

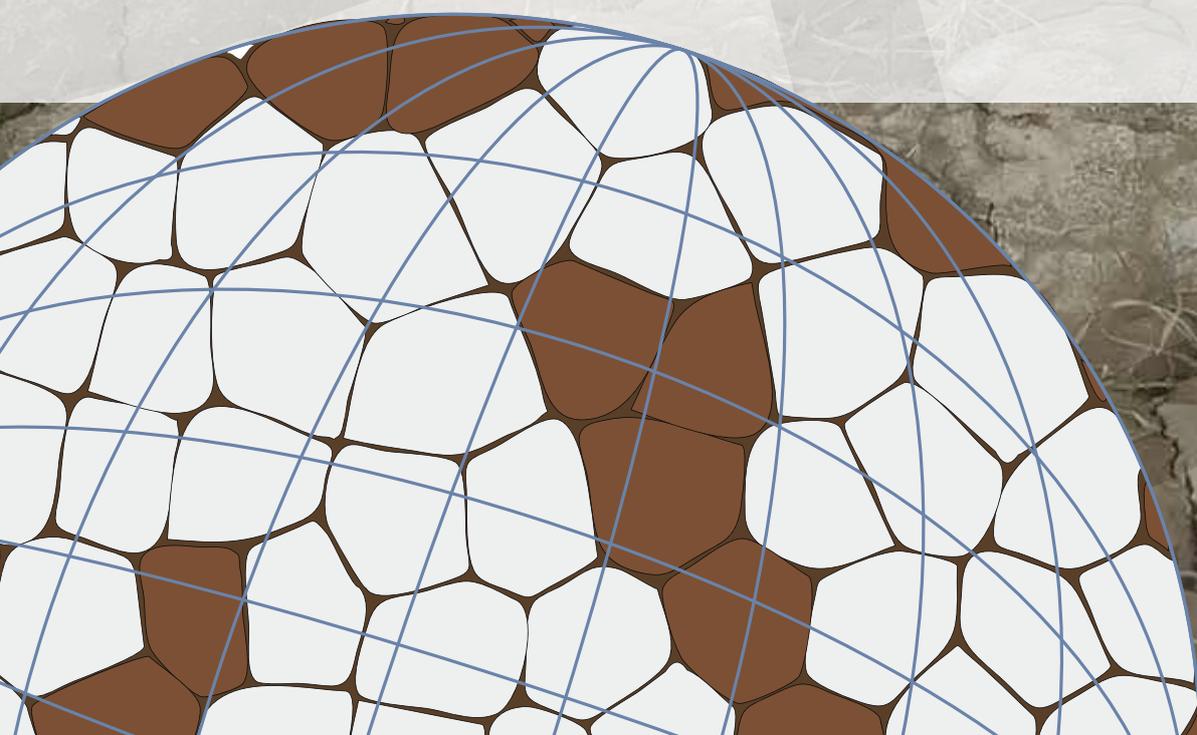


Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Mapeo de suelos afectados por salinidad

Mapa GSS

Especificaciones técnicas y directrices para los países



ALIANZA MUNDIAL
POR EL SUELO

Mapeo de suelos afectados por salinidad

Especificaciones técnicas
y directrices para los países

Cita recomendada

FAO. 2021. *Mapeo de suelos afectados por salinidad. Especificaciones técnicas y guías para los países*. Roma.

Las designaciones empleadas y la presentación de material en este producto de información no implican la expresión de opinión alguna por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) con respecto al estado jurídico o de desarrollo de ningún país, territorio, ciudad o región o sus autoridades, ni con respecto a la delimitación de sus límites o linderos. La mención de empresas específicas o productos de fabricantes, independientemente de que hayan sido patentados o no, no implica que éstos hayan sido respaldados o recomendados por la FAO por sobre otros de naturaleza similar que no son mencionados.

Las opiniones expresadas en este producto de información pertenecen al autor o los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista o políticas de FAO.

Primera edición: 2020 (versión en inglés)
© FAO, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra se encuentra disponible bajo la licencia de Creative Commons Attribution-NonCommercial-Share Alike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>).

Bajo los términos de esta licencia, esta obra podrá ser copiada, redistribuida y adaptada con fines no comerciales a condición de que la obra sea citada apropiadamente. En ningún uso de esta obra deberá sugerirse que FAO respalda organizaciones, productos o servicios específicos. El uso del logo de FAO no está permitido. Si la obra es adaptada, deberá ser autorizada bajo la misma licencia de Creative Commons o una licencia equivalente. En el caso de la creación de alguna traducción, deberá incluir el siguiente descargo de responsabilidad conjuntamente con la cita obligatoria: “Esta traducción no fue creada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). FAO no se hace responsable por el contenido o exactitud de esta traducción. La edición en el [Lenguaje] original será la edición acreditada.”

Las controversias que surjan de la licencia que no puedan ser dirimidas amigablemente serán resueltas por mediación y arbitraje de conformidad con lo descrito en el Artículo 8 de la licencia a menos que existan disposiciones en otro sentido en el presente. Las reglas de mediación aplicables serán las reglas de mediación de la Organización mundial de Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y cualquier arbitraje será conducido de acuerdo con las Reglas de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas sobre Derecho Comercial Internacional (UNCITRAL).

Materiales de terceros. Los usuarios que deseen reutilizar material de esta obra que sea atribuido a un tercero, como por ejemplo Cuadros, figuras o imágenes, serán responsables de determinar si se requiere de un permiso para dicha reutilización y para obtener permiso del titular de los derechos de autor. El riesgo de reclamaciones resultantes de la violación de cualquier componente de la obra que sea de la propiedad de algún tercero recaerá exclusivamente en el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos de información de FAO están disponibles en la página web de FAO (www.fao.org/publications) y pueden ser adquiridos a través de publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deberán ser presentadas vía: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deberán ser presentadas a: [to: copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Fotografías de las cubiertas anterior y posterior: ©FAO/Christian Omuto

Índice

Contribuyentes.....	v
Resumen ejecutivo.....	vi
Abreviaturas y siglas	viii
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Alianza Mundial por el Suelo	1
1.3 Enfoque y tareas impulsados por los países	2
2 Enfoque para actualizar la información de suelos afectados por salinidad y requisitos de los datos de entrada.....	4
2.1 Enfoque.....	4
2.2 Datos de entrada.....	4
2.2.1 Datos de suelo.....	4
2.2.2 Datos sobre los factores formadores del suelo	5
2.2.3 Otros conjuntos de datos.....	6
3 Especificación del product	7
3.1 Productos esperados	7
3.2 Especificación del producto	7
3.2.1 Entidad espacial	7
3.3 Metadatos.....	8
4 Desarrollo de productos y garantía de calidad.....	9
4.1 Desarrollo de productos	9
4.2 Validación de productos	9
5 Entrega de productos.....	10
5.1 Productos obligatorios.....	10
5.2 Procedimiento de entrega de datos	11
5.2.1 Convenciones para la nomenclatura de archivos y estructura de directorios	12
5.2.2 Formatos	12
6 Garantía de calidad/Control de calidad	13
7 Proceso y línea de tiempo.....	14
Referencias.....	15
Apéndice	16

Figuras

Figura 1.1: Pilares de la AMS (http://www.fao.org/global-soil-partnerhip/pillars-action/en/).....	2
Figura 1.2: Enfoque impulsado por el país para el mapeo mundial de suelos afectados por salinidad.	3
Figura 2.1: Enfoque para el mapeo nacional de suelos afectados por salinidad.....	4

Cuadros

Cuadro 1.1: Enfoque para el mapeo de suelos afectados por salinidad	vi
---	----

Cuadro 2.1: Resumen de los requisitos mínimos de datos para el mapeo de suelos afectados por salinidad	5
Cuadro 2.2: Datos de sensores remotos multiespectrales para el mapeo de suelos afectados por salinidad.	6
Cuadro 2.3: Aportación esperada al mapa global de suelos afectados por salinidad a nivel de países. 7	
Cuadro 7.1: Líneas de tiempo	14

Contribuyentes

Grupo de trabajo del Pilar 4

Luca Montanarella, Presidente de la Red Internacional de Instituciones de Información sobre el Suelo (INSII)

Yusuf Yigini, Secretaría de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS)

Christian Omuto (Africa)

Maria Fantappiè (Europa)

Yiyi Sulaeman (Asia)

Iurii Rozloga (Eurasia)

Mario Guevara (Latinoamérica y el Caribe)

Rachid Moussadek (Oriente Próximo y África del Norte)

Bert VandenBygaart (Norte America)

David Medycky-Scott (Pacífico)

Rik van den Bosch, ISRIC - Información mundial sobre el suelo e Instalación de datos sobre el suelo (SDF) de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS)

Costanza Calzolari, Panel Técnico Intergubernamental de Suelos (ITPS)

Rainer Baritz, Presidente del Pilar 5 de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS)

Dominique Arrouays, Grupo de trabajo de mapas globales del suelo de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS)

Secretaría de l'Alianza Mundial por el Suelo (AMS)

Christian Omuto

Kostiantyn Viatkin

Yusuf Yigini

Ronald Vargas

Isabelle Verbeke

Matteo Sala

Helen Dejenie

Giulia Stanco

Panel Técnico Intergubernamental de Suelos (ITPS) - Grupo de trabajo de mapeo de suelos afectados por salinidad

Rosa Poch

Maria Konyushkova

Mohammad Jamal Khan

Megan Balks

Edmond Hien

Ashok Patra

Rafla Attia

Resumen ejecutivo

Esta guía tiene por objeto apoyar a los países en la preparación de datos para actualizar su información nacional sobre suelos afectados por salinidad. Los suelos salinos son grupos de suelos con un alto contenido de sales neutras y/o altas cantidades de iones de sodio. En la actualidad no existe una actualización reciente y consistente de su distribución global.

Cuadro 1.1: Enfoque para el mapeo de suelos afectados por salinidad

Enfoque para el mapeo de suelos afectados por salinidad			
Enfoque	Clasificación de suelos salinos utilizando indicadores medibles del suelo		
	Armonización de indicadores del suelo y método de clasificación		
	Modelado espacial de indicadores del suelo		
Requisitos de datos de entrada			
Datos	Tipo de datos	Variables	Unidades
Datos sobre suelos	Datos georreferenciados del perfil del suelo (entre 0-100 cm de profundidad del suelo)	CE	dS/m
		pH (H ₂ O)	-
		PSI	%
		<i>iones solubles*</i>	<i>cmol/kg</i>
		<i>TSS*</i>	<i>g/l</i>
Factores que forman los suelos	Clima (Media anual)	Precipitación	mm
		Temperatura Min	°C
		Temperatura Max	°C
	Uso/cobertura de la tierra	Tipos de cobertura/uso	-
	Mapa de suelos	Tipos de suelo	-
	DEM	Elevación	m
	Sensores remotos de reflectancia de la superficie de la tierra	Reflectancia visible (RGB)	-
		Reflectancia IR	-
		Reflectancia SWIR	-
Geología	Tipos de litología	-	
Otros datos	Hidrogeología*	Nivel de agua subterránea	m
	Degradación*	Tipos de degradación	-
	Distancia a la línea costera	Distancia	m
Especificación de Productos de Salida			
Productos (Mapas)	Conductividad Eléctrica (dS/m), pH(agua), Porcentaje de Sodio Intercambiable		
	Suelos afectados por salinidad e incertidumbre (CE, pH, PSI, suelos afectados por salinidad)		
Profundidad	Suelo superficial (0-30 cm)	Subsuelo (30-100 cm)	
Extensión	Mapas raster a nivel nacional (resolución espacial de 1 km ó 30 Arco-segundos)		
Proyección	WGS 84 (Grados Decimales Geográficos)		
Incertidumbre	Ancho de intervalo de predicción a un intervalo de confianza de 95%		
Validación	Estadísticas de Validación (RMSE, ME, R ² /Índice Kappa)		
Documentación	Metadatos (Metarchivo)		
Entrega	En línea (Herramienta de Presentación de Datos de la AMS) a más tardar el 30 de abril de 2020.		

* Opcional

Por lo tanto, la Alianza Mundial por el Suelo está movilizando a los países para que actualicen su información nacional de suelos y para contribuir a una distribución global actualizada de suelos afectados por salinidad. Este documento es un instrumento en la movilización y armonización de datos y procedimientos. Pone en realce los requisitos de datos, enfoques y procedimientos para contribuir a la actualización del mapa global de suelos afectados por salinidad.

Abreviaturas y siglas

CSIRO	Organización Científica y de Investigación Industrial de la Comunidad
DEM	Modelo de Elevación Digital
DSM	Cartografía Digital del Suelo
CE	Conductividad Eléctrica
PSI	Porcentaje de Sodio Intercambiable
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FP	Punto Focal
GloSIS	Servicio de Información sobre los Suelos Globales
GSOC	Carbono Orgánico de los Suelos Globales
GSP	Alianza Mundial por el Suelo (AMS)
GSSmap	Mapa Global de Suelos afectados por Salinidad
ICBA	Centro Internacional de Agricultura Biosalina
IIASA	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados
INSII	Institutos Internacionales de Información sobre el Suelo
ISRIC	Centro Internacional de Referencia e Información sobre Suelos
ITPS	Panel Técnico Intergubernamental de Suelos
JRC	Centro de Investigación Conjunta
ME	Error Medio
MODIS	Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada
NIR	Infrarrojo Cercano
OLI	Generador en Operación de Imágenes Terrestres
PA	Asamblea Plenaria
P4WG	Grupo de Trabajo del Pilar Cuatro
QA	Garantía de Calidad
QC	Control de Calidad
RMSE	Error Cuadrático Medio
SDF	Instalación de Datos del Suelo
SAR	Relación de Absorción de Sodio
SWIR	Infrarrojo de Onda Corta

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Los suelos salinos, son grupos de suelos con altos contenidos de sales solubles y/o altas cantidades de iones de sodio. Originan un alto potencial osmótico en el suelo que limita el fácil intercambio de agua y nutrientes con las raíces de las plantas. En consecuencia, la mayoría de las plantas tolerantes a la sal son los tipos de vegetación dominantes en estos suelos. A pesar de sus impactos negativos, tienen un potencial económico numeroso si son bien manejadas (Wicke et al., 2011). Uno de los desafíos que afecta la plena explotación de su potencial y manejo sustentable, es la inadecuada actualización de su distribución espacial. Aunque están presentes en todos los continentes a diferentes niveles de compensación de sal, no existe una actualización reciente de su distribución global. Los informes de los que se dispone actualmente, fueron aquéllos recolectados a principios de la década de los setenta que cuantificaron la distribución global de las áreas afectadas en aproximadamente 1,000 millones de hectáreas (Abrol et al., 1988; (FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2008; Wicke et al., 2011). La 6ª Asamblea Plenaria (AP) de la Alianza Mundial por el Suelo trató sobre esta brecha y la necesidad de referirse al manejo sustentable de los suelos salinos. Subsecuentemente, la Asamblea solicitó a la AMS, conducir una evaluación global y compilar un Mapa Global de Suelos afectados por Salinidad (Informe GSPPA-VI/18/Item 3.4).

El Mapa Global de Suelos afectados por Salinidad (en lo sucesivo GSSmap) se centra en la actualización de la información global y nacional de suelos salinos y sienta las bases para su monitoreo periódico. El mapa global será una integración de los mapas a nivel país, que implica que los mismos tendrán que ser actualizados o generados como paso inicial. Por lo tanto, se da prioridad a las actividades de cada país para producir un estado actualizado de los suelos afectados por salinidad. Debido a la heterogeneidad y asincronía de los datos de entrada para el mapeo de suelos afectados por salinidad, esta guía busca armonizar los datos requeridos, los pasos del procedimiento y la especificación de productos a efecto de reducir las incertidumbres potenciales que se presentan con la diversidad de datos y métodos.

1.2 Alianza Mundial por el Suelo

La Alianza Mundial por el Suelo fue establecida en diciembre de 2012 como un mecanismo para desarrollar una fuerte alianza interactiva y una mejor colaboración y sinergia de esfuerzos entre todas las partes interesadas. Desde los usuarios de la tierra hasta los responsables de las políticas, uno de los objetivos estratégicos de la AMS, es mejorar la gobernanza y promover el manejo sustentable de los suelos. Desde su creación, la AMS se ha convertido en una importante alianza en la que los aspectos globales del suelo son discutidos y abordados por múltiples partes interesadas.

La AMS tiene como mandato mejorar la gobernanza de los recursos limitados del suelo en el planeta a efecto de garantizar suelos productivos desde el punto de vista agrícola para lograr un mundo con seguridad alimentaria. Además, la AMS también apoya otros servicios ecosistémicos de acuerdo con el derecho soberano de cada Estado Miembro sobre sus recursos naturales. A efecto de cumplir con su mandato, la AMS aborda Cinco Pilares de acción que deben ser implementados con sus alianzas regionales por el suelo (Figura 1.1).

¹Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., Faaij, A., 2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. (El potencial global técnico y económico de la bioenergía de los suelos afectados por salinidad) *Energy and Environmental Science* 4 (Energía y Ciencia Ambiental 4), 2669-2681

² Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., Massoud, F.I., 1988. Salt-affected soils and their management. (Suelos afectados por salinidad y su manejo) *FAO Soils Bulletin (Boletín de Suelos)* 39. FAO, Roma.

³FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2008. Harmonized world soil database (version 1.0). Rome: FAO (Base de datos armonizada de suelos globales) (versión 1.). Roma: FAO.

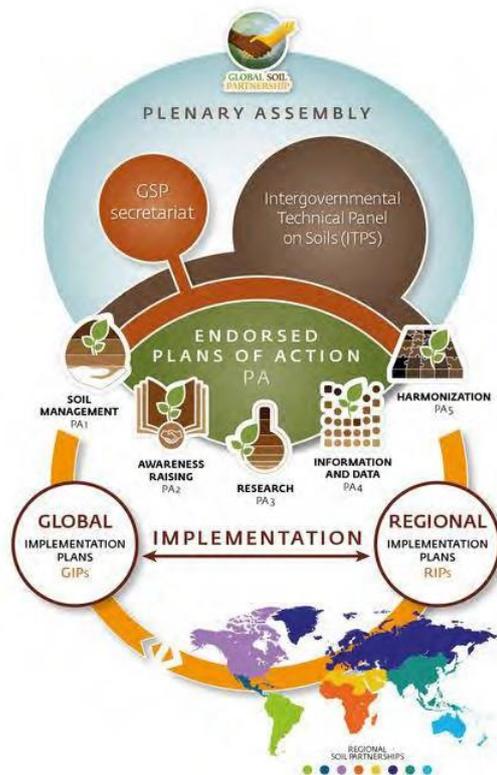


Figura 1.1: Pilares de la AMS (<http://www.fao.org/global-soil-partnerhip/pillars-action/en/>)

El Pilar Cuatro de la AMS, construye un sistema global duradero y con autoridad (GloSIS) para monitorear y pronosticar la condición de los suelos y los recursos de la Tierra para así, elaborar productos cartográficos a nivel global. La secretaría está trabajando con una red internacional de proveedores de datos de suelo (INSII – Red Internacional de Instituciones de Información de Suelos) y el Grupo de Trabajo de los 4 Pilares (P4WG), para implementar actividades relacionadas con datos. La INSII constituye la columna vertebral de los 4 Pilares y es sustentada por un grupo de trabajo técnico de expertos en información de suelos nominados por las Alianzas Regionales por el Suelo (P4WG). Entre otras tareas, este grupo de trabajo colabora en la orientación para desarrollar productos adicionales de datos edáficos que se basan en información nacional de existente y nueva de suelos, así como en información local, cuyos extractos de dichos datos encajan en el esquema de productos del sistema global de información de suelos. La documentación técnica, que incluye las especificaciones de los productos y el manual técnico para el mapeo de suelos afectados por salinidad, serán preparados a través del INSII y el Grupo de Trabajo de los 4 Pilares con el apoyo técnico del ITPS (Panel Técnico Intergubernamental de Suelos), el ICBA (Centro Internacional de Agricultura Biosalina) y el establecimiento de Datos de Suelo de la AMS.

1.3 Enfoque y tareas impulsados por los países

La AMS ha desarrollado y probado con éxito el enfoque impulsado por los países sobre información de suelos. Este enfoque pone énfasis en actividades a nivel nacional y en la propiedad de la información de suelos. Los países aportan información sobre el suelo a la AMS para su integración global. El mapeo global de suelos afectados por salinidad será el paso siguiente de este enfoque (Figura 1.2).

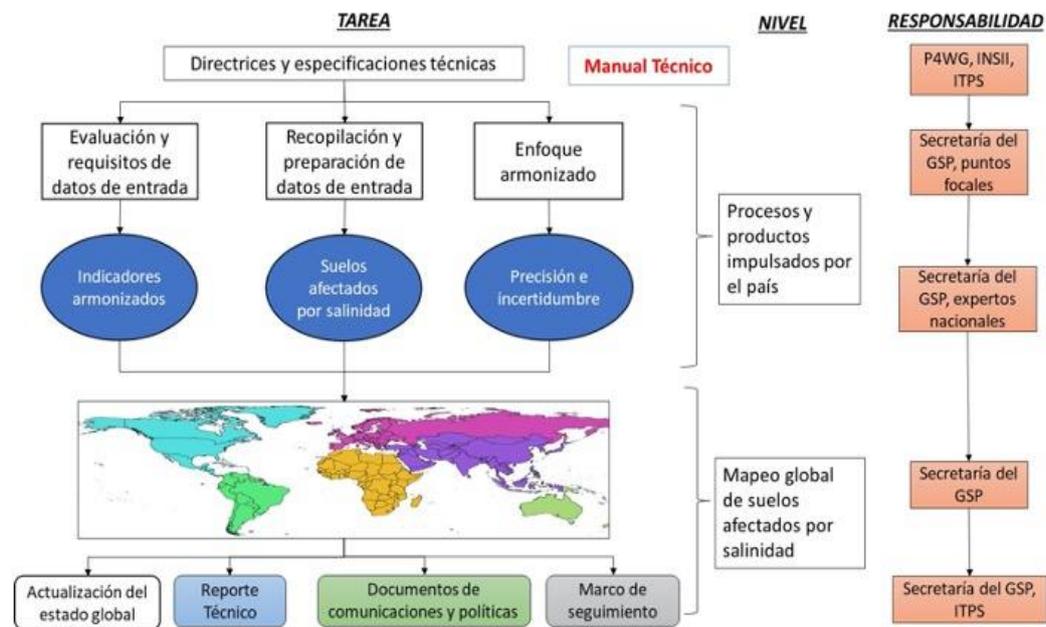


Figura 1.2: Enfoque impulsado por el país para el mapeo mundial de suelos afectados por salinidad.

Esta guía describe los requisitos de los datos de entrada, la preparación de datos y la especificación de los productos esperados de información de suelos para contribuir a la actualización global de suelos afectados por salinidad. El P4WG, INSII e ITPS desarrollaron esta guía. Se espera que la guía oriente a los países en el ingreso de datos y en la movilización de personal bajo la coordinación de los puntos focales de cada país (PF) y la Secretaría de la AMS. También contiene una hoja de ruta y las responsabilidades para con el desarrollo de información actualizada de suelos afectados por salinidad (Figura 1.1). El P4WG, INSII e ITPS, también producirán un manual técnico y un manual para apoyar la armonización de datos y procedimientos durante la actualización de la información de suelos afectados por salinidad.

2 Enfoque para actualizar la información de suelos afectados por salinidad y requisitos de los datos de entrada

2.1 Enfoque

El enfoque impulsado por los países para el mapeo de suelos afectados por salinidad, consta de tres pasos, basados en la armonización de los datos de entrada, la modelación espacial de los indicadores de suelos utilizando predictores espaciales y la clasificación de suelos afectados por salinidad (Figura 2.1).

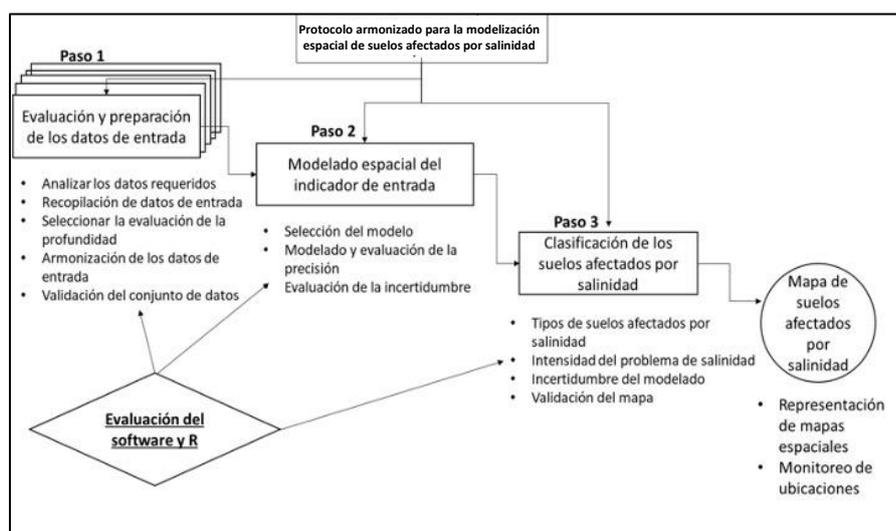


Figura 2.1: Enfoque para el mapeo nacional de suelos afectados por salinidad

El enfoque enfatiza que los datos medidos de suelos (CE, pH y PSI) son indicadores primarios en la clasificación de suelos afectados por salinidad. Estos datos de suelos son modelados espacialmente para producir mapas de indicadores de suelos afectados por salinidad. Los mapas se alimentan a esquemas para clasificar los suelos afectados por salinidad (Figura 2.1).

2.2 Datos de entrada

2.2.1 Datos de suelo

Los datos de entrada de suelos salinos son medidos para cartografiar la Conductividad eléctrica (CE dS/m), el pH, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) o la Relación de Absorción de Sodio (RAS) (Cuadro 2.1). El extracto de pasta de suelo saturada en la solución de suelo es la preferida para hacer la medición de estos indicadores.

Los indicadores de suelo requeridos (CE, pH, y PSI) también son medidos frecuentemente utilizando otros métodos contenidos en la literatura. También pueden usarse dichos conjuntos de datos a condición de que:

- Se describan adecuadamente sus métodos de determinación/mediciones
- Existan modelos de conversión para armonizarlos con el método requerido
- Sean armonizados utilizando los modelos de conversión

Cuadro 2.1: Resumen de los requisitos mínimos de datos para el mapeo de suelos afectados por salinidad

Datos	Tipo de datos	Variables	Unidades
Datos del suelo	Datos del suelo georreferenciados (entre 0 y 100 cm de profundidad del suelo)	CE	dS/m
		pH (H ₂ O)	-
		PSI	%
		Iones solubles*	cmol/kg
		TSS*	g/l
Factores formadores del suelo	Clima (Media anual)	Precipitación	mm
		Temperatura Min	°C
		Temperatura Max	°C
	Uso/cobertura de la tierra	tipos de cobertura/uso	-
	Mapa del suelo	tipos de suelo	-
Otros datos	Modelo de elevación digital (DEM)	Elevación	m
	Sensores remotos de reflectancia de la superficie de la tierra	Reflectancia visible (RGB)	-
		Reflectancia IR	-
		Reflectancia SWIR	-
	Geología	Tipos de litología	-
Hydrogeología*	Nivel de agua subterránea	m	
Degradación*	Tipos de degradación	-	
Distancia a la costa	Distancia	m	

* Opcional

En caso de que los datos de suelos disponibles (CE, pH, y PSI) fuesen determinados por métodos distintos del método de extracto de pasta de suelo, se recomiendan modelos de conversión para derivar los valores equivalentes del método de extracto de pasta. Estos métodos de medición y sus modelos de conversión deberán ser explicados claramente en la presentación de los metadatos. También podrán usarse modelos generales encontrados en la literatura cuando se carezca de modelos de conversión propios. Alternativamente se preparará un conjunto de datos de muestras independientes para desarrollar los modelos de conversión. Además de los datos primarios del suelo (CE, pH, y PSI), se recomiendan los siguientes iones solubles en caso de estar disponibles: Sodio (Na⁺), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺) y algunas veces Potasio (K⁺) y aniones de Cloruros (Cl⁻), Carbonatos (CO²⁻), Sulfatos (SO₄²⁻), Bicarbonatos (HCO₃⁻) y Nitratos (NO₃⁻).

Datos de otros sensores proximales: Ejemplos de sensores proximales son la inducción electromagnética (MIE), resonancia geofísica y reflectómetros. Su aplicación también requiere de modelos de conversión para derivar valores equivalentes de extractos de pasta de suelo. Estos datos podrán ser incluidos en caso de disponibilidad.

2.2.2 Datos sobre los factores formadores del suelo

Datos de sensores remotos: La literatura ha desarrollado diversas aplicaciones de sensores remotos multiespectrales en el mapeo de suelos afectados por salinidad (ver por ejemplo, Gorji et al., 2019⁴ y referencias). La mayoría de estas aplicaciones utilizan imágenes con la banda visible (con longitudes de onda entre 0.40 y 0.70 micrometros (µm)), banda infrarrojo cercano (0.75 - 0.88 µm), y banda infrarroja de onda corta (1.55 - 2.30 µm). El Cuadro 2.2 contiene una lista de imágenes usadas popularmente para su

⁴ Gorji, T., Yildirim, A., Sertel, E., Tanik, A., 2019. Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes [Enfoques de sensores remotos y métodos cartográficos para monitorear la salinidad del suelo bajo diferentes regímenes climáticos]. International Journal of Environment and Geoinformatics (Diario Internacional de Medio Ambiente y Geoinformática), 6(1), 33-49.

consideración en la evaluación de suelos afectados por salinidad a nivel nacional.

Cuadro 2.2: Datos de sensores remotos multiespectrales para el mapeo de suelos afectados por salinidad

Imagen	Resolución espacial	Bandas
Generador en Operación de Imágenes Terrestres Landsat (OLI)	30 m	Banda 1 (Azul); Banda 2 (Verde) Banda 3 (Rojo); Banda 5 (NIR); Banda 6 (SWIR1); Banda 7 (SWIR2)
Sentinel 2A	10 m	Banda 2 (Azul); Banda 3 (Verde); Banda 4 (Rojo) Banda 8 (NIR)
	20 m	Banda 11 (SWIR 1); Banda 12 (SWIR 2)
MODIS (MOD09GA V6)	500 m	Banda 3 (Azul); Banda 4 (Verde); Banda 1 (Rojo) Banda 2 (NIR); Banda 6 (SWIR 1); Banda 7 (SWIR 2)

Otros datos de sensores remotos son los de rayos gamma, microondas, Radar, etc. Pueden usarse en caso de contar con los datos relevantes.

Datos de otros factores de formación del suelo: Los factores formadores de suelo como uso/cobertura de la tierra (incluyendo áreas intervenidas con riego y tipos de vegetación), clima, relieve, Modelo de Elevación Digital (DEM), mapa de tipos de suelo y geología, son predictores importantes de suelos afectados por salinidad. Dichos datos son necesarios para el mapeo de suelos afectados por salinidad (Cuadro 2.2).

2.2.3 Otros conjuntos de datos

Los suelos salinos son influidos por el nivel de las aguas subterráneas, la intrusión de aguas salinas o la degradación de la tierra por erosión eólica, erosión hídrica, etc. La información sobre estos factores puede proporcionar indicios sobre la presencia de suelos afectados por salinidad. Por tanto, podrán usarse datos espaciales (mapas) de estos factores, si se encuentran disponibles (Cuadro 2.1).

3 Especificación del product

3.1 Productos esperados

Se espera que la actualización global de la información de suelos afectados por salinidad, se centre en profundidades de suelo de 0-30 cm y 30-100 cm y una resolución espacial de 1 km (30 Arco-segundos). Por lo tanto, se espera que la aportación de los mapas nacionales al mapa global de suelos afectados por salinidad, entregue mapas de suelos superficiales (0-30 cm) y mapas de subsuelos (30-100 cm) de indicadores de suelos salinos y clasificación de mapas de suelos afectados por salinidad (Cuadro 2.3). contiene un resumen de productos esperados de la aportación nacional a la actualización global de información de suelos afectados por salinidad.

Cuadro 2.3: Aportación esperada al mapa global de suelos afectados por salinidad a nivel de países

Concepto	Descripción	
Producto de los datos (Mapas)	Conductividad Eléctrica (dS/m), pH(agua), Porcentaje de Sodio Intercambiable	
	Suelos afectados por salinidad e incertidumbre (CE, pH, PSI, suelos afectados por salinidad)	
Designación de la profundidad del suelo	Suelos superficiales	Subsuelo
Profundidad (cm)	0-30	30-100
Entidad Espacial	Mapas raster a nivel nacional (resolución especial de 1 m ó 30 Arcos-segundo)	
Datum Entregable	WGS 84 (grados decimales/geográficos)	
Incertidumbre	Ancho del intervalo de predicción a un intervalo de confianza de 95%	
Estadísticas de Validación	RMSE, ME(sesgo), (R ²)	
Método de Entrega	(Herramienta de Presentación de Datos de la AMS) en línea	
Fechas límite	30 de abril de 2020	

3.2 Especificación del producto

3.2.1 Entidad espacial

Resolución Horizontal y Vertical

El primer producto del mapa global de suelos afectados por salinidad se dará en dos profundidades (0 - 0 cm y 30 - 100 cm) con dimensiones horizontales fijas regulares en una cuadrícula de 30 por 30 arco-segundos (aproximadamente solo 1x1 km en el Ecuador).

Referencia Espacial

Todos los mapas presentados deberán contar con proyección geográfica (grados decimales) World Geodetic System 1984 (WGS84). El mapa global final de suelos afectados por salinidad también se entregará en este sistema de referencia de coordenadas.

Extensión

Se preparará una cuadrícula vacía genérica global de 30 arco-segundos que será compartida con todos los países participantes. Se espera que todos los países entreguen sus conjuntos de datos utilizando estas cuadrículas estándar.

Exclusión de Zonas distintas de Suelo

Se espera que los proveedores de datos provean una superficie continua para las predicciones de sus mapas. La secretaría de la AMS enmascarará las zonas distintas de suelo ocupadas por materiales que no constituyen suelo, incluyendo agua y hielo permanentes, roca desnuda, superficies selladas (urbanas), y

salares. No se hará intento alguno de especificar los tipos o proporciones de materiales distintos de suelo en una cuadrícula de celdas. Los valores excluidos de cuadrículas de celdas de propiedades de suelo, serán identificados como carentes de datos en el producto global final.

3.3 Metadatos

Todos los datos desarrollados y presentados para el GSSmap deben contar con metadatos asociados. Los metadatos contienen documentación sobre el tipo de mapa, los métodos usados en la producción del mapa, datos de entrada, proyección de unidades, precisión de la validación, extensión y resolución espacial, data de los datos de entrada y fecha de creación del mapa y dirección de contacto. Los metadatos deberán ser entregados durante la presentación de los datos. Es importante comprender que los datos no serán considerados completos sin los metadatos. Para ello se registrarán los metadatos en un formulario. El formulario de metadatos aparece en el Anexo I y también se encuentra disponible como formato web y será llenado por cada conjunto de datos. En caso de su disponibilidad, se entregarán, durante la presentación, copias de cualquier otra documentación adicional pertinente a cada conjunto de datos. Éstos incluyen:

- Información sobre licencias
- Información sobre derechos de autor
- Descargos de responsabilidad
- Declaraciones sobre los metadatos
- Informes técnicos o manuales

4 Desarrollo de productos y garantía de calidad

4.1 Desarrollo de productos

Los datos de entrada priorizados para el mapeo de suelos afectados por salinidad, son datos medidos de perfiles georreferenciados de indicadores del suelo (CE, pH, PSI) (Personal de Levantamiento de Suelos, 20145; FAO, 1970). Estos indicadores deben haber sido determinados con base a extractos de pasta saturada de suelo. A menos que no haya disponibilidad de estos datos, deberán usarse valores equivalentes obtenidos por modelos de conversión. Podrán obtenerse en GSP-Secretariat@fao.org. un manual técnico y un libro de recetas para guiar el desarrollo de productos.

4.2 Validación de productos

Los países deberán validar sus mapas con la medición de datos y presentar los resultados de validación conjuntamente con los mapas. El resultado de validación debe ser sustentado por una muestra de datos ante la AMS para verificar los resultados reportados.

La validación podrá realizarse en distintas formas (una descripción detallada de las técnicas de validación será provista en el manual técnico).

- a. Validación con un conjunto de datos independiente. En este caso, el mapa es validado mediante un conjunto de datos muestreado independientemente y enfocado en la validación. Parte de este conjunto de datos deberá ser presentado a la AMS conjuntamente con los resultados de la validación para garantizar la reproductibilidad del control de calidad.
- b. Validación a través de una división de datos. En este caso, el conjunto de datos es dividido antes de ser cartografiado (por ej.: 85% y 15% de los datos); una parte será usada para predicción y la otra para validación. La parte de datos usada para validación será presentada a la AMS conjuntamente con los resultados de la validación para garantizar la reproductibilidad del control de calidad.
- c. Si alguno de los países presentara un mapa publicado y revisado en cuanto a calidad por un proceso de revisión de sus pares en una revista científica internacionalmente indexada, dicha publicación será compartida con la AMS como garantía de calidad del mapa. En este caso, no habrá necesidad de presentar datos de validación.

⁵ Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf) [Personal de Estudio de Suelos. 2014. Manual de Métodos de Estudio del Suelo en Campo y Laboratorio. Informe sobre Investigaciones de Estudio del Suelo N° 51, Versión 2.0. R. Burt y Personal de Estudios de Suelo (ed.) Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales].

5 Entrega de productos

5.1 Productos obligatorios

Se esperan los siguientes productos: mapas de suelos (CE, pH, PSI, suelos afectados por salinidad), mapas de incertidumbre (CE, pH, PSI, suelos afectados por salinidad) y validación (conjunto de muestras y estadística). El total de mapas será de 16 (4 mapas de suelos y 4 mapas de incertidumbre cada uno para profundidades de suelo de 0-30 cm y 30-100 cm) y su validación.

1. **Conductividad Eléctrica (dS/m) del Suelo Superficial (0-30 cm):** Incluye mapas de conductividad eléctrica y mapas de incertidumbre del suelo superficial (0-30) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos basado en la medición de la conductividad eléctrica (CE_{SE}) y un conjunto de predictores espaciales (Cuadro 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Los valores de pixel serán CE_{SE} (dS/m).
2. **Conductividad Eléctrica (dS/m) del Subsuelo (30-100):** Incluye mapas de conductividad eléctrica y mapas de incertidumbre del subsuelo (30-100 cm) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos basado en la medición de la conductividad eléctrica (CE_{SE}) y un conjunto de predictores espaciales (Cuadro 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Los valores de pixel serán CE_{SE} (dS/m).
3. **pH del Suelo Superficial (0-30 cm):** Incluye mapas de pH y mapas de incertidumbre del suelo superficial (0-30 cm) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos con base en el pH (agua) del suelo y un conjunto de predictores espaciales (Cuadro 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Valores de pixel: valor del pH.
4. **pH del Subsuelo (30 – 100):** Incluye mapas de pH y mapas de incertidumbre del subsuelo (30-100 cm) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos basado en el pH (agua) del suelo y un conjunto de predictores espaciales (Cuadrp 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Valor de pixel: valor del pH.
5. **Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del Suelo superficial (0-30 cm):** Incluye mapas de PSI y mapas de incertidumbre de suelo superficial (0-30 cm) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos basado en el (PSI) del suelo y un conjunto de predictores espaciales (Cuadro 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Valor de pixel: valor del PSI.
6. **Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del Subsuelo (30 – 100):** Incluye mapas de PSI y mapas de incertidumbre de subsuelo (30 – 100 cm) a nivel país, creados con un enfoque de mapeo digital de suelos basado en el (PSI) del suelo y un conjunto de predictores espaciales (Cuadro 2.1). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Valores de pixel: valor PSI.
7. **Suelos superficiales (0-30 cm) afectados por salinidad:** Incluye un mapa de suelos afectados por salinidad (0-30 cm) y mapas de incertidumbre (0-30 cm) superficiales, a nivel de país, creados mediante clasificación de mapas de indicadores del suelo (CE, pH, PSI). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km).

Valor de pixel: Clase de intensidad de problemas salinos en suelos afectados por salinidad.

8. **Subsuelos (30-100 cm) afectados por salinidad:** Incluye un mapa de subsuelos afectados por salinidad (30-100 cm) y mapas de incertidumbre (0-30 cm) a nivel de país creados por clasificación de mapas de indicadores de suelo (CE, pH, PSI). El formato del producto será el de archivos geotiff con una resolución 30 arco-segundos (aproximadamente 1 x 1 km). Valor de pixel: Clase de intensidad de problemas salinos en suelos afectados por salinidad.

Datos suplementarios:

- Metadatos (presentados en línea o por otros medios);
- Informe del país (documento electrónico);
- Datos de garantía de calidad (cualquiera de los siguientes):
 - o Conjunto de datos de validación (formato de cuadro o archivos de puntos/líneas);
 - o Modelo de objeto con datos de validación cruzada (archivo R);
 - o Publicación de resultados revisada por un colega (documento electrónico o enlace para acceder en línea).

Se prevé el siguiente flujo en el mapeo de suelos afectados por salinidad a nivel país y la entrega final para producir el mapa global de suelos afectados por salinidad:

- a. Países que cuentan con datos medidos y que aplicarán las especificaciones técnicas dadas para producir y compartir sus mapas nacionales de suelos afectados por salinidad e incertidumbre y los metadatos asociados.
- b. Países que cuentan con datos medidos, pero carecen de la experiencia técnica adecuada para producir y compartir el mapa nacional de suelos afectados por salinidad. Se organizarán sesiones de creación de capacidades para apoyar a estos países para que produzcan y compartan sus mapas de suelos afectados por salinidad. Alternativamente, si estos países eligen autorizar a la AMS para que produzca los mapas en su nombre, la secretaría de la AMS se encargará de facilitar el intercambio de datos y el mapeo.
- c. Países que no cuentan con datos medidos pero que cuentan con la experiencia técnica para producir mapas de suelos afectados por salinidad. En este caso, se alienta a los países a movilizar los recursos necesarios para generar datos nacionales para producir los mapas de suelos afectados por salinidad
- d. Países que no han medido datos ni cuentan con la experiencia técnica para producir el mapa de suelos afectados por salinidad. Para la línea de tiempo previsible para el mapeo global de suelos afectados por salinidad, dichos países podrán encargar a la Secretaría de la AMS llenar los vacíos en espera de una fecha más precisa. Estos países serán alentados para movilizar recursos a fin de generar datos nacionales y desarrollar capacidad para producir el mapa nacional de suelos afectados por salinidad.
- e. Países con datos medidos pero que prefieren usar sus propias especificaciones para producir y compartir su mapa nacional de suelos afectados por salinidad. Se exhorta a dichos países contactar a la Secretaría de la AMS para otras modalidades.

La Secretaría de la AMS también desarrollará una estrategia de llenado de vacíos para los países que no estén en condiciones de proporcionar datos durante el lapso de tiempo requerido.

5.2 Procedimiento de entrega de datos

5.2.1 Convenciones para la nomenclatura de archivos y estructura de directorios

La Secretaría de la AMS proporcionará a los países una herramienta para el envío de datos. Los productos entregables serán cargados como archivos individuales o como archivos comprimidos (.zip, .rar,7z). La estructura es la siguiente:

Mapas

CE

Mapa Nacional de CE de Suelos 0-30 cm (ISO3CountryCode_SalinityMap030.tiff)

Mapa Nacional de CE de Suelos 30-100 cm (ISO3CountryCode_SalinityMap30100.tiff)

Mapa de Incertidumbre de CE 0-30 cm (ISO3CountryCode_UncertaintySalinityMap030.tiff)

Mapa de Incertidumbre CE 30-100 cm (ISO3CountryCode_UncertaintySalinityMap30100.tiff)

PSI

Mapa Nacional de PSI de Suelos 0-30 cm (ISO3CountryCode_PSIMap030.tiff)

Mapa Nacional de PSI de Suelos 30-100 cm (ISO3CountryCode_PSIMap30100.tiff)

Mapa de Incertidumbre de PSI 0-30 cm (ISO3CountryCode_UncertaintyPSIMap030.tiff)

Uncertainty PSI Map 30-100 cm (ISO3CountryCode_UncertaintyPSIMap30100.tiff)

pH

Mapa Nacional de pH 0-30 cm (ISO3CountryCode_pHMap030.tiff)

Mapa Nacional de pH 30-100 cm (ISO3CountryCode_pHMap30100.tiff)

Mapa de Incertidumbre de pH 0-30 cm (ISO3CountryCode_UncertaintyPHMap030.tiff)

Mapa de Incertidumbre de pH 30-100 cm (ISO3CountryCode_UncertaintyPHMap30100.tiff)

Afectación por salinidad

Mapa Nacional de Afectación por Salinidad 0-30 cm (ISO3CountryCode_SaltMap030.tiff)

Mapa Nacional de Afectación por Salinidad 30-100 cm (ISO3CountryCode_SaltMap30100.tiff)

Mapa de Incertidumbre de Afectación por Salinidad 0-30 cm

(ISO3CountryCode_UncertaintySaltMap030.tiff)

Mapa de Incertidumbre de Afectación por Salinidad 30-100 cm

(ISO3CountryCode_UncertaintySaltMap30100.tiff)

Documentos

Informe (ISO3CountryCode_Report.doc, docx)

Garantía de Calidad

Datos de Validación o publicación revisada por un colega

5.2.2 Formatos

Los archivos GIS serán entregados en formato GeoTIFF. GeoTIFF es un formato .tif o archivo de imágenes que incluye información espacial adicional (georreferenciada) incrustada en el archivo .tif en forma de etiquetas. Reciben el nombre de etiquetas incrustadas, etiquetas tif. Estas etiquetas incluyen metadatos *raster*, por ej.: extensión espacial, sistema de referencia de coordenadas, resolución, valores sin datos.

6 Garantía de calidad/Control de calidad

Cada país será responsable de la Garantía de calidad/el Control de calidad (QA/QC) básicos de todos los datos antes de que sean entregados a la Secretaría de la AMS. La Garantía de Calidad puede describirse como el proceso de impedir que los errores ingresen a los conjuntos de datos mientras que el Control de Calidad puede describirse como el proceso de identificar y corregir los errores existentes en los conjuntos de datos.

Todos los conjuntos de datos serán revisados con respecto a:

- Errores espaciales (extensión, proyección)
- Unidades (Por ejemplo: CE dS.m-1)
- Integridad de datos y metadatos (¿Están todos los conjuntos de datos obligatorios presentes y han sido documentados?)
- Consistencia con los datos mostrados en cualquiera de los documentos anexos (por ej.: informes o diagramas)
- Cumplimiento con las Normas de Datos descritos en este documento.
- Consistencia de los resultados de validación reportados con los datos entregados.

La Garantía de calidad/Control de calidad (QA/QC) final para los conjuntos de datos nacionales y globales estará a cargo de la Secretaría de la AMS a través de las redes técnicas (INSII, P4WG y el Panel Técnico Intergubernamental de Suelos (ITPS)) quien dará la autorización final al conjunto global de datos antes de su lanzamiento al público.

7 Proceso y línea de tiempo

Las líneas de tiempo, las fechas de vencimiento para las actividades programadas por etapa y las tareas propuestas, con las siguientes:

Cuadro 7.1: Líneas de tiempo

Salidas (Producción)	Actividades	Fecha	Autorización
Nota conceptual	Nota conceptual	Realizado	ITPS
Especificaciones Técnicas	Borrador de Proyecto	Realizado	P4WG, ITPS (fuera de sesión)
	Revisión	Realizado	
	Lanzamiento	Realizado	
Desarrollo de Capacidades	Manual Técnico	Realizado	ITPS, INSII
	Matls.de Capacitación	Realizado	P4WG
	Capacitación (NENA)	Noviembre 2019	-
	Materiales de Capacitación	Marzo 2020	-
	Capacitación (Africa)		
	Capacitación (Eurasia)		
	Capacitación (Latinoamérica)		
	Capacitación (Asia)		
	Capacitación (Europa)		
Capacitación (Pacífico)			
Recolección de Datos	Entregas Nacionales	Marzo-Abril 2020	-
	Estrategia de llenado de Vacíos Datos	Mayo 2020	
	QA/QC de Productos Nacionales	May 2020	
Mapa Global de Suelos Afectados por Salinidad	Armonización y Compilación	Marzo-Mayo 2020	ITPS
	QA/QC Cuadro de Metadatos	Mayo 2020 (INSII) Mayo 2020 (INSII fuera de sesión)	
	Lanzamiento (v1.0)	Junio 2020 (8ª GSPPA) – Evento Alterno	
Publicaciones	Informe Técnico	Junio 2020 - Lanzamiento Público	ITPS
	Artículo Científico	Mayo 2020 Junio - Julio 2020 (Presentación)	Revisión por Colegas
	Informe de Políticas	Septiembre 2020	ITPS
	Plan posterior al Lanzamiento	Mayo-Junio 2020	
Diseminación y Comunicación	Folletos, Carteles	Junio 2020	P4WG, GSP
	Servicios de la Red (GloSIS)	Junio-Julio 2020	Equipo de Comunicación vía FAO OCCI

Referencias

Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., Massoud, F.I., 1988. *Salt-affected soils and their management*. FAO Soils Bulletin 39. FAO, Rome

FAO. 1970. *Physical and chemical methods of soil and water analysis*. Bulletin No. 10. FAO, Rome (<http://www.fao.org/soils-portal/resources/soils-bulletins/en/>)

FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2008. *Harmonized world soil database* (version 1.0). Rome: FAO
Gorji, T., Yildirim, A., Sertel, E., Tanik, A., 2019. *Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes*. International Journal of Environment and Geoinformatics, 6(1), 33-49

Soil Survey Staff. 2014. *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51*, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf)

Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., Faaij, A., 2011. *The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils*. Energy and Environmental Science 4, 2669-2681

Apéndice

Atributo	Ejemplo
Número total de lugares de muestreo de suelos	
Número de perfiles de suelo	
Número de muestras de suelos superficiales	
Número de muestras de subsuelos	
Número de muestras de barreno	
Profundidad del Muestreo	Horizontes de suelo, suelo superficial: 0-30; subsuelo: 30-100
Método Georreferenciado	Coordenadas de la AMS / legado de mapas
Periodo de Muestreo (recolección de datos)	1980-2008
Unidad de medición del indicador de suelo	dS.m-1
Método de determinación del indicador de suelo	Medido/estimado
(si fue medido) método de medición del indicador de suelo	Medidor de conductividad en un extracto de pasta de suelo
(si fue medido) solución o relación suelo/agua	`1:5` or 1:2.5 or 1:2, etc.
(si fue medido) método de estimación del indicador de suelo	se calcula con base en el TSS
(si fue estimado) formula de estimación del indicador de suelo soil	$E_c \text{ (dS m}^{-1}\text{)} = \text{TDS(ppm)}/640$
Método de mapeo	Cartografía convencional / Cartografía digital de suelos
(si es convencional) Método convencional	Correspondencia de clase / Correspondencia geográfica
(si es convencional) Mapas de entrada usados	mapa de suelos, mapa de uso de la tierra
(si es convencional) Clasificación de suelos en el mapa de entrada	Base de Referencia Mundial (WRB)
(si es convencional) Escala de mapas de suelo	1:1 000 000'
(si se trata de Cartografía Digital de Suelos) Método MSD	Random Forest (Bosques aleatorios)
(si se trata de Cartografía Digital de Suelos) Se utilizaron predictores	temperatura, precipitación, elevación, tipo de suelo
(si se trata de Cartografía Digital de Suelos) Fuente(s) de predictores	worldclim, usda, mapa nacional de suelos
Método de validación	Validación cruzada / división de datos / validación independiente

R ² (Cantidad de varianza explicada)	0.54
Error medio (ME)	-0.05
Error cuadrático medio (RMSE)	1.2
Unidades de mapa indicador de suelos	dS.m-1
Método de estimación de incertidumbre	Desviación estándar del Kriging de regresión
Unidades de mapa de incertidumbre	dS.m-1
Autor(es) de mapas	
Autor(es) que hicieron aportaciones en caso de publicaciones científicas/de libros	
Instituto(s) proveedor(es) de datos	
Correo(s) electrónico(s)	
Dirección(es)	
Mención	
Comentarios/observaciones	



Gracias al apoyo financiero de



Ministerio de Finanzas de la
Federación de Rusia



Comisión
Europea



Rural Development
Administration

