

# Cartografía geológica aplicada a modelización con SWAT+: recarga y escorrentía en la cabecera del Tajo

José Manuel Rodríguez-Castellanos, Silvia Martínez-Pérez y Eugenio Molina-Navarro

Dpt. de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henare. E-mail: [jm.rodriguez@uah.es](mailto:jm.rodriguez@uah.es)

## Resumen

Este estudio propone mejorar el modelo hidrológico SWAT+ integrando información geológica, un aspecto poco representado en el modelo frente a otros componentes como los usos del suelo, los tipos de suelo o la topografía. Para ello, se desarrolló una parametrización distribuida que incorpora la variabilidad litológica y de permeabilidad mediante SIG y programación en R, generando unidades hidrogeológicas coherentes con la realidad del territorio. Los resultados muestran una mejora significativa en la simulación de la recarga y la escorrentía, con mayor correspondencia entre las zonas de infiltración y los registros observados. Así, la incorporación geológica en SWAT+ convierte a este modelo en una herramienta más precisa para evaluar la gestión sostenible de cuencas mediterráneas.

## Introducción

Las regiones mediterráneas, caracterizadas por su clima de transición entre condiciones húmedas y semiáridas, afrontan una creciente presión sobre sus recursos hídricos como consecuencia del cambio climático. En España, las cuencas hidrográficas muestran una acusada vulnerabilidad ante la reducción de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas, afectando directamente a la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas. Por ello la comprensión de los procesos de recarga y de las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas resulta esencial; y los modelos hidrológicos como SWAT+ se configuran como herramientas clave en esta tarea.

Este trabajo se ha desarrollado en la cabecera del río Tajo, en un área estratégica que abarca el sector vertiente a los embalses de Entrepeñas, Buendía y Bolarque (Fig. 1).

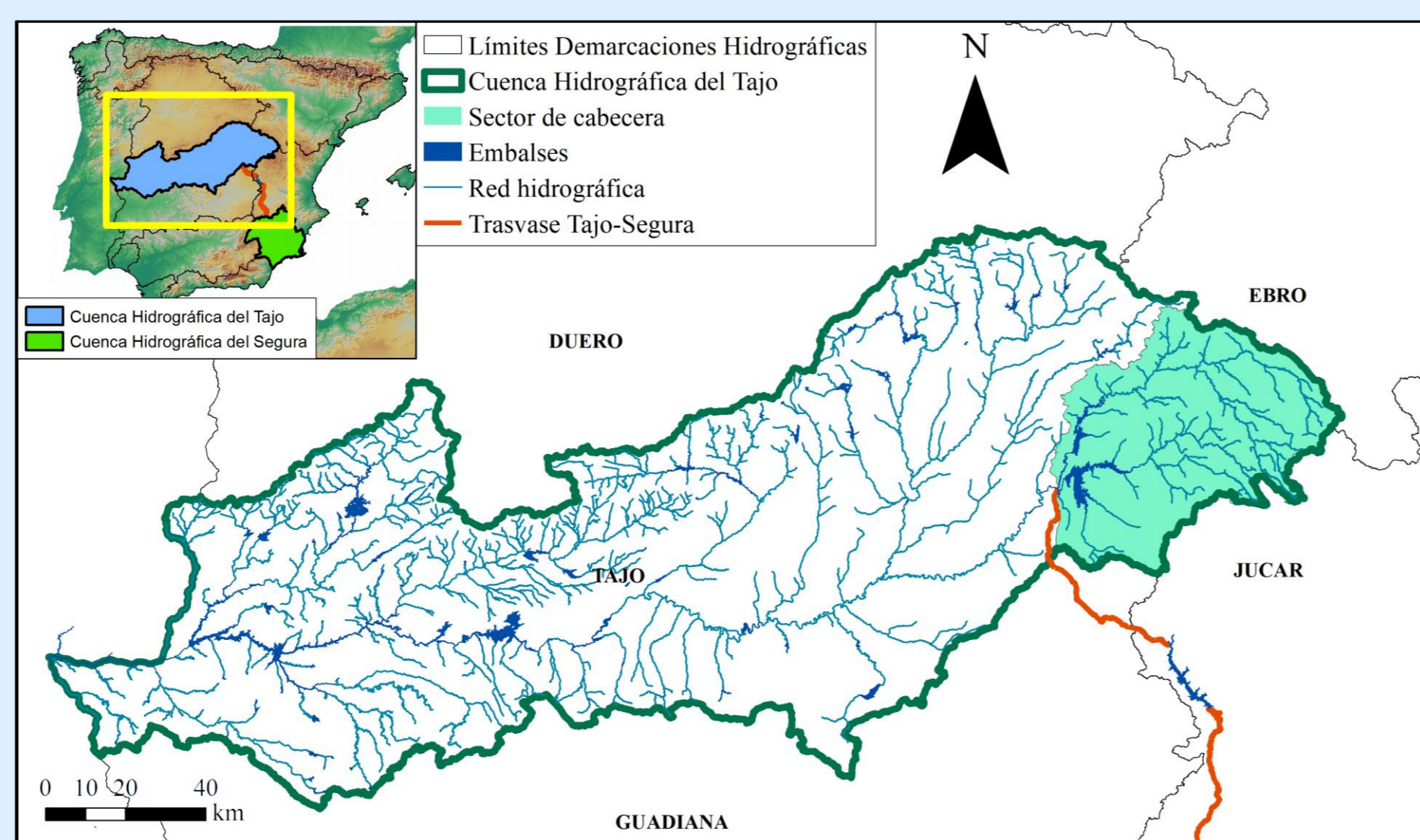


Fig. 1: Localización del área de estudio en la cabecera de la cuenca del Tajo

## Metodología

La investigación utiliza un modelo SWAT+ previamente desarrollado y calibrado para representar los procesos hidrológicos de la zona. Dado que SWAT+ no considera información geológica como dato de entrada, las salidas proporcionadas no representaban la realidad existente en el área de estudio. Por esta razón se decidió abordar una novedosa estrategia de calibración zonal considerando la litología y permeabilidad (Fig. 2), definiendo tres regiones geológicas. Así, a las unidades de respuesta hidrológica que componen el modelo se les asignó la región geológica a la que pertenecían (Fig. 3), configurando una parametrización distinta para cada una de las tres regiones.

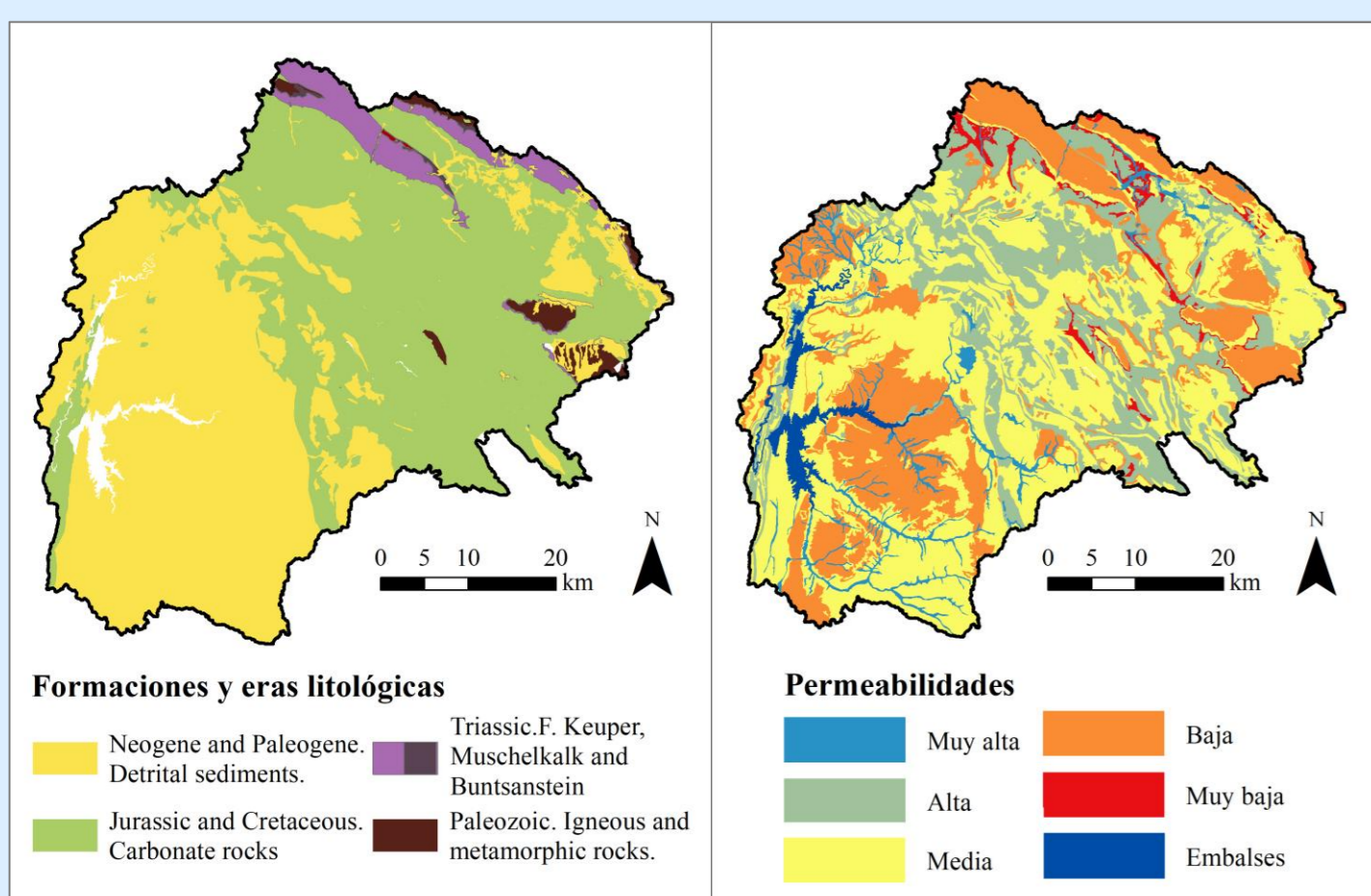


Fig. 2: Geología y permeabilidad litológica del área de estudio

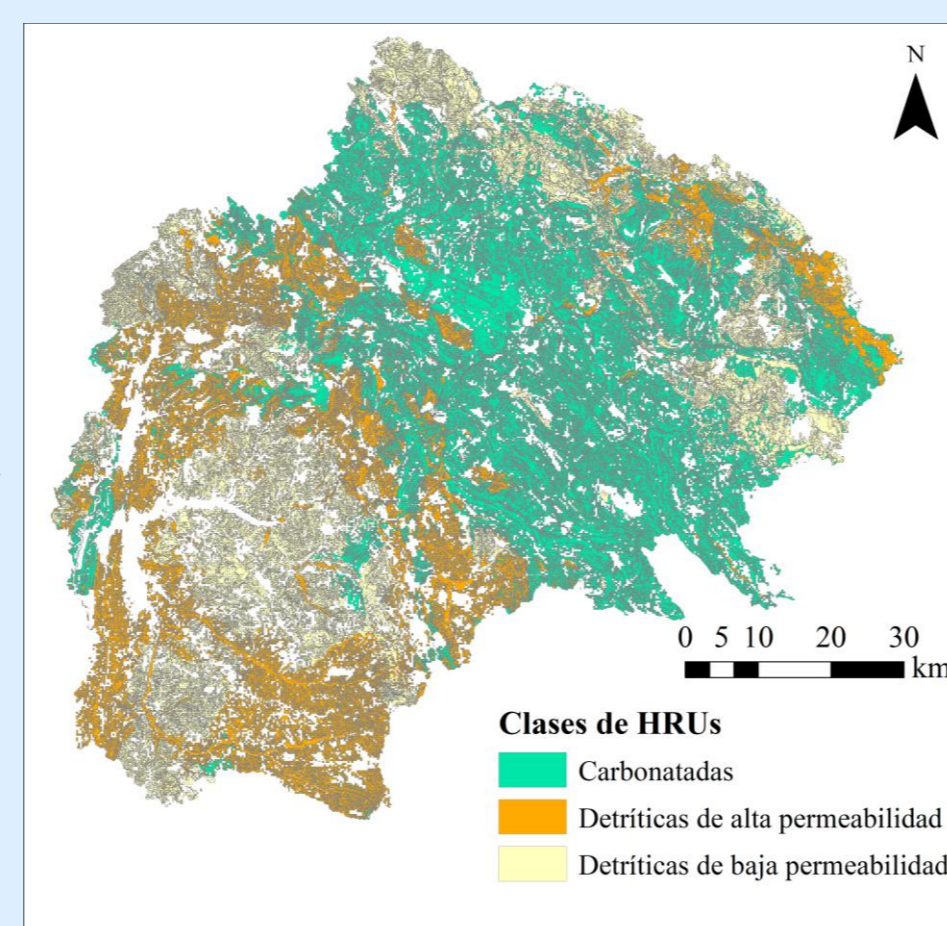


Fig. 3: Clasificación geológica de unidades de respuesta hidrológica (HRUs)

El modelo fue calibrado en ocho subcuencas con datos de caudal en régimen natural (Fig. 4). Fueron caracterizadas según su litología y permeabilidad predominantes, y se calcularon dos índices clave, el CE (coeficiente de escorrentía) y el Qb (contribución de agua subterránea), para evaluar la representación del balance hidrológico y del flujo subterráneo. En la calibración se ajustaron los parámetros tanto para reproducir estos índices como para mejorar el ajuste frente a series de caudales observados.

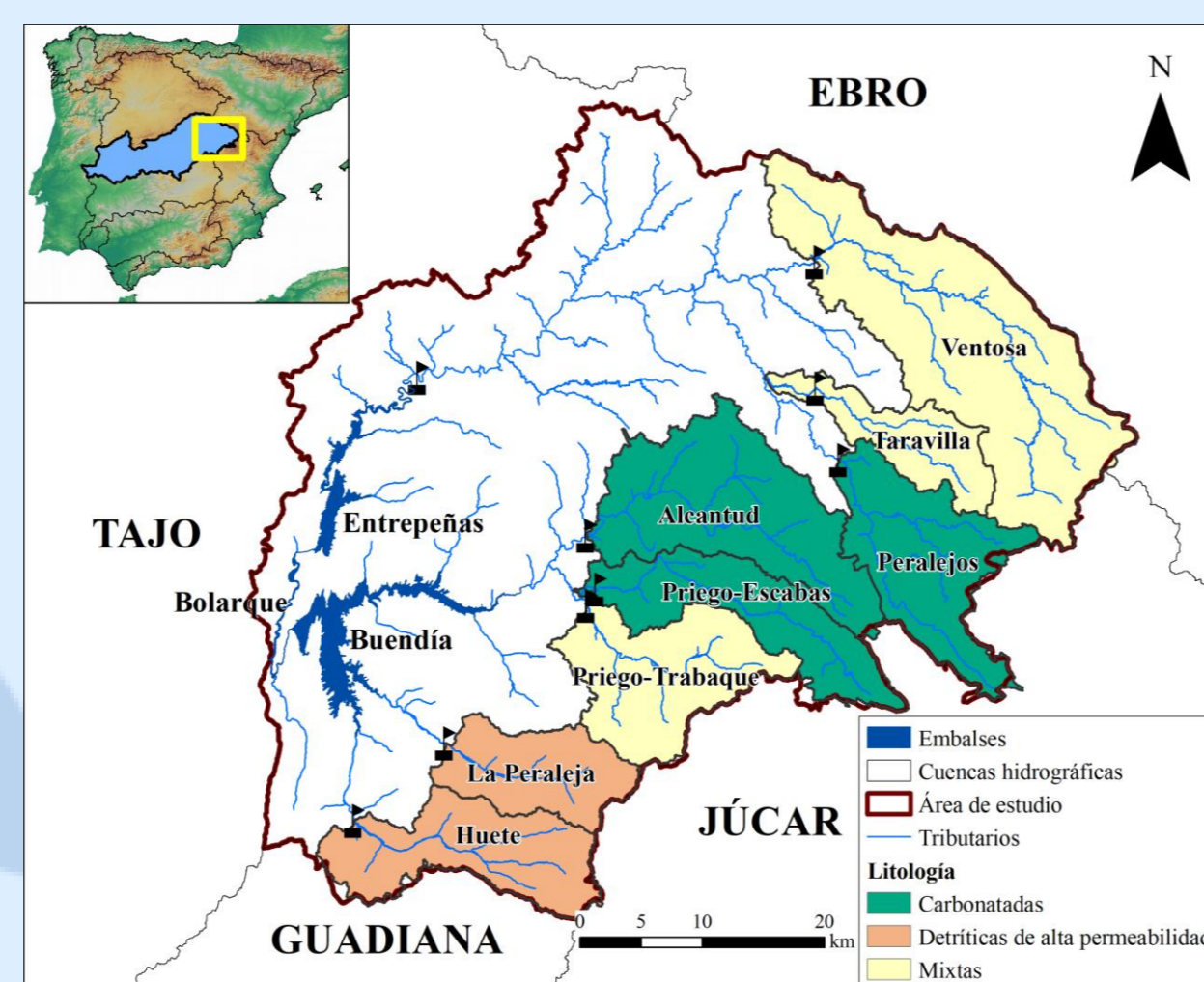


Fig. 4: Subcuencas caracterizadas geológica e hidroclimáticamente para la calibración del modelo

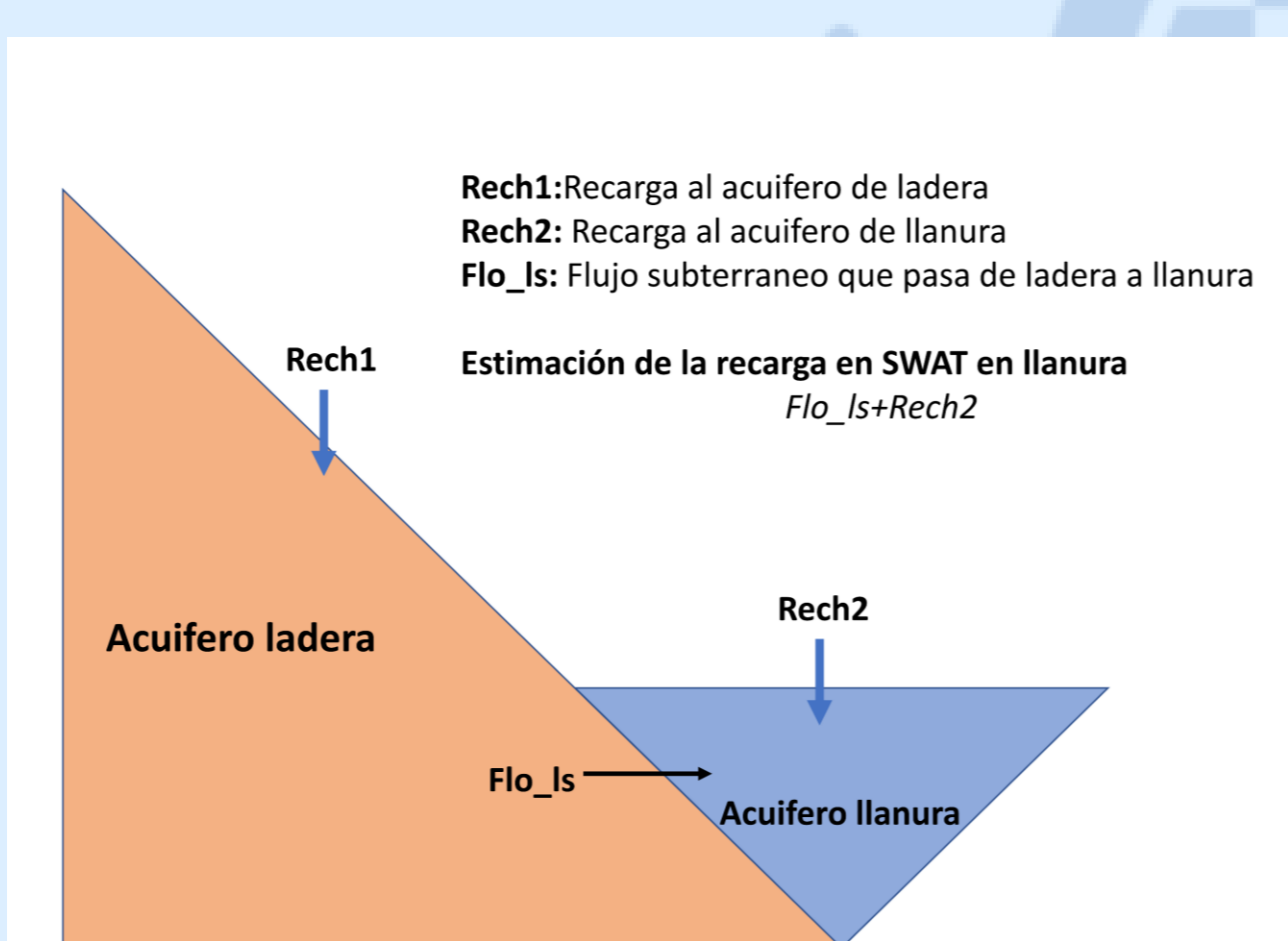


Fig. 5: Esquema de funcionamiento del acuífero a nivel de subcuenca

El modelo simula la recarga en cada subcuenca considerando dos acuíferos: llanura y ladera. En los archivos de salida, la recarga de llanura es estimada con la suma de la propia recarga más una fracción de flujo subterráneo procedente del acuífero de ladera (Fig. 5), por lo que parte de la recarga de la ladera se computa doblemente en los totales por subcuenca. Por ello, fue necesario crear un código en R para estimar la recarga real en cada subcuenca, restando la parte que fluye desde la llanura hacia la ladera.

## Resultados

La Figura 6 compara los resultados de recarga del modelo sin calibrar, donde la recarga muestra una distribución espacial imprecisa, con los resultados ya calibrados, mucho más realistas. Se presenta también la recarga simulada por el modelo SIMPA, utilizado oficialmente por la CHT, y que muestra similares localizaciones de mayor y menor recarga.

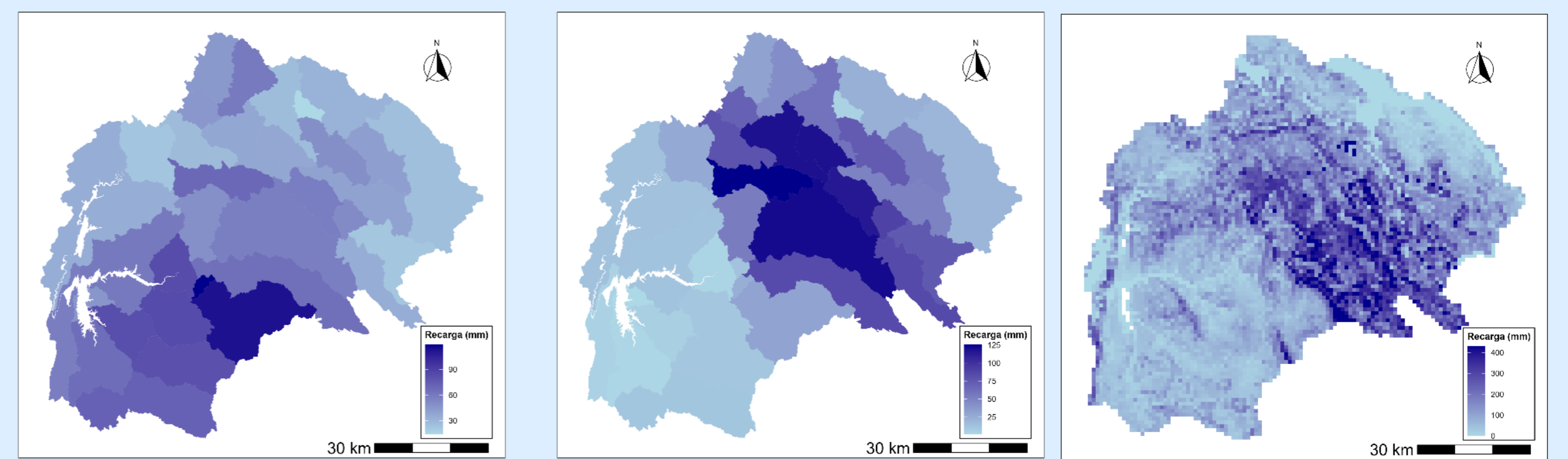


Fig. 6: Simulación de la recarga por subcuenca en el modelo SWAT+ por defecto (izd.), calibrado (cent.) y el modelo SIMPA del ministerio (drcha.)

La recarga simulada responde también a una marcada variabilidad interanual de la precipitación en la cuenca (Fig. 7): en años con más de 600 mm de precipitación se alcanzan recargas de hasta 300 mm en las subcuencas centrales, mientras que en años más secos ( $\approx 400$  mm, como 2012, 2015 y 2017) la recarga no supera los 100 mm en ninguna subcuenca.

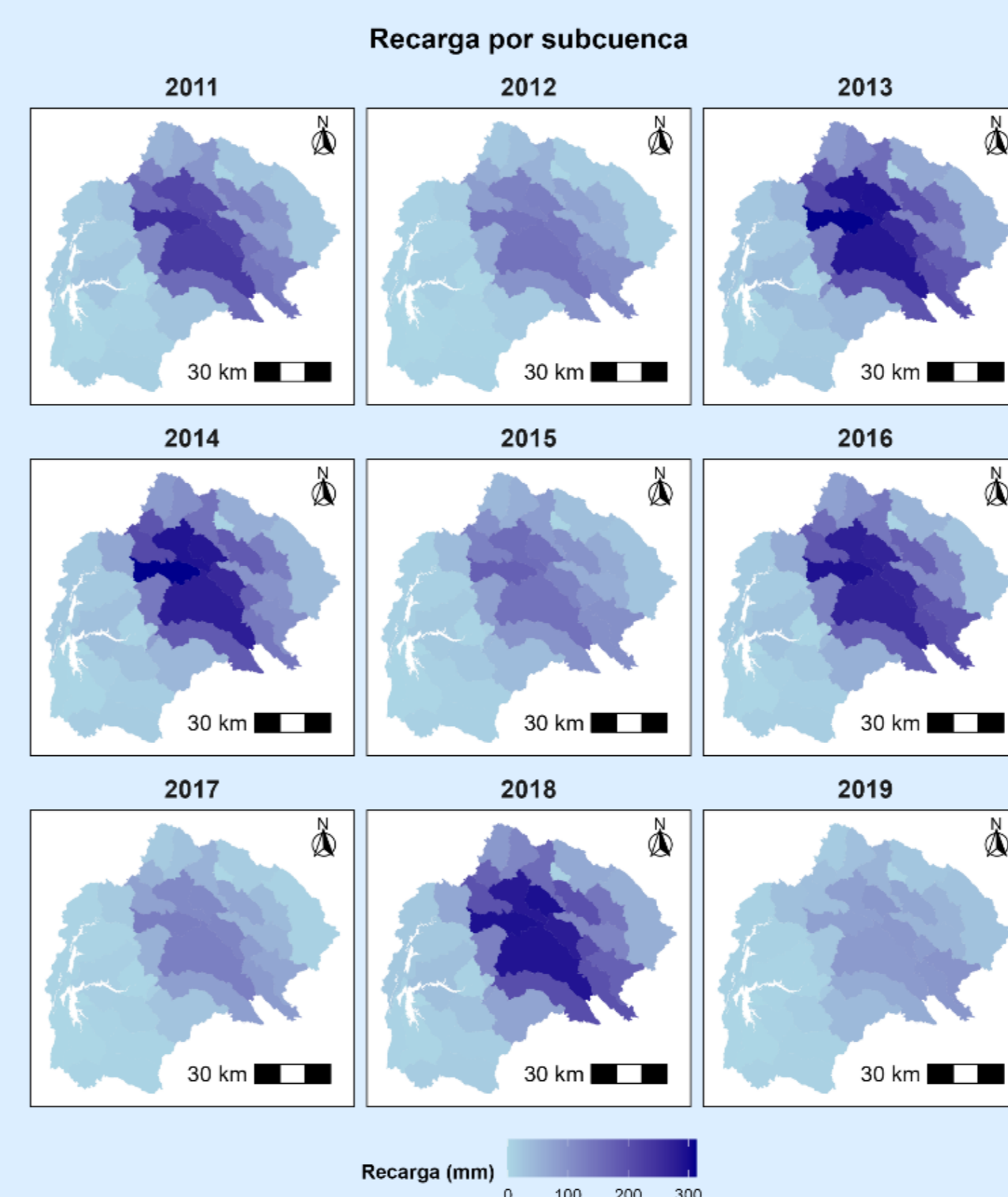


Fig. 7: Simulación de recarga anual a nivel de subcuenca por el modelo calibrado

Respecto a la simulación por regiones geológicas calibradas, los resultados muestran que en las subcuencas carbonatadas (Peralejos, Alcantud o Priego Escabas) la recarga se convierte casi en su totalidad aporte por escorrentía de base a los ríos. Sin embargo, en las subcuencas detríticas (La Peraleja o Huete), la recarga del acuífero es más limitada dada una menor permeabilidad de los materiales y una menor precipitación en estas áreas.

En la separación de las componentes de la escorrentía (Fig. 8) se observa como éstas responden correctamente la variabilidad temporal del clima y se distribuyen en el tiempo de manera realista, particularmente la escorrentía subterránea, que provee un flujo sostenido al caudal resultado de una simulación realista de la recarga.

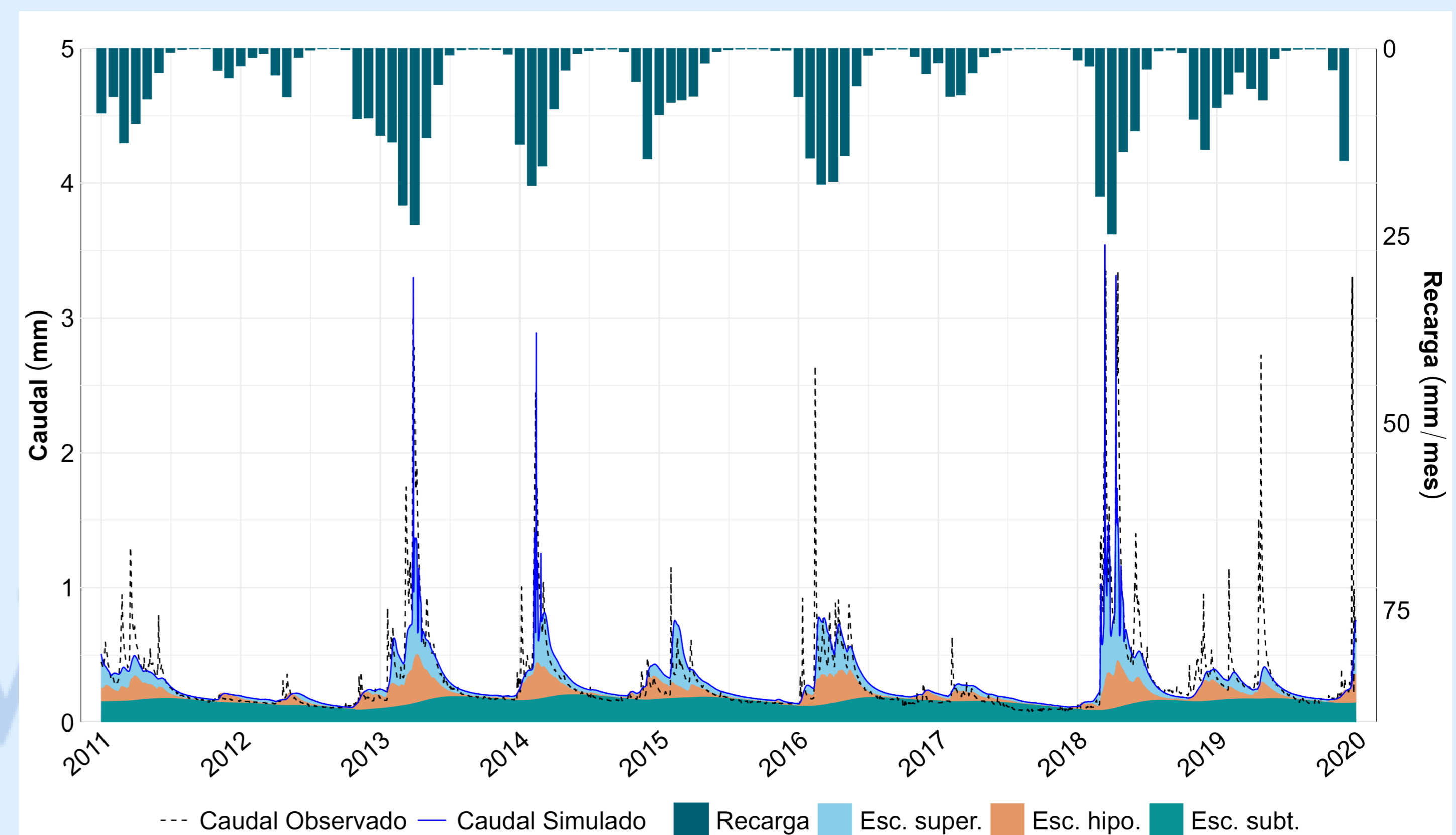


Fig. 8: Simulación de componentes del hidrograma frente al caudal observado en la estación de Trillo.

## Conclusiones

- La configuración del modelo por regiones geológicas permite representar la heterogeneidad espacial y temporal de la dinámica del agua subterránea.
- SWAT+ simula adecuadamente el coeficiente de escorrentía y la contribución del agua subterránea.
- Los resultados son coherentes con la conceptualización hidrogeológica de la cuenca y representan un avance en las aplicaciones de SWAT+.