

# NOTA DE INVESTIGACIÓN

## LOS SUELOS DEL ESTADO DE MÉXICO Y SU ACTUALIZACIÓN A LA BASE REFERENCIAL MUNDIAL DEL RECURSO SUELO 2006

### THE SOILS OF MEXICO STATE AND THEIR UPDATE TO THE WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES 2006

Erasto Domingo Sotelo Ruíz<sup>1</sup>, Antonio González Hernández<sup>2</sup>, Gustavo Cruz Bello<sup>3</sup>, Francisco Moreno Sánchez<sup>2</sup> y Gustavo Cruz Cárdenas<sup>4</sup>

#### RESUMEN

El suelo es uno de los principales recursos naturales, en el cual se sustentan los bosques y la producción de alimentos para una población que crece cada día. Contar con información actualizada sobre este recurso y su distribución facilita la planeación y clasificación de las actividades agropecuarias y de manejo de los bosques. La clasificación de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) denominada Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), ha sido mejorada con ello se aumentó su precisión. Los objetivos de esta investigación fueron actualizar la clasificación de la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía escala 1:50,000 de los suelos del Estado de México de la clasificación FAO 1970, a la versión de suelos de la WRB 2006; además de cuantificar la superficie de las Unidades y Subunidades de sus suelos y delimitar su distribución. Los suelos dominantes en el estado son los Andosoles con 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems con 4,727.18, Regosoles con 2,656.83, Vertisoles con 2,414.85 y Cambisoles con 1,960.47 km<sup>2</sup>. Se agregaron los Leptosoles que agruparon a los Rankers, Rendzinas y Litosoles; estos suelos se denominan como Leptosoles Líticos (LPli), los cuales cubren 1,749.68 km<sup>2</sup> y tienen una profundidad menor a 10 cm. Con ello se reduce el área para la producción de cultivos.

**Palabras clave:** Andosoles, cartografía de suelos, Leptosoles, planeación agropecuaria y forestal, recursos naturales, unidades de suelo.

#### ABSTRACT

Soil is one of the main natural resources, in which support forests and food production for an ever growing population. To have present-day information about this resource and its distribution help to plan and classify agricultural and game activities as well as forest management. The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) soil classification known as World Reference Base for Soil Resources (WRB) has been improved, and thus, it has increased its precision. The aim of this research was to update the FAO 1970 1:50,000 cartography of the National Statistics and Geography Institute of Mexico State to the WRB 2006 version, as well as to quantify the area of the Units and Subunits of its soils and to fix the boundaries of its distribution. The dominant soils in the State are Andosols with 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems with 4,727.18, Regosols with 2,656.83, Vertisols with 2,414.85 and Cambisols with 1,960.47 km<sup>2</sup>. Leptosols were added, which included Rankers, Rendzinas and Litosols, and were named as Liptic Leptosols (LPli), which cover 1,749.68 km<sup>2</sup> and are less than 10 cm deep. With this support, the area for crop production is reduced.

**Key words:** Andosols, soil cartography, Leptosols, agriculture and livestock planning, natural resources, soil units.

Fecha de recepción: 30 de abril de 2009.

Fecha de aceptación: 23 de diciembre de 2011.

<sup>1</sup>Campo Experimental Toluca, CIR- Centro, INIFAP. Correo-e: sotelo.erasto@inifap.gob.mx

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP.

<sup>3</sup>ExInvestigador del CENID-COMEF, INIFAP

<sup>4</sup>Génesis y Clasificación de Suelos, Colegio de Postgraduados.

El suelo es uno de los recursos naturales más significativos en la vida del hombre por su relación directa con el desarrollo de los bosques, la producción de alimentos y fibras (Ortiz *et al.*, 1990; Ortiz y Gutiérrez, 1999). Los estudios de los recursos naturales se facilitan mediante el almacenamiento, el análisis y la reproducción de datos computarizados. Este sistema ofrece ventajas cuando el país o la organización que realiza la evaluación poseen equipo de cómputo necesario para el almacenamiento de datos (FAO, 1985).

Existen diferentes definiciones de los suelos, en función del enfoque, basadas en diversas propiedades: físicas, químicas, de nutrición, microbiológicas, de fertilidad, de génesis y de clasificación. En el presente trabajo, se toman en cuenta la génesis y la clasificación de suelos. Así, entre ellas se pueden citar aquellas que considera al suelo como el continuo de espacio-tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre, con un espesor de pocos centímetros y donde se desarrollan las raíces de las plantas (Fitzpatrick, 1987; Fitzpatrick, 1996). Para Boul *et al.* (2004) son cuerpos naturales que exhiben sus características en forma tridimensional; en tanto que, para Brady y Weil (1999) el suelo es un cuerpo natural tridimensional en el mismo sentido que es una montaña, lago o valle.

Las siguientes definiciones son más completas y tienen el propósito de clasificar a los suelos según la Taxonomía de suelos y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) o la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). El *Soil Survey Staff* (1992; 1994) establecen que el suelo es una colección de cuerpos naturales, formados a partir de materiales minerales y orgánicos, que cubren gran parte de la superficie terrestre, contienen materia viva y pueden soportar vegetación en forma natural y, en algunos lugares, han sido transformados por la actividad humana. La palabra Suelo, como otras, tienen diversos significados. En sentido tradicional "es el medio natural para el crecimiento de las plantas, puede tener o no horizontes discernibles".

El suelo es un cuerpo natural integrado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren sobre la superficie de la tierra, ocupan un lugar en el espacio y se caracterizan por tener horizontes o capas, que se distinguen del material inicial por ser el resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformación de energía y materia; además poseen la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 1998; Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2003; Soil Survey Staff, 2006; Wilding, 2000).

La Clasificación de la FAO-WRB define a los suelos como la combinación vertical de horizontes presentes dentro de una profundidad específica y por la organización lateral

Soil is one of the most important natural resources for man because of the direct relation with the development of forests, food production and fibers (Ortiz *et al.*, 1990; Ortiz and Gutiérrez, 1999). Natural resources studies facilitate through storing, analysis and reproduction of computerized data. This system is good when the country or the organization that carries out the assessment have the right computation equipment to keep data (FAO, 1985).

There are different definitions of soils, according to their approach, based upon several properties: physical, chemical, nutritional, microbiological, of fertility, genesis and classification. In the actual work are taken into account genesis and classification of soils. Thus, among them can be quoted those that consider soil as the continuum of space and time that make up part of the terrestrial cortex, with the thickness of a few centimeters and where the roots of plants develop (FitzPatrick, 1987, 1996). For Boul *et al.* (2004), they are natural bodies that show their characteristics in a three-dimensional way, while for Brady and Weil (1999), soil is a natural three-dimensional body in the same sense as a mountain, a lake or a valley.

The following definitions are more complete and have the aim of classifying soils according to the Taxonomy of Soils and the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) or the World Reference Base for Soil Resources (WRB). The *Soil Survey Staff* (1992; 1994) states that soil is a collection of natural bodies, formed from mineral and organic materials, that cover great part of the terrestrial surface, have live matter and can support vegetation in a natural way and, in some places, have been transformed by human activities. The word "Soil", as many others, has different meanings. In a traditional context, "it is the natural means for plant growth, and it may have or not, discernible horizons".

Soil is a natural body formed by solids (minerals and organic matter), liquids and gases that occur over the surface of the Earth, that have a place in space and that have horizons or layer, that are distinguished from the original material as they result from additions, losses, transferences and transformation of energy and matter; also, they have the ability to support plant roots in a natural environment (Soil Survey Staff, 1998; Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2003; Soil Survey Staff, 2006; Wilding, 2000).

FAO-WRB Classification defines soils the vertical combination of the present horizons in a specific depth and by the lateral organization (sequence) of horizons or by their absence at a scale that is at a scale that reflects in relief or that conceptualize it as a continuous natural body which has three special and temporal dimensions. The three most important properties of soil are: 1) they are formed by minerals and organic elements and include a solid, liquid and gaseous phase; 2) materials are organized into specific structures in the

(secuencia) de horizontes o por su ausencia, a una escala que se refleja en el relieve o lo conceptualizan como un cuerpo natural continuo, el cual tiene tres dimensiones espaciales y una temporal. Las tres principales propiedades de un suelo son: 1) están formados por minerales y elementos orgánicos e incluye las fases sólida, líquida y gaseosa; 2) los materiales están organizados en estructuras específicas en el medio pedológico. Estas forman el aspecto morfológico de la cobertura del suelo, equivalente a la anatomía de un ser vivo. Su estudio facilita el entendimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, que, a su vez, permite explicar el pasado, presente y futuro del suelo y 3) el suelo está en constante evolución, tiene una cuarta dimensión: el tiempo.

Por consiguiente, los objetivos de la clasificación WRB son identificar y clasificar cualquier material, hasta una profundidad de 2 m de la superficie de la tierra, que está en contacto con la atmósfera, a excepción de los organismos vivos, las áreas con hielos continuos no cubiertos por otro material y los cuerpos de agua más profundos de 2 m. La definición incluye roca continua, suelos con pavimento urbano, suelos de áreas industriales, de cuevas, así como los suelos subacuáticos (IUSS Working Group WRB, 2006).

## Clasificación de suelos

Los principales sistemas de clasificación que se utilizan en el mundo son la Taxonomía (Soil Survey Staff, 2006) y el Sistema de la FAO-WRB (IUSS Working Group WRB, 2006), cuyos criterios son:

- 1) Contenido de materia orgánica y arcilla
- 2) Horizontes superficiales o epipedones
- 3) Horizontes subsuperficiales
- 4) Otras características de diagnóstico
- 5) Régimen de humedad del suelo
- 6) Régimen de temperatura del suelo.

Estos determinan el nombre de los suelos a nivel de Suborden, hacia las demás categorías inferiores en la Taxonomía y a Nivel de Subunidad en la WRB (IUSS Working Group WRB, 2006; Soil Survey Staff, 2006). Sin embargo, la WRB (2006) no contempla el clima para la clasificación de las unidades edáficas, esto es, no incluye los puntos cinco y seis.

Taxonomía de suelos. Es un sistema de clasificación morfogenético, que consiste en claves para clasificar a los suelos del mundo; su primera versión la publicó el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 1960. Consta de seis categorías de mayor a menor jerarquía: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie (Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2006).

Sistema FAO-WRB. Consta de dos categorías: Unidad y Subunidad. Este sistema se inicia en 1974, con la publicación

pedologic media. They form the morphology aspect of soil cover, which is equivalent to the anatomy of a living organism. Their study makes it easier to understand the physical, chemical and biological properties which lets to know the past, present and future of soil, and 3) soil is continuously evolving, as it has a fourth dimension: time.

Thus, the aims of the WRB classification are to identify and classify any material up to 2 m deep at the surface of earth, that is in contact with the atmosphere, except for living organisms, areas with permanent cover of ice not covered by other material and water bodies deeper than 2 m. The definition includes continuous rock, soils with urban pavement, soils of industrial areas, of caves, as well as underwater soils (IUSS Working Group WRB, 2006).

## Soil Classification

The main classification systems that are used in the world are Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006) and the FAO-WRB System (IUSS Working Group WRB, 2006), with the following criteria:

- 1) Organic matter and loam content
- 2) Superficial horizons or epipedons
- 3) Subsuperficial horizons
- 4) Other diagnosis characteristics
- 5) Soil moisture regime
- 6) Soil temperature regime

They determine the name of the soils at the Suborder level, towards the rest of the lower Taxonomy categories and at the Subunit Level of WRB (IUSS Working Group WRB, 2006; Soil Survey Staff, 2006). However, WRB (2006) does not consider the weather for the classification of the edaphic units, that is, it does not include points 5 and 6.

Soil Taxonomy. It is a morphogenetic classification system, with keys to classify the soils of the world; the first edition was published in 1960 by the United States Department of Agriculture. It includes 6 categories from a major to a minor hierarchy: Order, Suborder, Great group, Subgroup, Family and Series (Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2006).

FAO-WRB System. It has two categories: Unit and Subunit. This system was started in 1974, with the FAO/UNESCO (1974) Legend of the Soil Maps of the World and their units do not match exactly with the categories of other systems, but in general, they are comparable in "great groups" with the soil taxonomy of the Soil Survey Staff.

WRB aim is to develop an international system good enough to describe soil, which can link and relate with national classifications by FAO Reviewed Legend as a basic structure; to provide a solid scientific base to this structure to be used

de la Leyenda del Mapa de suelos del Mundo (FAO/UNESCO, 1974) y sus unidades no corresponden exactamente con las categorías de otros sistemas, pero en general son comparables, en "grandes grupos" con la taxonomía de suelos del *Soil Survey Staff*.

La WRB tiene como objetivos desarrollar un sistema internacional aceptable para describir al suelo, el cual pueda vincularse y relacionarse con las clasificaciones nacionales, mediante la Leyenda Revisada de FAO como estructura básica; proporcionar una base científica sólida a esta estructura, para su uso en diferentes áreas: manejo de bosques, agricultura, geología, hidrología y ecología; reconocer dentro de la estructura importantes relaciones espaciales de suelos y horizontes edáficos, los cuales tienen topografía y cronosecuencia; además de enfatizar la caracterización morfológica de los suelos, sobre la aproximación analítica basada en el análisis de laboratorio (FAO-ISRIC y SICS, 1999; ISSS-ISRIC-FAO, 1994; IUSS Working Group WRB, 2006).

La WRB está diseñada como un medio de comunicación sencillo entre científicos del suelo para identificar, caracterizar y nombrar tipos principales de suelos, finalmente es una herramienta para identificar estructuras pedológicas y su significado (FAO-ISRIC y SICS, 1999; IUSS Working Group WRB, 2006).

La cartografía de México se integra en seis cartas escala 1:1,000,000, todas ellas incluyen el aspecto edafológico; 122 cartas escala 1:250,000, de las cuales 49 son edafológicas y cubren 1,148,989 km<sup>2</sup>, que representa 59.4% del territorio nacional y 2,313 cartas a 1:50,000, 754 de las cuales son edafológicas, que comprenden 725,725 km<sup>2</sup> y que equivalen a 37.5% de la superficie total del país. Las cartas edáficas se elaboraron en 1970, por lo que es necesario actualizarlas a una escala 1:50,000 que permita conocer, ubicar y cuantificar los suelos y así definir el manejo adecuado para cada uno de ellos (INEGI, 2005).

Los objetivos de esta investigación consistieron en actualizar la clasificación de la cartografía de INEGI escala 1:50,000 de los suelos del Estado de México, de la clasificación FAO 1970 a la versión de suelos de la WRB 2006, cuantificar la superficie de las Unidades y Subunidades edafológicas y delimitar su distribución.

### Localización de la zona de estudio

El Estado de México tiene 22,499.95 km<sup>2</sup>, que representan 1.1% del territorio nacional. Se localiza entre los paralelos 18° 21' 15" y 20° 17' 00" N y los meridianos 98° 35' 30" y 100° 37' 00" O. Colinda al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo, al este con Puebla y Tlaxcala, al sur con Morelos y Guerrero,

en diferentes áreas: forest management, agriculture, geology, hydrology and ecology; to recognize within the structure, important space relations of soils and edaphic horizons, which have topography and chronosequence; in addition, to emphasize the morphologic composition of soils upon the analytic approach based on laboratory analysis (FAO-ISRIC and SICS, 1999; ISSS-ISRIC-FAO, 1994; IUSS Working Group WRB, 2006).

WRB is designed a simple communication media among scientists of soil to identify, describe and name main types of soils and at the end, it is a tool to identify pedologic structures and their meaning (FAO-ISRIC y SICS, 1999; IUSS Working Group WRB, 2006).

The cartography of Mexico is made up by 6 1:1,000,000 maps, which refer to edaphology; 122 1:250,000 maps, from which 49 are edaphologic and cover 1,148,989 km<sup>2</sup> which is equivalent to 59.4% of the total national territory and 2,313 1:50,000 maps, 754 of which are edaphologic and cover 725,725 km<sup>2</sup>, which is 37.5% of the total national territory. The edaphic maps were made in 1970, which makes it necessary to update them at a 1:50,000 scale making it possible to know, locate and quantify soils and thus, to define the right management for each one of them (INEGI, 2005).

The aims of this research study were to update the cartographic classification of INEGI at 1:50,000 of the soils of Mexico State, from FAO 1970 classification to the WRB (2006) version; to quantify the area of the edaphic Units and Subunits and to put the boundaries to their distribution.

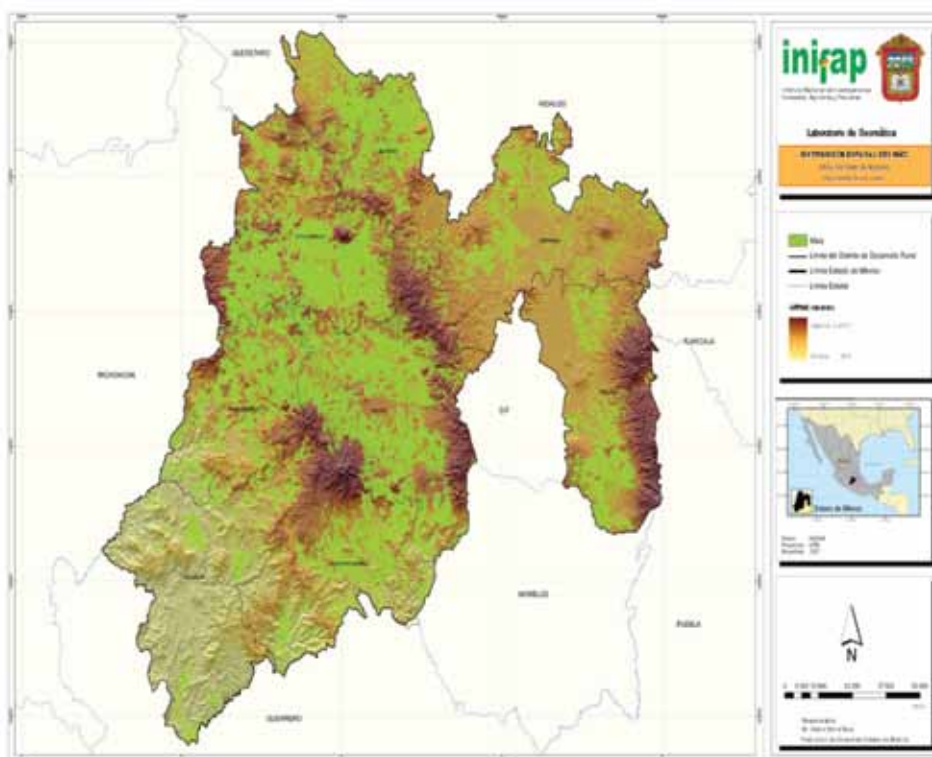
### The study area

Mexico State covers 22,499.95 km<sup>2</sup>, which are 1.1% of the national territory. It is located between 18° 21' 15" and 20° 17' 00" N and 98° 35' 30" and 100° 37' 00" W. To the north are Querétaro and Hidalgo States, to the east, Puebla and Tlaxcala States, to the south, Morelos and Guerrero States, to the west, Michoacán State and it engulfs Distrito Federal (INEGI, 1999; INEGI, 2001) (Figure 1).

According to Köppen and adjusted by García (1988), the main climates that prevail in the high valleys of the north, center and east of the State are mild; semi-cold is the next one because of its importance and extent, which is present at the center and east, mainly over Valle de Toluca. In a smaller proportion, there are warm and semi-warm climates, which are at the extreme south of the State, where it neighbors Guerrero, Morelos and Michoacan States. Cold weather dominates small zones of the higher parts such as Nevado de Toluca and Popocatepetl volcano (INEGI, 1999; INEGI, 2001).

al oeste con Michoacán y envuelve al Distrito Federal (INEGI, 1999; INEGI, 2001) (Figura 1).

Annual mean temperatures vary from 6 °C to 28 °C. Annual precipitation, from 600 to 1,800 mm. Height over sea level,



Fuente: INEGI (2005).  
Source: INEGI (2005).  
Figura 1. Localización del Estado de México.  
Figure 1. Location of Mexico State

Los principales climas, de acuerdo con Köppen y modificados por García (1988), son el templado que predomina en los valles altos de la parte norte, centro y este de la entidad. Le sigue en importancia y extensión el clima semifrío, que se distribuye en regiones del centro y este, principalmente en el Valle de Toluca. En menor proporción están los climas cálidos y semicálidos, los cuales se ubican en el extremo sur del estado, en los límites con Guerrero, Morelos y Michoacán. El clima frío impera en pequeñas zonas de las partes más elevadas como el Nevado de Toluca y el volcán Popocatepetl (INEGI, 1999; INEGI, 2001).

Las temperaturas medias anuales van de 6 °C a 28 °C. La precipitación anual oscila entre 600 y 1,800 mm. La altura sobre el nivel del mar va de 340 a 5,100 m. Los suelos predominantes son: Feozem háplico (PHh), Andosol úmbrico (ANu), Vertisol eútrico (VRe), Regosol eútrico (RGe) y Arenosol háplico (ARh) (INEGI, 2001; FAO-ISRIC y SICS, 1999; SEMARNAP, 1999).

En primera instancia se realizó el acopio de la cartografía edafológica escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática que cubre al Estado

from 340 to 5,100 m. The dominant soils are: haplic Feozem o (PHh), umbric Andosol (ANu), eutric Vertisol (VRe), eutric Regosol (RGe) and haplic Arenosol (ARh) (INEGI, 2001; FAO-ISRIC y SICS, 1999; SEMARNAP, 1999). The first instance was to gather the edaphologic cartography 1:50 000 of the National Institute of Statistics, Geography and Informatics that covers Mexico State (INEGI, 1974).

The edaphic inventory was achieved by the digitalization of 43 state maps of the 6.0 version of the ARC/INFO program (ESRI, 1992) (Table 1).

The cartographic information of soils belongs to the 1974- 1985 period (FAO/UNESCO, 1974; SHR, 1974). The data base that was generated was classified and updated to FAO soil version (1988), FAO-ISRIC and SICS (1999) and IUSS Working Group WRB (2006).

Once they were digitalized, they were reviewed and inconsistencies between adjoining maps were corrected. Later, the data base of each map was made with the following entries: primary and secondary soil units, texture and physical

de México (INEGI, 1974). El inventario edáfico se creó mediante la digitalización de las 43 cartas estatales en el programa ARC/INFO versión 6.0 (ESRI, 1992) (Cuadro 1).

and chemical phases. The digital archives of the 43 maps were imported to the geographic information system ARCGIS 9.0 version (ESRI, 2006) in shape format, which were put together into one single edaphologic map (Figure 2).

Cuadro 1. Cartas Edafológicas que cubren al Estado de México, escala 1:50,000.  
Table 1. 1:50,000 Soil maps for Mexico State.

Número	Clave	Nombre	Número	Clave	Nombre
1	F14C77	San Juan del Río	23	E14A49	Milpa Alta
2	F14C86	Amealco	24	E14A55	Bejucos
3	F14C87	Polotitlán	25	E14A56	Tejupilco
4	F14C88	Tula	26	E14A57	Ixtapán de la Sal
5	F14C89	Mixquihuala	27	E14A58	Tenancingo
6	F14D81	Pachuca	28	E14A59	Cuernavaca
7	E14A16	El oro	29	E14A65	Palmar Chico
8	E14A17	Atlacomulco	30	E14A66	Amatepec
9	E14A18	Tepeji	31	E14A67	Pilcaya
10	E14A19	Zumpango	32	E14A68	Taxco
11	E14A26	Agangueo	33	E14A75	Ciudad Altamirano
12	E14A27	Ixtlahuaca	34	E14A76	Arcelia
13	E14A28	Villa del Carbón	35	E14B11	Tizayuca
14	E14A29	Cuautitlán	36	E14B12	Ciudad Sahagún
15	E14A36	Villa de Allende	37	E14B21	Texcoco
16	E14A37	Zinacantepec	38	E14B22	Apan
17	E14A38	Toluca	39	E14B31	Chalco
18	E14A39	Ciudad de México	40	E14B32	Mariano Arista
19	E14A45	Tuzantla	41	E14B41	Amecameca
20	E14A46	Valle de Bravo	42	E14B42	Huejotzingo
21	E14A47	Nevado de Toluca	43	E14B51	Cuautla
22	E14A48	Tenango			

La información cartográfica de los suelos corresponde al periodo 1974 a 1985 (FAO/UNESCO, 1974; SHR, 1974). La base de datos generada se clasificó y actualizó a la versión de suelos de la FAO (1988), FAO-ISRIC y SICS (1999) y IUSS Working Group WRB (2006).

Una vez digitalizadas las cartas, se revisaron y corrigieron las inconsistencias entre cartas contiguas. Posteriormente se elaboró la base de datos de cada carta con los campos unidad de suelo primario y secundario, textura y las fases físicas y químicas. Los archivos digitales de las 43 cartas se importaron al sistema de información geográfica ARCGIS versión 9.0 (ESRI, 2006) en formato shape, las cuales se unieron en un solo mapa edafológico (Figura 2).

En ARCGIS se cambió la base de datos de las unidades de suelo de la clasificación FAO-UNESCO 1970 a la clasificación FAO 1988 y WRB 2006. Se adicionaron tres nuevos campos para tener las tres clasificaciones (1988, 1999 y 2006) en el mismo mapa. A continuación se procedió a recortar el Estado

By means of ARCGIS the data base of the soil units of FAO-UNESCO 1970 classification were changed to the FAO 1988 and WRB 2006 classification. Three new entries were added to have the three classifications 1988, 1999 and 2006) in the same map. Next, Mexico State was cut in ARCGIS and the area for each one of the Units was calculated. Finally, in ARGIS maps with Soil Units update to WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) were designed.

Keys to classify and identify soils in FAO-WRB. To describe and define the Soil Units for FAO and WRB, characteristics, properties and horizons were used, which were combined to define soils and their relations (FAO/UNESCO, 1974; IUSS Working Group WRB, 2006; SRH, 1974) (Table 2).

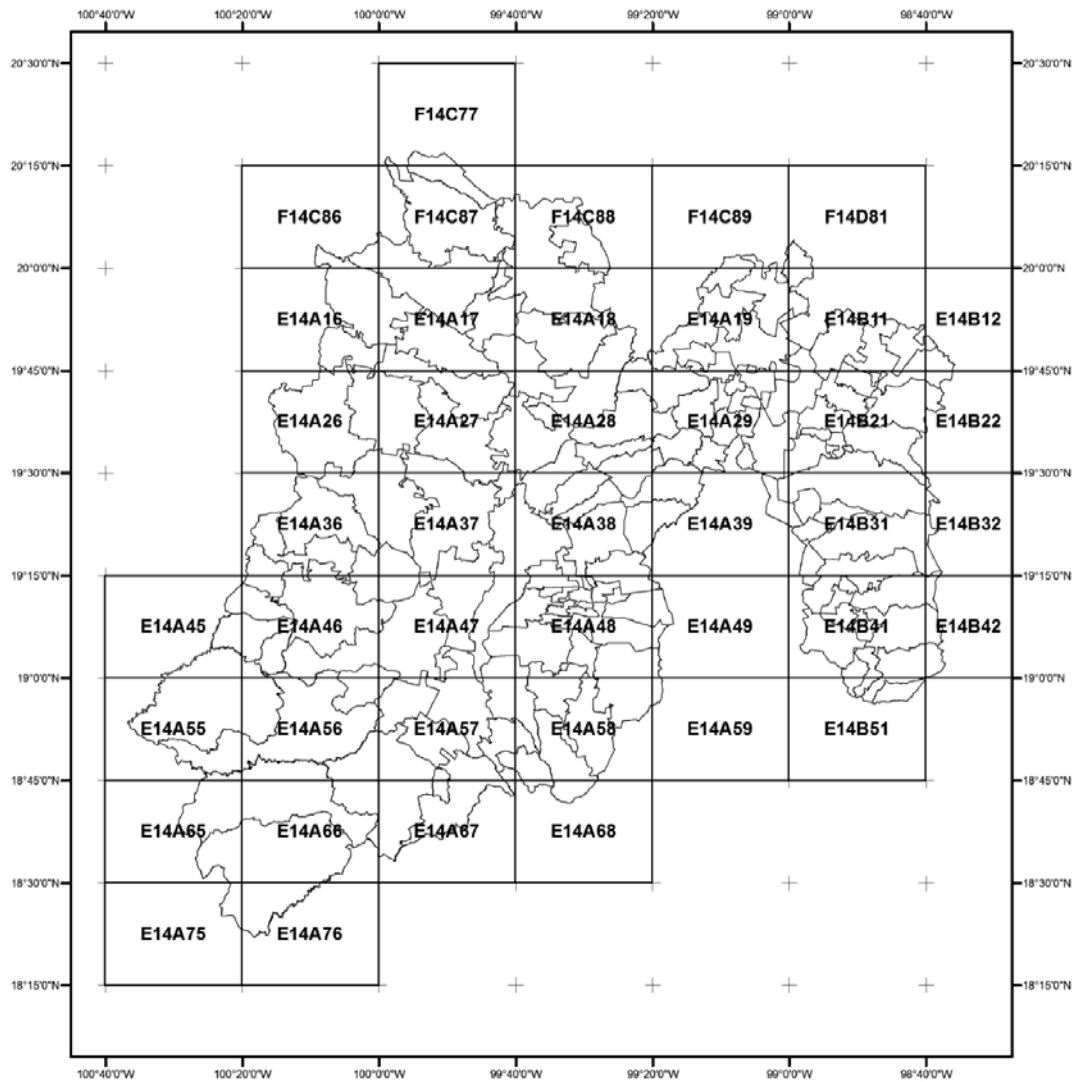


Figura 2. Cartografía edafológica escala 1:50,000 que cubre al Estado de México.  
 Figure 2. 1:50,000 Soil cartography for Mexico State.

de México en ARCGIS, y se calculó la superficie para cada una de las Unidades. Finalmente, se diseñaron los mapas en ARGIS con las Unidades de suelos actualizadas a la WRB (IUSS Working Group WRB, 2006).

Claves para clasificar e identificar los suelos en la FAO-WRB. Para describir y definir las Unidades de suelos de la FAO y la WRB se usaron las características, propiedades y horizontes, que se combinaron para definir a los suelos y sus relaciones (FAO/UNESCO, 1974; IUSS Working Group WRB, 2006; SRH, 1974). (Cuadro 2).

Los resultados de las Unidades y Subunidades de suelos de la clasificación de la FAO/UNESCO de 1974 a la versión de la WRB de 2006 se presentan en cuadros y la distribución de cada Unidad se muestra en un mapa.

The results of the Units and Subunits of soils of the FAO/UNESCO (1974) classification to the WRB (2006) version are in tables and their distribution of each Unit in a map.

In Table 3 are shown the different Units and Subunits, while in Table 4, are the Units and the areas that they cover in the State (Figure 3). The dominant soils are Los suelos Andosols with 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems with 4,727.18, Regosols with 2,656.83, Vertisols with 2,414.85 and Cambisols with 1,960.47 km<sup>2</sup>

In regard to the total area, there is a difference of 179.64 km<sup>2</sup> compared to what is in the record for Mexico State which at the end sums up 22, 499.95 km<sup>2</sup>. It is worth-noticing that the boundaries that were used in this study were taken from INEGI (1999), which explains that difference.

Cuadro 2. Unidades de suelos y su simbología de las diferentes versiones de la clasificación FAO-WRB.  
Table 2. Soil units and symbols of the different versions of the FAO-WRB classification.

FAO 1970	FAO 1988	Unidades de suelo WRB 1999	WRB 2006
Acrisoles (A)	Acrisoles (AC)	Acrisoles (AC) Albeluvisoles (AB)	Acrisoles (AC) Albeluvisoles (AB)
Andosoles (T)	Alisoles (AL) Andosoles (AN) Antrosoles (AT)	Alisoles (AL) Andosoles (AN) Antrosoles (AT)	Alisoles (AL) Andosoles (AN) Antrosoles (AT)
Arenosoles (Q)	Arenosoles (AR) Calcisoles (CL)	Arenosoles (AR) Calcisoles (CL)	Arenosoles (AR) Calcisoles (CL)
Cambisoles (B) Chernozems (C)	Cambisoles (CM) Chernozem (CH)	Cambisoles (CM) Chernozem (CH) Crisoles (CR) Durisoles (DU)	Cambisoles (CM) Chernozem (CH) Crisoles (CR) Durisoles (DU)
Feozems (H) Ferrasoles (F) Fluvisoles (J) Gleysoles (G) Greyzems (M)	Feozems (PH) Ferrasoles (FR) Fluvisoles (FL) Gleysoles (GL) Greyzems (GR) Gipsisoles (GY)	Feozems (PH) Ferrasoles (FR) Fluvisoles (FL) Gleysoles (GL) Gipsisoles (GY)	Feozems (PH) Ferrasoles (FR) Fluvisoles (FL) Gleysoles (GL) Gipsisoles (GY)
Histosoles (O) Kastañozems (K) Litosoles (I) Rendzinas (E) Rankers (U)	Histosoles (HS) Kastañozems (KS) Leptosoles (LP)	Histosoles (HS) Kastañozems (KS) Leptosoles (LP)	Histosoles (HS) Kastañozems (KS) Leptosoles (LP)
Luvisoles (L) Nitrosiles (N) Planosoles (W)	Lixisoles (LX) Luvisoles (LV) Nitrosiles (NT) Planosoles (PL) Plintosoles (PT)	Lixisoles (LX) Luvisoles (LV) Nitrosiles (NT) Planosoles (PL) Plintosoles (PT)	Lixisoles (LX) Luvisoles (LV) Nitrosiles (NT) Planosoles (PL) Plintosoles (PT)
Podzoles (P) Podzoluvisoles (D) Regosoles (R) Solonchaks (Z) Solonetz (S)	Podzoles (PZ) Podzoluvisoles (PD) Regosoles (RG) Solonchaks (SC) Solonetz (SN)	Podzoles (PZ) Regosoles (RG) Solonchaks (SC) Solonetz (SZ)	Podzoles (PZ) Regosoles (RG) Solonchaks (SC) Solonetz (SN) Estagnosoles (ST) Tecnosoles (TC)
Vertisoles (V) Xerosoles (X) Yermosoles (Y)	Vertisoles (VR)	Umbrisoles (UM) Vertisoles (VR)	Umbrisoles (UM) Vertisoles (VR)

En el Cuadro 3 se consignan las diferentes Unidades y Subunidades, mientras que en el Cuadro 4 las Unidades y la superficie que cubren del estado (Figura 3). Los suelos dominantes son los Andosoles con 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems con 4,727.18, Regosoles con 2,656.83, Vertisoles con 2,414.85 y Cambisoles con 1,960.47 km<sup>2</sup>.

Con respecto a la superficie total, hay una diferencia en la que se registra para el Estado de México 179.64 km<sup>2</sup>, que al final da un total de 22, 499.95 km<sup>2</sup>. Cabe aclarar que los límites que se utilizaron para este trabajo fueron los que cita INEGI (1999), lo que justifica dicha diferencia.

In tables 5 and 6 are the areas of the phases and texture of soils. In figures 4 and 5 their distribution is shown.

The prevailing soils in Mexico State are Andosols, Feozems, Regosols, Vertisols, Cambisols and Leptosols (Figure 3). Andosols are at the center: center-west, center-east, and southeast. In these zones, height above sea level is 2,800 m.

Feozems are located at the north, with some small areas in the southeast section. Regosols dominate the south of the Tejupilco zone towards the limits of Guerrero and Michoacan State. Vertisols are in Ixtlahuaca-Atlaconulco valley (to the north), Jilotepec and in Texcoco zone. Cambisols prevail in the south, after Andosols, at altitudes beneath 1,800 m, but before Regosols.



Cuadro 3. Unidades y Subunidades de suelos en el Estado de México.

Table 3. Units and subunits of Mexico State soils.

Tipo de suelos WRB 2006	Simbología	Superficie (km <sup>2</sup> )
Acrisol Húmico	AChu	45.08
Acrisol Háptico	ACha	424.59
Andosol Úmbrico	ANum	3,166.38
Andosol Mólico	ANmo	448.56
Andosol Háptico	ANha	1,184.14
Cambisol Crómico	CMcr	546.20
Cambisol Dístrico	CMdy	339.53
Cambisol Eútrico	CMeu	790.59
Cambisol Ferrálico	CMfl	66.58
Cambisol Húmico	CMhu	12.30
Cambisol Háptico	CMha	107.37
Cambisol Calcárico	CMca	58.39
Cambisol Vértico	CMvr	39.51
Feozems Calcárico	PHca	339.47
Feozem Gléyico	PHgl	48.02
Feozem Háptico	PHha	3,734.39
Feozem Lúvico	PHlv	605.30
Fluvisol Dístrico	FLdy	76.44
Fluvisol Eútrico	FLeu	174.88
Fluvisol Calcárico	FLca	0.84
Gleysol Eútrico	GLEu	0.29
Gleysol Úmbrico	GLum	1.08
Gleysol Mólico	GLmo	19.06
Gleysol Háptico	GLha	4.99
Gleysol Vértico	GLvr	2.24
Histosol Eútrico	HSEu	40.50
Leptosol Lítico	LPLi	1,476.85
Leptosol Réndzico	LPPrz	263.22
Leptosol Úmbrico	LPum	9.62
Luvisol Cálculo	LVcc	0.88
Luvisol Crómico	LVcr	1,346.94
Luvisol Férrico	LVfr	78.72
Luvisol Háptico	LVha	31.85
Luvisol Vértico	LVvr	10.66
Planosol Eútrico	PLEu	125.35
Planosol Úmbrico	PLum	71.38
Planosol Mólico	PLmo	563.45
Regosol Calcárico	RGca	27.50
Regosol Dístrico	RGdy	107.73
Regosol Eútrico	RGeu	2,520.04
Regosol Gélico	RGge	1.56
Solonchak Gléyico	SCgl	228.60
Solonchak Mólico	SCmo	104.61
Solonchak Háptico	SCha	59.69
Vertisol Crómico	VRcr	137.20
Vertisol Pélico	VRpe	2,277.64

Cuadro 4. Unidades de suelos presentes en el Estado de México.  
Table 4. Soil units of Mexico State.

Tipos de suelos WRB 2006	Simbología	Superficie (km <sup>2</sup> )
Andosoles	AN	4,799.08
Feozems	PH	4,727.18
Regosoles	RG	2,656.83
Vertisoles	VR	2,414.85
Cambisoles	CM	1,960.47
Leptosoles	LP	1,749.68
Luisoles	LV	1,469.05
Planosoles	PL	760.18
Acrisoles	AC	469.68
Solonchaks	SC	392.90
Fluvisoles	FL	252.16
Histosoles	HS	40.50
Gleysoles	GL	27.65
Superficie total		21,719.62

En los cuadros 5 y 6 se proporcionan la superficie de las fases y las texturas de los suelos. En las figuras 4 y 5 se observa su distribución.

Cuadro 5. Superficie de las diferentes texturas de los suelos en el Estado de México.

Table 5. Area of the different soil textures in Mexico State.

Texturas	Superficie (km <sup>2</sup> )
Fina	3,560.72
Media	17,209.25
Gruesa	951.31

Cuadro 6. Superficie de las fases físicas y químicas de suelos en el Estado de México.

Table 6. Area of the physical and chemical phases of the soils of Mexico State.

Fases físicas y químicas	Superficie (km <sup>2</sup> )
Dúrica	1,574.59
Dúrica profunda	1,275.57
Lítica	4,671.79
Lítica profunda	2,936.39
Pedregosa	605.25
Gravosa	702.69
Petrocalcáica	9.80
Ligeramente salino	65.19
Moderadamente salino	5.04
Sódica	464.01
Sin fases	9,409.30

Los suelos que predominan en el Estado de México son los Andosoles, Feozems, Regosoles, Vertisoles, Cambisoles y Leptosoles (Figura 3). Los Andosoles se presentan en la parte central del estado: centro- oeste, centro- este y sureste. En estas zonas, la altura sobre el nivel del mar es superior a 2,800 m.

Los Feozems se sitúan en la parte norte, con unas pequeñas áreas en la porción suroeste. Los Regosoles dominan el sur de la zona de Tejupilco hacia los límites con Guerrero y Michoacán. Los Vertisoles se ubican en el valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco (hacia el norte de la entidad), Jilotepec y en la zona de

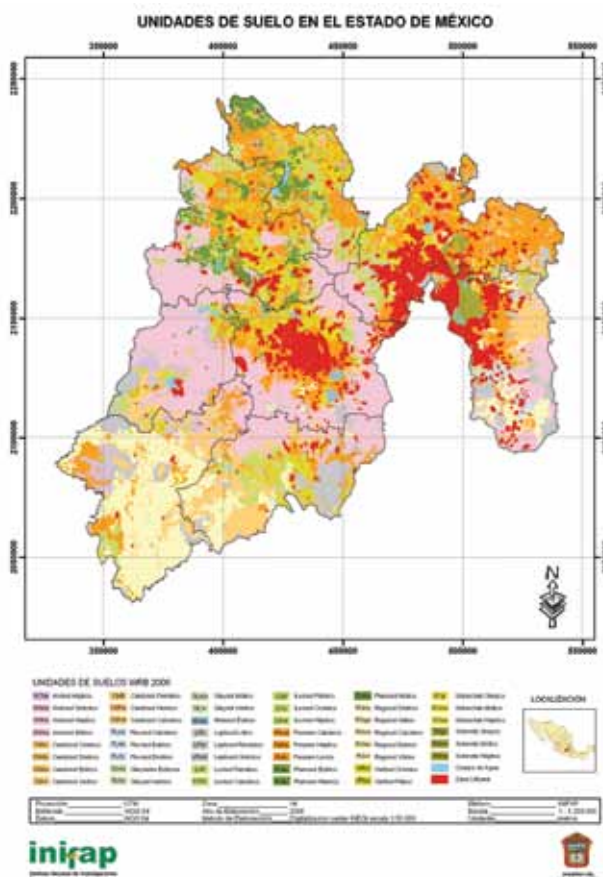


Figura 3. Unidades de suelos FAO-WRB presentes en el Estado de México.

Figure 3. FAO-WRB soil units at Mexico State.

Leptosols are observed in the south in the limits with Morelos State, south of the Rural Development District of Texcoco in the boundaries of Guerrero State, in the Coatepec Harinas District and in the west adjacent with Michoacan State in Valle de

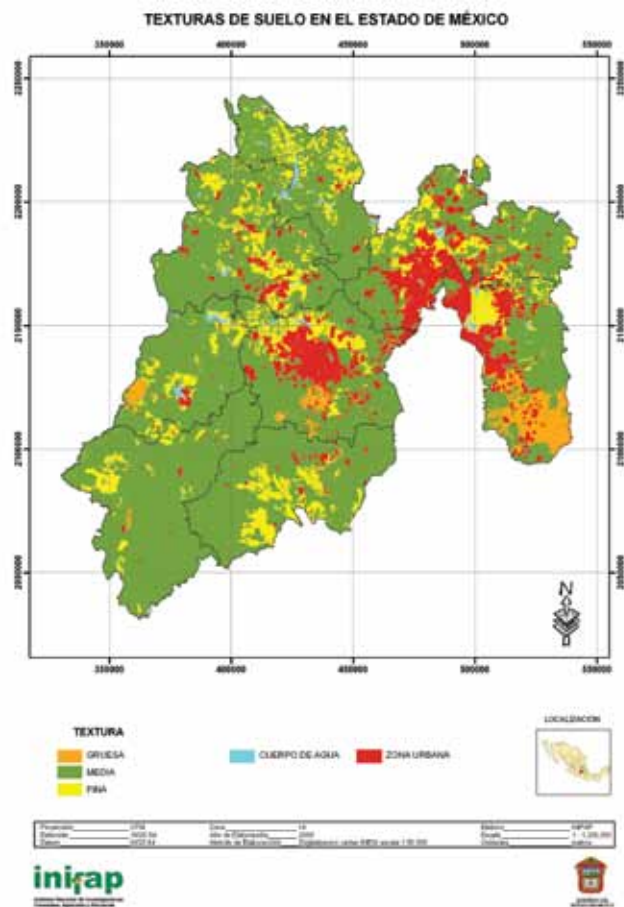


Figura 4. Texturas de suelos según FAO-WRB presentes en el Estado de México.

Figure 4. Soil textures in Mexico State according to FAO-WRB.

Texcoco. Los Cambisoles dominan en la parte sur, después de los Andosoles, en alturas inferiores a 1,800 msnm y están antes de los Regosoles.

Los Leptosoles se observan en el sur en los límites con Morelos, sur del Distrito de Desarrollo Rural de Texcoco en los límites con Guerrero, en el Distrito de Coatepec Harinas y en el oeste en colindancia con Michoacán en el Distrito de Valle de Bravo. Son suelos que cambiaron de nombre, ya que antes se denominaban Litosoles (FAO/UNESCO, 1974). La mayor superficie agrícola del Estado de México se localiza en el Valle de Toluca, donde los suelos dominantes son los Feozems, el Valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco y la zona de Jilotepec, donde dominan los Vertisoles y Feozems (SAGARPA, 2007).

Los suelos con texturas medias ocupan la mayor superficie con 17,209.25 km<sup>2</sup>, seguidos por los de textura fina con 3,560.72 km<sup>2</sup> y por los de textura gruesa con 951.31 km<sup>2</sup> (Figura 4). Las fases de los suelos, las cuales son una limitante para el desarrollo de los cultivos, son: lítica que cubren una superficie de 4,671.79 km<sup>2</sup>, lítica profunda con 2,936.39 km<sup>2</sup>,

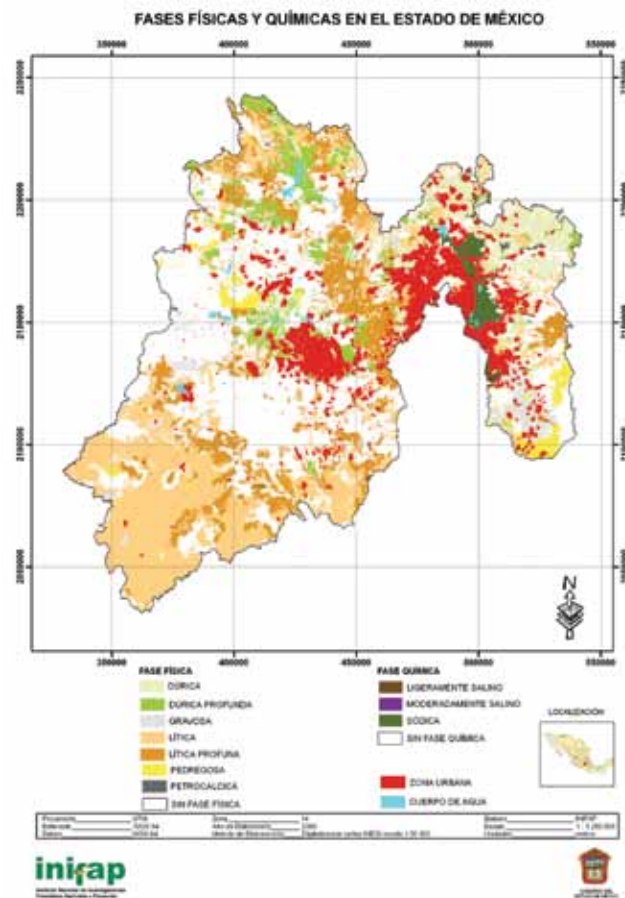


Figura 5. Fases físicas y químicas de suelos según FAO-WRB en el Estado de México.

Figure 5. Physical and chemical phases of the soils of Mexico State according to FAO-WRB.

Bravo District. These soils changed their name, since they were known as Litosols (FAO/UNESCO, 1974). The largest agriculture area of Mexico State is located in Valle de Toluca, where the dominant soils are Feozems; Vertisols and Feozems are in the Ixtlahuaca-Atlacomulco valley and in Jilotepec (SAGARPA, 2007).

Soils with medium texture cover the greatest area, 17,209.25 km<sup>2</sup>, followed by those of fine texture, 3,560.72 km<sup>2</sup> and by those of coarse texture, 951.31 km<sup>2</sup> (Figure 4). The soil phases, which are a limitation for crops, are: lytic, which covers 4,671.79 km<sup>2</sup>, deep lytic, 2,936.39 km<sup>2</sup>, duric 1,574.59 km<sup>2</sup> and deep duric 1,275.57 km<sup>2</sup>. The lytic phase prevails in the southern part and in the highlands with a severe slope (Figure 5).

Finally, the studies that involve updating of FAO classification soil Units were made by Ortiz *et al.* (1994) and SEMARNAT (1996), in which they establish the foundations and they made an adjustment of Soil Units of the 1974 FAO/UNESCO version of 1988.

dúrica con 1,574.59 km<sup>2</sup> y dúrica profunda con 1,275.57 km<sup>2</sup>. La fase lítica predomina en la parte sur y en las partes altas del estado con mucha pendiente (Figura 5).

Finalmente, los trabajos que se han realizado sobre actualizaciones de las Unidades de suelos de la clasificación FAO, los realizaron Ortiz *et al.* (1994) y la SEMARNAP (1996), en los cuales establecen los fundamentos y hacen una adecuación de las Unidades de suelos de la versión FAO/UNESCO de 1974 a la FAO/UNESCO de 1988.

## CONCLUSIONES

Los suelos dominantes son los Andosoles con 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems con 4,727.18 km<sup>2</sup>, Regosoles con 2,656.83 km<sup>2</sup>, Vertisoles con 2,414.85 km<sup>2</sup> y Cambisoles con 1,960.47 km<sup>2</sup>. Los Leptosoles son suelos que cambiaron de nombre, antes eran los Litosoles, que ocupan 1,749.68 km<sup>2</sup>, lo que reduce la superficie para la producción de cultivos.

Los mejores suelos para las actividades agropecuarias son los Feozems y Verisoles que dominan en el Valle de Toluca, Ixtlahuaca-Atzacmulco, Jilotepec y Texcoco, que es donde existe la mayor superficie dedicada a la agricultura. Los Andosoles y Cambisoles dominan en toda la franja central del Estado que es la parte alta y en estos suelos la actividad forestal es el uso del suelo más importante.

Contar con cartografía digital de suelos con una clasificación actualizada facilita la aplicación de modelos edafológicos e hidrológicos recientes que la utilizan y son la base para la planeación e instrumentación de las acciones de manejo y conservación de los ecosistemas forestales, la producción agrícola y la ubicación de infraestructura humana.

## REFERENCIAS

- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 12th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. USA. 881 p.
- Boul, S. W., F. D. Hole and R. J. McCracken. 2004. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas, S. A. 4ª. reimpresión. México, D. F. México. 417 p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1992. ARC/INFO. User's Guide. Version 6.0. New York, NY. USA. 125 p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2006. ArcGis 9.0. New York, NY. USA. 276 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Digital Soil Map of the World ([www.fao.org/catalog/New/products](http://www.fao.org/catalog/New/products)). Rome, Italy. s/p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (FAO/UNESCO). 1974. Soil Map of the World 1:1 000 000. Vol. I. Legend. Paris, France. 59 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (FAO/UNESCO). 1988. Soil Map of the World. Revised Legend. World Soil Resources Report 60. Rome, Italy. 136 p.
- Fitzpatrick, E. A. 1987. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México, D. F. México. pp. 229-345.
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial trillas. México, D. F. México. pp. 179-247.

## CONCLUSIONS

Andosols with 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems with 4,727.18 km<sup>2</sup>, Regosols with 2,656.83 km<sup>2</sup>, Vertisoles with 2,414.85 km<sup>2</sup> and Cambisols with 1,960.47 km<sup>2</sup> are the dominant types of soil. Leptosols are soils that changed their name, since they were the Litosols before, which cover 1,749.68 km<sup>2</sup>, a fact that reduces the area for crops.

The best soils for agriculture and livestock activities are Feozems and Vertisols in Valle de Toluca, Ixtlahuaca-Atzacmulco, Jilotepec and Texcoco, where the greatest area for agriculture is found. Andosols and Cambisols prevail in the whole central line of the State which is the high part, and in those soils forest activity is the most important land use.

To count with soil digital cartography with an updated classification favors the application of edaphologic and hydrologic recent models that use them and is the basis for planning and implementation of management and conservation actions for forest ecosystems, agriculture production and location of human infrastructure.

*End of the English version*

- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, D. F. México. 185 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999. Anuario Estadístico del Estado de México. Aguascalientes, Ags., México. 596 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Avance cartográfico edafológico 1:50, 000. Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005). Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. Nomenclatura y Anexo Cartográfico. Aguascalientes, Ags., México. 139 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Serie I. Carta temática edafológica escala 1:50 000. Estado de México, Edo. de Méx. México, s/p.
- International Society of Soil Science - Society International of Sciences of Soil - Food and Agriculture Organization of the United Nations (ISSS-ISRIC-FAO). 1994. World Reference Base for Soil Resources. Rome, Italy. 161 p.
- International Union of Soil Science - International Soil Reference and Information Centre and Food and Agriculture Organization of the United Nations (IUSS Working Group WRB. IUSS-ISRIC and FAO). 2006. World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, Italy. 114 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1985. Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en secano. Boletín de Suelos de la FAO No. 52. Roma, Italia. 228 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos y Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo (FAO-ISRIC y SICS). 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Reporte No. 84. Roma, Italia. 93 p.
- Ortiz S., C., D. Pájaro H. y V. Ordaz C. 1990. Manual para la cartografía de las clases de tierras campesinas. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 62 p.

- Ortiz S., C., D. Pájaro H. y Ma. del C. Gutiérrez C. 1994. Introducción a la leyenda del mapa mundial de suelos FAO/UNESCO, versión 1988. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 40 p.
- Ortiz S. C., y Ma. del C. Gutiérrez C. 1999. Fundamentos de pedología. Especialidad de Edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo., de Méx., México. 104 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007. Estadísticas Estatales de la SAGARPA. Toluca, Edo. de México. s/p.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1999. Fundamentos para la actualización de la cartografía Edafológica de la República Mexicana, con el Sistema de clasificación FAO/UNESCO (1988). México, D. F. México. 22 p.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to soil taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 19, 5th ed. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, VI. USA. 541 p.
- Soil Survey Staff. 1994. Keys to soil taxonomy. 6th ed. USDA-SCS. U. S. Government Printing Office. Washington, DC. USA. 306 p.
- Soil Survey Staff. 1998. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington, DC. USA. 326 p.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington, DC. USA. 865 p.
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to soil taxonomy. 9th ed. Department of Agriculture United States. Washington, DC. USA. 332 p.
- Soil Survey Staff, 2006. Keys to soil taxonomy. 10th ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington, DC. USA. 341 p.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). 1974. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Dirección General de Estudios. Dirección de Agrología. México, D. F., México. 29 p.
- Wilding, L. P. 2000. Classification of soil. In: M. E. Sumner (Ed.). Handbook of Soil Science. New York, NY. USA. pp. E175-E392.



Wangari Muta Maathai. Dominio público.