



BUENAS PRÁCTICAS EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUELOS

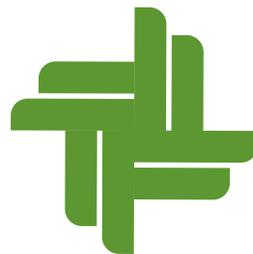


**Resiliencia y gestión
integral de riesgos
en la agricultura**

■ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Universidad de Costa Rica
Centro de Investigaciones Agronómicas



BUENAS PRÁCTICAS EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUELOS



**Resiliencia y gestión
integral de riesgos
en la agricultura**

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2016



Buenas prácticas en la elaboración en mapas de suelo por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons

Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO)

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Creado a partir de la obra en www.iica.int

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: Rafael Mata Chinchilla, Dangelo Sandoval Chacón, Jonathan Castro Chinchilla y Christian Solís Salazar

Corrección de estilo: Máximo Araya

Diagramación: Sergio Orellana Caballero

Diseño de portada: Sergio Orellana Caballero

Impresión: Sergio Orellana Caballero

Buenas prácticas en la elaboración en mapas de suelo / IICA, CIA –

San José, C.R.: IICA, 2016.

19 p.; 21,5 cm X 28 cm

ISBN: 978-92-9248-617-4

1. Prácticas agrícolas 2. Utilización de la tierra 3. Zonificación
4. Cartografía 5. Sistemas de información geográfica 6. Tecnologías
para la información y la comunicación (TIC) 7. Análisis de datos
8. Costa Rica I. IICA II. CIA III. Título

AGRIS

P31

DEWEY

338.16

San José, Costa Rica
2016

Contenido

Presentación	5
Siglas	6
Introducción	7
Buenas prácticas para elaborar mapas digitales de suelos.	9
Glosario	15
Bibliografía	18

Presentación

En el año 2050 el sector agroalimentario enfrentará un gran reto, pues deberá producir alimentos de buena calidad nutricional para una población mundial estimada en más de 9000 millones de personas, a la vez que tendrá que afrontar los esperados impactos del crecimiento poblacional y del cambio climático sobre los recursos naturales (CEPAL *et al.* 2012). El recurso suelo es el pilar más importante para hacer frente a ese reto, ya que cerca del 95 % de los alimentos se produce directa o indirectamente en los suelos (FAO 2015b).

Por otra parte, el suelo es de vital importancia para la biodiversidad, pues es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza y uno de los hábitats más diversos del planeta, al albergar una infinidad de organismos que interactúan entre sí y contribuyen a los ciclos globales que hacen posible la vida. Se estima que una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta se encuentra en los suelos (FAO 2015b).

Dado la anterior, es necesario seguir desarrollando e innovando en la generación de buenas prácticas agrícolas que impulsen la conservación y la sostenibilidad del recurso suelo; así como la generación de nuevas tecnologías como la cartografía digital de suelos.

A partir del 2009, el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) dirige importantes esfuerzos en la actualización del mapa de suelos de Costa Rica, mediante la sistematización y el procesamiento de la investigación de estudios de suelos realizados por diferentes actores públicos y privados desde 1978, con la publicación del mapa de Asociaciones de Subgrupos de Suelos de Costa Rica (Pérez *et al.* 1978). En ese proceso se ha contado con el valioso apoyo de diversos actores del sector agroalimentario, como el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA Costa Rica) y la Asociación Costarricense de Ciencias del Suelos (ACCS).

La Representación del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en Costa Rica se sumó a ese proceso en 2014, que apoyó con recursos logísticos y financieros, dirigidos especialmente al proceso de ampliar la base de datos georreferenciada con más de 1500 perfiles de suelos y, de esa manera, desarrollar el mapa digital de suelos de Costa Rica como un instrumento para la planificación agropecuaria del país.

En su Plan Estratégico para el periodo 2010-2020, uno de los objetivos que el IICA se plantea es mejorar la capacidad de la agricultura para mitigar el cambio climático, adaptarse a sus efectos y utilizar mejor los recursos naturales. Es bajo esta línea que el IICA impulsa aquellos procesos que promueven la resiliencia en la agricultura y el adecuado manejo de los recursos naturales, como el suelo y el agua (IICA 2010).

En este documento se sistematizan las principales lecciones que la UCR ha obtenido en los últimos años en buenas prácticas para elaborar mapas de suelos. Constituye una herramienta útil no solo para analistas y especialistas en suelos, sino también para quienes toman decisiones dirigidas a impulsar este tipo de procesos para el desarrollo de un país, en general, y del sector agropecuario, en particular.

El documento se enfoca en la formulación de recomendaciones, expresadas como buenas prácticas, sobre procesos y metodologías que ya son de uso generalizado en las ciencias edáficas. La intención fundamental es brindar orientaciones a los profesionales y demás lectores sobre los pasos claves para articular procesos y conocimientos que permitan generar herramientas digitales de última tecnología para la gestión del recurso suelo.

Ing. Miguel Arvelo Sánchez
Representante
IICA Costa Rica

Dr. Carlos Enríquez Enríquez
Director
CIA-UCR

Siglas

ACCS	Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas (UCR)
EMBRAPA	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Costa Rica)
ISPSR	Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección
IUSS	Unión Internacional de las Ciencias del Suelo
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica)
SIG	Sistema de información geográfica
SISLAC	Sistema de Información de Suelos de Latinoamérica y el Caribe
UCR	Universidad de Costa Rica
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
WRB	Base Referencial Mundial del Recurso Suelo

Introducción

En 2009 se celebró en San José, Costa Rica, el XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, en el que se resaltó la necesidad de reforzar el proceso de transformar la información sobre suelos existente en formato analógico a formato digital, iniciativa promovida por el consorcio GlobalSoilMap (<http://www.globalsoilmap.net/>).

En 2012 un grupo integrado por representantes del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelos (ACCS) y del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA Costa Rica) inició el proceso de revisión y actualización de la taxonomía del mapa de suelos del año 1989 del Ingeniero Alexis Vásquez Morera y la conformación de una base de datos de perfiles de suelos de Costa Rica de estudios realizados desde 1970 hasta la fecha.

El 5 de diciembre de 2013, en el marco de la celebración del Día Mundial de Suelos, se presentó una versión revisada y actualizada en formato digital del mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a una escala de 1:200.000, así como una base de datos con 450 perfiles de suelos del país.

Ambos recursos brindan a agricultores, técnicos, estudiantes, investigadores y público en general información que permite planificar el desarrollo del sector agropecuario, mejorar los rendimientos productivos y conservar el recurso suelo.

Al inicio de la generación de la base de datos, los estudios de suelos se encontraban en un formato análogo (papel), con diferentes formatos y en algunos casos sin coordenadas geográficas, por lo que se hizo necesario compilar, revisar, actualizar y armonizar los informes en una base de datos y clasificarlos utilizando la última versión de la taxonomía de suelos.

Durante el año 2015, mediante una alianza entre el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la UCR, se continuó con el proceso de actualizar y armonizar la información de los perfiles de suelos. Ello permitió aumentar la información cuantitativa del soporte del mapa digital de suelos, al incrementarse a 1500 la cantidad de perfiles incluidos en la base de datos.

El costo estimado promedio en Costa Rica, actualizado a la fecha de realizar un estudio de suelos que incluya el análisis preliminar, muestreo de suelos, descripción y recolección de muestras, transporte, alimentación, costo de laboratorio (propiedades físicas y químicas) y honorarios profesionales, para una calicata de 5 horizontes es de USD 1500. La última versión de la base de datos incluye 1500 observaciones detalladas, basado en el dato anterior significaría una inversión estimada de USD 2 250 000.

Buenas prácticas para elaborar mapas digitales de suelos

El proceso para elaborar un mapa digital de suelos puede variar entre países, debido generalmente a las diferencias de los recursos económicos y tecnológicos con que cuentan y del capital humano especializado en la materia del que disponen.

A continuación se describe, de manera general, el proceso que un país puede llevar a cabo para elaborar un mapa digital de suelos en formato vectorial o *raster* o para marcar la posible ruta a seguir, en caso de que posea mapas digitales de suelos y desee mejorarlos.

El proceso en general consta de tres fases:

- **Fase de diagnóstico:** Contempla todas aquellas acciones mediante las cuales se evalúan las capacidades institucionales con que cuenta el país para elaborar mapas de suelos y tomar decisiones. También incluye la recopilación de toda la información que los diferentes actores público-privados han generado en materia de suelos, así como la realización de un estudio sobre las perspectivas y las oportunidades que tiene un país para el desarrollo de estas herramientas tecnológicas.
- **Fase operativa**, que se subdivide en:
 - **Fase operativa inicial:** Corresponde a las acciones que se deben realizar para iniciar la elaboración de un mapa digital, como recopilar la mayor cantidad posible de información bibliográfica y diseñar el metadato y la estructura de la base de datos.
 - **Fase operativa avanzada:** Contempla el proceso de revisar, introducir y armonizar datos, así como el levantamiento de la cartografía de suelos o la actualización de las unidades de un mapa ya elaborado.
- **Fase de validación:** Consta de todas aquellas acciones dirigidas a validar la información presentada en el mapa digital de suelos, verificándola directamente en el campo con la realidad de los suelos de un país.

En la figura 1 se muestran las fases del proceso para digitalizar un mapa de suelos. En ella se detallan las acciones recomendadas para generar un mapa digital actualizado de los suelos de un país o territorio.

a. ¿El país cuenta con un mapa digital de suelos?

La necesidad de conocer la distribución geográfica de los suelos y de aprovechar este recurso en las actividades humanas, agrícolas y ganaderas ha impulsado una gran cantidad de investigaciones y metodologías para desarrollar estudios, análisis y sistemas predictivos de suelos. En las últimas décadas y con el auge de las tecnologías de la información y la comunicación, se ha producido una serie de mapas digitales, incluidos en una base de datos georreferenciada que contiene toda aquella información referente a suelos.

Dichos mapas han sido elaborados a diferentes escalas, que van desde el nivel de parcela hasta el de país o región, por lo que es importante saber la cantidad de información digital de suelos con que cuenta un país.

Buena práctica:

- Realizar una investigación exhaustiva de todos los mapas y materiales cartográficos que se han elaborado a nivel nacional e internacional sobre la clasificación de las diferentes clases de suelos del país o territorio.

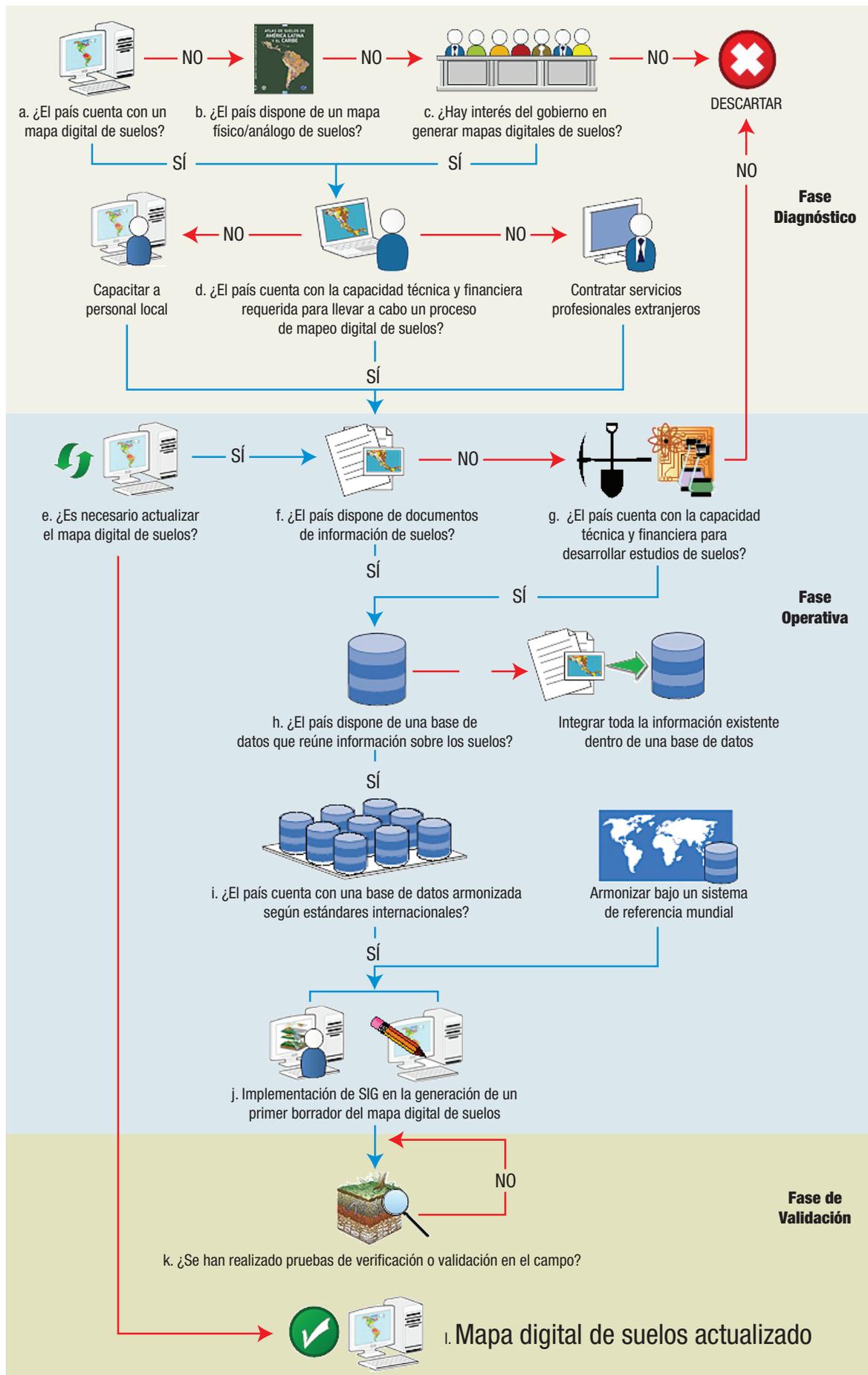


Figura 1. Proceso recomendado para la digitalización y actualización de un mapa de suelo.

b. ¿El país dispone de un mapa físico/análogo de suelos?

Antes del desarrollo de los SIG, se elaboró una gran cantidad de mapas de suelos análogos o impresos en papel, los cuales pueden encontrarse en atlas nacionales o regionales que ilustran la información, clasificación y distribución de suelos.

Buena práctica:

- Recopilar y analizar el registro histórico de la información de suelos que se encuentra en cartografía análoga. Este registro permitirá, además de contar con la información de suelos de un territorio, estudiar los cambios que han ocurrido en ellos en el transcurso del tiempo, como por ejemplo cambios en la degradación del suelo (erosión, compactación y contaminación), en la acidificación y en la saturación. Esta fase no involucra trabajo de campo, pues se analiza la información de legado o previamente generada. Para este proceso se necesita un presupuesto menor que el requerido para levantar la información.

c. ¿Hay interés del gobierno en generar mapas digitales de suelos?

La generación de sistemas de información de suelos es un insumo fundamental para la formulación de políticas y estrategias dirigidas a la gestión del territorio de un país en diferentes ámbitos: administrativo (ordenamiento y planificación), alimenticio (mejoramiento de la seguridad alimentaria y disminución de los riesgos agrícolas asociados a fenómenos climatológicos), ambiental (preservación de los recursos naturales de agua y suelo, ecosistemas y biodiversidad) y económico (inversiones nacionales y extranjeras).

Buenas prácticas:

- Desarrollar un proceso de divulgación de información e incidencia política sobre las oportunidades que el desarrollo de un proceso de mapeo conlleva para la gestión del recurso suelo.
- La participación o representación de los países en congresos y eventos nacionales, regionales y mundiales sobre suelos permite generar alianzas e impulsar el desarrollo de las regiones, así como fortalecer las capacidades técnicas mediante la actualización de conocimientos sobre las últimas tecnologías y las tendencias mundiales en materia de suelos.

Punto crítico:

- Integrar los estudios y análisis de suelos e incorporarlos en sistemas de información de suelos puede resultar en un proceso extenuante y de alta demanda de recursos financieros, debido a lo cual puede ser que un país no tenga dentro de sus prioridades el desarrollo de estas herramientas.

d. ¿El país cuenta con la capacidad técnica y financiera requerida para llevar a cabo un proceso de mapeo digital de suelos?

Para realizar un proceso de mapeo digital de suelos, se necesita un alto grado de conocimiento no solo sobre sistemas informáticos (bases de datos y SIG, entre otros), sino también sobre las características y propiedades de los suelos y su clasificación taxonómica.

Asimismo, se requiere contar con equipo especializado y con *hardware* que permita mejorar la velocidad de procesamiento (tarjeta RAM, procesador y tarjeta de video) y utilizar *software* para los diferentes procesos del mapeo digital de los suelos que facilite la generación de la información y su administración.

En caso de que un país no cuente con personal capacitado, se debe considerar la posibilidad de contratar servicios profesionales en el extranjero, o bien aprovechar oportunidades dentro y fuera del país que le permitan al personal técnico capacitarse en la materia.

Buenas prácticas:

- Promover la capacitación del recurso humano local, así como la construcción de infraestructura tecnológica que permita generar herramientas de información de suelos en beneficio del país.
- Integrar equipos de trabajo que cuenten con especialistas en edafología y con geógrafos especialistas en SIG y en sistemas informáticos.
- Aprovechar el *software* libre que puede utilizarse en todo el proceso del mapeo digital de suelos.

Punto crítico:

- Carencia de la infraestructura o de las facilidades necesarias para el desarrollo de los procesos de mapeo digital, o incapacidad de un país de invertir para contar con ellas.

e. ¿Es necesario actualizar el mapa digital de suelos?

En caso de que el país cuente con un mapa digital de suelos, se deberá considerar la fecha de su elaboración, con el fin de determinar si se debe actualizar su contenido, incluida la información taxonómica.

Buena práctica:

- Consultar a las organizaciones del sector agropecuario del país sobre la utilización del mapa de suelos existente, sobre la necesidad de actualizarlo y sobre las limitaciones y los beneficios para la planificación de su desarrollo que resultan de contar con más y mejor información sobre el recurso suelo en un formato de ágil procesamiento para la toma de decisiones.

f. ¿El país dispone de documentos de información de suelos?

Además de los mapas análogos, existe una gran cantidad de información sobre análisis físicos y químicos de suelos que ha sido publicada en informes de consultorías, trabajos finales de graduación, artículos científicos y otros documentos. Esta documentación almacena información valiosa sobre los perfiles de suelos, de los cuales muchas veces se brindan las coordenadas geográficas, pero en otras se deben georreferenciar.

Buena práctica:

- Recopilar y procesar toda la documentación con información sobre perfiles de suelos realizados en el ámbito nacional por diferentes actores públicos, privados y académicos y sobre la clasificación de suelos en el país o territorio.

g. ¿El país cuenta con la capacidad técnica y financiera para desarrollar estudios de suelos?

Para desarrollar estudios de suelos, el país debe tener técnicos con conocimientos especializados en el levantamiento de suelos, de manera que puedan determinar los insumos necesarios para desarrollar el estudio y la escala en que este se realizará. Además, se debe contar con la capacidad financiera requerida para realizar todas las fases del estudio de suelos: planificación, ejecución y divulgación.

Buenas prácticas:

- Realizar un estudio de factibilidad para determinar si existen los técnicos especializados y el financiamiento requerido para realizar el estudio de suelos.
- Contratar los servicios profesionales y de laboratorio requeridos, en caso de no disponer de ellos.

h. ¿El país dispone de una base de datos que reúne información sobre los suelos?

Las bases de datos presentan en forma estructurada la relación entre los diferentes perfiles de suelos y la información que contienen. Es importante que el país pueda generar una base de datos georreferenciada con toda la información encontrada en la documentación de estudios de suelos y los datos levantados en el punto g.

Buena práctica:

- Crear una base de datos georreferenciada. Un ejemplo de una base de datos simple es la utilizada por Sandoval y Mata (2015), en cuya matriz los diferentes parámetros o atributos del suelo se encuentran en las columnas y el desglose de los diferentes perfiles de suelos y sus horizontes en las filas. El cuadro 1 muestra los parámetros o atributos de los perfiles que pueden ser incorporados en una base de datos georreferenciada.

Cuadro 1. Detalle de los parámetros para incorporar perfiles de suelos en una base de datos.

Parámetros/atributos	Detalle
Ubicación geográfica	Latitud y longitud (sistema de coordenadas más apropiado para el país)
Análisis químico de fertilidad	<ul style="list-style-type: none"> • pH, acidez • Ca, Mg, K, CICE, % SA, P, Zn, Mg, Mn y Cu
Análisis químicos para clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • Ca, Mg, K y Na extraído en acetato de amonio • Porcentaje de retención de P, Fe y Al en oxalato • Porcentaje de carbono orgánico y de capacidad de intercambio catiónico (CIC)
Análisis físico	Textura, densidad aparente, retención de humedad y conductividad hidráulica
Taxonomía	Clasificación de suelos según el USDA
Características del paisaje	Elevación, gradiente, relieve, material parental, vegetación, fertilidad aparente y roca superficial
Características morfológicas	Color de la matriz principal y acompañante, estructura, consistencia, porosidad, raíces, límites, plasticidad y adhesividad
Referencia	Autor y fecha

Fuente: Sandoval y Mata 2015.

i. ¿El país cuenta con una base de datos armonizada según metodologías reconocidas internacionalmente?

El proceso de armonización consiste en homogeneizar la terminología y las unidades de los parámetros morfológicos, químicos y físicos del suelo con un sistema de clasificación de suelos.

Buena práctica:

- Continuar utilizando el sistema de referencia que el país ha venido usando. Por ejemplo, en el caso de Costa Rica se utiliza el sistema “*Taxonomía de Suelos*” (*Soil Taxonomy*) del USDA establecido en 1999, (Keys to Soil Taxonomy, USDA 2014).

Punto crítico:

- La decisión de un país de utilizar otro sistema de referencia obliga a realizar cambios en la nomenclatura y en la información de la base de datos, lo que puede resultar en un proceso desgastante y tedioso.

j. Implementación de SIG en la generación de un primer borrador del mapa digital de suelos

Mediante este proceso la base de datos de observaciones de suelos se vincula directamente con polígonos del mapa base que representan las unidades cartográficas provenientes de un análisis fisiográfico, que al menos deben incluir provincias fisiográficas, unidades climáticas y grandes paisajes.

Como producto de este proceso se obtiene un primer borrador del mapa de suelos, en el que se pueden realizar ajustes directamente mediante la aplicación de un *software*.

Buenas prácticas:

- Definir adecuadamente la escala de trabajo del mapa y la unidad mínima de mapeo.
- Contar con el número de observaciones requerido para comprobar, editar o transformar los polígonos apropiadamente.
- Integrar un equipo interdisciplinario.

k. ¿Se han realizado pruebas de verificación o validación en el campo?

Este proceso se debe realizar de acuerdo con la escala de trabajo del mapa. Su objetivo es ajustar los polígonos del mapa base a la base de datos, lo cual se puede llevar a cabo mediante visitas de campo en que se realizan observaciones con muestreo con barreno y pedones modales.

Un procedimiento complementario es tomar una cantidad de perfiles de suelo elegidos de manera aleatoria de la base de datos y utilizarlos para comprobar el contenido pedológico de los polígonos.

Buenas prácticas:

- Implementar aplicaciones tecnológicas que permitan una comprobación participativa, como por ejemplo la aplicación para teléfonos inteligentes CR Suelos (CIA 2015).
- Implementar un sistema de monitoreo y evaluación para validar el mapa de suelos y brindar aportes para su corrección y mejora, si esto fuera necesario.

Punto crítico:

- Un mapa de suelos que no haya sido verificado en el campo es un producto inexacto desde un punto de vista geográfico.

l. Mapa digital de suelos actualizado

Como producto final del proceso, el país contará con un mapa digital de los suelos de su territorio, el cual reunirá toda la información sobre esos suelos y su clasificación. Es importante hacer llegar este producto a los usuarios finales, como los productores y los tomadores de decisiones.

Buenas prácticas:

- Realizar campañas de lanzamiento y difusión del mapa digital de suelos actualizado.
- Implementar estrategias que les permitan a los usuarios finales del mapa realizar consultas y/o correcciones, de manera que el mapa pueda ser validado constantemente.

Punto crítico:

- Un mapa de suelos actualizado que no haya sido publicado, difundido y utilizado por terceros es una pérdida económica para el país, ya que se desaprovecha la inversión en recursos humanos y financieros que posibilitó su elaboración.

Glosario

Actualización: Proceso de aportar información reciente y validada a la base de datos de suelos, con el objetivo de ampliar el número de observaciones de perfiles de suelo.

Armonización: Estandarización de términos técnicos de variables descriptivas y cuantitativas del suelo, la cual se realiza con base en *Soil Taxonomy* (USDA 1999), *Claves para la taxonomía de suelos* (USDA 2014), *Soil Survey Manual* (USDA 1993) y *Field Book for Describing and Sampling Soil* (Schoeneberger et al. 2012).

Base de datos georreferenciada: Conjunto de datos almacenados, sin redundancias innecesarias, en un soporte informático y accesible simultáneamente por distintos usuarios y aplicaciones (Cobo 2007). Los datos deben ser estructurados y almacenados de forma totalmente independiente de las aplicaciones que utilizan la base de datos.

Al utilizar estas bases de datos en un sistema de información geográfica (SIG), es necesario tener datos georreferenciados. Según Gutiérrez y Gould (2000), estos datos se pueden dividir en tres componentes: un componente temático (atributos), un componente espacial (localización) y un componente temporal (tiempo).

Datos de legado (*legacy data*): Información en formato análogo.

Densidad de observaciones: Con respecto a la base de la base es la cantidad de perfiles incorporados y expresados por unidad de área determinada, que puede ser un país, una región, un paisaje fisiográfico o cualquier otra que defina el usuario.

Escala: Relación entre las dimensiones de un objeto representado en un mapa y las dimensiones del mismo objeto en la realidad. Según Ligier (2014), se puede realizar una clasificación de la cartografía de suelos de acuerdo con su escala, tal como se muestra en el cuadro 2.

Fotointerpretación o fotogrametría: Arte, ciencia y tecnología que permite obtener información confiable por medio de imágenes de la Tierra, el entorno y objetos físicos, a través de procesos de grabación, medición, análisis y representación (ISPRS 2015). Durante la década más reciente, la fotogrametría y la teledetección han proporcionado los datos de fuente primaria para los SIG. Existe además un continuo desarrollo de las aplicaciones de las técnicas fotogramétricas a corta distancia en muchos otros campos (ingeniería, arquitectura, arqueología, medicina, control de calidad industrial, robótica, etc.).

Imagen digital: Imagen captada por un sensor que puede encontrarse en órbita sobre la tierra o bien a una distancia que pueda realizar aportes a los procesos dinámicos del medio ambiente, con un espacio y tiempo definidos.

Incorporación: Proceso de introducir información no contemplada en la base de datos, que fue tomada de estudios de suelos, que contempla variables morfológicas, físicas y químicas y que fue previamente revisada por especialistas en el tema.

Levantamiento de suelos: Conjunto de investigaciones necesarias para caracterizar, clasificar, delimitar y representar en un mapa los diferentes suelos de una región, para luego interpretar la aptitud que tienen para un uso determinado y predecir su comportamiento y productividad bajo diferentes sistemas de manejo (Forero 1984 y Jaramillo 2001).

Mapa digital de suelos: Resolución gráfica del suelo que muestra sus relaciones cuantitativas con su entorno, establecidas mediante observaciones de campo y pruebas de laboratorio y recopiladas e integradas en una base de datos georreferenciada (IUSS et al. 2007).

Cuadro 2. Clasificación del tipo de mapa de suelos según su escala.

Tipo de levantamiento	Escala de publicación	Detalle
Detallado	1:5000 a 1:20.000	Aplicados a usos muy intensivos que requieren una información detallada de los suelos; adecuados para levantamiento en asentamientos de pequeños productores y cinturones periurbanos con cultivos hortícolas, frutales, etc. Aplicados además en levantamientos de microcuencas para planificar riego y drenaje, para identificar áreas de conservación o recreación y localización de parques industriales, etc. En todos estos ejemplos, se requiere un conocimiento muy preciso y detallado de los suelos y de su variabilidad espacial.
Semidetallado	1:20.000 a 1:50.000	Utilizados para usos de la tierra que no requieren un conocimiento tan preciso como el necesario en áreas pequeñas en superficie. La información puede ser utilizada en la planificación de la agricultura en general, cultivos específicos, ganadería, forestales, zonificaciones por cuencas, etc. Los suelos son identificados de manera intensiva en áreas piloto según claves de relaciones paisaje-suelos y luego mediante extrapolación y verificaciones en el campo se extiende la información en el mapa, fuera de las áreas piloto.
Reconocimiento	1:50.000 a 1:100.000	Aplicados para obtener información en áreas extensas a un nivel de generalización apropiado para el planeamiento regional del uso de la tierra.
General	1:100.000 a 1:200.000	Usados frecuentemente para realizar análisis comparativo de aptitud de suelos entre grandes regiones y para registrar información que permita seleccionar áreas para estudios más detallados. Los suelos son identificados por observaciones de campo en transeptos sobre grandes paisajes. Las unidades taxonómicas definidas son superiores a series, principalmente subgrupos y/o grandes grupos.
Esquemático	> 1:200.000	Construidos a partir de la información de los mapas básicos de suelos, para mostrar la distribución y la predominancia general de suelos a nivel regional o nacional.

Fuente: Adaptado de Ligier 2014 y SEPSA 1991.

Mapa físico/análogo de suelos: Según Ligier (2014), la cartografía de suelos es una idea precisa de la distribución geográfica de los suelos en una región determinada; es decir, refleja las cualidades de los suelos y su vinculación estrecha con la geomorfología y la geología, el uso actual, las aptitudes para un uso ya sea específico o general, etc. Los mapas de suelos son ante todo “cartas sintéticas” que integran un conjunto de datos que fortalecen los diagnósticos en el medio natural. Detallan áreas delimitadas en el plano, definidas y denominadas unidades cartográficas, las que contienen en un espacio geográfico acotado diferentes clases de suelos tanto a nivel taxonómico (desde órdenes hasta subgrupos de suelos) como a nivel utilitario (capacidad de uso o uso potencial del suelo).

Observaciones: Se refiere a los puntos donde se realiza una descripción de suelos, las cuales pueden levantarse con diferentes técnicas según el nivel de detalle que se necesite, tales como la toma de muestras con el barreno y las exploraciones más profundas, como las calicatas o fosas de observación.

Perfil: Es un corte vertical que va desde la superficie del suelo hasta el material parental. Los perfiles de suelo muestran una serie de capas llamadas horizontes.

Sistema de información geográfica (SIG): Conjunto de métodos, herramientas e información diseñado para actuar de una manera lógica y capturar, analizar, almacenar y transformar la información geográfica y sus atributos con el objetivo de satisfacer múltiples intereses (Brenes 2005).

Suelo: Es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 1999).

Taxonomía de suelos: Sistema de clasificación de suelos que estudia la relación entre los suelos y factores responsables de su morfología y composición; además provee una metodología y nomenclatura para propósitos de comunicación y estudio.

Existen diferentes sistemas mundiales de clasificación, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- *Claves de la taxonomía de suelos*, propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA 2014).
- *Base referencial mundial del recurso suelo (WRB)*, propuesta por IUSS FAO/UNESCO (IUSS *et al.* 2007).
- *Sistema brasileño de clasificación de suelos*, propuesto por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA 2006).

Verificación o validación en el campo: Proceso a través del cual se verifica, mediante visitas de campo o análisis químicos y físicos del perfil del suelo, los posibles límites de un polígono, tomando en cuenta la escala y el objetivo del mapeo de suelos.

Bibliografía

- Brenes, C. 2005. Sistemas de información geográfica (en línea). San Salvador, El Salvador, OIRSA. Consultado 1 dic. 2016. Disponible en <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/sistemasinfgeog.pdf>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Chile); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2012. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2013 (en línea). Santiago, Chile, FAO. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-as167s.pdf>.
- CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica). 2015. Nueva APP CR Suelos (en línea). San José, Costa Rica, UCR. Consultado 23 oct. 2015. Disponible en http://www.cia.ucr.ac.cr/cia_en/?p=373.
- Cobo, A. 2007. Diseño y programación de bases de datos. Madrid, España, Visión Libros.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária); Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasil. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos (en línea). 2 ed. Brasília, Brasil. Consultado 1 dic. 2015. Disponible en <http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015a. 2015: Año Internacional de los Suelos (en línea). Consultado 13 oct. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/soils-2015/about/es/>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015b. Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables (en línea). Consultado 13 oct. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/soils-2015/resources/fact-sheets/es/#c327325>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015c. Suelos y biodiversidad: Los suelos albergan una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta (en línea). Consultado 13 oct. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/soils-2015/resources/fact-sheets/es/#c327325>.
- Forero, C. 1984. Métodos de levantamiento de suelos (primera parte). Bogotá, Colombia, Centro Interamericano de Fotointerpretación.
- Gutiérrez, J; Gould, M. 2000. SIG: Sistemas de Información Geográfica. Madrid, España, Síntesis.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2010. Plan Estratégico 2010-2020 (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 29 jul. 2015. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B2095e/B2095e.pdf>.
- ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Alemania). 2015. The society (en línea). Hannover, Alemania. Consultado 12 oct. 2015. Disponible en <http://www.isprs.org/society/default.aspx>.
- IUSS (Unión Internacional de Ciencias del Suelo, Austria); ISRIC (Centro Internacional de Información y Referencia en Suelos, Holanda); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo: un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional (en línea). Roma, Italia, FAO. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos n.o 103. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/011/a0510s/a0510s00.htm>.

- Jaramillo, D. 2001. Densidad y porosidad del suelo. In *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. p. 180-200.
- Ligier, H. 2014. *La cartografía de suelos* (en línea). Buenos Aires, Argentina, INTA. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/la-cartografia-de-suelos>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica); MINEREM (Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, Costa Rica). 1995. *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. San José, Costa Rica, SEPSA.
- Pérez S., Alvarado A. y Ramírez E. 1978. *Asociación de Subgrupos de Suelos de Costa Rica (Mapa preliminar) CR2CM-6*. San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuario. San José, Costa Rica.
- Ramírez, J; Gómez, A. 2015. *Conservación de agua y suelo y uso de energía renovable en microcuencas*. Morelos, México, IMTA.
- Sandoval, D; Mata, R. 2015. *Mapa digital de suelos de Costa Rica* (en línea). San José, Costa Rica, CIA-UCR. Consultado 1 dic. 2015. Disponible en http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139.
- Schoeneberger, PJ; Wysocki, DA; Benham, EC; Soil Survey Staff. 2012. *Field book for describing and sampling soils* (en línea). Vers. 3.0. Lincoln, Nebraska, Estados Unidos de América, NRCS-National Soil Survey Center. Consultado 1 dic. 2015. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052523.pdf.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 1991. *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Segunda Edición. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1993. *Soil survey manual* (en línea). Washington, D. C., Estados Unidos, NRCS-Soil Conservation Service. Consultado 1 dic. 2015. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (en línea). 2 ed. Washington, D. C., Estados Unidos, NRCS. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2014. *Claves para la taxonomía de suelos* (en línea). 12 ed. Washington, D. C., Estados Unidos, NRCS. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf.



Representación IICA Costa Rica

Apartado postal 55-2200 San José, Vásquez de Coronado, San Isidro 11101 - Costa Rica

Teléfono (+506) 2216-0255 • Fax (+506) 2216-0258

www.iica.int/costarica

Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

Apartado postal 11501-260 San José, Costa Rica

Teléfono (+506) 2511-2070 • Fax (+506) 2234-1627

www.cia.ucr.ac.cr