

Generación de bases de datos de suelos para modelos hidrológicos a escalas regionales

Espindola, A.¹; Godagnone, R.²; Havrylenko, S.¹; de la Fuente, J. C.²; Mercuri, P.¹

¹ Instituto de Clima y Agua, ² Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Hurlingham (1686) Pcia.de Buenos Aires.

espindola.aime@inta.gob.ar

RESUMEN: Gestionar los recursos naturales hídricos con criterios de sostenibilidad exige conocer la disponibilidad de agua, su dinámica y la cantidad necesaria para mantener los procesos productivos, poblacionales y ecológicos. Diversos modelos hidrológicos distribuidos o semidistribuidos integrados a Sistemas de Información Geográfica (SIG), son aplicados para caracterizar sistemas hídricos y evaluar el impacto debido a factores naturales y antrópicos. Estos modelos requieren datos de entrada con información espacialmente distribuida de suelos, uso de suelo, elevación del terreno e información hidro-climática. La generación de estas bases de datos, que requiere una recopilación, tratamiento y carga de los datos, demanda la mayor parte del tiempo que debería estar destinado a la realización del trabajo de investigación. Por ello, la disponibilidad de esta información es de suma importancia para lograr avances significativos en el área de la modelización hidrológica. Este trabajo forma parte del proyecto “Una visión regional de la disponibilidad de agua y la huella hídrica en la Argentina para la conservación del agua”, siendo el objetivo general generar una base de datos de parámetros hidrológicos de suelos derivados de los datos analíticos del trabajo Recursos de Argentina en un SIG: Geomorfología, Suelos Vegetación y Uso a escala de reconocimiento 1:2.500.000, para la aplicación del modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Como resultados se logró una base de datos completa con información georreferenciada de calidad a nivel país para su aplicación al modelo SWAT. Esta base de datos es asimismo útil para otros modelos hidrológicos o investigaciones que requieran de la misma información.

INTRODUCCION

La creciente necesidad de agua dulce impulsada por una población en aumento, demanda una mayor eficiencia en la planificación y gestión de los recursos naturales hídricos (Muñoz et al., 2013). Gestionar este recurso vital para la sociedad y el medio ambiente con criterios de sostenibilidad exige conocer la disponibilidad de agua, su dinámica y la cantidad necesaria para mantener los procesos productivos, poblacionales y ecológicos. Por ello resulta necesario lograr predicciones hidrológicas precisas y confiables (Muñoz et al., 2013).

Existen diversos modelos hidrológicos distribuidos o semidistribuidos integrados a Sistemas de Información Geográfica (SIG), que con los últimos avances son aplicados para caracterizar sistemas hídricos y evaluar el impacto debido a factores naturales y antrópicos. Estos modelos precisan datos de entrada con información

espacialmente distribuida de suelos, uso de suelo, elevación del terreno e información hidro-climática, que serán manejadas a través de bases de datos.

La generación de estas bases de datos requiere de una recopilación, tratamiento y carga de grandes volúmenes de información. Es importante que estos datos estén estandarizados para obtener mayor consistencia, consolidación y comunicación, incrementa la eficiencia del conjunto de datos, genera menores costes al realizar transacciones de intercambio de datos y permite que los datos puedan utilizarse en diversas aplicaciones (Escalante et al., 2000). Asimismo, contar con fuentes fiables para diseñar una base de datos georreferenciados de calidad es esencial para obtener una modelización precisa. Esta tarea demanda la mayor parte del tiempo que debería estar destinado a la realización del trabajo de investigación. Es por ello que la disponibilidad de esta información es de suma importancia para lograr avances significativos en el área de la modelización hidrológica, evitando la innecesaria replicación de datos, optimizando el tiempo y los recursos invertidos en la investigación (Alonso y Valladares, 2006).

El trabajo presentado aquí forma parte del proyecto “Una visión regional de la disponibilidad de agua y la huella hídrica en la Argentina para la conservación del agua”. El objetivo general fue generar una base de datos de parámetros hidrológicos de suelos derivados de los datos analíticos del trabajo Recursos de Argentina en un SIG: Geomorfología, Suelos Vegetación y Uso, escala de reconocimiento 1:2.500.000 (Godagnone y de la Fuente, 2013) para la aplicación del modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Como resultado se logró una base de datos completa con información georreferenciada de calidad a nivel país para su aplicación en el modelo SWAT. La misma podrá ser utilizada en otros modelos hidrológicos o investigaciones que requieran de la misma información.

MATERIALES Y METODOS

La metodología comprendió las siguientes etapas: (i) procesamiento de los datos de entrada; (ii) cálculo de variables; y (iii) procesamientos de base de datos y generación de mapas.

Procesamiento de los datos de entrada

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó como fuente la base de datos del trabajo Recursos de Argentina en un SIG: Geomorfología, Suelos Vegetación y Uso, a escala de reconocimiento 1:2.500.000 (Godagnone & de la Fuente, 2013) del Instituto de Suelos del INTA, el cual fue elaborado empleando la metodología del Global and Nation Soils and Terrain Digital Databases (SOTER). Esta base de datos está compuesta por 388 unidades SOTER, que son unidades que representan una combinación única de características de terrenos y suelos (Peters

y van Engelen, 1995), representadas espacialmente por 617 polígonos. Dichas unidades cartográficas puede poseer hasta siete componentes, y los suelos representativos de los mismos, en este caso, pueden estar divididos hasta en seis horizontes (Figura 1).

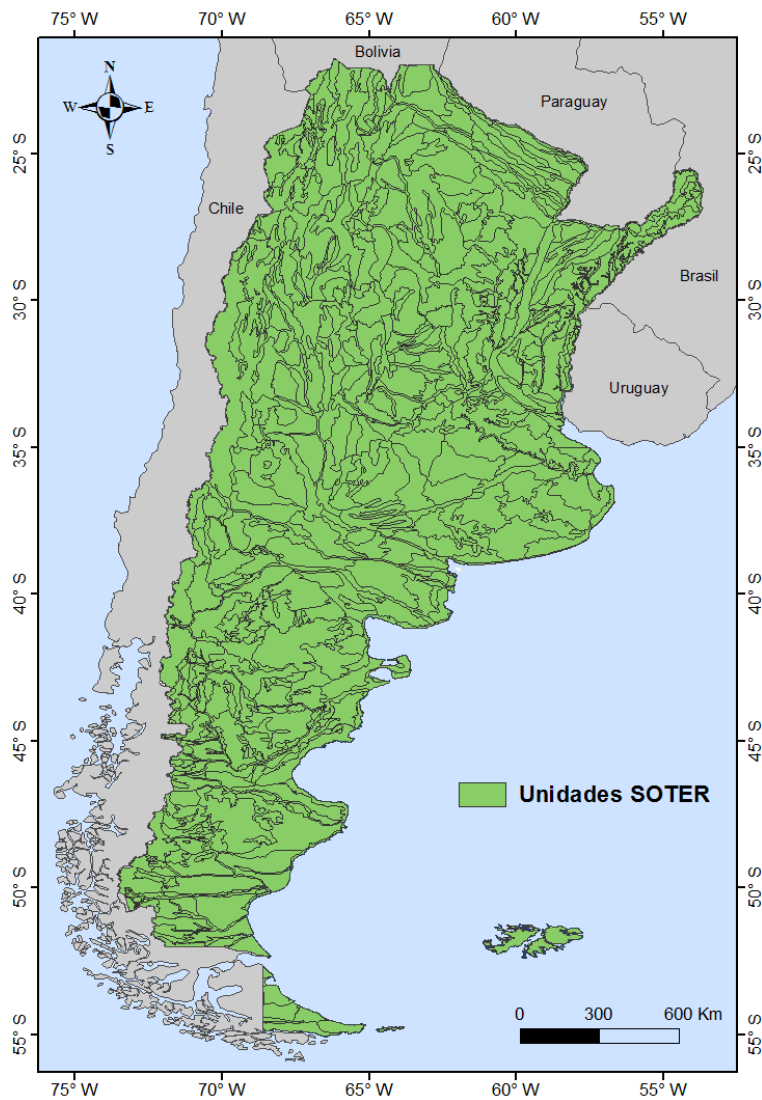


Figura 1.- Mapa de unidades SOTER (Godagnone & de la Fuente, 2013).

De todas las variables disponibles se seleccionaron sólo aquellas requeridas por el modelo hidrológico, a saber: profundidad inferior del horizonte, color en húmedo, abundancia de gravas, arena total, limo total, clase textural y carbono orgánico. Finalmente, esta información fue ordenada en una planilla de tal manera de conservar la composición y estructura de la base de datos inicial.

Cálculo de variables

En este trabajo se determinaron todos los parámetros físicos del suelo necesarios para aplicar el modelo SWAT, los que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Variables de input necesarias para modelización en SWAT (Arnold *et al.*, 2011).

Columnas	Descripción	Unidades	Formato F90
Información requerida a nivel de suelo			
TITLE/TEXT	Título		a80
SNAM	Nombre del suelo		a16
HYDGRP	Grupo Hidrológico	s/u	a1
SOL_ZMX	Máxima profundidad de las raíces	mm	f12.2
ANION_EXCL	Fracción de porosidad del cual los aniones son excluidos	Fracción	f5.3
SOL_CRK	Potencial o máximo volumen de grietas del perfil del suelo, expresado como una fracción del total del volumen del suelo	Fracción del volumen total del suelo	f5.3
TEXTURE	Textura	s/u	a80
Información requerida a nivel horizonte			

SOL_Z	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el final de la capa	mm	f12.2
SOL_BD	Densidad de humedad -volumen	Mg/m ³ o g/cm ³	f12.2
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible de la capa del suelo	mm H ₂ O/mm suelo	f12.2
SOL_K	Conductividad hidráulica saturada	m/hr	f12.2
SOL_CBN	Contenido de Carbono Orgánico	% Peso del suelo	f12.2
SOL_CLAY	Contenido de arcilla	% Peso del suelo	f12.2
SOL_SILT	Contenido de limo	% Peso del suelo	f12.2
SOL_SAND	Contenido de arena	% Peso del suelo	f12.2
SOL_ROCK	Contenido de fragmentos de roca	% Peso del suelo	f12.2
SOL_EC	Conductividad eléctrica	dS/m	f12.2
Información requerida a nivel de horizonte superficial			
SOL_ALB	Albedo suelo húmedo	s/u	f12.2

USLE_K	Ecuación Universal de Perdida del Suelo	0,013(metric ton m ² hr)/(m ³ -metric ton cm)	f12.2
--------	---	--	-------

Respecto de la información requerida a nivel de suelo, los índices TITLE, SNAM, SOL_ZMX, TEXTURE fueron tomados de la base de datos del Mapa de Suelos sin necesidad de calcularlos.

Seguidamente se determinó el parámetro hidrológico (HYDGRP, hydrological grup) que clasifica en cuatro grupos a los suelos según sus potenciales de escorrentía bajo condiciones climatológicas similares. Los mismos se dividen en cuatro grupos cuyas denominaciones van de la letra "A" a la "D", donde "A" representa suelos con una alta velocidad de infiltración y un bajo potencial de escorrentía y en su extremo la letra "D" representa suelos con una muy baja velocidad de infiltración y una muy lenta velocidad de escorrentía. Para su identificación, se siguieron los criterios establecidos por USDA y NRCS (National Resources Conservation Service) (2007) que se basan en la tasa de infiltración final (mm/h), la permeabilidad en la capa superficial (mm/h), la capa más restrictiva debajo de la superficie hasta una profundidad de 1.0 metro (mm/h), el potencial de expansión-contracción de la capa más restrictiva y la profundidad hasta la roca madre o pan de cemento (mm).

Por otra parte, el parámetro SOL_CRK fue calculado sólo en aquellos suelos de características vertisolicas mediante el método de Bronswik (1989; 1990; en Neitsch, 2011). Los suelos que no cumplían con esta condición se les asigno un valor de 0.5 que es el valor dado por default.

Finalmente, al parámetro ANION_EXCL por no contar con la información necesaria para su determinación se le asignó un valor de default igual a 0.5.

En relación a la información requerida a nivel de horizonte, los índices SOL_Z, SOL_CBN, SOL_CLAY, SOL_SILT, SOL_SAND, SOL_ROCK fueron tomados de la base de datos del Mapa de Suelos sin necesidad de cálculo. Luego se determinaron los índices SOL_AWC y SOL_K empleando el software Soil Water Characteristic versión 6.02.74 (Saxton y Rawls, 2006). Este software fue desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Hidrología y Sensores Remotos de Estados Unidos (USDA- ARS, Agricultural Research Service) en cooperación con el Departamento de Sistemas de Ingeniería Biológica de la Universidad de Washington (Saxton et al., 2006). Es un software de uso libre y se puede descargar desde el enlace <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>. Para el cálculo de los parámetros fue necesario incorporar la siguiente información: textura del suelo, materia orgánica, contenido de grava, salinidad y compactación. En la Figura 2 se puede observar una salida del programa cuyos resultados se resaltan en el sector superior derecho.

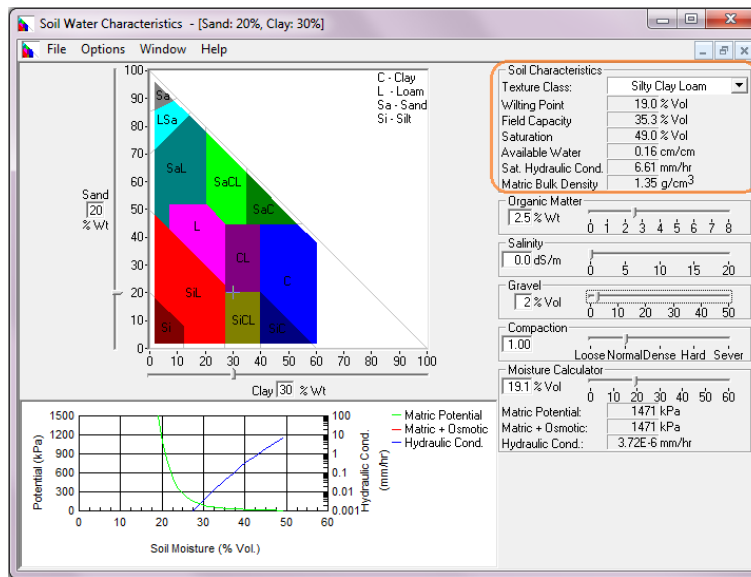


Figura 2.- Captura de pantalla del Software Soil Water Characteristics.

A nivel horizonte superficial, se calcularon los parámetros Albedo y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE-K, Universal Soil Loess Equation).

Para determinar el valor del albedo de forma aproximada se usó la siguiente Ecuación (1) (USDA-NRCS, 2012).

$$\text{Albedo} = 0.069 (\text{Valor del Color}) - 0.114 \quad (1)$$

Donde Valor del Color es el valor del suelo seco según la tabla de colores de Munsell.

La USLE-K expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (Wishmeier y Smith, 1971). Esta ecuación permite calcular la erosionabilidad del suelo cuando el contenido de limo y arena muy fina representan menos del 70% de las partículas del suelo. El factor de erosionabilidad (Kusle) se calculó con la siguiente ecuación (2) (Arnold et al., 2011).

$$K_{usle} = \frac{0.00021 M^{1.14} (12 - OM) + 3.25 (C_{soilstr} - 2) + 2.5 (C_{perm} - 3)}{100} \quad (2)$$

Donde M indica el tamaño de partícula, OM el porcentaje de materia orgánica, Csoilstr el código de la estructura de suelo utilizado en la clasificación del suelo y Cperm es la clase de permeabilidad del perfil.

El tamaño de la partícula (M) se calculó utilizando la Ecuación (3) y el porcentaje de materia orgánica (OM) y fue determinada con la Ecuación (4).

$$M = (M_{silt} + M_{vfs})(100 - M_c) \quad (3)$$

Donde Msilt es el porcentaje de limo (0.002-0.05 mm) y Mvfs el porcentaje de arena muy fina (0.05-0.1 mm), y Mc es el porcentaje de arcilla (menor a 0.002 mm).

Donde orgO es el dato de carbono orgánico y fue obtenido de la base de datos de Suelos.

Procesamiento de base de datos y generación de mapas

El procesamiento de la base de datos inicial consistió en primer lugar, en la creación de una nueva base de datos que contenga sólo la información necesaria y sin perder la estructura de datos originales. Se eliminaron las unidades SOTER (Figura 1) que presentaron su información replicada para trabajar con una base de menor volumen. No obstante, se conservó el identificador de cada unidad SOTER denominado "Gid" para luego poder vincular esta información espacialmente. Seguidamente, cada unidad SOTER se dividió por componente y se traspusieron las filas (agrupando la información de cada componente) en columnas y secuencialmente se dispusieron los registros de cada componente uno debajo del otro. A continuación, se creó un nuevo campo alfanumérico (A01, A02, ...) cuya finalidad fue asignar a cada unidad SOTER un nuevo código de identificación. De esta manera se identificaron todas las unidades repetidas con el mismo código para luego calcular por única vez los parámetros requeridos para cada código.

Se ordenaron los parámetros de la Tabla 1 en una planilla de Excel en el formato de entrada requerido por SWAT. Todas las variables se expresaron con el formato del lenguaje de programación Fortran 90 (FORmula TRANslating System). La Tabla 1 muestra para cada parámetro el tipo de formato de entrada en F90. La letra "a" indica formato carácter y el número que la sucede la cantidad de letras posibles, mientras que "f" indica el formato decimal y los números la cantidad de dígitos enteros o fraccionarios en que debe expresarse el resultado obtenido de los cálculos.

Finalmente para la generación de los mapas resultantes se utilizó el software Quantum GIS versión 1.8.0 Lisboa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalmente, los modelos hidrológicos asocian la información ingresada a las diferentes bases de datos originales vinculadas al sistema de clasificación del país de origen del software, tal como el SWAT que asocia por default la información de suelos a las bases de datos STATSGO (State Soil Geographic Data Base). En el presente trabajo donde se utilizó el Mapa de Suelos esto no fue factible, y para poder ingresar esta información al programa fue necesario crear un nuevo archivo ad hoc con la estructura y organización dada por SWAT. De esa manera se pudo vincular la información de los suelos existente con la nueva base de datos.

Por lo dicho anteriormente, la importancia de este trabajo reside en la elaboración de una base de datos de parámetros hidrológicos de suelos a nivel país, a escala de uso regional 1:2.500.000, para que pueda ser utilizada

en diferentes modelos hidrológicos y en particular en el modelo SWAT. Esta base está asociada a una cobertura de tipo raster a partir de un identificador común, pudiendo de este modo ser visualizada y manipulada en programas SIG. Al mismo tiempo, este trabajo demostró que el coste de integrar, procesar y compilar datos en una nueva base es muy alto, tanto en tiempo como en recursos humanos; a pesar de contar con la información necesaria, las metodologías desarrolladas y los diferentes software para procesar dicha información. Se observa la necesidad de continuar con la elaboración de bases de datos hidrológicas en organismos generadores de información, tales como el INTA, que provean la información que requieren los modelos a escala regional (usos de suelo, clima, topografía, entre otros) a los diferentes usuarios. De este modo, los investigadores dispondrían de ese valioso tiempo en otras tareas específicas de la investigación en sí.

La base de datos de parámetros hidrológicos estará disponible en el sistema de información online GeoINTA (<http://geointa.inta.gov.ar>), desde donde el usuario podrá visualizar los mapas correspondientes, interactuar con otros proyectos de la plataforma y descargar la información de forma gratuita.

CONCLUSIONES

La modelización hidrológica permite conocer la disponibilidad de agua, áreas deficitarias o vulnerables. Es una herramienta fundamental para la toma de decisiones y posibilita gestionar los recursos hídricos con criterios de sostenibilidad. Sin embargo, para lograr su puesta en marcha, previamente se requiere de la generación de bases de datos con información georreferenciada, estandarizada y de calidad. En la medida que los datos sean de mejor calidad y confiabilidad se logrará un mejor desempeño de los modelos. Este trabajo permitió generar un producto de estas características, de utilidad para trabajar con SWAT u otros modelos hidrológicos, como así también investigaciones que requieran de la misma información.

BILBIOGRAFIA

- Alonso B. & F. Valladares. 2006. Bases de datos y metadatos en ecología: compartir para investigar en cambio global. Ecosistemas. Asociación española de ecología terrestre, 15(2):83-88. Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7794/1/ECO_15%282%29_11.pdf [Acceso 05 Julio 2013].
- Arnold, J. G.; J. R. Kiriny; R. Sirinivasan; J. R. Williams; E. B. Haney & S. L. Neitsch. 2011. "Soil and Water Assessment Tool. Input/Output file documentation. Version 2009". Technical Report N° 365. Texas: Texas A&M University System, 662 pp.
- Escalante T.; J. Llorente; D. Espinosa & J. Soberón. 2000. Base de datos y sistemas de información: aplicaciones en biogeografía. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 24(92):325-341. Disponible en: http://www.acefyn.org.co/revista/Vol_24/92/325-341.pdf [Acceso 05 de Julio 2013].
- Godagnone, R.E & J. C. de la Fuente. 2013. Recursos de Argentina en un SIG. Geomorfología, Suelos Vegetación y Uso, escala de reconocimiento 1:2.500.000. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. En prensa.

- Muñoz, E.; J. L. Arumi & D. Rivera. 2013. Watersheds are not static: Implications of climate variability and hydrologic dynamics in modeling. *Bosque*, 34(1):7-11. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071792002013000100002&lng=es&nrm=iso [Acceso 05 de Julio 2013].
- Natural Resources Conservation Service (NRSC) -United States Department of Agriculture (USDA). 2007. Hydrologic Soil Grups. *Hydrology National Engineering Handbook N° 630*. Chapter 7. Disponible en: <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17757.wba> [Acceso 11 de Junio 2013].
- Natural Resources Conservation Service (NRSC) -United States Department of Agriculture (USDA). 2012. Montana Guide: Albedo, Dry. Disponible en: <http://www.mt.nrcs.usda.gov/soils/mlra/guides/soilprop/albedo.html> [Acceso 11 de Junio 2013].
- Neitsch, S. L.; J. G. Arnold; J. R. Kiniry & J. R. Williams. 2011. "Soil and water assessment tool. Theoretical documentation: version 2009". Reporte Técnico N° 406. College Station, Texas: Texas Water Resources Institute, Texas A&M University, 647 pp. Disponible en: <http://swat.tamu.edu/documentation/> [Acceso 11 de Junio 2013].
- Peters, W. L. & V. W. P. van Engelen. 1995. "Guía para la recopilación de la base de datos SOTER a una escala de 1:5M". Reporte Técnico 95-06. Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos. Disponible en: http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC_Report_95_06.pdf [Acceso 23 de Julio 2013].
- Saxton, K. E. & W. J. Rawls. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*. 70:1569-1578. Disponible en <http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/Soil%20Water%20Characteristics-Paper.pdf> [Acceso 17 de Julio 2013].
- Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall losses: A guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook N° 537. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D. C.