

LOS SUELOS DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA¹

[THE SOILS OF CENTRAL VALLEYS OF OAXACA]

Pedro Saúl Vásquez-Rasgado^{1§}, Gerardo Rodríguez-Ortiz¹

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C. P. 71230. Tel. 01(951) 5170788. [§]Autor para correspondencia: (psvasquezr@gmail.com)

RESUMEN

Los valiosos servicios ambientales que aporta el recurso suelo hacen esencial su conocimiento detallado y actualizado para la planificación de su uso sustentable. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue delimitar los grupos de los suelos de la Región de los Valles Centrales de Oaxaca; sus propiedades morfológicas, físicas y químicas, con el apoyo del software QGIS 3.2, se identificaron las unidades de suelo de la región con base en la cartografía edafológica de México del INEGI que emplea el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). Se compilaron 61 perfiles georeferenciados de suelos del Conjunto de Datos de Perfiles de Suelos de la serie I y II a escala 1:250,000. Los datos complementarios sobre sus factores formadores se obtuvieron por sobreposición de capas de geología, geomorfología, y vegetación. La diversidad de los suelos en la región es alta, se delimitaron 10 de los 32 grupos de suelo reconocidos por la WRB. Los grupos de suelo predominantes con base en el porcentaje de la superficie ocupada son: Luvisoles (26.38%); Leptosoles (19.41%); Regosoles (18.54%); Cambisoles (16.44%); Phaeozems (6.47%); Vertisoles (4.50%); Acrisoles (4.12%); Umbrisoles (1.99%); Fluvisoles (1.71%); y Kastañozems (0.44%).

Palabras clave: Acrisoles, luvisoles, unidades de suelo, Valles Centrales de Oaxaca, WRB.

ABSTRACT

The valuable environmental services that the soil resource provides make essential its detailed and updated knowledge for the planning of its sustainable use. In this context, the objective of the present study was to delimit the groups of the soils of the Region of the Central Valleys of Oaxaca; its morphological, physical and chemical properties. With the support of the software QGIS version 3.2, the soil units of the region were identified based on the edaphological cartography of Mexico of the INEGI that uses the International System Base Referential World of the Soil Resource (WRB). 61 georeferenced soil profiles were compiled from the Soil Profile Data Set of series I and II at scale 1: 250,000 with morphological characteristics and physicochemical analysis. Complementary data on their formative factors were obtained by overlaying layers of geology, geomorphology, and vegetation. The diversity of soils in the region is high, 10 of the 32 soil groups recognized by the WRB were delimited. The predominant soil groups based on the percentage of the occupied area are: Luvisols (26.38%); Leptosols (19.41%); Regosols (18.54%); Cambisols (16.44%); Phaeozems (6.47%); Vertisols (4.50%); Acrisols (4.12%); Umbrisols (1.99%); Fluvisols (1.71%); and Kastañozems (0.44%).

Index words: Acrisols, luvisols, soil units, Central Valleys of Oaxaca, WRB.

¹ Recibido: 10 de Agosto de 2018
Aceptado: 10 de Diciembre de 2018

INTRODUCCIÓN

La geografía de los suelos es una de las subdisciplinas de la ciencia más importantes en el sentido teórico y práctico. El objetivo teórico de la geografía de los suelos es entender y explicar las reglas de distribución de suelos y sus propiedades en la superficie de la tierra. La aplicación práctica incluye la cartografía de suelos para el inventario de recursos edáficos, la interpolación de los datos espaciales y la planeación del uso y manejo de los suelos (Krasilnikov, 2011; Bocco, *et al.*, 2005; Cruz-Flores & Etchevers-Barra, 2011). Es de importancia para el estudio de manejo de cuencas hidrográficas, impacto ambiental y servicios ambientales como la captura de carbono (Lehmann y Kleber, 2015;). En especial territorios montañosos como el estado de Oaxaca, se establece la distribución espacial y vertical de los elementos climáticos (insolación, temperatura, presión atmosférica, vientos, precipitaciones, humedad relativa y otros, que, a su vez, determinan el escurrimiento superficial y subterráneo de las aguas y, por ende, las condiciones de formación de los diferentes suelos y de los tipos de ecosistemas (Badía *et al.*, 2013; Ortiz-Pérez *et al.*, 2004).

Los primeros estudios cartográficos sistemáticos de suelos de Oaxaca fueron publicados en el Atlas Nacional del Medio INEGI (1980). a escala 1:1,000,000 empleando la antigua clasificación FAO UNESCO por el Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática (INEGI, 1980) utilizada hasta 1998. El estudio más reciente de suelos (Alfaro, 2004), se realizó a nivel estatal y en el cual se mencionan las características diagnósticas general 16 grupos de suelo: Acrisol, Arenosol, Cambisol, Castañozem, Feozem, Fluvisol, Gleysol, Litosol, Luvisol, Nitosol, Planosol, Regosol, Rendzina, Solochak, Vertisol y Xerosol, según la versión de la clasificación mundial (FAO-ISRIC 1SSS, 1998; Soil Survey Staff, 1999).

En la actualidad ya existe información digital disponible para todo el país de las cartas de suelos a escala regional 1:250,000, de acuerdo con la clasificación WRB (INEGI, 2007a; INEGI, 2007b) así mismo se cuenta con la descripción de los perfiles de suelos georeferenciados del país que incluyen sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, esta información está poco disponible para su uso aún para personal técnico no especializado, porque se encuentra digitalizada en cartas separadas y la información de perfiles esta codificada en términos técnicos. Por esta razón en el presente trabajo se realiza una caracterización de los suelos de la Región de Valles Centrales de Oaxaca procesando la información edafológica actual para que pueda servir como apoyo fundamental a las personas o instituciones que tomen decisiones en la planeación y ejecución de acciones encaminadas al uso óptimo del recurso suelo. así como marco de referencia para la prevención de desastres ecológicos y degradación ambiental, ocasionados por la sobreexplotación o uso inadecuado del suelo (Bautista *et al.*, 2015; Palma-López *et al.*, 2017; UABJO SEMARNAT, 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de estudio

La Región Administrativa de los Valles Centrales de Oaxaca (RAVCO) comprende 7 distritos (Centro, Ejutla, Etla, Ocotlán, Tlacolula, Zaachila y Zimatlán) y 121 municipios y se encuentra comprendida entre 16° 19' y 17° 41' N; y los 95° 54' y 97° 14' W. Abarca una superficie de 934,270 ha. La morfoestructura de los valles es de carácter tectónico, lo que es muy evidente en los horsts del flanco norte (Ferrusquia-Villafranca, 2005). El relieve de la región de Valles Centrales se originó a partir de eventos espectaculares que ocurrieron durante el terciario y que de cierta forma cambiaron las condiciones climáticas de todo el Estado, la formación de la Sierra

Juárez y de la Sierra Madre del Sur, a lo largo de la costa oaxaqueña las evidencias encontradas hasta hoy sugieren que la Sierra de Juárez (incluyendo parte de la Sierra de Zongolica al norte, y las sierras Cuicateca Mazateca se levantaron al menos 2,100 metros con respecto a los valles centrales, en los últimos 14 millones de años a partir del Mioceno medio al reciente, este levantamiento fue ocasionado por la falla Oaxaca, que corre a lo largo de la base de la margen occidental de las sierras (Centeno-García, 2004).

Acopio, procesamiento y análisis de datos de suelos

La RAVCO se delimitó con base en el mapa de distritos y municipios empleada por el Gobierno del Estado de Oaxaca. La información edafológica provino de dos fuentes: 1. Las cartas edafológicas (E1409 (Oaxaca) y la E1412 (Zaachila)), a escala 1:250,000 serie II en proyección UTM, y 2. El Conjunto de datos vectoriales de perfiles de suelos a escala 1:1,000,000 en proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL) (INEGI, 2007). Con la ayuda del software QGIS 3.2, ambas cartas se unieron en una sola capa vectorial con proyección WGS 84 Zona 14 N posteriormente se sobrepuso la capa de la RAVCO para obtener las unidades cartográficas de los Grupos de Referencia de la RAVCO. La capa de perfiles se recortó de acuerdo con los límites de la RAVCO obteniéndose 60 perfiles de suelos de valles centrales clasificados de acuerdo con el sistema WRB primera versión (IUSS Working Group WRB, 2015). De éstos 60 perfiles de INEGI de los cuales 15 contaban con análisis fisicoquímicos. Se complementó la información con 11 perfiles más que el autor realizó como puntos de apoyo en las principales geoformas de la región, en las cuales se describió las características morfológicas, estos sitios de muestreo se ubicaron con GPS. Los datos de propiedades físicas y químicas de los perfiles fueron interpretados de acuerdo con los estándares establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). La delimitación de los grupos de suelo se realizó apoyándose en criterios geomorfológicos que se han empleado recientemente en nuestro país (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Con este propósito se empleó la información geomorfológica se obtuvo del mapa de unidades mayores y menores originada por el Instituto de Geografía de la UNAM generada para Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca (UABJO SEMARNAT, 2012). Otros datos complementarios como altitud y pendiente fueron obtenidos de modelos de elevación digital de las Hojas E14-9 y E14-12.

RESULTADOS

Ambientes geomorfológicos

Se identificaron tres grandes ambientes geomorfológicos, 1). Sierras y Montañas; 2). Premontañas y lomeríos; y 3). Cuencas sedimentarias y llanuras (Figura 1). La importancia de estos ambientes radica en que, en cada uno de ellos, los factores formadores de suelos son diferentes, lo cual a su vez genera procesos edáficos que repercuten en la morfología del perfil del suelo. El mapa de los ambientes geomorfológicos del estado permite una mayor explicación de la distribución espacial de los edafopaisajes y la correspondencia entre ambientes geomorfológicos con la cubierta vegetal.

Las Sierras y montañas poseen una altitud de 500 a 2800 msnm. Está constituida por un complejo orográfico de rocas del cretácico como la metamórfica cataclasita y sedimentarias, sus partes más altas rebasan los 2000 msnm tienen un clima templado húmedo con una precipitación entre 1000 a 2000 mm y su vegetación principal es bosque de coníferas. En las partes más bajas, situadas entre los 500 y 800 msnm, la precipitación se encuentra entre 500 y 800 mm; su clima va

de árido cálido a templado subhúmedo y su vegetación predominante es de bosque de encino y selva caducifolia.

Los lomeríos y premontañas están formados rocas metamórficas (gneiss del precámbrico) con un estilo estructural de bloques con altura relativa menor de 200 y hasta 500 m, que se extiende en forma paralela a las sierras y montañas, su altitud va de 1,800 a 2,000 msnm. Sus climas predominantes son: semicálido templado subhúmedo (A)C(w_o); y templado subhúmedo, su precipitación anual está entre 700 y 800 mm. Su vegetación es de bosque de encino y pastizal.

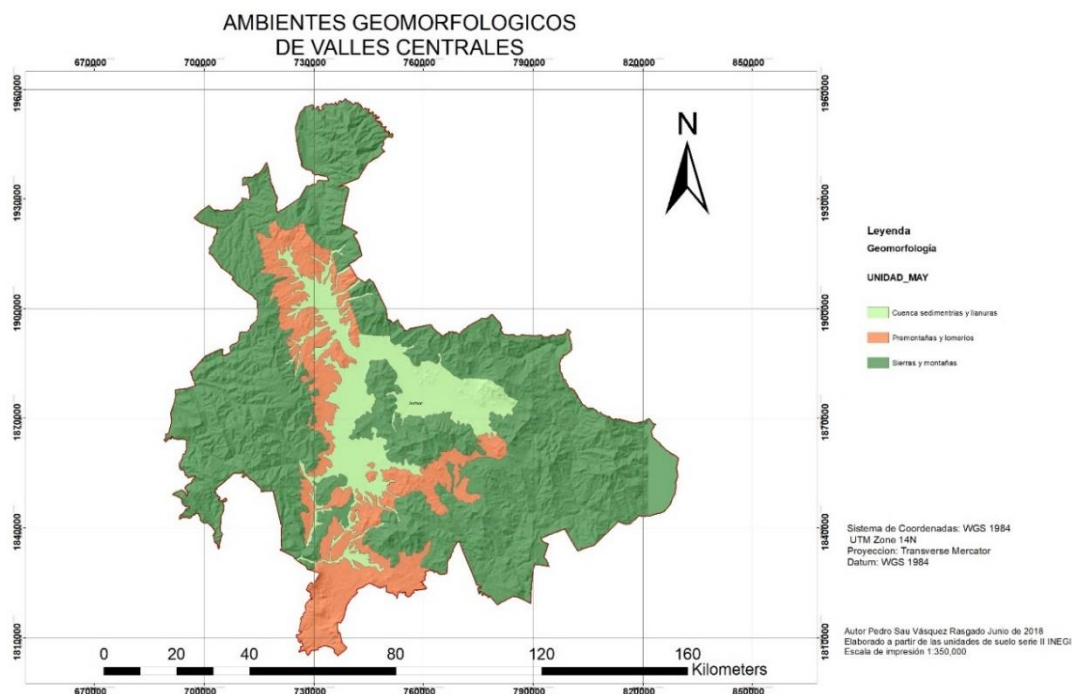


Figura 1. Ambientes geomorfológicos de Valles Centrales de Oaxaca.

Las Cuencas sedimentarias y llanuras. Están compuestas principalmente por materiales aluviales del cuaternario. Se distinguen tres facciones: Cuenca noroeste, cuenca sureste y llanuras del sur. La cuenca noroeste es conocida localmente como “Valle de Etla”, presenta un relieve acumulativo en cuenca sedimentaria continental, con altitudes entre 1,600 y 1,800 msnm, se extiende desde el distrito de Etla, hasta el distrito del Centro en dirección noroeste sureste. Su clima principal es semicálido templado subhúmedo (A)C(W_o); la precipitación anual está entre 700 y 800 mm. El uso del suelo es agrícola y pecuario y una importante zona conurbada de la ciudad de Oaxaca. Las llanuras y Planicies del sur, llamadas localmente “Valle de Zaachila-Zimatlán-Ocotlán”, se extiende de noreste suroeste desde el distrito del Centro al distrito de Ejutla. Su morfología es de llanuras sedimentarias y/o planicies acumulativas de origen lacustres, su altitud varía de 1,470 a 1,600 msnm.

Grupos de suelos dominantes en la Región

De los 32 grupos de suelos de referencia de la WRB 2014, en la región de estudio se registran 10 grupos: 1. Acrisoles; 2. Cambisoles; 3. Fluvisoles; 4. Kastañozems; 5. Leptosoles; 6. Luvisoles; 7.

Phaeozems; 8. Regosoles; 9. Umbrisoles y 10. Vertisoles (Figura 2). Estos suelos corresponden a 10 de las 16 unidades registradas para todo el Estado (Alfaro, 2004). Luvisoles, leptosoles, regosoles y cambisoles son los más abundantes asociados con bosque de coníferas, en tanto que phaeozems, vertisoles, acrisoles, umbrisoles, fluvisoles y kastañozems ocupan menor superficie se asocian con bosque de encino y selva caducifolia. Los suelos con uso agrícolas son principalmente vertisoles y, en menor medida fluvisoles. Los factores formadores son muy diversos.

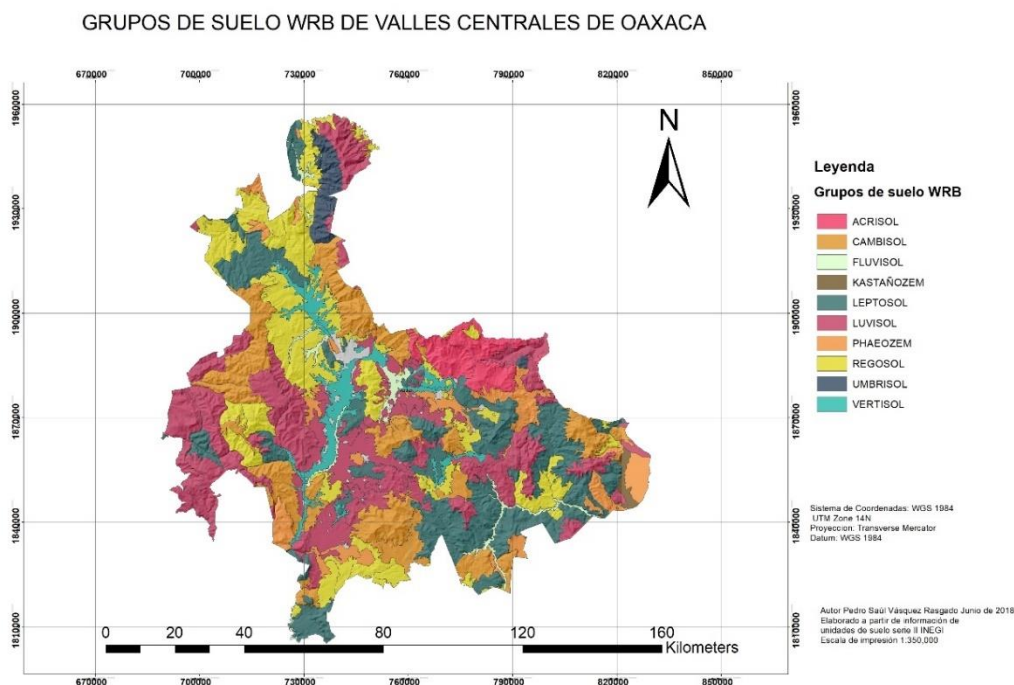


Figura. 2. Suelos dominantes en la región de Valles Centrales de Oaxaca.

La precipitación pluvial anual se encuentra en un rango de 500 a 1,200 mm. El material geológico incluye ígneas, sedimentarias y metamórficas de diferentes eras, desde gneiss del precámbrico. sedimentarias y metamórficas del cretácico, ígneas del terciario y aluviones del cuaternario. A continuación, se describen los principales grupos de suelo de la región, de acuerdo con el ambiente geomorfológico y de mayor a menor grado de desarrollo, indicando características diagnósticas, físicas y químicas para los perfiles ubicados en la región interpretando sus características fisicoquímicas con base en los criterios establecidos en la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2002).

Suelos predominantes en las sierras y montañas

En esta área los suelos de acuerdo con su grado de desarrollo son: Acrisoles, luvisoles, cambisoles, umbrisoles, phaeozems, kastañozems y leptosoles (Cuadro 1). Los acrisoles se localizan en la parte este de las sierras y montañas en el distrito de Tlacolula, ocupan una superficie de 38,107 ha equivalentes al 4.12 %. Son suelos meteorizados con baja saturación de bases en alguna

profundidad. En la región se distribuyen sobre rocas del terciario (tobas ácidas y andesitas); la vegetación asociada es bosque de coníferas, y la precipitación varía de 700 a 1000 mm anuales. Su altitud varía desde 1,800 hasta 2,200 msnm. El Acrisol umbrihúmico crómico registrado por INEGI posee una textura superficial franco arenosa, un horizonte árgico (B2) con acumulación de arcilla, un pH moderadamente ácido, capacidad de intercambio catiónico bajo, saturación de bases menor del 50 % y un contenido de materia orgánica alto.

Los luvisoles se encuentran ampliamente distribuidas en la región ocupando el 26.38% de su superficie con 243,766 ha. Predominan en sierras y montañas, y en menor medida, en premontañas y lomeríos, así como en cuencas y llanuras. Coinciden con diferentes tipos de roca ígneas sedimentarias y metamórficas, la vegetación varía de pastizales, bosque de encino hasta bosque de coníferas; la precipitación varía de 700 a 2,000 mm anuales. Son suelos de colores rojizos que poseen un horizonte árgico (horizonte B2) el cual tiene un mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla). El Luvisol endoléptico cutánico reportado, muestra acumulación de arcilla en el horizonte B, y, a diferencia de acrisol, la saturación de bases es mayor del 50%. Posee además un pH superficial fuertemente ácido y un contenido de materia orgánica alto.

Los cambisoles se encuentran en lomeríos y premontañas poseen una superficie de 151,888 ha (16.44%); asociados con bosque de encino, sobre gneiss y cataclasita, en un rango de 700 a 1000 mm de precipitación anual. En la región solo existe un registro de un perfil del cual no se tomaron muestras para determinar sus propiedades físicas y químicas, solo se indica que presenta un horizonte A ócrico y 0-10 cm de profundidad, de textura franco arenosa; color en húmedo 10YR3/2 (café); estructura en bloques subangulares tamaño medio y desarrollo débil; presenta un horizonte B cámbico de 10-51cm, donde la transformación del material parental es evidente por la formación de estructura en bloques angulares y decoloración principalmente parduzca, color en húmedo 7.5YR4/4 (café), incremento en el porcentaje de arcilla, su textura es arcillosa; su estructura presenta un desarrollo débil. y posee un horizonte C de 51-101 cm.

Los umbrisoles se distribuyen exclusivamente sobre sierras y montañas del norte, bajo bosque de coníferas y sobre rocas metamórficas (cataclasitas), su superficie es de 18,415 ha (1.99%). Corresponden a suelos en los cuales se ha acumulado materia orgánica dentro del suelo superficial mineral. Los umbrisoles a diferencia de kastañozems y Phaeozems poseen una baja saturación de bases. La información de INEGI indica que el perfil corresponde a un umbrisol epiléptico húmico el cual posee una saturación de bases menor del 50 % en su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido un contenido de materia orgánica muy alto.

Los phaeozems se ubican en una altitud de 800 a 1,800 msnm, generalmente sobre tobas ácidas del terciario y en menor medida sobre lutitas y areniscas; se han desarrollado bajo bosques de encino en se encuentra en sierras y montañas, premontañas y lomeríos y cuencas sedimentarias. El perfil registrado en la región corresponde a un phaeozem lúvico húmico con un horizonte superficial (A1), oscuro rico en humus (mólico) y un horizonte B2 árgico (B2t). Posee alta saturación de bases, una textura franca arcillo arenosa, saturación de bases mayor del 50 % en todo su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido de moderado de materia orgánica.

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas del perfil de suelos predominantes en Sierras y montañas

HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
Acrisol umbriúmico crómico, San Miguel Peras. Oaxaca.														
A1	0-19	10	36	54	Ca	5.1	2	5.3	25.8	29	0	0.2	6.3	0.9
A2	19-38	16	32	52	Ca	6.1	2	3.5	22.4	45.7	0	0.1	9.5	0.6
B1	38-71	26	10	64	Cra	6.1	2	0.6	9.0	51.1	0	0.1	4.2	0.3
B2	71-115	34	10	56	Cra	6.1	2	0.5	8.5	43.2	0	0	3.1	0.5
B3	115-150	36	10	54	Ra	6.1	2	0.3	9.0	45.8	0	0.2	3.1	0.8
Luvisol endoléptico cutánico, Santa María Peñoles, Etlá.														
A1	0-24	24	18	58	Cra	4.7	0	1.7	18.5	83.4	0.2	0.4	10.	0.9
B1	24-43	16	38	46	C	5.9	0	0.3	15.3	100	0.2	0.2	19	0.6
B2t	43-73	26	38	36	C	6.1	0	0.3	18.6	100	0.3	0.3	17.	0.3
R	>73	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phaeozem lúvico húmico, San Francisco Teixtlahuaca, Etlá														
A1	0-29	24	18	58	Cra	5.5	1	2.4	26.5	65.7	0.1	0.2	14.	2.4
B1	29-39	22	18	60	Cra	6	1	1.6	21.8	91.3	0.1	0.1	17.	2.5
B21t	39-69	42	16	42	R	6	1	1.1	37.5	81.6	0.1	0.2	24.	5.6
B22t	69-89	38	16	46	Ra	5.1	1	0.8	34.5	71.6	0.2	0.1	19.	5.3
B23	89-101	30	14	56	Cra	5.5	1	0.7	35.8	58.7	0.2	0.2	15	5.6
Umbrisol epiléptico húmico, Santa María Teopoxco, Teotitlán														
A1	0-23	20	26	54	Ca	5.2	1	10.2	30.2	44.7	1.7	0.4	10.	1.2
C1	23-36	30	32	38	Cr	5.3	0	0.7	18.3	14.6	0.3	0.1	1.8	0.5
R	>36	0	0	0	NA	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Leptosol réndzico, Matatlán, Tlaxolula														
A1	0-23	28	30	42	Cr	7.80	1	2.3	26.4	100	0.1	0.3	25.	1.90
R	>23	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H₂O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m⁻¹); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg⁻¹); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg⁻¹); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg⁻¹).

Los kastañozems son suelos asociados con pastizales secos, poseen un horizonte superficial rico en humus como los Chernozems, pero es de menor espesor y no tan oscuro y además muestran acumulaciones de carbonatos secundarios más prominentes. El color castaño-pardo del suelo superficial se refleja en el nombre Kastañozem. INEGI no tiene registrado un perfil en el Estado, la información solo indica que la unidad cartográfica corresponde a un Kastañozem cálcico páquico y se ubica en el distrito de Tlaxolula en el municipio de San Pedro Quiatoni, el cual presenta una textura media, fase superficial pedregosa. El término páquico indica que tiene un horizonte mólico o úmbrico grueso (mayor o igual a 50 cm de espesor). Cálcico se refiere a que posee un horizonte con acumulaciones de carbonato de calcio.

Los leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua, extremadamente gravosos y/o pedregosos. En la región ocupan 179,390ha (19.41%). Se distribuyen principalmente en Sierras y montañas, así como en premontañas y lomeríos, abarcan vegetación de pastizales y bosques, en

altitudes de 1,400 a 2,000 msnm desde climas semiáridos a subhúmedos. Los leptosoles incluyen los suelos que en el anterior sistema FAO se denominaban litosoles, y rendzinas que se desarrollan sobre roca calcárea. El perfil registrado por INEGI es un leptosol réndzico que posee una textura franco-arcillosa, saturación de bases del 100 %, un pH medianamente alcalino, un contenido un contenido medio de materia orgánica.

Suelos predominantes en premontañas y lomeríos

Los regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados presentan un horizonte A ócrico, no son muy someros como los leptosoles, ni arenosos como los arenosoles (Arenosoles) o con materiales flúvicos como los fluvisoles. Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas semiáridas y subhúmedas con gran pendiente y bajo una vegetación de pastizal y bosque de encino. El perfil registrado por INEGI corresponde a un regosol edoléptico éutrico que presenta un horizonte A con 9 cm de profundidad una textura franca arenosa, saturación de bases mayor del 50 % en una parte de su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido alto de materia orgánica. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de los suelos predominantes en Premontañas y lomeríos

Regosol edoléptico éutrico San Miguel Peras, Zaachila														
HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
A1	0-9	20	22	58	Ca	5.2	2	4.5	14	68.9	0	0.3	8.1	1.2
CR1	9-41	12	20	68	Ca	5.9	2	0.6	9.3	57.7	0.1	0.2	3.8	1.3

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H₂O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m⁻¹); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg⁻¹); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg⁻¹); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg⁻¹)

Suelos predominantes en cuencas sedimentarias y llanuras

En estas áreas predominan vertisoles y fluvisoles (Cuadro 3). Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan y poseen una alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan. En la región, se presentan en pendientes menores del 1% y predominan en las llanuras sedimentarias y/o planicies acumulativas de origen lacustres, en los distritos de Zaachila y Zimatlán. Son profundos, muy arcillosos con una saturación de bases mayor del 50 % en todo su perfil, un pH neutro y un contenido un contenido bajo de materia orgánica.

Los fluvisoles comprenden suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles originado de sedimentos de ríos; aunque también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos. El fluvisol endoglético hiperéutrico reportado por INEGI se encuentra en los valles intermontanos de las partes bajas de cuencas sedimentarias, posee una textura arenosa en todo el perfil, saturación de bases mayor del 100 %, un pH moderadamente alcalino y un contenido un contenido muy bajo de materia orgánica.

Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de los suelos predominantes en cuencas y llanuras.

HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
Vertisol pélico mázico, Villa de Zaachila, Zaachila														
A1	0-31	48	20	32	R	7.3	1	1.5	42.8	73.4	0.1	0.4	20.3	10.
A2	31-62	52	20	28	R	7.4	1	1.3	43.5	80.7	0.2	0.2	25.3	9.4
A3	62-93	54	20	26	R	8.2	1	0.8	45.3	84.1	0.1	0.3	26.3	11.
A4	93-125	46	32	22	R	8.4	1	0.3	36.5	100	0.1	0.3	25.6	10.
Ap	0-19	8	24	68	Ca	8.2	1	0.9	12.8	100	0.2	0.4	13.8	2.1
Fluvisol endoglético hiperéutrico San Sebastián Abasolo, Tlacolula														
A12	19-46	10	12	78	Ca	8.3	1	0.1	10.3	100	0.3	0.2	16.6	1.9
C1	46-86	2	4	94	A	8.4	1	0.1	7	100	0.3	0.1	11.6	1.9
C2	89-125	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H₂O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m⁻¹); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg⁻¹); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg⁻¹); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg⁻¹)

DISCUSIÓN

La región de estudio presenta 10 grupos principales de suelos de la WRB, esto representa una gran diversidad si se considera que, para todo el estado de Oaxaca, se han reportado 16 grupos (Alfaro, 2004) y que otros estados como Yucatán que posee igual cantidad (Bautista *et al.*, 2015), pero con una superficie casi 5 veces mayor; y el Estado de Tabasco con 24,661 km² cuenta con 19 grupos mayores de suelos (Palma-López *et al.*, 2017). Esta diversidad de suelos se manifiesta en un mosaico en el que se presentan suelos poco desarrollados como leptosoles hasta altamente desarrollados como los acrisoles. En las sierras y montañas el mosaico de suelos está conformado principalmente por luvisoles y acrisoles asociados con leptosoles, regosoles y cambisoles. En la zona de planicies y lomeríos predominan cambisoles, regosoles, leptosoles y phaeozems; y en la parte baja de cuencas y llanuras se registran vertisoles, phaeozems, luvisoles y fluvisoles.

Esta diversidad encontrada en la región concuerda con otros estudios donde se ha reportado que las regiones montañosas de Oaxaca, particularmente en la sierra sur, se caracterizan por una gran diversidad de suelos en las que se presentan suelos similares alisoles, luvisoles, phaeozems, umbrisoles y cambisoles (García Calderón *et al.*, 2006; Krasilnikov, 2007). La complejidad de la cubierta del suelo en los trópicos y subtropicos húmedos, especialmente en las regiones montañosas, no pueden explicarse completamente por el control climático sobre la formación del suelo, esto es debido principalmente a la complejidad de las condiciones de formación del suelo, material parental, condiciones climáticas, vegetación relieve y procesos geológicos (Krasilnikov, 2011).

La presencia de luvisoles y acrisoles generalmente están asociados a las sierras y montañas con climas húmedos, por lo que su distribución podría atribuirse a una distribución ligada al clima. Sin embargo, en la región se observan también estos suelos en zonas bajas con precipitación entre 500 y 700 mm lo cual es atípico. En Oaxaca la diversidad de suelos se puede explicar en parte por la complejidad del área en cuanto a diferentes procesos geológicos. como la formación de la Sierra Madre del Sur y Sierra Norte de Oaxaca. Los eventos más espectaculares que ocurrieron durante

el Terciario y que de cierta forma cambiaron notablemente las condiciones climáticas (Centeno-García, 2004). Este evento resultó de la intensa erosión hídrica, por un lado, y de la aridización de la parte central del estado, por el otro. La mayoría de las cortezas fueron erosionadas fuertemente. La superficie actual está formada por restos de esas cortezas completas (donde se forman los Acrisoles) o decapitadas hasta la roca, donde se forman leptosoles (Alfaro, 2004)

Los procesos asociados con el relieve, sin embargo, también afectan en forma importante el desarrollo de estos suelos. El tiempo y la erosión contribuyen en la pedodiversidad de las montañas tropicales y subtropicales húmedas y estos factores conducen a la formación de suelos típicos de regiones extratropicales (Gracheva, 2011; Badía *et al.*, 2013)). Los procesos activos de ladera, inducidos por sismos y lluvias fuertes, causan el truncamiento del suelo y la acumulación de material coluvial en la superficie del suelo los suelos se desarrollan desde cambisoles a umbrisoles y luego a alisoles y luvisoles (Krasilnikov *et al.*, 2007). Algunos de ellos pueden estar parcialmente truncados o ser completamente destruidos por deslizamientos de tierra, dando lugar a un nuevo ciclo de suelo formación (García Calderón *et al.*, 2006).

Los vertisoles y fluvisoles asociados con cuencas sedimentarias valles intermontanos en la parte baja formados por materiales aluviales recientes del cuaternario, la cual consiste en una planicie acumulativa de sedimentos continentales de edad reciente, constituidos por unidades carbonatadas, aluvión, gravas, arenas, limos y arcillas (Ortiz-Pérez *et al.*, 2004). Estos resultados concuerdan con otros estudios en los cuales los vertisoles se encuentran en áreas de depresión (Cajuste-Botemps y Gutiérrez, 2011). Con respecto a esta unidad cabe mencionar, que de acuerdo con los recorridos de campo; así como de los perfiles complementarios y entrevistas con productores locales existen indicios de que los vertisoles están sobrerrepresentados en la cartografía ya que se observó que más que los vertisoles, los fluvisoles son los que predominan en las partes bajas de cuencas y llanuras, por lo que se recomienda para estudios futuros el muestreo más intensivo con perfiles de campo, el empleo de imágenes para delimitar unidades de suelo (Rodríguez y González, 2010). Estos suelos han sido empleados para la agricultura desde la época colonial en que se asentaron las principales haciendas que proveyeron de productos agrícolas y ganado para la población del valle (Taylor, 1973).

En cuanto a las propiedades de los suelos y la vegetación asociada, se puede observar que los suelos asociados con vegetación forestal son luvisoles, acrisoles, cambisoles regosoles, kastañozems, en general son suelos ácidos y con un alto contenido de materia orgánica, esto concuerda con otros resultados obtenidos en la sierra norte de Oaxaca (Vergara *et al.*, 2005); y en la sierra sur, particularmente los derivados de roca gneiss (Krasilnikov *et al.*, 2007). En particular los suelos asociados a bosque de coníferas muestran valores más altos de materia orgánica (Segura-Castruita *et al.*, 2005; Cruz-Flores y Etchevers-Barra, 2011).

CONCLUSIONES

La compilación y síntesis de información edafológica y geomorfológica el presente estudio permitió, identificar y delimitar los grupos de referencia de los suelos los Valles Centrales de Oaxaca a escala 1:250,000. La diversidad de los suelos de la región es amplia, se identificaron 10 grupos principales de suelos de referencia de la WRB: luvisoles, leptosoles, regosoles, cambisoles, phaeozems, vertisoles, acrisoles, umbrisoles, kastañozems y fluvisoles. La diversidad y distribución de los suelos en las áreas montañosas no se puede explicar únicamente por factores

climáticos por lo que se sugiere investigar el papel de procesos activos de pendientes como deslizamientos y erosión en la génesis de estos suelos. El conocimiento de esta diversidad importante ya que suelos diversos disminuyen los riesgos climáticos para la agricultura, si se considera que al menos algunos suelos mantienen su productividad en años excesivamente húmedos o secos, o después de la perturbación del agroecosistema lo que permitiría con un adecuado manejo consolidar su seguridad alimentaria y producir recursos para la región

En general lo observado en los recorridos de campo coinciden con lo representado en la cartografía, excepto en con los vertisoles, ya que no se observó una predominancia de estos esto es se ubicaron en áreas más restringidas. Los vertisoles son los de con mayor uso y capacidad agrícola corresponden a vertisoles que son suelos profundos, arcillosos con gran capacidad de retención de humedad de neutros a ligeramente alcalinos. Los suelos asociados con vegetación forestal son: Luvisoles, acrisoles, umbrisoles phaeozems y kastañozems y son ácidos, con abundante materia orgánica. En general corresponden suelos profundos, ácidos, con baja saturación de bases, profundos y con un alto contenido de carbono orgánico.

La Base Referencial Mundial del Recurso Suelo empleada permite establecer un marco de referencia para futuros estudios en los cuales se actualice y detalle la información edafológica tanto en su delimitación territorial como en su clasificación taxonómica ante actualizaciones de la WRB. Este conocimiento permitirá manejar un lenguaje científico común que facilitará el intercambio de información y experiencia, a nivel nacional e internacional que permitirá fortalecer las aplicaciones de la ciencia del suelo; tener información útil para apoyar el desarrollo, la planificación rural y el ordenamiento de las tierras de la región lo cual es un requisito esencial para la sostenibilidad de la región.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, S. G. 2004. Suelos. *En*: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) Biodiversidad de Oaxaca. México: UNAM. Ciudad de México. pp. 55-65.
- Badía, D., C. Martí, J. M. Aznar, y J. León. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma* 193-194: 13-21.
- Bautista, F., O. Frausto y I. Thomas. 2015. Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfológico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(6): 303-315.
- Cajuste-Botemps, L. L. y C. M. C. Gutiérrez. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México. *En*: P. Krasilnikov, F. J. Jimenez-Nava, T. Reyna-Trujillo y N. E. Garcia-Calderon (eds.) Geografía de suelos de México. UNAM. Ciudad de México. pp. 73-86.
- Centeno-García, E. 2004. Configuración geológica del estado. *En*: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) Biodiversidad de Oaxaca. UNAM. Ciudad de México. pp. 29-42.
- Cruz-Flores, G. y J. D. Etchevers-Barra. 2011. Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia* 45(8): 849-862.
- Ferrusquia-Villafranca, I. 2005. Geologic evolution of the valle de Oaxaca graben. Salt Lake City. p. 68.
- García Calderón, N. E., A. Ibáñez Huerta, G. Álvarez Arteaga, P. V. Krasilnikov, y A. Hernández Jiménez. 2006. Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico. *Canadian Journal of Soil Science* 86(1): 61-76.
- Gracheva, R. 2011. Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: Rocks, time, and erosion. *Geomorphology* 135(3-4): 224-231.

- INEGI, 1980. Atlas Nacional del Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. Ciudad de México.
- INEGI. 2007a. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1:250 000 serie II. Continuo Nacional (E14-9 y E14-12).
- INEGI. 2007b. Conjunto de datos vectoriales Perfiles de suelos. Escala 1:1 000 000 Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/> [Consultado: 15 Enero 2018].
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.
- Krasilnikov, P., N. E. García-Calderón y E. Fuentes-Romero. 2007. Pedogenesis and slope processes in subtropical mountain areas, Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(3): 469-486.
- Krasilnikov, P; N. E. García-Calderón, M. S. Galicia-Palacios. 2007. Soils developed on different parent materials. *Terra Latinoamericana* 25(4): 335-344.
- Krasilnikov, P. V. 2011. Distribución espacial de los suelos y los factores que la determinan. En: P. Krasilnikov, F. J. Jimenez-Nava, T. Reyna-Trujillo y N. E. Garcia-Calderon. (eds.) *Geografía de suelos de México*. UNAM. Ciudad de México. pp. 1-41.
- Lehmann, J. y M. Kleber. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528(7580): 60-68.
- Ortiz-Pérez, M. A., J. R. Hernández-Santana y J. M. Figueroa-Mah-Eng. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. Biodiversidad de Oaxaca. In: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) *Biodiversidad de Oaxaca*. Ciudad de México: UNAM. pp. 43-54.
- Palma-López, D. J., R. Jiménez J. Ramírez, Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi Reyes, D. Y. Palma-Cancino. 2017. Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agro Productividad* 10(12): 29-35.
- Rodríguez, M. G. y M. P. González. 2010. Cartografía mediante imágenes landsat de suelos salinos en la tierra de Medina (Valladolid). *Estudios Geográficos* 71(268): 161-176.
- Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán, C. A. Ortiz-Solorio, y M. Gutiérrez-Castorena. 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23(1): 21-28.
- SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México. 31 diciembre.
- Taylor, W. B. 1973. Haciendas coloniales en el valle de Oaxaca. *Historia Mexicana* 23(2): 284-329.
- UABJO SEMARNAT, 2012. Caracterización del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca. Componente natural. Disponible en: http://www.ordenamientoecologico.oaxaca.gob.mx/sites/default/files/pdf/componente_ambiental_web.pdf
- Vergara, M. A., Jorge, E. y J. Padilla. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(3): 259-266.
- Zavala-Cruz, J. R. R. Jiménez, D. J. Palma-López, F. Z. Bautista, F. G. Reyes. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(8): 161-171.