

Modelo SWAT 2012: Descripción, aplicaciones y un ejemplo en Chile



Dr. Mauricio Zambrano-Bigiarini^{1,2}

19-Nov-2015

¹Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

²Centro del Clima y la Resiliencia (CR2), Chile

mauricio.zambrano @ ufrontera.cl



(CR)²

Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**

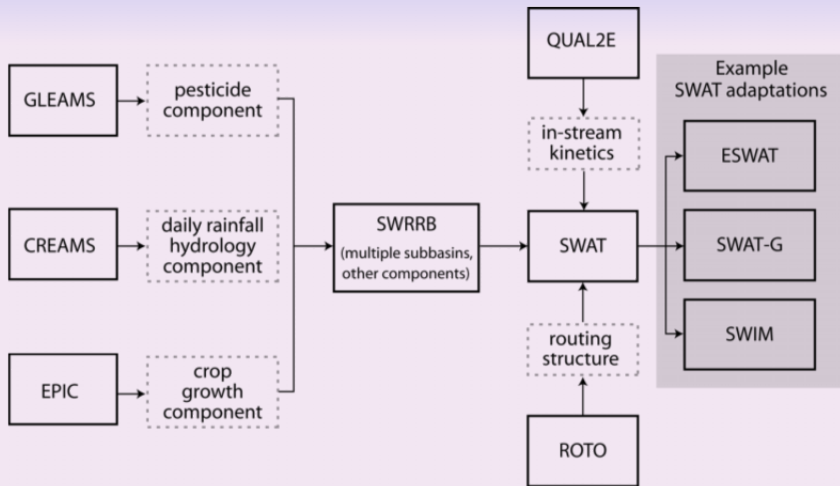


Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



Historia



CREAMS: Chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems.

GLEAMS: Groundwater loadings effects on agricultural management.

EPIC: environmental impact policy assessment.

(Fuente: Gassman et al., 2007)



Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



Modelo SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT):

SWAT es un modelo **semi-distribuido** y de **dominio público**, diseñado para predecir el impacto de diversas prácticas de manejo de la tierra sobre la **hidrología**, los **sedimentos** y el transporte de **contaminantes agrícolas** en cuencas grandes y complejas, con distintos tipos, usos y condiciones de manejo de suelos, por largos períodos de tiempo.

Algunas características:

- Integra casi 40 años de desarrollo por parte del USDA (~ 1975 - 2015).
- Extensamente usado en el mundo para simular el ciclo hidrológico en **régimen natural**.
- Escala temporal: diaria/mensual/anual
- Código fuente (Fortran 90/77) **disponible** y bien documentado.
- **Multi-plataforma** (Linux, Win, OS X) → PC y clusters-
- **Interfaces GIS** para ingreso de datos y visualización de resultados (Qgis, MapWindow, ArcGIS, GRASS).
- Activa **comunidad de usuarios** (distintos foros web).



Módulos/Componentes - I:

Del ciclo terrestre:

Meteorología, hidrología, erosión/sedimentos, temperatura del suelo, crecimiento de las plantas, nutrientes, pesticidas, manejo agrícola, cargas de sedimentos y nutrientes desde áreas urbanas, crecimiento y extinción de bacterias, y cálculos de latencia modificados para zonas tropicales.

En los ríos:

tránsito de crecidas, sedimentos, nutrientes y químicos orgánicos dentro del canal principal, junto a transporte de bacterias desde la fase terrestre hasta la red de canales.



Módulos/Componentes - II:

Emblases y otros estanques:

Balance hídrico (considerando entrada, salida, las precipitaciones en la superficie, la evaporación, la filtración de la parte inferior del depósito, y desvíos), decantación de sedimentos, y algoritmos simplificados para el transporte de nutrientes y transformación de plaguicidas.

Aportes/extracciones:

Desviaciones de agua hacia, desde o dentro de la cuenca pueden ser modeladas para representar riego, abastecimiento de agua y otros retiros del sistema.



Procesos representados

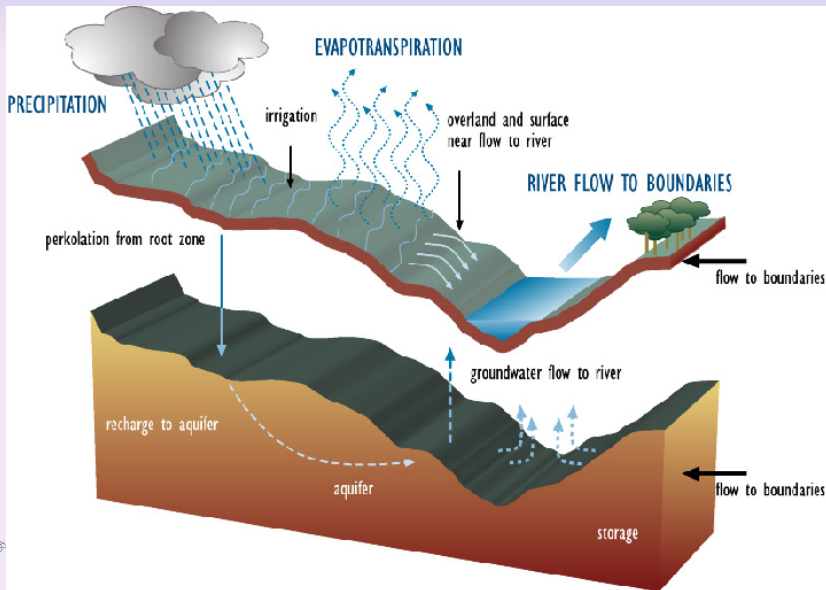


Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



SWIM model

SWIM - Soil and Water Integrated Model

What does the model do?

SWIM was specifically developed to investigate climate and land use change impacts at the regional scale, where the impacts are manifested and adaptation measures take place. The model simulates interlinked processes at the mesoscale such as runoff generation, plant and crop growth, nutrient and carbon cycling, and erosion. It provides numerous model outputs such as river discharge, crop yield, and nutrient concentrations and loads. The approach allows simulation of all interrelated processes within a single model framework at a daily time step using regionally available data (climate, land use and soil) and considering feedbacks. The model setup and postprocessing are supported by a GIS interface (two versions: GRASS and Map Windows). The model uses 3-level disaggregation scheme: basin – subbasins – hydrotopes. The results are presented as time series and maps for a number of variables. SWIM is a model of intermediate complexity for the river basin and regional scale, because it is a) more comprehensive than purely hydrological and precipitation-runoff models due to a more reliable representation of interlinked hydrological, vegetation and nutrient processes; b) driven by commonly available regional data and can be easier parametrized than more complex hydrological models.



SWAT-Modflow

SOFTWARE > SWAT-MODFLOW

SWAT-MODFLOW is an integrated hydrological model that couples SWAT land surface processes with spatially-explicit groundwater flow processes.

DOWNLOAD SWAT-MODFLOW

The current version was published Oct. 26, 2015.

SWAT-MODFLOW is a public domain model, and as such may be used and copied freely. The model links SWAT with the newest version of MODFLOW, MODFLOW-NWT. Recharge rates are passed from SWAT HRUs to the MODFLOW grid, and groundwater-surface water interactions simulated by MODFLOW are passed to SWAT subbasin channels for routing. Documentation and the SWAT-MODFLOW executable are available as downloads. A user interface to facilitate SWAT-MODFLOW linkage and model set-up currently is in development. SWAT-MODFLOW has been tested in several watersheds. However, no warranty is given that the model is completely error-free. If you encounter problems with the model or have suggestions for improvement, please comment at the [SWAT-MODFLOW Google group](#).



Tabla de Contenidos

- 1 Descripción
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 Calibración SWAT 2012
- 5 Resultados preliminares
- 6 Comentarios



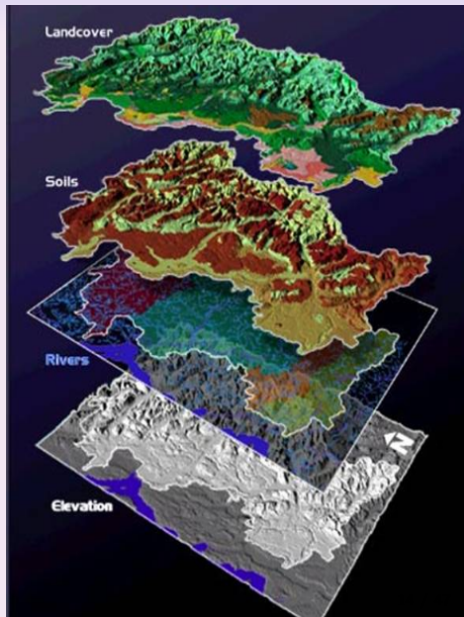
SWAT 2012: datos de entrada

Geomorfológicos:

- DEM
- red de drenaje
- tipo de suelo
- uso de suelo

Series temporales (diarias):

- caudales
- precipitaciones
- temperaturas (max y min)
- opcionales: humedad relativa, radiación solar, veloc. del viento

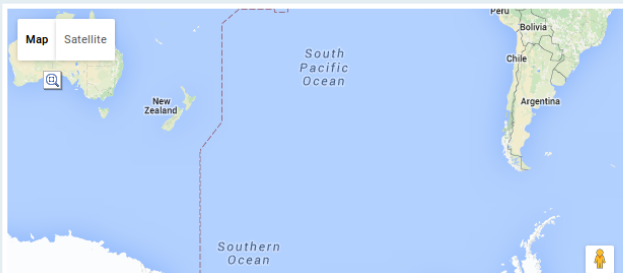


NCEP-CFSR - I

National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) están disponibles para el período 1979-2014 (36 años).

Step 1: Select your bounding box

Hold the **Shift** key and drag to select your bounding coordinates on the map. Or, type your latitude/longitude coordinates below. For quick response bounding coordinates must not exceed **10** decimal degrees latitude and **10** longitude. You may submit a larger area, but it will be subject to approval by an administrator before running and may take several weeks to complete depending on the size and number of years requested.



South Latitude

West Longitude

North Latitude

East Longitude

NCEP-CFSR - II

Step 2: Define your time period for collecting data

Please select a start date no earlier than **1/1/1979** and an end date no later than **7/31/2014**.

Start Date

End Date

Starting Hour of Day

Hourly data is stored in the database and aggregated to daily based on the starting hour defined below.

For example, if you select 6:00 AM, your day on Jan. 1 is defined from this time until 6:00 AM the following day.



NCEP-CFSR -III

Step 3: Select what data to collect

- Temperature (°C)
- Precipitation (mm)
- Wind (m/s)
- Relative Humidity (fraction)
- Solar (MJ/m²)

Step 4: How should we deliver your data?

Depending on the size of your region, it may take several hours to compile your data. We will email you with a link to download a zip file containing your data when it is complete.

Email Address



Tipos de Suelos (FAO)

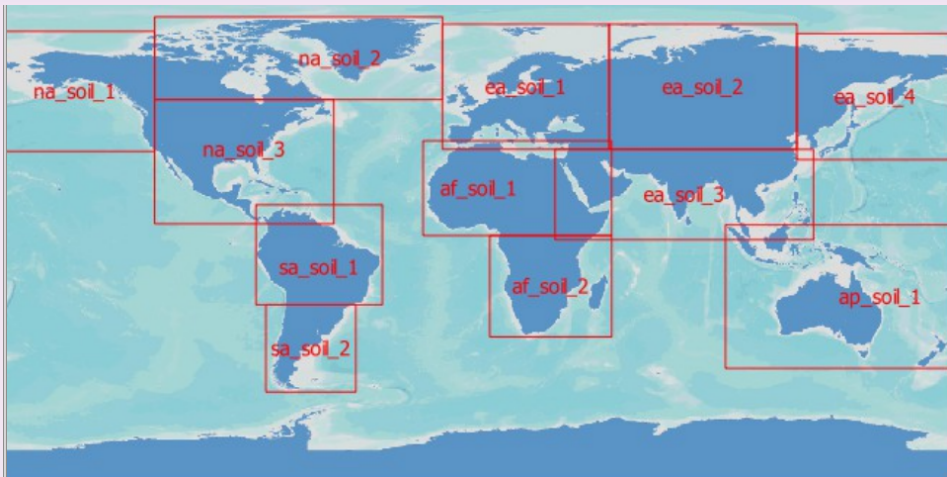


Tabla de Contenidos

- 1 Descripción
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 Datos (globales)
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 Calibración SWAT 2012
- 5 Resultados preliminares
- 6 Comentarios



Tabla de Contenidos

- 1 Descripción
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 Datos (globales)
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 Calibración SWAT 2012
- 5 Resultados preliminares
- 6 Comentarios



SWAT ha sido aplicado en un rango de:

escalas espaciales:

e.g., Arnold et al. (2005); Cao et al. (2006); Fontaine et al. (2002); Schuol et al. (2008a); Zhang et al. (2009)

condiciones hidrológicas:

e.g., Mapfumo et al. (2004); Arnold et al. (2005); Abbaspour et al. (2007); Gosain et al. (2005); Wu and Johnston (2007); Thomson et al. (2005); Krysanova et al. (2007)

lugares del mundo:

e.g., Abbaspour et al. (2009); Setegn et al. (2009); Schuol et al. (2008b); Ndomba et al. (2008); Yang et al. (2007); Arnold et al. (1999); Borah and Bera (2004)



Tabla de Contenidos

- 1 Descripción
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 Datos (globales)
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - **Caso en Chile**
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 Calibración SWAT 2012
- 5 Resultados preliminares
- 6 Comentarios



Características de la Cuenca del Río Rapel

- Rango de alturas: 0 - 5 180 m s.n.m., con una altura media de 1 148 m s.n.m.
- Ríos principales: Rapel (13 700 [km²]), Cachapoal (170 km, 6 370 [km²]), Tinguiririca (108 km, 4730 [km²]).
- Embalse Rapel: 680 [M m³], 80 [km²].
- Central Hidroeléctrica Rapel: 350 [MW], construida en 1968.



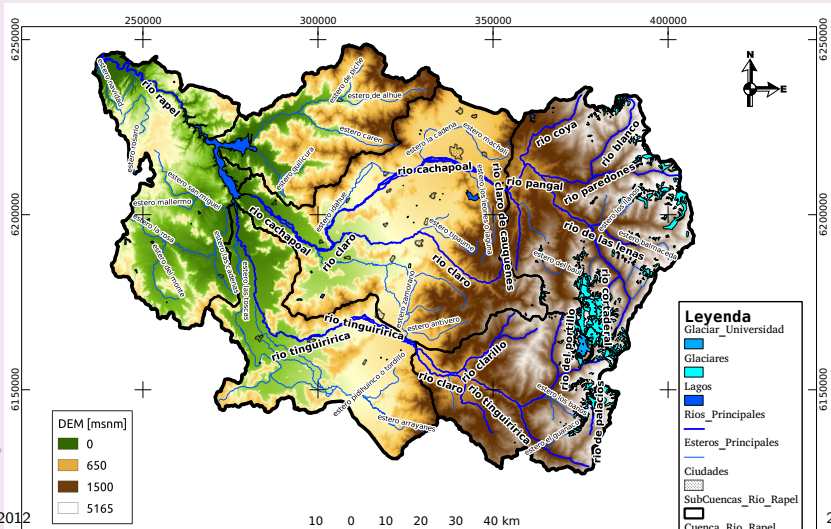
Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - **Datos geomorfológicos**
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



Modelo digital de elevación (DEM) SRTMv4,

ASTERv2:



Tipo de suelo (HWSD, 2012)

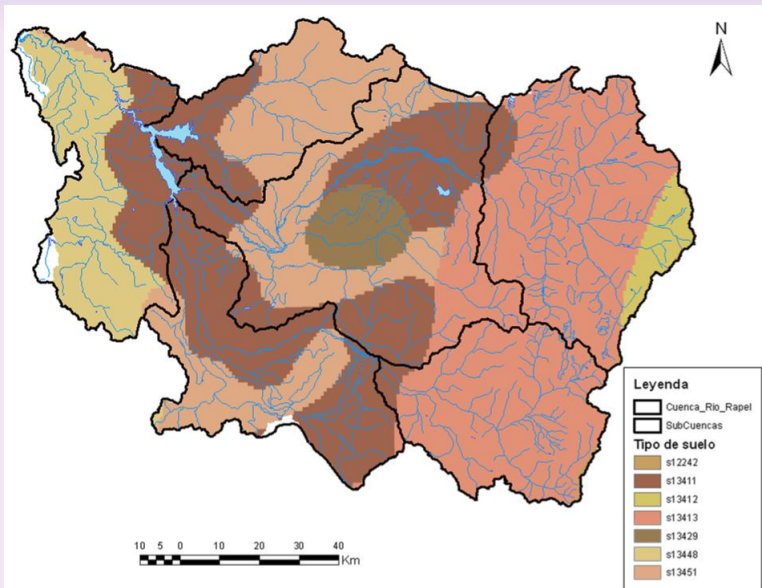


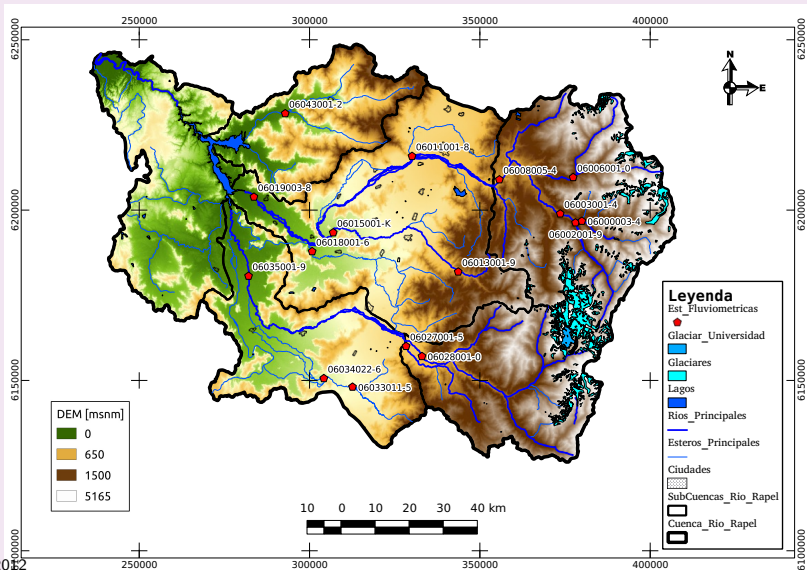
Tabla de Contenidos

- 1 Descripción
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 Datos (globales)
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - **Datos hidro-meteorológicos**
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 Calibración SWAT 2012
- 5 Resultados preliminares
- 6 Comentarios



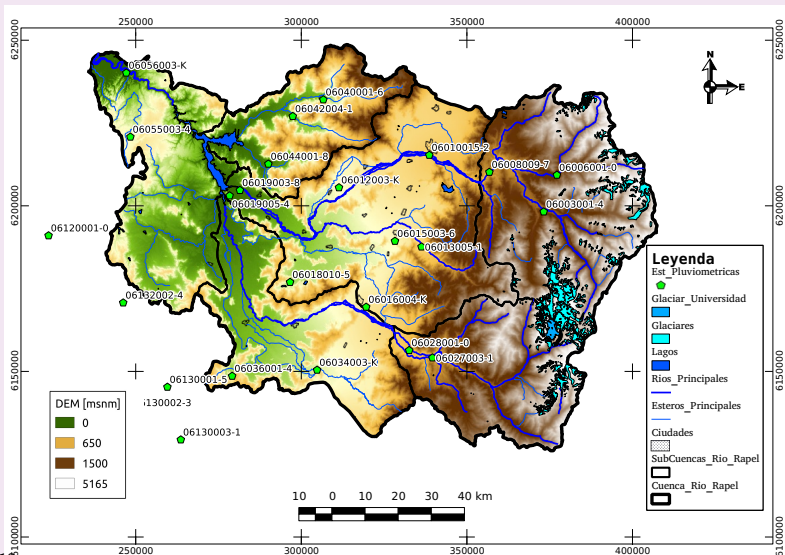
Caudales medios diarios

16 estaciones de aforo (DGA), ~ 1 cada 850 km²:



Precipitaciones diarias

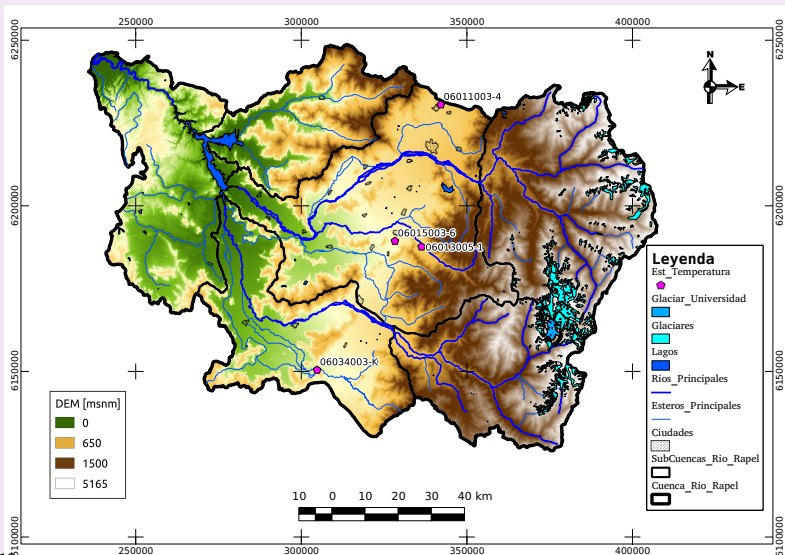
25 estaciones pluviométricas (DGA), ~ 1 cada 550 km²:



(CR)²

Temperaturas diarias

4 estaciones con temperatura diaria (DGA), ~ 1 cada 3400 km²:



SWAT 2012 en Cuenca Río Rapel

SWAT 2012 fue implementado de la siguiente manera:

- **versión:** 622, 04 de Marzo de 2014.
- **período de simulación:** desde 01-Ene-1990 hasta 31-Dec-2013, escala diaria.
- **cálculo escorrentía superficial:** método de la curva de número modificada del SCS.
- **cálculo de ETp:** método de Hargreaves (Tmax, Tmin).
- **flujo a través de la red de drenaje:** método "variable travel-time".
- **10 bandas de elevación** en cada subcuenca.
- **Gradiente térmico constante (TLAPS):** -6 [°C/km]

(CR)²



Modelo hidrológico SWAT 2012

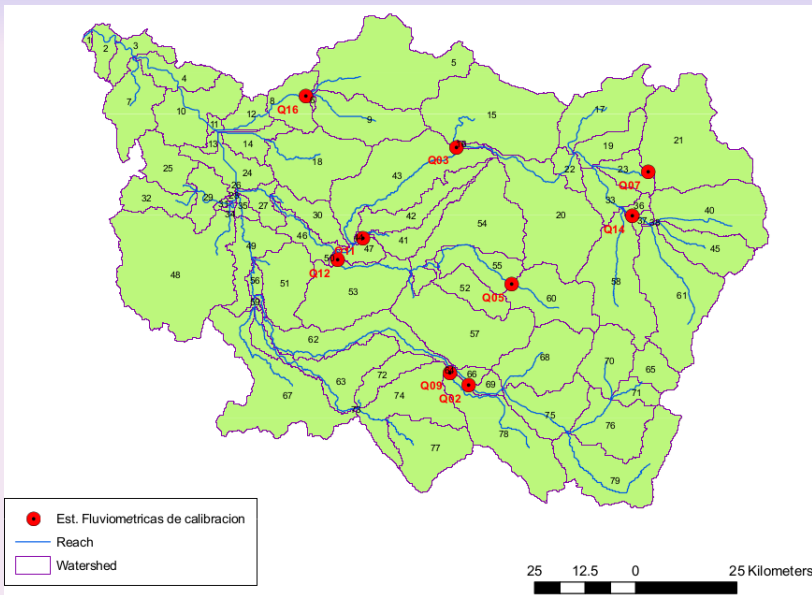


Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



Calibración SWAT 2012:

- No todos los parámetros del modelo tienen un **significado físico directo** o pueden ser medidos en la **escala espacial adecuada** ⇒ **calibración !**
- **Algoritmo:** Standard Particle Swarm 2011 (SPSO-2011): método **global** de optimización (estocástico-evolucionario).
- **Configuración SPSO-2011:** 30 partículas y 50 iteraciones (i.e., 1500 corridas de modelo) para cada cuenca calibrada.
- **Período de "warm-up":** 01-Ene-1990 hasta el 31-Dic-1990, para deshacerse de la influencia de las condiciones iniciales.
- **Período de calibración:** 01-Ene-1991 hasta el 31-Dic-2002 (corridas diarias).
- **Cantidad de parámetros a calibrar:** 9.



Parámetros de calibración:

Nueve (9) parámetros fueron calibrados:

CUADRO 2.2: Parámetros del modelo SWAT-2012 seleccionados como relevantes para las simulaciones hidrológicas y calibrados en el presente informe.

Parámetro	Nombre	Archivo SWAT-2012	Rango		Valor po
			Min	Max	Defecto
Initial SCS CN II value [-]	CN2	*.mgt	4.00e+00	9.50e+02	*
Base flow alpha factor [days]	ALPHA_BF	*.gw	1.00e-02	9.90e-01	4.80e-02
Saturated hydraulic conductivity [mm/hr]	SOL_K	*.sol	1.00e-03	1.00e+03	*
Available water capacity [mm H ₂ O/mm soil]	SOL_AWC	*.sol	1.00e-02	3.50e-01	*
Manning's "n" value for the main channel [-]	CH_N2	*.rte	1.40e-02	1.50e-01	1.40e-02
Effective hydraulic conductivity [mm/hr]	CH_K2	*.rte	0.00e-00	3.00e+02	0.00e+00
Precipitation lapse rate [mm/km]	PLAPS	*.sub	0.00e+00	0.50e+00	0.00e+00
Snow melt base temperature [°C]	SMTMP	*.bsn	0.00e+00	5.00e+00	5.00e-01
Minimum snow water content that corresponds to 100 % snow cover [mm]	SNOCOVMX	*.bsn	0.00e+00	1.00e+03	1.00e+00

* Valores por defecto basados en el tipo y uso de suelo de cada subcuenca.

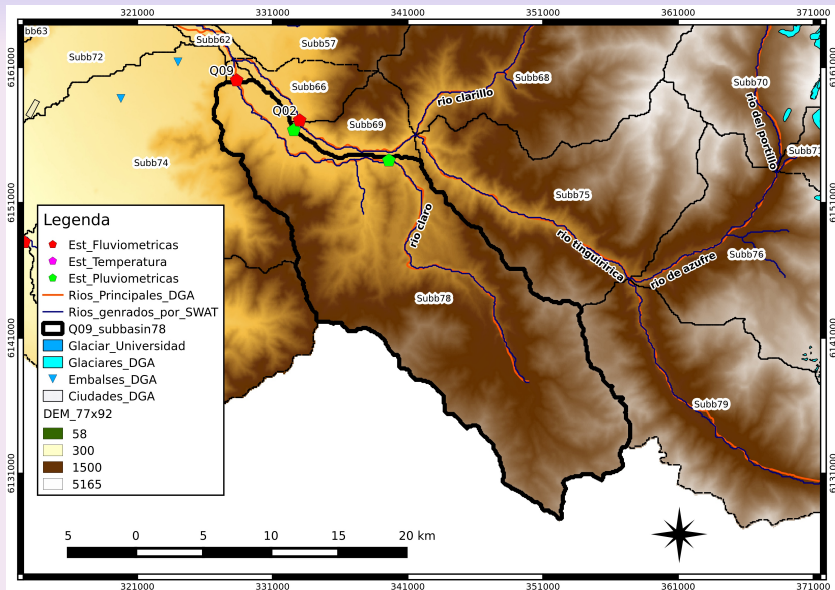


Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**

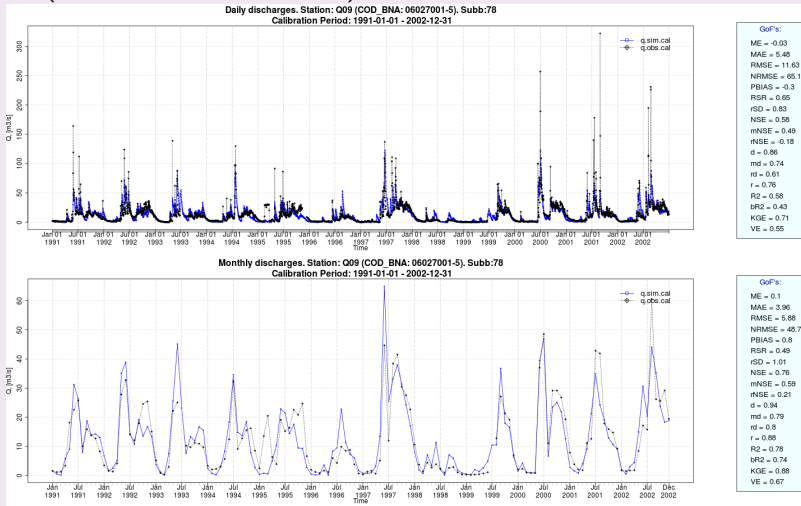


Río Claro en El Valle (Q09) - Ubicación:

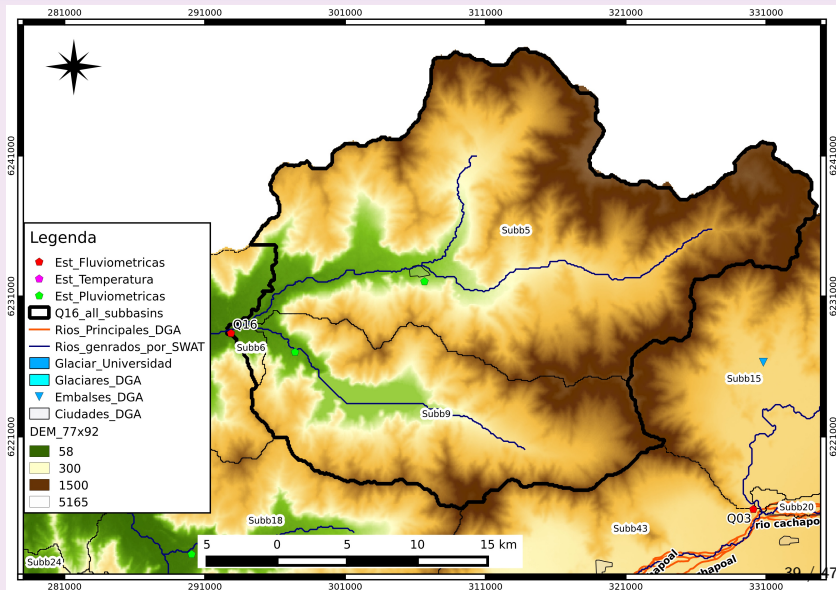


Río Claro en El Valle - Calibración:

Q09 (COD_BNA: 06018001-6):



Q16: Estero Alhué en Quilamuta (Q16) - Ubicación:



Q16: Estero Alhué en Quilamuta - Calibración:

Q16 (COD_BNA: 06043001-2):

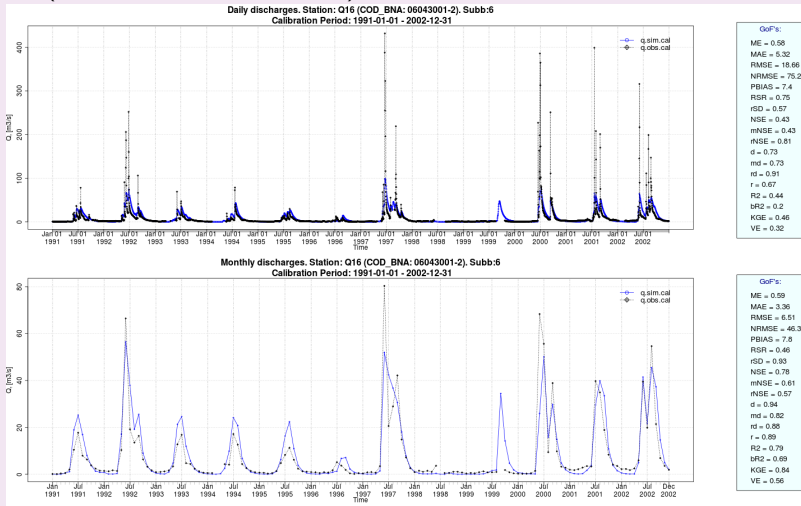


Tabla de Contenidos

- 1 **Descripción**
 - Historia
 - Características
 - (algunos) Modelos derivados
- 2 **Datos (globales)**
- 3 **Aplicaciones**
 - En el mundo
 - Caso en Chile
 - Datos geomorfológicos
 - Datos hidro-meteorológicos
 - Caudales medios diarios
 - Precipitaciones diarias
 - Temperaturas diarias
- 4 **Calibración SWAT 2012**
- 5 **Resultados preliminares**
- 6 **Comentarios**



Comentarios:

- **Limitaciones:** CN ; SWAT no incluye un modulo **glaciar**.
- No hay modelos perfectos, pero algunos son **útiles**.
- El **tipo de modelo** y la **función (multi-)objetivo** deben ser escojidos dependiendo del **problema** que se quiere resolver (**parsimonia** vs detalle espacio-temporal).
- Para obtener predicciones operacionales robustas, es necesario considerar la **incerteza paramétrica** y -en lo posible- la **estructural**.
- Los resultados de un modelo están muy relacionados a la cantidad y calidad de datos utilizados para alimentarlo.
- Necesitamos **datos**, más y mejores !!



Gracias por su atención !

mauricio.zambrano @ ufrontera.cl

Teléfono: +56 45 259 2812



(CR)²

Referencias I

- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S., Yang, H., 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resour. Res.* 45, W10434. doi:10.1029/2008WR007615.
- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., Srinivasan, R., 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology* 333, 413–430. doi:10.1016/j.jhydro1.2006.09.014.
- Arnold, J.G., Fohrer, N., 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes* 19, 563–572. doi:10.1002/hyp.5611.
- Arnold, J.G., Potter, K.N., King, K.W., Allen, P.M., 2005. Estimation of soil cracking and the effect on surface runoff in a Texas Blackland Prairie watershed. *Hydrological Processes* 19, 589. doi:10.1002/hyp.5609.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Allen, P.M., 1999. Continental scale simulation of the hydrologic balance. *Journal of the American Water Resources Association* 35, 1037–1051.



Referencias II

- Borah, D.K., Bera, M., 2004. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications. *Transactions of the ASAE* 47, 789–803.
- Cao, W.Z., Bowden, W.B., Davie, T., Fenemor, A., 2006. Multi-variable and multi-site calibration and validation of swat in a large mountainous catchment with high spatial variability. *Hydrological Processes* 20, 1057–1073. doi:10.1002/hyp.5933.
- Fontaine, T.A., Cruickshank, T.S., Arnold, J.G., Hotchkiss, R.H., 2002. Development of a snowfall-snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology* 262, 209–223. doi:10.1016/S0022-1694(02)00029-X.
- Gosain, A.K., Rao, S., Srinivasan, R., Reddy, N.G., 2005. Return-flow assessment for irrigation command in the palleru river basin using SWAT model. *Hydrological Processes* 19, 673–682. doi:10.1002/hyp.5622.
- Krysanova, V., Hattermann, F., Wechsung, F., 2007. Implications of complexity and uncertainty for integrated modelling and impact assessment in river basins. *Environmental Modelling & Software* 22, 701–709. doi:10.1016/j.envsoft.2005.12.029.



Referencias III

- Mapfumo, E., Chanasyk, D.S., Willms, W.D., 2004. Simulating daily soil water under foothills fescue grazing with the soil and water assessment tool model (Alberta, Canada). *Hydrological Processes* 18, 2787–2800. doi:10.1002/hyp.1493.
- Ndomba, P., Mtalo, F., Killingtveit, A., 2008. SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. *Physics and Chemistry of The Earth* 33, 626–632. doi:10.1016/j.pce.2008.06.013.
- Schuol, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., Yang, H., 2008a. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of Hydrology* 352, 30. doi:10.1016/j.jhydro1.2007.12.025.
- Schuol, J., Abbaspour, K.C., Yang, H., Srinivasan, R., Zehnder, A.J.B., 2008b. Modeling blue and green water availability in Africa. *Water Resour. Res.* 44, W07406. doi:10.1029/2007WR006609.
- Setegn, S.G., Srinivasan, R., Melesse, A.M., Dargahi, B., 2009. SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrological Processes* 4, 357–367. doi:10.1002/hyp.7457.



Referencias IV

- Thomson, A.M., Brown, R.A., Rosenberg, N.J., Srinivasan, R., Izaurrealde, R.C., 2005. Climate change impacts for the conterminous USA: An integrated assessment: Part4. Water resources. Climatic Change 69, 67–88. doi:10.1007/s10584-005-3610-y.
- Wu, K., Johnston, C.A., 2007. Hydrologic response to climatic variability in a great lakes watershed: A case study with the SWAT model. Journal of Hydrology 337, 187. doi:10.1016/j.jhydro1.2007.01.030.
- Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Yang, H., 2007. Hydrological modelling of the chaohe basin in china: Statistical model formulation and bayesian inference. Journal of Hydrology 340, 167. doi:10.1016/j.jhydro1.2007.04.006.
- Zhang, X., Srinivasan, R., Bosch, D., 2009. Calibration and uncertainty analysis of the SWAT model using Genetic Algorithms and Bayesian Model Averaging. Journal of Hydrology 374, 307. doi:10.1016/j.jhydro1.2009.06.023.

