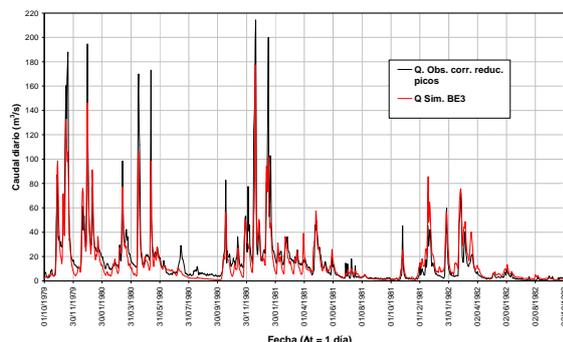




El proceso de calibración automática del modelo ha sido iterativo entre las escalas horaria y diaria, utilizando 3 meses de calentamiento y comprobando en todo momento la estacionariedad de las variables de estado. En la escala diaria se adoptó el FC de propagación en cauces de la calibración horaria, calibrándose automáticamente el resto de FC y el coeficiente  $\beta$ . La condición inicial al inicio del período de calentamiento se obtuvo con ajuste manual.

En la escala horaria, dado que los caudales observados son diarios y dada la pobre representación espacial de la lluvia, la calibración siguió el siguiente proceso: El coeficiente  $\beta$  horario se ajustó para obtener el mismo total de precipitación que en la escala diaria; para el FC de la evapotranspiración se siguió el mismo criterio, pero igualando el total del flujo de evapotranspiración; se utilizaron los FC de interflujo y flujo base y la condición inicial de la escala diaria; el FC de la propagación en cauce se ajustó asumiendo un tiempo de concentración para eventos grandes de 5 horas; finalmente, se calibraron automáticamente los FC de infiltración, percolación y almacenamiento estático.

En la figura 2 se muestra la calibración a escala diaria, resultando un índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0,81 y un error en balance de -4,60%. Para el período de validación a escala diaria el índice de eficiencia es de 0,65 y el error de balance del 9,87%. En el modelo horario no tiene sentido hablar de ajustes, dado que el caudal observado es diario. En cuanto al balance, existe una tendencia a sobreestimar los caudales bajos, por lo que para éstos deben utilizarse los obtenidos por el modelo diario.



**Figura 2.-** Caudales diarios "simulados" y "observados corregidos" en el punto Be3 durante el periodo de calibración.

## Resultados de las simulaciones y conclusiones

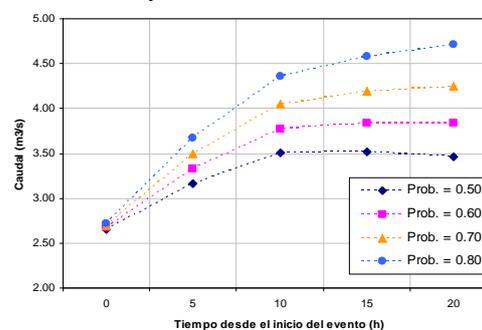
A escala diaria se han simulado de forma continua los años hidrológicos del 51-52 (comienzo de la serie de ETP en Sondika) al 91-92 (fin de los datos de precipitación diaria). Los caudales medios mensuales se recogen en la tabla adjunta. Una conclusión importante es que desde el punto de vista del régimen hidrológico, existen tres tipos de comportamientos:

- Un estiaje los meses de julio, agosto y septiembre, con caudales claramente inferiores al resto del año. Esto es debido a la existencia de un acuífero poco importante, que da lugar a un flujo base que sólo es el 12% del total de la escorrentía en el punto de simulación Be3 (similar en los otros puntos).
- Un período húmedo los meses de noviembre a mayo, debido a una mayor precipitación.
- Dos meses de transición en junio y octubre.

Por ello, para determinar los caudales de estiaje se utilizan exclusivamente los meses de julio, agosto y septiembre.

A escala horaria se han simulado de forma continua los años hidrológicos del 51-52 al 82-83 (fin de datos de precipitación horaria). De esta serie continua se han separado todos los eventos de crecida en cada punto de simulación. Para separar los eventos, se ha definido que inician cuando se incrementa el caudal en el río y finalizan cuando transcurren 14 horas consecutivas sin lluvia, siendo la duración mínima de evento de 20 horas. Los eventos de los meses de estiaje se han separado y analizado estadísticamente en cada punto de simulación y para distintos niveles de magnitud de la tormenta asociada el caudal diario del día anterior al comienzo del evento y los caudales horarios transcurridas 5, 10, 15 y 20 horas. La magnitud de la tormenta asociada a cada evento se ha medido en términos de probabilidad de no excedencia.

La variabilidad de los caudales es alta, pero debido a un sesgo positivo de los mismos, se recomienda adoptar los valores medios, representados en la figura 3 en el punto de simulación Be2 para probabilidades de no excedencia de la tormenta asociada entre 0,50 y 0,80.



**Figura 3.-** Variación del caudal medio a lo largo del tiempo de los eventos de crecida en los meses de estiaje, para distintas probabilidades de no excedencia de tormenta, punto Be2.

En la figura se observa que el caudal antecedente es independiente de la probabilidad del evento, estando por debajo de los 3 m<sup>3</sup>/s en el Besaya, 3,5 m<sup>3</sup>/s en el Saja y de 6,4 m<sup>3</sup>/s aguas abajo de la confluencia. Conforme transcurre la tormenta y cuanto mayor es su magnitud, los caudales lógicamente se incrementan, pero no excesivamente. Así, por ejemplo, para una tormenta con probabilidad de no excedencia de 0,80 en Be3, el caudal antecedente esperado es de 2,9 m<sup>3</sup>/s, mientras que al cabo de 20 horas de comienzo del evento sólo se ha incrementado hasta 5,1 m<sup>3</sup>/s.

Este mismo análisis ha sido realizado para el resto del año (de octubre a junio), destacando que los caudales antecedentes medios para la probabilidad de no excedencia de la tormenta asociada de 0,5 son mayores de 11 m<sup>3</sup>/s en el Besaya, mayores de 13 m<sup>3</sup>/s en el Saja y de 25,70 m<sup>3</sup>/s aguas abajo de la confluencia. A diferencia de los eventos de estiaje, el resto del año aparece un ligero incremento de estos caudales con la probabilidad del evento de lluvia dada la mayor correlación entre episodios de lluvia en los meses húmedos.

## Referencias Bibliográficas

Francés F., Vélez J. I., Vélez J. J., (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. Journal of Hydrology (2007) 332, 226–240.

Vélez J. I., (2001). Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. PhD dissertation. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. 266 pp.