

Evaluación del modelado de humedad del suelo mediante el sistema HRLDAS

Nota Técnica SMN 2021-88

Silvina Andrea Righetti^{1,3}, Pablo Spennemann^{1,2}, Yanina García Skabar^{1,2}, María Elena Fernández Long⁴ y María Eugenia Bontempi⁵

¹*Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios. SMN.*

²*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.*

³*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN. UBA.*

⁴*Facultad de Agronomía, UBA.*

⁵*Dirección de Servicios Sectoriales, Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad. SMN.*

Marzo 2021

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

Con el objetivo de analizar el desempeño del Sistema de Asimilación de Datos de Superficie en Alta Resolución (HRLDAS, de sus siglas en inglés) en la simulación de la humedad del suelo en Argentina se realizaron comparaciones con 1) el modelo numérico global GFS y 2) el modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA). En el primer caso, se analizó el período de enero de 2012 a junio de 2020, y se observó que, al inicio de dicho intervalo, existe buena concordancia entre HRLDAS y GFS en la determinación de zonas húmedas y secas. Con el paso del tiempo, este comportamiento se modifica y hacia finales del período de estudio los campos obtenidos con HRLDAS tienden a ser considerablemente más húmedos que los de GFS, en todos los niveles de profundidad y en casi todo el territorio argentino. Esta situación parecería estar dada por el cambio en la fuente de información de precipitación utilizada para forzar el sistema HRLDAS. Para la segunda comparación, se consideraron los resultados del modelo BHOA, en 14 estaciones de la Argentina, de enero de 2017 a diciembre de 2019. Al analizar el almacenaje de agua de ambos modelos se observaron algunas estaciones con series parecidas, en sus variaciones y su valor medio, y otras notoriamente distintas, siendo HRLDAS más húmedo que BHOA en prácticamente todos los casos. Al comparar las series de anomalías mensuales de alta frecuencia, sin embargo, se observaron mayores similitudes entre modelos, lo cual se reflejó en los altos coeficientes de correlación obtenidos, indicando capacidades similares para detectar las variaciones de humedad de menor escala. También se observó que el agua útil potencial (AU) que presenta HRLDAS es considerablemente mayor que la calculada a partir de observaciones, utilizada por BHOA, en todos los tipos de suelo analizados, lo que podría ser una de las causas de los grandes valores de humedad registrados por el modelo de estudio. En conclusión, el sistema HRLDAS pareciera sobreestimar los valores de humedad del suelo, ya sea a causa de las estimaciones de precipitación y/o del AU considerada, pero parece captar las variaciones en plazos cortos.

Abstract

In order to analyze the soil moisture simulation performance of the High Resolution Surface Data Assimilation System (HRLDAS) over Argentina, a comparison against 1) global numerical model GFS and 2) Operating Water Balance Model for Agriculture (BHOA, by its acronym in Spanish) was performed. In the first case, the period from January 2012 to June 2020 was analyzed, and a good agreement between HRLDAS and GFS in the determination of wet and dry regions at the beginning of this interval of time was observed. However, the opposite was registered at the end of the period where the HRLDAS fields showed to be considerably more humid than those of GFS, at all depths and in almost the entire Argentina. This situation seemed to be caused by the change in the precipitation dataset used as input in the HRLDAS system. For the second comparison, the results of BHOA were considered over 14 stations in Argentina, from January 2017 to December 2019. When analyzing the water storage of both models, some locations presented similar time series, in their variations and mean value, and others were markedly different. Also the HRLDAS showed higher soil moisture values than BHOA in almost all cases. When comparing the series of high frequency monthly anomalies, however, greater similarities between models were observed, which was reflected in higher correlation coefficients, indicating similar capacities to detect smaller temporal scale soil moisture variations. It was also observed that the available water capacity (AWC) presented by HRLDAS is considerably higher than the observations used by BHOA, which could be one of the main causes of large absolute soil moisture values simulated by HRLDAS in all the types of soil analyzed. In conclusion, the HRLDAS system seems to overestimate the values of soil moisture, either because of the precipitation estimates and/or the AWC considered, but it seems to capture the short scale temporal variations.

Palabras clave: Humedad del suelo, HRLDAS, modelado numérico, GFS, BHOA.

Citar como:

Righetti, S. A., P. C. Spennemann, Y. García Skabar, M. E. Fernández Long y M. E. Bontempi, 2021: Evaluación del modelado de humedad del suelo mediante el sistema HRLDAS. Nota Técnica SMN 2021-88.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2016, en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se realizan simulaciones diarias del contenido de humedad en el suelo a distintas profundidades mediante el Sistema de Asimilación de Datos de Superficie en Alta Resolución (HRLDAS, de sus siglas en inglés) (Chen y otros, 2007). El objetivo principal por el que se implementó este producto fue para brindar información de humedad en el monitoreo de la condición hídrica del suelo y en la validación de los algoritmos utilizados por la misión SAOCOM. También se consideró su potencial para la inicialización del modelo regional de pronóstico del tiempo Weather Research and Forecasting Model (WRF) que actualmente se corre en el SMN (García Skabar y otros, 2018).

A pesar de estar varios años en funcionamiento, fueron pocos los trabajos que se hicieron para intentar analizar su desempeño. Vale mencionar en este sentido la evaluación preliminar llevada a cabo por Díaz y otros (2017), donde se realizó una comparación entre las simulaciones de humedad del suelo de HRLDAS y las del modelo hidrológico Variable Infiltration Capacity (VIC) (que genera actualmente la Dirección de Servicios Sectoriales del SMN) frente a observaciones tomadas en dos sitios de la provincia de Córdoba. En ese trabajo se observó una buena concordancia entre los modelos y los datos medidos para uno de los sitios y se halló una mayor diferencia en el segundo lugar con mediciones, mostrando el HRLDAS una mejora en los estadísticos frente al VIC.

Con el objetivo de pensar en posibles aplicaciones a futuro de las simulaciones de humedad de suelo obtenidas con HRLDAS, se plantea entonces continuar con la evaluación del desempeño de dicho modelo. Para ello se realizaron comparaciones con dos fuentes de información distintas. Por un lado, se consideraron los campos simulados por el modelo numérico Global Forecast System (GFS) que utiliza el mismo modelo de suelo que HRLDAS, pero acoplado, y que fue el utilizado para extraer las variables necesarias para forzar nuestro sistema. Por otro lado, se contó con los resultados de la aplicación del Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA), que genera actualmente la Dirección de Servicios Sectoriales del SMN en 109 estaciones del país y que cuenta con información observada, tanto meteorológica como de suelos.

A continuación se presenta el sistema HRLDAS y luego se muestran los resultados de las distintas evaluaciones realizadas.

2. EL SISTEMA HRLDAS

El sistema HRLDAS fue desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) de Estados Unidos con el objetivo de abordar el problema de la inicialización del estado del suelo en los modelos regionales de pronóstico del tiempo (Chen y otros, 2007). Dicho sistema 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, en modo desacoplado. El modelo Noah LSM está basado en el acoplamiento de la evaporación potencial de Penman con dependencia diurna propuesta por Mahrt y Ek (1984), el modelo de suelo 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 y otros quienes incluyeron una aproximación simplificada de la resistencia de la canopia propuesta por Noilhan y Planton (1989) y Jacquemin y Noilhan (1990) y también Koren y otros (1999) quienes incluyeron la física de los suelos congelados.

El modelo Noah LSM presenta una sola capa de canopia, mientras que el suelo es comúnmente dividido en 4 espesores fijos delimitados entre: 0 - 10 cm, 10 - 40 cm, 40 - 100 cm y 100 - 200 cm. La profundidad total

del suelo es de 2 metros y la profundidad de las raíces de la vegetación varía como función del uso de suelo en los primeros 1,5 m de espesor.

Los datos de uso de suelo utilizados son aquellos brindados por la U.S. Geological Survey's (USGS) (Loveland y otros, 1995), la cual considera 27 categorías de cobertura con una resolución espacial de 1 km (Tabla 1). Si bien el tipo de vegetación no varía anualmente, algunas características asociadas pueden presentar una variación estacional, como por ejemplo, la fracción de vegetación verde. Dicha variable presenta una variación mensual que surge de una climatología de 5 años estimada con datos de 0,15° de resolución que fueron obtenidos a partir del índice NDVI estimado mediante información satelital del sensor AVHRR (Gutman e Ignatov, 1998).

Tabla 1: Usos de suelo considerados por el modelo Noah LSM.

Categoría	Descripción	Categoría	Descripción
1	Zona urbana o con edificaciones	15	Bosque mixto
2	Cultivo de secano y pastura	16	Cuerpo de agua
3	Cultivo irrigado y pastura	17	Humedales herbáceos
4	Zona mixta con cultivos irrigados y de secano, y pastura	18	Humedales arbóreos
5	Mosaico de cultivo y pradera	19	Tierra infértil o vegetación dispersa
6	Mosaico de cultivo y bosque	20	Tundra herbácea
7	Pradera	21	Tundra arbórea
8	Matorral	22	Tundra mixta
9	Zona mixta con matorral y pradera	23	Tundra con suelo desnudo
10	Sabana	24	Nieve o hielo
11	Bosque caducifolio de hoja ancha	25	Playa
12	Bosque caducifolio de hoja en forma de aguja	26	Lava
13	Bosque perenne de hoja ancha	27	Arena blanca
14	Bosque perenne de hoja en forma de aguja		

La clasificación de tipos de suelo utilizada es la presentada por Miller y White (1998), basada en los datos del Departamento de Agricultura de EEUU. Esta base de datos actualmente cuenta con 19 categorías, con una resolución de 1 km (Tabla 2), y presenta información de la textura, densidad aparente, porosidad, agua disponible, entre otros parámetros. Solo se considera la clase de la primera capa de suelo y se la aplica a todo el perfil.

Tabla 2: Tipos de suelos considerados por el modelo Noah LSM.

Categoría	Descripción	Categoría	Descripción
1	Arenoso	11	Areno limoso
2	Franco arenoso	12	Arcilloso
3	Areno franco	13	Materia orgánica
4	Franco limoso	14	Agua
5	Limoso	15	Roca
6	Franco	16	Otras (tierra-hielo)
7	Franco arcillo arenoso	17	Playa
8	Franco arcillo limoso	18	Lava
9	Franco arcilloso	19	Arena blanca
10	Arcillo arenoso		

Las variables de pronóstico del modelo Noah LSM son: humedad del suelo volumétrica total y humedad del suelo volumétrica líquida (el estado sólido del agua en el suelo se obtiene como la diferencia entre la humedad volumétrica total y la correspondiente al agua líquida), temperatura del suelo en las 4 capas, agua almacenada en la cobertura, densidad de la capa de nieve, albedo de la nieve y nieve acumulada en superficie.

Como se expresó anteriormente el HRLDAS es, en esencia, un sistema desacoplado de modelado de la superficie terrestre que integra campos estáticos de superficie (tipo y uso de suelo), características de la vegetación que varía de forma predeterminedada con el tiempo (fracción de vegetación verde), campos observados de variables en superficie (precipitación y radiación solar) y otros cerca de superficie (temperatura, humedad, viento, etc.) para ejecutar el modelo Noah LSM y poder simular la evolución a largo plazo de las variables de estado del suelo.

Esquema de funcionamiento del sistema HRLDAS

En la Figura 1 se muestran los distintos pasos que se requieren para ejecutar el sistema HRLDAS. Los datos de entrada son, por un lado, los campos de variables meteorológicas que se utilizan para inicializar/forzar el modelo de superficie y, por otro, los campos de las características de la superficie que provienen del preprocesador del modelo WRF (WPS). En las Tablas 3 y 4 se presenta el detalle de los campos de entrada junto con la fuente de donde se extrajo dicha información.

Como los datos de entrada pueden presentar distintas resoluciones espaciales y temporales, el sistema se encarga de consolidar toda la información y realizar las interpolaciones necesarias para referenciar todo a una misma retícula. Una vez llevado a cabo este paso, se da comienzo a la integración del modelo de superficie Noah LSM.

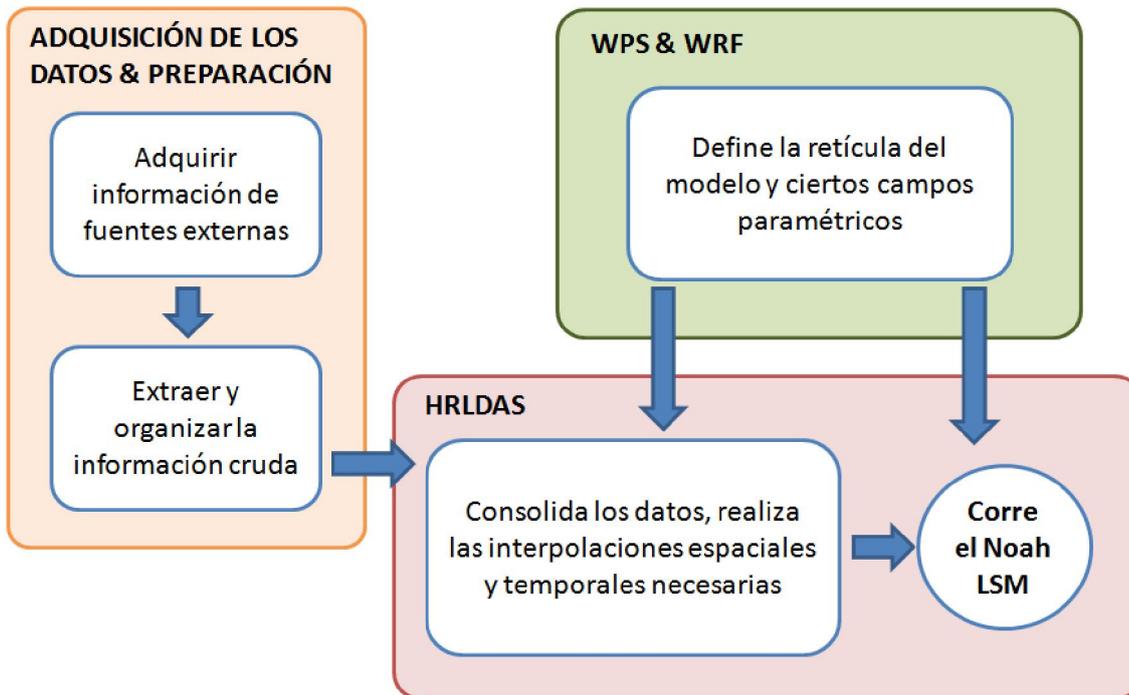


Figura 1: Esquema de funcionamiento del sistema HRLDAS.

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA HRLDAS IMPLEMENTADO EN EL SMN

Desde el año 2016, en el SMN se encuentra funcionando diariamente el sistema HRLDAS. La resolución espacial de los campos de salida es de 10 km, la temporal de 6 hs y el tipo de proyección es conforme de Lambert. Si bien se comenzó a ejecutar diariamente desde el 2016, se cuenta con datos desde el 1 de enero de 2012 hasta la actualidad. El dominio para el cual se realizan las simulaciones de humedad del suelo es para toda Argentina, sin embargo, debido a limitaciones en el dominio de algunas de las estimaciones de precipitación utilizadas existen períodos donde los datos al sur de 50°S no son válidos (Tabla 5).

Tal como se detalló anteriormente, para ejecutar el modelo Noah LSM se requieren datos para forzarlo. En este caso se utilizan análisis y pronósticos a 3 hs del modelo GFS, y estimaciones satelitales de precipitación de distintas fuentes (Tablas 3 y 5). En este último punto es importante mencionar que dichas fuentes de información de precipitación se vieron modificadas con el tiempo debido a cambios en la disponibilidad de los productos satelitales. Inicialmente se utilizó la estimación Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), en sus versiones V7 y RT, y luego se pasó a trabajar con Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMAP) (Tabla 5). Hobouchian y otros (2018) mostraron que, para la región de estudio, GSMAP sobreestima los acumulados de precipitación, con lo cual se consideró importante realizar simulaciones forzando el modelo con otro producto que demuestra ser mejor, la versión Late Run (LR) de la estimación satelital Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). De este modo, se buscó también comparar el modelado de la humedad en el suelo a partir de ambos forzantes.

Tabla 3: Variables y fuentes de los datos utilizados para inicializar y forzar el sistema HRLDAS.

Variable		Fuente de información
Inicialización	Temperatura del suelo (varios niveles)	Reanálisis del Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Resolución espacial: 0,5° Resolución temporal: 6 hs
	Humedad del suelo (varios niveles)	
	Contenido de agua en la cobertura	
	Temperatura en la superficie	
	Agua equivalente a una profundidad de nieve acumulada	
Forzado	Temperatura del aire a 2 m	Análisis del modelo Global Forecast System (GFS) Resolución espacial: 0,5° Resolución temporal: 6 hs
	Elevación del terreno	
	Relación de mezcla a 2 m	
	Viento zonal y meridional a 10 m	
	Presión de superficie	
	Tasa de precipitación	TRMM/GSMAP/IMERG (Para mayor detalle ver Tabla 5)
	Radiación de onda corta entrante a la superficie	Pronóstico a 3 hs del modelo Global Forecast System (GFS)
	Radiación de onda larga entrante a la superficie	Resolución espacial: 0,5° Resolución temporal: 6 hs

Tabla 4: Parámetros extraídos del WPS necesarias por el sistema HRLDAS.

Parámetros	Fuente de información
Latitud	wrfinput_d01 y geo_em.d01.nc generados con el WPS (WRF)
Longitud	
Categoría de uso de suelo	
Categoría de tipo de suelo	
Fracción de vegetación verde	
Temperatura del suelo invariante con el tiempo	

Tabla 5: Estimaciones de precipitación satelital utilizadas para forzar el sistema HRLDAS.

Estimación y versión	Dominio	Resolución espacial	Resolución temporal	Período de utilización
TRMM - V7	50°N - 50°S	0,25° x 0,25°	3 h	1/1/2012 al 30/9/2015
TRMM - RT	50°N - 50°S	0,25° x 0,25°	3 h	1/10/2015 al 30/9/2016
GSMAP	60°N - 60°S	0,1° x 0,1°	1 h	1/10/2016 a la actualidad
IMERG - LR	90°N - 90°S	0,1° x 0,1°	0,5 h	1/1/2017 al 30/6/2020

4. RESULTADOS

Para comenzar con el análisis de los resultados del modelado de la humedad del suelo, se realizó una comparación de los campos obtenidos por HRLDAS con los generados por el modelo GFS, el cual utiliza el mismo modelo de superficie, i.e. Noah LSM, pero en modo acoplado. Para ello se realizaron los promedios mensuales de la humedad del suelo volumétrica, para cada capa de suelo, desde enero de 2012 hasta junio de 2020. Es importante aclarar en este punto, que si bien se trabajó con las 4 capas disponibles por ambos modelos, la profundidad efectiva, es decir el espesor de suelo donde las raíces de la vegetación pueden extraer agua, depende del uso de suelo asociado. En Argentina, mayormente, dicho espesor está seteado en 100 cm de profundidad.

A modo de ejemplo de lo obtenido, se presentan las Figuras 2 y 3, donde la primera de ellas muestra las simulaciones con ambos modelos al inicio del período y la segunda hacia el final del mismo. En la Figura 2 se presentan los campos modelados por HRLDAS (con TRMM-V7) y GFS para el mes de enero de 2012. Se puede apreciar que, si bien hay diferencias en las magnitudes modeladas por ambos modelos, principalmente en la capa entre 40 y 100 cm, las regiones donde se ubican las zonas más secas y más húmedas parecen estar en concordancia. En la Figura 3 se muestra la humedad en el suelo obtenida con HRLDAS, forzado con GSMAP e IMERG-LR, junto con GFS para el mes de enero de 2020. En este caso se puede ver claramente cómo HRLDAS, forzado con ambas estimaciones de precipitación, presenta valores llamativamente altos de humedad del suelo (por ejemplo, en la Patagonia), que además resultan considerablemente mayores a los calculados por GFS en todo el perfil de suelo, en prácticamente toda la Argentina. Vale mencionar, sin embargo, que los resultados al forzar con IMERG parecieran ser levemente mejores que con GSMAP. Estas diferencias tan marcadas entre HRLDAS y GFS que se aprecian en la Figura 3, pero no en la Figura 2, parecen comenzar a ocurrir a finales del año de 2016 (no se muestra), en coincidencia con el cambio en la estimación de precipitación utilizada para forzar el sistema (ver Tabla 5).

Si bien era esperable que ambos modelos presentaran diferencias en las magnitudes de los campos simulados, el comportamiento tan disímil observado a partir del verano de 2016/2017 motivó la inclusión en esta evaluación del modelo de balance BHOA, desarrollado por Fernández Long y otros (2012). Dicho modelo simula el contenido de agua o almacenaje en el suelo y se ejecuta puntualmente en algunas estaciones sinópticas de superficie de la Argentina. El período utilizado en este caso comprende del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2019, y las estaciones seleccionadas para realizar la comparación fueron 14, todas ellas ubicadas en la región centro del país (Tabla 6). Vale aclarar que las salidas del

HRLDAS contra las que se realizó esta comparación fueron aquellas forzadas con la estimación de precipitación IMERG-LR, ya que, como se mencionó anteriormente, muestra mejores resultados.

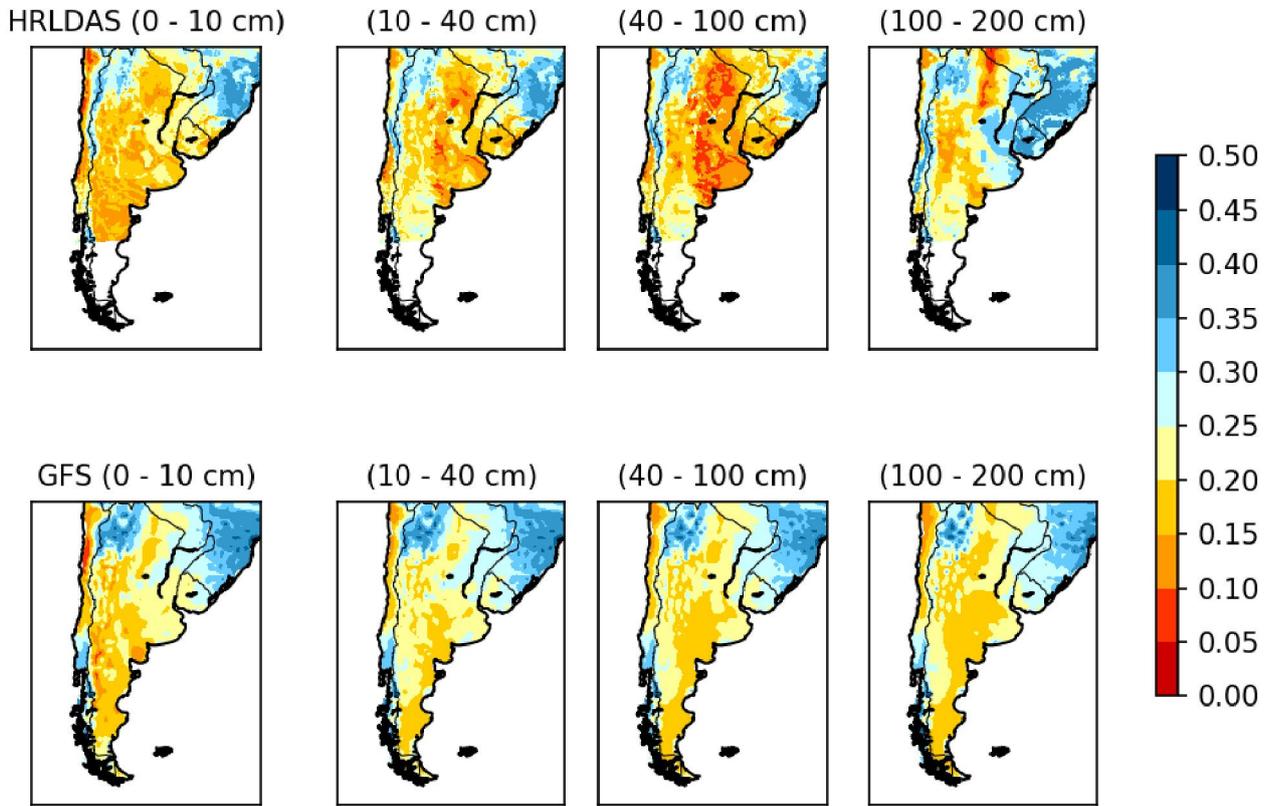


Figura 2: Valor medio mensual de la humedad en el suelo (m^3/m^3) a distintas profundidades de HRLDAS (paneles superiores) y GFS (paneles inferiores) para el mes de enero de 2012. En HRLDAS los valores al sur de $45^\circ S$ fueron enmascarados por no contar con datos confiables de precipitación.

El primer paso, previo a la comparación entre los modelos BHOA y HRLDAS, fue realizar una conversión de unidades, puesto que el primero simula el almacenaje de agua en mm y el segundo la humedad volumétrica del suelo en m^3/m^3 . Para ello se consideró, en cada estación, la profundidad de las raíces de la vegetación en HRLDAS (siendo este valor de 100 cm en todos los casos) y se la multiplicó por la humedad simulada. De este modo, se llevó la unidad volumétrica de humedad a mm de almacenaje en el primer metro de espesor de suelo.

En la Figura 4 se presentan, a modo de ejemplo, las series temporales de tres de las estaciones seleccionadas: Pigüé, Sunchales y Venado Tuerto. En la estación bonaerense se puede apreciar que, si bien HRLDAS presenta valores superiores a los de BHOA en todo el período de estudio, ambos modelos parecerían compartir algunos rasgos, como la velocidad de secamiento del suelo en algunos momentos y algunos picos de humedecimiento puntuales. En las estaciones santafesinas, a diferencia de lo antes mencionado, el comportamiento de ambas series es bastante similar, observándose una buena concordancia entre ellas; sin embargo, se observan algunas diferencias relacionadas, principalmente, a los ritmos de secamiento en diversas oportunidades.

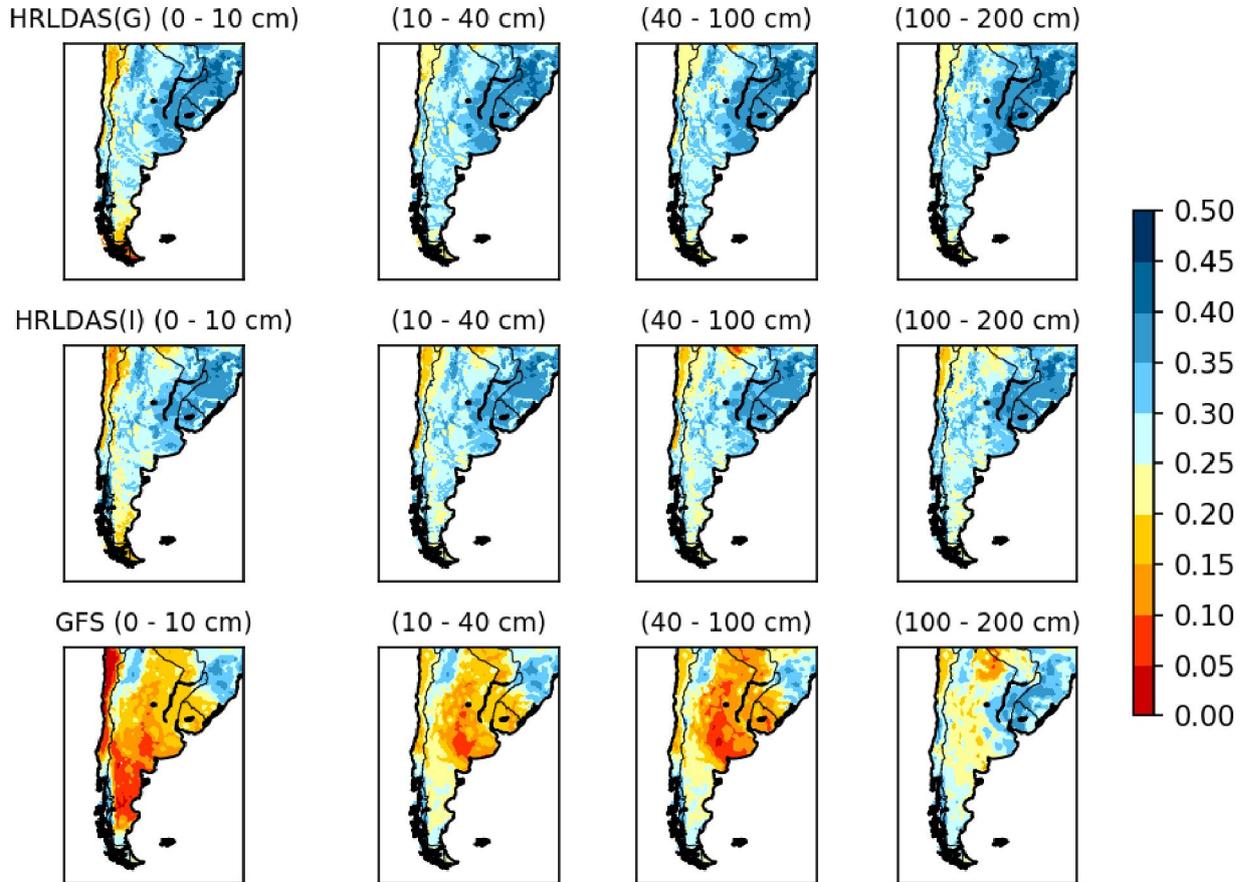


Figura 3: Valor medio mensual de la humedad en el suelo (m^3/m^3) a distintas profundidades de HRLDAS forzado con GSMAP (paneles superiores), forzado con IMERG (paneles intermedios) y de GFS (paneles inferiores) para el mes de enero de 2020.

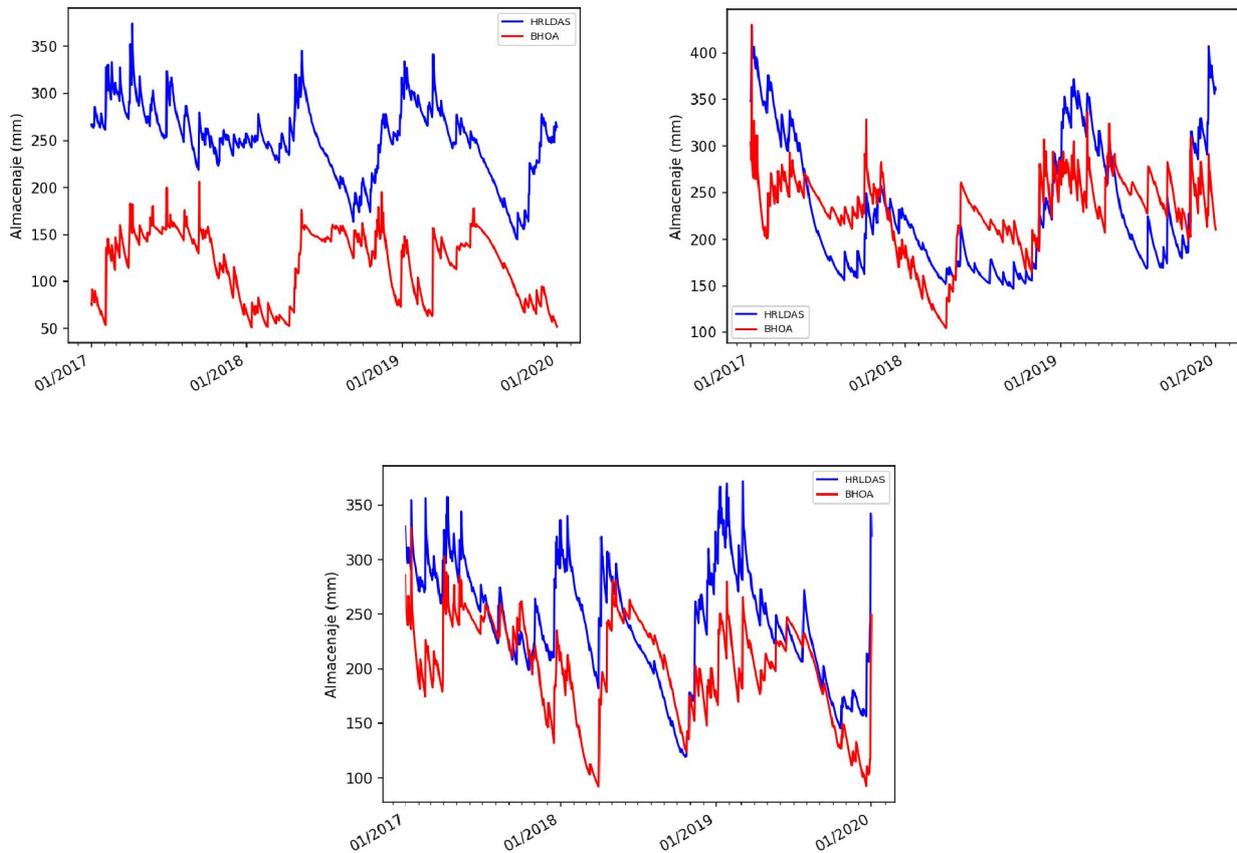


Figura 4: Evolución temporal de las series de almacenaje de HRLDAS (azul) y BHOA (rojo) en las estaciones Pigüé (arriba a la izquierda), Sunchales (arriba a la derecha) y Venado Tuerto (abajo).

Con la idea de remover los efectos estacionales y analizar las variaciones de menor escala temporal de la humedad del suelo se calcularon las series de las anomalías mensuales de alta frecuencia. Para ello se consideró la expresión (1) planteada por Albergel y otros (2012):

$$Anomalía(t) = \frac{Almacenaje(t) - \overline{Almacenaje(F)}}{\sigma(F)} \quad (1)$$

donde F representa una ventana móvil de 35 días centrada en el día t [t-17,t+17].

En la Figura 5 se presenta la evolución temporal de las series de anomalía para las mismas estaciones de la Figura 4. En este caso se puede apreciar que, tanto en Pigüé como en Sunchales y Venado Tuerto, las series de HRLDAS y BHOA presentan comportamientos parecidos, lo que indicaría que las tres estaciones poseen capacidades similares para representar variabilidades de menor escala temporal.

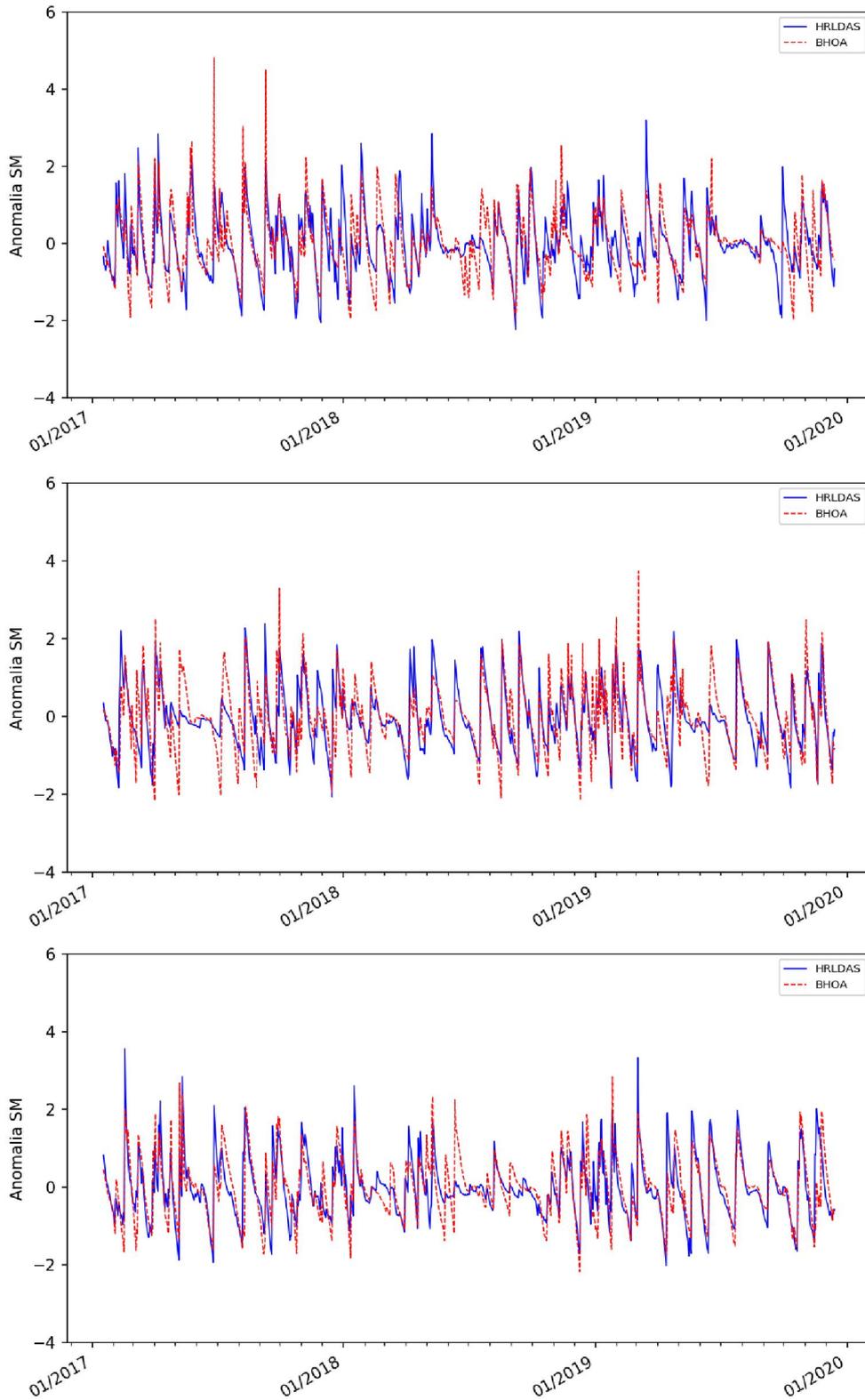


Figura 5: Evolución temporal de las anomalías de almacenaje de HRLDAS (línea sólida azul) y BHOA (línea punteada roja) en las estaciones Pigüé (arriba), Sunchales (centro) y Venado Tuerto (abajo).

Para cuantificar las diferencias de los almacenajes de ambos modelos se analizaron los coeficientes de la correlación de Spearman (ρ) entre ambas series y entre las anomalías mensuales de alta frecuencia de las series, para el período del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 6 se presentan los valores obtenidos en cada estación. Al analizar los resultados se observa que al comparar series entre sí las correlaciones son bastante bajas, con valores que oscilan entre -0,02 y 0,65. Distinta es la situación con las correlaciones de las anomalías, donde en todos los casos los ρ alcanzados son superiores o iguales a 0,6, alcanzando incluso valores por encima de 0,7 en la mitad de las estaciones.

Tabla 6: Coeficientes de la correlación de Spearman entre las series de BHOA y HRLDAS de almacenaje y de anomalía de almacenaje en las estaciones sinópticas de superficie seleccionadas.

Provincia	Estación	Coeficiente Spearman	
		Almacenaje	Anomalía
Buenos Aires	Benito Juárez	0,36	0,61
	Dolores	-0,02	0,64
	Junín	0,26	0,72
	9 de Julio	0,36	0,64
	Pehuajó	0,29	0,65
	Pigüé	0,19	0,74
La Pampa	Santa Rosa	0,50	0,60
Córdoba	Pilar	0,52	0,69
Entre Ríos	Concordia	0,39	0,71
	Gualedguaychú	0,05	0,71
Santa Fe	Reconquista	0,52	0,70
	Rosario	0,39	0,68
	Venado Tuerto	0,48	0,76
	Sunchales	0,65	0,74

Si se analizan las tres estaciones mencionadas anteriormente podemos ver que en Pigüé, tal como se esperaba a partir de lo visto en la Figura 5, el coeficiente de correlación entre las series es bajo (0,19), pero aumenta considerablemente cuando analizamos las anomalías, llegando a un valor de 0,74. En el caso de Sunchales, como era esperable también, ambas correlaciones presentan coeficientes altos (0,65 para las series y 0,74 para las anomalías), donde nuevamente se observa un mayor valor de ρ al analizar las anomalías. Por último, en la ciudad de Venado Tuerto también se pueden apreciar mayores valores para las correlaciones de las anomalías frente a los de las series, siendo 0,76 en el primer caso y 0,48 en el segundo.

Tabla 7: Características de la superficie considerada en los modelos BHOA y HRLDAS para las estaciones de estudio.

Estación	Tipo de suelo		Tipo de vegetación	Agua útil potencial (mm)		
	BHOA	HRLDAS	HRLDAS	BHOA	HRLDAS	Diferencia
Benito Juárez Aero	Franco limosa	Franco	Cultivo de secano y pastura	101	263	162
Pilar Obs	Franco limosa	Franco arcilloso	Mosaico de cultivo y bosque	132	279	147
Rosario Aero	Franco limosa	Arcilloso	Cultivo de secano y pastura	90	274	184
Gualeguaychú Aero	Franco limosa	Arcilloso	Cultivo de secano y pastura	85	274	189
Nueve de Julio	Franco arenosa	Franco	Cultivo de secano y pastura	89	262	173
Dolores Aero	Franco limosa	Franco arcilloso	Cultivo de secano y pastura	67	279	212
Santa Rosa Aero	Franco arenosa	Franco arenoso	Mosaico de cultivo y bosque	110	336	226
Pigüé Aero	Franco limosa	Franco	Cultivo de secano y pastura	75	263	188
Reconquista Aero	Franco limosa	Franco arcilloso	Pradera	72	279	207
Junín Aero	Franco arenosa	Franco	Cultivo de secano y pastura	125	263	138
Pehuajó Aero	Franco arenosa	Franco	Cultivo de secano y pastura	124	263	139
Concordia Aero	Arenosa	Franco arenoso	Pradera	50	355	305
Venado Tuerto Aero	Franco limosa	Franco	Pradera	135	263	128
Sunchales Aero	Franco limosa	Arcilloso	Cultivo de secano y pastura	120	274	154

Para determinar las posibles causas de los comportamientos tan dispares entre estaciones se buscó analizar las diferencias en los parámetros de superficie de cada modelo. En la Tabla 7 se presentan el tipo de suelo, el tipo de vegetación y el agua útil potencial (AU) (diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez) asociados a los modelos BHOA y HRLDAS en las estaciones de estudio. El tipo de cobertura vegetal solo se presenta para HRLDAS, pues el método de balance no la considera en su formulación. Es importante comentar en este punto que las constantes hidrológicas de los suelos que utiliza el modelo BHOA fueron obtenidas a partir de la combinación de valores determinados experimentalmente a campo en distintos lugares de Argentina y el modelado matemático (Fernández Long y otros, 2012), mientras que aquellas consideradas por HRLDAS surgen de campos globales (mencionados en la sección

2) que no han sido validados para nuestro territorio. Si se comparan los tipos de suelo se puede ver que solo en un caso ambos modelos coinciden, siendo esta ciudad Santa Rosa. Al analizar el AU se observa que el HRLDAS presenta, en todos los casos, mayores valores en comparación con el BHOA, y que las diferencias entre ambos modelos van desde los 305 mm en Concordia a 128 mm en Venado Tuerto. Estas grandes diferencias se deben principalmente a una mayor estimación de la capacidad de campo (CC) y una menor determinación del punto de marchitez (PM) por parte del HRLDAS (no se muestra).

Un resultado interesante para resaltar es el de la estación Santa Rosa, donde se da la única coincidencia de tipo de suelo, pero presenta la segunda mayor diferencia de AU entre modelos. Esto parecería indicar que la representación de los valores de CC y PM se encuentra mal determinada por el HRLDAS para los suelos de nuestra región, lo que genera mayores valores de AU y repercute en sobreestimaciones de la humedad del suelo.

Otro resultado a destacar es lo que ocurre en Venado Tuerto, siendo esta estación la que presenta la menor diferencia de AU entre modelos y algunos de los mayores coeficientes de correlación entre sus series (0,48 para las series de almacenaje y 0,76 para las de anomalía). Esto podría estar indicando que una mejor determinación de los valores de CC y PM por parte de HRLDAS ayuda a obtener una mejor representación de la humedad del suelo respecto al BHOA, tanto a escala anual, como para las variabilidades de menor plazo temporal.

5. CONCLUSIONES

Con el objetivo de continuar con la evaluación del desempeño del sistema de modelado de humedad del suelo HRLDAS, se buscó comparar sus salidas con distintas fuentes de información. Inicialmente, se contrastaron con los campos simulados por el modelo global GFS, y luego, con los resultados del balance hidrológico BHOA en puntos fijos donde se cuenta con estaciones sinópticas de superficie.

Al comparar HRLDAS con GFS se observaron importantes diferencias. Si bien al comienzo del período de estudio existe una buena concordancia en la determinación de regiones secas y húmedas, hacia finales del mismo se observa una mayor estimación de la humedad del suelo por parte del HRLDAS en comparación con GFS. Este hecho parecería estar relacionado con el cambio en la estimación de precipitación utilizada para forzar el modelo HRLDAS (de TRMM a IMERG/GSMAP).

En el caso de la comparación puntual entre HRLDAS y BHOA, no se encontró un comportamiento homogéneo entre todas las estaciones, aunque sí se presentaron algunos resultados interesantes. Al analizar el almacenaje de agua se observaron algunas estaciones con series temporales parecidas, en sus variaciones y su valor medio, y otras notoriamente distintas. Esto se evidenció al realizar las correlaciones de estas series entre modelos donde se alcanzaron valores entre 0,65 (Sunchales) y -0,02 (Dolores). Lo notorio fue que al analizar las series de anomalías mensuales de alta frecuencia de ambos modelos, las diferencias se redujeron y los coeficientes de correlación aumentaron considerablemente, registrando valores de entre 0,76 (Venado Tuerto) y 0,60 (Santa Rosa). Todo esto parecería indicar que HRLDAS tiene dificultades para determinar los valores de humedad del suelo, pero su representación mejora a la hora de analizar las variaciones temporales de corto plazo.

Otro resultado importante se obtuvo al analizar la textura del suelo y el AU en cada punto seleccionado. En este caso se pudo observar que HRLDAS no presenta una correcta determinación de los tipos de suelo de Argentina, ya que en uno solo de los 14 puntos seleccionados existió coincidencia con la textura observada

y utilizada por BHOA. Más allá de esta situación, también se observó que los valores de AU considerados por HRLDAS siempre fueron notoriamente mayores a los utilizados por BHOA (en algunas oportunidades hasta triplica el valor), sin importar el tipo de suelo presente. Este comportamiento podría estar explicando el hecho de que el valor medio de las series simuladas por HRLDAS sea mayor al simulado por BHOA.

Teniendo en cuenta todo lo detallado anteriormente, se puede concluir que el modelo HRLDAS presenta problemas en la representación de los valores de humedad del suelo, debido a errores propios de las estimaciones de precipitación que se utilizan para forzar el modelo y a una incorrecta determinación de la textura del suelo y de sus parámetros asociados. Sin embargo, y a pesar de esto, se observa que HRLDAS logra captar las variaciones de humedad del suelo de menor escala temporal, lo que permitiría su utilización en el monitoreo de las condiciones hídricas del suelo en escala semanal y/o decadal.

A futuro, se espera poder continuar con la evaluación del sistema HRLDAS incorporando, en una nueva etapa, observaciones de humedad del suelo medidas en campo.

6. REFERENCIAS

Albergel, C., P. Rosnay, G. Balsamo, L. Isaksen y J. Muñoz Sabater, 2012: Soil Moisture Analyses at ECMWF: Evaluation Using Global Ground-Based In Situ Observations. *Journal of Hydrometeorology*, 13, 1442–1460.

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

Chen, F. y J. Dudhia, 2001: Coupling an 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.

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 y 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.

Díaz, G., S. Righetti, L. Ferreira y A. Soldano, 2017: Evaluación preliminar del desempeño en la humedad del suelo de los modelos NOAH y VIC. XXVI Congreso Nacional del Agua, CONAGUA 2017.

Fernández Long M.E., L. Spescha, I. Barnatán y G. Murphy, 2012: Modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA). *Rev. Agronomía & Ambiente* 32(1-2): 31–47. FA-UBA, Buenos Aires, Argentina.

García Skabar Y., C. Matsudo, M. Sacco, J.J. Ruiz y S. Righetti, 2018: Implementación modelo de pronóstico numérico WRF. *Nota Técnica SMN* 2018-45.

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

Hobouchian, M.P., Y. García Skabar, P. Salio, M. Viale y C. Matsudo, 2018: Evaluación de estimaciones de precipitación por satélite en el sur de Sudamérica. XIII Congreso Argentino de Meteorología.

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

Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q.-Y. Duan y F. Chen, 1999: A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *Journal of Geophysical Research*, 104, 19569–19585.

Loveland, T. R., J. W. Merchant, J. F. Brown, D. O. Ohlen, B. C. Reed, P. Olson, and J. Hutchinson, 1995: Seasonal land-cover regions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 85, 339–355.

Mahrt, L. y K. Ek, 1984: The influence of atmospheric stability on potential evaporation. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 222–234.

Mahrt, L. y H. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Boundary-Layer Meteorology*, 29, 1–20.

Miller, D. A. y R. A. White, 1998: A conterminous United States multilayer soil characteristics data set for regional climate and hydrology modeling. *Earth Interactions*, 2.

Noilhan, J. y S. Planton, 1989: A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review*, 117, 536–549.

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

Spennemann, P.C., M.E. Fernández-Long, N.N. Gattinoni, C. Cammalleri y G. Naumann, 2020: Soil moisture evaluation over the Argentine Pampas using models, satellite estimations and in-situ measurements. *Journal of Hydrology*, 31, 100723.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).