



Infraestructura de Datos Espaciales
Comisión Nacional de Actividades Espaciales

SAOCOM

Visor de series temporales de la humedad en el perfil de suelo

visor de series temporales (VST)

Manual de usuario de productos

Autores: Homero Lozza
Pablo Thomas
Santiago Bustos Revol
Jonatan Mogadouro

Edición: e01

Fecha: 14/05/2024

Código: CONAE_MOD_MHS_DSS_VST_ManualUsuarios_e01

	NOMBRE	DEPENDENCIA	FECHA
AUTORES	Homero Lozza	UA - SgAyP - GOT	14/05/2024
	Pablo Thomas	GGT	14/05/2024
	Santiago Bustos Revol	UA - SgAyP - GOT	14/05/2024
	Jonatan Mogadouro	UA - SgAyP - GOT	14/05/2024
REVISADO	Verónica Montenegro	ADeSA - SgSU - GVT	07/12/2023
	Nathalie Horlent	SgPSE - GVT	06/12/2023
APROBADO	Álvaro Soldano	SgAyP - GOT	14/05/2024

EDICIÓN	FECHA	CAMBIOS REALIZADOS
e01	14/05/2024	Versión inicial del documento.

DOCUMENTOS APLICABLES		
Nº	CÓDIGO	TÍTULO
DA1	SAO-USS-DD-00021-A	Software Design Document SAS DSS batch

DOCUMENTOS DE REFERENCIA		
Nº	CÓDIGO	TÍTULO
DR1	SAO-GRS-PT-00002-D	Ground Segment Product Tree
DR2	SAO-SYS-LI-00001-B	SAOCOM Mission Glossary of Terms and Acronyms

Índice

1. Sobre el documento	4
1.1. Objetivo	4
1.2. Alcance	4
1.3. Lista de acrónimos y abreviaturas	4
2. Introducción	4
3. Obtención de los datos para el Visor de Series Temporales de la humedad en el perfil de suelo (VST)	5
3.1. Limitaciones del algoritmo y/o servicio	5
4. Resultados	6
5. Validación de los contenidos ofrecidos por el servicio	6
5.1. Procedimiento	7
5.2. Evaluación de los resultados	8
5.3. Consideraciones finales	9
6. Descripción del servicio	11
6.1. Nombre del archivo	11
6.2. Formato del servicio VST	11
6.3. Características del servicio	11
6.3.1. Rango	11
6.3.2. Proyección	12
6.3.3. Resolución espacial	12
6.3.4. Resolución temporal	12
6.4. Política de datos	12
6.5. Acceso	12
6.6. Contacto	13
6.7. Metadatos	13
Referencias	13

1. Sobre el documento

1.1. Objetivo

El presente documento describe al Visor de Series Temporales de la humedad en el perfil de suelo. Su objetivo es representar la evolución temporal de los valores locales del contenido volumétrico del agua en el suelo a diferentes profundidades. Estas estimaciones son generadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y pertenecen a la familia de productos de alto nivel derivados de la misión SAOCOM.

1.2. Alcance

Este documento está destinado a la comunidad técnico-científica y público en general.

1.3. Lista de acrónimos y abreviaturas

ADeSA	Área de Desarrollos y Soluciones Ambientales
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (Inglés: Application Programming Interface)
CETT	Centro Espacial Teófilo Tabanera
CONAE	Comisión Nacional de Actividades Espaciales
GGT	Gerencia de Gestión Tecnológica
GOT	Gerencia de Observación de la Tierra
GVT	Gerencia de Vinculación Tecnológica
HS	Humedad de Suelo
MSMKR	Mapa de humedad del perfil de suelo integrado hasta 50cm krigado (Inglés: Modeled Soil Moisture Kriged)
ROI	Región de Interés (Inglés: Region Of Interest)
SAOCOM	Satélite de Observación con Microondas
SAR	Radar de Apertura Sintética (Inglés: Synthetic Aperture Radar)
SgAyP	Subgerencia de Aplicaciones y Productos
SgPSE	Subgerencia de Promoción del Sector Espacial
SgSU	Subgerencia de Servicios al Usuario
SIG	Sistema de Información Geográfica
UA	Unidad de Aplicaciones
VST	Visor de Series Temporales de la humedad en el perfil de suelo
WMS	Servicio Web de Mapas (Inglés: Web Mapping Service)
ZH	Zona Homogénea

2. Introducción

La Humedad de Suelo (HS) es una variable fundamental para el análisis meteorológico, hidrológico y agronómico. De aquí que la elección de tratamientos que mejor se adecúan a los diferentes cultivos por implantar puede refinarse con estimaciones más precisas. Sin embargo, la HS es una magnitud de difícil medición ya que presenta alta variabilidad espacial y temporal. Para responder a estas necesidades de información, la CONAE impulsó el desarrollo de productos que estiman la HS basados en los datos de Radar de Apertura Sintética (SAR) en banda-L recuperados desde sus plataformas satelitales SAOCOM 1A

y 1B [1]. Actualmente, estos resultados se publican y distribuyen a través de los Catálogos SAOCOM y de los GEOServicios de la CONAE. Estos últimos habilitan tres vías para acceder a los contenidos de, por ejemplo, el Mapa de humedad del perfil de suelo integrado hasta 50cm krigeado (MSMKR) [2]: i) el GEOCatálogo de Metadatos [3] permite a un usuario avanzado buscar y descargar los mapas en formato GeoTiff para su posterior procesamiento local con un Sistema de Información Geográfica (SIG); ii) el Servicio Web de Mapas (WMS) [4] reduce el tráfico de datos acotando las descargas a la Región de Interés (ROI) y asegurando el acceso a la mejor versión disponible; y iii) el GEOPortal [5] permite a un usuario no experto conocer los valores de HS mediante un simple navegador de Internet. Todos estos canales alternativos permiten, para el caso mencionado, desplegar los mapas que codifican con colores los promedios de la HS en los primeros 50cm del perfil para el final del día estudiado.

Recordamos que la HS observada desde las plataformas SAOCOM corresponde a una profundidad nominal de 5cm. Para poder estimar diariamente la HS en toda la profundidad radicular se combinaron las observaciones satelitales con modelos de cultivos. Estos modelos simulan el crecimiento de las plantas y las interacciones con el ambiente siendo el suelo descripto como una sucesión de capas apiladas. Sus salidas informan el valor de numerosas variables de estado como el contenido de agua en cada capa de suelo hasta los 2m de profundidad. El promedio ponderado de las primeras 5 capas se utilizó para generar el producto MSMKR. Sin embargo, en total se cuenta con 10 capas donde el valor para cada profundidad puede seguirse diariamente. El objetivo del Visor de Series Temporales de la humedad en el perfil de suelo (VST) es facilitar la publicación de los valores disponibles a diferentes profundidades. Ciertamente, las series temporales de HS trazadas por el VST complementan la información brindada a través de los GEOServicios. En el primer caso, se observa la evolución de la HS por capas según el eje temporal para una localidad o Zona Homogénea (ZH). En el segundo, se aprecian los cambios en el plano espacial a una profundidad media.

Este documento esta ordenado de la siguiente manera. En primer término, se presenta el diseño y uso del VST. Posteriormente, se aborda la evaluación de los datos ofrecidos por el VST comparándolos con los registros de sensores in-situ instalados en diferentes sitios. Luego, se resumen las características principales del visor. Finalmente, se espera que este servicio sea del interés de los tomadores de decisiones ya que colabora en dirección hacia un mejor conocimiento de la HS.

3. Obtención de los datos para el VST

El VST ofrece una vista de las estimaciones de HS cubriendo cinco provincias argentinas: Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe. Los valores se expresan como porcentaje en unidades de m^3/m^3 y se codifican con colores en intervalos iguales. Los valores de HS se extraen de las salidas del modelo de cultivo que también genera los mapas del tipo MSMKR, y otros productos derivados. Las simulaciones se ejecutan a paso diario y proporcionan estimaciones del perfil de HS para varias regiones consideradas homogéneas. Se sugiere consultar el documento [6] para más detalles sobre la metodología aplicada en la elaboración de las estimaciones de HS y sobre los datos de entrada al modelo.

3.1. Limitaciones del algoritmo y/o servicio

Los modelos de cultivos son modelos determinísticos que simulan los procesos fundamentales que ocurren en el suelo, las plantas y la atmósfera. Sus predicciones acarrearán la escala de los datos de entrada. Lotes muy próximos podrían dar resultados equivalentes, compatible con el mejor detalle de las cartas de suelo de base.

4. Resultados

La figura 1 presenta el contenido del micrositio Web correspondiente al VST. Los usuarios pueden acceder al servicio directamente a través de https://catalogos5.conae.gov.ar/humedad_serie o a través del enlace en el GEOPortal. Una vez ingresados, deben elegir el intervalo de fechas entre las cuales consultarán por la HS. Además, podrán optar por proyectar los resultados con pasos de tiempo de 1 a 7 días, o calcular estadísticos (valores mínimos, máximos o promedios) sobre agrupamientos quincenales o mensuales. Al presionar el botón “Consultar”, se despliega una figura al pie de la página. Cada fila representa una capa de suelo desde la superficie hasta los 2m de profundidad. Cada columna se asocia a los datos para una fecha o agrupamiento. A cada celda se le asocia un intervalo de humedad definido en la paleta de colores.

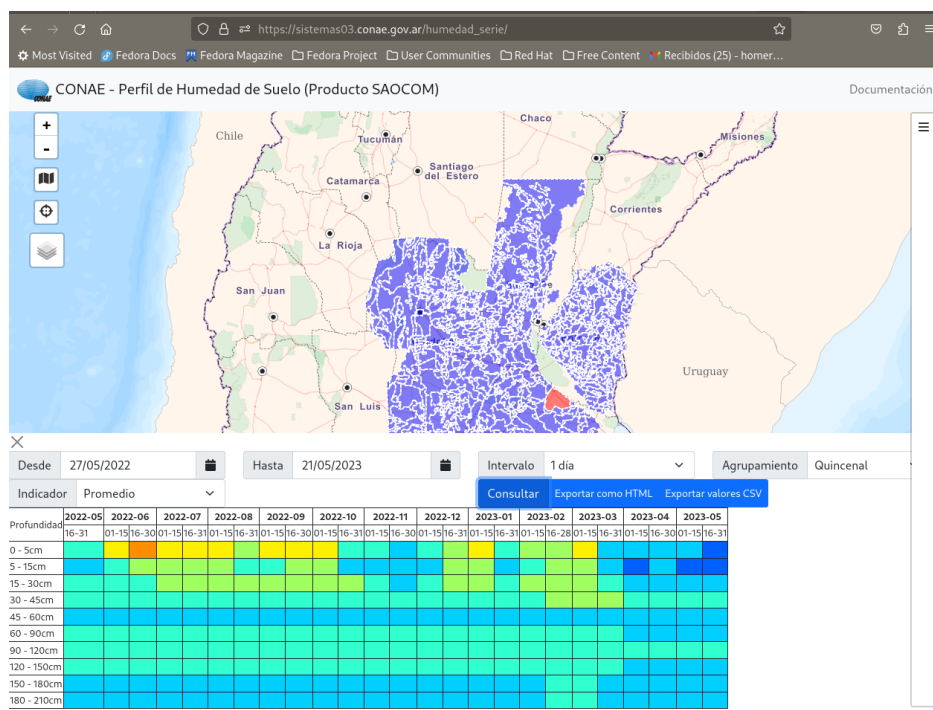


Figura 1: Ejemplo de la visualización de la evolución de la HS dentro del micrositio del VST según las preferencias del usuario para la elección del rango de fechas y los modos de representación.

La figura 1 ilustra la evolución de los promedios quincenales de la HS para cada capa de suelo entre mayo de 2022 y mayo de 2023, en la localidad de Ramallo. Los tonos cálidos corresponden a valores bajos de HS mientras que los tonos fríos se asocian con valores altos. En la figura 2 se recuadra el enlace que conduce al micrositio del VST desde las coordenadas elegidas sobre la vista del MSMKR que se ha desplegado en el GEOPortal.

5. Validación de los contenidos ofrecidos por el servicio

El servicio de VST ofrecido por la CONAE recupera y representa la evolución de la HS en ubicaciones seleccionadas por el usuario. Esta facilidad habilita la comparación de sus resultados con las observaciones in-situ de sensores instalados en diferentes localidades de la Región Pampeana. La validación de la HS *superficial* ya se ha abordado en otros documentos de la misión SAOCOM [7]. Aquí, buscamos evaluar

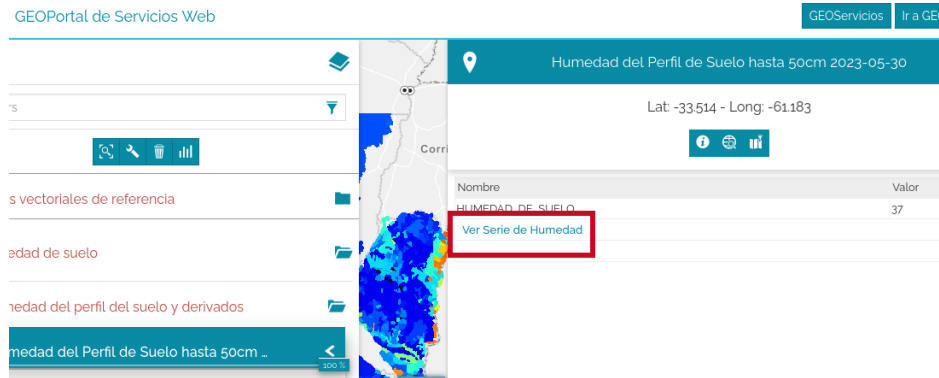


Figura 2: Captura de pantalla correspondiente al enlace que permite consultar la serie temporal de HS a partir de una ubicación elegida sobre la vista del MSMKR que se ha desplegado en el GEOPortal.

el acuerdo entre las predicciones del modelo que nutre de datos al VST y las lecturas de un conjunto de 8 sensores instalados a 50cm de profundidad. Así, ahora nos enfocamos en obtener un estimador para la calidad de las predicciones del contenido de agua en el suelo en la zona radicular.

Además, el análisis se ampliará con los acuerdos puntuales con los promedios hasta 1m de profundidad del producto de Nivel 4 SPL4SMGP de la misión SMAP [8]. Recordamos que el producto SPL4SMGP se ha sometido a un extenso plan de validación. A priori, sus métricas acotarían las diferencias máximas que se esperarían entre las observaciones in-situ y las predicciones del modelo que subyace a las salidas del VST.

Enfatizamos que el servicio VST comparte el mismo núcleo de procesamiento con otros productos de alto nivel derivados de los datos SAOCOM. Así, los logros de la evaluación regional del producto MSMKR, que fue abordada en su manual de usuario, también aplican a los contenidos de este servicio. Análogamente, los éxitos que aquí se alcancen en el ajuste a las observaciones in-situ reforzarán la confianza en la familia de productos SAOCOM para la HS.

5.1. Procedimiento

Proponemos evaluar el grado de acuerdo entre las observaciones in-situ de sensores de HS y las predicciones diarias dadas por el VST sobre las mismas ubicaciones. Como los sensores de HS toman mediciones horarias, las lecturas se promediaron cada 24 horas para equipararlas con las estimaciones que realiza el modelo subyacente al VST en cada fecha. Los registros horarios de los sensores se almacenan en una base de datos con extensiones espaciales la cual facilitó la búsqueda y descarga de la información para este estudio.

Notamos que el esfuerzo de la misión SAOCOM para la validación de sus productos permitió avanzar en la consolidación de una red de medición telemétrica que revirtió la escasez de mediciones in-situ de HS. La ubicación de los sensores se despliega en la figura 3 y buscó dar diversidad en la cobertura de la Región Pampeana. Esta iniciativa materializó la realización de estudios como éste a pesar de que las diversas contingencias en el campo pueden causar algunos faltantes de datos.

Una vez que los datos diarios de HS fueron consolidados y equiparados por fechas, se continuó con la construcción de tablas de resultados por sitios. Luego, el cálculo de estadísticos, locales y globales, es inmediato para las diferencias entre los valores observados y simulados. Asimismo, se facilita la representación de los datos tanto en gráficos de dispersión como de evolución temporal. En todos los casos se comienza el 1 de junio de 2020, fecha de inicio para los datos de HS en el perfil derivados de SAOCOM.

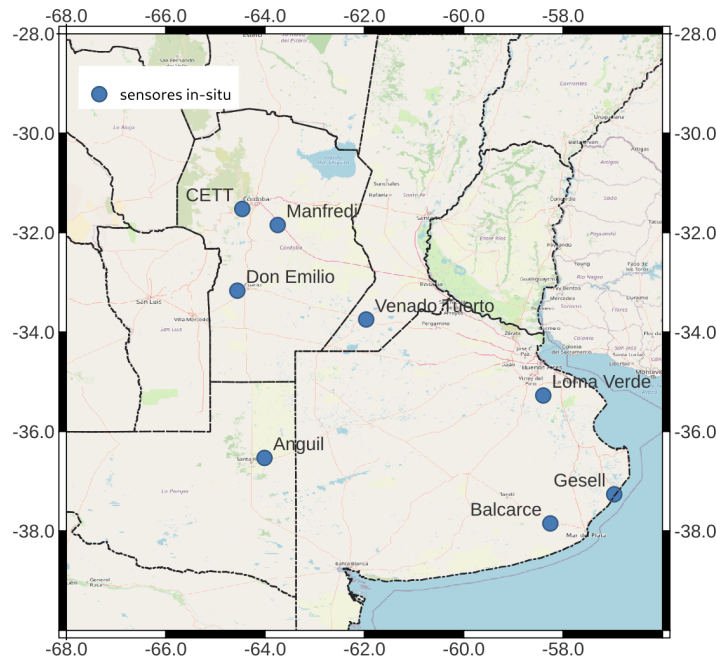


Figura 3: Vista de la ubicación de las instalaciones de los sensores de HS empleados para la validación del servicio VST. Sus lecturas horarias a 50cm de profundidad se transmiten a través de la red telemétrica a un nodo central que almacena los registros en una base de datos con extensiones espaciales.

Como mencionamos anteriormente, agregamos al análisis los valores de HS para la zona radicular ofrecidos por el producto SPL4SMGP. Los datos descargados mediante la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) del portal NSIDC/DAAC [9] cubren el rango de fechas entre el 1 de junio de 2020 y el 31 de octubre de 2023. La tabla de valores recuperados sobre los sitios donde se instalaron los sensores se programó en Python3 con asistencia del paquete GDAL/OGR para el manejo de la información geoespacial [10]. La intención fue aprovechar la validación, a priori, del producto SPL4SMGP para juzgar las métricas originadas en el ajuste de los datos del VST a las observaciones.

5.2. Evaluación de los resultados

La figura 4 ejemplifica para el Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT), uno de los 8 establecimientos considerados, la evolución temporal de la HS. Aquí, se reúnen tanto los valores diarios medidos a 50cm de profundidad como los resultados de los diferentes estimadores considerados. Se trazaron dos curvas con los datos descargados desde el VST. La etiqueta “VST a 50cm” denota las predicciones diarias de humedad para la quinta capa de suelo que se extiende entre los 45cm y los 60cm de profundidad. La etiqueta “VST hasta 1m” corresponde al promedio diario del contenido de agua de todas las capas de suelo hasta alcanzar 1m de profundidad. Asimismo, se incluyeron los valores para la zona radicular del producto SPL4SMGP derivado de la misión SMAP que también ofrece un promedio de la HS hasta 1m de profundidad. Además, se sumaron los registros de los acumulados de lluvia en 24 horas para enfatizar la coincidencia de los incrementos en la HS con la ocurrencia de las precipitaciones.

La figura 4 evidencia que los resultados del VST se ajustan mejor a los valores medidos in-situ en comparación al producto SPL4SMGP. El mejor acuerdo con las lecturas de los sensores in-situ se debería

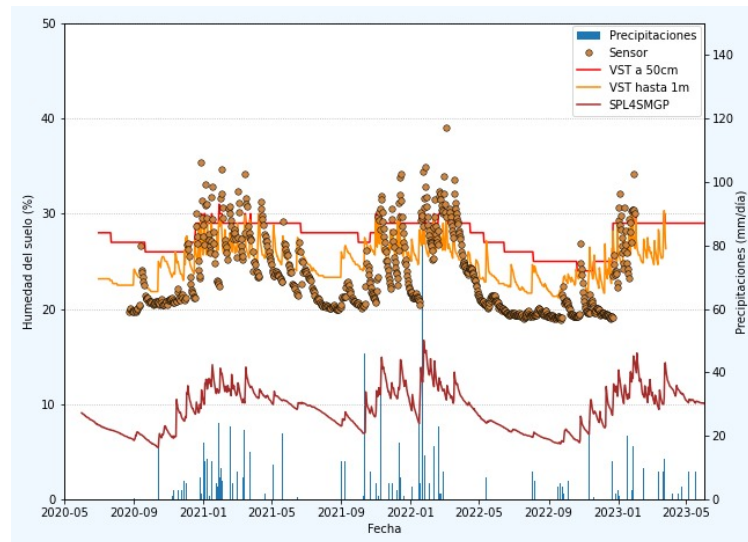


Figura 4: Evolución diaria de la HS en el CETT dada por: i) los registros de los sensores in-situ ubicados a 50cm de profundidad, ii) las predicciones del modelo que subyace al VST para la capa de suelo entre 45cm y 60cm, iii) los promedios sobre las salidas del VST hasta 1m de profundidad, y iv) los valores locales para la zona radicular en promedio hasta 1m de profundidad recuperados del producto SPL4SMGP.

obtener con la salida del “VST a 50cm”. También las lecturas en un punto intermedio del perfil a 50cm pueden vincularse con el cálculo de promedios que van desde la superficie hasta 1m de profundidad. Por esto, las diferencias entre los valores medidos y el producto SPL4SMGP, que ha sido sometido a un extenso plan de calibración, aseguran una cota realista para los errores del VST.

La figura 5 presenta la relación de valores predcidos por el VST y extraídos del producto SPL4SMGP en función de las lecturas realizadas por los sensores en los mismos sitios y fechas. Sendos diagramas permiten comprender cómo varían las predicciones de la HS para los cambios ocurridos y registrados por los sensores asumiendo que sus errores son los más pequeños. Así, el conjunto de datos que minimice la distancia a la recta 1:1 se entiende que es un mejor estimador de la HS. En todos los casos y tal como se espera, la pendiente es positiva pero el R^2 más alto solo lo alcanza la salida del “VST a 50cm” confirmando, como se esperaba, que es quien más explica del comportamiento a 50cm de profundidad.

Para calificar y ordenar a las diferentes fuentes de datos que estudiamos para la HS en la zona radicular resumimos en la tabla 1 el grado de acuerdo alcanzado por cada una de ellas con las lecturas de los sensores in-situ. Elegimos el RMSE como una medida de calidad ya que computa los errores o diferencias entre los valores observados y calculados. Destacamos que el mejor RMSE global, es decir usando simultáneamente los registros para todos los sitios, lo obtuvo nuevamente el “VST a 50cm”.

5.3. Consideraciones finales

Estos análisis fortalecen la confianza en los resultados generados con el modelo de simulación que nutre de datos tanto al VST como a los diversos productos derivados del mismo núcleo de procesamiento, tal como el MSMKR. El estudio cubre diferentes sitios dentro de la Región Pampeana otorgando una evaluación cuantitativa del comportamiento regional de los productos derivados de la misión SAOCOM para la HS en la zona radicular.

Ciertamente, es escasa la información disponible de HS tanto de lecturas de sensores como obtenida

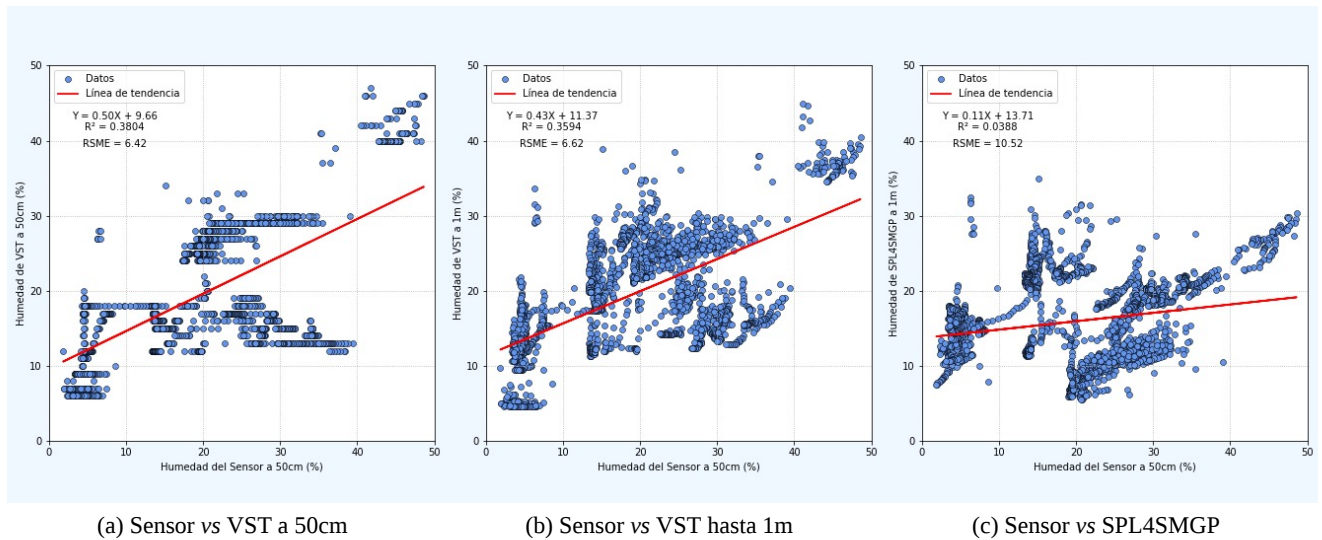


Figura 5: Relación de las lecturas de HS registradas por los 8 sensores in-situ ubicados a 50cm de profundidad y las predicciones del servicio VST a 50cm, hasta 1m y del producto SPL4SMGP para las mismas ubicaciones y fechas.

Establecimiento	RMSE		
	sensor-VST a 0.5m % (m ³ /m ³)	sensor-VST hasta 1m % (m ³ /m ³)	sensor-SPL4SMGP % (m ³ /m ³)
Villa Gesell	2.55	1.35	7.32
Manfredi	2.62	7.38	7.42
Balcarce	3.59	7.54	17.94
CETT	4.58	2.84	14.00
Don Emilio	5.88	4.83	5.38
Anguil	7.64	8.80	10.26
Loma Verde	16.01	19.54	16.39
Venado Tuerto	16.68	15.31	11.35
Todos	6.42	6.62	10.52

Tabla 1: Resumen de los RMSE calculados para la diferencia entre las lecturas de sensores in-situ y las estimaciones dadas por el servicio VST a 50cm y hasta 1m, como así también recuperadas del producto SPL4SMGP para los 8 sitios analizados.

indirectamente a través del uso de modelos. Según nuestro mejor conocimiento, este es el primer análisis cuantitativo encarado para las predicciones en la zona radicular. El producto SPL4SMGP es una de las escasísimas fuentes de datos alternativas que ha sido sometido a un extenso plan de calibración y validación. El hecho de que el modelo de simulación empleado en el contexto de la misión SAOCOM tenga aún un mejor desempeño que aquel es un fuerte elemento para fomentar su uso en Argentina.

6. Descripción del servicio

6.1. Nombre del archivo

Si bien el VST consiste en un visor para los datos que se generan diariamente en el marco de los productos de alto nivel derivados de la Misión SAOCOM, para los archivos que tengan una persistencia mayor (como este documento de usuario) se asigna la siguiente nomenclatura.

CONAE_MOD_MHS_DSS_VST_

CONAE: **prefijo** que llevan todos los productos generados y/o distribuidos por “CONAE”.

MOD: se refiere a la **clase** a la que corresponde el producto, en este caso es “modelizaciones complejas”. Estos productos son generados a partir de la aplicación de modelos con fuentes de información diversa y compleja.

MHS: se refiere al **tipo de modelo** a partir de cuyos valores se genera el producto, aquí corresponde a “modelos de humedad de suelo”.

DSS: se refiere al **nombre del modelo** a partir de cuyos datos se genera el producto, aquí corresponde a modelos basados en el sistema de toma de decisiones (en inglés: Decision Support System) para la agricultura de la CONAE.

VST: hace referencia al **tipo de producto**, en este caso “Visor de Series Temporales de la humedad en el perfil de suelo”.

6.2. Formato del servicio VST

Plataforma Web que permite visualizar las salidas de los modelos de cultivos subyacentes a la familia de productos de alto nivel de la Misión SAOCOM correspondientes a la HS para diferentes profundidades dentro de la Región Pampeana.

6.3. Características del servicio

La tabla 2 resume las características del servicio VST.

6.3.1. Rango

Las estimaciones para la HS en porcentaje (m^3/m^3) se codifican según una paleta de colores por intervalos iguales de valores.

Presentación	plataforma Web interactiva
Dominio	Región Pampeana/Argentina
Resolución espacial	área seleccionada por el usuario
Resolución temporal	paso diario
Resultados	humedad del perfil de suelo por capas hasta 2m de profundidad en intervalos de porcentaje en m^3/m^3

Tabla 2: Características del servicio de VST ofrecido por CONAE.

6.3.2. Proyección

El sistema de coordenadas empleado para la ubicación del área de interés del usuario y su conjunto de datos asociados es EPSG:4326.

6.3.3. Resolución espacial

El servicio tiene una resolución comparable a los datos de entrada. Esto quiere decir que comparte su resolución con la capa vectorial de suelos de base consumida por los modelos de cultivos con nodos separados por una distancia mínima de 3.5km.

6.3.4. Resolución temporal

Los valores de las variables de estado del modelo de cultivo se calculan a paso diario. Los resultados disponibles para el usuario toman el mismo paso de tiempo o se pueden agregar hasta intervalos mensuales ajustando las correspondientes opciones de visualización.

6.4. Política de datos

La descarga y/o uso de cualquiera de estos productos SAOCOM de Nivel 2 y Superior SAOCOM implica por consiguiente la aceptación de los presentes Términos y Condiciones de Uso y el reconocimiento y respeto de los derechos de Propiedad Intelectual y de Derecho de Autor de los Productos. Se deberá indicar la siguiente leyenda “Producto SAOCOM® - ©CONAE - año de adquisición. Todos los derechos reservados” en todas las publicaciones, resultados, productos derivados y demás usos que los usuarios les den a dichos Productos.

6.5. Acceso

El servicio se disponibiliza a través de un micrositio Web. Permite al usuario desplegar la información de HS según sus preferencias de representación. El acceso al servicio VST mediante un navegador Web es libre y abierto complementando, con igualdad de criterios, la información ofrecida a través del GEOPortal.

Asimismo, los resultados de la consulta pueden ser descargados localmente en formato .csv. En este caso se solicita ingresar al sistema como un usuario registrado y aceptar los términos y condiciones previos a la descarga. Este proceso es equivalente al que se inicia cuando se solicita la descarga de un producto, como el MSMKR, desde el GEOCatálogo de Metadatos.

6.6. Contacto

Por cualquier consulta relacionada al producto, su producción, publicación y/o aplicaciones, por favor comunicarse con la Oficina de Atención al Usuario de la CONAE a través de atencion.usuario@conae.gov.ar.

6.7. Metadatos

El servicio VST se disponibiliza a través de su propia plataforma. No se agregan otros metadatos dado que no requiere del canal del GEOCatálogo de Metadatos de la CONAE.

Referencias

- [1] CONAE, “Misión SAOCOM,” CONAE, Tech. Rep., 2022. [Online]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom>
- [2] “Mapa de humedad del perfil de suelo integrado hasta 50cm krigeado,” CONAE. [Online]. Available: <https://geocatalogos.conae.gov.ar/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/search?any=msmkr>
- [3] “GEOCatálogo de Metadatos,” CONAE. [Online]. Available: <https://geocatalogos.conae.gov.ar>
- [4] “GEOServicios OGC,” CONAE. [Online]. Available: <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogoGeoServiciosOGC.html>
- [5] “GEOPortal,” CONAE. [Online]. Available: <https://geoportal.conae.gov.ar>
- [6] CONAE, “MSM: Mapa de humedad del perfil de suelo estimado sobre zonas homogéneas,” CONAE, Tech. Rep., 2022. [Online]. Available: https://documentoside.conae.gov.ar/public/docs/mod/mhs/dss/msm/conae_mod_mhs_dss_msm_20210430.pdf
- [7] —, “Catálogo SAOCOM / manual de usuario,” Tech. Rep., 2023. [Online]. Available: <https://catalog.saocom.conae.gov.ar>
- [8] R. Reichle, G. R. De Lannoy, D. W. Koster, J. S. Crow, T. a nd Kimball, Q. Liu, and M. Bechtold., “SMAP L4 Global 3-hourly 9 km EASE-Grid Surface and Root Zone Soil Moisture Geophysical Data, Version 7,” 2022. [Online]. Available: <https://nsidc.org/data/SPL4SMGP/versions/7>
- [9] NASA, “NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center (NSIDC DAAC),” NASA, Tech. Rep., 2022. [Online]. Available: <https://nsidc.org/data/smap>
- [10] GDAL/OGR contributors, *GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library*, Open Source Geospatial Foundation, 2023. [Online]. Available: <https://gdal.org>