

1. Introducción

El cambio climático y la variación de los usos del suelo como consecuencia de la actividad antrópica son factores de gran importancia tanto en la degradación de un ecosistema como en la disponibilidad de recursos hídricos de una cuenca. Conocer cómo afectan estas actividades sobre la cantidad de recursos hídricos de cuencas como la cuenca del río Argos, afluente del río Segura, que están sometidas a un gran estrés hídrico (Senent-Aparicio et al., 2016) es de vital importancia.

El crecimiento anual de la población provoca diversos efectos sobre las bases de recursos como la deforestación, la expansión de la zona residencial, y las tierras agrícolas. La deforestación es una actividad del día a día de las personas que viven en la cuenca. La cuenca también se enfrenta a una gran erosión por los efectos de las intensas lluvias de la cuenca que agrava el cambio de cobertura del suelo de la cuenca. Este cambio continuo en la ocupación del suelo afecta al balance hídrico de la cuenca modificando la magnitud y el patrón de los componentes del ciclo hidrológico. Los cambios en los usos del suelo son causados por una serie de fuerzas naturales y humanas (Meyer & Turner, 1994). Los efectos naturales son tales como los cambios climáticos, mientras que los efectos humanos son inmediatos y con frecuencia directa. Otro factor importante es el crecimiento demográfico. En las últimas décadas se han producido, tanto a nivel nacional como regional, notables cambios en los usos del suelo. Una de las principales causas de estos cambios, en época reciente, es el notable aumento de las superficies artificiales (suelo urbanizado). No obstante, también hay que mencionar, el incremento de la superficie de cultivo dedicada al regadío (aumento de la productividad), o el abandono de tierras marginales de escasa productividad.

En la actualidad, se emplean modelos hidrológicos para el estudio de la distribución de los recursos hídricos (Surur, 2010). En este trabajo se ha utilizado el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para el estudio de la variabilidad climática y del cambio de los usos del suelo.

2. Metodología

2.1 Descripción del área de estudio

La cuenca del río Argos (Fig.1) está localizada en la zona central de la Cuenca del río Segura y en el noroeste de la Región de Murcia con orientación 38°15'00"N 1°41'00"O. La cuenca de río Argos, tienen una extensión de 452,12 Km². El río Argos es su principal cauce. El río Argos nace en el término municipal de Caravaca de la Cruz. En esta cuenca se encuentra el Embalse del Argos, construido con presa de materiales sueltos y núcleo de arcilla.

El clima de la cuenca del río Argos se caracteriza por tener las características de un clima semiárido. La diferencia de altitud que se presenta es de 900 metros. La temperatura media anual oscila entre los 12°C en las sierra de la cabecera, donde se alcanzan cotas próximas a los 1600 m., y valores superiores a 16°C. desde Cehegín hasta el final de la cuenca. La precipitación media suele estar desde por debajo de los 200 mm.

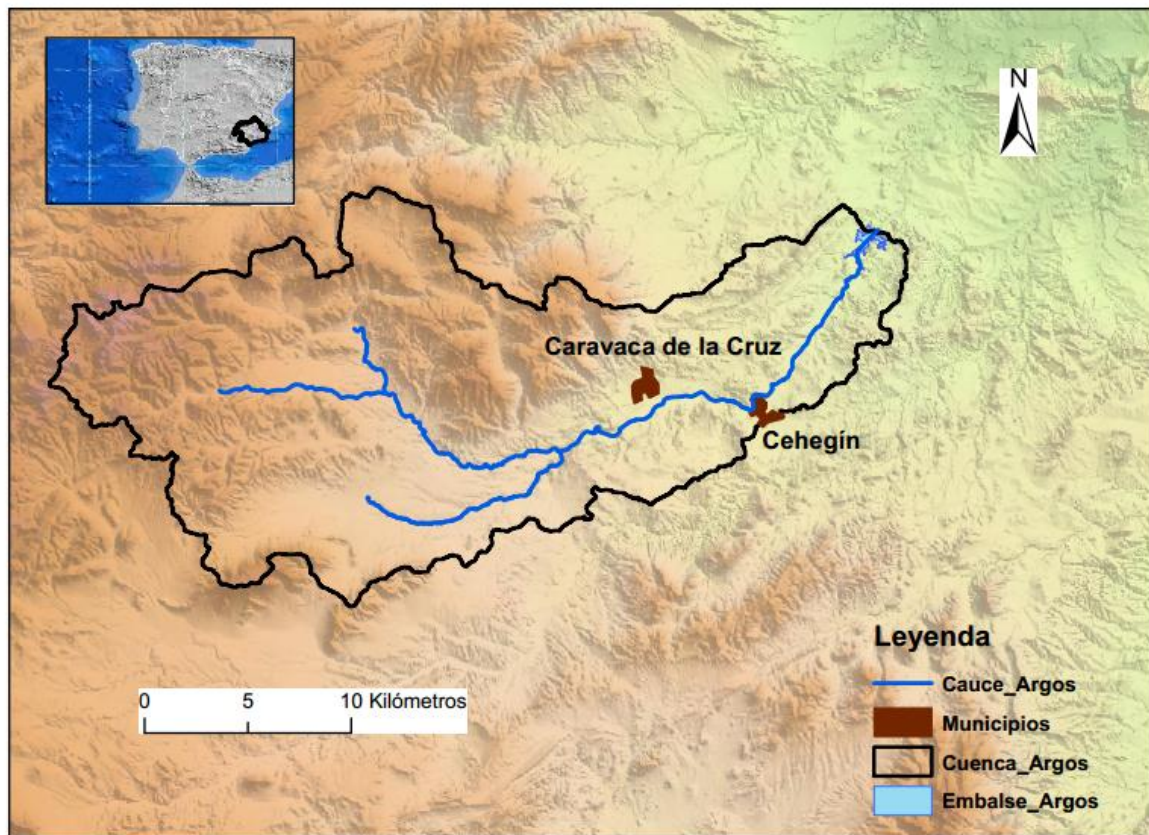


Fig.1. Localización. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Descripción del modelo SWAT

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) fue desarrollado para el Departamento de Agricultura de los Estados por la Universidad de Texas. Es uno de los modelos más recientemente desarrollados para predecir los impactos sobre el agua del suelo, los sedimentos y los productos químicos en las cuencas con datos de suelos, usos de suelos y períodos de tiempo determinados (Neitsch et al., 2005). Ha sido utilizado en diversos países para diferentes fines (Ndomba, 2002; Tripathi et al., 2003; Li et al., 2011; Liu et al., 2009; Zang et al., 2015).

SWAT se basa en un modelo semidistribuido que opera a tiempo diario. SWAT utiliza Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) para describir la heterogeneidad espacial en términos de uso del suelo, tipos de suelo y pendiente en una cuenca hidrográfica. Con el fin de simular los procesos hidrológicos en una cuenca, divide las cuencas hidrográficas en subcuencas.

Para la simulación, es necesario introducir al modelo SWAT un modelo de elevación del terreno, mapa de usos del suelo, datos sobre el suelo y datos climáticos de la zona de estudio. Se utilizan estos datos como entradas para el análisis de la simulación hidrológica de la escorrentía superficial y recarga de aguas subterráneas. SWAT divide

las simulaciones hidrológicas de una cuenca en dos fases principales: en la primera hace referencia al ciclo hidrológico, la cantidad de agua, sedimentos, nutrientes, plaguicidas y cargas al canal principal en cada subcuenca. En la segunda considera el movimiento del agua, sedimentos y productos químicos agrícolas a través de la subcuenca de salida. SWAT modela el ciclo hidrológico basándose en la siguiente ecuación de balance:

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

Donde:

SW_i : contenido final de agua en el suelo (mm).

i : tiempo (días).

SW_0 : contenido inicial de agua en el suelo en un día i (mm).

R_{day} : precipitación en un día i (mm).

Q_{surf} : cantidad de escorrentía superficial en un día i (mm).

E_a : cantidad de evapotranspiración en un día i (mm).

W_{seep} : cantidad de agua que percola por el perfil del suelo en un día i (mm).

Q_{gw} : flujo de retorno en un día i (mm).

2.3 Datos de entrada

Para este estudio, se requieren varios datos de entrada al modelo, tales como datos topográficos (DEM), usos del suelo, datos sobre el suelo y datos diarios de las variables climáticas (datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar). Estos datos fueron recopilados de diferentes fuentes y bases de datos.

El modelo SWAT se basa en el establecimiento de unas Unidades de Respuesta Hidrológica que son definidas por las combinaciones de los usos del suelo, los tipos de suelo y las pendientes, por lo que es necesario suministrarle esos datos. Además, también se debe introducir datos climáticos de la zona objeto de estudio.

Modelo Digital del Terreno

El modelo digital del terreno fue obtenido del IGN creando un mosaico con hojas a escala 1:25000 (Instituto Geográfico Nacional, 2016).

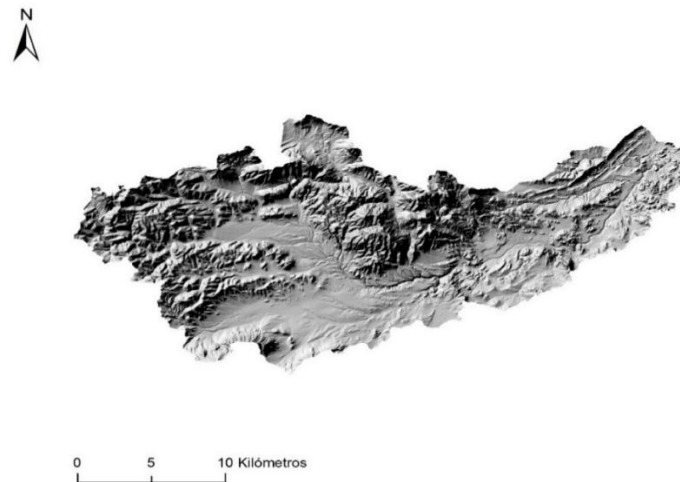


Fig.2. Modelo digital terrestre de la cuenca del río Argos. Fuente: IGN, 2016. Elaboración propia.

Datos climáticos

Los datos climáticos a escala diaria necesarios para correr el modelo con el programa SWAT son los siguientes:

- la precipitación
- las temperaturas máximas y mínimas
- la humedad en el aire
- la radiación solar
- la velocidad del viento

SWAT posee un generador de clima que puede simular datos faltantes en las series disponibles o aproximar datos no disponibles, aunque es desaconsejable su uso frente a unas observaciones que representan la variabilidad real (Neitsch et al., 2002). Todas las variables introducidas en el modelo provienen de series observadas. Las precipitaciones y temperaturas fueron obtenidas de la base de datos de Spain02 (Herrera et al., 2012), una rejilla de resolución 20 km construida por la AEMET y la Universidad de Cantabria (AEMET, 2012), la humedad, la radiación solar y la velocidad del viento fueron los correspondientes al CMIP3 (Girvetz et al., 2013). Es de importancia resaltar que para el caso que este estudio ocupa se ha utilizado el método de Hargreaves, por lo que sólo han sido necesarios los datos de precipitación y de temperatura.

Suelos

Los tipos de suelo se obtuvieron del Mapa Mundial Armonizado de Suelos (HSWDB) definido en arcos de 30". Al igual que sucede con los usos de suelo, es necesario la elaboración de un archivo con las equivalencias entre la tipología de suelos de la FAO y su correspondiente nomenclatura en SWAT. Tal y como se observa en la Fig. 3, los dos tipos de suelos dominantes son el Calcaric Lithosol y el Calcic Cambisol.

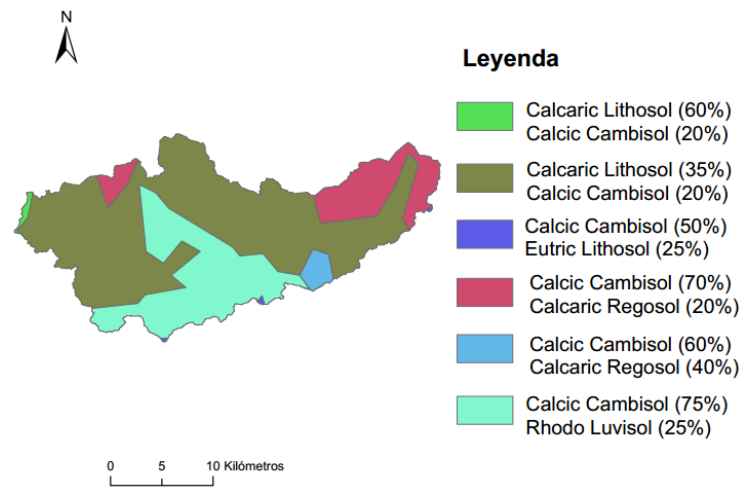


Fig.3. Fuente suelos armonizados europeos. Elaboración propia.

Usos del suelo

El uso del suelo influye notablemente en las propiedades hidrológicas de las cuencas. Es uno de los datos de entrada del modelo para describir las Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRUS) de las cuencas hidrográficas. Los usos del suelo fueron obtenidos del proyecto europeo Corine Land Cover (CLC) versión 1990 y versión 2006 (Instituto Geográfico Nacional, 2016), sistema ETRS89 y proyección huso 30.

Una vez introducidos los usos de suelos en el modelo, SWAT define sus propios usos de suelos equivalentes. Estos códigos se utilizan para vincular el mapa de uso del suelo de la zona de estudio con las bases de datos que SWAT utiliza para realizar el cálculo.

A continuación, se presenta una relación con los usos de suelo introducidos en SWAT (Tabla 1). En la tabla adjunta se puede observar la comparación entre la superficie, de un total de 452,12 km², ocupada por los distintos usos de suelo en los años 1990 y 2006.

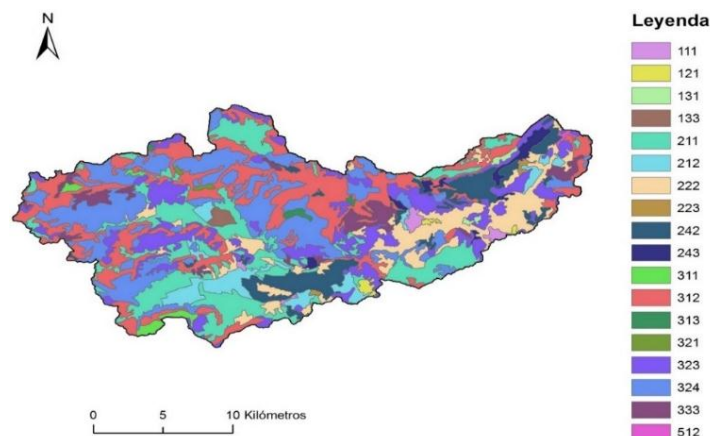


Fig.4. Usos de suelo de la cuenca del río Argos. Fuente: Corine Land Cover 2006.

CLC	DESCRIPCIÓN	Área (km ²) 1990	Área (km ²) 2006	% Sup. 1990	% Sup. 2006
111	Tejido urbano continuo	2,95	3,49	0,65	0,77
121	Zonas industriales o comerciales	0,61	1,97	0,13	0,44
131	Zonas de extracción minera	0,72	1,37	0,16	0,30
133	Zonas en construcción	0,26	2,19	0,06	0,48
211	Tierras de labor en secano	84,86	72,17	18,77	15,96
212	Terrenos regados permanentemente	10,10	20,12	2,23	4,45
222	Frutales	45,76	43,08	10,12	9,53
223	Olivares	0,66	0,96	0,15	0,21
242	Mosaico de cultivos	29,47	29,84	6,52	6,60
243	Terrenos principalmente agrícolas	6,18	6,82	1,37	1,51
311	Bosques de frondosas	3,94	3,93	0,87	0,87
312	Bosques de coníferas	97,81	97,66	21,63	21,60
313	Bosque mixto	1,63	1,63	0,36	0,36
321	Pastizales naturales	0,44	0,81	0,10	0,18
323	Matorrales esclerófilos	61,46	59,25	13,59	13,10
324	Matorrales esclerófilos	89,22	90,20	19,73	19,95
333	Espacios con vegetación escasa	15,37	15,96	3,40	3,53
512	Láminas de agua	0,69	0,69	0,15	0,15

Tabla 1. Evolución de los usos del suelo según CLC. Elaboración propia.

2.4 Análisis de sensibilidad, calibración y validación

La calibración es necesaria para optimizar los valores de los parámetros del modelo que ayudan a reducir la incertidumbre en los resultados de los modelos. Sin embargo, en este tipo de modelo con múltiples parámetros, es de difícil tarea determinar qué parámetros han de ser calibrados. En este caso, el análisis de sensibilidad es importante para identificar y clasificar parámetros que tienen un impacto significativo sobre los resultados de los modelos específicos de interés (Van Griensven et al., 2006). Por lo tanto, para este estudio, se realizó un análisis de sensibilidad antes del proceso de calibración con el fin

de identificar los parámetros afectan sensiblemente a dicho modelo. El análisis de sensibilidad, calibración y validación se realizaron con la incertidumbre secuencial del algoritmo SUFI-2 del software de SWATCUP.

El algoritmo SUFI-2 se corresponde con un 95 % de incertidumbre en la predicción 95PPU en los resultados que calcula el modelo con los parámetros ajustados. En el algoritmo SUFI-2 se busca que el modelo resultante (95PPU) abarque a la mayoría de las observaciones que hemos obtenido en el sistema real, en este caso, los recursos hídricos superficiales de salida de la cuenca. Con ello se piensa que, si el modelo es capaz de predecir la variable observada, es que se han reproducido de algún modo correctamente todos los procesos que se dan en la naturaleza, aunque se sabe que, con frecuencia, combinaciones erróneas de los procesos pueden llevar a unos buenos resultados en la simulación. Por eso se recomienda considerar la mayor cantidad de procesos diferentes en la función objetivo, para evitar los procesos equivocados. Para cuantificar el ajuste entre el resultado de la simulación y las observaciones expresado en un único criterio (que tendrá su error asociado) se utilizan dos estadísticos: P-factor y R-factor (Abbaspour et al., 2007).

Los parámetros de SWAT fueron calibrados con datos de recursos hídricos para un periodo de 8 años (1990-1997). Posteriormente se validó con un período 4 años (1986-1989). Para el período de calentamiento se utilizaron 3 años (1983-1986).

Tras el resultado del análisis de sensibilidad, la calibración del modelo se hizo para obtener valores óptimos y analizar aquellos parámetros sensibles. SWAT ofrece tres opciones para calibración: auto-calibración, la calibración manual y la combinación de estos dos métodos. Para este estudio, primero se realizó una calibración manual. Los valores de los parámetros se ajustan cambiando uno o dos parámetros a la vez dentro de los rangos permitidos, ya sea mediante la sustitución del valor inicial o multiplicando el valor inicial por un determinado coeficiente.

Para evaluar los resultados de los modelos de simulación en relación con los datos observados, existen varios métodos para evaluar la el rendimiento del modelo durante los periodos de calibración y validación. Las funciones estadísticas que se utilizaron fueron el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), el porcentaje del sesgo (PBIAS) y la desviación estándar de la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RSR) (Moriasi et al., 2007).

El período de tiempo de calibración ha sido de 8 años, desde 1 de enero de 1990 hasta 31 de diciembre de 1997. Una vez obtenidos los valores de los parámetros de SWAT se comprobó que dicha modelización cumplía los criterios establecidos por Moriasi et al., (2007). Tras la calibración manual, se seleccionaron los parámetros manualmente sensibles y se comenzó con la calibración automática con SWATCUP.

Así mismo, la validación se realizó para comparar los resultados del modelo con un conjunto de datos independientes sin hacer un ajuste adicional de los valores de los parámetros. Los datos climáticos para realizar la validación del modelo fueron desde el 1 de enero de 1986 al 31 de diciembre de 1989.

2.5 Escenarios analizados

La Fig. 5 representa los tres escenarios que se han calculado en este estudio con el modelo SWAT. El escenario I se calcula teniendo en cuenta los datos climáticos de los años comprendidos entre 1986 y 1995 y el mapa de usos de suelo del año 1990. El escenario II se calcula con los datos climáticos desde el 1 de enero de 1998 hasta 31 de diciembre de 2007. Para el cálculo del escenario III se utilizaron los datos climáticos del escenario II y el mapa de usos del año 2006. Para analizar el impacto del clima sobre la cuenca se comparan escenarios I y II. Si lo que interesa evaluar son los cambios producidos por los usos del suelo, se debe contrastar el escenario II y el III.

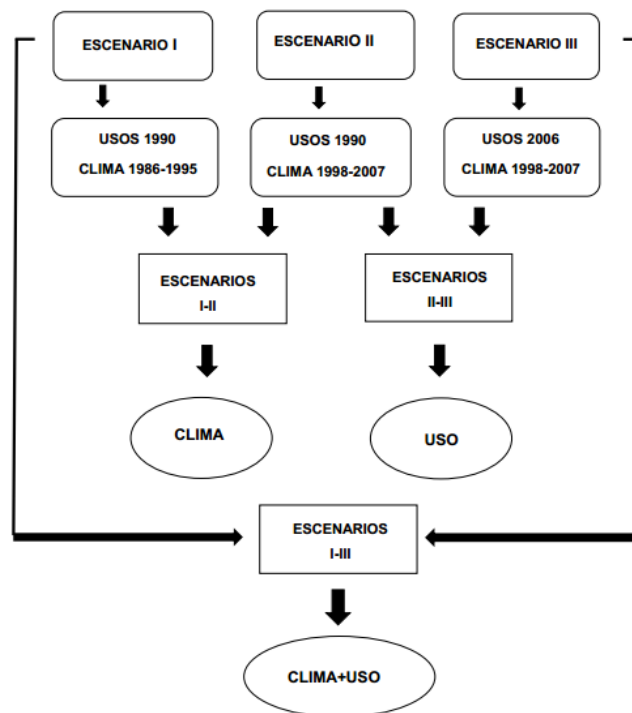


Fig.5. Escenarios analizados. Elaboración propia.

3 Resultados y discusión

3.1 Calibración y validación del modelo SWAT

La Fig.6. muestra que hay un buen acuerdo entre los flujos mensuales medios medidos y simulados para el período de calibración con una eficiencia de simulación de Nash Sutcliffe (NSE) de 0,76, un coeficiente de determinación (RSR) de 0,49 y un PBIAS de 3,53. La simulación de validación (Fig.7) también mostró buen acuerdo entre el flujo mensual simulado y medido con valores de NSE 0,89, un RSR de 0,32 y un PBIAS de 7,28.

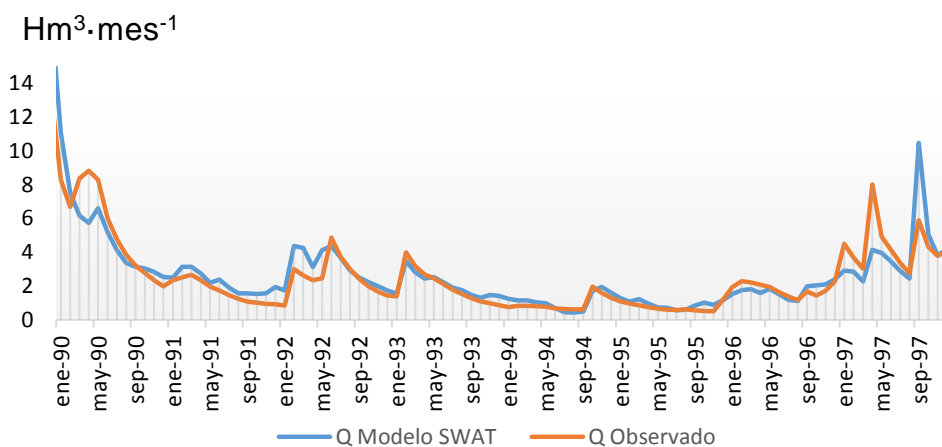


Fig.6. Caudales calibración ($\text{Hm}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$). Elaboración propia.

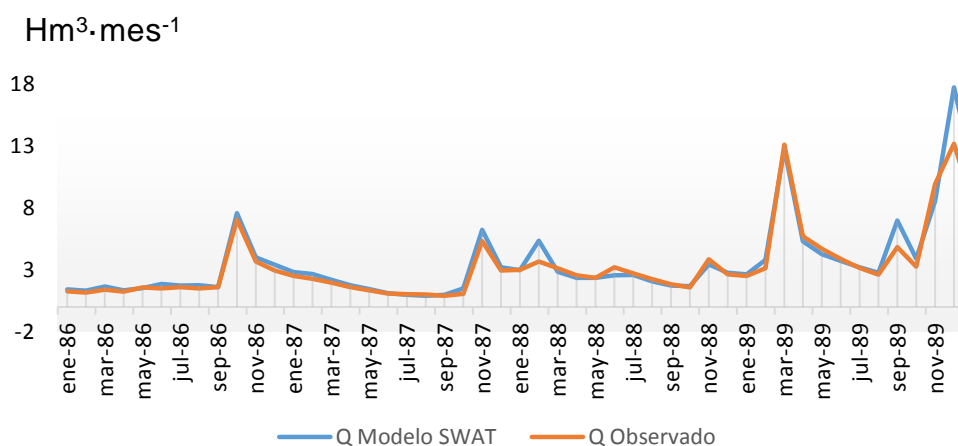


Fig.7. Caudales validación ($\text{Hm}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$). Elaboración propia.

Como se puede observar en los valores indicados en las anteriores figuras, la calibración y validación de las simulaciones de los recursos hídricos son satisfactorios. Esto indica que los procesos físicos que intervienen en la generación de recursos hídricos en la cuenca fueron simulados adecuadamente por el modelo. Por lo tanto, las simulaciones del modelo se pueden utilizar para diversos aspectos de gestión y desarrollo de los recursos hídricos.

En general, la evaluación de valores de los recursos hídricos mensuales observados y simulados para los períodos de calibración y validación del modelo indica que hay una buena correlación y concordancia entre los recursos hídricos medidos y simulados.

Parámetro	Descripción	Unidades	V.Inicial	V.ajustado
ALFA_BF	Coeficiente de agotamiento del acuífero	d-1	0,48	0,3131
CNCOEF	Coeficiente peso cálculo coeficiente retención.		1	0,75
ESCO.hru	Factor de compensación por la evaporación del suelo en las HRU.		0,95	0,67
EPCO.bsn	Factor de compensación de la evaporación de las plantas en la cuenca completa.		1	0,30
EPCO.hru	Factor de compensación de la evaporación de las plantas en las HRU.		1	0,30
GW_DELAY	Retraso del caudal subterráneo	días	31	31
GWQMN	Umbral de profundidad del agua en el acuífero superficial para que se produzca flujo de retorno	mm	1000	2181,15
CN2	SCS número de curva 2		74	80
GW_REVAP	Coeficiente "revap" del caudal subterráneo		0,02	0,03
CH_N2	Número de Manning del canal secundario.		0,014	0,13
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible en la capa de suelo	mm/mm	0,13	0,14
SOL_K	Conductividad hidráulica saturada.	mm/h	1,29	76,57
SOL_BD	Densidad aparente.	Mg/m3	1,34	1,36
LAT_TIME	Tiempo de recorrido del caudal lateral.	días	0	155,22
RCHRG_DP	Factor de recarga del acuífero profundo.		0,05	0,62

Tabla 2. Parámetros ajustados del modelo SWAT. Elaboración propia.

La mayoría de los parámetros sensibles son característicos de las aguas subterráneas (RCHRG_DP, GWQMN, y GW_REVAP) y de la evaporación (ESCO) por ello su importancia en dicha cuenca. Esto se esperaba debido al clima mediterráneo, es decir, con altas tasas de evapotranspiración (Molina Navarro et al., 2014). Resultados similares se han encontrado en otras cuencas mediterráneas. En estas cuencas, el ESCO suele ser sensible (Galván et al., 2009; Boskidis et al., 2010; Pisinaras et al., 2010; De Girolamo & Lo Porto, 2012). Además, los parámetros de agua subterránea fueron influyentes en las cuencas mediterráneas, donde se encuentran los acuíferos poco profundos (Varanou et al., 2002; Conan et al., 2003) e incluso superficiales (Gikas et al., 2006; Galván et al., 2009; Oeurng et al., 2011).

CN2 y SOL_AWC también son parámetros sensibles en la mayor parte de los trabajos, el caudal base depende también de ellos. Conan (2003) y Arnold (1993) junto con otros autores demostraron que la escorrentía superficial es extremadamente sensible a CN2. El coeficiente de agotamiento del acuífero (ALPHA_BF) es un índice directo de respuesta de caudal de aguas subterráneas a los cambios en la recarga. Para el cálculo del coeficiente de retención se utilizó el Método ET de las plantas. Estos parámetros más sensibles, junto con otros que pueden mejorar los resultados del modelo, se calibraron para los años 1990 a 1997. La lista de los parámetros de SWAT ajustados, que muestra los valores iniciales y los valores obtenidos tras el proceso de calibración (mejor simulación SUFI2), se da en la Tabla 2.

3.2 Impactos debido al cambio de los usos del suelo

Los usos de suelo analizados son los procedentes del Corine Land Cover 1990 y 2006. Para analizar los cambios debidos a los usos del suelo se compara el escenario II y el escenario III.

Atendiendo a los resultados anteriormente representados, se deduce que los usos que más han variado son los usos del suelo pertenecientes a regadío y los usos urbanos. En los usos urbanos se tiene en cuenta: el tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, zonas de extracción minera y zonas en construcción. Para el análisis del uso de regadío, se engloban: terrenos regados permanentemente, frutales, olivares, mosaico de cultivos y terrenos principalmente agrícolas.

Una vez analizados los porcentajes de superficie de cada uno los usos del suelo, se tiene que en el año 1990 el 20,39 % pertenecía a uso de regadío, mientras que el 1,00 % pertenecía a uso urbano. En el año 2006 el conjunto de usos pertenecientes a regadío aumentó hasta alcanzar un 22,30% y el uso urbano casi llegó a ocupar un 2 % de la superficie total. Con estos datos se puede concluir que el uso del suelo perteneciente a regadío aumentó, sobre el total de regadío, un 8,57 % y el urbano se duplicó pasando de un 1 a un 1,99 %, sobre el total de suelo de uso urbano. Sobre la superficie total de la cuenca, el uso de regadío aumentó casi un 2% y el urbano un 1%.

(mm·año ⁻¹)	ESCORRENTÍA	EVAPOTRANSPIRACIÓN
ESCENARIO II	70,54	325,7
ESCENARIO III	74,79	320,5
DIFERENCIA	4,25	-5,20

Tabla 3. Recursos hídricos medios anuales atendiendo al cambio de los usos de suelo. Elaboración propia.

Los impactos del cambio del uso del suelo se evaluaron mediante la comparación de las diferencias en los dos tipos de recursos hídricos, escorrentía y evapotranspiración, en los años de 1986 a 1995 y de 1998 a 2007 (manteniendo todos los demás factores sin alterar). De acuerdo con los resultados de la simulación, el cambio del uso del suelo (escenario II y III) se traduce en un aumento de la escorrentía de $70,54 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ a $74,79 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (equivalente a un incremento del 1,6 %) y una disminución concurrente en la evapotranspiración de $325,70 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ a $320,50 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (equivalente a un 1,35 %). La principal razón para el aumento de la escorrentía es la expansión del uso de suelo urbano. De 1986 a 2007, el área urbana, teniendo en cuenta las zonas urbanas propiamente dichas, las de extracción minera y comerciales y las áreas en construcción, se han duplicado comparando los usos del Corine Land Cover 1990 con los del 2006. Por esta principal causa, se ha visto disminuida la infiltración y la evapotranspiración; por el contrario la escorrentía superficial ha sufrido un aumento. De 1986 a 2007, la superficie de regadío en la cuenca del río Argos ha aumentado en un 9%.

3.3 Impactos debidos a la variabilidad climática

En este caso se compara el escenario I y el escenario II. La variabilidad del clima ha sido evaluada en los períodos de años 1986-1995 y 1998-2007. La precipitación se ha reducido, si se compara el segundo período de tiempo con el primero. Por ello, la cantidad tanto de escorrentía como de evapotranspiración se ha visto reducida en 16,19 y 11,70 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente.

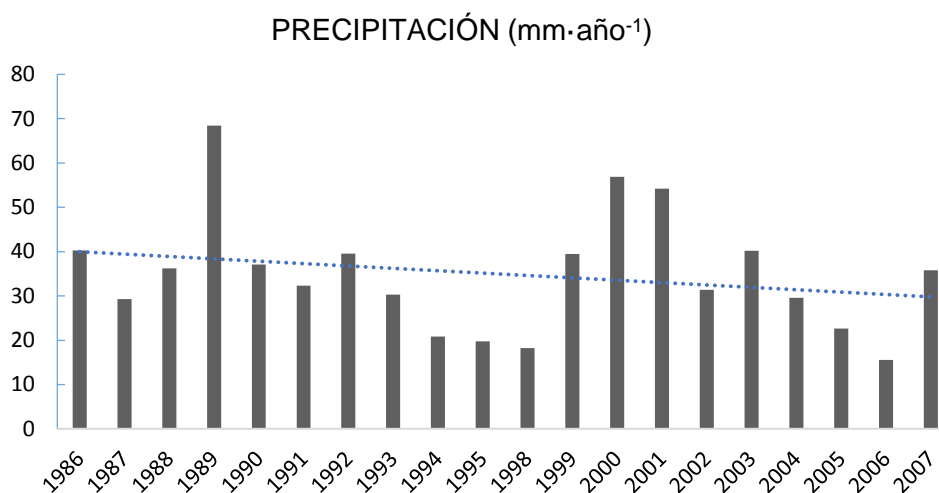


Fig.8. Precipitación media anual ($\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$). Elaboración propia.

($\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$)	ESCORRENTÍA	EVAPOTRANSPIRACIÓN	PRECIPITACIÓN
ESCENARIO I	86,73	337,4	422,9
ESCENARIO II	70,54	325,7	386,2
DIFERENCIA	-16,19	-11,70	-36,70

Tabla 4. Recursos hídricos medios anuales atendiendo a la variabilidad climática.

Elaboración propia.

3.4 Impactos debidos los cambios en los usos del suelo y variabilidad climática

En este apartado se realiza una comparativa teniendo en cuenta la variabilidad climática y el cambio en los usos del suelo. Se está evaluando el escenario I con el escenario III.

(mm·año ⁻¹)	ESCORRENTÍA	EVAPOTRANSPIRACIÓN
ESCENARIO I	86,73	337,4
ESCENARIO III	74,79	320,5
DIFERENCIA	-11,94	-16,90

Tabla 5. Recursos hídricos medios anuales atendiendo a dos variables conjuntas, cambios en los usos del suelo y variabilidad climática. Elaboración propia.

Se observa en la Tabla 5 que al disminuir la precipitación y aumentar la superficie ocupada por los usos de suelo urbano y regadío se produce una disminución de la escorrentía de 11,94 mm·año⁻¹, pasando la escorrentía de 86,73 mm·año⁻¹ a 74,79 mm·año⁻¹. La evapotranspiración pasa de 337,40 mm·año⁻¹ a 320,50 mm·año⁻¹, por lo que se concluye que la evapotranspiración sufre también una disminución de 16,90 mm·año⁻¹.

4 Conclusiones

Este estudio evalúa la influencia de los cambios en los usos del suelo recogidos en el Corine Land Cover en 1990 y 2006 y la precipitación durante los años 1986-1995 y 1998-2007 sobre los recursos hídricos de la cuenca del Río Argos. Las principales conclusiones obtenidas son las siguientes:

- 1) Los cambios en los usos del suelo han variado en el período estudiado. En 2006 el porcentaje de superficie ocupada por uso de regadío y el urbano fueron superiores casi un 9% y un 100% respecto de cada uno de los usos.
- 2) La precipitación en los años de 1986 hasta 1995 fue notablemente mayor que en el período comprendido entre 1998 y 2007. En la primera franja de años la precipitación fue de 422,90 mm·año⁻¹ y en la segunda 386,20 mm·año⁻¹.
- 3) La acción humana, y con ella el aumento del suelo urbano, es la responsable de un aumento de la escorrentía de 4,25 mm·año⁻¹ y de una disminución de la evapotranspiración de 5,20 mm·año⁻¹.
- 4) El aumento de la superficie de regadío, por inercia, aumenta la evapotranspiración y hace disminuir la escorrentía. En el presente estudio, al aumentar sobretodo el uso urbano, no se aprecia el aumento de la evapotranspiración.

5 Referencias

- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333(2), 413-430.
- Arnold, J. G., Allen. P. M., & Bernhardt. G. (1993). A comprehensive surface groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142, 47-69.

- Boskidis, I., G.D. Gikas, V., & Tsihrintzis, V. (2010). Spatial and temporal changes of water quality, and SWAT modeling of Vosvozis river basin, North Greece. *J. Environ. Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 45, 1421–1440.
- Conan, C., Marsily, G., Bouraoui, F., & Bidoglio, G. (2003). A long-term hydrological modelling of the Upper Guadiana river basin (Spain). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 193–200.
- De Girolamo, A.M., & A. Lo Porto. (2012). Land use scenario development as a tool for watershed management within the Rio Mannu Basin. *Land Use Policy* 29, 691–701.
- Galván, L., Olías, M., de Villarán, R. F., Santos, J. D., Nieto, J. M., Sarmiento, A. M., & Cánovas, C. R. (2009). Application of the SWAT model to an AMD-affected river (Meca River, SW Spain). Estimation of transported pollutant load. *Journal of hydrology*, 377(3), 445-454.
- Gikas, G.D., Yiannakopoulou, T., & Tsihrintzis, V.A. (2006). Modeling of nonpoint source pollution in a Mediterranean drainage basin. *Environmental Modeling & Assessment*, 11, 219–233.
- Girvetz, E. H., Maurer, E. P., Duffy, P. B., Ruesch, A., Thrasher, B., & Zganjar, C. (2013). Making climate data relevant to decision making: the important details of spatial and temporal downscaling. Santa Clara University.
- Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Ancell, R., Pons, M.R., Frías, M.D., & Fernández, J. (2012). Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology*, 32(1), 74–85.
- Instituto Geográfico Nacional, Centro de descargas CNIG. Accedido en mayo 2016, <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do#selectedSer>.
- Li, Q., Cai, T., Yu, M., Lu, G., Xie, W., & Bai, X. (2011). Investigation into the impacts of land-use change on runoff generation characteristics in the upper Huaihe River Basin, China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(11), 1464-1470.
- Liu, X. F., Ren, L., Yuan, F., Singh, V. P., Fang, X., Yu, Z., & Zhang, W. (2009). Quantifying the effect of land use and land cover changes on green water and blue water in northern part of China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(6), 735-747.
- Meyer, W. B., & BL Turner, I. I. (1994). *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press, 4.
- Molina-Navarro, E., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A., & Bienes-Allas, R. (2014). Hydrologic modeling in a small Mediterranean basin as a tool to assess the feasibility of a limno-reservoir. *Journal of environmental quality*, 43(1), 121-131.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Ndomba, P., Mtaló, F., & Killingtveit, A. (2008). SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(8), 626-632.

- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. E. A., Srinivasan, R., & Williams, J. R. (2002). Soil and water assessment tool user's manual version 2000. GSWRL report, 202, 02-06.
- Neitsch, S. L., Williams, J. R., Arnold, J. G., & Kiniry, J. R. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2005. Texas Water Resources Institute.
- Oeurng, C., Sauvage, S., & Sánchez-Pérez, J. M. (2011). Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 401(3), 145-153.
- Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G. D., Gemitzi, A., & Tsihrintzis, V. A. (2010). Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Desalination*, 250(1), 274-286.
- Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J. & Bielsa-Artero, A.M., 2016. Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio: cuenca del Segura, España. *Tecnologías y ciencias del agua*,7(2), 67–84.
- Surur, A. (2010). Simulated Impact of Land use dynamics on hydrology during a 20- year period of Beles Basin in Ethiopia. MSc Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.
- Tripathi, M. P., Panda, R. K., & Raghuwanshi, N. S. (2003). Identification and prioritisation of critical sub-watersheds for soil conservation management using the SWAT model. *Biosystems Engineering*, 85(3), 365-379.
- Van Griensven, A., Meixner, T., Grunwald, S., Bishop, T., Diluzio, M., & Srinivasan, R. (2006). A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. *Journal of hydrology*, 324(1), 10-23.
- Varanou, E., Gkouvatsou, E., Baltas, E., & Mimikou, M. (2002). Quantity and quality integrated catchment modeling under climate change with use of soil and water assessment tool model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(3), 228-244.
- Zang, C., Liu, J., Gerten, D., & Jiang, L. (2015). Influence of human activities and climate variability on green and blue water provision in the Heihe River Basin, NW China. *Journal of Water and Climate Change*, 6(4), 800-815.