

## **Simposio Cartografía digital de suelos**

Coordinadora: Christina Siebe

Mesa: Suelos en el Espacio y el Tiempo

Ponentes:

**Suzann Kienast, USDA-NCRS, “Soil landscapes of the United States (SOLUS): A 21st century raster soil survey inventory”**

**Carlos Omar Cruz Gaistardo, INEGI (retirado),  
“Alcances y limitaciones de la cartografía digital de suelos en México”**

**Mario Guevara, Centro de Geociencias, UNAM,  
“Retos y perspectivas del mapeo digital de suelos en México.”**

**Diego Esteban Hernández Valenciano, Reality Capture Specialist. Ficus BData Soluciones.  
“Técnicas de levantamiento de suelos a escala detallada mediante uso de drones”**

**Carolina Ramírez Núñez, Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM  
“Extracción semi-automatizada de unidades de relieve como base para la elaboración de cartografía digital de suelos”**

## **Soil landscapes of the United States (SOLUS): A 21st century raster soil survey inventory**

Suzann Kienast-Brown<sup>1</sup>, Travis Nauman<sup>1</sup>, Dave White<sup>1</sup>, Colby Brungard<sup>2</sup>, Stephen Roecker<sup>1</sup>, Jessica Philippe<sup>1</sup>, James Thompson<sup>3</sup>

<sup>1</sup> USDA – NRCS

<sup>2</sup> New Mexico State University

<sup>3</sup> West Virginia University

Soils are a critical component of natural systems. Soil knowledge is required to explore and address questions regarding ecological function, climate change, conservation, and land management at any scale. A variety of soil information products are needed to meet the demand and diversity of current environmental challenges. The National Cooperative Soil Survey (NCSS) in the United States is striving to address that need by creating and publishing a range of relevant products. The NCSS Digital Soil Mapping Focus Team has recently completed a continental-scale, 100-m resolution set of key soil properties called Soil Landscapes of the United States (SOLUS). The SOLUS100 property maps present 21 soil physical and chemical properties predicted at seven depths from 0-150cm. Lessons learned and solicited feedback from SOLUS100 will be incorporated into the next version of SOLUS, 30-m resolution maps for the continental United States. Soil property maps can support a wide range of user needs including interpretation for use and management of the soil resource, multi-scale environmental assessments, modelling to support conservation activities, and more. The vision is to combine soil property information with ecological site state and transition models and dynamic soil properties to support Dynamic Soil Survey in the United States. Fundamental pedology and communication of soil knowledge is the primary focus of the SOLUS effort, yielding a framework for delivery of seamless raster-based soils data for all areas of the United States on annual cycles. This framework will foster an environment of continuous improvement and support a complete, consistent, correct, comprehensive, and current inventory of the soil resources of the US.

# ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA CARTOGRAFÍA DIGITAL DE SUELOS EN MÉXICO

CARLOS OMAR CRUZ GAISTARDO

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México (retirado)

[cruzgaistardocarlos@gmail.com](mailto:cruzgaistardocarlos@gmail.com)

La ciencia y la tecnología se han desarrollado paralelamente durante los últimos siglos de forma que cualquier avance en una de ellas tiene repercusiones inmediatas en la otra. Un caso de esa simbiosis puede darse en la ciencia del suelo, en donde las técnicas matemáticas asociadas a la cartografía digital fortalecen la capacidad de sintetizar y preservar la experiencia de los edafólogos y logran evolucionar los análisis de un modo estático euclidiano (p. ej. la distribución del carbono) hacia un modo más dinámico como los espacios de fases (p. ej. las pérdidas y ganancias del carbono bajo múltiples estructuras de espacio-tiempo).

Durante las pasadas dos décadas, han sido documentadas las múltiples ventajas de la cartografía digital; sin embargo, la elevada precisión y exactitud observada en las escalas grandes (~1:1k) necesitan también estar reflejadas en los resultados de las escalas pequeñas (~1:1M). Otro problema es que este método no ha penetrado aún las estructuras de la cartografía tradicional de suelos en México. ¿Por qué?, ¿Ha sido una simple decisión burocrática, o pueden existir inconsistencias que técnicamente impidan su implementación?

Para formular una respuesta es necesario partir de la experiencia adquirida durante la construcción del Sistema de Información y Monitoreo de Suelos (SIMS). Uno de los objetivos de este sistema es proveer datos depurados y modelos primarios para su replicación mediante diversas técnicas matemáticas como la inferencia bayesiana o las redes neuronales. El SIMS ha identificado algunas áreas de oportunidad de la cartografía digital que pueden mejorarse mediante cuatro acciones principales:

- (1) Aumentar la cantidad, calidad y representatividad de los datos,
- (2) Proveer modelos de calibración previamente consensuados por expertos en suelos,
- (3) Densificar e integrar levantamientos detallados para el mejor escalamiento de la información, y
- (4) Cuantificar las fuentes no típicas de incertidumbre.

El SIMS es un superviviente del programa de modernización implementado en el INEGI por Carlos M. Jarque Uribe, en los albores de los 90s, para impulsar el desarrollo de la infraestructura espacial de datos (IDEMEX) y optimizar las metodologías de todos los proyectos de la institución. Este programa enlazó por primera vez los conocimientos de los especialistas de campo con las habilidades de los expertos en matemáticas, geodesia y programación.

A pesar de la creciente reducción de recursos destinados al trabajo de campo del INEGI, la subasta de los activos para la adquisición de datos, la extinción del centro de capacitación, y una larga curva de aprendizaje de los relevos generacionales, el contexto de trabajo de Carlos Jarque ha permanecido y permitido, entre otras cosas, la sinergia entre la econometría, los sistemas de

información y la geoestadística ambiental, útiles para entender la naturaleza del suelo y darle un sentido de mayor utilidad a la información.

Recientemente, el proyecto del Atlas Nacional 2022, convocado por el Instituto de Geografía de la UNAM, logró revincular expertos en suelos con expertos en manejo de datos, lo que resultó en un primer conjunto de 28 mapas nacionales, obtenidos bajo un enfoque de convergencia de evidencias. Estos mapas representan modelos de calibración y diagramas mentales que simplifican las relaciones entre los datos de suelos y sus covariables asociadas, empleando como unidades de referencia los paisajes fisiográficos, las microcuencas y las parcelas agropecuarias. Estos materiales pueden reducir las impurezas de los conjuntos de datos empleados por los modelos de clasificación (p. ej. *Random Forest*) y simplificar la elección del mejor clasificador.

# Retos y perspectivas del mapeo digital de suelos en México.

Viviana Varón-Ramírez, Carlos Arroyo y Mario Guevara

Centro de Geociencias. Universidad Nacional Autónoma de México campus Juriquilla. Qro. México.

El mapeo pedométrico o mapeo digital de suelos (MDS) es una herramienta fundamental en la ciencia moderna del suelo y en la gestión del territorio, ofreciendo el potencial para mejorar nuestra comprensión de la variabilidad y distribución de los suelos. En el contexto de México, un país caracterizado por paisajes y prácticas agrícolas diversas, los desafíos y perspectivas asociados con la MDS presentan una compleja interacción de factores. Este resumen destaca los principales desafíos y direcciones futuras para la MDS en México.

Los desafíos son numerosos en la implementación de la MDS en México debido a su heterogeneidad topográfica, diversidad climática y contrastantes prácticas de uso de suelo. Pero también, debido a sus altos niveles de degradación ambiental y de suelos. La escasez de datos precisos de suelos y alta resolución en vastas regiones plantea un obstáculo significativo. Además, la incorporación de conocimiento ecológico tradicional en las metodologías de MDS requiere una cuidadosa consideración para asegurar resultados significativos.

La coordinación institucional, la estandarización de datos y el acceso a tecnologías geoespaciales avanzadas siguen siendo obstáculos críticos. En este contexto, varias perspectivas emergen. La integración abierta y transparente de teledetección, aprendizaje automático y técnicas geoestadísticas promete mejorar la cartografía predictiva de suelos, superando las limitaciones tradicionales, hacia una mejor gobernanza del suelo en México.

Los esfuerzos de colaboración entre instituciones de investigación, organismos gubernamentales y comunidades locales pueden facilitar la recolección y compartición de datos, permitiendo el desarrollo de bases de datos integrales de suelos. La conexión entre la investigación en MDS y la aplicación práctica es fundamental; la información de suelos derivada de la MDS puede potenciar decisiones de manejo sostenible del territorio, impulsando la productividad agrícola y la conservación del medio ambiente.

En conclusión, los desafíos de la MDS en México son sustanciales pero no insuperables. Un enfoque multifacético que aproveche la innovación tecnológica, la colaboración interdisciplinaria y el conocimiento indígena puede allanar el camino para marcos robustos y aplicables de MDS. A medida que México se encuentra en la encrucijada entre el desarrollo y la preservación, la MDS ofrece una vía para armonizar estos objetivos, contribuyendo en última instancia a estrategias efectivas de manejo del territorio y al logro de la sostenibilidad agrícola y ambiental.

# TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS A ESCALA DETALLADA MEDIANTE USO DE DRONES

DIEGO ESTEBAN HERNÁNDEZ VALENCIANO

Reality Capture Specialist. Ficus BData Soluciones. México.

[diekohv@gmail.com](mailto:diekohv@gmail.com)

El empleo de drones para levantamientos de alta resolución espectral y espacial ha emergido como una herramienta eficiente en la cartografía digital de suelos desde el año 2010. La fotogrametría con drones y el procesamiento de nubes de puntos permite obtener información del terreno de forma rápida y asequible, revolucionando la recopilación de datos y el análisis geoespacial de las propiedades del suelo, especialmente de las variables más asociadas con su productividad (humedad, profundidad) y su conservación (pérdida de fertilidad y erosión). La implementación de estas técnicas puede ser aplicable con drones especializados y no especializados, debido a que cualquier diferencia de precisión entre ambos puede ser corregida durante el post procesamiento.

Los productos obtenidos mediante la fotogrametría con drones son las nubes de puntos, los modelos digitales de elevación y las ortofotos, los cuales tienen una resolución espacial más profunda ( $2 \text{ cm.px}^{-1}$ ) que las imágenes satelitales de alta resolución (p.ej., Ikonos de  $80 \text{ cm.px}^{-1}$ ). Mediante el uso de nubes de puntos, es posible generar modelos digitales en 3D que aportan información valiosa para una variedad de estudios topográficos, de productividad agrícola y obras de rehabilitación. Los drones pueden aplicar software libre, como CloudCompare y QGIS para procesar los datos de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto, transformándolos en información útil y comprensible. En la actualidad existen alternativas como los sensores LIDAR montados en drones que pueden modelar extensas áreas con mayor efectividad y precisión que los insumos públicos tradicionales. El dominio del manejo de nubes de puntos está desempeñando un papel fundamental en la cartografía digital. La recolección regular y sistemática de datos permite el monitoreo efectivo de los cambios del suelo a lo largo del tiempo.

Los levantamientos con drones pueden detectar con elevada precisión nuevos patrones de drenaje o variaciones detalladas en la fenología de los cultivos o en la abundancia-dominancia de las especies que constituyen la vegetación. El monitoreo de los cultivos con drones no solo mejora la productividad agrícola sino también puede ayudar a reducir amenazas muy importantes para el productor como la erosión (detección de canalillos, surcos poco profundos), la sequía y la pérdida de la fertilidad (detección de cambios en la reflectancia del suelo y las plantas).

El uso de cámaras multiespectrales en drones, combinados con los muestreos de campo y las técnicas geoestadísticas, ayudan a entender mejor la distribución y los movimientos del carbono orgánico del suelo (COS) en los sitios de estudio del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la CONAFOR. Los drones de baja gama pueden llevar muchos beneficios a los pequeños y medianos productores agrícolas y a los investigadores en general. De acuerdo con el mapa de acceso a insumos y tecnología agrícola la mayor parte de los productores agrícolas en México (62%) se encuentran en esta situación. Es esencial seguir explorando y adoptando estas técnicas de captura y procesamiento masivo de datos, sin depender exclusivamente de equipos con alta especialización.

## **Extracción semi-automatizada de unidades de relieve como base para la elaboración de cartografía digital de suelos.**

Carolina Ramírez Núñez<sup>1</sup>, Jean-François Parrot<sup>2</sup>, Christina Siebe<sup>3</sup> Lorenzo Vázquez Selem<sup>4</sup>

1 Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra (ENCIT), UNAM

2 Laboratorio de Análisis GeoEspacial (LAGE), Instituto de Geografía, UNAM

3 Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo (DCAS), Instituto de Geología, UNAM

4 Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, UNAM

### **Resumen**

El mapa geomorfológico constituye la información básica para la generación de mapas de suelos. Frecuentemente, su generación depende de la fotointerpretación que, si bien es un método indispensable en la formación geográfica, los productos digitales obtenidos representan una interpretación subjetiva y con problemas de interoperabilidad de los resultados finales. Por otro lado, existen metodologías automatizadas o semi-automatizadas que se basan en la extracción de atributos primarios obtenidos a través de un Modelo Digital de Elevación (MDE); estos atributos definen unidades del relieve en escalas cada vez más detalladas. En esta investigación se presenta un método de extracción semi-automatizada de las diversas formas del relieve con base en tres atributos primarios: pendiente, morfología y rugosidad; los resultados de esta clasificación se comparan con una técnica similar de segmentación semi-automatizada basada en tres variables comparables que define grandes unidades a escala regional. El resultado muestra que el método propuesto responde mejor a las necesidades cartográficas de detalle ya que 1) se utilizan segmentos que responden mejor a la escala de trabajo, 2) los atributos de rugosidad favorecen la identificación de unidades geomorfológicas, 3) el método de generación del MDE mejora la representación del terreno. No obstante, los futuros mejoramientos del método propuesto conciernen dos atributos suplementarios: la altitud y la dirección o aspecto de las pendientes con la finalidad de distinguir superficies horizontales que se encuentran a distintos niveles de altitud, así como formaciones cuyas orientaciones permiten distinguir la proveniencia de los materiales detríticos.

**Palabras clave:** clasificación geomorfológica, MDE, atributos primarios, pendiente, convexidad, rugosidad, mapeo digital de suelos.