



JASMIN

Una documentación de los distintos productos
y métodos empleados actualmente para
estimar la humedad del suelo



EDITORIAL FACULTAD AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES



JASMIN: Joint Assessment of Soil Moisture Indicators, JASMIN, for southeastern South America / Adriana Basualdo ; Hugo Berbery; Cecilia Hidalgo; editado por Adriana Basualdo; Hugo Berbery; Cecilia Hidalgo. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2017.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-3738-11-1

1. Humedad del Suelo. I. Berbery, Hugo. II. Hidalgo, Cecilia. III. Basualdo, Adriana, ed. IV. Berbery, Hugo, ed. V. Hidalgo, Cecilia, ed. VI. Título. CDD 624.1517

Coordinadores:

Adriana Basualdo; E. Hugo Berbery

Participantes:

Alvaro Soldano; Carolina Gonzalez Morinigo; Celeste Saulo;
Cintia Bruscantini; Danilo Dadamia; Dirceu Herdies;
Federico Claus; Federico Bert; Francisco Grings;
Gloria Cristina Pujol; Haydee Karszenbaum; Joao Mattos;
Laura Frulla; Leandro Sgroi; Lorena Ferreira;
M. Elena Fernández Long; Maria Eugenia Dillon; Mauro Holzman;
Max Pasten; Omar Müller; Pablo Spennemann;
Raúl Rivas; Roberto De Ruyver; Sandra Occhiuzzi; Silvina Righetti

JASMIN es parte del proyecto

IAI CRN-3035 - Servicios Climáticos

Investigadora Principal: Dra. Cecilia Hidalgo

Enero, 2017

Fotografía de tapa: Analía Novak

Como citar este texto:

Basualdo, A., E. H. Berbery, C. Hidalgo, D. Dadamia, A. Soldano, R. De Ruyver, F. Bert, M. E. Fernández Long, C. Bruscantini, S. Cañas, F. Claus, M. E. Dillon, L. Ferreira, L. Frulla, C. Gonzalez Morinigo, Y. García Skabar, F. Grings, D. Herdies, M. Holzman, H. Karszenbaum, J. Mattos, O. V. Müller, S. Occhiuzzi, M. Pasten, G. C. Pujol, S. Righetti, R. Rivas, C. Saulo, L. Sgroi, P. Spennemann, 2016: El proyecto "JASMIN", Joint Assessment of Soil Moisture Indicators (JASMIN) for southeastern South America (Valoración conjunta de indicadores de humedad del suelo para la región sudeste de Sudamérica).

JASMIN

Joint Assessment of Soil Moisture Indicators
(JASMIN) for southeastern South America.

Valoración conjunta de indicadores de humedad
del suelo para la región sudeste de Sudamérica

Una documentación
de los distintos productos
y métodos empleados actualmente
para estimar la humedad del suelo



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad de Buenos Aires

DECANO

Ing. Agr. Dr. Rodolfo A. Golluscio

VICE DECANO

Ing. Agr. Dra. Marcela E. Gally

SECRETARÍAS

ACADÉMICA

Ing. Agr. Adriana M. Rodríguez

INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Dra. Adriana Kantolic

ASUNTOS ESTUDIANTILES Y
BIENESTAR DE LA COMUNIDAD

Ing. Agr. M.Sc. Alejandra Gil

DESARROLLO Y RELACIONES INSTITUCIONALES

Ing. Agr. M.Sc. Dr. Gustavo Schrauf

EXTENSIÓN

Ing. Agr. Dra. Patricia B. Durand

SUPERVISIÓN ADMINISTRATIVA

Ing. Agr. Guillermo Hanickel

ASUNTOS LEGALES

Abog. Mariana Guissarri Espin

EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA

Director

ING. AGR. ANTONIO J. PASCALE

PRIMERA EDICIÓN - Enero 2017

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.743

Reservados todos los derechos.

Prohibida la reproducción o uso tanto en español o en cualquier otro idioma,
en todo o en parte por ningún medio mecánico o electrónico, para uso
público o privado, sin la previa autorización por los autores.

Copyright © 2016 - ISBN 978-987-3738-11-1

ISBN 978-987-3738-11-1



Impreso en la Argentina - Printed in Argentine

EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Avda. San Martín 4453 - (1417) Buenos Aires - Argentina

e-mail:efa@agro.uba.ar / www.agro.uba.ar

Indice

El desafío de proveer “servicios climáticos” en el Sudeste de Sudamérica (SESA).....	7
Presentación de JASMIN.....	11
Parte 1 - Mediciones <i>in situ</i>	15
Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).....	17
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	25
Parte 2-Balances Hídricos.....	27
Oficina de Riesgo Agropecuario.	
Ministerio de Agroindustria.....	29
Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas.	
Facultad de Agronomía-UBA	35
Departamento de Investigación, Posgrado y Extensión, División de Meteorología, Facultad Politécnica.	
Universidad Nacional de Asunción (FPUNA)	41
Parte 3 – Modelos de superficie del suelo:	
no acoplados y acoplados	45
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera.....	47
University of Maryland – Universidad Nacional del Litoral	51
Servicio Meteorológico Nacional – Argentina.....	57
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Brasil.....	63

Presentación

Parte 4 - Estimaciones Satelitales	67
Servicio Meteorológico Nacional.....	69
Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” ..	75
Instituto de Astronomía y Física del Espacio	79
Glosario.....	85
Siglas y links de las instituciones participantes.....	87

El desafío de proveer “servicios climáticos” en el Sudeste de Sudamérica (SESA)



Cecilia Hidalgo (UBA)
Investigadora Responsable
Proyecto IAI-Servicios Climáticos SESA
proyectoiai.serv.climaticos@gmail.com

La cooperación científica y la participación pública son hoy consideradas esenciales para mejorar la capacidad tanto de gobiernos como de diferentes sectores sociales de responder a los retos planteados por el cambio global. El reconocimiento de la complejidad y el dinamismo de los sistemas socio-naturales está conmoviendo la forma misma de producir conocimiento sobre el clima, haciendo cada vez más porosos los límites entre distintos ámbitos de saber y de práctica, y más perentoria la colaboración interdisciplinaria e intersectorial.

El texto que presentamos da testimonio de tal orientación cooperativa: se documentan los primeros pasos dados por un conjunto de personas e instituciones que se han unido en el grupo denominado JASMIN para avanzar colectivamente en la evaluación de las estimaciones y productos disponibles referidos a la humedad del suelo. Sus coordinadores, Hugo Berbery y Adriana Basualdo, han trazado una agenda explícita de trabajo, creando un espacio de interacción sostenida a lo largo del tiempo, donde los diferentes integrantes comparten sus perspectivas, experiencias y resultados de un modo que trasciende el conocimiento mutuo más superficial o acotado a vínculos bilaterales que se tenía hasta hace poco.

Las acciones emprendidas por los integrantes de JASMIN se enmarcan en la labor de una red colaborativa de investigación aún más amplia que lleva adelante el proyecto titulado “Hacia una ciencia del clima utilizable – Información para la toma de decisiones y la provisión de servicios climáticos para los sectores agrícola e hídrico del sudeste de América del Sur”. Esta red, de índole multinacional, interdisciplinaria y con inclusión de actores sociales (<http://serviciosclimaticos.blogspot.com.ar/>) cuenta con el financiamiento del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) y está constituida por investigadores de las ciencias del clima, ciencias sociales y agronomía, así como por una amplia gama de partes interesadas (organismos gubernamentales y organizaciones no gubernamentales) de la Argentina, Brasil, Paraguay y EEUU.

La investigación se despliega a escala regional, abarcando la región sur de Brasil, este de Paraguay y centro-este de Argentina y pretende contribuir a la consolidación científica del Centro Climático Regional para el Sur de América del Sur (CCR-SSA o RCC-SSA por su sigla en castellano e inglés respectivamente) de reciente creación por parte de la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas (OMM) para la región. Los centros climáticos regionales están encargados de suministrar información y predicciones climáticas, transferir conocimientos técnicos y facilitar la comunicación a nivel regional entre los servicios meteorológicos e hidrológicos de las naciones participantes. El CCR-SSA está dirigido conjuntamente por Brasil y la Argentina, con inclusión de Paraguay y Uruguay como miembros activos, y de Bolivia y Chile como miembros observadores (en tanto miembros activos del CCR del oeste de América del Sur).

La creación del CCR-SSA ha puesto a quienes lo impulsan en la región en una situación en la que la alta motivación y el entusiasmo prevalecen por sobre el inmenso esfuerzo de coordinación y creatividad que supone una colaboración a escala regional. Colaboración en la que los roles e identidades se transforman, donde los participantes están llamados a actualizarse y salir de las rutinas orientadas a cuestiones exclusivamente técnicas para avanzar en dirección a contribuciones robustas y relevantes a la hora de la toma de decisiones. Un nuevo concepto, el de “servicios climáticos”, sintetiza esta orientación y ha sido introducido con gran éxito en las agendas científicas y operacionales a nivel global. En efecto, la OMM, que auspicia investigaciones tendientes a lograr un conocimiento autorizado, relevante y útil sobre

el clima, el tiempo y la atmósfera, ha recomendado fortalecer los “servicios climáticos” de manera tal que los avances científicos se articulen con la planificación y la toma de decisiones políticas. Para ello ha formulado un Marco Global (GFCS “Global Frame for Climate Services”- OMM 2011) cuyos objetivos son la provisión de información climática y meteorológica oportuna, útil y confiable a usuarios de sectores sensibles al clima (en particular, el energético, hídrico, agropecuario y sanitario), así como a la población en general. La articulación regional entre los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales y el diálogo con los usuarios y las instituciones sectoriales sensibles al clima son pilares de la agenda.

La meta de proveer servicios climáticos exige una comunicación entre científicos, decisores y legos que permita integración y ajustes de los resultados, traducción de la información en impactos y pautas de acción viables, exploración de formas institucionales innovadoras. En tal sentido, el Marco Mundial para los Servicios Climáticos destaca la centralidad que adquiere la interacción con los que denomina “usuarios” para que los centros climáticos regionales que se han creado puedan cumplir sus funciones obligatorias. Las actividades operacionales previstas se orientan a la interpretación y evaluación de las predicciones que realizan los centros mundiales dedicados al clima; a la elaboración de productos regionales (en especial proyecciones estacionales) adaptados a las necesidades de los usuarios potenciales; a proporcionarles acceso en línea a estos productos y servicios; a evaluar tales productos y servicios sobre la base de la retroinformación que los usuarios faciliten; a la realización de diagnósticos climáticos que incluyan la variabilidad del clima y los extremos climáticos a escala regional y subregional; al establecimiento de una climatología histórica de referencia y de un sistema regional de vigilancia, la coordinación de la formación de los usuarios en la interpretación y uso de los productos provistos por los centros climáticos regionales.

La profundidad de los cambios necesarios para hacer frente a la provisión efectiva de conocimiento climático útil requiere no sólo la producción sino de la interpretación, evaluación y síntesis de muy variados tipos de información agroclimática de diagnóstico y pronóstico y en múltiples escalas temporales, entre los que la relativa a la humedad del suelo es crucial. La colaboración entre actores con trasfondos de conocimiento y de práctica diversos hace visibles limitaciones también variadas, sea inherentes en el sistema del clima (qué variables se

pueden monitorear o predecir, con qué resolución espacial y cuánta capacidad/habilidad para proveer información de pronóstico), sea atinentes a aspectos técnicos de la información (el formato en que se presenta información incierta, el momento y oportunidad de su lanzamiento en relación con la toma de decisiones, entre otros).

Son múltiples los antecedentes de cooperación que precedieron la interacción abierta tanto por el lanzamiento del CRC-SSA como del proyecto de Servicios Climáticos que da marco a JASMIN. Pero la colaboración interinstitucional solía restringirse a contactos bilaterales. Hoy la conexión se profundiza en circuitos ampliados de producción e intercambio de datos e información meteorológica, hidrológica, satelital, agronómica y social. El Marco Global, el CRC-SSA y el Proyecto IAI de Servicios climáticos han constituido incentivos para salir del esquema bilateral y comenzar a conectar en red a un conjunto extenso de nodos institucionales. JASMIN es un ejemplo en este sentido, por la manera como sus integrantes han sabido profundizar sus vínculos previos y proyectar alianzas de trabajo conjunto acerca de la humedad del suelo. Asistimos a la consolidación de un amplio grupo de pares convencidos del valor y la oportunidad de asumir el desafío de proveer servicios climáticos en el Sudeste de Sudamérica.

Presentación de JASMIN



Adriana Basualdo
Co-coordinadora del Grupo JASMIN
Oficina de Riesgo Agropecuario,
Ministerio de Agroindustria



Hugo Berbery
Co-coordinador del Grupo JASMIN
Earth System Science Interdisciplinary Center
Universidad de Maryland

La iniciativa colaborativa denominada JASMIN por sus siglas en inglés (Joint Assessment of Soil Moisture Indicators) es un esfuerzo mancomunado para avanzar en las estimaciones de humedad del suelo y responder a las necesidades de los usuarios, en particular de los sectores agropecuario e hídrico. JASMIN busca identificar fortalezas, puntos débiles y posibilidad de integración de cada una de las diferentes estimaciones de humedad del suelo, una variable fundamental para muchas áreas científicas y de desarrollo. JASMIN también busca mejorar el entendimiento de los procesos físicos que regulan la variabilidad de la humedad del suelo, así como el desarrollo de nuevas técnicas de estimación que sean particularmente apropiadas para la región sur de Sudamérica.

Humedad del suelo es la cantidad de agua contenida en un volumen de suelo, es decir, el agua que queda retenida entre las moléculas que forman el suelo. Esta medida puede expresarse en diferentes unidades, como milímetros [kg m⁻²], peso de agua por volumen de suelo, porcentaje en volumen, y demás. La cantidad de agua que un volumen dado de suelo es capaz de retener difiere según sus características, principalmente la textura.

Establecer el contenido de humedad del suelo es de vital importancia para muchas actividades. Una de sus más claras aplicaciones está relacionada con la agricultura y la ganadería. Los distintos actores del sector agropecuario necesitan productos confiables que describan la humedad del suelo presente en cada momento, con propósito de planificación acciones y de estrategias, cálculo de lámina de riesgo necesaria, etc. También es evidente su relevancia en temas hidrológicos y ecológicos. Pero además, la humedad contenida en la superficie del terreno interactúa con la atmósfera y es una componente esencial en los modelos de pronóstico meteorológico.

Las formas habituales de medir el contenido de agua en el suelo son: mediante el método gravimétrico (peso del agua retenida en una muestra de suelo) o a través de sondas que calculan la cantidad de agua mediante una calibración entre la humedad y una propiedad que es más fácil de medir en el interior del suelo (tensión, dispersión o atenuación de la radiación, constante dieléctrica o resistencia eléctrica), la cual se mide a través de sondas móviles o enterradas en sitios fijos.

Lamentablemente, no existen suficientes puntos de medición del contenido de humedad del suelo como para tener noción del mismo en áreas extensas. Por lo tanto, la estimación indirecta, basada en derivaciones de esta variable para su monitoreo, es una alternativa frecuentemente empleada. Los métodos de estimación de humedad del suelo más comunes son: modelos de balance hídrico (o de masa), modelos de superficie e hidrológicos (acoplados o no a modelos atmosféricos) y, más recientemente, algoritmos basados en información satelital (sensores pasivos o activos).

En el sudeste de Sudamérica -un área conocida mundialmente por su importancia como generadora de productos agropecuarios- existen numerosos esfuerzos independientes que tienen como objetivo de medir o estimar el contenido de humedad del suelo. En esta región está en proceso de establecimiento un Centro Regional del Clima

(CRC-SSA), con la participación de los servicios meteorológicos nacionales de los países del área e instituciones afines. Uno de los objetivos del CRC-SSA y del Proyecto IAI-CRN3035, estrechamente entrelazados entre sí, es reunir estos esfuerzos a través de una red de investigación colaborativa.

La iniciativa JASMIN, dentro del Proyecto IAI-CRN3035, está desarrollándose en cuatro etapas. La primera, que consiste en la documentación de los diferentes productos y las metodologías con las cuales se desarrollan, ya ha sido completada y sus resultados se plasman en esta publicación. La segunda etapa, que apunta al desarrollo de bases de datos comunes y protocolos consensuados de comparación de modelos, ha concluido también, por lo que se está en condiciones de abordar la tercera etapa, que es la de determinar maneras de integrar la información de las distintas fuentes. La cuarta etapa prevé la difusión de los productos combinados a la comunidad de usuarios.

Más de 10 grupos de organismos oficiales y unidades académicas están participando con diversas metodologías: (a) Observaciones in-situ, (b) Balance hídricos, (c) Modelos de suelo no acoplados, (d) Modelos de suelo acoplados con modelos atmosféricos, y (e) Estimaciones satelitales. Los grupos pertenecen a instituciones de la Argentina, Brasil y Paraguay, países que conjuntamente con EEUU son los que se hallan incluidos en el Proyecto IAI-CRN3035.

La Primera Parte de la presente publicación está dedicada a las mediciones in situ. Se mencionan allí las características principales de las redes de medición de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), de Argentina.

La Segunda Parte corresponde a distintas metodologías de balance hídrico. Participan de esta sección la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) del Ministerio de Agroindustria, la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía (FAUBA) y el Departamento de Agrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN), y el Departamento de Investigación, Posgrado y Extensión de la División de Meteorología de la Facultad Politécnica (FP-UNA), de Paraguay.

La Tercera Parte reúnen las estimaciones mediante modelos de superficie, acoplados y no acoplados. En esta sección se hallan los pro-

ductos del Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera (CIMA), de la Universidad de Maryland en cooperación con la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y del Servicio Meteorológico de la Argentina.

La Cuarta Parte está dedicada a estimaciones a través de información satelital, en la cual participan el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina (SMN), el Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” (IHLLA) y el Instituto de Astrofísica y Física del Espacio (IAFE), de la Argentina.

Las integradas en esta documentación no son las únicas instituciones de la región que trabajan operativamente en temas relacionados con la medición y estimación de humedad en el suelo: esperamos que con la difusión de esta publicación se logre la integración de nuevos colaboradores a la iniciativa JASMIN. Es también nuestro anhelo que esta experiencia colaborativa, en la que las Instituciones participan con tanta generosidad y entusiasmo, llegue a la comunidad científica para su conocimiento y evaluación, y que en el futuro pueda brindar un servicio útil a la comunidad en general en el marco del CRC-SSA.

Parte 1

Mediciones in situ

Las mediciones in situ del contenido de humedad del suelo implican un importante esfuerzo técnico y económico. Estas mediciones pueden ser a campo o en laboratorio. En el primer caso, se extraen muestras del terreno, a la profundidad de interés, y en laboratorio se mide la cantidad de agua contenida por unidad de volumen de suelo. Tienen la ventaja de ser muy precisas, pero son inviables para realizar un seguimiento de la humedad a tiempo real y en áreas extensas.

Las mediciones a campo se realizan a través de sensores que miden parámetros de los cuales se infiere el contenido de agua, como la constante dieléctrica del suelo, su resistencia eléctrica, su reacción al bombardeo con neutrones, entre otros. Las principales ventajas de estos dispositivos son que se puede medir el contenido de humedad en forma continua o a intervalos adecuados para un monitoreo constante y que es posible medir en muchos puntos automáticamente.

Misión SAOCOM

Laura Frulla
lfrulla@conae.gov.ar
Investigadora Principal Misión SAOCOM
Danilo Dadamia
ddadamia@conae.gov.ar
Álvaro Soldano
asoldano@conae.gov.ar

El proyecto SAOCOM desarrollado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en colaboración con la Agencia Espacial Italiana (ASI), llevarán a bordo tecnología Radar de última generación (en particular, Radares de Apertura Sintética o SAR) en el rango de las microondas (banda L con una frecuencia del orden de 1.2 Ghz). Estos satélites integrarán el Sistema Ítalo-Argentino de Satélites para Beneficio de la Sociedad, Gestión de Emergencias y Desarrollo Económico (SIASGE), creado por la Agencia Espacial Italiana (ASI) y la CONAE y diseñado específicamente para prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes naturales o antrópicas.

Uno de los objetivos de la misión SAOCOM es la medición de humedad de suelo desde el espacio con el objetivo de alimentar no sólo modelos hidrológicos, cuyos resultados son de utilidad para la elaboración de alertas tempranas en inundaciones, mejoramiento de pronósticos meteorológicos, sino también modelos de productividad agrícola y de estimación del contenido de humedad en el perfil del suelo, cuyos resultados son de utilidad para la toma de decisión en agricultura.

Con el fin de calibrar y validar los modelos desarrollados por esta tecnología Radar, la CONAE ha implementado una Red Telemétrica de Humedad del Suelo (RTHS), distribuidos a los largo de la región pampeana, cuyas características técnicas con mostradas en la siguiente tabla.

TIPO DE ESTIMACIÓN	Medición de la constante dieléctrica, componentes real y compleja, a 50Mhz, utilizando una señal TDR (Reflectómetro de Dominio del Tiempo)
DOMINIO	Red Telemétrica de Humedad del Suelo (RTHS) de la Misión SAOCOM.
PERIODO	Desde 2012 hasta la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Constante Dieléctrica (1 a 80 donde 1 = aire, 80 = agua destilada) con una precisión de $\pm 1,5\%$ o $0,2\%$ (la habitualmente mayor de las dos) Humedad de Suelo para suelos inorgánicos y minerales de completamente seco a totalmente saturado con una precisión de $\pm 0,03$ contenido volumétrico de agua en suelos normales. Conductividad 0,01 a 1,5 S/m $\pm 2,0\%$ o 0,005 S/m (la habitualmente mayor de los dos). Temperatura en el rango -10° a $+55^{\circ}$, con una precisión de $C \pm 0,1^{\circ}$ C Salinidad: Gramos NaCl / Litro
PROFUNDIDAD / CAPAS	5cm , 50cm y 1 m
RESOLUCIÓN ESPACIAL	Datos puntuales distribuidos en región pampeana (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa).
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Horaria
EN LA WEB	www.conae.gov.ar

1. OBJETIVO

Desarrollo, implementación y validación de estos modelos necesita de mediciones in situ o de campo sobre las variables: suelo, cultivos y clima. Muchos de estos datos son obtenidos de los instrumentos instalados en sitios específicos que conforman la Red Telemétrica de Humedad del Suelo (RTHS) de la misión de radar satelital SAOCOM.

2. METODOLOGIA

En la región pampeana se ha instalado sensores de tipo HydraProbe II (Stevens®) que registran horariamente la constante dieléctrica y la temperatura del suelo, calculando a partir de estos valores su humedad y salinidad.

- La RTHS de la Misión SAOCOM en la Región Pampeana consta, actualmente, de 54 puntos de medición, distribuidos geográficamente de manera tal de representar las distintas regiones fitogeográficas, donde se encuentran instalados en total 77 sondas automáticas de medición de la humedad del suelo, de la marca Stevens, modelo HydraProbe II (<http://www.stevenswater.com/catalog/stevensProduct.aspx?SKU=%2793640%27>). El periodo de registro varía de acuerdo a la antigüedad de instalación de cada nodo de medición (2012 en adelante).
- La sonda HydraProbe II posee curvas de transformación de la constante dieléctrica medida a valores de humedad del suelo. Estas curvas están clasificadas según el tipo de suelo donde se mide la humedad: franco, limoso, arcilloso o arenoso. Además, el software de la sonda permite cargar las constantes de calibración, obtenidas a partir del análisis de los registros obtenidos en las campañas de campo y en ensayos de suelos en laboratorio, a fin de utilizar una función de transformación única y ajustada para cada sensor y a cada tipo de suelo.
- Tanto las mediciones como los procesos en laboratorio y el desarrollo de las campañas de campo siguen protocolos que usan estándares universales. En particular se sigue la metodología de medición que avala la USDA (United States Department of Agriculture).

La descripción de la planilla completa de datos resultante de consultas a la base de datos de la RTHS se encuentra en la Tabla después de las Referencias.

Condiciones del uso de la información de la RTHS:

- Los datos de esta red son experimentales y CONAE sólo los cede para ser usados en actividades de investigación. Si algún profesional llegara a publicar los datos en algún trabajo o publicación, la CONAE solicita que figure como fuente: "CONAE 2014 (año de la publicación): Red Telemétrica de Humedad del Suelo de la Misión SAOCOM", y la fecha de la consulta a la base de datos.
- La RTHS está aún en etapa de desarrollo. Se cuenta actualmente con 54 nodos automáticos operativos y se prevé que en el 1° semestre del año 2016 se alcanzará el número total de 60, con 100 sondas automáticas de medición.
- El sistema de información geográfica "SAOCOM Apps WEB GIS" grafica puntos representativos de los puntos de instalación de las sondas automáticas de humedad del suelo, los puntos representativos de las mediciones de calibración realizadas en el campo y los límites de las parcelas agrícolas asociadas para la calibración del registro de la humedad del suelo.
- La base de datos todavía no está "consistida o depurada", así que presenta errores y discontinuidades en el registro de la información. Por lo tanto, la CONAE no se responsabiliza por el uso de esta información que pudieran hacer terceros.
- El archivo de salida de la búsqueda puede estar en formatos ".CSV" o ".dbf".
- En cada sitio se configura la transmisión del paquete de datos, de acuerdo a la disponibilidad de potencia de señal celular (GPRS) en la zona de instalación, por lo tanto la transmisión de los paquetes de registros horarios de datos puede variar desde la hora hasta las 24 horas. Cuando falta señal celular o se presenta algún problema en la alimentación de energía (las unidades de transmisión y recepción de datos cuentan con una batería que asegura la transmisión por 12hs), el sistema vuelve a intentar el envío hasta lograr efectuarlo. Por lo tanto, es probable que no todas las estaciones estén actualizadas al mismo tiempo.

3. PRODUCTO

La Misión SAOCOM no sólo está llevando a cabo mediciones en campo a fin de calibrar el registro de la humedad en un punto geográfico sino que, además, intenta correlacionar esa lectura con el valor medio representativo de la humedad en la superficie de la parcela agrícola asociada a ese sensor (que se identifican como “parcelas” en el GIS).

Se ha desarrollado un sistema de información geográfica que contiene y relaciona los registros de la RTHS y de las campañas de campo desarrolladas para la calibración de los sensores que la componen.

El producto de esta red telemétrica es el registro horario de los valores de humedad, temperatura y salinidad del suelo en la región pampeana.

Link a la página WEB del producto:

<https://saocom.aegis.conae.gov.ar/login.php?parPrjId=2a58c9a0953ddbb01841a16dac0a272b>

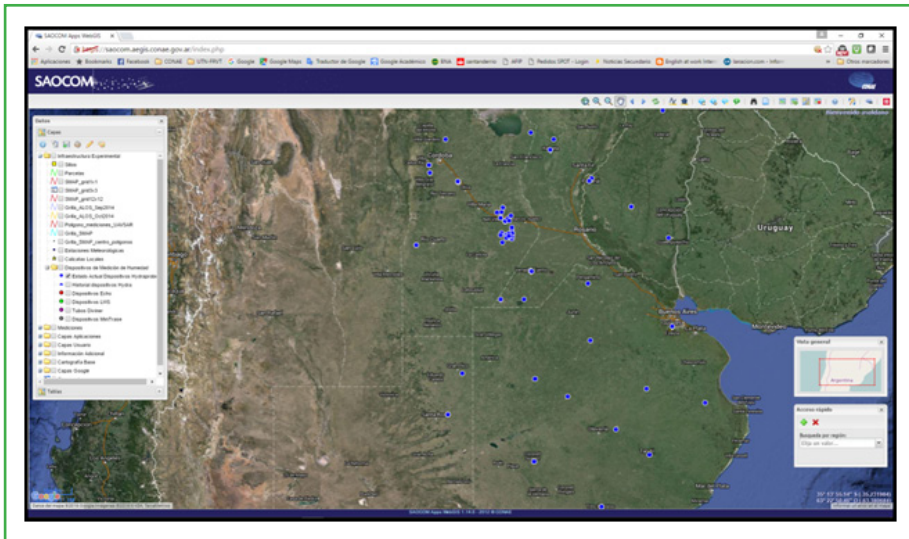


TABLA DE BASE DE DATOS DE LA RTHS

Columnas dbf	Variables representadas
FECHA_HORA	Fecha y hora (local) de la medición
PROFUNDIDAD	Profundidad de medición (cm). Profundidad a la que se encuentra enterrado el sensor
RSOILTEMPC	Temperatura de suelo [°C] (medida por el sensor)
RSOILTEMPF	Temperatura de suelo [°F] (medida por el sensor)
RREALDIELC	Parte real de la constante dieléctrica
RREALDI_01	Parte real de la constante dieléctrica compensada en temperatura
RIMAGINARY	Parte imaginaria de la constante dieléctrica
RIMAGIN_01	Parte imaginaria de la constante dieléctrica compensada en temperatura
RSOILMOIST	Humedad de suelo (cm ³ /cm ³) (parámetros de calibración de fábrica del sensor)
RSOILMO_01	Humedad de suelo calibrada (cm ³ /cm ³) (parámetros de calibración ajustados por el usuario)
RSOILCONDU	Conductividad de suelo [Siemens/Metro]
RSOILCO_01	Conductividad de suelo compensada en temperatura [Siemens/Metro]
RSOILSALIN	Salinidad de suelo [Gramos NaCl / Litro]
RSOILWATER	Conductividad de agua de suelo compensado en temperatura [Siemens/Metro]. No calculada
RDIODETEMP	Temperatura de la circuitería del sensor
TTIME	Tiempo de fin
INSERTTIME	Hora UTC
ALTITUD	Altura sobre el nivel del mar del sitio
STYPE	Tipo de Suelo (loam, sand, etc)
PARAMS_CAL	Parámetros de la ecuación de calibración del sensor
TEMP_SUELO	Temperatura de suelo relevada en campaña [°C] con termómetro portátil
SRTUID	Identificación de la Unidad de Transmisión Remota
RV1	Señal de respuesta cruda [V]
RV2	Señal de respuesta cruda [V]

RV3	Señal de respuesta cruda [V]
RV4	Respuesta del diodo termistor cruda [V]
RV5	Respuesta del termistor del suelo cruda [V]
RADC1	Lectura del conversor analógico digital de la Tensión 1, palabra digital de 10Bits
RADC2	Lectura del conversor analógico digital de la Tensión 2, palabra digital de 10Bits
RADC3	Lectura del conversor analógico digital de la Tensión 3, palabra digital de 10Bits
RADC4	Lectura del conversor analógico digital de la Tensión 4, palabra digital de 10Bits
RADC5	Lectura del conversor analógico digital de la Tensión 5, palabra digital de 10Bits
ID_DISPOSI	Identificación del sensor
OID	Identificador de objeto (Base de datos)
OBSERVACIO	Observaciones
NOMBRE_TAB	Nombre de tabla SQL
GID	Identificación de la medición
LATITUD	Latitud (grados decimales)
LONGITUD	Longitud (grados decimales)

Datos de humedad de suelo

Roberto De Ruyver
deruyver.roberto@inta.gob.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Medición de humedad de suelo mediante método gravimétrico
DOMINIO	Provincias del centro-este de la Argentina
PERIODO	Desde 2005 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Agua útil (mm), Agua porcentual (%), Déficit (mm)
PUNTOS DE OBSERVACIÓN	Total= 561 (actualizado a julio 2013). Detalle por provincia: Buenos Aires = 165 Chaco = 5 Córdoba = 85 Entre Ríos = 26 La Pampa = 204 Misiones = 14 Santa Fe = 62
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Valores mensuales aperiódicos.

1. OBJETIVO

El relevamiento llevado a cabo por RIAN-INTA tiene por objeto conocer el contenido de agua en el suelo junto al relevamiento de otros indicadores relevantes (tipo de cultivo en la cobertura y estado fenológico de los mismos).

2. METODOLOGIA

Las observaciones se realizan a campo por personal especializado, perteneciente al INTA, que colecta la información mensualmente. Para el caso particular de la medición de agua en el suelo, se realiza a través del método gravimétrico. No se tiene constancia del día del mes en el que fue obtenida la muestra. Se sabe que se realiza entre fines de mes y comienzos del mes siguiente. Para modelos corridos con datos diarios esta imprecisión generará inconvenientes.

Existe con los datos un problema en la periodicidad del relevamiento. Como el mismo se realiza en lotes cultivados de particulares, las mediciones se hacen en momentos “activos” del proceso fenológico del cultivo. Por ejemplo, las mediciones se hacen para algún lote (bien identificado) pero sólo entre julio y diciembre, si hay trigo. En otros casos se hizo un seguimiento completo de la campaña, comenzando en julio con trigo y siguiendo con maíz y soja de primera (a partir de diciembre) y soja de segunda (a partir de enero). Pero hay años en que la medición se interrumpe y no puede saberse si es porque no se hizo ningún cultivo en el lugar o si es porque no se fue a medir más en ese sitio. De este modo, desde la visión espacial, los datos resultan extremadamente discontinuos. Se deberá ser muy creativo metodológicamente para hacer útiles los datos en la mayor parte de los casos.

Posiblemente la mayor fortaleza de esta información esté radicada en su utilización en propósitos de validación de modelos de humedad de suelo.

3. PRODUCTO

Dado que son datos, no existe un producto específico, al día de hoy, para ellos.

Parte 2

Balances Hídricos

Los modelos de balance hídrico se basan en la ecuación de continuidad del agua en el sistema suelo - vegetación - atmósfera a través de flujos de entrada y salida. Es decir, plantean la igualación de los términos de entrada (o ganancia) de agua al sistema, como la precipitación y el riego, con el agua retenida en el suelo más los términos de salida (o pérdida) del sistema, como la evapotranspiración y el drenaje.

A partir de datos meteorológicos e información acerca de las características de la vegetación y del suelo, la humedad retenida por el suelo en cada paso de cálculo se establece por diferencias entre los valores estimados de los flujos de entrada y salida.

Los algoritmos de balance hídrico pueden ser muy sencillos, si se desprecian los términos que generalmente son de menor orden, como el escurrimiento superficial o la percolación profunda; o más sofisticados, si se tiene en cuenta el consumo hídrico de la vegetación en cada etapa de su desarrollo, el aporte de la napa freática, u otros factores.

Sistema de monitoreo y alerta temprana del estado hídrico de los cultivos

Adriana Basualdo
adrianabasualdo@fibertel.com.ar
Sandra Occhiuzzi
socchi@minagri.gob.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Balance hídrico
DOMINIO	Argentina (menos Patagonia)
PERIODO	Desde 1970 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Contenido de agua en el suelo, excesos hídricos, índice de satisfacción hídrica, escenarios a futuro de humedad del suelo.
PROFUNDIDAD / CAPAS	30 cm y 1 m (o profundidad menor si se informan limitaciones)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	Vertical: hasta 1 m (según profundidad del suelo). Horizontal: Nacional a 1:500.000, Región Pampeana y Chaco a 1:100.000
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Paso diario
EN LA WEB	www.ora.gob.ar
FORTALEZAS	Resolución temporal diaria, disponibilidad en forma operativa, permite simular el consumo hídrico específico de cada cobertura vegetal y escenarios a futuro (alerta temprana)

LIMITACIONES	No considera flujos horizontales sub-superficiales ni el aporte de la napa; requiere información de suelos que no siempre se halla disponible.
USUARIOS	Decisores de instituciones públicas y empresas privadas, productores agropecuarios.

1. OBJETIVO

El contenido de agua en el suelo es un parámetro que permite inferir y diagnosticar el estado presente de la vegetación. Para lograr el monitoreo permanente de la situación hídrica de la producción agropecuaria a lo largo del año o la campaña agrícola, se ha desarrollado un balance hídrico operativo que tiene en cuenta las variables atmosféricas, el tipo de suelo y determinada cobertura vegetal.

El objetivo principal es modelar adecuadamente el contenido de humedad en la capa de la superficie del terreno, hasta donde tienen actividad normalmente la mayor proporción de los sistemas de raíces de las pasturas naturales, implantadas y los cultivos. Los resultados deben tener una presentación de fácil interpretación, que permita su comparación con los valores normales para cada momento de la campaña.

2. METODOLOGIA

La metodología se basa en el balance hídrico desarrollado por los Ing. Agr. J. A. Forte Lay y J. J. Burgos, al cual se le ha incorporado la evapotranspiración de la cobertura vegetal de acuerdo a la metodología propuesta por la FAO (1998). Además, se han incorporado términos de escurrimiento superficial y percolación profunda, y la posibilidad de retención temporaria de excesos hídricos que se van eliminando gradualmente. En el mismo se han despreciado movimientos horizontales sub-superficiales de agua, que resultan en general de orden menor que los verticales. No considera el eventual aporte de la capa freática.

Se trata de un balance hídrico de paso diario, que utiliza como datos meteorológicos de entrada la precipitación y las variables necesarias para el cálculo de la evapotranspiración: temperaturas máxima y mínima, viento, heliofanía (o en su defecto nubosidad) y humedad relativa. Esta información proviene fundamentalmente de las redes de SMN e INTA.

Para estimar la evapotranspiración potencial del cultivo se utilizan coeficientes diarios que varían a lo largo del ciclo del mismo, extraídos de la bibliografía y/o ensayos a campo. Se considera el suelo hasta el primer metro de profundidad, o profundidad menor si se informa tosca u horizonte C, de difícil penetración. El valor de contenido de humedad en el suelo será único para toda el área abarcada por una unidad cartográfica de suelo homogéneo.

Si bien el producto que se describe se realiza a escala 1:500.000 o 1:100.000, la misma metodología puede aplicarse a escala de mayor detalle, incluso a nivel de lote o en un punto en especial. En el gráfico se ilustra el producto para un punto particular. El nivel de detalle posible dependerá de la carta de suelos disponible y de densidad de la red meteorológica operativa existente.

Para mayor información del modelo ver

http://www.ora.gob.ar/informes/Reservas_de_Agua_Metodologia_balance.pdf

3. PRODUCTO

El producto se ha validado comparando los valores medidos por CONAE (sondas a 50 cm de profundidad) en 4 localidades que representan ambientes muy diferentes dentro de la región pampeana. Los valores puntuales estimados por el método mostraron un coeficiente de correlación siempre mayor que 0,8 con los valores medidos por las sondas.

Este producto se utiliza para el diagnóstico del estado de los cultivos o de las pasturas para consumo del ganado, para la evaluación temprana de pérdidas productivas, determinación de niveles de riesgo de sequía o excesos hídricos, declaración de emergencia agropecuaria, desarrollo de seguros índice, y otras aplicaciones.

El formato de salida es una capa temática georreferenciada (shape) en proyección geográfica, aunque en la web se publican las versiones jpg de los mismos mapas. El producto descrito y otros derivados del mismo algoritmo de balance hídrico se actualizan en forma semanal en la página web de la Oficina de Riesgo Agropecuario: www.ora.gob.ar.

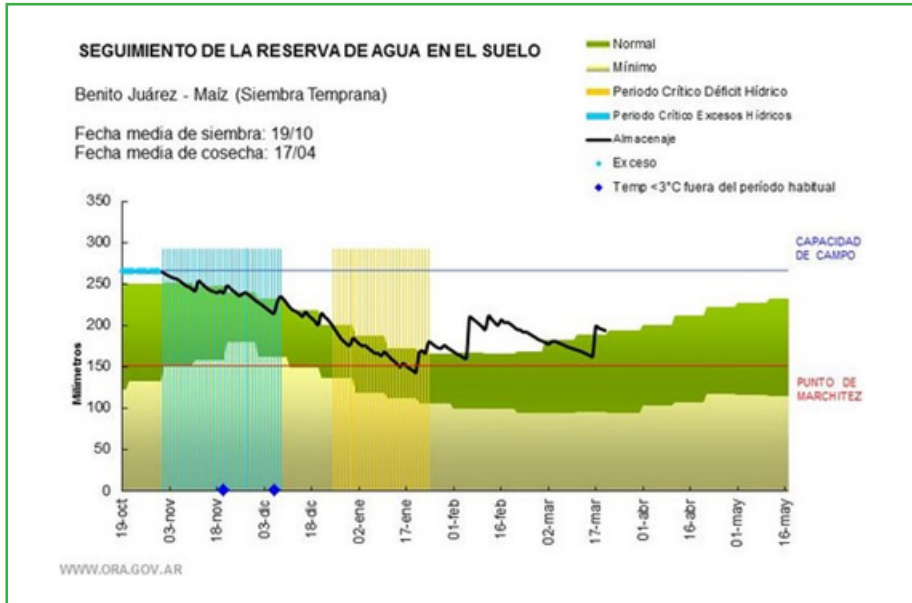


Figura 1: Seguimiento temporal del estado de las reservas de agua en el suelo para MAÍZ en el área de influencia de Benito Juárez (Prov. de Buenos Aires) – Campaña 2015/2016

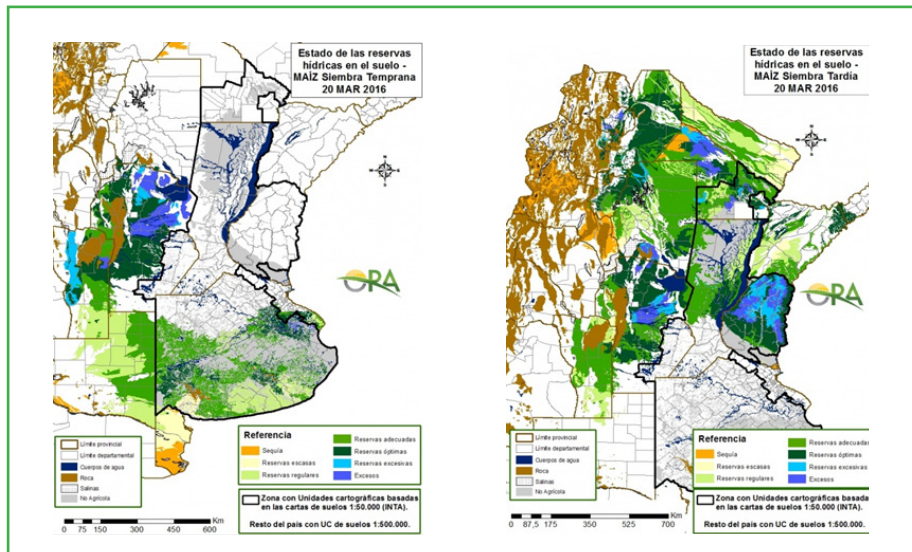


Figura 2: Mapas de estado de las reservas para maíz (siembra temprana y tardía), al 20/03/2016. Dentro del área delimitada con línea negra gruesa, en escala 1:100.000; fuera de esta área, en escala 1:500.000.

4. REFERENCIAS

Herramientas para la evaluación y gestión del riesgo climático en el sector agropecuario, Capítulo 5: Balance hídrico como herramienta de decisión. Publicación del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, Argentina, agosto de 2011, ISBN 978-987-2062-3-4, Ed. ErreGé&Asoc.

Basualdo A. y S. Occhiuzzi (2010) Evaluación de escenarios a futuro de estado de las reservas hídricas para diferentes cultivos. XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología. Bahía Blanca, 20 al 22 de octubre de 2010.

FAO (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Balance hidrológico operativo para el agro (BHOA)

María Elena Fernández Long
flong@agro.uba.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Balance hídrico
DOMINIO	Argentina
PERIODO	Desde 1950 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Almacenaje y agua útil; situación hídrica (déficit y excesos); evapotranspiración real; índice de satisfacción hídrica (ISHi); índice de agua en el suelo (IAS)
PROFUNDIDAD / CAPAS	Primer capa: capa arable (aproximadamente 25 cm, dependiendo del tipo de suelo) Segunda capa: profundidad que exploran las raíces (se consideró un metro como máximo. En algunos casos es menor debido a la presencia de impedimentos que dificultan la penetración de las raíces)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	Puntual, para las 120 estaciones operativas del SMN
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Paso diario
EN LA WEB	http://www.agro.uba.ar/centros/ciag/info , http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=agro&id=19 , http://inta.gov.ar/documentos/evolucion-de-las-actuales-condiciones-climaticas-tendencia-a-mediano-y-largo-plazo-21-03-2016

FORTALEZAS	En tiempo real, simpleza, tiene en cuenta distintas curvas de desecamiento del suelo, buen indicador de rendimientos de maíz.
LIMITACIONES	Puntual, no tiene en cuenta el aporte de la napa ni la cobertura vegetal.
USUARIOS	Sector agrícola: investigadores, y decisores del sector público y privado.

1. OBJETIVO

En la expresión del crecimiento y desarrollo de las plantas, el agua disponible en el suelo es un factor fundamental. El conocimiento de esta variable ha sido motivo de estudio desde los comienzos de la Agrometeorología, e interés de los agricultores, los tomadores de decisión de la empresa agropecuaria y, a una escala más amplia, de los gobiernos para asegurar la alimentación de sus respectivos países. El objetivo del presente modelo es proporcionar una herramienta de decisión objetiva y en tiempo real para todo el sector agrícola de la Argentina, así como generar una base de datos de agua del suelo disponible para la comunidad científica y educativa y accesible desde las páginas web de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires y del Servicio Meteorológico Nacional. Además, se busca continuar con esta línea de investigación proporcionando las bases para la realización de un pronóstico de agua del suelo basado en este modelo.

2. DATOS

Datos meteorológicos

Se trabaja con datos diarios de precipitación, temperatura máxima, mínima y heliofanía efectiva; y con el promedio diario de las 4 observaciones horarias de presión real de vapor, intensidad de viento y presión a nivel de la estación, de cada una de las 120 estaciones meteorológicas operativas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Datos de suelo

Las constantes hidrológicas de los suelos, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) utilizados en el modelo no se refieren

a una profundidad fija, sino que tienen en cuenta la profundidad típica de exploración radicular en cada zona. Las mismas fueron obtenidas a través de un consenso entre valores determinados experimentalmente a campo por el CIBIOM (Centro de Investigaciones Biometeorológicas), valores estimados por Falasca y otros (1998) mediante el modelo de Ritchie y Crum (1989) y estimaciones del INTA (Damiano y Taboada, 2000; Damiano, 2010). Para la Patagonia, dado que no se contó con información medida a campo, se estimó un valor promedio a partir del modelo Soil Water Characteristic (SWC, Saxton and Willey, 2006)

3. METODOLOGÍA

El modelo de balance hidrológico se basó en el desarrollado por Thornthwaite-Matter (1955) modificado luego por Forte Lay y otros (1995). El balance se establece entre la demanda atmosférica de agua (término denominado evapotranspiración potencial (EP)), la oferta de agua, dada por la precipitación (PP) y el agua almacenada en el suelo (ALM). Se calcula la evapotranspiración potencial diaria (EP) a través de la ecuación de Penman-Monteith recomendada por la FAO (Allen *et al.*, 1998). Como el suelo y la vegetación que lo cubre no siempre ceden a la atmósfera toda el agua que les es demandada, se define el concepto de evapotranspiración real (ER), que es lo que realmente se pierde por evapotranspiración en cada situación. Cuando la PP supera a la EP el suelo comienza a recargarse hasta llegar a la CC, a partir de ese momento el exceso de agua se pierde por escorrentía y/o percolación.

Además, se incorporó al modelo una modificación desarrollada por Forte Lay (inédito) la cual busca mejorar la representación del contenido de agua en suelos pesados para evitar un desecamiento excesivo, incorporando un algoritmo que termina modificando los resultados sólo en los casos en que el PM es mayor que el 40% de la CC y en forma progresiva a medida que ese porcentaje va aumentando, de manera que los suelos más arcillosos del este de la Región Pampeana no se van a secar tanto; los del oeste (arenosos) con PM menores o iguales al 40% de CC seguirán igual, y los del centro (francos) tendrán variaciones menores con respecto a lo que ocurría con los modelos anteriores.

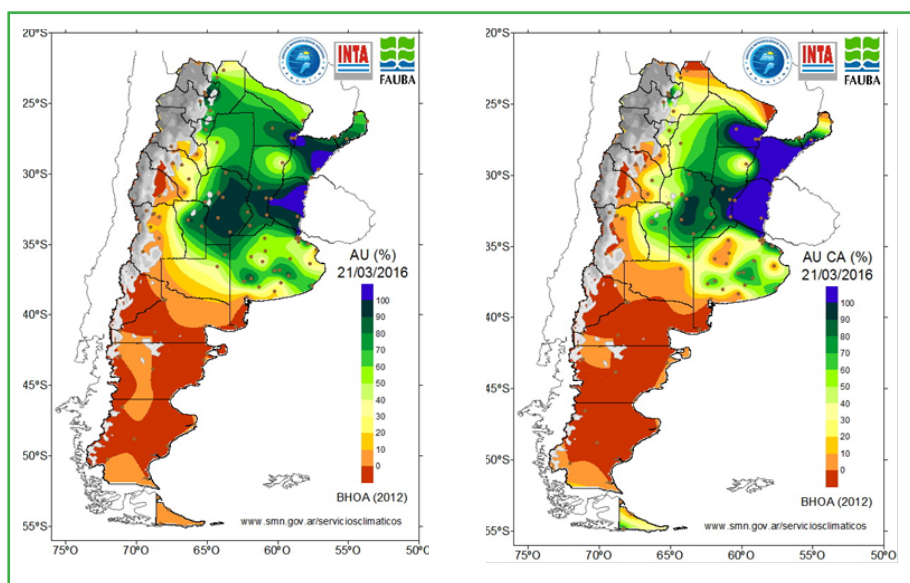
Para mayor información del modelo ver

<http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2012fernandezlong.pdf>

4. PRODUCTO

Para la validación del modelo se correlacionaron los resultados del mismo, con los datos de rendimiento departamental de maíz y trigo de 18 partidos de la Región Pampeana (Fernández Long et al., 2012). Se trabajó con el índice de satisfacción hídrica (ISHi). Este índice se calculó para las tres décadas de cada mes (36 décadas/año) para el período 1969-2011 y se observó como el índice refleja el momento de mayor requerimiento hídrico de los cultivos en cada región. A partir de las correlaciones con los datos de rendimientos de maíz y trigo se pudo comprobar que el modelo tiene un muy buen desempeño a escala departamental, y permite captar la variabilidad espacial y temporal del agua almacenada en el suelo.

La utilización del modelo permite generar mapas de distintas variables de salida que dan la posibilidad de realizar un seguimiento de la disponibilidad de agua del suelo a lo largo del ciclo de los cultivos y analizar la variabilidad tanto espacial como temporal a través de una de las variables de salida como el agua útil porcentual (AU%).



Los resultados del modelo son publicados en las páginas del Centro de Información Agroclimática (CIAg), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Página del CIAg: <http://www.agro.uba.ar/centros/ciag/info/AU>

Página del SMN: <http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=agro&id=19>

Página del INTA: http://climayagua.inta.gob.ar/balance_de_agua_en_el_suelo

5. REFERENCIAS

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raesand y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.

Damiano, F. y M.A. Taboada. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la Región Pampeana. *Ciencia del suelo* 18: 77-88.

Damiano, F. 2010. Predicción del agua disponible en suelos pampeanos a través de funciones de edafotransferencia. En: *Fertilidad de Suelos, Caracterización y Manejo en la Región Pampeana*. Editorial Fac. de Agronomía, UBA. 423 pag. ISBN 978-950-29-1074-1.

Falasca, S., A. Ulberich y S. Mordenti. 1998. Constantes hidrológicas de la provincia de Buenos Aires por dominio edáfico. Actas XVII Congreso Nacional del Agua. 2: 49-56.

Fernandez Long María E., Liliana Spescha, Irene Barnatan y G. M. Murphy. 2012. Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA). *Revista Agronomía & Ambiente* 32(1-2):31-47.

Forte Lay, J.A.; J.L. Aiello y J. Kuba. 1995. Software AGROAGUA Versión 4.0. Congreso Agrosoft'95. Juiz de Fora (Brasil). Octubre de 1995. Resumen publicado en revista *Agrosoft'95*. <http://www.agrosoft.com.br/eventos/agrosoft95/trabalhos.htm>.

Ritchie, J.T and J. Crum. 1989. Converting soil survey characterization data into IBSNAT crop model input. *Land qualities in space and time*.1989; 155-167.

Saxton, K. E. and P. H. Willey. 2006. The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. Chapter 17 in: *Mathematical Modeling of Watershed Hydrology*, V. P. Singh and D. Frevert, Editors; CRC Press, pp 401-435.

Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather. 1955. The water balance. *Publications in Climatology VIII*, (1):104 p. Drexel Inst. of Tech., New Jersey. USA.

Balance hidrológico operativo para el agro (BHOA) en Paraguay

Max Pastén
almapas@pol.una.py

TIPO DE ESTIMACIÓN	Balance hídrico
DOMINIO	Paraguay
PERIODO	Desde 1961 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Almacenaje y agua útil; situación hídrica (déficit y excesos); evapotranspiración real; índice de satisfacción hídrica (ISHi); índice de agua en el suelo (IAS)
PROFUNDIDAD / CAPAS	Primer capa: capa arable (aproximadamente 25 cm, depende del tipo de suelo) Segunda capa: profundidad que exploran las raíces (se consideró un metro como máximo. En algunos casos es menor debido a la presencia de impedimentos que dificultan la penetración de las raíces)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	Puntual, para las 15 estaciones operativas de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH)
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Paso diario
FORTALEZAS	En tiempo real, simpleza, tiene en cuenta distintas curvas de desecamiento del suelo, buen indicador de rendimientos de maíz.

LIMITACIONES	Puntual, no tiene en cuenta el aporte de la napa ni la cobertura vegetal.
USUARIOS	Sector agrícola, investigadores, estudiantes, decisores del sector público y privado.

1. OBJETIVO

El objetivo de la implementación del modelo BHOA (desarrollado en la Argentina) es proporcionar una herramienta de decisión objetiva y en tiempo real para todo el sector agrícola de Paraguay, así como generar una base de datos de agua del suelo disponible para la comunidad científica y educativa y accesible desde la página web de la Facultad Politécnica de la UNA (<http://meteorologia.pol.una.py/>). Se está llevando a cabo gracias a la colaboración de la FAUBA en el marco del proyecto del IAI CRN-3035 Servicios Climáticos. Además, se busca continuar con esta línea de investigación proporcionando las bases para la realización de un pronóstico de agua del suelo basado en este modelo.

2. DATOS

Datos meteorológicos

Se utilizan datos diarios de precipitación, temperatura máxima, mínima y heliofanía efectiva; de cada una de las 15 estaciones meteorológicas operativas de la DMH.

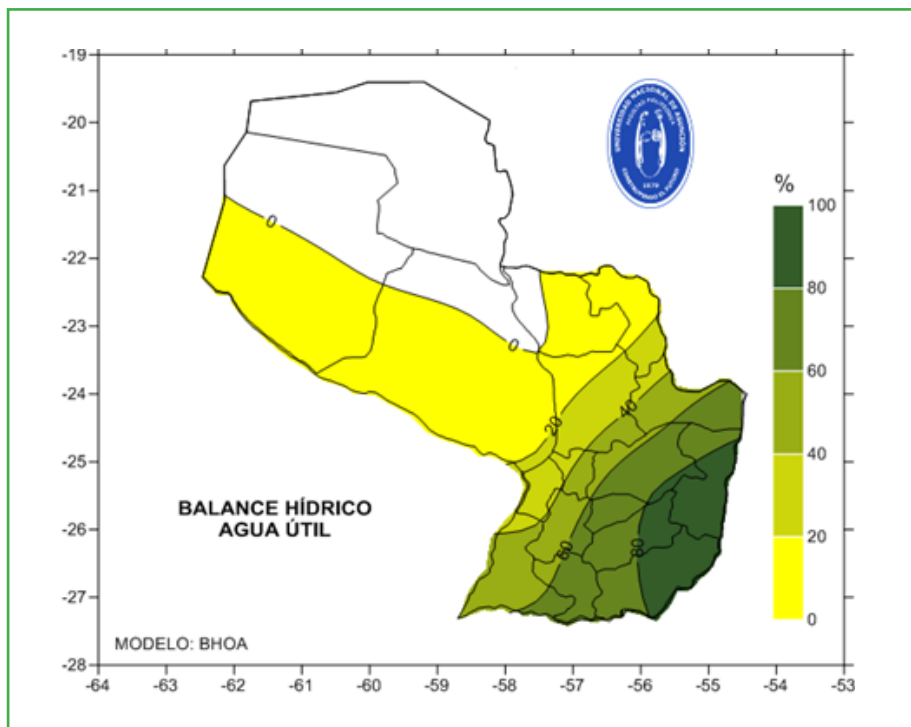
Datos de suelo

Dado que no se cuenta con información de las constantes hidrológicas de los suelos en Paraguay, se ha estimado los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PM) para cada localidad. Se constató a que orden de suelos correspondía cada localidad de Paraguay (USDA, 2005), luego, para cada orden se buscaron las CC y PM de localidades argentinas con mismo orden de suelo próximas a la frontera con Paraguay.

3. METODOLOGÍA

La evapotranspiración potencial fue calculada por Penman-Montieth con la metodología propuesta por la FAO (Allen *et al.*, 1998) cuando sólo se cuenta con datos de temperatura máxima y mínima diaria. Se utilizó el modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA) (Fernández Long *et al.*, 2012). El BHOA se basa en el balance desarrollado por Thornthwaite-Matter (TM) (1955), modificado luego por Forte Lay y otros (1995).

De las muchas salidas del BHOA se trabajó con los almacenajes diarios (ALM), fueron luego promediados para la serie de años estudiados generando para cada localidad la marcha anual de los ALM.



Mapa de agua útil (%) correspondiente al 01/10/2013

Se incorporó al modelo una modificación desarrollada por Forte Lay (inédito), que busca mejorar la representación del contenido de agua en suelos pesados para evitar un desecamiento excesivo, incorporando un algoritmo que termina modificando los resultados sólo en los casos en que el PM es mayor que el 40% de la CC y en forma progresiva a medida que ese porcentaje va aumentando, de ésta manera se considera que los suelos más arcillosos no se van a secar tanto; los del oeste (arenosos) con PM menores o iguales al 40% de CC seguirán igual, y los del centro (francos) tendrán variaciones menores con respecto a los resultados de los modelos anteriores.

4. PRODUCTO

Para la validación del modelo se utilizará la misma metodología utilizada en la FAUBA.

5. REFERENCIAS

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and drainage paper 56. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome.

Fernandez Long M. E., L. Spescha, I. Barnatan Y G. M. Murphy. 2012. Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA). *Revista Agronomía & Ambiente* 32(1-2):31-47.

Forte Lay, J.A.; Aiello J.L., y Kuba J.. 1995. Software AGROAGUA Versión 4.0. Congreso Agrosoft '95. Juiz de Fora (Brasil). Octubre de 1995. Resumen publicado en revista *Agrosoft '95*. <http://www.agrosoft.com.br/eventos/agrosoft95/trabalhos.htm>

USDA. 2005. Global Soil Regions Map. NRCS. soils.usda.gov/use/worldsoils

Parte 3

Modelos de superficie del suelo: no acoplados y acoplados

Los modelos de superficie del suelo y los modelos hidrológicos no difieren conceptualmente de los modelos de balance. De hecho, resuelven ecuaciones de balance de agua, pero también agregan el cálculo de los balances de energía y radiación, que deben ser consistentes con los balances de agua. Asimismo, suelen tener una mayor complejidad como resultado de incluir muchas parametrizaciones para procesos biológicos, como procesos en la copa de los árboles, físicos, como el transporte de agua en las distintas capas de suelo, y energéticos, como la partición de la radiación en calores latente y sensible, con lo cual requieren computadoras más poderosas.

En los modelos no acoplados, los datos de entrada suelen ser observaciones o aproximaciones en retículos regulares que proveen una amplia cobertura espacial. Este es el caso, por ejemplo, de las estimaciones satelitales de precipitación, que son provenientes de un sistema de asimilación de datos empleado en modelos meteorológicos.

Los modelos acoplados se distinguen porque permiten la interacción entre lo que ocurre en el suelo y lo que ocurre en la atmósfera. En lugar de tomar observaciones como datos de entrada, se toman los productos de un modelo durante su ejecución. De esta manera se considera cómo los estados generados en el modelo de superficie afectan los procesos atmosféricos.

Global Land Data Assimilation System (GLDAS)*

*Producto generado por
Hydrological Sciences Laboratory NASA:
<http://ldas.gsfc.nasa.gov/index.php>
Pablo Spennemann
pspenenmann@cima.fcen.uba.ar
Celeste Saulo
saulo@cima.fcen.uba.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Simulaciones / Modelado
DOMINIO	Global
PERIODO	1979-2015 (GLDAS-1), 1948-2010 (GLDAS-2) y 2000-2015 (GLDAS-1 alta resolución)
VARIABLES DE SALIDA	Humedad del suelo, evapotranspiración, flujos de calor latente y sensible, temperatura del suelo, entre otros
RESOLUCIÓN ESPACIAL	0,25° x 0,25° (alta resolución) y 1° x 1° (baja resolución)
RESOLUCIÓN TEMPO- RAL	3 horas y mensual
EN LA WEB	http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/hydrology/ data-holdings

FORTALEZAS	Alta resolución temporal y espacial, record histórico, usa observaciones para forzar modelos de suelo
LIMITACIONES	Altamente dependiente del modelo de suelos (el tipo de suelo y vegetación son tomados de bases globales) No validado en Sudamérica
USUARIOS	Sector académico, por el momento.

1. OBJETIVO

El GLDAS consiste de múltiples modelos de suelo forzados con bases de datos observacionales (precipitación, radiación, etc.), no afectando las variables del suelo con los errores provenientes de modelos atmosféricos. El objetivo principal de GLDAS es, a partir de “ingerir” datos observacionales (satelitales y de la superficie), combinarlos con modelos de suelo avanzados mediante técnicas de asimilación de datos, para generar estados y flujos de la superficie del suelo óptimos (Rodell et al., 2004).

2. METODOLOGIA

Hay dos versiones de GLDAS. La primera versión, el GLDAS-1, utiliza 4 modelos de suelo: el NOAH (versión 2.7), el CLM2, el VIC y el MOSAIC (para más información de los modelos: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/hydrology/documentation>). Este producto a su vez está dividido en dos experimentos. El primer experimento utiliza los 4 modelos de los cuales hay simulaciones desde 1979 hasta el presente (cada 3 horas y mensuales) en baja resolución. Para forzar a los modelos de suelo utilizan distintos sets de datos, lo cual genera tendencias que no son realistas en las variables del suelo. El segundo experimento utiliza sólo el modelo NOAH, pero en alta resolución y sólo para el período 2000-2015.

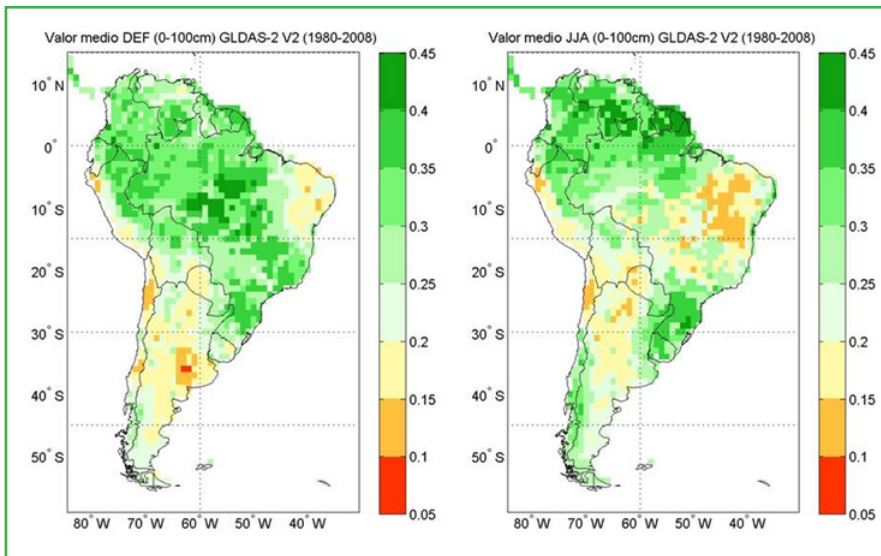
La segunda versión de este producto, GLDAS-2.0, sólo utiliza el modelo de suelo NOAH (versión 3.3), pero para un período más largo, de 1948 al 2010, con una resolución espacial de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. La ventaja de este producto frente al primer experimento del GLDAS-1, es que es más consistente para analizar climatologías de las variables del suelo, ya

que utiliza un set de datos consistente a lo largo del tiempo para forzar al modelo de suelo NOAH.

3. PRODUCTO

Se han llevado a cabo algunas validaciones/comparaciones de este producto en distintas partes del mundo. Se puede destacar el trabajo de *Kato et al.* (2007), en el cual se comparan las salidas del GLDAS contra observaciones in situ. Esta validación se llevó a cabo en 4 sitios, ubicados en Alemania, China, Estados Unidos y Australia. Sobre Sudamérica todavía no se han hecho validaciones directas de este producto. Pero si se cuenta con una reciente evaluación de GLDAS-1 y GLDAS-2.0 respecto el Índice estandarizado de Precipitación y respecto a estimaciones satelitales de humedad del suelo (*Spennemann et al.*, 2015). Este trabajo encuentra una adecuada representación de la variabilidad de la humedad del suelo por parte de GLDAS-2.0 principalmente.

Las variables se pueden descargar en los formatos Grib o Netcdf, a través del siguiente link <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/hydrology/data-holdings>



Campos medios de humedad del suelo (m^3/m^3 , espesor 0-100cm) para verano (DEF) e invierno (JJA) según GLDAS-2.0. Figura tomada de Spennemann (2015).

4. REFERENCIAS

Kato H., M. Rodell, F. Beyrich, H. Cleugh, E. von Gorsel, H. Liu, and T. P Meyers, 2007. Sensitivity of Land Surface Simulations to Model Physics, Land Characteristics, and Forcings, at Four CEOP Sites. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Vol. 85A. pp. 187-207.

Rodell M, PR. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, CJ. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, JK. Entin, JP. Walker, D. Lohmann and D. Toll 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85(3): 381-394.

Spennemann P., J. A. Rivera, C. Saulo and O. Penalba, 2015: A Comparison of GLDAS Soil Moisture Anomalies against Standardized Precipitation Index and Multisatellite Estimations over South America. *Journal of Hydrometeorology*, 16, 158-171. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-13-0190.1>

Spennemann (2015). Estudio sobre la variabilidad temporal y espacial de la humedad del suelo sobre Sudamérica, y su rol en modular la evapotranspiración y la precipitación en distintas escalas temporales. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 18 de marzo 2015.

Sistema de Pronóstico y Monitoreo de Variables de Superficie

Hugo Berbery
berbery@umd.edu
Omar V. Müller
ovmuller@gmail.com
Leandro Sgroi
leandro.sgroi@gmail.com

TIPO DE ESTIMACIÓN	Modelo de suelo (Noah) acoplado con modelo atmosférico (WRF)
DOMINIO	Cuenca del Plata; Todo Sudamérica
PERIODO	2001-2010; desde 2012 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Humedad del suelo en 4 capas de suelo: 10 cm, 30 cm, 60 cm, 100 cm; evapotranspiración, escorrentía
PROFUNDIDAD / CAPAS	2 m; (0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm, 100-200 cm)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	15 km; 45 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	3 h
EN LA WEB	http://www.atmos.umd.edu/~berbery/research/forecasts.html
FORTALEZAS	Producto tri-horario, pronóstico a 7 días, alta resolución (15 km para la Cuenca del Plata)
LIMITACIONES	Utiliza precipitación simulada, no datos observados.
USUARIOS	Sector agropecuario, hidrológico, investigación.

1. OBJETIVO

El objetivo es tener un producto operativo, actualizado diariamente, que brinde información sobre el contenido de agua del suelo y otras variables de superficie como evapotranspiración, escorrentía, precipitación, etc. La información muestra el estado de las variables en los meses precedentes (hasta 90 días) y cómo se espera que las mismas evolucionen en los próximos 7 días de acuerdo a las estimaciones de un modelo acoplado suelo-atmósfera. Así, el usuario puede hacer un análisis del comportamiento futuro del suelo considerando su estado en los meses previos. La simulación retrospectiva 2001-2010 tiene como objetivo analizar las características climatológicas de las variables y brindar los valores normales para el cálculo de anomalías en el período actual.

La información se presenta mediante mapas de valores absolutos y mapas de anomalías para cada variable y dominio y también mediante series temporales de lugares puntuales o bien, series temporales que promedian arealmente por cada una de las sub-cuencas del río de La Plata. El producto está destinado a contribuir al sector agropecuario, hidrológico y académico.

2. METODOLOGIA

Tanto la simulación retrospectiva (climatología) como las simulaciones operativas (pronósticos a 7 días) que permiten obtener el producto de pronóstico y monitoreo, se generan con el modelo atmosférico WRF acoplado al modelo de superficie Noah, que determina las variables de interés (humedad de suelo, evapotranspiración y escorrentía). El modelo WRF es un modelo de mesoescala para la predicción del tiempo diseñado tanto para simulaciones de investigación como para productos operativos. Es utilizado por múltiples instituciones tanto para aplicaciones regionales como globales con la posibilidad de usar diferentes escalas espaciales. El modelo Noah define cuatro capas con diferentes espesores (0-10 cm; 10-40 cm; 40-100 cm; 100-200 cm) hasta cubrir los 2m de profundidad, incluyendo información de profundidad de raíces, categorías de vegetación, fracción de vegetación, y textura del suelo, entre otras. Noah resuelve los balances de energía y agua para proveer condiciones de superficie a la capa de borde, como por ejemplo flujos de humedad y flujos de calor. Particularmente la

temperatura de superficie se determina con la ecuación lineal simple de balance de energía en superficie (Mahrt y Ek, 1984). La hidrología del modelo se determina aplicando la ecuación de prognosis de contenido de humedad de suelo. La escorrentía superficial se computa adoptando el modelo simple de balance de agua (*Shaake et al.*, 1996). Todas las ecuaciones del modelo Noah se pueden ver en el trabajo de Chen y Dudhia (2001).

El modelo acoplado se corre diariamente y se nutre de información estática que se utiliza como condición de borde en superficie como ser topología, tipos de suelo, tipos de cobertura del suelo, fracción de vegetación verde, albedo, etc. Las condiciones de borde laterales se definen a partir de variables (viento, presión, temperatura, etc.) del Global Forecasts System cuyos datos son públicos y accesibles a través de internet.

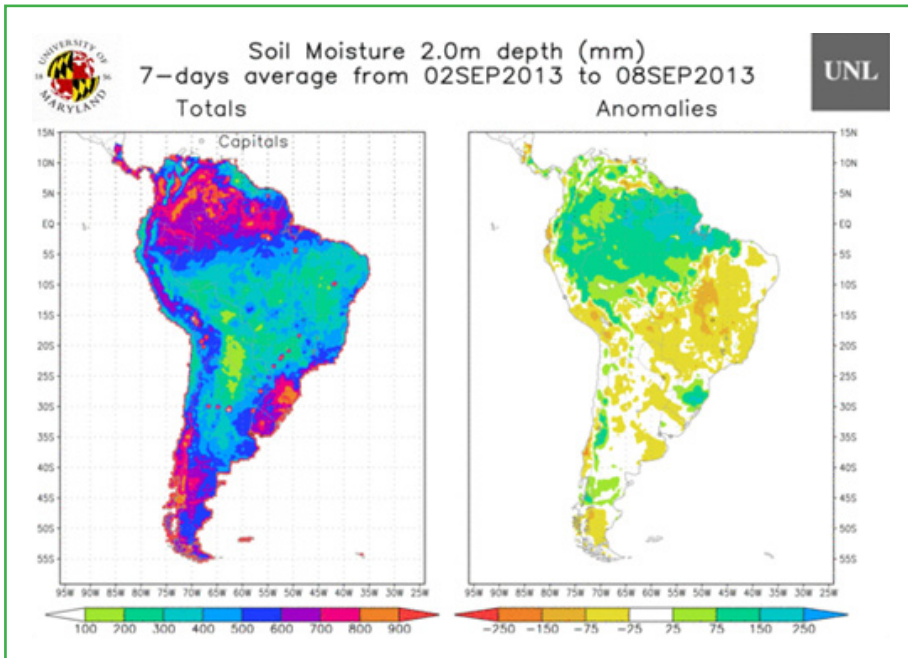
3. PRODUCTO

Los resultados de la simulación se publican en formato gráfico en la siguiente página web: <http://www.atmos.umd.edu/~berbery/research/forecasts.html>. Allí, se muestran las estimaciones del modelo de las variables hidrológicas precipitación, humedad del suelo, evapotranspiración y escorrentía en los últimos 90 días y el pronóstico para los próximos 7 días. La estimación de precipitación y temperatura fue evaluada en el trabajo de Müller y Berbery (2016).

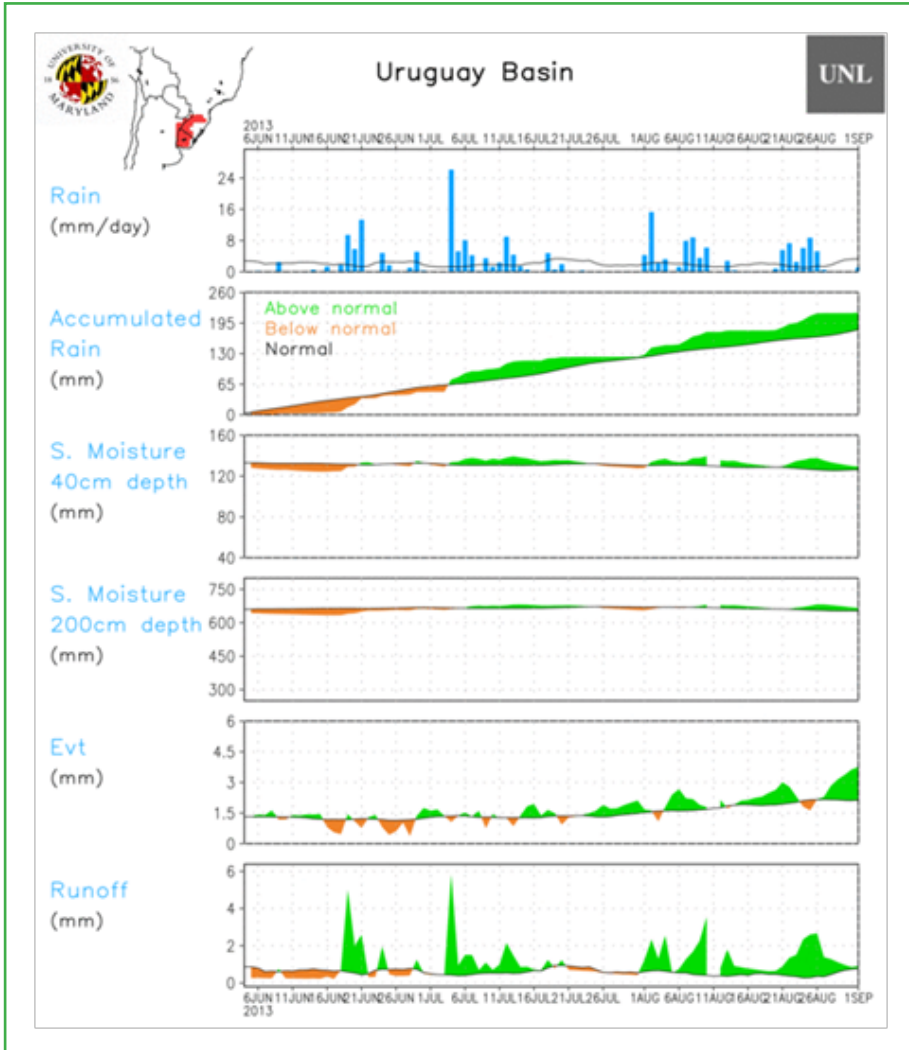
La estimación de humedad de suelo en las cuatro capas está siendo validada actualmente en el marco del proyecto JASMIN. Esta validación requiere dos evaluaciones. Primero, se debe evaluar la simulación climatológica de humedad de suelo. Para ello se trabaja en la validación de la simulación de 10 años comparando con valores de humedad de suelo de GLDAS (Global Land Data Assimilation System) y del producto ECV SM (Essential Climate Variable Soil Moisture) el cual combina una gran cantidad de conjuntos de humedad de suelo obtenidas por sensores remotos. La segunda evaluación implica la validación de las simulaciones diarias de humedad de suelo disponibles desde 2012. La disponibilidad de observaciones y estimaciones satelitales se ha incrementado notablemente en los últimos años, lo que permite hacer una evaluación exhaustiva de este conjunto.

Se espera que este producto sea utilizado por el sector agropecuario para el diagnóstico del estado del suelo y su posible evolución en los próximos días, para la evaluación temprana de pérdidas productivas, determinación de niveles de riesgo de sequía o excesos hídricos. Los hidrólogos pueden utilizar el producto para el análisis y previsión de balance hidrológico y la toma de decisiones respecto a eventos extremos. A su vez, se espera que los resultados del modelo sean de utilidad para la investigación del ciclo hidrológico en la cuenca del Plata, pudiendo identificar los procesos que allí se desarrollan y la relación suelo-atmósfera en la región.

4. TIPOS DE PRODUCTOS (2 EJEMPLOS)



Caso 1: Promedio de humedad del suelo pronosticada para los próximos 7 días y las correspondientes anomalías.



Caso 2: Evolución durante los últimos 90 días de distintas variables de superficie y sus déficit y excesos con respecto al ciclo medio anual.

5. REFERENCIAS

Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling and Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129, 569-585.

Mahrt, L., and M. Ek, 1984: The influence of atmospheric stability on potential evaporation. *Journal of Climate Applications Meteorology*, 23, 222-234.

Müller, O. V., and E. H. Berbery, 2016: Evaluation of WRF model forecasts and their use for monitoring over southern South America. *Weather and Forecasting*. *Weather and Forecasting* 31 (3), 1001-1017.

Shaake, J. C., V. I. Koren, Q. Y. Duan, K. Mitchell, and F. Chen, 1996: A simple water balance model (SWB) for estimating runoff at different spatial and temporal scales. *Journal of Geophysical Research*, 101, 7461-7475.

HRLDAS **(High Resolution Land** **Data Assimilation System)**

Silvina Andrea Righetti
srighetti@smn.gov.ar
Yanina García Skabar
yanina@smn.gov.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Modelado de humedad en el suelo con el modelo NOAH desacoplado
DOMINIO	Argentina (20°S a 45°S - 85°O a 40°O)
PERIODO	Enero 2012 a agosto 2015
VARIABLES DE SALIDA	38 variables. Entre ellas: humedad en el suelo (m ³ /m ³) y temperatura (K) en 4 capas, evapotranspiración, flujos de calor sensible, latente y en el suelo en superficie, etc.
PROFUNDIDAD / CAPAS	2m; (0-10cm, 10-40cm, 40-100cm y 100-200cm)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	10 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	6 h
FORTALEZAS	Alta resolución espacial y temporal

LIMITACIONES	Utiliza estimaciones de precipitación a partir de imágenes satelitales
USUARIOS	Departamento de Agrometeorología, SMN

1. OBJETIVO

El objetivo es generar un producto operativo que permita realizar un monitoreo del contenido de humedad en el suelo en la Argentina con una resolución temporal de 6 hs y espacial de 10 km. Este tipo de monitoreo resulta de particular interés para el Departamento de Agrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional. También será una fuente de información para la validación de los algoritmos utilizados por la misión SAOCOM.

2. METODOLOGÍA

El Sistema de Asimilación de Datos de Superficie en Alta Resolución (HRLDAS, de sus siglas en inglés) fue desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) para abordar el problema de la inicialización del estado del suelo en los modelos regionales de pronóstico del tiempo (*Chen et al., 2007*). El sistema HRLDAS se encarga de correr el modelo de superficie Noah LSM (*Chen y Dudhia, 2001*) y se desarrolló para ser utilizado junto con el modelo de pronóstico WRF de modo desacoplado. El modelo Noah LSM está basado en el acoplamiento de la evaporación potencial de Penman con variación diurna propuesta por Mahrt y Ek (1984), el modelo multicapa de Mahrt y Pan (1984) y el modelo primitivo de canopia de Pan y Mahrt (1987). Fue extendido en el año 1996 por *Chen et al.* quienes incluyeron una simplificada aproximación de la resistencia de la canopia propuesta por Noilhan y Planton (1989) y Jacquemin y Noilhan (1990), y también *Koren et al.* (1999) quienes incluyeron la física de los suelos congelados.

La profundidad total del suelo es de 2m y es comúnmente dividido en 4 capas: 0-10cm, 10-40cm, 40-100cm y 100-200cm. La profundidad de raíces de la vegetación varía como función del tipo y uso de suelo en los primeros 1.5m de suelo. Las variaciones estacionales en la fracción de vegetación verde están basadas en una climatología de 5 años, con una resolución espacial de 0.15°, obtenida a partir del índice NDVI estimado mediante información satelital del sensor AVHRR (*Gutman e Ignatov, 1998*).

Para correr el HRLDAS se requiere cumplimentar los siguientes pasos:

a) *Adquirir la información cruda para la inicialización y el forzando del modelo*

En la siguiente tabla se enumeran los campos que se requieren para inicializar y forzar el modelo, como así también las fuentes de información utilizadas para las corridas realizadas:

	Variable	Fuente de información
INICIALIZACIÓN	Temperatura del suelo (varios niveles)	Reanálisis del Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)
	Humedad del suelo (varios niveles)	
	Contenido de agua de la canopia	
	Temperatura en el superficie	
	Agua equivalente a una profundidad de nieve acumulada	
FORZADO	Temperatura del aire cerca de superficie	Análisis del modelo Global Forecast System (GFS)
	Elevación del terreno del modelo	
	Relación de mezcla cerca del superficie	
	Viento zonal y meridional cerca de superficie	Resolución espacial: 0,5° x 0,5°
	Presión de superficie	Resolución temporal: 6 h
	Tasa de precipitación	TRMM 3B42_V7
	Radiación de OC entrante a la superficie	Pronóstico a 3 h del modelo Global Forecast System (GFS)
	Radiación de OL entrante a la superficie	
		Resolución espacial: 0,5° x 0,5° Resolución temporal: 6 h

b) *Extraer y organizar la información cruda para la inicialización y el forzado del modelo*

El modelo requiere que cada variable se encuentre en un archivo individual en formato GRIB o GRIB2.

c) Setear la configuración de la retícula del modelo

Esto se realiza con el WRF Preprocessing System (WPS) del modelo regional WRF. Mediante su utilización se fija la resolución espacial y el tipo de proyección, entre otros. En la siguiente tabla se presenta las variables que toma el modelo de los archivos wrfinput_d01 y geo_em.d01.nc generados con el WPS.

Variables		Fuente de información
CAMPOS PARAMÉTRICOS	Latitud	
	Longitud	
	Categoría de vegetación	USGS, 30 arc-seg (AVHRR)
	Categoría de suelo	USGS, 30 arc-seg
	Fracción de vegetaciónverde	Climatología de 5 años, 0,15°, obtenida a partir del índice NDVI estimado mediante información satelital del sensor AVHRR
	Temperatura en el suelo invariante con el tiempo	

La resolución espacial seleccionada fue de 10 km y la temporal de 6 h. El tipo de Proyección seleccionada fue Lambert Conformal y el período con el que se cuenta información actualmente es del 1 de enero de 2012 al 31 de agosto de 2015.

d) Realizar la interpolación espacial y temporal de los datos para la inicialización y el forzado

Esto lo realiza el sistema HRLDAS.

e) Correr el Noah LSM

3. PRODUCTO

Se cuenta con campos de contenido de humedad en el suelo en la Argentina para las 4 capas disponibles, con una resolución temporal de 6 h y espacial de 10 km, en proyección Lambert. Actualmente se encuentra en estado experimental y se irá ajustando su calidad en función de los requerimientos y de las evaluaciones realizadas al producto.

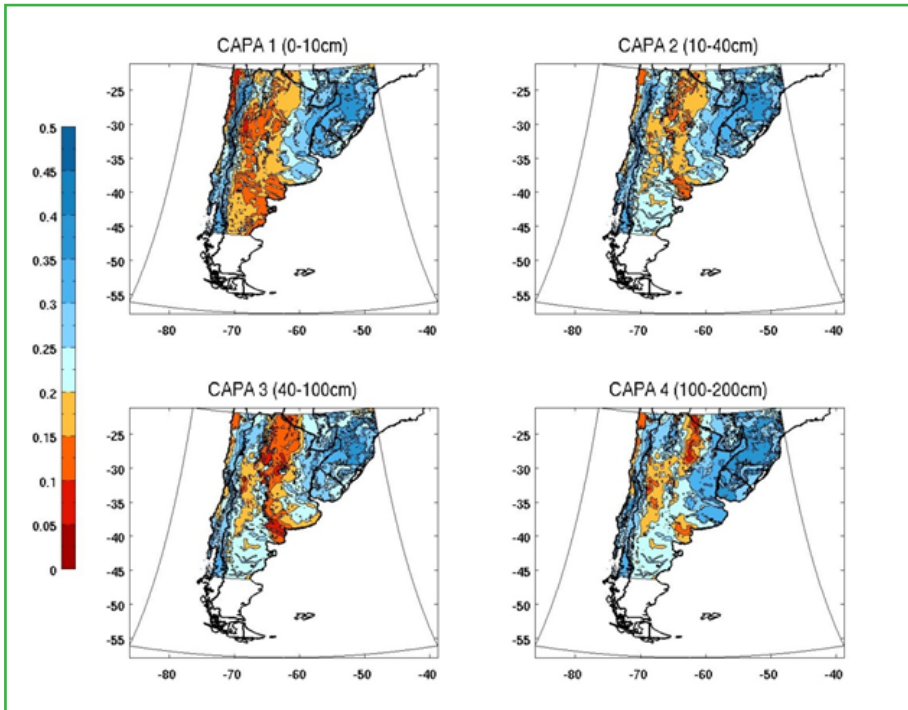


Figura 1: Contenido de humedad en el suelo en m³/m³ para las 4 capas del modelo Noah.

4. REFERENCIAS

Chen F., K. Mitchell, J. Schaake, Y. Xue, H. Pan, V. Koren, Q. Duan, M. Ek, A. Betts, 1996: Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations. *J. Geophys. Res.*, 101, 7251–7268.

Chen F. and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569–585.

Chen, F., K.W. Manning, M. A. LeMone, S.B. Trier, J.G. Alfieri, R. Roberts, M. Tewari, D. Niyogi, T. W. Horst, S.P. Oncley, J.B. Basara, and P.D. Blanken, 2007: Description and Evaluation of the Characteristics of the NCAR High-Resolution Land Data Assimilation System. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 694–713.

Gutman, G., and A. Ignatov, 1998: The derivation of green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sens.*, 19, 1533–1543.

Jacquemin, B., and J. Noilhan, 1990: Sensitivity study and validation of a land surface parameterization using the HAPEXMOBILHY data set. *Bound.-Layer Meteor.*, 52, 93–134.

Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q.-Y. Duan, and F. Chen, 1999: A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *J. Geophys. Res.*, 104, 19 569–19 585.

Mahrt, L., and K. Ek, 1984: The influence of atmospheric stability on potential evaporation. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 222–234.

Mahrt and H. L. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Bound.-Layer Meteor.*, 29, 1–20.

Noilhan, J., and S. Planton, 1989: A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536–549.

Pan, H.-L., and L. Mahrt, 1987: Interaction between soil hydrology and boundary-layer development. *Bound.-Layer Meteor.*, 38, 185–202.

Umidade do solo para inicialização de modelos atmosféricos

João Gerd Zell de Mattos
joao.gerd@gmail.com
Dirceu Herdies
dherdies@gmail.com

TIPO DE ESTIMACIÓN	Modelo de umidade do solo
DOMINIO	Global
PERIODO	1997 até o presente
VARIABLES DE SALIDA	Umidade do solo
PROFUNDIDAD / CAPAS	3.25 m; (0-0.025m, 0.025-0.09m, 0.09-0.19m, 0.19-375cm, 0.375-0.75m, 0.75-1.375m, 1.375-2.125m e 2.125-3.25m)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	25 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	12 h
EN LA WEB	ftp://ftp1.cptec.inpe.br/brams/data-brams/soil-moisture/

1. OBJETIVO

O Objetivo deste produto é a inicialização dos campos de umidade do solo do modelo regional BRAMS do CPTEC, cujo foco consiste na melhoria da performance dos modelos atmosféricos, sobretudo nos aspectos relacionados à previsão da precipitação e representação das propriedades da camada limite planetária.

2. METODOLOGÍA

A estimativa da umidade do solo é obtida através de um algoritmo que combina modelagem numérica com produtos de sensoriamento remoto. O modelo de transporte de água implementado no algoritmo foi baseado em McCumber e Pielke (1981) e Tremback e Kessler (1985). A equação prognóstica para o conteúdo de umidade no solo η (m³ de água / m³ de solo) é dada por:

$$\rho_w \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \omega_s}{\partial z} \quad (1)$$

onde ρ_w é a densidade da água líquida (kg/m³) e ω_s é o fluxo de umidade dentro do solo (kg/m²s) definido por:

$$\omega_s = \rho_w K_\eta \frac{\partial(z + \phi)}{\partial z} \quad (2)$$

onde K_η é a condutividade hidráulica (m/s), ϕ o potencial hidráulico (m) e z a profundidade da camada (m). O fluxo de umidade é reescrito na seguinte forma em termos da difusividade hidráulica D_η :

$$w_s = \rho_w + \rho_w D_\eta \frac{\partial \eta}{\partial z} \quad (3)$$

$$D_\eta = K_\eta \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \quad (4)$$

de modo que o prognóstico para o conteúdo de umidade pode ser dado por:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_\eta + D_\eta \frac{\partial \eta}{\partial z} \right) \quad (5)$$

A difusividade hidráulica, a condutividade hidráulica e o potencial hidráulico são parametrizados por (Clapp e Hornberger, 1978):

$$D_{\eta} = \frac{-bK_f\phi_f}{\eta} \left[\frac{\eta}{\eta_f} \right]^{b+3} \quad (6)$$

$$K_{\eta} = K_f \left[\frac{\eta}{\eta_f} \right]^{2b+3} \quad (7)$$

$$\phi = \phi_f \left[\frac{\eta_f}{\eta} \right]^b \quad (8)$$

onde os valores K_f , ϕ_f e η_f correspondem ao solo saturado. A constante b depende do tipo de solo. Todos estes parâmetros são iniciados por valores de referência (Clapp e Hornberger, 1978; McCumber e Pielke 1981; Tremback e Kessler 1985).

Na superfície o fluxo de umidade é dado por:

$$w_{s=0} = \frac{ER}{\rho_w} - \frac{E}{\rho_w} \quad (9)$$

onde ER é a taxa de evaporação e E a evaporação. Essa equação impõe a seguinte equação para o prognóstico do conteúdo de umidade na camada superior do solo:

$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} \right)_{z=0} = \frac{(w_{s|z=0}) - (K_{\eta} + D_{\eta} \frac{\partial \eta}{\partial z})|_{z=0}}{\Delta z_g} \quad (10)$$

com Δz_g a espessura da camada superior.

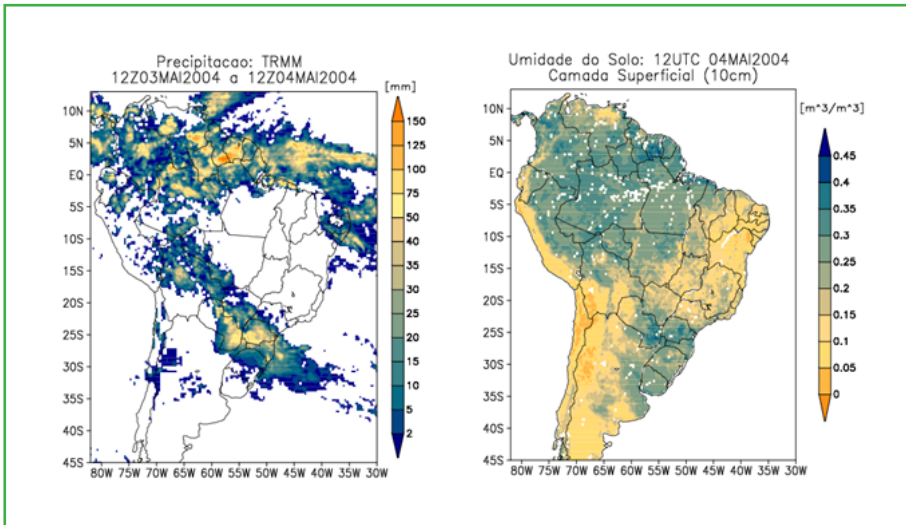
O conjunto de equações acima foi discretizado por diferenças finitas e a solução é obtida numericamente. O modelo numérico constituiu-se de 8 camadas com espessuras de 0.025m, 0.09m, 0.19m, 0.375m, 0.75m, 1.375m, 2.125m e 3.25m e a mais profunda com dimensão infinita para condição de contorno (seu conteúdo de umidade é mantido constante no tempo: $\eta(t) = \eta(t_0)$.) O prognóstico da umidade do solo é, então, obtido por:

$$\eta(t) = \eta(t_0) + \frac{\partial \eta}{\partial t} \Delta t \quad (11)$$

onde Δt é o passo no tempo do modelo.

3. PRODUCTO

Os mapas de umidade do solo são gerados diariamente a cada 12 horas (12UTC e 24UTC) para o domínio entre 40°N - 50°S e 120°W - 60°E. Trata-se de um campo tridimensional, composto por 8 camadas verticais de solo (0-0.025cm, 0.025-0.09cm, 0.09-0.19m, 0.19-375m, 0.375-0.75m, 0.75-1.375m, 1.375-2.125m e 2.125-3.25m), onde a precipitação é distribuída respeitando as propriedades edáficas e do perfil de raízes dos biomas considerados. Um modelo multicamadas realiza o prognóstico de umidade no solo. A Figura 2 contém o campo de precipitação acumulada em 24 horas e de umidade do solo às 12UTC do dia 04 de maio de 2004.



(a)

(b)

Figura 2. Estimativa de precipitação fornecida pelo TRMM, acumulada em 24 horas, em mm (a) e umidade do solo correspondente em m³/m³ (b).

Parte 4

Estimaciones Satelitales

Las estimaciones de humedad del suelo a partir de mediciones satelitales difieren radicalmente de los métodos anteriores. Los satélites no miden directamente humedad del suelo, pero las propiedades del suelo, incluyendo su humedad, pueden ser derivadas de la energía electromagnética detectada por satélites. De esta manera el cálculo de humedad es independiente de la precipitación, lo que evita la propagación de errores en la lluvia. Por otro lado, la principal limitación de las estimaciones satelitales es que solo pueden detectar humedad de suelo en una capa muy delgada del suelo (típicamente 2 cm) y que no incluya regiones de alta densidad forestal. El desafío actual, por lo tanto, está en el desarrollo de modelos y métodos que permitan la extrapolación de la información a capas más profundas.

Contenido de Humedad del Suelo

Gloria Cristina Pujol
gpujol@smn.gov.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Contenido de humedad del suelo
DOMINIO	Sectorizaciones: Argentina y Sudamérica
PERIODO	Desde 2002 hasta la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Contenido de humedad del suelo volumétrica (m ³ /m ³)
PROFUNDIDAD / CAPAS	Aproximadamente hasta 1,5 cm
RESOLUCIÓN ESPACIAL	10 y 25 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Diaria
FORTALEZAS	Disponibilidad de datos diarios para áreas extensas, sin ser afectados por la cobertura nubosa.
LIMITACIONES	Necesidad de verificación de estas estimaciones con mediciones de campo. Resolución espacial baja y estimaciones hasta 1,5 cm de profundidad.
USUARIOS	Áreas de Agro e Hidrometeorología en el ámbito público.

1. OBJETIVO

El objetivo de este producto es disponer de mediciones satelitales diarias de Humedad del Suelo, derivadas del Instrumento: AMSR-2 a bordo del satélite GCOM-W1, de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA) operativo a partir de mayo de 2012, y su antecesor el AMSR-E que funcionó desde mayo de 2002 hasta octubre de 2011. Ambos instrumentos son radiómetros de teledetección para medir la emisión de microondas débiles de la superficie terrestre, permitiendo mediante algoritmos, obtener mediciones diarias de humedad en el suelo superficial (aproximadamente hasta 1,5 cm de profundidad), utilizándose, especialmente, para el monitoreo de amplias zonas cultivadas, no pudiéndose estimar cerca de la costa, alrededor de grandes lagos y pantanos, o en áreas con amplia extensiones de bosques densos.

La teledetección de microondas tiene dos ventajas particulares: permite realizar periódicamente observaciones sobre grandes regiones, sin importar si es de noche o de día, y no se ven afectadas por la atmósfera. Además, son muy sensibles a los parámetros hidrológicos superficiales de la tierra, debido a que el agua líquida tiene una constante dieléctrica muy alta en la banda de microondas en comparación con el suelo.

Los datos de humedad del suelo del AMSR-2, son procesados y distribuidos por la JAXA a y, los de su antecesor, el AMSR-E, por la NASA

2. METODOLOGIA

El desarrollo de los algoritmos que describen la humedad del suelo se inició con la investigación experimental, usando radiómetros de microondas a bordo de aviones y en tierra. Debido a que la vegetación también contiene agua, la humedad del suelo sólo se puede estimar con precisión, a partir de datos de satelitales, mediante una correcta estimación de los efectos de la vegetación.

La radiación y absorción son procesos dominantes, demostrándose que, tanto experimental, como teóricamente, existe una buena correlación entre el espesor óptico y el contenido de agua de la vegetación, expresándose la relación entre ambos como una ecuación lineal, que es aplicada en muchos algoritmos de humedad del suelo, suponiendo una cubierta vegetal uniforme.

Fuji et al. (2004), emplean un algoritmo que utiliza la frecuencia de 10-36 GHz para la obtención del producto L1R AMSR2, que estima la humedad del suelo a partir de las temperaturas de brillo emitidas en dichas frecuencias. Debido a que el contenido de agua de la vegetación afecta a la sensibilidad de las microondas, que remotamente detectan la humedad del suelo, se utiliza un método que recupera al mismo tiempo la humedad del suelo y el contenido de agua en la vegetación, mediante dos índices, PI y ISW (de polarización y de diferencias de frecuencia, respectivamente, dividido por el valor promedio de la temperatura de brillo). En este caso, la corrección de la cubierta vegetal se calcula según el método de Lookup Table (LUT) que utiliza el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI 16 días L3 Global 1 kilómetro V5), que es parte de una serie de productos derivados del espectro-radiómetro de resolución moderada (MODIS), siendo producidos y distribuidos por el centro de archivos (LP-DAAC).

Las temperaturas de brillo del AMSR2 L1R, son la base para la obtención de humedad del suelo y se producen en el Earth Observation Research Center (EORC), como parte de la cadena de procesamiento. Los datos auxiliares se refieren a la fracción de la cobertura vegetal, calculada con los datos NDVI, y utilizando el modelo desarrollado por Carlson y Ripley (1977).

3. PRODUCTO

La JAXA y la NASA, través de sus sitios web (<http://gcom-w1.jaxa.jp/index.html> y <http://reverb.echo.nasa.gov/>) respectivamente ofrecen on-line una base global de humedad del suelo en diferentes niveles de procesamiento. Para obtener el producto final: cantidad de humedad del suelo volumétrica (m³/m³), se utiliza el Level3 de procesamiento, disponible con una frecuencia diaria y mensual.

Tomando de base dicho producto, se sectoriza y georeferencia sobre una grilla en latitud - longitud para el dominio Argentina (fig. 1) y dominio Sudamérica (fig. 2), con una resolución espacial de 10 y 25 km, respectivamente, convertidos a unidades volumétricas de humedad del suelo.

En cuanto a la validación del producto, sería imprescindible establecer una red de observación sobre el terreno, teniendo en cuenta el área que cubre el radiómetro y la heterogeneidad de la superficie del suelo.

A nivel global, se han establecido algunos sitios en Mongolia y Tailandia en 2000 y 2010 para la observación de la humedad del suelo, a largo plazo y de alta calidad. Estos sitios han sido operados por los proyectos del AMSR / AMSR-E y actualmente se continúan a través de los proyectos del AMSR2, en cooperación con la Universidad de Hiroshima (Japón). En Yanco (Australia) se estableció en 2012 un sitio de validación en cooperación con la Universidad de Monash (Australia).

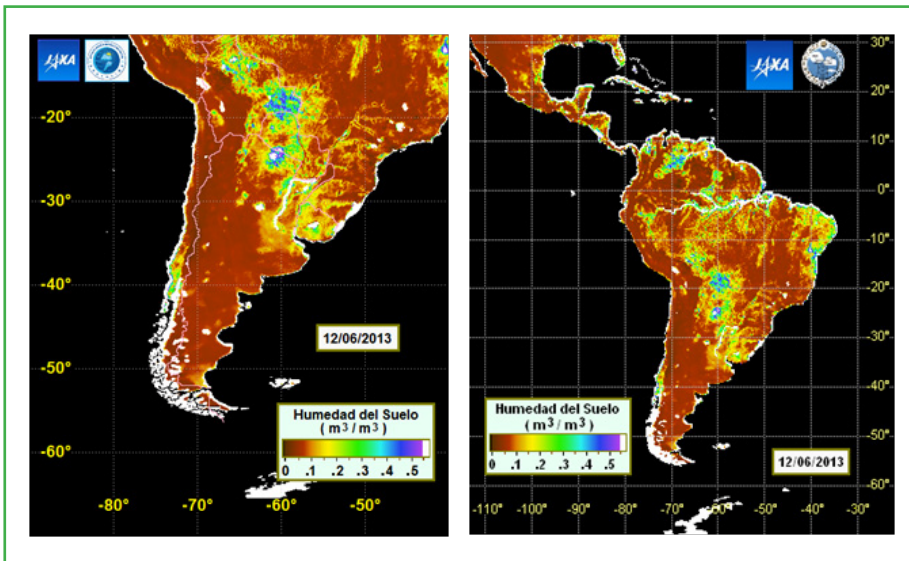


Fig.1: Mapa Humedad Superficial del Suelo
Fig.2: Mapa Humedad Superficial del Suelo
Dominio Argentina. Dominio Sudamérica

Además, hay algunos sitios de validación operados por el USGS: en Yancho, desde agosto 2012 a abril 2013, se compararon datos de la humedad del suelo in-situ con datos AMSR2, dando un error absoluto medio de aproximadamente 3,1% (0,031cm³/cm³) de la humedad del suelo volumétrica.

Las aplicaciones de este producto son para el monitoreo de alta frecuencia temporal del contenido de la humedad del suelo y su relación directa con la precipitación, el clima y el agro.

Está programado incluir este producto en Servicios Climáticos de la página web del Servicio

Meteorológico Nacional (<http://www.smn.gov.ar>). Todavía no está publicado, próximamente con la nueva página web.

4. REFERENCIAS

Njoku, E. G., Jackson, T. L., Lakshmi, V., Chan, T., and S. V. Nghiem, Soil Moisture Retrieval from AMSR-E, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2): 215-229, 2003.

Koike, T., Nakamura, Y., Kaihotsu, I., Davva, G., Matsuura, N., K. Tamagawa, and H. Fujii: Development of an Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) Algorithm of Soil Moisture and Vegetation Water Content, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, 48(2): 217-222, 2004.

Fujii, H., Koike, T., K. Imaoka: Improvement of the AMSR-E Algorithm for Soil Moisture Estimation by Introducing a Fractional Vegetation Coverage Dataset Derived from MODIS Data, *Journal of the remote sensing society of Japan*, 29 (1): 282-292, 2009.

Método de estimación del estrés hídrico y disponibilidad de agua en el suelo

Mauro Holzman
mauroholzman@hotmail.com
Raúl Rivas
rrivas@rec.unicen.edu.ar

TIPO DE ESTIMACIÓN	Cálculo del estrés hídrico con imágenes satelitales
DOMINIO	Región Pampeana (escala 1:500000-1:100000), extensible a otras regiones.
PERIODO	Desde 2000
VARIABLES DE SALIDA	Grados de estrés hídrico (0 a 1), grados de contenido de humedad del suelo, excesos y déficit hídrico. Valores de humedad si existe disponibilidad de datos de campo para realizar ajustes.
PROFUNDIDAD	Depende de la profundidad de raíces y grado de cobertura de la vegetación. Se han encontrado buenos ajustes de 5 cm a 120 cm.
RESOLUCIÓN ESPACIAL	De 250 m a 1 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	Diaria, semanal, quincenal y mensual.
EN LA WEB	http://www.ora.gov.ar/tvdi.php (mapas quincenales de estrés hídrico)

FORTALEZAS	No requiere datos de terreno. Estima el porcentaje de humedad a distintas profundidades en función del tipo de cobertura del suelo y tipo de suelo. Incorpora de forma indirecta la profundidad del nivel freático.
LIMITACIONES	Disponibilidad de imágenes sólo en condiciones de cielo sin nubes. Requiere un adecuado cálculo de los parámetros del modelo.
USUARIOS	ORA-MAGYP, Agencias de gobierno (recursos hídricos, bolsas de cereales, productores agropecuarios)

1. OBJETIVO

El objetivo del método TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) es estimar los grados de disponibilidad de agua en el suelo y de estrés hídrico de la vegetación a través de imágenes de satélite. Es un método sencillo, requiriendo sólo el uso de datos satelitales que son de acceso gratuito. Mediante este método se obtiene una estimación espacial de la disponibilidad de agua en el suelo y la condición hídrica del cultivo/vegetación.

2. METODOLOGIA

Una alternativa al monitoreo espacial de la humedad del suelo mediante puntos específicos de la superficie es su estimación a través de imágenes satelitales, incorporando la variación espacial de dicho parámetro de interés. La información en la región térmica del espectro electromagnético complementada con la del visible e infrarrojo cercano ha sido utilizada por diversos autores para inferir el estado hídrico de la vegetación y el suelo conjuntamente, posibilitando el estudio desde áreas con suelo desnudo hasta totalmente vegetadas.

La metodología del TVDI está basada en la relación entre la temperatura de superficie (LST) y el índice de vegetación (IV). De esta manera se obtiene información del estado hídrico de la superficie (cubierta vegetal hasta la profundidad del suelo que exploran las raíces de la vegetación) teniendo en cuenta el balance de energía y la condición de

la vegetación. El TVDI es un método integrador que indica el estado hídrico del sistema agua-suelo-planta y también el aporte de agua subterránea a la vegetación. En cuanto a la disponibilidad de las imágenes, a escala regional o de cuenca se recomienda utilizar imágenes de los sensores MODIS, NOAA-AVHRR, de acceso libre y gratuito, asegurando de este modo la periodicidad de toma del dato y una adecuada resolución espacial.

Los datos de entrada del modelo son las imágenes satelitales de LST e índice de vegetación. Sobre la base de estas imágenes se definen 3 parámetros para la zona de estudio que surgen de la regresión entre los datos y luego se obtienen las imágenes de grados de estrés hídrico.

3. PRODUCTO

Diversas publicaciones internacionales muestran que el índice TVDI ha sido validado en distintas regiones del mundo. En la región pampeana la metodología ha sido evaluada a través de medidas a campo de contenido de humedad en el suelo (*Holzman et al., 2014a, Holzman et al., 2014b*;). En estos trabajos se ha mostrado una estrecha relación ($R^2 > 0,69$) entre el TVDI y el contenido de humedad del suelo a distintas profundidades del suelo (de 5-10 a 120 cm), lo que refleja la aptitud del TVDI para estimar la humedad del suelo.

En cuanto a las aplicaciones previstas, la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) está aplicando actualmente el método (<http://www.ora.gov.ar/tvdi.php>) para complementar las estimaciones de humedad del suelo realizadas con balance hídrico (Fig. 1a). Por otro lado, en *Holzman et al. (2014a y Holzman et al., 2016)* se mostró la aptitud del método para estimar los rendimientos de cultivos de la región pampeana a escala regional y de paisaje (1-3 meses de anticipación, errores aproximados de 20%). Se prevé aplicar el método para la estimación de rendimientos a dichas escalas (Fig. 1b).

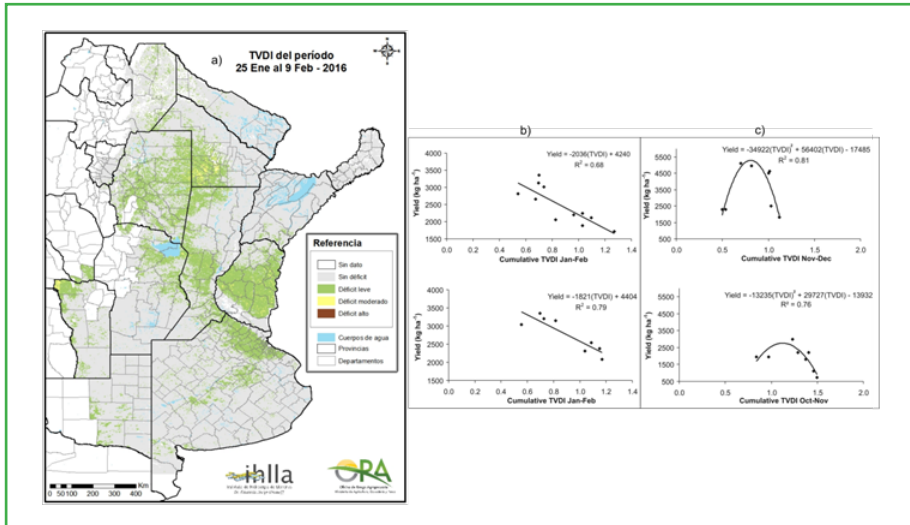


Fig. 1. a) Ejemplo de mapa de estrés hídrico correspondiente a la quincena 25 enero-9 febrero de 2016, b) relación TVDI/rendimiento para soja c) relación TVDI/rendimiento para trigo para distintas regiones agroclimáticas de la región pampeana.

4. REFERENCIAS

Holzman, M.E., R. Rivas, and M.C. Piccolo, 2014a. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28: 181-192.

Holzman, M.E., R. Rivas, and M. Bayala, 2014b. Subsurface soil moisture estimation by VI-LST method. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (11): 1951-1955.

Holzman, M.E. and R. Rivas, 2016. Early maize yield forecasting from remotely sensed temperature/vegetation index measurements. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (1): 507-519.

Producto Humedad del Suelo basado en datos de microondas pasivas orbitales

Haydee Karszenbaum
haydeek@gmail.com

TIPO DE ESTIMACIÓN	Humedad del suelo
PROFUNDIDAD / CAPAS	0 a 5 cm
DOMINIO	Pampa húmeda
PERIODO	Desde 2002 a la fecha
VARIABLES DE SALIDA	Humedad del suelo volumétrica
PROFUNDIDAD	0 a 5 cm
RESOLUCIÓN ESPACIAL	45 X 45 km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	~ 3 días
FORTALEZAS	Permite generar series temporales largas (del orden de 10 años) Se basa en principios físicos. Integra interacción multisistema / multiinstrumento. Especialización propia del sistema satelital (no hay interpolación)

LIMITACIONES	Sólo permite monitorear la humedad superficial. Resolución espacial regional.
USUARIOS	Ámbito público de demanda de información ambiental/ regional, productores de gran escala, académicos (como entrada a modelos de proceso).

1. OBJETIVO

El objetivo principal es la estimación robusta de la humedad del suelo superficial (0-20 cm) a escala regional con una resolución temporal aproximada de 3 días para la Pampa Húmeda. Para ello, se utilizarán datos de radiómetros orbitales (AMSR-E, AMSR2, SMOS, Aquarius, SMAP), modelos de interacción de la vegetación y el suelo y modelos de proceso que simulen la dinámica hídrica. En este contexto, se evaluarán modelos de humedad del suelo existentes (LPRM, USDA, NASA), de manera de estudiar qué estrategias de obtención de humedad de suelo son óptimas para esta región en particular. Como objetivo final, se desarrollará un producto de humedad del suelo basado en radiómetros orbitales disponible a usuarios, que informará humedad media del área y su error asociado. Se proveerá asimismo de una banda de calidad.

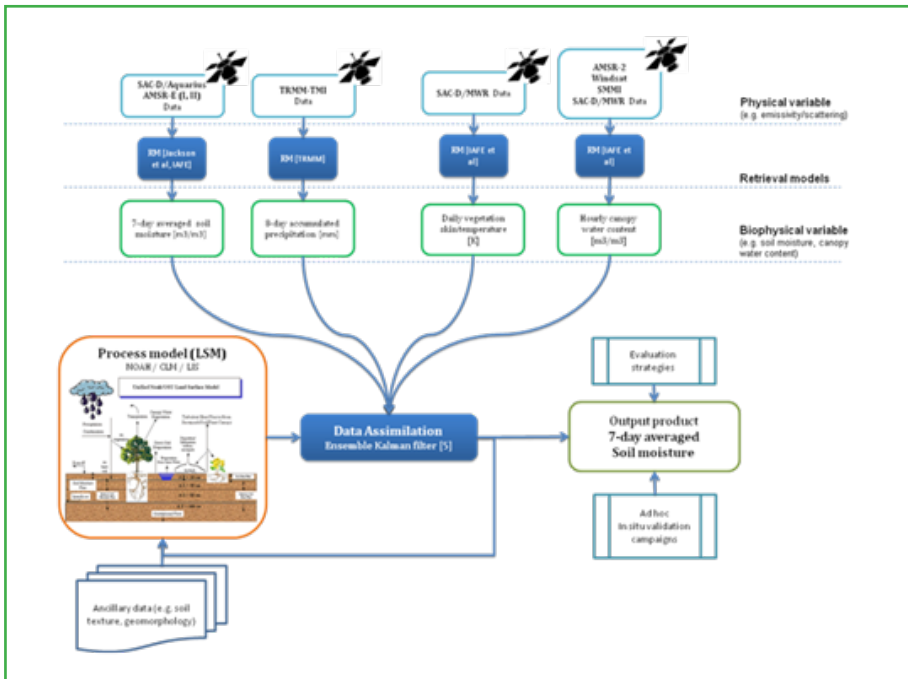
El producto se encuentra en etapa de desarrollo.

2. METODOLOGIA

El producto se basará en observaciones satelitales de diferentes instrumentos y plataformas, combinadas con modelos de balance de energía (modelos de proceso) para generar una estimación robusta de la humedad del suelo. La temperatura de brillo en microondas es función del contenido de humedad del suelo pero también de otras características (del sistema de observación, de la vegetación, del suelo, etc.). Por ende, se utilizarán modelos de interacción para desacoplar la dependencia de las observaciones de las variables que no son de interés. Además, ya que la humedad del suelo presenta una dinámica propia asociada a forzantes ambientales, un modelo de proceso que simula su dinámica será utilizado para acotar las estimaciones. Por último, es deseable generar un estimador de humedad de suelo que integre toda

la información disponible sobre las variables biofísicas (observaciones satelitales) pero que las acote a las dinámicas más probables (salidas del modelo de proceso). Para ello, tanto las observaciones satelitales como las salidas del modelo de proceso alimentarán un esquema de asimilación de datos, que estima la humedad del suelo como función de los datos satelitales y las salidas del modelo de proceso. Los diferentes bloques están esquematizados en la siguiente figura.

Fig.1. Diagrama de flujo del esquema de asimilación de datos para la obtención del producto humedad del suelo.



3. PRODUCTO

El producto estará basado en datos de radiómetros orbitales y modelos de interacción de la vegetación y el suelo. Se utilizará un esquema de inferencia bayesiano de manera de poder integrar la información satelital y tomar en cuenta las incertezas asociadas a la obtención de humedad del suelo.

Debido a la escala del producto, la validación a campo es compleja, y requiere de un sitio de validación del tamaño del pixel del producto (~ 45 km). Este tipo de sitios son caros de instalar y mantener. Por ende, se están desarrollando un conjunto de estrategias alternativas de validación, que permitan definir métricas para evaluar distintos productos. Entre ellas, se estudia actualmente la correlación espacio-temporal con balances hídricos simples, la colocación triple con otros productos y modelos y la correlación con la vegetación.

El formato de salida es hdf4, e incluirá una banda de calidad. A continuación se incluye una captura de pantalla de ejemplo del producto final.

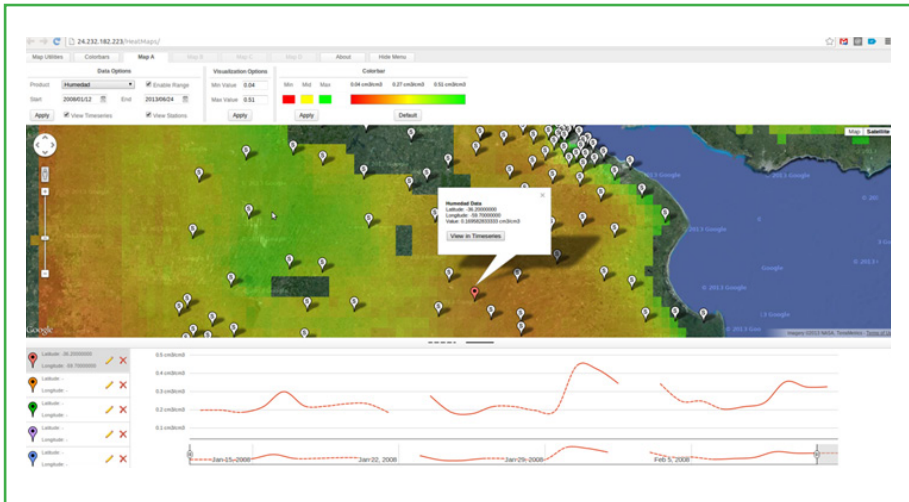


Fig.2. Captura de pantalla ejemplificando el despliegue del producto final vía aplicación web.

4. REFERENCIAS

Bruscantini, C. A., F. M. Grings, P. Perna, H. Karszenbaum, W. T. Crow, and J. Jacobo: Observing System Simulation Experiment (OSSE) for the Aquarius/SAC-D soil moisture product in *Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad)*, 2012 12th Specialist Meeting on, 2012: (1)\u201320134.

Bruscantini, C. A., P. Perna, P. Ferrazzoli, F. Grings, H. Karszenbaum, and W. T. Crow: Effect of Forward/Inverse Model Asymmetries Over Retrieved Soil Moisture Assessed With an OSSE for the Aquarius/SAC-D Mission, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. Early Access Online, 2013.

Glosario

Agua útil

Es la cantidad de agua contenida en el suelo que es aprovechable por los cultivos, hasta determinada profundidad.

Almacenaje

Cantidad de agua contenida en el suelo. También se conoce como reserva de agua en el suelo.

Capilaridad

Propiedad en virtud de la cual la superficie libre de un líquido puesto en contacto con un sólido sube o baja en las proximidades de este.

Capacidad de campo

Es el contenido de agua que es capaz de retener el suelo luego de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente.

Escurrecimiento

Cantidad de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

Evapotranspiración

Cantidad de agua contenida en el suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación desde la superficie del suelo y de la transpiración de las plantas.

Modelo de Proceso

Modelo de proceso es un conjunto de ecuaciones (incluidos los datos necesarios para resolverlas) que permite predecir el comportamiento de un sistema o proceso. Es una abstracción del proceso real. En nuestro caso en particular, las ecuaciones representan los balances de energía.

Percolación

Paso lento del agua a través del suelo por acción de la gravedad.

Punto de marchitez permanente

Cantidad mínima de agua en el suelo por debajo de la cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo.

Siglas y links de las instituciones participantes

CEVARCAM

Centro de Estudios de Variabilidad y Cambio Climático
www.cevarcam.unl.edu.ar

CIMA

Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera
www.cima.fcen.uba.ar

CONAE

Comisión Nacional de Actividades Espaciales
www.conae.gov.ar

CPTEC

Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos
www.cptec.inpe.br/

CRC-SSA

Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur
www.crc-sas.org

FAUBA

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
www.agro.uba.ar

FP-UNA

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción
www.pol.una.py

Siglas y Links

IAFE

Instituto de Astronomía y Física del Espacio
www.iafe.uba.ar

ILLHA

Instituto de Hidrología de Llanuras
www.ihlla.org.ar

INTA

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
www.inta.gob.ar

ORA

Oficina de Riesgo Agropecuario
www.ora.gob.ar

SMN

Servicio Meteorológico Nacional, Argentina
www.smn.gob.ar

UMD

Universidad de Maryland/Earth System Science Interdisciplinary Center (ESSIC)/Cooperative Institute for Climate and Satellites-Maryland (CICS-MD)
essic.umd.edu
cicsmd.umd.edu

UNL

Universidad Nacional del Litoral
www.unl.edu.ar

JASMIN

Joint Assessment of Soil Moisture Indicators
(JASMIN) for southeastern South America

Valoración conjunta de indicadores de humedad
del suelo para la región sudeste de Sudamérica

ISBN 978-987-3738-11-1



9 789873 738111