

CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO, MÉXICO; USO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

SOIL CARTOGRAPHY IN THE RÍOS REGION OF TABASCO, MÉXICO; USE OF THE DIGITAL ELEVATION MODEL

López-Castañeda, A.¹; Palma-López, D.J.^{2*}; Zavala-Cruz, J.²; Ortiz-Solorio, C.A.³; Tinal-Ortiz, S.², Valdez-Lazalde, J.R.³

¹Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia dapalma@colpos.mx

RESUMEN

La clasificación de los suelos es un instrumento importante en la planificación de los recursos naturales dedicados a la producción de alimentos y áreas naturales. El objetivo del presente estudio fue comparar la precisión y exactitud de la cartografía entre el Método Tradicional de Fotointerpretación (MTF) y el Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDE). El trabajo se realizó en Tenosique, Tabasco, México, dividido en dos fases: el levantamiento de suelo utilizando el MTF con 31 perfiles de suelos; y la clasificación del suelo utilizando el MDE en un sistema de información geográfico generando un mapa de atributos del terreno, usando la información de perfiles obtenida en la primera fase. Para comparar la cartografía por ambos métodos se utilizaron las características físicas del suelo y realizaron 60 y 70 puntos de observación con barrena para el análisis de la precisión y exactitud, respectivamente. La precisión con el MTF y MDE fue de 85 % y 80 %, respectivamente, mientras que la exactitud con el MTF y MDE fue de 77 % y 74 %. Los resultados mostraron que ambos valores son aceptables para su uso en la cartografía de suelos. El MDE mostró alto potencial como herramienta cartográfica dado que reduce costos, puede ser accesible a productores en pequeño y usarse en grandes superficies.

Palabras clave: SIG, suelos tropicales, WRB, fotointerpretación.

ABSTRACT

Classification of soils is an important instrument in planning the natural resources devoted to the production of foods and natural areas. The objective of this study was to compare the precision and accuracy of the cartography between the Traditional Photointerpretation Method (TPM) and the Terrain Digital Elevation Model (DEM). The study was carried out in Tenosique, Tabasco, México, divided in two phases: the soil survey using the TPM with 31 soil profiles; and the soil classification using the DEM in a geographic information system generating a map of terrain attributes, using the profile information obtained in the first phase. To compare the cartography by both methods, the physical characteristics of the soil were used, and 60 to 70 observation points with auger for the analysis of precision and accuracy, respectively. Precision with TPM and DEM was 85 % and 80 %, respectively, while accuracy with TPM and DEM was 77 % and 74 %. The results showed that both values are acceptable for their use in the soil cartography. DEM showed high potential as a cartographic tool given that it reduces costs, can be accessible to producers at a small scale, and can be used in large surfaces.

Keywords: SIG, tropical soils, WRB, photointerpretation.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017, pp. 22-28.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de un paisaje pueden ser de diferentes tipos, debido entre otros factores al relieve (Krasilnikov, 2006), es ahí donde radica la importancia de su clasificación y cartografía, ya que los diferentes tipos de suelos no tienen la misma capacidad y aptitud de uso. Por ello, es necesario elaborar la cartografía que permita caracterizar y posteriormente planificar su uso (Porta *et al.*, 2003). En México se han realizado diversos estudios de suelos utilizando la metodología propuesta por Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999); sin embargo, su uso se complica en la práctica por el alto costo. El reto actual es modificar las metodologías tradicionales de fotointerpretación (MTF), utilizando los sistemas de información geográfica (SIG), de tal forma que el estudio de suelos pueda ser más rápido, eficiente y económico, con el uso de los modelos digitales de elevación (MDE). Con base en lo anterior, se generó la cartografía de suelos de una zona del trópico húmedo en Tenosique, Tabasco, México, utilizando MDE y MTF con el fin de comparar ambos métodos en su precisión y exactitud en la cartografía de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Tenosique, Tabasco (91° 35' 00" y 91° 20' 30" O, y 17° 25' 30" y los 17° 40' 10" N), se ejecutó en dos fases, la primera utilizando el método convencional propuesto por Ortiz-Solorio (1992), que consiste en las etapas de precampo, campo y postcampo. En la primera etapa se generó el mapa de unidades de fotointerpretación (UFI's), las cuales se verificaron en campo para transformarlas en unidades geomorfológicas o mapa preliminar de suelos. Para ello se describieron mínimo tres perfiles de suelo por UFI's, haciendo un total de 31 perfiles de 1.80 m de profundidad en promedio, utilizando el manual de descripción de suelos de Cuanalo (1990), lo cual permitió describir cada uno de los horizontes o capas de cada perfil. En la etapa de poscampo se llevaron a cabo los análisis físicos y químicos de suelos de cada horizonte proveniente de los perfiles de suelo, en el laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, y Aguas del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco con base a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002). Posteriormente se clasificaron los suelos utilizando la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) en su versión en español del 2007 (IUSS *et al.*, 2007), generando la cartografía de suelos en el segundo nivel (unidades de suelos). En la segunda fase la primera actividad fue obtener el mo-

delo digital de elevación del Instituto de Tecnología de California, USA y con el uso de los SIG (software libre Grass 6.3), se clasificó usando los parámetros de 0.05 en grados para la pendiente, 0.00002 para la curvatura, con un tamaño de ventana de procesamiento de 22 píxeles, la exponente de la distancia de ponderación fue de cero y el factor de escala vertical 1.0; generando así los atributos del terreno (Felicísimo, 1994), posteriormente mediante álgebra de mapas se hizo la intersección con información geológica obteniendo de esta forma polígonos de los atributos del terreno, los cuales se consideraron como los equivalentes a unidades de fotointerpretación o mapa preliminar de suelos en el método convencional. Se utilizó la misma información de las muestras de suelos generada en la primera fase. Para la evaluación de la precisión del mapa de suelos en ambos métodos se realizaron 60 puntos de observación con barrena; para evaluar la exactitud de la cartografía, se verificaron 35 linderos de suelos para constatar que los suelos marcados en el mapa sean auténticos en campo, utilizando la metodología propuesta por Porta *et al.* (2003). El análisis de los resultados se realizó en forma discreta, es decir, con un sí o un no, error o acierto y se calculó el porcentaje de precisión y exactitud para ambos métodos (Lleverino *et al.*, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSION

Levantamiento de suelos por el método tradicional de fotointerpretación

Se obtuvieron 15 tipos de geoformas distribuidas en 181 polígonos, destacando los lomeríos altos de areniscas por su gran extensión, cerca de 19 mil hectáreas, que equivalen a 39 % de la superficie total, seguidos de las llanuras aluviales con 21 % y los valles erosivos con un 9 % de área total. Los suelos dominantes por su extensión dentro del área de estudio correspondieron principalmente a los Ferralsoles, Luvisoles, Gleysoles y Leptosoles (Figura 1, Cuadro 1). Como característica general todos los suelos tienen texturas arcillosas, algunos con materiales calcáreos y otros de colores rojizos derivados del intemperismo de las rocas de forma *in situ*, en las partes bajas entre lomeríos se localizan los suelos inundables con propiedades gléyicas y en la parte de la Sierra y Lomeríos calcáreos existen suelos pedregosos y someros, originados por una antigua planicie fluvial erosionada de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles que le dan la forma de lomeríos al paisaje, también están los suelos de origen aluvial cuya génesis está determinada por los desbordamientos del río Usumacinta.

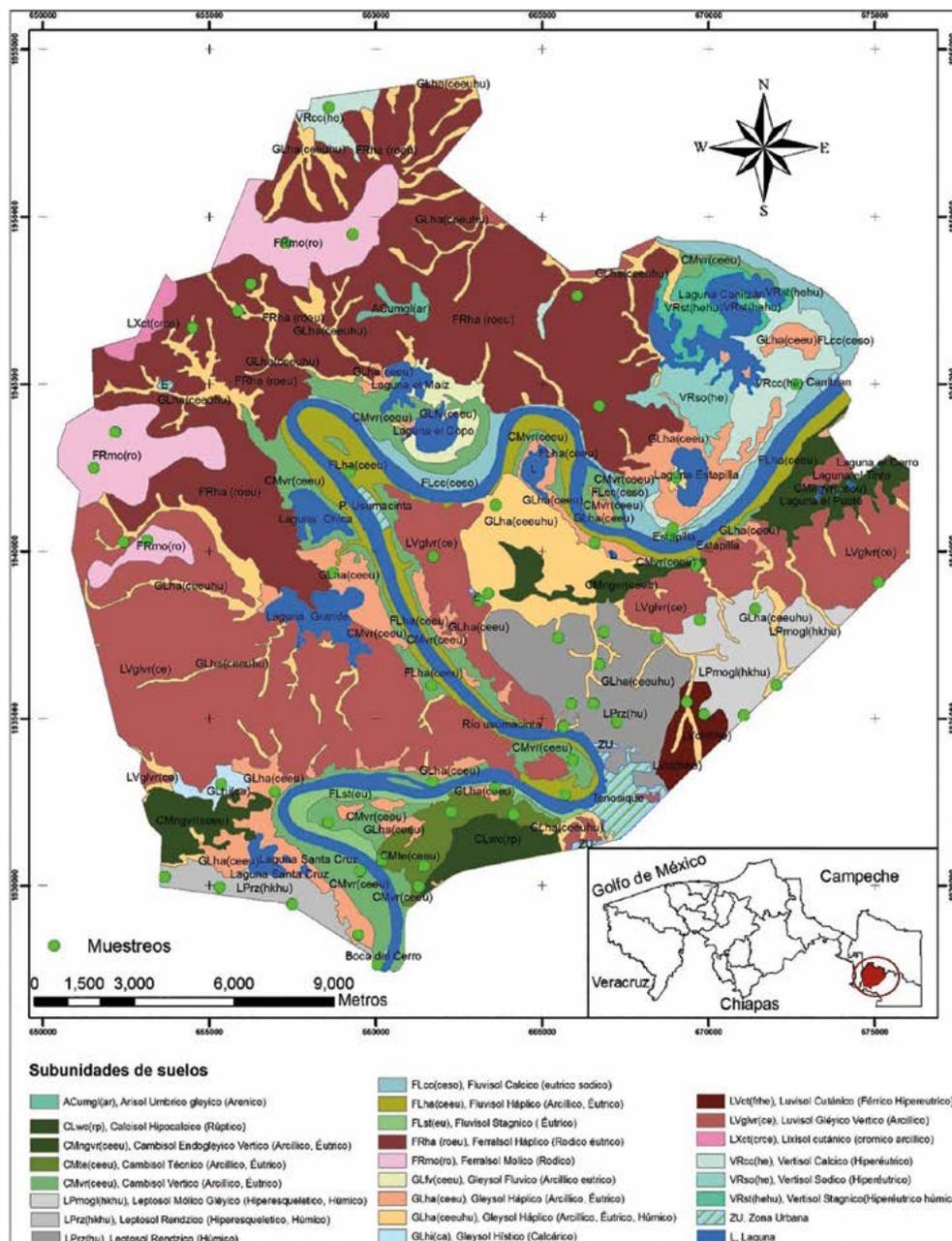


Figura 1. Unidades de suelos y distribución de los puntos de muestreo para evaluar la precisión y exactitud con el método convencional.

Características de los Grupos de suelos encontrados Ferralsoles (FR)

Son suelos originados de rocas de arenisca que tienen un horizonte B ferrálico, es decir que presenta un horizonte muy intemperizado que tiene una CIC menor de $16 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla (IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se localizan al norte del área de estudio en los lomeríos de areniscas (Ortiz *et al.*, 2005).

Luvsoles (LV)

Son suelos con alto contenido de arcilla, la cual ha migrado a tal grado que ha dado origen a un horizonte

árgico, lo cual es característico de este grupo de suelos. Lo anterior implica que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos de iluviación; presenta cutanes de arcilla y tiene una CIC de $24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla o más, comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, así mismo, los colores dominantes son rojizos. Los Luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación de bases a ciertas profundidades (Palma-López *et al.*, 2007; IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se ubican en lomeríos medios y bajos de areniscas y calcilitas (Salgado-García *et al.*, 2008).

Cambisoles (CM)

Son suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial de desarrollo incipiente, (B cambico o Bw). Se pueden localizar principalmente en llanuras aluviales altas o bajas cercanas a ríos de la zona y en llanuras proluviales, entre lomeríos de areniscas. Presentan un horizonte B cámbico, se encuentran en un estado de transición o evolución pedogenética (Salgado-García *et al.*, 2008).

Gleysoles (GL)

Son suelos minerales que, a menos que sean drenados, están saturados con agua freática por períodos prolongados. Este grupo de suelos ocupa el tercer lugar dentro del área de estudio por su extensión, cerca del 15 % del área total, distribuyéndose en las Llanura aluviales bajas y muy bajas en los valles erosivos y algunas veces en los lomeríos bajos (Salgado-García *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Unidades de suelos determinadas por el método convencional en el área de estudio.

Grupo Mayor	Subunidad	Clave	Geomorfología	Superficie	
				ha	%
Ferralsol	Ferralsoles Háplicos (Ródicos, Éútricos)	FRha(roeu)	Loma alta de areniscas	8901.84	20.96
	Ferralsoles Mólicos (Ródicos)	FRmo(ro)	Loma alta de areniscas	2031.17	4.78
Luvisol	Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcílicos)	LVglvr (ce)	Loma media de areniscas	8005.13	18.85
	Luvisoles Cutánicos (Férricos, Hiperéútricos)	LVct(frhe)	Loma baja de areniscas	315.06	0.74
Gleysol	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos, Húmicos)	GLha(ceeuu)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	3661.03	8.62
	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos)	GLha(ceeu)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	2285.61	5.38
	Gleysoles Flúvicos (Arcílicos, Éútricos)	GLfv(ceeu)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	273.72	0.64
	Gleysoles Hísticos (Calcáricos)	GLhi(ca)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	130.29	0.31
Cambisol	Cambisoles Vérticos (Arcílicos, Éútricos),	CMvr (ceeu)	Llanura aluvial alta	2456.49	5.78
	Cambisoles Endogléyicos Vérticos (Arcílicos, Éútricos),	CMngvr (ceeu)	Llanura proluvial	1384.66	3.26
	Cambisoles Técnicos (Arcílicos, Éútricos),	CMte(ceeu)	Llanura aluvial alta	555.97	1.31
Leptosol	Leptosoles Réndzicos (Húmicos)	LPrz(hu)	Loma baja de caliza	1764.58	4.15
	Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueleticos, Húmicos)	LPmogl(hkhu)	Loma media de areniscas	1074.43	2.53
	Leptosoles Rendzicos (Hiperesqueleticos, Húmicos)	LPrz(hkhu)	Loma media de caliza	477.01	1.12
Fluvisol	Fluvisoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos)	FLha(ceeu)	Llanura aluvial alta	1349.37	3.18
	Fluvisoles Stágnicos (Éútricos)	FLst(eu)	Llanura aluvial alta	287.71	0.68
	Fluvisoles Cálricos (Éútricos, Sódicos)	FLca(euso)	Llanura aluvial alta	981.89	2.31
Vertisol	Vertisoles Cálricos (Hiperéútricos)	VRcc(he)	Llanura aluvial media	990.66	2.33
	Vertisoles Sódicos (Hiperéútricos)	VRso(he)	Llanura aluvial baja	410.57	0.97
	Vertisoles Estágnicos (Hiperéútricos, Húmicos)	VRst(hehu)	Llanura aluvial muy baja	385.84	0.91
Acrisol	Acrisoles Úmbricos Gléyicos (Arénicos)	ACumgl(ar)	Loma media de arenisca	102.42	0.24
Calcisol	Calcisoles Hipocálricos (Rúpticos),	CLwc(rp)	Loma alta de caliza	432.02	1.02
Lixisol	Lixisoles Cutánicos (Cromicos, Arcílicos)	LXct(crce)	Loma baja de arenisca	143.45	0.34
	Otros			4068.52	9.59
	Total			42669.45	100

Leptosoles (LP)

Son suelos muy someros formados sobre una roca continua o son suelos extremadamente gravosos y pedregosos, están normalmente limitados a un horizonte A delgado sobre un horizonte B incipiente o directamente sobre un horizonte C poco alterado.

Fluvisoles (FL)

Su característica principal es que presentan propiedades flúvicas, ya que se derivan de sedimentos fluviales por los desbordamientos del río Usumacinta y sus afluentes (Palma-López *et al.*, 2007). Los Fluvisoles

son suelos ubicados en la llanura aluvial alta con buenas condiciones de humedad y nutrimentales (Salgado-García *et al.*, 2008).

Vertisoles (VR)

Son suelos muy arcillosos que se auto-mezclan, tienen alta proporción de arcillas expandibles; presenta 30 % o más de arcilla en todo su espesor y tiene agregados estructurales en forma de cuña y presenta caras de deslizamiento; forman grietas anchas y profundas desde la superficie hasta al menos 50 cm de profundidad cuando se secan, esto ocurre en la mayoría de

los años (Palma-López *et al.*, 2007; Salgado-García *et al.*, 2008). Fisio-gráficamente se localizan en las llanuras aluviales medias y bajas, en lomeríos medios y bajos y en lomeríos calcáreos.

Acrisoles (AC)

Son los suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que los horizontes superficiales como resultado de la migración de arcillas, que llevan a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo. El cual tiene una CIC menor de 24 cmol kg⁻¹ de arcilla y una saturación de bases menor a 50 % en

al menos alguna parte dentro de los primeros 125 cm. Se identifican fácilmente por: los colores oscuros sobre amarillentos a rojizos, fuerte acidez sobre todo en horizonte B, altas cantidades de hierro y aluminio en forma de sesquioxidos y alta fijación de fósforo (Palma-López *et al.*, 2007). Fisiográficamente los Acrisoles se localizan en los lomeríos medio y altos formados a partir de areniscas.

Calcisoles (CL)

Son suelos que tienen un horizonte de diagnóstico cálcico o la presencia de concentraciones de carbonato de calcio secundario dentro de los primeros 100 cm desde la superficie del suelo. El horizonte cálcico se distingue en campo por presentar material blanquecino (blanco o gris rosáceo), el cual reacciona fuertemente al aplicar HCl al 10 % debido a la presencia de carbonatos libres. Los Calcisoles se distribuyen por la zona de lomeríos calcáreos.

Lixisoles (LX)

Estos suelos presentan un horizonte subsuperficial árgico por acumulación de arcilla iluvial, se desarrollan principalmente sobre materiales no consolidados, de textura fina, que han sufrido una fuerte alteración y lavado; predominan en terrenos viejos sometidos a una fuerte erosión o degradación, con arcilla de baja actividad y saturación de bases de media a alta (Porta *et al.*, 2003). Estos suelos se localizan en los lomeríos bajos del lado noroeste del área de estudio.

El Modelo Digital de Elevación (MDE)

Mediante éste método se obtuvieron 12 tipos de atributos del terreno distribuidos en 487 polígonos, destacando las planicies por extensión

con 37 % de la superficie total seguidos de las colinas y valles. En cuanto a suelos los dominantes por su extensión dentro del área de estudio, una vez reconsiderados los linderos, corresponden principalmente a los Ferralsoles, Gleysols y Vertisols, por las planicies que se detectaron (Figura 2). Para la identificación de los suelos se utilizó la información de los perfiles y barrenaciones de la primera fase empleando el método tradicional, correlacionándolo con los atributos generados mediante los MDE, de esta manera se aprovechó la información generada por el primer método. Destacando en este caso el dominio de los Vertisols con un 24 %, seguido de los Ferralsoles con un 19 % del total del área de estudio (Cuadro 2).

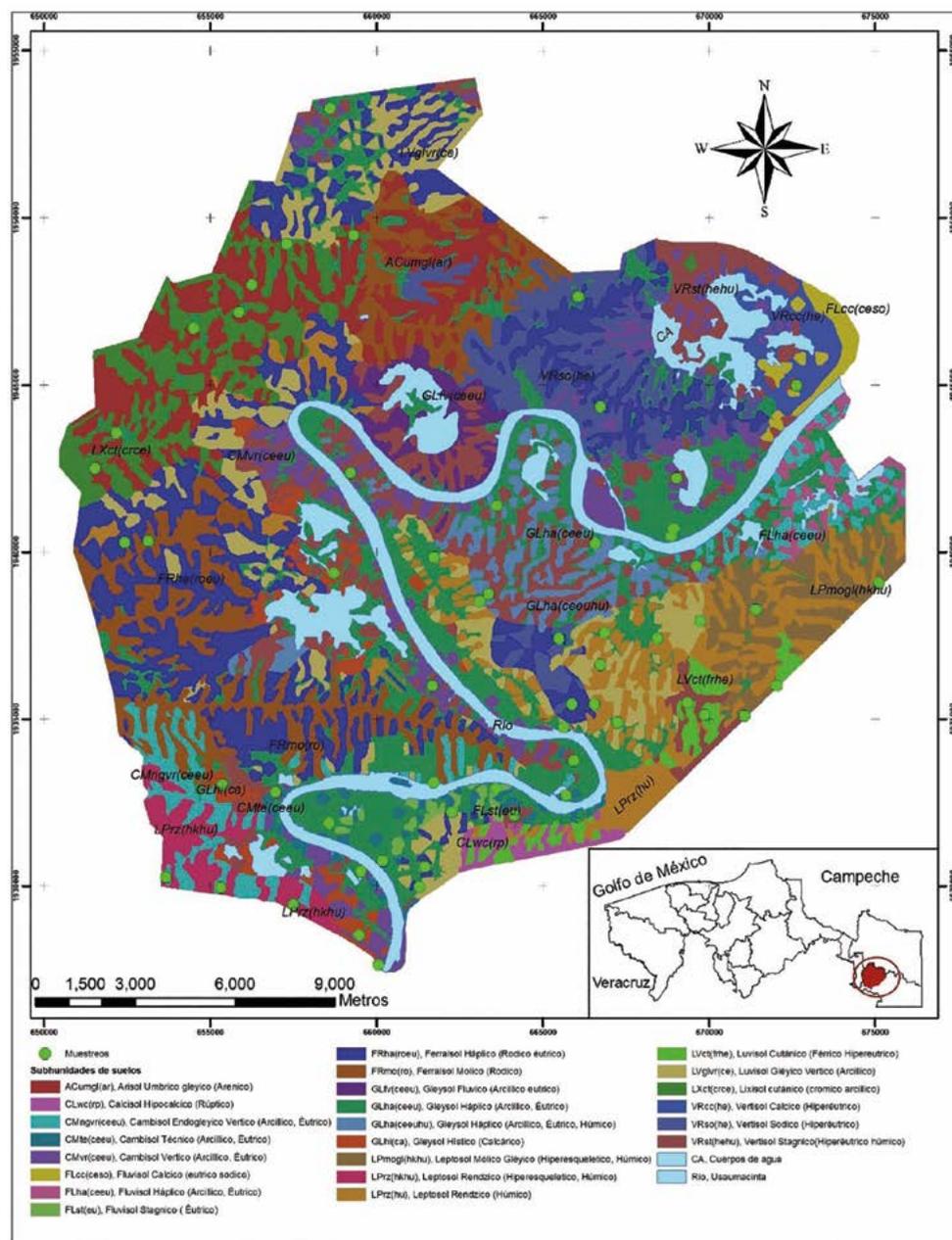


Figura 2. Unidades de suelos utilizando modelo digital de elevación (MDE)

Cuadro 2. Unidades de suelos del área de estudio utilizando el modelo digital de elevación (MDE).

Grupo Mayor	Suelo	Clave	Atributos	Superficie	
				ha	%
Ferralsol	Ferralsol Háptico (Ródico, Éutrico)	FRha(roeu)	8,10	5207.53	12.20
	Ferralsol Mólico (Ródico)	FRmo(ro)	8,11	3226.88	7.56
Luvisol	Luvisol Gléyico Vértico (Arcílico,)	LVglvr (ce)	9,11	2597.07	6.08
	Luvisol Cutánico (Férrico, Hiperéutrico)	LVct(frhe)	13	439.31	1.02
Gleysol	Gleysol Háptico (Arcílico, Éutrico, Húmico)	GLha(ceeuhu)	4,	986.41	2.31
	Gleysol Háptico (Arcílico, Éutrico)	GLha(ceeu)	3,6,9	6417.74	5.38
	Gleysol Flúvico (Arcílico, Éutrico)	GLfv(ceeu)	3,4	493.91	15.03
	Gleysol Hístico (Calcárico)	GLhi(ca)	4,	590.32	1.38
Cambisol	Cambisol Vértico (Arcílico, Éutrico),	CMvr (ceeu)	3,4,5,6,8	1669.96	3.91
	Cambisol Endogleyico Vértico (Arcílico, Éutrico)	CMngvr (ceeu)	4,5,10,	1123.65	2.63
	Cambisol Técnico (Arcílico, Éutrico)	CMte(ceeu)	4,6,8	327.07	0.76
Leptosol	Leptosol Réndzico (Húmico)	LPrz(hu)	10,11,12	2531.27	5.93
	Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesquelético, Húmico)	LPmogl(hkhu)	11,14	966.13	2.26
	Leptosol Réndzico (Hiperesquelético, Húmico)	LPrz(hkhu)	11	656.63	1.53
Fluvisol	Fluvisol Háptico (Arcílico, Éutrico)	FLha(ceeu)	5,	329.82	0.77
	Fluvisol Stágnico (Éutrico)	FLst(eu)	5	161.44	0.37
	Fluvisol Cálculo (Éutrico, Sódico)	FLca(euso)	4	310.13	0.72
Vertisol	Vertisol Cálculo (Hiperéutrico)	VRcc(he)	3	509.20	1.19
	Vertisol Sódico (Hiperéutrico)	VRso(he)	,7,8	1902.90	4.45
	Vertisol Estágnico (Hiperéutrico, Húmico)	VRst(hehu)	3,4,5,14	3525.02	8.25
Acrisol	Acrisol Úmbrico Gléyico (Arénico)	ACumgl(ar)	7,	2688.75	6.30
Calcisol	Calcisol Hipocálcico (Rúptico)	CLwc(rp)	14	247.02	0.57
Lixisol	Lixisol Cutánico (Crómico, Arcílico)	LXct(crce)	4,8	1703.59	3.99
	Cuerpos de Agua	C.A	2	4065.60	9.52
	Total			42669.52	100

Comparación de la cartografía por el método convencional y utilizando MDE

Precisión

En cuanto a la evaluación de la precisión se realizaron 60 verificaciones en las cuales, al checar el mapa realizado mediante fotointerpretación, se encontró un total de nueve errores. Debido a que en el campo no se presentan las características de acuerdo a las reportadas en la descripción del perfil, se tiene una precisión de 85 % para el método convencional. Para el caso del método basado en el MDE se encontraron 12 errores por lo que representa el 80 % de precisión. Sin embargo, con ambos métodos se supera el estándar de calidad (76 %) sugerido por Lleverino *et al.* (2000).

Exactitud

De los 35 linderos de suelos analizados mediante 70 barrenaciones para evaluar la exactitud del mapa generado por fotointerpretación, se encontraron siete errores,

es decir, las características encontradas no concuerdan con las reportadas en la descripción del perfil, por lo cual el lindero marcado en el mapa es falso, por lo tanto, se tuvo una exactitud de 77 % para el método convencional. Así mismo, al evaluar la exactitud del mapa generado mediante el uso de los Modelos Digitales de Elevación, se encontraron nueve errores; es decir, estos linderos no existen, por lo que se tuvo una exactitud de 74 %. Los resultados muestran que en ambos métodos podrían considerarse razonables por acercarse al estándar de calidad (>80 %) establecido por Lleverino *et al.* (2000).

CONCLUSIONES

Se logró generar la cartografía de suelos a nivel semidetallado utilizando el método convencional, pero apoyándose con los modelos digitales de elevación (MDE), las ortofotos, y los mapas de geología. Los MDE son eficientes en

precisión y exactitud para generar cartografía de suelos de tipo semidetallado, sin superar al método convencional basado en la fotointerpretación, pero obteniendo valores muy cercanos en estos parámetros. Sin embargo, su eficiencia se pierde cuando hay extensiones grandes de planicies y se incrementa en zonas con relieve más variado. En contraste, cuando existe la posibilidad de usar bases de datos tipo LIDAR se contribuye a que el MDE logre una mayor eficiencia (exactitud, precisión, rapidez y economía) para la generación de cartografía de suelos a nivel detallado y semi detallado.

LITERATURA CITADA

- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 3a edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 75 p.
- Felicitísimo A. 1994. Modelo Digital de terreno, Introducción y Aplicación a las Ciencias Ambientales. [En línea] <http://www.etsimo.uniovi.es/pdf/15/03/07>. 122 p.
- IUSS, ISRIC, FAO. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso suelo. Primera actualización traducida al español. Informe sobre Recurso Mundiales de suelos No. 103.FAO. Roma. 124 p.
- Krasilnikov P. 2006. La cartografía de suelos. Memorias del XXIV Congreso-Diplomado Internacional de Edafología Nicolás Aguilera. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 10 p.
- Lleverino G. E., Ortiz-Solorio C. A., Gutiérrez C. Ma. Del C. 2000. Calidad de los mapas de suelos en el Ejido de Atenco, Estado de México. Terra Vol. 18 (02) 103-113 p.
- Ortiz P. M. A., Siebe C., Cram S. 2005. Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco. Pp. 305-322. En: Bueno J., Álvarez F. y Santiago S. (eds.). Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología, UMAM-CONABIO. México, D.F. 386 p.
- Ortiz-Solorio C.A. 1992. Levantamientos de suelos. Centro de Edafología Colegio de Postgraduados. México 106 p.
- Ortiz-Solorio C. A., Gutiérrez C. Ma del C. 1999. Fundamentos de Pedología. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Palma-López D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E., Rincón-Ramírez J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 184 p.
- Porta C. J., López-Acevedo R., Roquero D. L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Multi prensa. 3ª. Edición. Madrid España 928 p.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L. C., Ortiz-García C. F., Castelán-Estrada M., Guerrero-Peña A., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez J. A. 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en caña de azúcar: Ingenio Azuremex. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. 102 p.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios muestreos y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 75 p.

