

# APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT A LA PLANIFICACIÓN HÍDRICA DE UNA GRAN CUENCA ENDORREICA EN ARGENTINA.

Prieto Villarroya, Jorge<sup>1,2</sup>; Van Meer, Howard<sup>3</sup>; Farias, Hector Daniel<sup>1</sup>

(1) Instituto de Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina

(2) Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina

(3) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental de Santiago del Estero. Argentina

[irhi.fceyt.unse@gmail.com](mailto:irhi.fceyt.unse@gmail.com)

## Introducción

La cuenca del sistema fluvial Salí-Dulce es una de las más importantes de Argentina. La planificación y gestión integrada de sus recursos hídricos exige conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca, la producción de sedimentos, la calidad del agua y otros aspectos necesarios para optimizar el manejo, control y preservación de los recursos hídricos.

Bajo estas premisas, los modelos de balance hídrico constituyen un insumo prioritario para poder establecer una planificación integrada y sustentable sobre el uso y distribución del recurso hídrico de una cuenca.

## Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto describir la experiencia desarrollada y resultados obtenidos de la aplicación del modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) como elemento medular para la planificación de la cuenca Salí-Dulce.

El modelo SWAT se aplica para predecir el efecto en la toma de decisiones en el manejo de la producción de agua, sedimentos, nutrientes y pesticidas con razonable precisión, en cuencas pobremente instrumentadas (Arnold et al., 1987), caso típico en Latinoamérica.

Los sub-modelos o módulos que forman parte de SWAT se pueden agrupar en climáticos, hidrológicos, de erosión, de nutrientes, agrícolas y urbanos. El módulo principal, que sirve de sustento a todos los demás, es el hidrológico, lo que significa que cualquier error en su calibración puede invalidar todos los resultados posteriores obtenidos con el resto de módulos. Es por este motivo por el que en el presente trabajo se hace especial hincapié en el procedimiento seguido para la validación y calibración del modelo, lo que resultó especialmente significativo por la dificultad que implica la escasez y heterogeneidad de la información disponible en la cuenca Salí-Dulce, uno de los principales sistemas endorreicos argentinos.

## Materiales y Métodos

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo numérico hidrológico desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Investigación Agrícola (ARS). Es un modelo de tiempo continuo, semi-distribuido, diseñado para predecir el impacto del uso y manejo del suelo, el agua, sedimentos y productos químicos agrícolas en las cuencas hidrográficas.

El modelo SWAT subdivide a la cuenca en múltiples subcuencas, que a su vez se subdividen en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs por sus siglas en inglés), que conforman unidades homogéneas en cuanto a uso de la tierra, topografía y características hidrológicas del suelo.

Los principales datos empleados en el modelo son información hidrometeorológica (precipitación, temperatura mín./máx., humedad, radiación y velocidad de viento), usos de suelo, modelo digital de elevaciones y tipología de suelos

Una de las limitaciones que tiene la cuenca Salí-Dulce es la carencia de registros pluviométricos con una adecuada distribución espacial. Por ello, se procedió a analizar diferentes tipos de re-análisis con el fin de utilizar sus datos pluviométricos en lugares donde existe escasez de datos. Los re-análisis proporcionan instantáneas integrales de las condiciones climáticas en intervalos regulares durante largos períodos de tiempo, a menudo años o décadas. Se basan tanto en observaciones como en modelos de pronósticos que estiman condiciones climáticas.

Para el modelo se valoraron tres tipos de re-análisis: (1) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), (2) Climatic Research Unit (CRU), (3) The Physical Sciences Division (PSD)

Para analizar su comportamiento y representatividad, se utilizó una serie de 13148 datos de precipitación diaria sin datos faltantes desde 1979-2014 de dos estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la cuenca. Una estación ubicada en zona llana [Tucumán Aéreo (SMN)] y otra ubicada en zona de montaña [Potrero de Clavillo (EVARSA)]. Para analizar el ajuste de los re-análisis para representar la precipitación observada se utilizaron diferentes estadísticos como Nash-Sutcliffe (NS) coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y sesgo porcentual ( $P_{BIAS}$ ). En base a ello, pudo concluirse que los mejores resultados obtenidos corresponden al re-análisis PSD.

Tabla 1.- Ajustes estadísticos calculados para cada reanálisis.

Re-análisis	Estadístico	Tucumán Aéreo (SMN)	Potrero Clavillo (Evarsa)
CFSR	$R^2$	0,00	0,06
	NS	-0,34	-0,09
	$P_{BIAS}$	28,70	63,32
CRU	$R^2$	0,60	0,02
	NS	0,60	-0,07
	$P_{BIAS}$	14,21	65,71
PSD	$R^2$	0,70	0,04
	NS	0,67	-0,45
	$P_{BIAS}$	-11,64	-5,94

Como Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se utilizó el correspondiente a la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM), realizada en el año 2000 utilizando un interferómetro de radar, para reproducir la superficie de la tierra entre aproximadamente 60° N y 56° S, equivalente al 80% por ciento de la masa terrestre del planeta. El MDE obtenido tiene una resolución espacial de 1 segundo de arco (~ 30 m), y una precisión vertical  $\pm 16$  metros.

A partir del MDE mediante la herramienta QSWAT, pudo calcularse la dirección y acumulación de flujo agua y a partir de este resultado, delimitar la cuenca, subcuencas, y red de drenaje, así como también calcular área, perímetro, rangos de pendiente (%), y parámetros morfométricos de la cuenca y del cauce para el cálculo del transporte hidráulico en la cuenca Salí-Dulce.

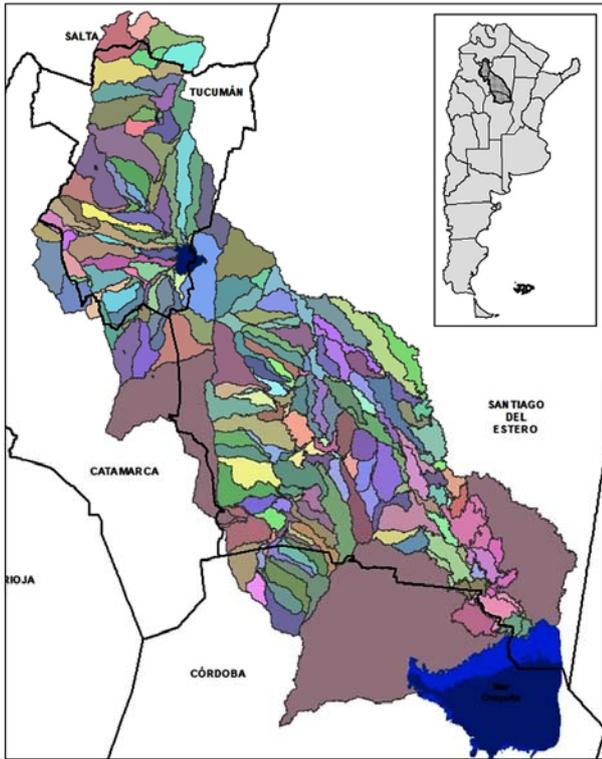


Figura 1.- Desagregación en Subcuencas del Modelo Salí - Dulce

La información incorporada al modelo incluyó tanto el análisis y actualización de cartografía de usos de suelo como de los diferentes tipos de suelo presentes en la cuenca, incorporando al modelo las funciones de pedotransferencia calculadas para cada horizonte de cada tipo de suelo de la cuenca.

En base a la información anterior, se realizó una discretización espacial, estableciendo un umbral 50000 ha, desagregando a la Cuenca Salí-Dulce (de 87050 km<sup>2</sup>) en 98 subcuencas (Figura 1).

El modelo también contempló la incorporación de tres embalses presentes en la cuenca: Río Hondo, Cadillal y Escaba (Figura 2), requiriendo información de caudales de entrada/salida para cada uno de ellos y la caracterización de su geometría y órganos de descarga.

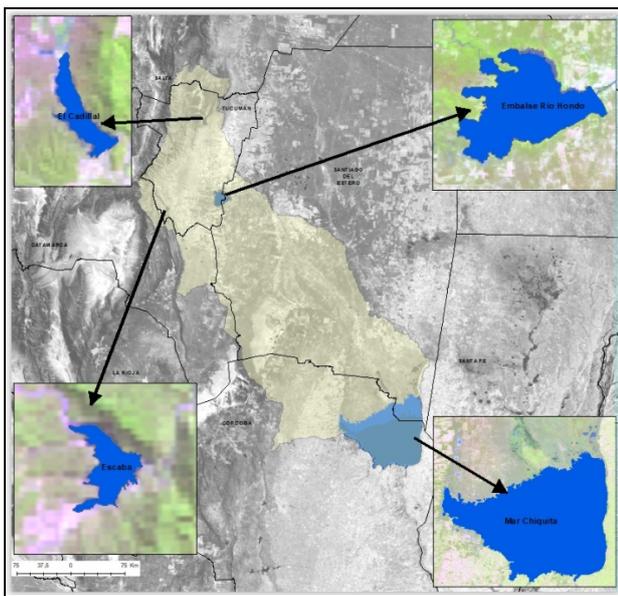


Figura 2.- Principales reservorios de la Cuenca Salí - Dulce

### Evaluación de Resultados

La modelación se realizó para un periodo de 50 años (1968-2017) con paso de tiempo mensual. La calibración se efectuó en un periodo de 12 años (1988-1999) y la validación en un periodo de 9 años (2000-2008). Se adoptó un periodo de calentamiento de 20 años (1968-1987) para la estabilización de las condiciones iniciales de contenido de agua en el suelo.

El modelo representó adecuadamente los procesos de flujo mensual (Tabla 2), ya que se considera que valores >0,65 del coeficiente de Nash-Sutcliffe, porcentajes ±10 % de P<sub>BIAS</sub> y valores >0,7 de R<sup>2</sup>, indican una muy buena calibración y validación del modelo para la cuenca.

Tabla 2.- Análisis de Caudales observados vs calculado

Período	R <sup>2</sup>	Nash	P <sub>BIAS</sub> (%)
Calibración (1988 - 1999)	0.71	0,70	10
Validación (2000 - 2008)	0.69	0.68	5

Para la calibración de resultados se realizó un análisis de sensibilidad por medio del programa SWAT-CUP (Abbaspour, 2007). El análisis permitió jerarquizar la secuencia de la calibración a fin de representar las condiciones físicas naturales existentes en la cuenca. A partir de ello se confirmó la importancia de 28 parámetros, siendo los más sensibles los que controlan la evaporación en el reservorio (WURCH), el tránsito o 'ruteo' (routing) de agua en superficie (SLSUBBSN y SURLAG) y la descarga de agua subterránea (ALPHA\_BF).

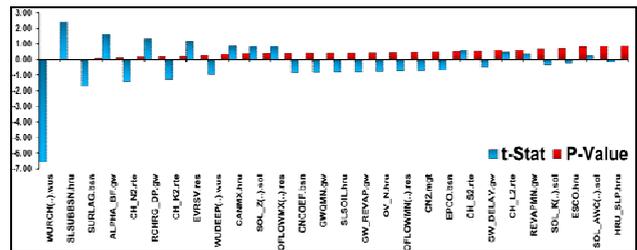


Figura 3.- Análisis de Sensibilidad del Modelo. Cuenca Salí-Dulce

### Conclusiones

El modelo SWAT representa adecuadamente los caudales para periodos secos con ligeras subestimaciones en los periodos de calibración (10%) y validación (5%) respectivamente. Asimismo, el modelo fue capaz de capturar satisfactoriamente el efecto de la regulación de descargas (Figura 4) inducido por el Embalse Río Hondo, con un valor de R<sup>2</sup> = 0.71.

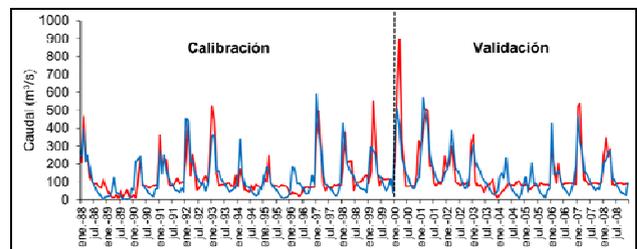


Figura 4.- Hidrograma mensual calculado (azul) y observado (rojo) para el punto de control "Embalse Río Hondo". Periodo (1988-2008)

### Referencias Bibliográficas

Abbaspour, K.C., et al. (2007) Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed Using SWAT. Journal of Hydrology, 333, 413-430.

Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R., (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (V2005).