

# Modelización hidrológica de las cuencas de los ríos Múrtigas y Caliente (Huelva, España). Calidad de los datos de aforos.

*Hydrological modeling of the rivers Múrtigas and Caliente catchments (Huelva, Spain). Stream-gauge data quality.*

Laura Galván y Manuel Olías

Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Campus 'El Carmen'. Avda. 3 de Marzo s/n. 21071 Huelva.  
laura.galvan@dgyp.uhu.es

## ABSTRACT

*Hydrological modeling of the Odiel River by means of the SWAT program (Soil and Water Assessment Tool) revealed a need for stream-gauge stations in the northern part of the basin. This is because materials with different hydrological behaviour from those of the rest of the basin outcrop in this area. For that reason this work develops a model of the Múrtigas and Caliente River catchments located adjacent to the north of Odiel basin and with similar hydrological characteristics. The monthly values of the NSE (Nash and Sutcliffe Efficiency) obtained for the validation period are -0.73 for the Múrtigas River and 0.73 for the Caliente River. The reason for these low values is that the data from stream-flow measurements are often inaccurate. The data quality is especially poor in the Múrtigas River stream-gauge station, which is currently the only in operation. Due to the necessity of accurate data for the calibration of the hydrological models, and the fact that the data quality obtained from the stream-flow measurements in the Múrtigas and Caliente river stations is very low, it is not possible to calibrate properly the model. It is, therefore, argued that the reliability of stream-gauge stations in this area must be improved.*

**Key words:** Hydrological modeling, SWAT, Múrtigas river, Caliente river, flow data quality.

Geogaceta, 48 (2010), 123-126  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010  
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010  
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

## Introducción y objetivos

La red fluvial del río Odiel, situada en la provincia de Huelva, está intensamente contaminada por drenaje ácido de minas. Para evaluar la carga contaminante transportada por los afluentes de este río, es necesario disponer de datos de calidad del agua y contar con series de caudal continuas espacial y temporalmente. Debido a la escasez de estaciones de aforo, para generar datos de caudales se ha aplicado el modelo hidrológico SWAT en la cuenca del río Odiel (Galván *et al.*, 2008). Para la calibración de este modelo se utilizaron los dos únicos puntos con datos de aforos disponibles, ambos puntos situados en la parte sur de la cuenca (existe otra estación de aforos –Sotiel–, en la parte central de la cuenca, sin embargo sus datos se desecharon por ser de muy mala calidad). Aunque se obtuvieron buenos resultados (valores de NSE por encima del 0.75; Moriassi *et al.*, 2007), se puso de manifiesto la conveniencia de tener algún punto para calibrar el modelo en la parte norte de la cuenca, ya que en esta zona afloran materiales carbonatados con un comportamiento hidrogeológico diferen-

te al resto. Existen estaciones de aforos en las cuencas de los ríos Múrtigas y Caliente, que lindan con la cuenca del río Odiel y tienen características similares a la parte norte de ésta última.

El objetivo de este trabajo es aplicar el modelo SWAT a las cuencas de los ríos Múrtigas y Caliente para obtener los parámetros relativos a las aguas subterráneas y, por otro lado, evaluar la calidad de los datos de aforos de las estaciones disponibles.

## Metodología

El programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool; Neitsch *et al.*, 2002) permite trazar las redes de drenaje y las subcuencas a partir del Modelo Digital de Elevaciones y calcula el balance diario de agua a partir de datos meteorológicos, relieve, tipos de suelos y usos del suelo.

El modelo está constituido por una serie de submódulos que se emplean para simular diferentes procesos hidrológicos. El programa se basa en la ecuación general de balance hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

donde  $SW_t$  es el contenido final de agua en el suelo,  $SW_0$  es el contenido inicial de agua en el suelo,  $t$  el tiempo,  $R_{day}$  la precipitación,  $Q_{surf}$  la escorrentía superficial,  $E_a$  la evapotranspiración,  $W_{seep}$  es la cantidad de agua acumulada en la zona saturada y  $Q_{gw}$  la cantidad de agua que retorna hacia los ríos como flujo base (Neitsch *et al.*, 2002).

Para calibrar y validar el modelo se cuenta con dos estaciones de aforos pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Una localizada en el río Múrtigas (Fig. 1) en la que se han utilizado los datos desde 1980 a 2006 (aunque existe un largo periodo sin datos entre 1995 y 2000). La otra situada sobre el río Caliente (Fig. 1), sólo dispone de datos hasta 1987 (se utiliza el periodo 1980-87). Existe otra estación de aforos después de la unión de ambos ríos que dejó de funcionar en 1956. Los datos de aforos están publicados en la página web del CEDEX (<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos>).

La bondad de ajuste de los datos medidos y calculados por el modelo se analizará visualmente (gráficos de evolución de caudales simulados y observados) y a

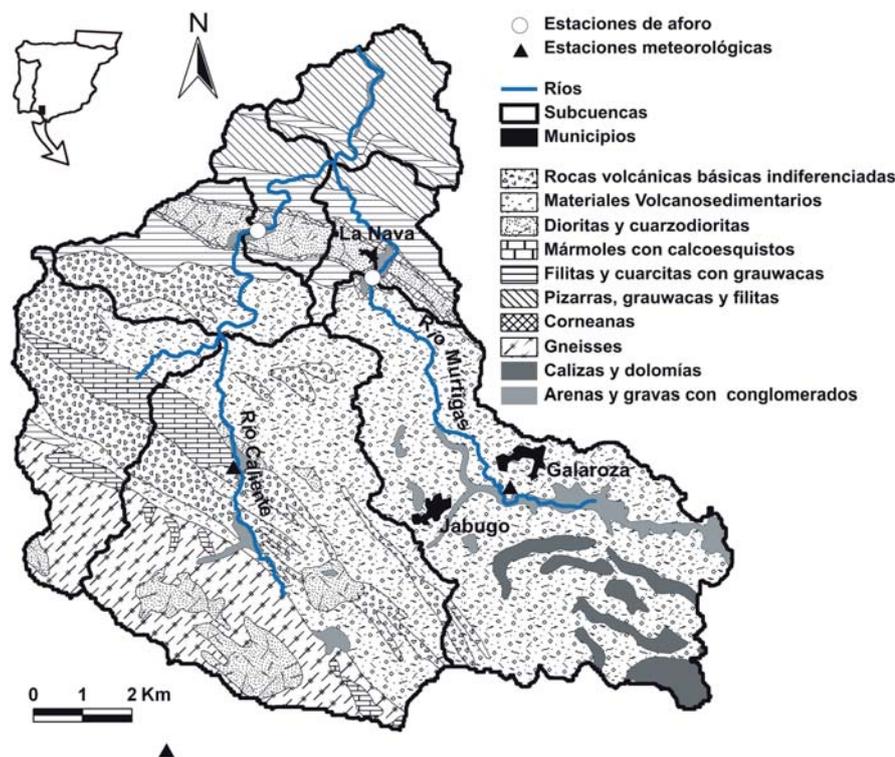


Fig. 1.- Mapa litológico de la cuenca.

Fig. 1.- Lithologic map.

partir de los estadísticos: coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), parámetro de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE; Nash y Sutcliffe, 1970), error cuadrático medio (RMS; Hogue *et al.*, 2006) y la desviación de volúmenes de escorrentía (DV; Boyle *et al.*, 2006).

**Área de estudio**

Hasta las estaciones de aforos consideradas, la subcuenca del río Múrtigas tiene una superficie de 35.2 km<sup>2</sup>, mientras que la del río Caliente es de 63.8 km<sup>2</sup>. A efectos de la modelización, se consideran 7 subcuencas en la zona (Fig. 1).

En cuanto a los datos de entrada al programa, la topografía se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno de la Junta de Andalucía. Para el río Caliente la cota máxima alcanza los 912 m de altitud, siendo la altitud media de 549 m. En el río Múrtigas la cota máxima es de 957 m y la altitud media de 649 m.

Respecto a los datos meteorológicos, se dispone de 3 estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología, dos situadas en el interior de la cuenca y otra próxima a su límite sur (Fig.1). Los datos diarios (precipitaciones y temperaturas) desde 1980 a 2006 se han comprobado y completado por medios estadísticos. La precipitación media anual de la zona es de 922 mm y la temperatura media de 16 °C. La

ETP se calcula mediante el método de Hargreaves (Neitsch *et al.*, 2002).

Como se puede observar en el mapa litológico (Fig. 1), los materiales que drenan la subcuenca del río Caliente son en su mayor parte volcanosedimentarios, rocas básicas volcánicas, gneisses y afloramientos de arenas y gravas con inclusiones de conglomerados. Por otro lado, en la subcuenca del río Múrtigas los materiales predominantes son los volcanosedimentarios, aunque existen afloramientos de calizas y dolomías, arenas y gravas.

La información sobre los suelos ha sido obtenida de un estudio edafológico de la zona (Fernández de Villarán, comunicación personal). Para cada tipo de suelo se ha determinado: profundidad del perfil, textura, porcentaje de materia orgánica, conductividad hidráulica saturada a 50 y 100 cm de profundidad, densidad aparente, grupo hidrológico del número de curva y capacidad de agua disponible.

Para los usos del suelo se ha partido de la información facilitada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, procedente de la fotointerpretación de un vuelo realizado en 1999. Los usos mayoritarios son el terreno forestal (43% de la superficie de la cuenca), zona agrícola (23%) y pastizal (15%).

**Resultados y discusión**

Para el río Múrtigas se ha utilizado para la calibración el periodo de 1980 a 1993 y se han reservado para la validación los datos de 1994 a 2005. En el río Caliente se utilizará para la calibración el periodo 1980 a 1984 y para la validación de 1985 a 1987.

Tras la primera simulación, con los parámetros de aguas subterráneas que tiene el modelo por defecto, se puso de manifiesto la escasa relación entre datos simulados y observados y la necesidad de calibración del modelo. El parámetro  $\alpha_{bf}$  (equivalente al coeficiente de agotamiento) puede variar entre 0 (para acuíferos con una respuesta muy rápida frente a la precipitación) y 1 (para acuíferos con mucha inercia). Tanto para el río Múrtigas como el Caliente se usa un valor de 0.2, ya que en la zona existen algunos pequeños afloramientos de materiales permeables (Fig. 1).

Mediante el modelo se obtiene una aportación anual media de 14.2 hm<sup>3</sup> para el río Múrtigas. En este río Martos-Rosillo *et al.* (2006) estiman 18 hm<sup>3</sup> de aportación mediante el método de Temez para el periodo 1958 a 1994. La aportación media obtenida en el río Caliente es de 21.2 hm<sup>3</sup>/año. Estos valores suponen unos caudales específicos de 12.8 y 10.6 L/s.km<sup>2</sup> para los ríos Múrtigas y Caliente, respectivamente. Hay que tener en cuenta que los valores obtenidos para el río Múrtigas y Caliente no corresponden al mismo periodo.

	Múrtigas 1980/93	Caliente 1980/84
$r$	0.82	0.71
NSE	0.67	0.46
RMS (m <sup>3</sup> /s)	11.97	17.86
DV	0.96	1.02

Tabla I.- Índices estadísticos mensuales para el periodo de calibración.

Table I.- Monthly statistical indexes for the calibration period.

En la tabla I y figuras 2 y 3 se comprueba que el ajuste obtenido para el periodo de calibración se puede considerar bueno para el río Múrtigas (NSE de 0.67; Moriaisi *et al.*, 2007), mientras que son insatisfactorios para el Caliente (NSE de 0.46). La desviación de los volúmenes de escorrentía (DV) es próxima a 1 en ambos casos, lo que refleja la semejanza entre las aportaciones totales simuladas y observadas. En el río Caliente los peores resultados de coeficiente de correlación y NSE parecen deberse a que las curvas de ago-

tamiento no se han conseguido reproducir con los parámetros de aguas subterráneas introducidos en el modelo.

No obstante, en ambos casos se observa que los datos de aforos presentan muy mala calidad, repitiéndose los mismos valores continuamente en el tiempo y con saltos discontinuos de caudales dando un aspecto de ‘escalones y mesetas’ en los hidrogramas a nivel diario (Figs. 2 y 3).

	Múrtigas 1994/05	Caliente 1985/87
r	0.60	0.92
NSE	-0.73	0.73
RMS (m <sup>3</sup> /s)	122.06	12.48
DV	0.13	0.85

Tabla II.- Índices estadísticos mensuales para el periodo de validación.

Table II.- Monthly statistical indexes for the validation period.

En cuanto a la validación del modelo (Tabla II y Figs. 4 y 5), para el Caliente los resultados son buenos según Moriasi *et al.* (2007). Se comprueba un buen ajuste en la evolución mensual de las aportaciones simuladas y observadas (Fig. 5).

Por el contrario, para la validación, los índices estadísticos del Múrtigas exhiben un ajuste muy deficiente. Destaca en este caso una desviación de los volúmenes de escorrentía de 0.13, es decir, las aportaciones observadas son casi 10 veces superiores a las simuladas. En la estación de aforos del río Múrtigas existe un importante periodo sin datos entre 1995 y 2000, no obstante, eso no justifica las diferencias observadas pues los periodos sin datos de caudal no se tienen en cuenta para el cálculo de los índices estadísticos. El problema radica en que a partir del año 2000 los caudales aforados son muy superiores a los anteriores (Fig. 4), aparentemente sin ningún tipo de justificación. Es decir, los datos de aforos del río Múrtigas a partir del año 2000 (y hasta la actualidad) son posiblemente erróneos.

**Conclusiones**

Los datos de aforos en las cuencas de los ríos Múrtigas y Caliente tienen muy mala calidad y presentan numerosos periodos sin datos, complicando la labor de calibración y validación del modelo SWAT. En la zona existen tres estaciones de aforo pero una se abandonó en 1956. De las dos restantes, la del Caliente presenta una mejor calidad de la información, pero también dejó de funcionar en

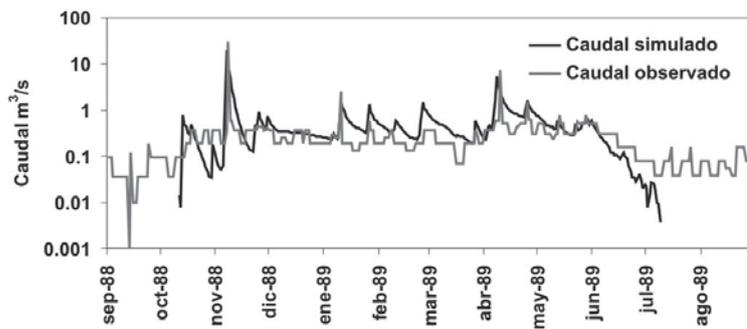


Fig. 2.- Ejemplo de evolución diaria entre caudales simulados y observados para el río Múrtigas.

Fig. 2.- Example of daily evolution of simulated and observed stream flow for Múrtigas river.

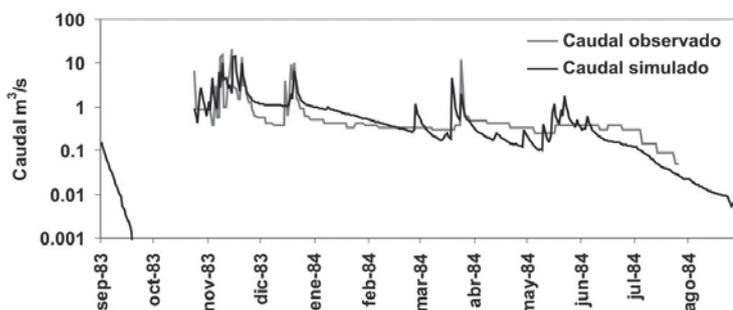


Fig. 3.- Ejemplo de evolución diaria entre caudales simulados y observados para el río Caliente.

Fig. 3.- Example of daily evolution of simulated and observed stream flow for Caliente river.

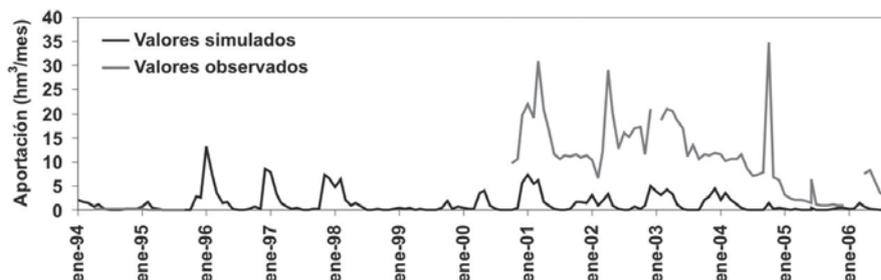


Fig. 4.- Evolución de las aportaciones mensuales simuladas y observadas en el río Múrtigas durante el periodo de validación.

Fig. 4.- Monthly evolution of simulated and observed contributions of the Múrtigas river for the validation period.

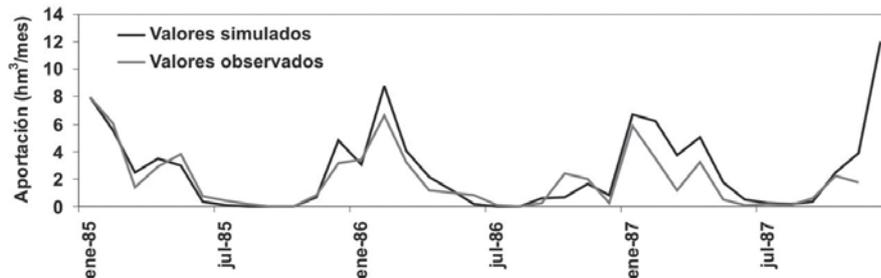


Fig. 5.- Evolución de las aportaciones mensuales simuladas y observadas en el río Caliente durante el periodo de validación.

Fig. 5.- Monthly evolution of simulated and observed contributions of the Caliente river for the validation period.

1987. No obstante, los datos diarios de esta estación también muestran una falta de precisión en las medidas de la estación de aforos, que es enmascarada cuando se representan los datos mensualmente.

Por último, los datos de la estación de aforos del río Múrtigas presentan una calidad muy deficiente, sobre todo a partir del año 2000, donde los caudales aforados son muy superiores a los calculados.

Otra dificultad adicional en la calibración puede provenir de aportes subterráneos procedentes del exterior de la cuenca (Martos-Rosillo *et al.*, 2006). No obstante, mediante el modelo se consiguen reproducir los recursos anuales, lo que implicaría que los recursos subterráneos 'externos' no tienen una gran importancia en estas cuencas.

En teoría, los datos de aforos sirven para calibrar el modelo. En la práctica el modelo parece mucho más fiable que los datos experimentales de aforo, sería conveniente analizar en detalle el funcionamiento actual de estas estaciones. Por último se pone de manifiesto la convenien-

cia de disponer en esta zona de estaciones de aforos que aporten datos fiables y tengan un funcionamiento a largo plazo.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al convenio entre la Universidad de Huelva y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía «Caracterización de la contaminación minera, y modelización hidrológica de la cuenca del río Odiel» y una beca del Programa de Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Educación y Ciencia (FPU). Asimismo se agradece al Dr. Fernández de Villarán la información edafológica de la zona.

Este manuscrito ha sido notablemente mejorado gracias a los comentarios y sugerencias del Dr. Juan Gisbert y un revisor anónimo.

#### Referencias

Boyle, D.P., Gupta, H.V. y Sorooshian, S. (2000). *Water Resources*

*Research*, 36, 3663–3674.

Galván, L., Olias, M., Fernández de Villarán, R. y Domingo, J.M. (2008). *Geo-Temas*, 10, 845-848.

Hogue, T.S., Gupta, H.V., Sorooshian, S. (2006). *Journal of Hydrology*, 320, 202–217.

Martos-Rosillo, S., Moral, F., Rodríguez, M., y Ocaña, A. (2006). En: *Karst, cambio climático y aguas subterráneas*, (J.J. Durán, B. Andreo y F. Carrasco, Eds.), 91-99.

Moriassi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. y Veith, T.L. (2007). *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, 885–900.

Nash, J.E. y Sutcliffe, J.V. (1970). *Journal of Hydrology*, 10, 282–290.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., y King, K.W. (2002). *Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation*. Texas Water Resources Institute Report TR-191, 458 p