Estimación de hidrotipos para la evaluación del estado ecológico de ríos temporales no aforados

Pedrajas, J.[a1], Jimenez, S.[b1], Estrela, T.[b2] y Francés, F.[a2]

[a]Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA), Instituto de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. [a1]juapedga@gmail.com, [a2]ffrances@upv.es.
[b]Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), Avenida de Blasco Ibáñez, 48, 46010 Valencia. [a1]saramaria.jimenez@chj.es, [a2]Teodoro.Estrela@chj.es.

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

En el presente artículo se analiza la validez del modelo Tetis para ser usado en la caracterización del régimen hidrológico de ríos temporales y su aplicación a ríos temporales no aforados, así como la caracterización del hidrotipo de estos mediante la aplicación TREHS. Para ello se han introducido varias mejoras en el modelo Tetis, como son perdidas por transmisión en cauce, zonas kársticas y manantiales. Los resultados obtenidos son satisfactorios, se concluye que tras las mejoras el modelo Tetis puede ser usado en la caracterización hidrológica de los ríos temporales.
Palabras clave | Ríos temporales; directiva marco del agua; modelación hidrológica; hidrotipo

INTRODUCCIÓN

Los ríos temporales son aquellos en los que su cauce queda seco o el flujo de agua cesa de manera recurrente (Williams, 2006). Son muy comunes en muchas regiones del mundo, y se espera que debido al cambio climático y al uso del agua su frecuencia aumente en un futuro cercano (Larned et al., 2010). En Europa, siguiendo la Directiva Marco del Agua se ha de establecer el estado ecológico de las masas de agua. Esto supone todo un desafío en las masas de agua no permanentes (Nikolaidis et al., 2013) ya que la mayoría de índices y herramientas están principalmente desarrollados para ríos no temporales (Cid et al., 2016). En Europa, los ríos temporales son muy característicos de las cuencas mediterráneas. En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el 20% de las masas de agua superficiales de la categoría río son temporales. En muchas ocasiones esta temporalidad se debe a causas naturales pero en otras es debido a causas antrópicas, como la extracción de agua subterránea que produce la desconexión de ríos y acuíferos (CHJ, 2016).

La caracterización hidrológica en este tipo de ríos presenta una serie de peculiaridades respecto a los ríos permanentes, en primer lugar se dispone de pocos datos de aforo, y la mayoría de ellos se refieren únicamente a datos históricos. Por otro lado, la temporalidad del régimen hace necesaria la utilización de modelos que trabajen a escalas diarias e incluso horarias, ya que modelos a escala mensual, ampliamente utilizados por la Confederaciones Hidrográficas para ríos permanentes no permiten simular adecuadamente el régimen hidrológico de los ríos temporales, en la mayoría de los casos.

Por ello, el objeto principal de este estudio es la caracterización del régimen hidrológico natural en masas de agua no permanentes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS (GIMHA, 2017) a escala diaria.

Además el estudio incluye el uso e interpretación del software TREHS actualmente en desarrollo dentro del marco de un proyecto Life (TRivers), sobre ríos temporales, en el que participan la Universidad de Barcelona, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Agencia Catalana del Agua.

Este software permite, primeramente, una caracterización hidrológica de las masas de agua temporales basada en la ecología de los ríos (hidrotipos) y, a partir de esos resultados y de la comparación de datos referentes al régimen natural y

actual, determina el calendario de muestreo óptimo para la evaluación del estado de calidad del agua y el grado de alteración hidrológica respecto del régimen natural.

La estructura y composición de las comunidades biológicas en los ríos temporales están fuertemente condicionadas a las variaciones hidrológicas. Por lo tanto, las características estructurales y funcionales de la fauna acuática para evaluar la calidad ecológica de un río temporal no pueden ser utilizadas sin tener en cuenta las peculiaridades del régimen hidrológico (Gallart, F. et al., 2012)

Se han seleccionado para el presente estudio cuatro masas de agua con régimen no permanente de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en: el Barranco del Carraixet, la Rambla de la Viuda, el Río Cervol y la Rambla de Alcalá.

MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación se muestra un diagrama de flujo con las etapas seguidas para la obtención de resultados:

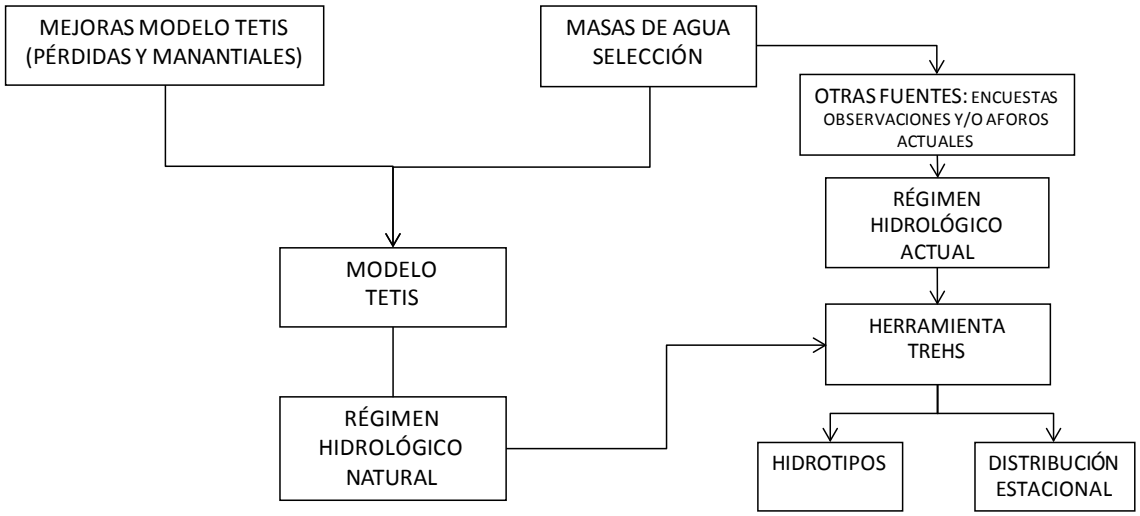

Figura 1 | Diagrama de flujo de los trabajos realizados

Seleccionadas las masas de agua de estudio y mediante una serie de mejoras introducidas en el modelo TETIS, se realiza la simulación de las masas de agua en dicho modelo obteniendo el régimen hidrológico natural.

Los resultados del modelo se introducen en TREHS, junto con información cualitativa sobre el régimen hidrológico actual procedente de encuestas y observaciones, lo que permite definir los hidrotipos parar el régimen temporal natural y actual. El software TREHS permitirá, con esta información obtener una propuesta de calendario de muestreo para la evaluación del estado de calidad de las masas y el grado de alteración hidrológica.

EL MODELO TETIS

TETIS es un modelo conceptual de simulación hidrológica distribuida con parámetros de base física y que ha sido desarrollado por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la UPV. El modelo considera los procesos físicos tales como la intercepción, infiltración, evapotranspiración, percolación, recarga del acuífero, escorrentía directa, interflujo y flujo base (Francés, F. et al., 2007). Además, también es capaz de reproducir los ciclos de sedimentos y N y la evolución a lo largo del tiempo de la biomasa vegetal.

Para el caso del ciclo del agua, TETIS necesita información proveniente de un modelo de elevación del terreno (MED), parámetros del suelo, de la cubierta vegetal, así como información sobre las series de precipitación, temperatura, evapotranspiración de referencia y aforos.

Información proveniente del modelo de elevación del terreno

Los modelos digitales del terreno en formato raster empleados en el desarrollo del estudio proceden del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), el tamaño de celda usado es de 100mx100m. El MED ha de ser corregido en las zonas de los cauces, realizando un hundimiento en estas zonas, esto se realiza antes de obtener los mapas derivados de este.

Para obtener los mapas derivados del MED se han usado Sistemas de Información Geográfica, ya que estos poseen algoritmos implementados que permiten obtener los mapas necesarios.

El primer mapa a obtener es el de direcciones de flujo, este será el que defina las direcciones de flujo que use Tetis, las cuales pueden ser N, NE, E, SE, S, SO, O y NO. Tetis lee las direcciones de flujo que usa ArcGIS, las cuales podemos ver en la tabla 1.

Tabla 1 | Direcciones de flujo.

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Numero leído	64	128	1	2	4	8	16	32

A partir del mapa de direcciones de flujo se obtiene el mapa de celdas drenantes acumuladas, el valor de cada celda en este mapa representa el número de celdas total que drenan a ella, y a partir de él podemos caracterizar que zonas de la cuenca representan zona de cauce.

También es necesario obtener el mapa de pendientes, que obtenemos a partir del MED, las unidades de este deben ser porcentaje.

Por último, a partir del mapa de pendientes obtenemos el mapa de velocidades de ladera, para ello se aplica la Ecuación (1).

$$v = 1.414 * \sqrt{S0} \qquad (1)$$

Donde v es la velocidad en m/s y S0 es la pendiente en %

Parámetros del suelo, cubierta vegetal y geomorfológicos

A partir del mapa litoestratigráfico y de permeabilidades de España, obtenemos los mapas de permeabilidad horizontal del acuífero, de permeabilidad vertical del acuífero y de velocidad de recarga del acuífero, que representan la percolación, el flujo base y las perdidas profundas respectivamente.

A partir de la base de datos de suelo europea (ESDB), obtenemos los mapas de conductividades hidráulicas horizontales y verticales del suelo, que representan el flujo subsuperficial (o interflujo) y la infiltración respectivamente.

A partir del mapa de los usos de suelo de Corine Land Cover obtenemos el mapa de intercepción, con una relación uso del suelo-intercepción, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2 | Relación uso del suelo-Intercepción.

Uso del suelo	Intercepción (mm)
Tejido urbano continuo	0
Tejido urbano discontinuo	3
Zonas industriales o comerciales	0
Tierras en labor de secano	1
Terrenos regados permanentemente	1
Frutales	1
Olivares	1
Mosaico de cultivos	1
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	5
Bosques de frondosas	9
Bosques de coníferas	9
Bosque mixto	9
Pastizales naturales	3
Matorrales esclerófilos	4
Matorral boscoso de transición	5
Espacios con vegetación escasa	0

Por último, se obtiene el mapa de almacenamiento estático, que incluye el almacenamiento capilar y el almacenamiento en charcos; para ello se usa la ecuación (2).

$$Hu + Alm.Sup. + AWC_TOP \times MIN(Prof.raices; ROO) \quad (2)$$

Donde Hu es el almacenamiento estático total (mm), Alm.Sup es el almacenamiento en charcos (mm), AWC_TOP es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m), Prof.raices es la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m) y ROO la profundidad del primer obstáculo significativo para el desarrollo de raíces (m).

AWC_TOP y ROO se obtienen de ESDB; Prof.raices se obtiene a partir de los usos de suelo con la relación mostrada en la tabla 3; y Alm.Sup es la suma del almacenamiento por pendiente y en charcos, obteniéndose el primero a partir de la ecuación (3) y el almacenamiento en charcos mediante una relación a partir de los usos del suelo, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3 | Relación uso del suelo-Profundidad de raíces.

Uso del suelo	Prof.raíces (m)
Tejido urbano continuo	0.06
Tejido urbano discontinuo	0.1
Zonas industriales o comerciales	0.06
Tierras en labor de secano	0.8
Terrenos regados permanentemente	0.5
Frutales	1.5
Olivares	1.45
Mosaico de cultivos	0.7

Uso del suelo	Prof.raíces (m)
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	0.75
Bosques de frondosas	1
Bosques de coníferas	1.25
Bosque mixto	1
Pastizales naturales	0.6
Matorrales esclerófilos	0.7
Matorral boscoso de transición	0.7
Espacios con vegetación escasa	0.02

$$Apendiente = 10 - 130 * i \quad \text{para } i > 0.075 \tag{3}$$

Donde i es la pendiente en % y Apendiente el almacenamiento en pendiente en mm.

Tabla 4 | Relación uso del suelo-Almacenamiento en charcos.

Uso del suelo	Alm. charcos (mm)
Tejido urbano continuo	0
Tejido urbano discontinuo	5
Zonas industriales o comerciales	6
Tierras en labor de secano	6
Terrenos regados permanentemente	6
Frutales	6
Olivares	6
Mosaico de cultivos	6
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	6
Bosques de frondosas	4
Bosques de coníferas	4
Bosque mixto	4
Pastizales naturales	6
Matorrales esclerófilos	6
Matorral boscoso de transición	5
Espacios con vegetación escasa	2
Zonas quemadas	0
Mares y océanos	0

Información sobre los eventos de precipitación, evapotranspiración, temperatura y aforos

Uno de los principales inconvenientes a la hora de modelar ríos no permanentes es la falta de estaciones de aforos y cuando éstas existen, las lagunas existen en los datos. Por ello ha sido necesario calibrar previamente el modelo TETIS en las masas de agua seleccionadas que disponen de estaciones de aforo (Rambla de la Viuda, Carraixet y Cervol), de manera que dichas calibraciones se puedan extrapolar para la modelación de ríos temporales que carecen de estaciones de aforo. También debe considerarse que, en la mayoría de los ríos no permanentes de la Demarcación que disponen de estación de aforo, se trata de series hidrológicas muy antiguas que remontan normalmente a los años 1912 y 1930. Para poder calibrar el modelo TETIS en estas masas (Cervol) ha sido necesario solicitar a AEMET datos diarios de pluviómetros históricos.

Para la calibración del modelo TETIS en masas con series hidrológicas aforadas más recientes (Carraixet y Rambla de la Viuda), se han utilizado datos meteorológicos interpolados del proyecto Spain02 elaborados por AEMET y el Grupo de Meteorología de la Univ. de Cantabria (UNICAN), que recogen precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias sobre una malla regular de alta resolución en su versión 4 (0.11ºx0.11º).

La evapotranspiración potencial se calcula a partir de la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1982), mediante la ecuación (4).

$$ET0 = 0.0135 * (\bar{t} + 17.78) * Rs \qquad (4)$$

Donde $ET0$ es la evapotranspiración potencial, $\bar{t}$ es la temperatura media en °C y Rs es la radiación solar incidente en mm/día.

La radiación solar incidente se calcula a partir de la radiación extraterrestre (obtenida del documento de la FAO56). Donde $ET0$ es la evapotranspiración potencial, $\bar{t}$ es la temperatura media en °C y Rs es la radiación solar incidente en mm/día. Con la ecuación propuesta en Hargreaves y Samani (1982) mostrada en la ecuación (5).

$$Rs = R0 * Kt * \sqrt{(tmax - tmin)} \qquad (5)$$

Donde R0 es la radiación solar extraterrestre en mm/día, KT es un coeficiente empírico adimensional. Hargreaves recomienda usar valores de KT=0.162 para el interior y de 0.19 para las zonas costeras (Samani, Z., 2000).

Modificaciones introducidas en el modelo

Para poder modelizar convenientemente los ríos intermitentes mediterráneos, se ha introducido una modificación en el modelo TETIS que incorpora las pérdidas por transmisión en cauce, ya que sin estas modificaciones el modelo sí lograba representar los caudales punta en las avenidas, pero no era capaz de ajustarse a la curva de persistencia, ya que no era capaz de representar los días de caudal nulo.

Las pérdidas fueron estimadas en otro estudio realizado en Rambla de la Viuda entre las dos estaciones de aforo presentes, el estudio realizado por Montalvo Israel, obtuvo unas perdidas medias de $8.71 \cdot 10^{-4}$ l/s por cada m^2 de cauce. Estas pérdidas han sido usadas en el resto de ríos estudiados.

Otra modificación ha sido la incorporación de las zonas kársticas y de los manantiales al modelo, con lo que se consigue representar la variabilidad espacial de estos ríos, ya que sin ella el comportamiento del rio era similar en toda su extensión.

Los manantiales han sido obtenidos de un inventario de la guardería fluvial de la demarcación hidrográfica del Júcar, y las zonas Karsticas del mapa de zonas Karsticas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Calibración del modelo

La calibración ha sido realizada de forma automática con Tetis; para la calibración el modelo presenta una estructura separada de sus parámetros efectivos, consiguiendo que el valor efectivo de un parámetro en una celda sea el resultado de la multiplicación del valor del mapa correspondiente por un factor corrector, común para todas las celdas, y diferente para cada parámetro (Francés, F. et al., 2007).

Los factores correctores que usa el modelo se presentan en la tabla 5.

Tabla 5 | Factores correctores.

Factor corrector	Parámetro al que afecta
FC1	Almacenamiento estático
FC2	Evapotranspiración
FC3	Infiltración
FC4	Escorrentía directa
FC5	Percolación
FC6	Interflujo
FC7	Perdidas subterráneas
FC8	Flujo Base

Para la implementación del modelo hidrológico TETIS en la Rambla de Alcalá ha sido necesario extrapolar la calibración obtenida de los otros ríos modelados. Al no tener datos de caudal no se puede realizar una validación usual del modelo. En este caso, el modelo puede ser validado utilizando TREHS, como se verá más adelante.

SOFTWARE TREHS

TREHS (Temporary Rivers' Ecological and Hydrological Status) es un software que permite la entrada de información de simulaciones de flujo obtenidas con cualquier modelo de lluvia-escorrentía (para establecer el régimen hidrológico no impactado o natural) y lo compara con la información obtenida de aforos con información hidrológica actual (si está disponible) junto con entrevistas realizadas a la población local y/o agentes medioambientales de la zona, observaciones instantáneas e interpretación de fotografías aéreas.

Se definen la permanencia del flujo, la presencia de pozas y sus patrones temporales de ocurrencia para determinar los regímenes naturales y observados de los ríos en función de su comportamiento ecológico (hidrotipos) y para evaluar el grado de alteración hidrológica. Desarrolla una nueva clasificación de régimen diseñada específicamente para ríos temporales utilizando las métricas que miden la permanencia relativa de las tres fases principales: flujo, pozas desconectadas y lecho seco. Finalmente, el software caracteriza las diferencias entre los regímenes naturales y reales, diagnostica el estado hidrológico (grado de alteración hidrológica) y recomienda los mejores períodos para muestreos de calidad biológica.

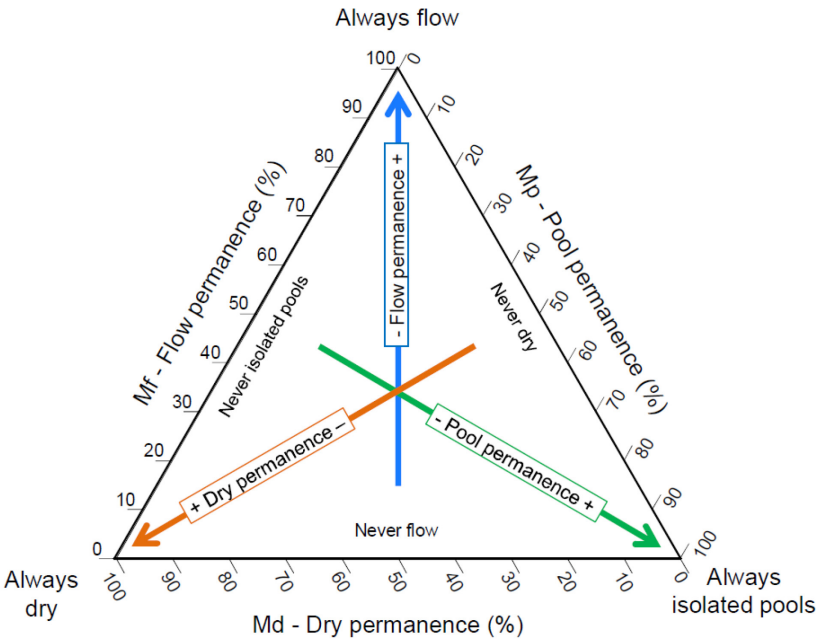

Figura 2 | Gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco. Permanencia del flujo (Mf), Permanencia de pozas (Mp) y permanencia del río seco (Md),

En el gráfico anterior las flechas muestran la progresión de cada una de las tres métricas, mientras que los ejes muestran los valores de cada uno de ellos. El punto central representa un río que sufre las tres fases acuáticas con la misma frecuencia.

Una vez obtenidas y validadas las series hidrológicas del régimen natural mediante el modelo TETIS, se introduce esta información dentro de la aplicación TREHS junto con las encuestas y observaciones directas.

Las encuestas han sido rellenadas por el personal de la guardería fluvial de la demarcación hidrográfica del Júcar, y las observaciones puntuales han sido obtenidas de ortofotos del PNOA, Google Maps, Google Maps – Streetview y Google Earth.

A partir de los datos introducidos, TREHS obtiene el gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco para todos los datos introducidos (modelo, aforos, encuestas, observaciones, fotografía aérea, etc), definiendo los hidrotipos correspondientes, el grado de alteración hidrológica y el calendario de muestreo recomendado.

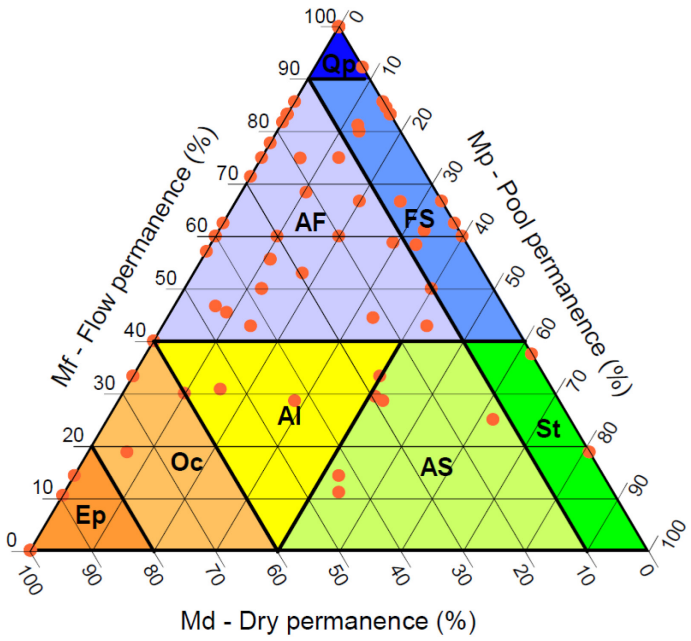

Figura 3 | Definición de hidrotipos en el gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco.

Tabla 6 | Clasificación de hidrotipos

Clase	Permanencia flujo (Mf)	Permanencia pozas (Mp)	Permanencia seco (Md)
Perennial (Pe)	0.99<Mf≤1.00	0.00≤Mp<0.01	0.00≤Md<0.01
Quasi-perennial (Qp)	0.90<Mf≤0.99	0.00≤Mp≤0.10	0.00≤Md≤0.10
Stagnant-Fluent (FS)	0.40<Mf≤0.90	0.00≤Mp<0.60	0.00≤Md<0.10
Alternate-Fluent (AF)	0.40<Mf≤0.90	0.00≤Mp<0.50	0.10≤Md<0.60
Stagnant (St)	0.00<Mf≤0.40	0.50≤Mp<1.00	0.00≤Md<0.10
Alternate-Stagnant (AS)	0.00<Mf≤0.40	0.40≤Mp<0.90	0.10≤Md<0.60
Alternate (Al)	0.00<Mf≤0.40	0.00≤Mp<0.40	0.20≤Md<0.60
Occasional (Oc)	0.00<Mf≤0.40	0.00≤Mp<0.40	0.60≤Md<0.80
Episodic (Ep)	0.00<Mf≤0.20	0.00≤Mp<0.20	0.80≤Md<1.00

RESULTADOS

Resultados del modelo Tetis

El objetivo de este estudio no es la representación de los picos en los caudales de los ríos, sino que se trata de la caracterización de las masas de agua, por ello una buena forma de comprobar la validez del modelo, es a través de la curva de permanencia, prestando especial atención al porcentaje de días sin caudal ya que se trata de ríos no permanentes.

Se presenta como ejemplo los trabajos de simulación realizados en el barranco del Carraixet, que dispone de una estación de aforo (0O01DQG2MVVR, Carraixet-Bétera) con datos correspondientes a la serie 1991-2016. Se ha comprobado que los datos aforados corresponden con un régimen natural, dado que no existe regulación aguas arriba.

En la figura 1 se puede comparar la curva de permanencia del barranco del Carraixet obtenida con los caudales medidos en la estación de aforo con los resultados del modelo Tetis antes de introducir las mejoras, se observa como el modelo se ajusta de forma adecuada en los caudales más altos, sin embargo en los caudales menores a 1 m^3/s se observa como el modelo no se ajusta a la realidad, representando un río con una permanencia en los caudales muy superior a la realidad que refleja la estación de aforo, obteniéndose con los datos de aforo una permanencia en los caudales diarios en torno al 1%, y dando el modelo una permanencia mayor del 25%.

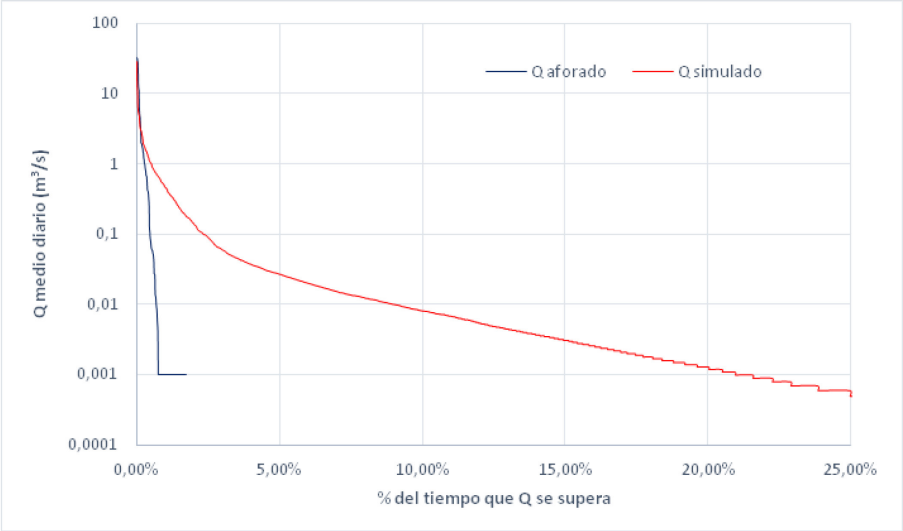

Figura 4 | Curva de permanencia en el barranco del Carraixet antes de las mejoras en TETIS.

Tras la introducción en el modelo de los manantiales, las zonas kársticas y las perdidas por transmisión en cauce, y su posterior calibración, se consigue que el modelo represente de una forma adecuada el comportamiento del río, obteniéndose una permanencia del 0.8 %, muy cercana al 1% obtenido con los datos del aforo. Esta comparación se puede observar en la figura 5, donde se aprecia como en este caso la curva de permanencia obtenida con los datos de Tetis sigue la tendencia de la curva de permanencia obtenida con los datos de aforo, pero quedando la curva obtenida con el modelo por debajo.

Con estos resultados obtenidos en el barranco del Carraixet, se puede concluir que las modificaciones introducidas en el modelo (perdidas por transmisión en cauce, zonas kársticas y manantiales) suponen una importante mejora a la hora de representar el comportamiento del río, y de definir correctamente el régimen hidrológico natural.

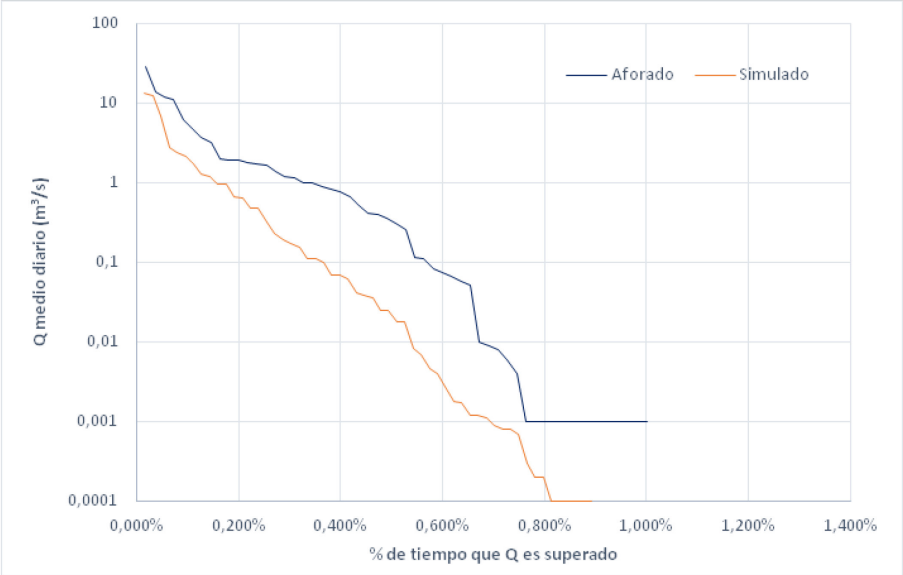

Figura 5 | Curva de permanencia en el barranco del Carraixet después de las mejoras en TETIS

Como se puede observar al comparar ambas gráficas, las modificaciones introducidas han supuesto una mejora muy importante en los resultados obtenidos, consiguiendo representar de manera adecuada los días con caudal nulo.

A continuación se muestra la serie de caudales diarios del modelo modificado y de los datos de aforo.

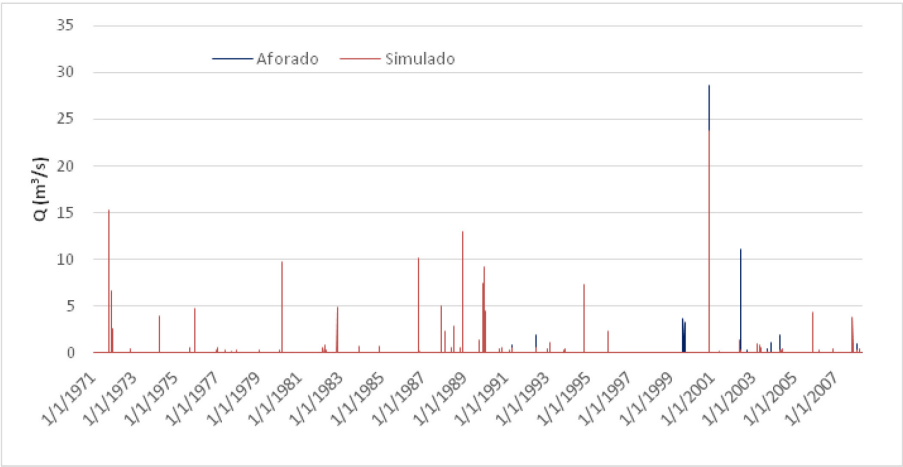

Figura 6 | Caudales diarios del modelo TETIS modificado y de la estación de aforo Bétera. Serie 1971/2007

Estos trabajos se han realizado en otras tres masas de agua, obteniendo resultados similares. Para la calibración del modelo en la Rambla de Alcalá, al no disponer de estación de aforo, se han utilizado los factores correctores obtenidos en el modelo del barranco del Carraixet, ya que se considera que tiene un comportamiento similar.

A la hora de validar los resultados, no se puede comparar el modelo con un aforo, ya que no se dispone de ninguno, por ello, una forma de evaluar el modelo es la comparación de los resultados obtenidos a partir de este con datos no convencionales como son las encuestas. Según las encuestas realizadas por la guardería fluvial, la permanencia en esta masa de agua está alrededor del 8%.

Para poder comparar esta información con la del modelo se considera adecuado despreciar caudales inferiores a 0.001 m^3/s, no perceptibles en la observación a través de encuestas. Con estas consideraciones, la permanencia del flujo en la masa de

agua según nuestro modelo es del 12%. Por lo que el modelo parece representar de una forma adecuada la realidad según los datos de encuesta. En la figura 7 se observa la curva de permanencia en esta masa de agua.

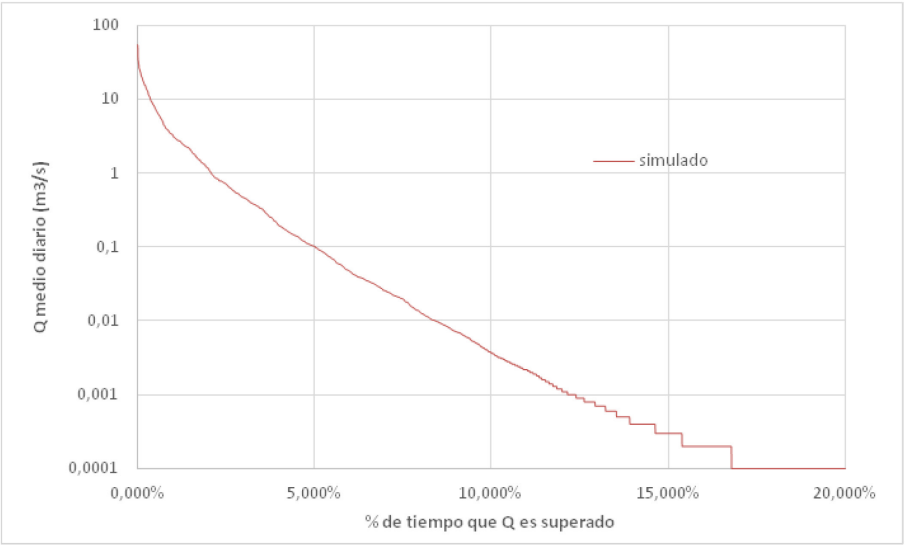

Figura 7 | Curva de permanencia después de las mejoras en la Rambla de Alcalá

En el caso del río Cervol, únicamente se dispone de datos de aforo históricos del 1912 al 1930. Para la calibración del modelo en este rio, se han usado junto con los datos de aforos, datos de precipitaciones históricas en estaciones meteorológicas representativas. En este caso se ha seleccionado un periodo para la calibración representativo, descartando posibles datos anómalos, en los que los coeficientes de escorrentía obtenidos al comparar la precipitación con el aforo resultan muy elevados, por encima de 0.8.

La Rambla de la Viuda si dispone de aforos actuales, por lo que el proceso de calibración y validación se ha realizado de forma análoga al barranco del Carraixet.

Resultados del software TREHS

Una vez obtenidos los resultados del régimen hidrológico natural con el modelo Tetis modificado, se introducen éstos dentro del software TREHS, junto con los datos de aforos, encuestas y observaciones directas.

En la figura se observan los resultados finales obtenidos en el barranco del Carraixet con la aplicación TREHS, definiendo el hidrotipo según el modelo, aforo y encuestas respectivamente.

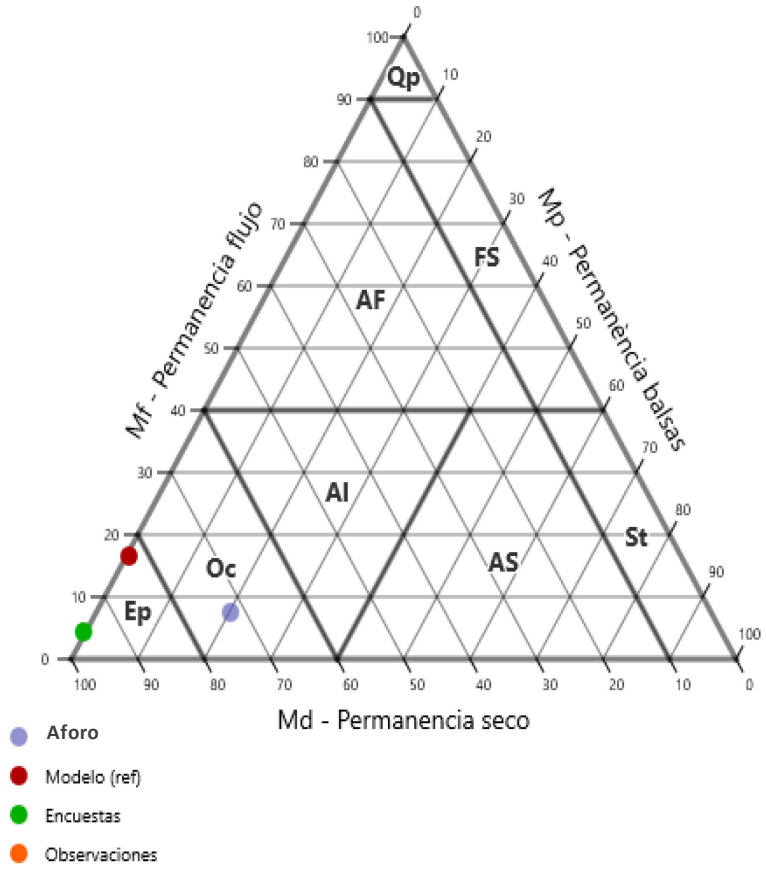

Figura 8 | Definición de hidrotipos en el barranco del Carraixet.

Con estos resultados podemos comprobar cómo el punto rojo que representa al modelo Tetis modificado, está cercano al punto azul que representa el aforo, siendo el hidrotipo según el conjunto de datos proporcionados entre ocasional y efímero.

Dada la baja permanencia del flujo y/o pozas en la masa de agua de estudio, en el barranco del Carraixet, no es posible establecer un calendario de muestreo de la calidad del agua, siendo necesario en estos casos evaluar su estado a partir de indicadores hidrogeomorfológicos.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En cuanto al modelo Tetis, se puede decir que tras la introducción en el modelo de las perdidas por transmisión en cauce, las zonas kársticas y los manantiales, se ha conseguido representar de una forma adecuada el comportamiento de las masas de agua no permanentes, ajustándose en términos de duración de caudales y permanencia de una forma adecuada a la realidad, a pesar de esto, al comparar las curvas de permanencia obtenidas con los resultados del modelo, con las obtenidas a partir de los datos de aforo, se podría decir que el modelo tiende a infravalorar el valor de los caudales más bajos de las estaciones de aforo, quedando la curva obtenida con el modelo por debajo de la obtenida con el aforo, esto puede ser debido a que las pérdidas introducidas en los modelos son constantes, es decir, no varían según el caudal circulante, por ello una vía de investigación futura podría consistir en tratar de introducir en el modelo Tetis perdidas variables según el caudal.

Si nos fijamos en la extrapolación realizada a las masas de agua sin estaciones de aforo, el resultado obtenido en la Rambla de Alcalá puede considerarse bueno, pero ha de tenerse en cuenta que la validación ha sido llevada a cabo a partir de encuestas; otra forma de validar los modelos en masas de agua sin aforo es a partir de observaciones puntuales, pudiendo obtenerse entre otros métodos, por imágenes de satélite o por visitas a campo periódicas. Este método requiere conocer el

comportamiento de la masa de agua a modelar, ya que es necesario calibrar a partir de otra masa de agua cuyo comportamiento sea similar, y aplicar factores correctores en su caso.

En cuanto a la aplicación TREHS, se podría concluir que los datos obtenidos con el modelo Tetis modificado son comparables a los resultados obtenidos mediante datos de aforo, siendo algo más restrictivo el modelo. Lo que permite la aplicación del modelo a ríos temporales para la definición de los hidrotipos asociados al régimen natural.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha estado financiada por el proyecto de Plan Nacional TETISMED (CGL2014-58127-C3-3-R). También agradecer a la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET), Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria (UNICAN) y al proyecto Life TRivers por el apoyo en el desarrollo de los trabajos.

REFERENCIAS

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225–230.

Samani, Z., 2000. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265–267.

Williams, D.D., 2006. The Biology of Temporary Waters. Oxford University Press, New York.

Francés, F., Vélez, J.I.,Vélez, J.J. 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1-2), 226–240.

Larned, S.T., Datry, T., Arscott, D.B., Tockner, K., 2010. Emerging concepts in temporaryriver ecology. *Freshw. Biol.* 55, 717–738.

Gallart, F., Prat, N., García-Roger, E.M., Latron, J., Rieradevall, M., Llorens, P., et al., 2012. A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 3165–3182.

Nikolaidis, N.P., Demetropoulou, L., Froebrich, J., Jacobs, C., Gallart, F., Prat, N., et al., 2013. Towards sustainable management of Mediterranean river basins: policy recommendations on management aspects of temporary streams. *Water Policy,* 15, 830–849.

CHJ, 2016. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. http:www.chj.es

GIMHA 2017. *Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS*. Universitat Politècnica de València.