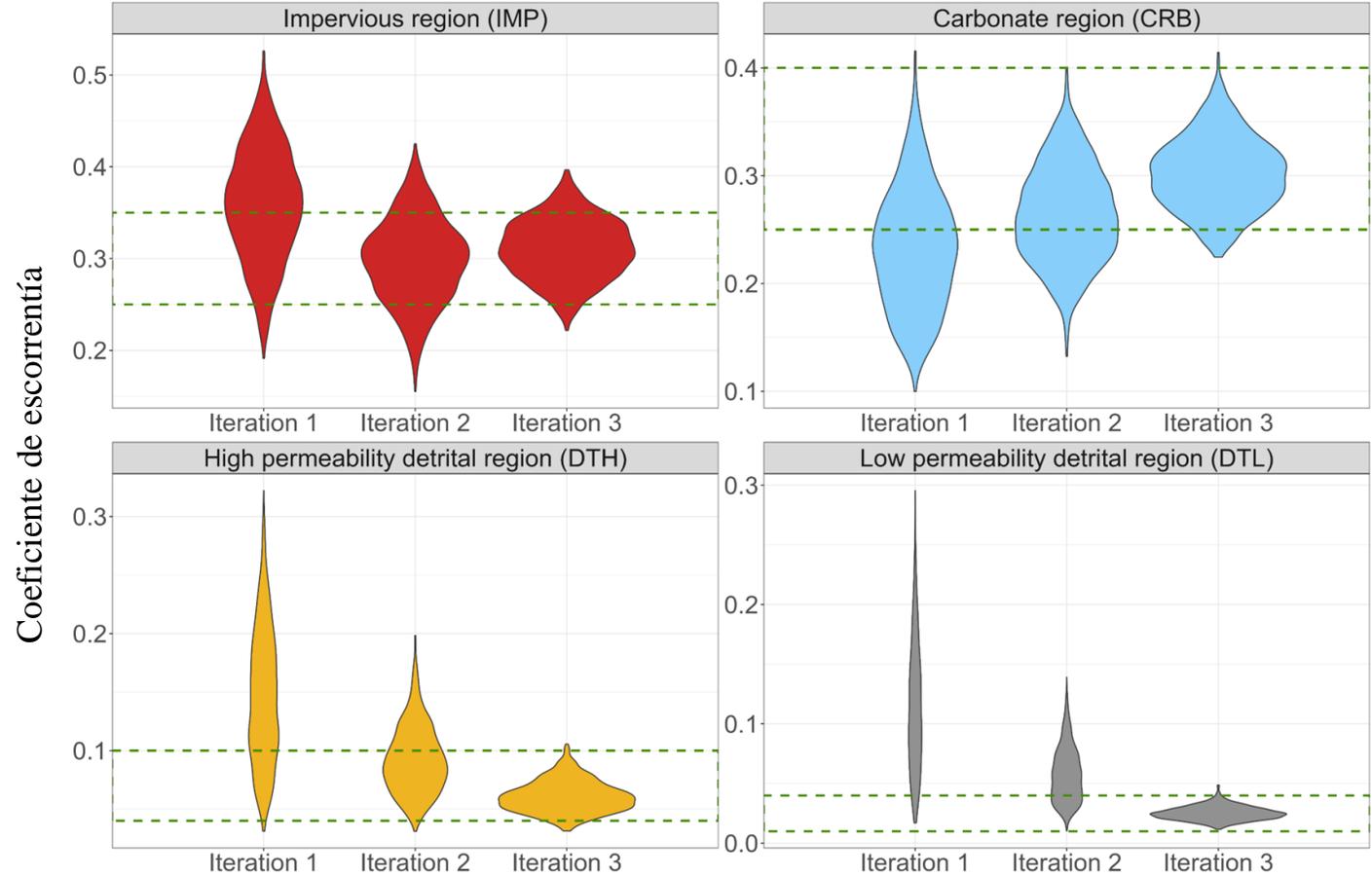
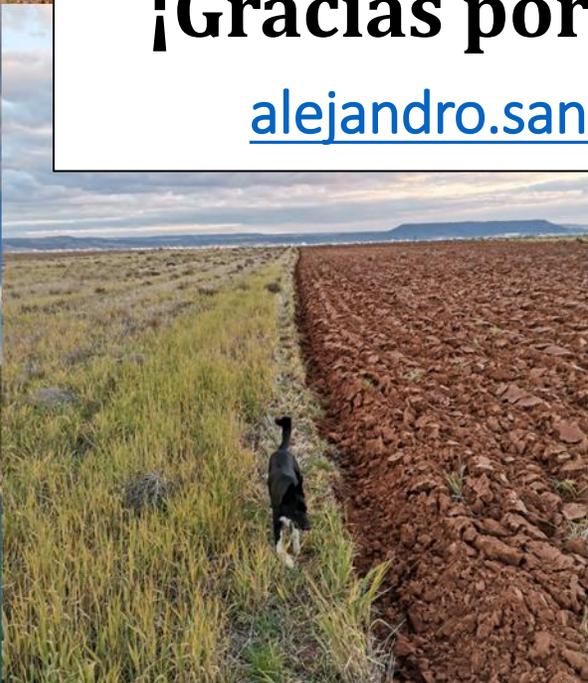


Fig. 22: Ejemplo de progreso conseguido con la soft calibration: Valores de coeficiente de escorrentía obtenidos en tres iteraciones.



¡Gracias por su atención!
alejandro.sanchezg@uah.es



Universidad de Alcalá



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Castilla-La Mancha



Cofinanciado por la Unión Europea



PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE CASTILLA - LA MANCHA



CEAGU