

Actualización de la Clasificación de los Suelos Escala 1:50 000 del Estado de México Update of Soil Classification Scale 1:50 000 in the State of Mexico

Erasto Domingo Sotelo-Ruiz^{1†}, Gustavo Manuel Cruz-Bello², Román Flores-López¹,
Antonio González-Hernández³ y Jesús Soria-Ruiz¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Metepec. Vialidad Adolfo López Mateos, Carretera Toluca-Zitácuaro km 4.5, San José Barbabosa. 51350 Zinacantepec, Estado de México, México; (E.D.S.R.), (R.F.L.), (J.S.R.).

Autor para correspondencia: soteloe@colpos.mx

² Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa, Departamento de Ciencias Sociales. Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe. 05348 Cuajimalpa, Ciudad de México, México; (G.M.C.B.).

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina. 04010 Coyoacán, Ciudad de México, México; (A.G.H.).

RESUMEN

La actualización de la cartografía edafológica permite contar con información de los suelos para la planeación agropecuaria y la implementación de programas de desarrollo regional. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) clasificar y actualizar la cartografía edafológica 1:50 000 del estado de México y 2) identificar los cambios en las unidades de suelos de acuerdo con la clasificación de la FAO-WRB. Se digitalizó la cartografía edafológica 1:50 000 del estado de México; se identificaron las unidades de suelos y se creó su respectiva base de datos; se realizó trabajo de campo para la verificación y muestreo de los suelos; se actualizó la clasificación de los suelos con base en la versión de la FAO de 1988 y a las versiones de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) 2006 y 2022. Los suelos con mayor superficie en el estado de México son los Andosols con 479 908 ha, Phaeozems con 476 768, Vertisols con 317 503, Regosols con 265 683 y Cambisols con 196 047 ha. Las unidades de suelos que tuvieron cambios de nomenclatura fueron los Litosols, Ranker y Rendzinas que en la versión 2022 corresponden a Lithic Leptosols, Umbric Leptosols y Rendzic Leptosols.

Palabras Clave: base referencia mundial, propiedades, sistemas de clasificación, unidades.

SUMMARY

The updating of edaphological cartography provides soil information for agricultural and livestock planning and the implementation of regional development programs. The objectives of this study were: 1) to classify and update the 1:50 000 edaphological cartography of the State of Mexico and 2) to identify the changes in the soil units according to the FAO (Food and Agriculture Organization)-WRB (World Reference Base) classification. The 1:50 000 edaphological cartography of the State of Mexico was digitalized; soil units were identified and their databases were created. Field work was carried out for soil verification and sampling; the soil classification was updated based on the 1988 FAO version and the 2006 and 2022 versions of the WRB. Soils with the largest surface area in the State of Mexico are Andosols with 479 908 ha, Phaeozems with 476 768 ha, Vertisols with 317 503 ha, Regosols with 265 683 ha and Cambisols with 196 047 ha. The soil units that underwent changes in nomenclature were Lithosols, Ranker and Rendzinas, which corresponded to Lithic Leptosols, Umbric Leptosols and Rendzic Leptosols in the 2022 version.

Index words: world reference base, properties, classification systems, units.



check for
updates

Cita recomendada:

Sotelo-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G. M., Flores-López, R., González-Hernández, A., & Soria-Ruiz, J. (2024). Actualización de la Clasificación de los Suelos Escala 1:50 000 del Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-12. e1795. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1795>

Recibido: 15 de agosto de 2023.
Aceptado: 28 de febrero de 2024.
Artículo. Volumen 42
Mayo de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Francisco Bautista Zuñiga

Editor Técnico:
Dr. Benjamín Zamudio González



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

El proceso de cartografiar el suelo es crucial para transitar hacia sistemas ecológicos sostenibles. Principalmente porque proporcionan información sobre las propiedades y características del suelo, que son indispensables para una gestión y modelación eficaz de los recursos naturales (Buenemann, Coetzee, Kutuahupira, Maynard y Herrick, 2023). La cartografía de los suelos facilita la comprensión de la variabilidad espacial de sus propiedades, dentro de una región específica, lo que permite identificar las regiones que necesitan prácticas de conservación o restauración del suelo, o de control de la erosión (Csorba, Jones, Szegi, Dobos y Michéli, 2022; Mamaev, Balamirzoev y Zalibekova, 2015). De igual forma, esta información es fundamental para la agricultura de precisión, ya que permite personalizar la recomendación de fertilizantes a distintas dosis, lo que se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos y un menor impacto ambiental (Pusch, Samuel, Oliveira, Magalhães y do Amaral, 2022). Estos mapas pueden utilizarse también para evaluar la calidad de los recursos edáficos y controlar sus cambios a lo largo del tiempo (Savin, Zhogolev y Prudnikova, 2019). Es decir, la cartografía del suelo facilita la toma de decisiones fundamentadas sobre la utilización de la tierra, la administración de los cultivos y la preservación del ambiente (Kebonye, Agyeman, Seletlo y Eze, 2023).

Sin embargo, existen numerosos obstáculos asociados al proceso de cartografiado de suelos. La variabilidad del suelo representa un reto importante, ya que este puede presentar variaciones considerables en distancias cortas. Por consiguiente, cartografiar con precisión los suelos a gran escala puede resultar difícil. La cartografía del suelo es costosa y requiere mucho tiempo, especialmente si los estudios son detallados (Csorba *et al.*, 2022; Pusch *et al.*, 2022; Savin *et al.*, 2019). Las propiedades del suelo se ven afectadas por factores como el clima, la topografía, la vegetación, el tiempo y el uso del suelo, lo que dificulta aislar los efectos de cada factor. Además, las propiedades del suelo pueden verse afectadas por la actividad humana como el laboreo, la fertilización y el riego, lo que complica el proceso de cartografía debido a su naturaleza dinámica (Pusch *et al.*, 2022). Otro problema es que los mapas de suelos pueden ser difíciles de interpretar a diferentes escalas, y el nivel de detalle puede variar en función de la escala del mapa. Algunas propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica, pueden ser difíciles de cartografiar con precisión utilizando los métodos tradicionales. Por último, la existencia de diferentes sistemas de clasificación de suelos dificulta la comparación de mapas de suelos de diferentes regiones (Savin *et al.*, 2019).

Estos sistemas de clasificación agrupan a los suelos con base en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Kebonye *et al.*, 2023). Algunos sistemas de clasificación de suelos son nacionales y son utilizados por científicos de cada país donde se generaron. Entre ellos: el francés, australiano, chino, canadiense y brasileño (Pusch *et al.*, 2022; Spaargaren, 2000; Wilding, 2000). Existen otros que son utilizados en todo el mundo, como la taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la clasificación de la FAO Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-WRB) (IUSS Working Group WRB, 2022; Kebonye *et al.*, 2023; Soil Survey Staff, 2022).

La clasificación de la FAO-WRB consta de dos categorías que son la unidad y la subunidad; ésta empezó su publicación en 1970 con 26 unidades y 104 subunidades (FAO, 1974). La versión de 1988 presentaba 28 unidades y 153 subunidades, donde se adicionan: Alisoles, Antrosoles, Calcisoles, Gipsisoles, Leptosoles, Lixisoles y Plintosoles y se eliminan Rendzinas, Rankers, Xerosoles y Yermosoles (FAO, 1988). La versión ISSS, ISRIC y FAO de 1998 presenta 30 grupos de suelos de referencia y 533 unidades de nivel inferior, donde se agregan los Albeluvisoles, Criosoles, Durisoles y Umbrisoles; en esta versión, desaparecen los Greyzems y Podzoluvisoles (FAO-ISRIC-SICS, 1999). La versión de 2006 consta de 32 GSR y los calificadores pueden ser todas las posibles combinaciones; las unidades que se agregan en esta versión son: Stagnosols y Tecnosols. La WRB 2015, el cambio que presenta a nivel de GSR, es que los Retisols remplazan a los Albeluvisols y la WRB de 2022 no se presentan cambios en los grupos de suelos de referencia (IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2015; IUSS Working Group WRB, 2022).

Los sistemas de clasificación de suelos después de cien años de la ciencia moderna del suelo, no se tiene un sistema de clasificación de suelos universal (Dudal, 1990). Sin embargo, existen pocos estudios de generación y actualización de bases de datos de suelos, especialmente de tipo espacial. Uno de éstos es el realizado por Zádorová, Skála, Žižala, Vaněk y Penížek (2021) que mostró el potencial de los métodos taxonómicos en la actualización de datos de suelo y que las bases de datos históricas de suelos deben actualizarse para una adecuada utilización.

México cuenta con una cartografía edafológica escala 1:50 000, que se realizó desde 1974 y para la clasificación de las unidades de suelos se utilizó la clasificación de la FAO (1974).

En México hay pocos estudios de suelos, entre los que se encuentra el de Palma-López *et al.* (2017b), quienes realizaron un estudio de suelos en Campeche, México, utilizando como base la cartografía de paisajes geomorfológicos y relieves. Los suelos se clasificaron con base en la Base Referencial Mundial del Recurso (WRB) versión 2007. Encontraron que los suelos se clasificaron como: Leptosoles (48.05%), Gleysols (16.56%), Nitisoles (8.49%), Vertisoles (6.93%) y Luvisoles (6.26%).

Por su parte, Palma-López *et al.* (2017a) recopilaron estudios de suelos en el estado de Tabasco, con el fin de editar la cartografía de los grupos mayores de suelos escala 1: 250 000; encontraron 19 grupos mayores de suelos, destacando los Gleysols, Histosols y Fluvisols con el 43% de la superficie del estado. Además, Bautista, Frausto, Ihl y Aguilar (2015) cartografiaron los suelos del estado de Yucatán con un enfoque geomorfopedológico y encontraron que los factores formadores más importantes fueron: la altitud media al nivel del mar y el clima.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) actualizar, verificar y generar la cartografía edafológica 1: 50 000 del estado de México e 2) identificar los cambios en las Unidades de suelos de acuerdo con la clasificación de la FAO-WRB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

El estado de México se localiza de los 18° 22' 14" a los 20° 17' 22" N y entre los 98° 35' 35" y los 100° 36' 19" O. Tiene una superficie de 23 244.22 km². Colinda con los estados de Hidalgo y Querétaro al norte; Puebla y Tlaxcala al este; Morelos y Guerrero al sur y Michoacán al oeste (Figura 1).

Los climas que se presentan en el estado son: templado, semifrío, cálido, semi-cálido y frío. Las temperaturas mínimas y máximas promedio anual son 6 °C a 28 °C, respectivamente. La precipitación anual oscila entre 600 y 1800 mm; la altura sobre el nivel del mar va de los 340 a los 5100 m. Las subprovincias fisiográficas que se presentan en el estado de México son: Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo, Mil cumbres, Lagos y volcanes de Anáhuac, depresión del Balsas, sierras y valles Guerrerenses; las cuencas hidrológicas que se localizan son Río Lerma Toluca, Río Atoyac, Río Balsas-Zirándaro, Río Grande de Amacuzac, Río Cutzamala y Río Moctezuma; los tipos de vegetación que se presentan son bosque, selva, matorral, pastizal, vegetación hidrófila y agricultura (García, 2004; INEGI, 1999; INEGI, 2015; INEGI, 2017).

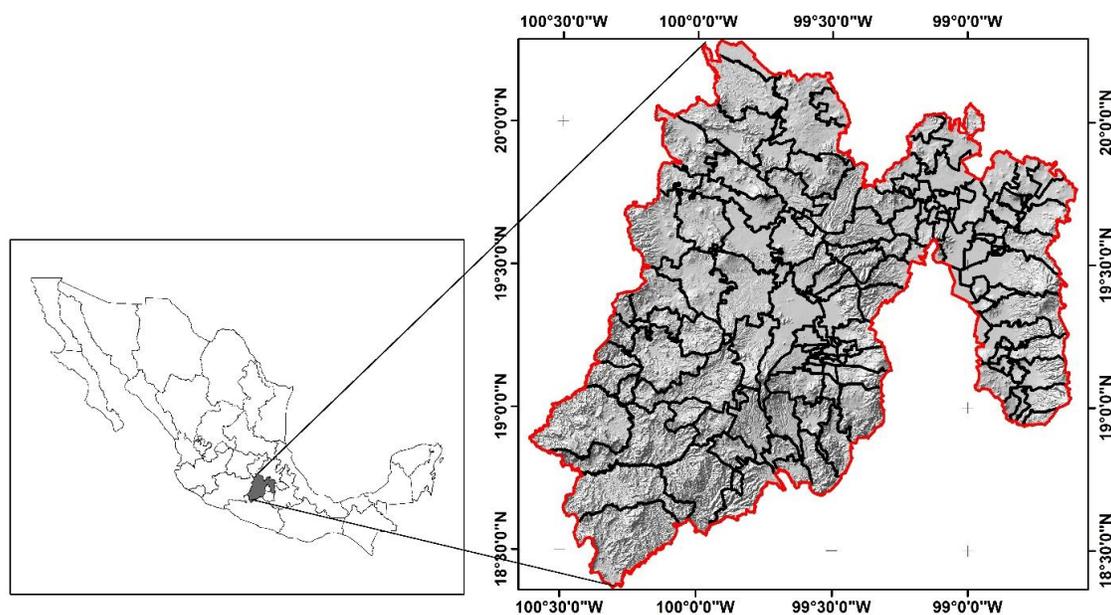


Figura 1. Localización del Estado de México.
Figure 1. State of Mexico location.

Metodología

Digitalización de las cartas edafológicas. Se digitalizaron las cartas edafológicas escala 1: 50 000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1974; INEGI, 1988; INEGI, 1981). En total, se digitalizaron 43 cartas que cubren al estado de México. Los atributos no espaciales capturados fueron: unidades de suelos, fases físicas, textura, fases químicas, suelos profundos y suelos delgados. Se actualizó la clasificación de los suelos de FAO, 1974 a WRB, 2015. Para esto, se tomaron las unidades de suelos de FAO, 1974 que se convirtieron a la versión FAO de 1988 y posteriormente a la versión de 2006. Finalmente, se generó el mapa de las unidades para la versión de la WRB de 2022 (FAO, 1974; FAO, 1988; IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2022). La digitalización y los procesos espaciales para la actualización de las clasificaciones se realizaron en ArcGIS (Esri, 1992).

Verificación de campo y muestreo de suelos. Al realizar la verificación de campo, se encontró que la cartografía presentaba algunos errores en la clasificación. Se realizaron 100 barrenaciones en varios sitios de interés; estas se ubicaron, dónde no era muy precisa la clasificación de las unidades de suelos. Se realizaron cuatro perfiles representativos de suelo, en dónde los grupos de suelos de referencia no eran los que estaban reportados en los mapas; se procedió a realizar los pozos pedológicos, que se describieron con base en el manual de suelos de la FAO (2006) y se tomaron muestras de los horizontes de los perfiles de suelos. Además, se describió el paisaje que se presenta en el sitio y las propiedades de los suelos presentes. Las muestras de suelos fueron enviadas al laboratorio de génesis del Colegio de Posgraduados para su análisis granulométrico y así determinar las propiedades físicas y químicas requeridas por la WRB y la taxonomía para su clasificación (Van Reeuwijk, 2006; Soil Survey Staff, 1998).

Las propiedades físicas y químicas determinadas de las muestras de suelos fueron: a) físicas: porcentaje de humedad, textura, color, densidad aparente, densidad real; b) químicas: materia orgánica, cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, pH, carbón orgánico, CaCO_3 , conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, cationes solubles, porcentaje de saturación de bases, P_2O_5 . Estas determinaciones se realizaron con base en las metodologías del manual de "Procedimientos para el Análisis de Suelos del ISRIC" (Van Reeuwijk, 2006; Soil Survey Staff, 1998).

Clasificación de los suelos. Los suelos de los perfiles se clasificaron con base en la FAO-WRB (FAO, 1988; IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2015; IUSS Working Group WRB, 2022). Se identificaron los horizontes subsuperficiales de los perfiles de los suelos en estudio para conocer el material que dio origen a los mismos FAO (2006).

Elaboración de los mapas de suelos. La edición de los mapas de suelos y la actualización de los grupos de suelos de referencia se realizó con ArcGIS versión 9.3 (Esri, 2008). El primer mapa de las unidades de suelos fue para los suelos de 1974 y fue generado a partir de la cartografía del INEGI; el mapa de la versión de la FAO de 1988 se actualizó y se clasificaron las unidades de suelos con las observaciones de campo, las barrenaciones y los perfiles realizados; luego se migraron las unidades de suelos a la versión de la WRB de 2006; y finalmente, se generó el mapa de los grupos de suelos de referencia del estado de México con la WRB de 2022 (FAO, 1974; FAO, 1988; IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Suelos

Con base en los resultados de los análisis de suelos de los perfiles realizados, los suelos se clasificaron como Vertisoles (WRB), que son suelos que se localizan en las partes planas, presentan texturas finas, con el dominio de arcillas y grietas (IUSS Working Group WRB, 2022; Soil Survey Staff, 2022).

El perfil 1, se localiza en $19^{\circ} 35' 17''$ N y $99^{\circ} 47' 26''$ O y presenta cuatro horizontes; el horizonte de diagnóstico es vértico, la textura resultante para cada capa es arcilla ($> 40.0\%$) y grietas; la estructura es de bloque subangulares y presenta material fluvico en el horizonte 3; el suelo se clasificó como Vertisol Eútrico (FAO, 1988), Vertisol Háplico (IUSS Working Group WRB, 2006) y Haplic Vertisol (IUSS Working Group WRB, 2022).

El perfil 2, se localiza en $19^{\circ} 39' 30''$ N y $99^{\circ} 48' 09''$ O y presenta cinco horizontes; el horizonte de diagnóstico es vértico, la textura resultante para cada capa es arcilla ($> 51.9\%$) y grietas; la estructura es de bloque angulares y subangulares, presenta caras de deslizamiento y slickensides; el suelo se clasificó como Vertisol Eútrico (FAO, 1988), Vertisol Háplico (IUSS Working Group WRB, 2006) y Haplic Vertisol (IUSS Working Group WRB, 2022).

El perfil 3, se localiza en $19^{\circ} 38' 00''$ N y $99^{\circ} 45' 09''$ O y presenta cinco horizontes; el horizonte de diagnóstico es vértico, la textura resultante para cada capa es arcilla ($> 43.2\%$) y grietas; la estructura es de bloque angulares y subangulares, presenta caras de deslizamiento y slickensides; el suelo se clasificó como Vertisol Eútrico (FAO, 1988), Vertisol Háplico (IUSS Working Group WRB, 2006) y Haplic Vertisol (IUSS Working Group WRB, 2022).

El perfil 4, se localiza en 19° 33' 26" N y 99° 44' 23" O y presenta cinco horizontes; el horizonte de diagnóstico es vértico, la textura resultante para cada capa es arcilla (> 49.4%) y grietas; la estructura es de bloque angulares y subangulares, presenta caras de deslizamiento y slickensides; el suelo se clasificó como Vertisol Eútrico (FAO, 1988), Vertisol Háptico (IUSS Working Group WRB, 2006) y Haplic Vertisol (IUSS Working Group WRB, 2022).

Estos suelos estaban reportados bajo el concepto de Planosols en el valle de Toluca-Atzacomulco, Jilotepec, San José del Rincón y San Felipe del Progreso. Además, se tenían reportados como Histosols en la parte sureste del valle de Toluca, los cuales no cumplían con las características de Histosols y se clasificaron como Phaeozems (FAO, 1974; IUSS Working Group WRB, 2022).

Cartografía de Suelos

Las unidades de suelos de la cartografía edafológica 1:50 000 de la versión de la FAO 1974 son las siguientes: 1) Acrisol, 2) Andosol, 3) Cambisol, 4) Feozem, 5) Fluvisol, 6) Gleysol, 7) Histosol, 8) Litosol, 9) Luvisol, 10) Planosol, 11) Ranker, 12) Regosol, 13) Rendzina, 14) Solonchak y 15) Vertisol; se incluyen las zonas urbanas y los cuerpos de agua. Los cambios de las unidades de suelos se presentan para la versión de la FAO de 1988 (Cuadro 1), (Figura 2, 3).

Los principales cambios y la superficie para las unidades de suelos en la versión de la FAO 1974 con respecto a la FAO 1988 son con cambio de nomenclatura de los Litosoles, Ranker y Rendzina, donde los Litosoles presentan 129 054 ha, los Ranker 1214 ha y las Rendzinas 24 390 ha (FAO, 1974; FAO, 1988). Estas tres unidades, para la versión de la FAO 1988, se agrupan y forman los Leptosol Lítico, Leptosol Úmbrico y Leptosol Réndzico, las cuales al final se traducen en Lithic Leptosol, Umbric Leptosol y Rendzic Leptosol (IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2022). Otros cambios importantes son que los Histosols con 4371 ha y los Planosols con 103 740 ha que se clasificaron como Haplic Phaeozem y como Eutric Vertisol respectivamente (FAO, 1974; FAO, 1988; IUSS Working Group WRB, 2022).

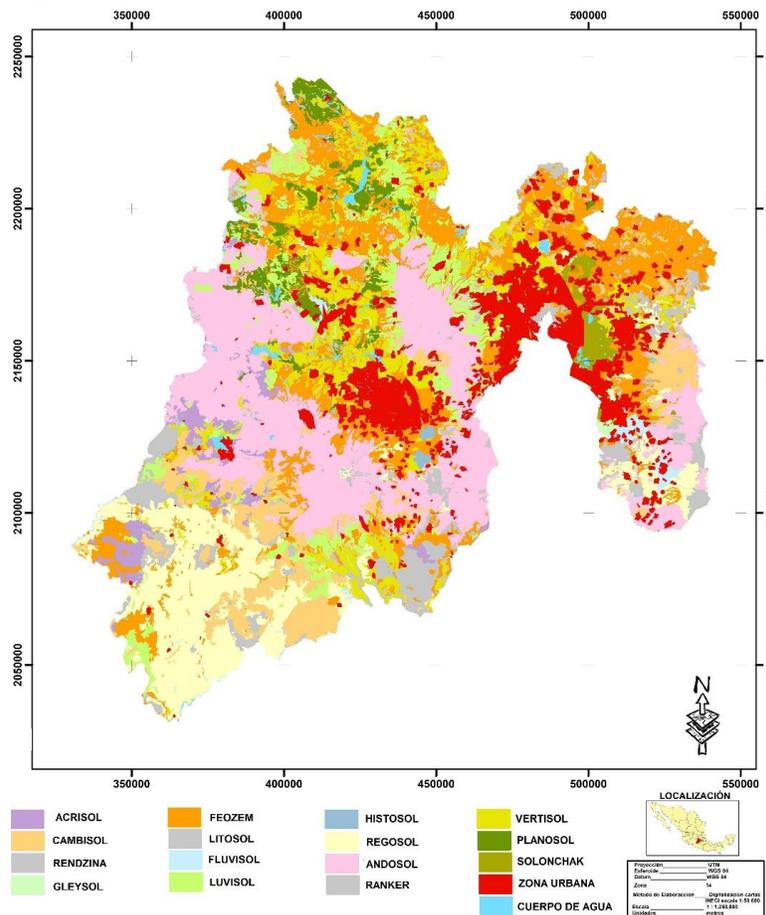


Figura 2. Unidades de suelos FAO 1974 presentes en el Estado de México.
Figure 2. FAO 1974 soil units present in the State of Mexico.

Cuadro 1. Unidades de Suelos y superficie para la clasificación FAO 1974 y FAO 1988 presentes en el Estado de México.
Table 1. Soil units and surface area for FAO 1974 and FAO 1988 classifications present in the State of Mexico.

| Unidades de suelo FAO 1974 | Simbología FAO 1974 | Superficie FAO 1974 ha | Unidades de suelos FAO 1988 | Simbología FAO 1988 | Superficie FAO 1988 ha |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Acrisol Húmico | Ah | 18 886.782 | Acrisol Húmico | ACu | 18 886.782 |
| Acrisol Órtico | Ao | 28 082.769 | Acrisol Órtico | ACh | 28 082.769 |
| Andosol Mólico | Tm | 66 237.433 | Andosol Mólico | ANm | 66 237.433 |
| Andosol Húmico | Th | 340 324.998 | Andosol Húmico | ANu | 340 324.998 |
| Andosol Ócrico | To | 73 346.461 | Andosol Ócrico | ANh | 73 346.461 |
| Cambisol Vértico | Bv | 4 456.600 | Cambisol Vértico | CMv | 4 456.600 |
| Cambisol Cálculo | Bk | 10 220.227 | Cambisol Cálculo | CMc | 10 220.227 |
| Cambisol Húmico | Bh | 22 967.687 | Cambisol Húmico | CMu | 22 967.687 |
| Cambisol Ferrálico | Bf | 1 528.673 | Cambisol Ferrálico | CMo | 1 528.673 |
| Cambisol Dístrico | Bd | 32 939.694 | Cambisol Dístrico | CMd | 32 939.694 |
| Cambisol Eútrico | Be | 75 111.337 | Cambisol Eútrico | CMe | 75 111.337 |
| Cambisol Crómico | Bc | 48 822.928 | Cambisol Crómico | CMx | 48 822.928 |
| Feozem Háplico | Hh | 364 885.025 | Feozem Háplico | PHh | 364 885.025 |
| Feozem Gléyico | Hg | 3 964.672 | Feozem Gléyico | PHg | 3 964.672 |
| Feozem Lúvico | HI | 78 216.610 | Feozem Lúvico | PHI | 78 216.610 |
| Feozem Cálcarico | Hc | 25 651.222 | Feozem Cálcarico | PHc | 25 651.222 |
| Fluvisol Dístrico | Jd | 8 531.504 | Fluvisol Dístrico | FLd | 8 531.504 |
| Fluvisol Eútrico | Je | 16 684.886 | Fluvisol Eútrico | FLe | 16 684.886 |
| Gleysol Mólico | Gm | 1 148.567 | Gleysol Mólico | GLm | 1 148.567 |
| Histosol Eútrico | Oe | 4 371.284 | Feozem Háplico | PHh | 4 371.284 |
| Litosol | I | 129 054.168 | Leptosol Lítico | LPq | 129 054.168 |
| Luvisol Férrico | Lf | 6 371.141 | Luvisol Férrico | LVf | 6 371.141 |
| Luvisol Crómico | Lc | 138 063.729 | Luvisol Crómico | LVx | 138 063.729 |
| Luvisol Órtico | Lo | 2 470.726 | Luvisol Órtico | LVh | 2 470.726 |
| Planosol Mólico | Wm | 72 332.277 | Vertisol Eútrico | VRe | 72 332.277 |
| Planosol Húmico | Wh | 5 928.697 | Vertisol Eútrico | VRe | 5 928.697 |
| Planosol Eútrico | We | 25 478.565 | Vertisol Eútrico | VRe | 25 478.565 |
| Ranker | U | 1 214.130 | Leptosol Úmbrico | LPu | 1 214.130 |
| Regosol Cálcarico | Rc | 5 069.498 | Regosol Cálcarico | RGc | 5 069.498 |
| Regosol Dístrico | Rd | 40 749.870 | Regosol Dístrico | RGd | 40 749.870 |
| Regosol Eútrico | Re | 234 933.864 | Regosol Eútrico | RGe | 234 933.864 |
| Rendzina | E | 24 390.378 | Leptosol Réndzico | LPk | 24 390.378 |
| Solonchak Gléyico | Zg | 25 283.585 | Solonchak Gléyico | SCg | 25 283.585 |
| Solonchak Mólico | Zm | 90.908 | Solonchak Mólico | SCm | 90.908 |
| Solonchak Órtico | Zo | 15 302.254 | Solonchak Órtico | SCh | 15 302.254 |
| Vertisol Pélico | Vp | 254 925.459 | Vertisol Eútrico | VRe | 254 925.459 |
| Vertisol Crómico | Vc | 56 220.588 | Vertisol Eútrico | VRe | 56 220.588 |
| Zonas Urbanas | Zu | 41 814.421 | Zonas Urbanas | Zu | 42 814.421 |
| Cuerpos de agua | Ag | 18 255.884 | Cuerpos de agua | Ag | 18 255.884 |
| Superficie Total | | 2 324 329 | | | 2 324 329 |

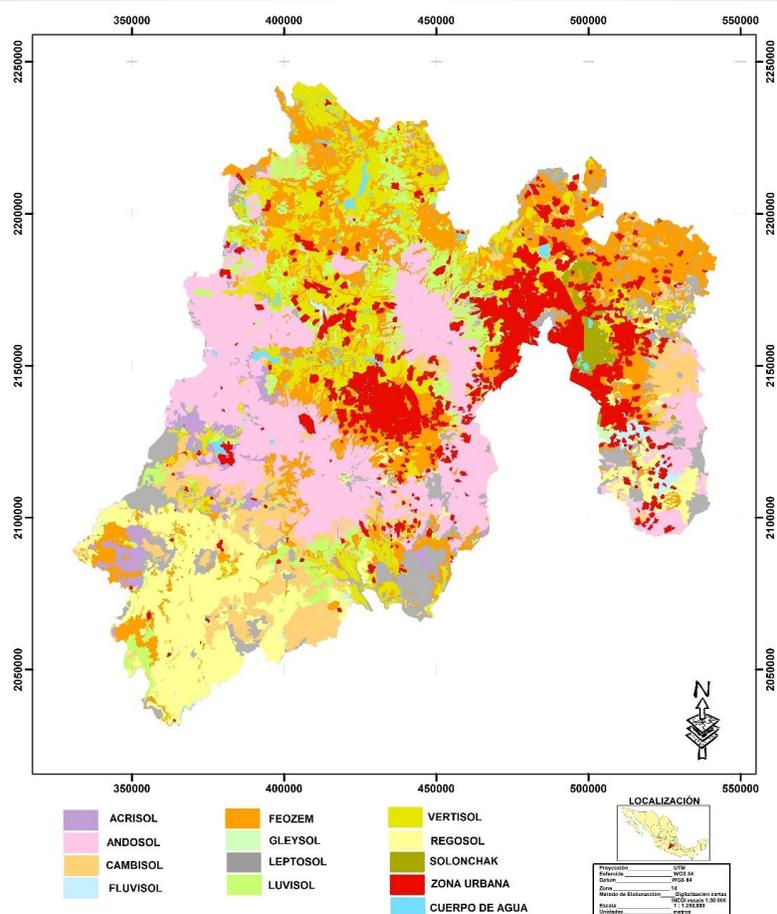


Figura 3. Unidades de suelos actualizadas a la versión de la FAO 1988, presentes en el Estado de México.
Figure 3. Soil units updated to the FAO 1988 version, present in the State of Mexico.

Las Unidades de suelos del estado de México, clasificados con la versión de la WRB 2006 y 2022, se presentan en el Cuadro 2 y la distribución se muestra en las Figuras 4 y 5.

En el Cuadro 2, se observa que los Grupos de Suelos de Referencia de Haplic Acrisol y Humic Acrisol se agruparon en Haplic Acrisol en la versión de la WRB 2022 y cubren una superficie de 53 855 ha; el grupo de Humic Cambisol y Eutric Cambisol se juntaron y formaron el Grupo Eutric Cambisol con una superficie de 46 969 ha. Estos cambios y agrupación de los grupos de suelos de referencia se presentan en la WRB 2022. La distribución de estos grupos de suelos se presenta en las Figuras 4 y 5.

Los grupos de suelos que presentan mayor superficie en el estado de México son los Phaeozem con 481 249 ha, destacando los Haplic Phaeozem con 364 885 ha; su distribución se localiza en el centro y norte del estado. Los Andosols cubren una superficie de 479 908 ha, sobresaliendo los Umbric Andosols con 340 324 ha; su distribución está en el centro del estado en las partes más altas. Los Vertisols cubren 419 256 ha, donde el Grupo dominante es el Haplic y se ubican en el norte, centro y sur del estado, no se presentan en el este y oeste.

Los Regosols tienen 280 753 ha, sobresaliendo los Eutric con 234 933 ha; se presentan en la parte sur del estado. Los Cambisols cubren una superficie de 196 047 ha, sobresaliendo los Eutric con 98 079 ha; su distribución se localiza en la parte sur del estado. Los Leptosols cubren una superficie de 154 659 ha y destacan los Litic con 129 054 ha; se presentan en las partes pedregosas y erosionadas en todo el estado. Los Luvisols cubren una superficie de 146 905 ha, sobresaliendo los Cromic con 138 063 ha; se presentan en la parte norte y sur del estado, que son las más erosionadas. Los Acrisols tienen una superficie de 46 968 ha, donde el grupo dominante es el Haplic con la totalidad de la superficie; su distribución se localiza en las partes de bosques y de transición del sur del estado. Los Solonchaks son suelos muy salinos, se localizan en la parte del ex lago de Texcoco, Chalco y Zumpango y cubren 40 677 ha. Los Fluvisols cubren 25 216 ha y están localizados en las márgenes de ríos y lagos en todo el estado. Los Gleysols son suelos erosionados de partes altas y cubren 1149 ha. Por último, están las zonas urbanas con 42 814 ha y los cuerpos de agua con 18 255 hectareas.

Cuadro 2. Grupos de Suelos de Referencia y superficie, IUSS Working Group WRB, 2006 y 2022, en el Estado de México.
Table 2. Reference Soil and Surface Soil Groups, IUSS Working Group WRB, 2006 and 2022 in the State of Mexico.

| Grupos de Suelo de Referencia WRB 2006 | Simbología WRB 2006 | Superficie WRB 2006 | Grupos de Suelo de Referencia WRB 2022 | Simbología WRB 2022 | Superficie WRB 2022 |
|--|---------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|
| | ha | | | | ha |
| Acrisol Húmico | AChu | 18 886.782 | Haplic Acrisol | ACha | 46 969.550 |
| Acrisol Háptico | ACha | 28 082.769 | Haplic Acrisol | ACha | ----- |
| Andosol Mólico | ANmo | 66 237.433 | Mollic Andosol | ANmo | 66 237.433 |
| Andosol Úmbrico | ANum | 340 324.998 | Umbric Andosol | ANum | 340 324.99 |
| Andosol Háptico | ANha | 73 346.461 | Dystric Andosol | ANdy | 73 346.461 |
| Cambisol Vértico | CMvr | 4 456.600 | Vertic Cambisol | CMvr | 4 456.600 |
| Cambisol Cálxico | CMca | 10 220.227 | Calcaric Cambisol | CMca | 10 220.227 |
| Cambisol Húmico | CMhu | 22 967.687 | Eutric Cambisol | CMeu | 98 079.025 |
| Cambisol Ferrálico | CMfl | 1 528.673 | Eutric Cambisol | CMeu | 1 528.673 |
| Cambisol Dístrico | CMdy | 32 939.694 | Dystric Cambisol | CMdy | 32 939.694 |
| Cambisol Eútrico | CMeu | 75 111.337 | Eutric Cambisol | CMeu | ----- |
| Cambisol Crómico | CMcr | 48 822.928 | Chromic Cambisol | CMcr | 48 822.928 |
| Phaeozem Háptico | PHha | 364 885.31 | Haplic Phaeozem | PHha | 364 885.31 |
| Phaeozem Gléyico | PHgl | 3 964.672 | Gleyic Phaeozem | PHgl | 3 964.672 |
| Phaeozem Lúvico | PHlv | 78 216.610 | Luvic Phaeozem | PHlv | 78 216.61 |
| Phaeozem Cálcarico | PHca | 25 651.222 | Calcaric Phaeozem | PHca | 25 651.222 |
| Fluvisol Dístrico | FLdy | 8 531.504 | Dystric Fluvisol | FLdy | 8 531.504 |
| Fluvisol Eútrico | FLeu | 16 684.886 | Eutric Fluvisol | FLeu | 16 684.886 |
| Gleysol Mólico | GLmo | 1 149.567 | Mollic Gleysol | GLmo | 1 149.567 |
| Leptosol Lítico | LPLi | 129 054.168 | Lithic Leptosol | LPLi | 129 054.17 |
| Luvisol Férrico | LVfr | 6 371.141 | Ferric Luvisol | LVfr | 6 371.141 |
| Luvisol Crómico | LVcr | 138 063.729 | Chromic Luvisol | LVcr | 138 063.73 |
| Luvisol Háptico | LVha | 2 470.726 | Haplic Luvisol | LVha | 2 470.726 |
| Leptosol Úmbrico | LPum | 1 214.130 | Umbric Leptosol | LPum | 1 214.130 |
| Regosol Cálcarico | RGca | 5 069.498 | Calcaric Regosol | RGca | 5 069.498 |
| Regosol Dístrico | RGdy | 40 749.870 | Dystric Regosol | RGdy | 40 749.870 |
| Regosol Eútrico | RGeu | 234 933.864 | Eutric Regosol | RGeu | 234 933.86 |
| Leptosol Réndzico | LPrz | 24 390.378 | Rendzic Leptosol | LPrz | 24 390.378 |
| Solonchak Gléyico | SCgl | 25 283.585 | Gleyic Solonchak | SCgl | 25 283.585 |
| Solonchak Mólico | SCmo | 90.908 | Mollic Solonchak | SCmo | 90.908 |
| Solonchak Háptico | SCha | 15 302.254 | Haplic Solonchak | SCha | 15 302.254 |
| Vertisol Eútrico | VRhu | 419 256.585 | Haplic Vertisol | VRha | 419256.59 |
| Zonas Urbanas | Zu | 41 814 | Zonas Urbanas | Zu | 42 814 |
| Cuerpos de agua | Ag | 18 255 | Cuerpos de agua | Ag | 18 255 |
| Superficie Total | | 2 324 329 | | | 2 324 329 |

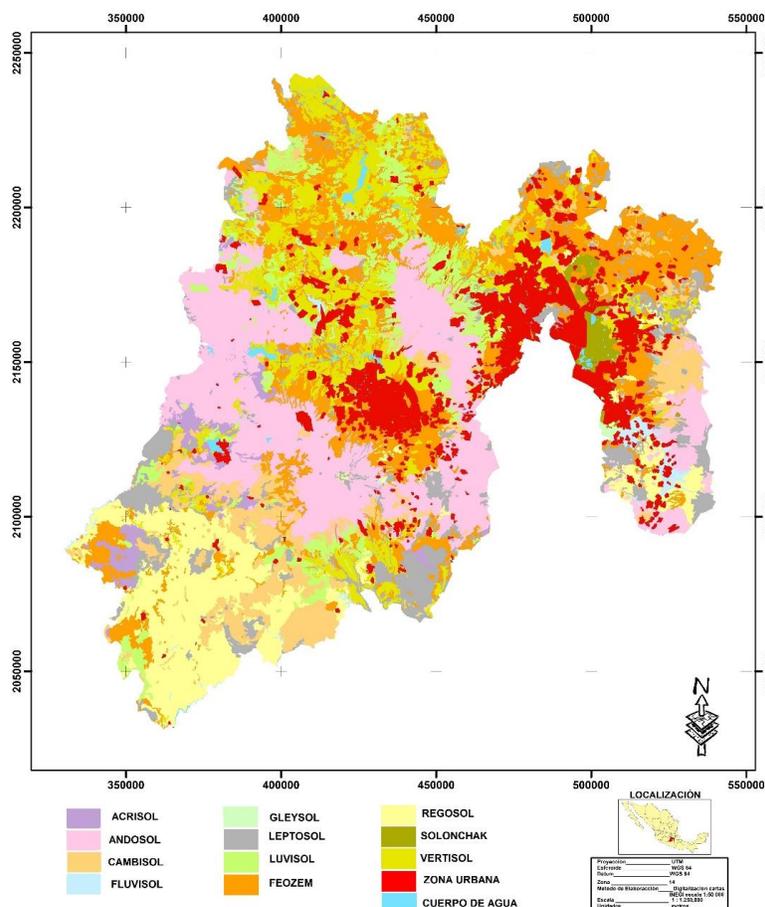


Figura 4. Grupos de Suelos de Referencia actualizados con la WRB 2006 presentes en el Estado de México.
Figure 4. Reference Soil Groups updated with the WRB 2006 in the State of Mexico.

Algunos estudios similares, de actualización y cuantificación de los suelos del estado de México, están los de Sotelo-Ruiz, González, Cruz y Flores (2018); Sotelo-Ruiz, Cruz, González y Flores (2020) quienes mencionan que los suelos dominantes en el estado de México son Umbric Andosols, Haplic Phaeozems, Eutric Vertisols que son los que dominan en los valles altos del estado; por otro lado, están los Eutric Regosols y Haplic Arenosols que son los suelos que predominan en la parte del sur del estado que la zona de trópico. Por su parte, el INEGI (2017) realiza la actualización de los suelos para el estado de México, utilizando la WRB, dónde reporta la presencia de Grupos de suelos de referencia de Andosols, Cambisols, Fluvisols, Gleysols, Leptosols, Luvisols, Phaeozems, Regosols, Solonchaks y Vertisol, los cuales coinciden con los encontrados en este trabajo. La diferencia con el presente trabajo es que se etiquetaron como Acrisols con 46 970 ha, los Planosols con 84 043 ha, e Histosols 2235 hectareas.

Existen algunos estudios de actualización de suelos en el mundo, entre los que se encuentran los de Reintam & Köster (2006), quienes realizan la actualización de suelos de Estonia, con el propósito de contar con información actualizada, confiable y de fácil acceso; la actualización de los suelos se realizó utilizando la WRB. Láng, Fuchs, Waltner y Michéli (2013) correlacionaron los grupos de suelos de la clasificación de suelos de Hungría, para actualizar y cuantificar los suelos a la WRB; utilizaron los datos de laboratorio de las propiedades para identificar y correlacionar los suelos resultantes. Por su parte, Esfandiarpour, Hassan, Karimi y Kamali (2013) realizaron un estudio en Irán, donde compararon la taxonomía de suelos y la WRB, por ser los sistemas de clasificación de suelos más utilizados. El propósito del estudio fue aclarar las diferencias y similitudes de estos dos sistemas de clasificación, con especial énfasis en suelos calcáreos; concluyeron que la WRB presenta más calificadores para clasificar a los suelos que la taxonomía de suelos.

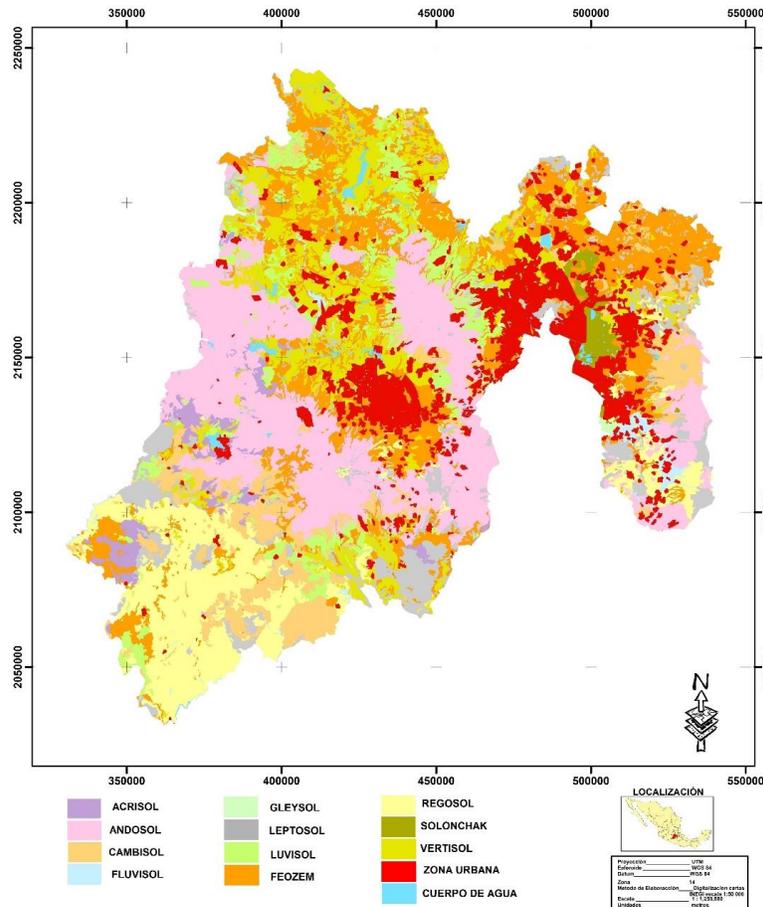


Figura 5. Grupos de Suelos de Referencia actualizados con la WRB 2022 presentes en el Estado de México.
Figure 5. Reference Soil Groups updated with the WRB 2022 in the State of Mexico.

Además, están los estudios de Lorenzetti, Barbetti, Fantappiè, L'Abate y Costantini (2015), quienes actualizaron los mapas de suelos de Italia, utilizando datos de perfiles representativos y seleccionando un 10% de los perfiles evaluados; encontraron que la validación da resultados positivos para la actualización de los mapas. Por su parte, Zádorová *et al.* (2021) mencionan que las bases de datos de suelos constituyen una fuente de información muy importante en los estudios de actualización de la cartografía edafológica; actualizaron la base de datos de suelos de Checoslovaquia, utilizando la WRB. Tomando los criterios de esta clasificación concluyen que la precisión a nivel de grupo de suelos de referencia fue de 60% y aumentó a 72% con la asociación de suelos. Este estudio mostró el potencial de los métodos taxonómicos en la actualización y cuantificación de los mapas, así como de los datos de suelos.

Finalmente, está el estudio de Kebonye *et al.* (2023) quienes concluyen que, para la investigación, el desarrollo de la cartografía de suelos y el perfeccionamiento de las técnicas de cartografía digital de suelos, se mejoran utilizando metodologías estadísticas y modelado, lo que mejora la precisión de los mapas de suelos. La verificación de datos de suelos sobre el terreno reduce los errores de los mapas de suelos, especialmente en regiones en las que los datos son escasos, esto es muy importante para los estudios de actualización (Buenemann *et al.*, 2023; Pusch *et al.*, 2022). Finalmente, la utilización de sistemas uniformes de clasificación de suelos facilita la comparación de los mapas de suelos entre diversas regiones geográficas y naciones; para ello, es necesario continuar con los esfuerzos de actualización y verificación, dirigidos a cartografiar propiedades individuales de los suelos, especialmente aquellas que plantean retos a las técnicas convencionales de cartografía de suelos (Csorba *et al.*, 2022; Savin *et al.*, 2019)

CONCLUSIONES

La actualización de la cartografía edafológica permite que la información este disponible, sea más compatible con diversas aplicaciones y se puedan realizar trabajos de planeación de las actividades de desarrollo regional en el sector agropecuario; además, se pueden realizar comparaciones de la información con otras regiones.

Los grupos de suelos de referencia identificados y actualizados que presentan cambios de nomenclatura y clasificación en el estado de México son los Feozems con 481 249 ha, los Andosols con 479 908 ha, los Vertisols con 419 256 ha, los Regosols con 280 753 ha y los Cambisols con 196 047 hectareas.

La actualización de la cartografía edafológica del estado de México, con la utilización de la WRB 2022, presenta cambios, dónde los Planosols se clasificaron como Vertisols y los Histosols se clasificaron como Phaeozems; los Litosoles, Rankers y Rendzinas por cambios en la clasificación se convierten en Lithic Leptosol, Umbric Leptosol y Rendzic Leptosol.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura: revisión y edición del artículo: G.M.C.B.; escritura y edición del trabajo: R.F.L. Software y curación de datos: A.G.H. Revisión y edición: J.S.R. Escritura y preparación del borrador original, escritura: revisión y edición del artículo: E.D.S.R.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T., & Aguilar, Y. (2015). Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfopedológico y WRB. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(6), 303-315.
- Buenemann, M., Coetzee, M. E., Kutuahupira, J., Maynard, J. J., & Herrick, J. E. (2023). Errors in soil maps: The need for better on-site estimates and soil map predictions. *PLoS One*, 18(1), e0270176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270176>
- Csorba, Á., Jones, A., Szegi, T., Dobos, E., & Michéli, E. (2022). The diagnostic continua of the soils of Europe. *Hungarian Geographical Bulletin*, 71(4), 313-323. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.71.4.1>
- Dudal, R. (1990). An international reference base for soil classification (IRB). In: *Transactions 14th International Congress of Soil Science* (pp. 38-42). Kyoto, Japan: WRB.
- Esfandiarpour, I., Hassan, S. M., Karimi, A., & Kamali, A. (2013). Correlation between soil taxonomy and world reference base for soil resources in classifying calcareous soils: (A case study of arid and semi-arid regions of Iran). *Geoderma*, 197, 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.002>

- Esri (1992). *ArcGis User's Guide*. Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute.
- Esri (2008). *ArcGis User's Guide. Released 9.3*. Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1974). *Soil Map of the World 1:1 000 000. Vol. I. Legend*. Paris, France: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1988). *Soil Map of the World. Revised Legend. World Soil Resources Report 60*. Rome, Italy: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2006). *Guidelines for Soil Description*. Fourth edition. Rome, Italy: FAO.
- FAO-ISRIC-SICS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos - Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo). (1999). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Roma, Italia: FAO-ISRIC-SICS. ISBN: 92-5-304141-2
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema climático de Köppen para la República Mexicana*. (5ª. ed.). Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (1999). *Anuario Estadístico del Estado de México*. Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2017). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2017*. Aguascalientes, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (1988). *Atlas nacional del medio físico*. (1ª Ed.). Distrito Federal, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (1981). *Síntesis Geográfica. Nomenclatura y anexo cartográfico del Estado de México*. Distrito Federal, México: Secretaría de Programación y Presupuesto. ISBN 968-809-259-2
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (1974). *Cartografía Escala 1:50 000*. Distrito Federal, México: Secretaría de Programación y Presupuesto.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2015). *Panorama sociodemográfico de Estado de México*. México: INEGI. ISBN: 978-607-739-851-6
- IUSS Working Group WRB (International Union of Soil Science). (2006). *World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication*. (2nd Ed.). Rome, Italy: FAO. ISBN: 92-5-105511-4
- IUSS Working Group WRB (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema Internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de los suelos y la creación de leyendas de mapas de suelo*. Rome, Italy: FAO. ISBN 978-92-5-308369-5
- IUSS Working Group WRB (2022). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (4th Ed.) Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences. ISBN 979-8-9862451-1-9
- Kebonye, N. M., Agyeman, P. C., Seletlo, Z., & Eze, P. N. (2023). On exploring bivariate and trivariate maps as visualization tools for spatial associations in digital soil mapping: A focus on soil properties. *Precision Agriculture*, 24(2), 511-532. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09955-7>
- Láng, V., Fuchs, M., Waltner, I., & Michéli, E. E. (2013). Soil taxonomic distance, a tool for correlation: As exemplified by the Hungarian Brown Forest Soils and related WRB Reference Soil Groups. *Geoderma*, 192, 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.023>
- Lorenzetti, R., Barbetti, R., Fantappiè, M., L'Abate, G., & Costantini, E. A. C. (2015). Comparing data mining and deterministic pedology to assess the frequency of WRB reference soil groups in the legend of small scale maps. *Geoderma*, 237-238, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.006>
- Mamaev, S. A., Balamirzoev, M. A., & Zalibekova, M. Z. (2015). Features of soil cartography in conditions of an arid climatic regime. *Arid Ecosystems*, 5(1), 14-17. <https://doi.org/10.1134/S2079096115010072>
- Palma-López, D. J., Jiménez-Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Gavi-Reyes, F., & Palma-Cancino, D. Y. (2017a). Actualización de la Clasificación de suelos del Estado de Tabasco, México. *Agroproductividad*, 10(12), 29-35.
- Palma-López, D., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E., ... & Tinal-Ortiz, S. (2017b). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad*, 10(12), 71-78.
- Pusch, M., Samuel-Rosa, A., Oliveira, A. L. G., Magalhães, P. S. G., & do Amaral, L. R. (2022). Improving soil property maps for precision agriculture in the presence of outliers using covariates. *Precision Agriculture*, 23(5), 1575-1603. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09898-z>
- Reintam, E., & Köster, T. (2006). The role of chemical indicators to correlate some Estonian soils with WRB and Soil Taxonomy criteria. *Geoderma* 136(1-2), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.028>
- Savin, I. Y., Zhogolev, A. V., & Prudnikova, E. Y. (2019). Modern Trends and Problems of Soil Mapping. *Eurasian Soil Science*, 52(5), 471-480. <https://doi.org/10.1134/S1064229319050107>
- Soil Survey Staff (1998). *Keys to Soil Taxonomy* (8th Ed.). Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service.
- Soil Survey Staff (2022). *Keys to Soil Taxonomy*. (13th Ed.). Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service.
- Sotelo-Ruiz, E. D., González-Hernández, A., Cruz-Bello, G., & Flores-López, R. (2018). *Cartografía de los Suelos del Estado de México a nivel municipal, una herramienta para la planeación en el sector Agropecuario. Zinacantepec, Estado de México*. México: INIFAP.
- Sotelo-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G., González-Hernández, A., & Flores-López, R. (2020). Actualización de la cartografía edafológica del Estado de México: una herramienta para la planeación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1775-1788.
- Spaargaren, C. O. (2000). Other Systems of Soil Classification. In M. E. Sumner (Ed.). *Handbook of Soil Science* (pp. E137-E174). Boca Ratón, FL, USA: CRC Press.
- Van Reeuwijk, L. P. (2006). *Procedures for soil analysis*. (7th Ed.). Wageningen, Netherlands: ISRIC-World Soil Information.
- Wilding, L. P. (2000). Classification of Soil. In M. E. Sumner (Ed.). *Handbook of Soil Science* (pp. E175-E392). Boca Ratón, FL, USA: CRC Press.
- Zádorová, T., Skála, J., Žižala, D., Vaněk, A., & Penížek, V. (2021). Harmonization of a large-scale national soil database with the World Reference Base for Soil Resources 2014. *Geoderma*, 384, 114819. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114819>