



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**LEVANTAMIENTO EDAFOLÓGICO  
SEMIDETALLADO EN EL EJIDO DE SAN  
ANTONIO TEXCALA, PUEBLA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
BIÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**CARLOS ANTONIO FERRER SÁNCHEZ**



**DIRECTORA DE TESIS:  
M. en C. MAYRA MÓNICA HERNÁNDEZ  
MORENO**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla Edo. de México,  
Febrero 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

**A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por aceptarme y permitirme utilizar sus instalaciones para mi formación profesional.**

**A mis padres y hermanos que con su amor y apoyo incondicional siempre me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante y superar toda adversidad, los amo.**

**A la profesora Mayra Mónica Hernández Moreno por aceptar dirigir este trabajo, por darme las herramientas necesarias para desenvolverme en el ámbito profesional, por brindarme su tiempo y conocimientos cada vez que los necesitaba, pero sobre todo, por compartir experiencias y buenos momentos que me enriquecieron de forma personal, gracias May, la pura buena vibra.**

**Al profesor Humberto Macías Cuellar por sus enseñanzas no solo académicas, sino también por todos sus consejos de vida que me ayudaron a expandir mi perspectiva de la misma, que pese a la complejidad del problema siempre hay alternativas.**

**Al profesor Daniel Muñoz Iniestra por asesorarme en la realización de este trabajo despejando mis dudas, por instruirme en la ciencia del suelo y por sus consejos sobre relajarme y vivir la vida plenamente.**

**Al profesor Alfonso Soler Aburto por su asesoramiento en el laboratorio de Edafología, nunca olvidaré que un trabajo rápido también debe ser un trabajo bien hecho, pero sobre todo, nunca olvidaré la buena vibra y el buen rock.**

**Al profesor Francisco López Galindo por aceptar revisar este trabajo y ayudarme a mejorar aspectos del mismo.**

**Al Sr. Vicente Pacheco Espinoza, Comisariado Ejidal de San Antonio Texcala (2013-2016) y a todo su equipo de trabajo, por todas las facilidades, interés y apoyo brindados para la definición y desarrollo de este trabajo.**

**A todas aquellas personas especiales que me brindaron su amor y amistad a lo largo de los años y que, con sus palabras de aliento, me ayudaron a creer en mí mismo: Armandiux, Roger, Fercho, Yessi, Pabliux, Diego, Carito, Claw, Toño y Vale.**

**A todos los profesores y compañeros por compartir conmigo conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera. Gracias a los compañeros del EdafoTeam y Recursos naturales por todo su apoyo y amistad.**

**A todos ustedes, muchas gracias.**

## ÍNDICE

	Página
1	Introducción..... 1
2	Antecedentes..... 2
3	Objetivos..... 4
3.1	Objetivo General..... 4
3.2	Objetivos particulares..... 4
4	Marco teórico..... 4
4.1	El suelo..... 4
4.2	Levantamiento Edafológico..... 5
4.3	Sistemas de clasificación de suelos..... 6
5	Área de estudio..... 8
5.1	Ubicación y clima..... 8
5.2	Fisiografía y Geomorfología..... 8
5.3	Geología y Suelos..... 9
5.4	Hidrología..... 10
5.5	Vegetación y Uso del suelo..... 11
6	Materiales y métodos..... 12
6.1	Etapa de planeación..... 12
6.2	Etapa de ejecución en campo..... 12
6.3	Etapa de ejecución en laboratorio..... 13
6.4	Etapa de clasificación de grupos de suelo..... 13
6.5	Etapa de generación de cartografía de grupos de suelo..... 13
7	Resultados..... 14
7.1	Descripción morfológica y caracterización física, química y ambiental de los Grupos de Suelo de Referencia (GSR)..... 14
7.1.1	Calcisoles (CL)..... 14

<b>7.1.2 Leptosoles (LP)</b> .....	<b>25</b>
<b>7.1.3 Phaeozem (PH)</b> .....	<b>32</b>
<b>7.1.4 Regosoles (RG)</b> .....	<b>38</b>
<b>7.1.5 Vertisoles (VE)</b> .....	<b>46</b>
<b>7.2 Unidades cartográficas y superficies de los distintos tipos de suelo</b> .....	<b>49</b>
<b>7.2.1 Unidades simples</b> .....	<b>50</b>
<b>7.2.2 Unidades complejas (asociaciones)</b> .....	<b>51</b>
<b>8 Análisis y discusión de resultados</b> .....	<b>54</b>
<b>9 Conclusiones</b> .....	<b>61</b>
<b>Literatura citada</b> .....	<b>62</b>
<b>Anexo I</b> .....	<b>65</b>
<b>Anexo II</b> .....	<b>68</b>
<b>Anexo III</b> .....	<b>74</b>

## Resumen

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado, producto de la acción e interacción de los 5 factores que le dan origen. Provee de diversos servicios para el desarrollo de la vida, por lo que conocer su distribución y tipos de suelo es importante para generar programas útiles para fines específicos y hacer predicciones del comportamiento de los suelos bajo diferentes usos y niveles de manejo. El levantamiento edafológico es una metodología basada en el estudio del terreno y perfil del suelo, agrupándolos geográficamente por características similares, dando como resultado un mapa de suelos. En el presente trabajo se realizó la caracterización y cartografiado de los suelos en el ejido de San Antonio Texcala, Puebla, aplicando la metodología del levantamiento edafológico, apoyada a su vez por la interpretación de fotografías aéreas junto con una intensidad de muestreo adecuada. El estudio inicio con la recopilación bibliográfica y cartográfica en papel y formato digital del área de estudio, posteriormente, con ayuda de fotografías aéreas, se delimitaron zonas más o menos homogéneas en base a las formas del relieve, cambios en la pendiente del terreno y la altitud sobre el nivel del mar, sobre éstas se ubicaron puntos de muestreo. En campo se localizaron, georreferenciaron y abrieron perfiles para describir su morfología, delimitar horizontes y toma de muestras de cada uno, así como la toma de datos del medio físico; las muestras fueron procesadas en laboratorio; posteriormente los datos físicos y químicos obtenidos fueron interpretados y correlacionados junto con los datos morfológicos y ambientales de cada perfil, logrando su identificación y clasificación en base a la metodología señalada en la Base Referencial Mundial para el recurso suelo (WRB 2006). Se identificaron y mapearon 5 Grupos de Suelo de referencia y sus variantes, utilizando el programa para Sistemas de Información Geográfica ArcMap versión 10.1: Calcisol (8 variantes), Leptosol (9 variantes), Phaeozem (6 variantes), Regosol (4 variantes) y Vertisol (1 variante). Dicha diversidad de suelos está dada principalmente por una marcada variabilidad en las formas del terreno, distintos gradientes en la pendiente y tipos de asociaciones vegetales y en general, por un clima con bajos niveles de precipitación media anual. Los suelos encontrados en el ejido presentan limitantes de uso muy similares, entre ellos se encuentran la poca profundidad, un alto grado de pedregosidad y pendientes pronunciadas. Finalmente, en respuesta a lo anterior, fueron sugeridas la implementación de una serie de obras para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos y el control de la erosión, además de complementar con prácticas vegetativas y sistemas agroforestales para el aprovechamiento y conservación de los suelos dentro del territorio del ejido

## 1. Introducción

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado, con una estructura tridimensional, producto de la alteración, la reestructuración y la organización de las capas superiores de la corteza terrestre, bajo la acción e interacción de 5 factores que le dieron origen: el clima, el relieve, la roca madre, los organismos y el tiempo; debido a lo cual, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó (SEMARNAT, 2012; Aubert y Boulaine, 1967).

Es un recurso de gran importancia, tanto para el hombre como para el medio ambiente, debido a los servicios que ofrece, tales como la regulación y distribución del flujo de agua, el soporte que da a la biodiversidad, y que es uno de los sitios en donde se llevan a cabo los ciclos biogeoquímicos; además sirve como medio natural para el desarrollo de las plantas terrestres y otros organismos, por lo que provee de alimentos, combustibles y textiles (Astier-Calderón *et al.*, 2002; SEMARNAT, 2012).

Debido a la importancia ambiental, política y social de este recurso natural y al aprovechamiento que se ha realizado de él, tanto en México como en el mundo, se han provocado diversos impactos que han generado su degradación. Por ello se han realizado numerosos estudios para conocer su distribución, sus características y evaluar la magnitud de su degradación, en diferentes escalas y con diversos métodos (SEMARNAT y UACH, 2003).

El levantamiento edafológico es una metodología para estudiar y describir sistemáticamente al recurso suelo, siendo el procedimiento más rápido y preciso disponible para hacer predicciones del comportamiento de los suelos bajo diferentes usos y niveles de manejo. Esta metodología se basa fundamentalmente en el trabajo sobre el terreno y la descripción de perfiles de suelo de un área determinada. Después de caracterizar las semejanzas y diferencias de los perfiles, éstos son agrupados para determinar su distribución geográfica, dando como resultado un mapa de suelos y su informe. El nivel de detalle del estudio depende de la intensidad de observaciones y la escala de la cartografía, así como del propósito para el cuál se realiza. Es una metodología que permite generar información base para propósitos eminentemente prácticos, y como apoyo para el desarrollo de proyectos con fines específicos, entre los que se pueden destacar: investigación agrícola y experimentación en suelos para el manejo de cultivos, prácticas de

manejo de suelos, planeación rural, evaluación de terrenos, planeación de trabajos de ingeniería, conservación de suelos, correlación entre los tipos de suelo, entre otros (Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981; INEGI, 2004).

En México, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan vastas extensiones del territorio nacional, con un alto potencial de uso del suelo, sin embargo, debido al desconocimiento para un aprovechamiento racional y de conservación, se ha ocasionado la sobreexplotación de este recurso. Este desconocimiento es ocasionado principalmente por la falta de información básica, actualizada, y georreferenciada y su representación cartográfica, que proporcione una mejor comprensión del recurso y permita realizar investigaciones desde la perspectiva territorial (Soler, 2002). Adicional a ello, la cartografía oficial del recurso suelo contiene información muy general y en escalas muy pequeñas, por lo que imposibilita su uso, en trabajos que demandan información detallada para una región específica.

En el ejido San Antonio Texcala, Puebla, se elaboró un Plan de Acción Comunitaria (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010), que implica realizar planes de manejo de los recursos forestales no maderables, además de diversos proyectos relacionados con la conservación del suelo y el monitoreo ambiental. Para ello se requiere información detallada sobre la diversidad y distribución de los suelos, considerando que la cartografía disponible no se encuentra en una escala que permita distinguir dicha diversidad, para un mejor aprovechamiento y uso del suelo.

## **2. Antecedentes**

Se han realizado numerosos levantamientos edafológicos en el país, en distintas escalas de aproximación, desde los de gran escala, hasta los semidetallados y detallados. Particularmente para las zonas semiáridas del centro del país y la zona de estudio, se cuentan con algunos trabajos como los que se muestran a continuación:

López-García J. y colaboradores en 2010 realizaron un levantamiento de suelos en el Valle de Tehuacán, Puebla para conocer la potencialidad y distribución espacial de los suelos y clasificarlos taxonómicamente con el sistema Americano, reportando que la zona presenta suelos con alto contenido de bases, falta de estructura y que son muy susceptibles a la erosión eólica, debido principalmente a la radiación solar intensa, a que la evapotranspiración excede la precipitación media anual y a la falta de cobertura vegetal; concluyendo así que, a pesar del alto contenido de bases y encontrarse áreas que son

susceptibles a la erosión, los suelos tienen uso agrícola y pecuario intenso, por lo que todavía conservan su potencial productivo, lo que necesitaría de control de erosión y manejo de suelos.

Santillán-Hernández en 2003 realizó un levantamiento edafológico semidetallado de la porción suroeste del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla donde reporta que la zona estudiada es muy compleja debido a la variación litológica de la zona. Se reconocieron 4 grupos mayores y 6 unidades de suelo, según la clasificación FAO/UNESCO 1994: Leptosol lítico, Leptosol réndzico, Regosol eútrico, Regosol calcárico, Fluvisol calcárico y Phaeozem calcárico.

También en 2003, Rivas-Reyes realizó un levantamiento edafológico semidetallado de la porción norte del valle de Zapotitlán, Puebla encontrando que el área presenta 4 grupos mayores y 5 unidades de suelos, de acuerdo con el sistema de clasificación FAO/UNESCO 1994: Leptosol réndzico, Leptosol lítico, Fluvisol calcárico, Regosol calcárico y Phaeozem calcárico.

En 2001, García-Martínez mapeó y caracterizó las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán Salinas, clasificando los suelos en 2 grupos mayores, 2 unidades y dos series, utilizando el sistema de clasificación FAO/UNESCO 1994: Regosol calcárico, Fluvisol calárico de las series Granjas y Zapotitlán. Las series se diferencian principalmente tomando como base las variaciones significativas de los rasgos morfológicos del perfil, tomando esto en cuenta, ella concluye que la serie Zapotitlán se diferencia por su formación con sedimentos provenientes de rocas calizas, conglomerados calcáreos y lutitas, mientras que serie Granjas se originó de la sedimentación de materiales con importante presencia de minerales de hierro, silicatos, óxidos de aluminio, talcos y cuarzos asociados con carbonatos.

Por otra parte, Soler-Aburto en 2002 realizó el levantamiento edafológico semidetallado de la región de Ajacuba-Mixquiahuala, Hidalgo, reportando 4 grupos mayores de acuerdo al sistema de clasificación FAO/UNESCO 1998: Regosol, Leptosol, Phaeozem y Vertisol. Mientras que Delgado-Durán en el 2000, también con un levantamiento edafológico semidetallado de la comunidad de Dexthi, Alto Mezquital, Hidalgo, reportó 4 grupos mayores de suelos de acuerdo con el mismo sistema de clasificación: Leptosol, Fluvisol, Regosol y Phaeozem.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. General**

Caracterizar y cartografiar los tipos de suelo presentes en el ejido San Antonio Texcala, Puebla.

#### **3.2. Particulares**

- Describir las condiciones ambientales, caracterizar las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos.
- Identificar taxonómicamente los perfiles edáficos de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) 2006.
- Definir las unidades cartográficas en escala 1:50,000, en función de la complejidad en su variabilidad.
- Mapear la distribución de los grupos de suelo identificados.

### **4. Marco teórico**

#### **4.1 El suelo**

El suelo es un cuerpo natural conformado por material mineral y orgánico no consolidado en donde se desarrollan las plantas para el sostén de la biota del planeta. Posee tres dimensiones espaciales y una temporal cuyas características son determinadas por la acción e interacción de los 5 factores que le dieron origen, el clima, el material parental, los organismos, el relieve y la edad de la superficie geológica (Krasilnikov, 2011).

El desarrollo de los suelos es un proceso largo que puede tomar de cientos, a miles de años, resultado de la intervención de varios procesos que ocurren en tasas diferentes y en formas distintas, produciendo suelos con características diversas (Soler, 2002), y en muchos casos una distribución con variación continua; por lo que establecer un límite bien definido en la distribución lateral de los suelos resulta frecuentemente complicado. En estos casos, los límites son establecidos por definiciones que denotan la utilidad y manejo del recurso, de esta forma, debe entenderse que la abstracción de dar límites claros y precisos en la distribución de los suelos está en función de su estudio y clasificación. De acuerdo con lo anterior, la variación de los suelos en su profundidad se estudia mediante perfiles, y

la variación lateral mediante el sistema de clasificación y cartografía de suelos (Ortíz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981).

El modelo ideal de estudio del suelo es el edafón, definido como un cuerpo tridimensional que posee todas las características representativas de un tipo de suelo, pudiéndose describir y muestrear a lo largo de todos sus horizontes. Sin embargo, en campo muchas veces resulta imposible contar con el estudio del edafón debido a la dificultad en su obtención, por lo que se recurre a la observación del perfil, el cual es un corte en la corteza terrestre hasta la profundidad del material parental o hasta el horizonte con mayor influencia del mismo, exponiendo así, la variabilidad lateral del suelo (Ortíz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981).

#### 4.2 Levantamiento Edafológico

La FAO describe los levantamientos edafológicos como el proceso de determinación de distribución de los suelos en el cuál se incluye la caracterización y cartografía de las unidades de suelo. A lo largo del estudio se describen las características de los suelos en un área determinada, se clasifican de acuerdo con un sistema estandarizado, representando gráficamente los límites del suelo sobre un mapa; con ello es posible realizar predicciones sobre su comportamiento (Soil Survey Division Staff, 1993).

Un mapa de suelos delimita áreas ocupadas por diferentes tipos de suelo, de los cuáles cada uno posee su propio conjunto de propiedades interrelacionadas con el material parental formador, el ambiente y su historia. La distribución geográfica de muchos tipos individuales de suelos puede ser obtenida de un mapa de suelos con propósitos especiales como mostrar las características y distribución de un tipo de suelo, para un uso particular. Dicho mapa puede tener distintas interpretaciones que difieren del mapa de suelos, el cual, a su vez puede diferir con otros, dependiendo del propósito que se le quiera dar; por lo que, un mapa elaborado para tener una sola interpretación, rara vez puede servir para diferentes propósitos (Soil Survey Division Staff, 1993).

Bajo este contexto, un mapa que muestra algunas de las propiedades del suelo puede elaborarse directamente con observaciones de campo, sin necesidad de hacer un mapa edafológico. Dichos mapas sirven para propósitos específicos, pero pueden ser útiles para otras aplicaciones. Mapas que muestran el comportamiento de un suelo, también pueden elaborarse con observaciones de campo, sin embargo, sus interpretaciones variarán

dependiendo del uso de suelo y del contexto cultural y económico. Si un mapa edafológico se realiza con precisión, los mapas interpretativos pueden ser revisados, según sea necesario, sin hacer más trabajo de campo; por lo que, en un levantamiento edafológico, este punto debe enfatizarse.

El objetivo básico de un levantamiento edafológico aplica para toda clase de tierras, aunque el número de unidades mapeadas, su composición y el detalle del mapeo variarán con la complejidad de los patrones de suelo y con la necesidad específica de los usuarios. El estudio de los suelos amplía nuestro conocimiento acerca de este cuerpo natural, pues satisfacen la necesidad de poseer información edáfica de áreas geográficas específicas para estados, países y comunidades para planificar el uso del terreno. Esta planificación incluye planes de conservación de recursos para granjeros y rancheros, desarrollo de proyectos de recuperación, planes de conservación y restauración de suelo, gestión forestal, proyectos de ingeniería, entre otros (Soil Survey Division Staff, 1993).

#### 4.3 Sistemas de clasificación de suelos

En un principio, las clasificaciones de los grupos de suelo tenían un carácter específico para una aplicación inmediatamente práctica, tomando en cuenta factores externos. Posteriormente, con la formación de la ciencia del suelo en Rusia con el geógrafo, edafólogo Vasili Dokucháyev, se comienzan a clasificar los grupos de suelo con base en sus características internas, tomando como unidad de observación al perfil, además de la definición de factores formadores de suelo. Con el paso de los años se han elaborado diversos sistemas de clasificación en distintos países, sin embargo, hasta la fecha ninguna clasificación ha sido aceptada de manera universal (Ortíz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981).

En los últimos años en México se han utilizado dos sistemas de clasificación con mayor frecuencia: el sistema FAO-UNESCO, modificado por CETENAL (1970), y el sistema americano en sus versiones de 7a Aproximación del Soil Survey Staff, 1960 y su Taxonomía de Suelos (1975). Anteriormente, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013) utilizó la clasificación del sistema FAO/UNESCO 1968 modificado por CETENAL en 1970, actualmente utiliza el Sistema de Clasificación de Suelos WRB 2000 para representar la información digital de Conjunto de datos Edafológicos (Serie II)

La 7a Aproximación o Taxonomía de Suelos del sistema americano, se originó dentro del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en el cual colaboraron diversos científicos de suelo a cargo de G. D. Smith. El desarrollo de este nuevo sistema fue elaborado a través de una serie de aproximaciones. La 7a serie fue presentada en el VII Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo en 1960, celebrado en Wisconsin, E.U.A el cual se publicó el mismo año, dicha publicación tuvo una alta difusión recibiendo múltiples críticas y comentarios. Con los comentarios recibidos aunados a estudios posteriores, se publicó finalmente en 1975 la versión final con el nombre de Taxonomía de suelos. Este sistema está formado para usar seis categorías: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie de suelos, cada uno con sus propias características descriptivas (Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981).

Por su parte, el sistema FAO/UNESCO se inició en 1961 con el propósito de realizar una correlación de unidades de suelos a nivel mundial, obtener un inventario del recurso suelo a través de un conjunto de mapas de suelo con una leyenda en común y de proporcionar una herramienta útil de transferencia de información para el conocimiento de uso y manejo de tierras. Es un sistema que usa dos categorías: en la categoría más alta se encuentra la unidad, la cual posee una equivalencia aproximada, pero no completa, con los “grandes grupos” del sistema americano, mientras que para la categoría baja, las subunidades están formada por suelos intermedios o suelos con horizontes con características especiales. Para definir las categorías es necesaria la consideración de los horizontes de diagnóstico, mientras que la nomenclatura de los suelos está basada en nombres “clásicos”, principalmente de terminología rusa, nombres usados en Europa Occidental y Canadá, así como nombres creados específicamente para este sistema (Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda, 1981).

Posteriormente, por iniciativa de la FAO, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP), y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS), un grupo de edafólogos que representaban un amplio grupo de instituciones se reunieron en Sofía, Bulgaria, en 1980 y 1981 para fortalecer la participación internacional en una continuación del Mapa de Suelos del Mundo. La reunión decidió lanzar un programa para desarrollar una Base Internacional de Referencia para Clasificación de Suelos (IRB) con el objetivo de llegar a un acuerdo sobre los principales agrupamientos de suelos para ser reconocidos en

una escala global, así como los criterios para definirlos y separarlos. En 1992 la IRB fue renombrada como la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). A partir de allí se estableció un grupo de trabajo de WRB en el 15° Congreso de la ISSS, en Acapulco, México 1994 cuyos esfuerzos se enfocarían en revisar la leyenda de la FAO-UNESCO para servir como base para el siguiente desarrollo de la IRB y poder aplicar sus principios generales, refinar sus unidades y proporcionarles la profundidad y validación necesarias. El primer texto oficial de la WRB se presentó 16° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo en Montpellier en 1998 en tres volúmenes: (1) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Una introducción, (2) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Atlas y (3) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. El texto de la WRB fue entonces adoptado por el Consejo de la ISSS como la terminología oficialmente recomendada para nombrar y clasificar suelos. Por acuerdo general, se decidió que el texto permanecería sin cambios por lo menos por ocho años, pero sería probado extensivamente durante este período y se propondría una revisión durante el 18° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo en 2006 (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2006).

## **5. Área de estudio**

### **5.1 Ubicación y clima**

El núcleo agrario de San Antonio Texcala pertenece al municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla, que a su vez forma parte del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y se ubica a 9 kilómetros aproximadamente de la ciudad de Tehuacán (Figura 1) entre los 18°26'33" y 18°21'48" de Latitud Norte y los 97°25'32" y 97°29'58" de Longitud Oeste, cuenta con una superficie de 3543.8921 Ha. Presenta 2 tipos de clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1998): Templado subhúmedo <C(wo)> y Semiárido semicálido <BS1hw> con temperaturas media anuales de 12°C a 18°C y mayores a 18°C, respectivamente; así como una precipitación media anual predominante de 400 a 500 mm (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010).

### **5.2 Fisiografía y Geomorfología**

El estado de Puebla se encuentra entre dos regiones fisiográficas, la porción noreste es parte del Eje Neovolcánico y el resto, incluido San Antonio Texcala, forma parte dentro de la Provincia de la Sierra Madre del Sur, específicamente en la subprovincia de las Sierras Centrales de Oaxaca. Por lo anterior, presenta un relieve muy complejo que resultó de la acción de múltiples procesos endógenos y exógenos que hoy podemos ver reflejado en la

variación altitudinal y fluctuaciones de la pendiente del terreno, así como en sus formas: elevaciones, piedemontes, planicies denudativas y estructurales, elevaciones menores y terrazas fluviales (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010).

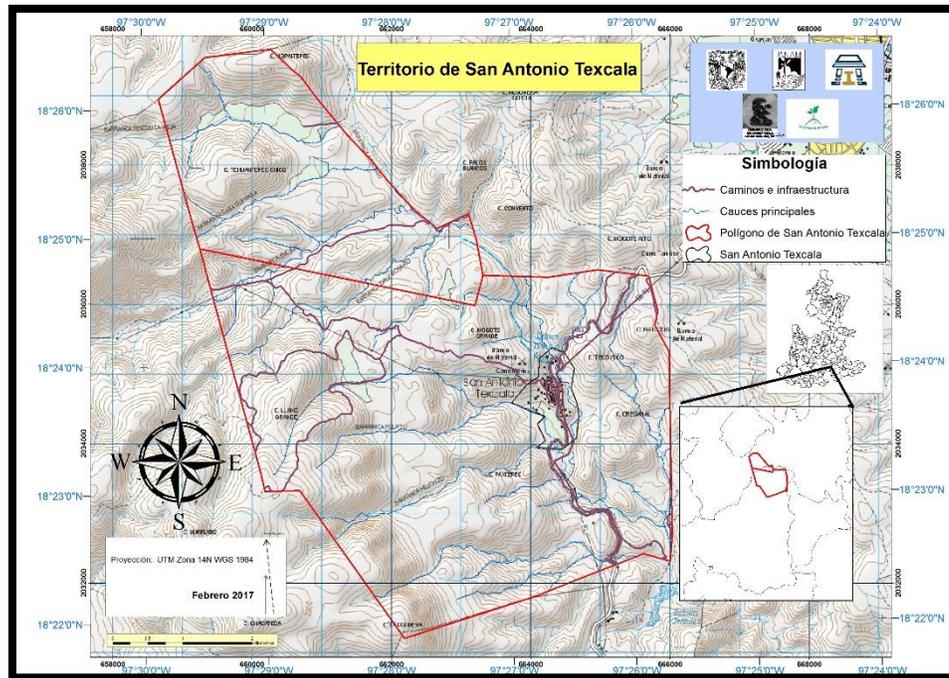


Figura 1. Mapa del Ejido de San Antonio Texcala (Elaboración propia).

### 5.3 Geología y Suelos

La geología del valle de Zapotitlán está formada en primera instancia por el Complejo Basal que data del Paleozoico y principios de Mesozoico (Jurásico) que está compuesto por rocas metamórficas (mármoles, equistos, pizarras, gneises, cuarcitas), rocas sedimentarias (areniscas y lutitas) y volcánicas (diques). Este tipo de rocas son de origen continental y afloran en las Sierras de Zapotitlán, Miahuatepec y Atzingo, debido a deformaciones e intrusiones magmáticas. En el periodo inicial del Cretácico inferior la cuenca sufre una inmersión formándose el Portal de Balsas. Mientras que a finales de este mismo periodo y entre el Terciario, se terminan de conformar las principales Sierras de la zona. El período Cuaternario Tardío fue de los más importantes para la configuración geomórfica, pedológica y biótica actual del Valle. San Antonio Texcala está situado en el punto de afloramiento de la formación Zapotitlán, misma que sigue hasta la Sierra de Santa Rosa y que se encuentra constituida por una secuencia de lutitas calcáreas con micas, su color es gris y su estratificación delgada; además, tiene intercalaciones de caliza, arenisca y margas, y ocasionalmente de Conglomerado (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010).

En términos generales los suelos que INEGI (2013) reporta para San Antonio Texcala son:

**Regosol.** Los Regosoles forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros GSR. En la práctica, los Regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen ningún horizonte diagnóstico. Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos.

**Leptosol.** Grupo de suelos muy someros, que se desarrollan incipientemente sobre roca continúa. Son suelos muy gravillosos y/o pedregosos que son particularmente comunes en regiones montañosas.

**Phaeozem.** Los Phaeozems acomodan suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales en clima moderadamente continental. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados. Consecuentemente, tienen horizonte superficial oscuro, rico en humus que, en comparación con Chernozems y Kastanozems, son menos ricos en bases. Los Phaeozems pueden o no tener carbonatos secundarios pero tienen alta saturación con bases en el metro superior del suelo.

**Gipsisoles.** Los Gipsisoles son suelos con una acumulación secundaria sustancial de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Estos suelos se encuentran en la parte más seca de la zona de clima árido, lo que explica que los sistemas líderes de clasificación de suelos hayan denominado a muchos de ellos como *suelos de desierto* (antigua Unión Soviética), y *Yermosoles* o *Xerosoles*.

#### 5.4 Hidrología

El municipio de Zapotitlán, Puebla se encuentra en la Región Hidrológica 28 Papaloapan, en la cuenca Río Papaloapan, a la que pertenece San Antonio Texcala, y solamente el área suroeste pertenece a la cuenca del Balsas. En el Valle de Zapotitlán hay numerosos arroyos que corren en distintas direcciones y son de tipo intermitente, el principal es llamado “*Agua el Gavilán*” que se encuentra al centro-este y es el principal afluente del río de Zapotitlán, que finalmente se une con el río Tehuacán, este último es muy salado debido a las depresiones de la zona.

La hidrografía del ejido está delimitada por dos subcuencas y 16 microcuencas, dentro de las que se encuentran 14 manantiales, de los cuales, 10 son de agua dulce y 4 de agua salada; siendo El Palenque, el más importante por ser el que surte de agua para consumo humano al ejido, además por su belleza escénica, lo que representa un potencial turístico para el sitio. Algunos escurrimientos que corren por el ejido tienen gran cantidad de sales que son extraídas por la comunidad a través de un proceso de evaporación, siendo una de las actividades económicas principales en el ejido y la región. Los principales escurrimientos que recorren las Barrancas de San Antonio Texcala son: El Chizo, El Púlpito y Alpozonga (Macías-Cuéllar *et al.*, Inédito).

### 5.5 Vegetación y Uso del Suelo

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, del que forma parte San Antonio Texcala, mantiene la mayor diversidad de cactáceas columnares del continente, encontrándose asociaciones vegetales donde dominan el tetecho del género *Neobuxbaumia*, y otras especies de los géneros *Pachycereus*, *Stenocereus*, *Mitrocereus* y *Cephalocereus* (cardonales). Macías-Cuéllar *et al.* (2010) mencionan que a pesar de que San Antonio Texcala ocupa el 0.26% del área total del Valle de Tehuacán, cuenta con una diversidad florística que se distribuye en diversas asociaciones vegetales, descritas por Valiente *et al.* (2009):

#### En la zona suroeste del ejido:

- **Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani***, esta asociación se desarrolla sobre laderas con suelos sobre rocas calizas, por lo general entre los 1500 y 1700m de altitud, también es denominado cardón o “viejo” y es una especie endémica del valle de Tehuacán-Cuicatlán que puede alcanzar hasta los 9 o 10 metros de altura y presenta un ápice siempre inclinado con orientación al norte. Algunas especies que pueden encontrarse asociados al cardonal son: *Mimosa luisana*, *Hechtia podantha*, *Agave peacockii*, *Caesalpinia melanadenia*, *Agave macroacantha*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Fouquieria formosa*, *Mascagnia parvifolia*, *Lippia graveolens*, *Ipomoea arborescens*, *Beaucarnea gracilis*, *Karwinskia humboldtiana* y *Morkillia mexicana*.
- **Palmar de *Brahea dulcis***, esta asociación vegetal comúnmente se encuentra entre los 1600 y los 1750msnm, principalmente sobre suelos calizos.
- **Candelillar de *Euphorbia antisiphilitica***, se localiza en las laderas de las rocas calizas entre los 1600 y los 1700 metros de altitud.

### Zona oeste del ejido:

- **Izotal de *Yucca periculosa***, se puede encontrar alrededor de los 1700 msnm, predominando en zonas calizas de suelos someros, es la especie dominante en esta asociación vegetal; presenta ramificaciones, cuyas ramas rematan en hojas parecidas a las de los magueyes, con la diferencia de que carece de espinas laterales y sólo posee una espina terminal.
- **Matorral de *Echinocactus platyacanthus***, puede encontrarse en zonas con altitudes que van de los 1600 a los 1800 msnm, en áreas con roca caliza expuesta. Se presenta como la especie dominante en esta asociación vegetal, encontrándose acompañada por: *Painteria elachystophylla*, *Agave potatorum*, *Agave peacocki*, *Pedylantus spp.*

### Zona noroeste y norte del ejido:

- **Matorral de *Echinocactus platyacanthus***. Descrito anteriormente.
- **Cardonal de *Mitrocereus fulviceps***, se localiza a una altitud entre los 1700 y los 1900 msnm, en laderas y cerros con roca caliza. Las especies arbustivas más comúnmente encontradas son: *Acacia subangulata*, *Acacia constricta*, *Mimosa luisina*, *Caesalpinia melanadenia*.

## 6. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en distintas etapas, tomando como referente a Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda (1981):

6.1. *Etapa de planeación.* Durante esta etapa se recopiló cartografía y bibliografía del área de estudio. Utilizando la carta topográfica en papel y en formato digital, así como fotografías aéreas escala 1:20,000 de la zona, se ubicaron los puntos de muestreo para hacer el levantamiento. Para ello se zonificó el área en unidades geomorfológicas delimitadas mediante fotointerpretación, las cuales agrupan las variaciones de las formas del relieve, principalmente en función de los cambios en la pendiente del terreno y la altitud sobre el nivel del mar. Para ello se realizó un mapa hipsométrico, uno de tipos de pendiente y el de unidades de relieve, utilizando el programa ArcMap 10.1. Con la cartografía como base, se definieron los sitios a muestrear, procurando representar la variación de las formas del relieve.

6.2. *Etapa de ejecución en campo.* Se llevaron a cabo salidas al campo donde se levantaron los perfiles edafológicos, describiendo las condiciones ambientales de los sitios

y la morfología de los horizontes de los perfiles, mismos que se ubicaron espacialmente con un GPS Garmin 60CSX. Se tomaron muestras de suelo de cada uno de los horizontes descritos, para su posterior análisis en laboratorio.

*6.3. Etapa de ejecución en laboratorio.* Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Edafología de la FES Iztacala determinando los siguientes parámetros físicos y químicos de acuerdo con Muñoz *et al.* (2015): color, textura por el método de Bouyoucos (1962), densidad aparente por el método volumétrico (Beaver, 1963), densidad real por el método de picnómetro (Aguilera y Domínguez, 1980), porosidad, pH, materia orgánica por el método de Walkley & Black (1947), y carbonatos por el método gasométrico (Magistad, 1945).

*6.4. Etapa de clasificación de grupos de suelo.* Los horizontes maestros y sus características subordinadas fueron designados con ayuda de lo señalado por la Guía de descripción de los suelos (FAO, 2009). Con base en la metodología señalada en la Base Referencial Mundial para el recurso suelo (WRB) (IUSS Working Group, 2006) los perfiles edáficos fueron clasificados, utilizando los datos ambientales, morfológicos, los resultados de las pruebas analíticas de laboratorio y los horizontes diagnóstico.

*6.5. Etapa de generación de la cartografía de suelo.* Las unidades cartográficas se definieron de acuerdo con lo descrito por Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda (1981), quienes mencionan que los grupos de suelo son clasificados de acuerdo con su complejidad y variación, agrupándose en unidades simples, complejas o indeterminadas, según corresponda.

Para la elaboración del mapa se utilizó el programa para Sistemas de Información Geográfica ArcMap versión 10.1, considerando que los sistemas de información geográfica son una herramienta útil para el inventariado, procesamiento y análisis de datos y elaboración de cartografía digital (Hernández-Moreno, 2006). El mapa edafológico de San Antonio Texcala servirá como herramienta para la evaluación de los recursos naturales, la predicción de fenómenos emergentes y la puesta en marcha de futuros proyectos de conservación y/o de restauración. La escala del mapa utilizada fue 1:50,000.

## 7. Resultados

7.1 Descripción Morfológica y caracterización Física, química y ambiental de los Grupos de Suelo de Referencia (GSR).

### 7.1.1. Calcisoles (CL)

Los Calcisoles incluyen un grupo de suelos que presentan una acumulación secundaria sustancial de material calcáreo. Están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos, con frecuencia asociados con materiales parentales altamente calcáreos (IUSS Working Group WRB, 2006).

Particularmente para el área de estudio se identificaron 3 calificadores de Grupo I siendo estos endopétrico, epipétrico e hipercálcico definidos por la WRB 2006 como: endopétrico (ptn), se refiere a que tiene una capa fuertemente cementada o endurecida que comienza entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo; el calificador epipétrico (ptp) se refiere a que tiene una capa fuertemente cementada o endurecida que comienza dentro de los primeros 50 cm de la superficie del suelo; por último, el calificador hipercálcico (hc) se refiere a que tiene un horizonte *cálcico* con 50 por ciento o más (en masa) de carbonato de calcio equivalente y que comienza dentro de 100 cm de la superficie del suelo.

Adicionalmente, se atribuyeron una serie de calificadores de Grupo II identificados como: arcílico (ce) que tiene una textura arcillosa en una capa de 30 cm o más de espesor, dentro de los primeros 100 cm de la superficie de suelo; epiesquelético (skp) que tiene 40 por ciento o más (en volumen) de gravas u otros fragmentos gruesos promediado en una profundidad de 50 cm desde la superficie del suelo, o hasta roca continua, o una capa cementada o endurecida, lo que esté a menor profundidad; nóvico (nv) que tiene por encima del suelo que se clasifica a nivel de GSR, una capa con sedimentos recientes, de 5 cm o más de espesor y menos de 50 cm; límico (sl) que tiene una textura limosa, franco limosa o arcillo limosa en una capa de 30 cm o más de espesor, dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo.

#### a) Uso actual y vegetación

En la mayoría de las zonas donde se distribuyen los Calcisoles, el principal uso que se le da es pecuario para la engorda y pastoreo de ganado bovino y caprino, además, en las partes más bajas y planas su uso principal es el agropecuario para siembra de maíz y

pastoreo. La vegetación original ha sido sustituida en las zonas de cultivo por vegetación secundaria, aunque presenta remanentes circundantes de la vegetación original como mezquital de *Prosopis laevigata*, izotal de *Yucca periculosa*, cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y matorral crasi-rosulifolio (Valiente-Baunet *et al.*, 2009). Algunas de las especies acompañantes son: *Agave marmorata*, *Mammillaria sp.*, *Mitrocereus fulviceps*, *Hechtia podantha*, *Dasyllirion serratifolium*, *Echinocactus platyacanthus*, *Beaucarnea gracilis* y *Opuntia sp.*

En sitios donde no tiene un uso agrícola o pecuario aún posee vegetación primaria ligeramente perturbada, constituida por Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y matorral de *Gochnatia hypoleuca*. Las especies acompañantes registradas son: *Bursera aloexylon*, *Bursera sp.*, *Agave sp.*, *Beaucarnea gracilis*, *Lippia graveolens*, *Jatropha neopauciflora*, *Hechtia podantha*, *Euphorbia antisiphilitica* y *Opuntia sp.*

#### b) Descripción ambiental

El Calcisol endopétrico (CLptn) se encuentra tanto en planicies como en laderas y lomeríos, con pendiente que van desde los 2° hasta los 29°, en laderas inclinadas y cóncavas de los sitios denominados El Rincón y las Salinas Grandes. El material parental encontrado fue del tipo depósitos gravitacionales en partes más bajas (planicie) y roca sedimentaria de tipo caliza en cimas y laderas. La hidrología, en general para toda la zona de estudio, está constituida por ríos y escurrimientos intermitentes que se interconectan en un sistema de barrancas corriendo desde los cerros, laderas, mesas hasta los fondos de valle. La profundidad útil promedio para este grupo de suelos va desde los 0 a los 24 cm, con un porcentaje de pedregosidad de <5% en zonas planas y hasta >50% en laderas. Se observó que el principal tipo de erosión en este grupo de suelos es de tipo difusa o laminar, de intensidad moderada a severa ocasionando la pérdida parcial del horizonte superficial y en algunos casos también se observó erosión de tipo hídrica formando canales. La principal problemática ambiental en sitios con este tipo de suelos es la falta de precipitación, la erosión moderada a severa y la degradación de la zona relacionada con la localización de los sitios en un complejo sistema de barrancas.

El Calcisol epipétrico (CLptp) se logró identificar sobre un sistema de mesa inclinada con una pendiente de 5°, al noroeste de Cerro Mogote Grande entre Barranca Encinal y Barranca Cruz Rosario. El material parental encontrado fue de tipo caliza con algunos depósitos conglomerados. La profundidad útil de este tipo de suelos va desde los 0 a los

24 cm y un porcentaje de pedregosidad de 1-5%. La erosión es difusa o laminar ligera, provocando pérdida parcial del horizonte superficial.

Los Calcisoles hipercálcicos (CLhc) se distribuyen sobre laderas inclinadas denudativas y sobre planicies aluviales con pendientes que van desde 1° en las partes bajas, hasta los 25° en las laderas de los sitios denominados El Palenque, Cerro Bancos y norte del Cerro Oreganal y al sur de Cerro Tecoyuco. El material parental presente está constituido por roca sedimentaria de tipo caliza en las laderas y de tipo conglomerado en planicies aluviales. La profundidad útil en este tipo de suelos es muy variada, encontrando profundidades que van de 0 a 50 cm en zonas de planicie, hasta los 12 a 64 cm en laderas inclinadas. Presentan erosión hídrica en todos los sitios muestreados, provocando pedestales, canales, cárcavas y barrancas; también se identificó erosión de tipo difusa o laminar, provocando la pérdida parcial del horizonte superficial. La principal problemática ambiental observada consiste en que la vegetación está altamente perturbada y los suelos son altamente propicios a erosión hídrica.

#### c) Descripción morfológica

En general, el grupo Calcisol presentó dos horizontes en cada uno de los perfiles descritos, los cuales se identificaron como A y C; aunque simultáneamente se identificaron discontinuidades y subhorizontes.

Los Calcisoles endopétricos (CLptn) presentaron un color gris oscuro y gris parduzco en seco, mientras que en húmedo son de color negro y pardo amarillento; son ligeramente compactos en los horizontes superficiales y compactos en los subsuperficiales; poseen una estructura de tipo granular suave, con poliedros subangulares pequeños y una mezcla con partícula individual; sus agregados poseen una estabilidad débil a moderada. En general, son suelos adhesivos y plásticos a lo largo de todo el perfil, aunque también se encontraron excepciones donde disminuyen estas propiedades conforme aumenta la profundidad, o carecen totalmente de éstas. La consistencia es, en su mayoría, de tipo blanda en seco, aunque también pueden tener consistencia suelta y dura en algunos casos; en húmedo son de consistencia friable. Este tipo de suelos poseen texturas arcillosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas, siendo la arcilla un común denominador en su determinación. Pueden o no tener intrusiones a lo largo de todo el perfil, o en su caso, éstas se encontrarán en los horizontes subsuperficiales abarcando no más de un 40% de volumen ocupado; además, pueden encontrarse raíces de distintos tamaños en horizontes superficiales o adyacentes

a ellos y como generalidad la frecuencia de avistamientos disminuye mientras aumenta la profundidad. Este grupo de suelos poseen una reacción muy violenta a la prueba de carbonatos con HCl al 10% a lo largo de todo el perfil y no se encontraron nódulos ni concreciones visibles.

El Calcisol epipétrico (CLptp) es de color pardo grisáceo y gris oscuro en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, compacto en horizontes superficiales y muy compacto en horizontes subsuperficiales; su estructura está conformada por poliedros subangulares de tamaño moderado y partícula individual; son ligeramente adhesivos a adhesivos, plásticos, de consistencia blanda a ligeramente dura en seco y friable en húmedo; tienen una textura franco arcillo arenosa. Pueden llegar a tener intrusiones que ocupan desde un 60-90% de volumen en horizontes más cercanos a la roca madre y raíces de tamaño fino y mediano en escasas proporciones a lo largo de todo el perfil. Presentan reacción muy violenta a la prueba de carbonatos con HCl al 10% y no tienen nódulos ni concreciones visibles.

El Calcisol hipercálcico (CLhc) es de color gris y pardo grisáceo en seco y gris oscuro, o pardo grisáceo oscuro en húmedo; es ligeramente compacto en horizontes superficiales y compacto en horizontes subsecuentes; posee una estructura granular suave, con poliedros subangulares y partícula individual; en algunos casos la estructura se encuentra mezclada con fragmentos de roca o posee un desarrollo pobre de la misma. Pueden ser muy plásticos y muy adhesivos o no presentar ninguna de estas características, dependiendo de su textura la cuál varía considerablemente entre franco arcillo arenosa, franco arenosa, arena francosa y arcilla. También posee una consistencia variada entre suelta, blanda, semidura y dura en seco, pero se mantiene con una consistencia siempre friable en húmedo. Pueden encontrarse intrusiones de hasta un 60% en volumen ocupado. En horizontes superficiales se pueden encontrar raíces de distinto tamaño y número pero disminuyen con forme aumenta la profundidad. Como generalidad, este tipo de suelo presentó una reacción muy violenta con HCl al 10% en horizontes subsuperficiales y violenta en horizontes superficiales, no se encontraron nódulos pero sí se pudo observar una acumulación de carbonatos de forma masiva en horizontes próximos a la roca madre.

d) Propiedades físicas y químicas

**Calcisol endopétrico (CLptn)** intervalos de 3 perfiles.

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>	<b>Horizonte C/R</b>
% Arenas	14-39.6	14-39.6
% Arcillas	38-46	22-46
% Limos	19.6-42	19.6-52
Densidad aparente (gr/cc)	0.97-1.08	0.95-1.28
Densidad real (gr/cc)	2.07-2.42	1.81-2.56
Porosidad	52-59	47-52
% Materia orgánica	1.80-4.52	0.7-3.68
pH	7.98-8.48	7.57-8.81
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21.56-66	20.04-66.33

**Calcisol epipétrico (CLptp)** perfil único.

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>	<b>Horizonte C/R (promedio)</b>
% Arenas	62	53
% Arcillas	22	33
% Limos	16	14
Densidad aparente (gr/cc)	1.00	0.91
Densidad real (gr/cc)	2.46	2.33
Porosidad (%)	59	60
% Materia orgánica	2.30	1.15
pH	7.82	7.87
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45.41	44

**Calcisol hipercálcico (CLhc) intervalos de 2 perfiles.**

Propiedad	Horizonte A	Horizonte C/R
% Arenas	26-64	23-86
% Arcillas	16-54	4-50
% Limos	18-20	10-26.8
Densidad aparente (gr/cc)	0.86-1.02	0.84-1.21
Densidad real (gr/cc)	1.82-2.62	1.75-2.41
Porosidad (%)	52-62	48-59
% Materia orgánica	4.6-15.35	0.76-9.85
pH	7.85-8.18	7.9-8.5
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32-50	40-57.3

Perfil tipo de **Calcisol endopétrico (CLptn)** seguido de foto panorámica y del perfil de referencia: 23

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe23	Ak	0-16 cm	Horizonte color pardo muy pálido en seco y pardo amarillento en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave con partícula individual, agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, de consistencia suelta en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo limoso, gravas finas ocupando <10% del volumen, raíces finas escasas, medianas y grandes abundantes; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	ACk1	16-24 cm	Horizonte color pardo muy pálido en seco y pardo amarillento en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave con partícula individual mezclado con fragmentos de roca en un 10%, agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo limosa, gravas presentes ocupando un 10% del volumen, raíces finas y medianas frecuentes; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	ACk2	24-34 cm	Horizonte color pardo muy pálido en seco y pardo amarillento en húmedo, compacto, estructura granular media con partícula individual, agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, con gravas finas ocupando un 40% del volumen, raíces frecuentes y medianas

			escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ck1	34-45 cm	Horizonte pardo muy pálido en seco y pardo amarillento en húmedo, compacto, estructura granular suave y partícula individual, agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, con gravas finas ocupando un 40% del volumen, sin raíces, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ck2	45-90 cm	Horizonte color pardo muy pálido en seco y pardo amarillento en húmedo, muy compacto, estructura débilmente desarrollada y débilmente estable; muy adhesivo, muy plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco limosa, sin intrusiones, sin raíces, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 2. Panorámica con la vegetación encontrada sobre Calcisol endopétrico (CLptn).



Figura 3. Perfil representativo de grupo Calcisol endopétrico (CLptn).

Perfil tipo de **Calcisol epipétrico (CLpt)** seguido de la foto perfil de referencia: 19

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe19	Ak	0-8 cm	Horizonte color pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares de tamaño moderado; agregados moderadamente estables, ligeramente adhesivo, plástico, consistencia blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, cantos rodados presentes en un 10% del volumen, raíces finas abundantes, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Ak	8-24.5	Horizonte color gris oscuro en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, muy compacto, estructura conformada por poliedros subangulares de tamaño moderado y partícula individual, agregados moderadamente estables, ligeramente adhesivo, plástico, de consistencia blanda a dura en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, sin intrusiones, raíces finas y medianas escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Ck	24.5-45	Horizonte color gris en seco y gris muy oscuro en húmedo, muy compacto, de estructura conformada por poliedros subangulares y partícula individual, agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, de consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura arcillo arenosa, volumen ocupado por intrusiones en un 60-90%, raíces medianas escasas, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 4. Perfil edáfico representativo de un Calcisol epipétrico (CLpt).

Perfil tipo de **Calcisol hipercálcico (CLhc)** seguido de foto panorámica y del perfil de referencia: 17A

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe17A	Apk	0-29 cm	Horizonte gris pardo claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave mezclada con gravas, agregados débilmente estables, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, de consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arenosa, volumen ocupado por gravas finas en un 20%, raíces finas frecuentes, reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ck	29-50 cm	Horizonte color gris claro en seco y pardo en húmedo, compacto, estructura granular suave mezclada con gravas, agregados débilmente estables, no adhesivo, no plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y ligeramente friable en húmedo; textura franco arenosa, volumen ocupado por gravas de distintos tamaños en un 60%, raíces finas abundantes y medianas escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Ckb1	50-73 cm	Horizonte color gris claro en seco y pardo en húmedo, compacto, estructura pobre o nula sin estabilidad de agregados, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, consistencia en seco ligeramente blanda y ligeramente friable en húmedo; textura arena francosa, volumen ocupado por un 10% de gravas finas, raíces finas y medianas escasas, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Ck2	73-97 cm	Horizonte color gris claro en seco y pardo en húmedo, muy compacto, pobre o nulo desarrollo de estructura sin estabilidad en agregados, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, de consistencia suelta en seco y ligeramente friable en húmedo; textura arena francosa, volumen ocupado por gravas finas, raíces finas escasas, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Ck3	97-121 cm	Horizonte color gris claro en seco y pardo en húmedo, muy compacto, pobre o nulo desarrollo de estructura sin estabilidad en agregados, no adhesivo, no plástico, de consistencia suelta en seco y ligeramente friable en húmedo; sin intrusiones, raíces finas escasas, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 5. Panorámica con la vegetación representativa de Calcisol hipercálcico (CLhc).



Figura 6. Perfil edáfico representativo de Calcisol hipercálcico (CLhc).

### 7.1.2. Leptosoles (LP)

Los Leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas. En muchos sistemas nacionales, los Leptosoles sobre roca calcárea pertenecen a las *Rendzinas*, y aquellos sobre otras rocas, a los *Rankers* (IUSS Working Group WRB, 2006).

Dentro del área de estudio se identificaron 3 calificadores de Grupo I; háplico, lítico y réndzico los cuales son definidos por la WRB 2006 como: háplico (ha) referido a un grupo de suelos que tiene una expresión típica de ciertos rasgos (típica en el sentido de que hay una caracterización adicional o significativa), usada sólo si no aplica ninguno de los calificadores previos; lítico (li) se refiere a que tiene roca continua que comienza dentro de los 10 cm de la superficie del suelo; el calificador réndzico (rz) aplica cuando existe un horizonte mólico<sup>1</sup> que contiene o está inmediatamente por encima de material calcáreo o roca calcárea que contiene 40 por ciento o más de carbonato de calcio equivalente.

También se asignaron los calificadores de Grupo II identificados como: calcáreo (ca) referido a que posee material calcáreo entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo o entre los 20 cm y roca continúa, o una capa cementada o endurecida, lo que esté a menor profundidad; húmico (hu), para asignar este calificador del Grupo II en Leptosoles, es necesario definir si aplica el calificador hiperesquelético en el Grupo I; entonces, si contiene un 2% o más de contenido de carbono orgánico en la fracción fina como promedio ponderado hasta una profundidad de 25 cm desde la superficie del suelo mineral, será húmico. En otros suelos, para ser húmico, deberá contener un 1% o más hasta una profundidad de 50 cm desde la superficie del suelo mineral. El tercer calificador de Grupo II identificado para los Leptosoles fue el nóvico, descrito para los Calcisoles.

#### a) Uso actual y vegetación

En la mayoría de las zonas donde se distribuyen los Leptosoles, el uso principal que se les da es el pecuario para el pastoreo de ganado caprino principalmente, aunque también se encontraron zonas con vegetación primaria muy densa sobre laderas inclinadas muy conservadas en el sitio "B. Grande". Debido al grado de perturbación observado, la

---

<sup>1</sup>El horizonte mólico (del latín *mollis*, blando) es un horizonte superficial grueso, bien estructurado, oscuro, con alta saturación con bases y moderado a alto contenido de materia orgánica (IUSS WorkingGroup WRB, 2006).

vegetación original también ha sufrido transiciones a vegetación secundaria, pese a esto, se identificaron algunas asociaciones vegetales con los rasgos fisonómicos y estructurales de las comunidades vegetales características de la región descritas por Valiente-Baunet A. y colaboradores en 2009 como son: cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*, cardonal de *Mitrocereus fulviceps*, izotal de *Yucca periculosa* y matorral de *Gochnatia hypoleuca*; además, las especies registradas fueron *Echinocactus platyacanthus*, *Hechtia podantha*, *Beaucarnea gracilis*, *Agave sp.*, *Lippia graveolens*, *Solanum rostratum*, *Mammillaria sp.* y *Opuntia pilífera*.

#### b) Descripción ambiental

Los Leptosoles háplicos (LPha) se distribuyen sobre laderas inclinadas cóncavas con una pendiente de 15° en el sitio denominado como “Barranca Grande”, con un material parental de origen sedimentario del tipo caliza, se registró una profundidad útil de 0 a 19.5 cm y una pedregosidad promedio superior al 50%. Se observó erosión de tipo difusa o laminar de intensidad ligera, provocando la pérdida parcial del horizonte superficial. La principal problemática de este grupo de suelos es la poca profundidad, el bajo desarrollo y la alta pedregosidad, además de encontrarse en laderas muy inclinadas que favorecen la erosión de tipo hídrica y gravitacional si no posee cubierta vegetal.

El Leptosol lítico (LPlí) se encuentra sobre las cimas de elevaciones aisladas con una pendiente de hasta 6° en el sitio “B. Grande”, posee material parental de origen sedimentario del tipo lutita, su profundidad útil es <10 cm y una pedregosidad promedio superior al 50%. Estos suelos sufren de erosión moderada del tipo difusa o laminar, provocando la pérdida parcial del horizonte superficial.

Los Leptosoles réndzicos (LPrz) se distribuyen tanto en cimas como en laderas convexas y cóncavas con una pendiente de 7° a 25° en los sitios “B. Grande”, camino rumbo a “Cerro Mogote”, sobre laderas de lomeríos en la porción Noreste del poblado a un lado de la carretera rumbo a Tehuacán y cerca del relleno sanitario. Se desarrollan sobre 2 tipos de materiales parentales de origen sedimentario: caliza y conglomerado. Su profundidad útil promedio es de 0 a 25 cm, con excepción en algunas regiones donde llega hasta los 50 cm, poseen una pedregosidad promedio por encima del 50%. Este grupo de suelo está expuesto a erosión de tipo hídrica y laminar que provoca la pérdida del horizonte superficial en desarrollo, además de encontrarse en geofomas con condiciones desfavorables como la pendiente pronunciada.

### c) Descripción morfológica

Dentro del grupo de los Leptosoles se presentaron horizontes minerales A en la mayoría de los casos, aunque también fueron identificados horizontes C en menor frecuencia; un caso de discontinuidad también fue hallado.

El Leptosol háplico (LPha) presentó colores amarillo pálido en seco y pardo amarillento claro en húmedo, compacto en el horizonte superficial, de estructura laminar mediana con poliedros subangulares de tamaño moderado, de agregados débilmente estables, es adhesivo, plástico, de consistencia blanda en seco y ligeramente friable en húmedo; de textura franca, con un volumen ocupado por fragmentos de roca hasta en un 60%. Se encontró abundancia de raíces con tamaños finos y escasas de raíces de mayor tamaño, presenta una reacción violenta con HCl al 10% y no posee nódulos ni concreciones.

El Leptosol lítico (LPli) es de color gris claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto en el único horizonte que lo conforma, posee una estructura poliédrica subangular de agregados débilmente estables, es plástico, presenta una ligera adhesividad, de consistencia ligeramente blanda en seco y ligeramente friable en húmedo. Tiene una textura franco arcillosa, con presencia de fragmentos de roca que ocupan un 60% del volumen total y raíces de diversos tamaños, aunque en escasa abundancia. Se observó una reacción muy violenta con HCl al 10%, además cabe resaltar que se encontraron algunas costras biológicas asociadas a este grupo de suelos.

Los Leptosoles réndzicos (LPrz) presentan colores grises y pardo grisáceos en seco, mientras que en húmedo presentan tonalidades más oscuras como son pardo oscuro, pardo grisáceo oscuro y negro; generalmente son ligeramente compactos en los horizontes superficiales incluso llegando a ser material completamente suelto; su grado de compactación aumenta al incrementar la profundidad por encima de los 25 cm. Posee una estructura granular de tamaño moderado y partícula individual, en algunos casos también puede estar conformada por poliedros angulares y subangulares de tamaño moderado; los agregados suelen tener una estabilidad débil o moderada, además estos suelos generalmente son adhesivos y plásticos aunque en algunos casos esta característica suele disminuir. Su consistencia en seco puede ser variada, desde completamente suelta en suelos poco profundos, hasta dura en horizontes profundos, por tratarse de suelos un poco más desarrollados; sin embargo, como generalidad, presentan una consistencia blanda. Por otro lado, su consistencia en húmedo se mantiene en un rango friable en todos los

casos. La textura es muy variada y tiene cambios abruptos entre horizontes, de esta manera se determinaron texturas franca, arcillosa, franco arcillo arenosa, franco arcillosa y franco arenosa; puede o no tener intrusiones y de tenerlas, suelen estar conformadas por material regolítico<sup>2</sup> en un 30%; aunque se registraron casos donde el volumen ocupado llega a abarcar desde un 60% hasta 90%. Existen raíces de distintos tamaños y abundancia a lo largo de todo el perfil, en todos los sitios muestreados, con reacción moderada a muy violenta con HCl al 10%, y no poseen nódulos ni concrecencias.

d) Propiedades físicas y químicas

**Leptosol háplico (LPha) perfil único.**

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>
% Arenas	31.6
% Arcillas	38.8
% Limos	29.6
Densidad aparente (gr/cc)	1.13
Densidad real (gr/cc)	2.23
Porosidad (%)	47.83
% Materia orgánica	2.76
pH	8.03
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	49.88

**Leptosol lítico (LPli) perfil único.**

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>
% Arenas	40
% Arcillas	38
% Limos	22
Densidad aparente (gr/cc)	0.95
Densidad real (gr/cc)	2.015
Porosidad (%)	53.13
% Materia orgánica	4.12

<sup>2</sup>*Regolito*. Es el manto del material alterado física, química o biológicamente que sobreyace a la roca no meteorizada (Ramírez-Guevara, 2015).

pH	8.21
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	43.7

**Leptosol réndzico (LPrz)** intervalos de 7 perfiles.

Propiedad	Horizonte A	Horizonte C/R
% Arenas	36-72	31.2-44
% Arcillas	19.2-41.2	30-49.2
% Limos	4-43.6	19.6-26
Densidad aparente (gr/cc)	0.87-1.02	0.93-0.96
Densidad real (gr/cc)	1.91-2.72	1.83-1.99
Porosidad (%)	48-67	49-51
% Materia orgánica	4.1-10.1	2.8-6.06
pH	7.7-8.3	8.2-8.3
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32-43	40-52

Perfil tipo de **Leptosol háplico (LPha)** seguido de foto panorámica y del perfil de referencia:

4

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe4	A	0-19.5 cm	Horizonte color amarillo pálido en seco y pardo amarillento claro en húmedo, compacto, de estructura laminar mediana y poliedros subangulares medianos, agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, de consistencia blanda en seco y ligeramente friable en húmedo; de textura franca, volumen ocupado por fragmentos de roca en un 60%, raíces finas abundantes y medianas escasas; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos o concrecencias.



Figura 7. Panorámica sobre Leptosol háplico (LPha).



Figura 8. Perfil edáfico representativo de Leptosol háplico (LPha).

Perfil tipo de **Leptosol lítico** (LPlí) seguido de foto panorámica y del perfil de referencia: 7

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe7	A	0-11 cm	Horizonte gris claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto, estructura poliédrica subangular, agregados débilmente estables, ligeramente adhesivo, plástico, de consistencia ligeramente blanda es seco y ligeramente friable en húmedo; textura franco arcillosa, pedregosidad conformada por fragmentos de roca, 60-90% de volumen ocupado por intrusiones, raíces finas, medianas y grandes escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, presencia de costras biológicas.



Figura 9. Panorámica y cobertura vegetal sobre Leptosol lítico (LPLi).



Figura 10. Perfil edáfico representativo de Leptosol lítico (LPLi).

Perfil tipo de **Leptosol réndzico (LPrz)** seguido de foto panorámica y del perfil de referencia: 25

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe25	Ah	0-13 cm	Horizonte color pardo grisáceo en seco y pardo muy oscuro en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular media y poliedros subangulares de tamaño mediano moderadamente estables; adhesivo, plástico, de consistencia blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arenosa, fragmentos de roca (regolita) ocupando el 60% del volumen, raíces finas frecuentes y medianas escasas; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.
	Ch	13-34 cm	Horizonte color pardo grisáceo en seco y color pardo muy oscuro en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular media de moderada estabilidad en agregados, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, fragmentos de roca (regolito y saprofita) ocupando hasta un 90% del volumen, raíces finas, medianas y grandes escasas; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.



Figura 11. Panorámica y vegetación representativa sobre Leptosol réndzico (LPrz).

Figura 12. Perfil edáfico representativo de Leptosol réndzico (LPrz).



### 7.1.3. Phaeozem (PH)

Los Phaeozems incluyen suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales en clima moderadamente continental. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados. Consecuentemente, tienen horizonte superficial oscuro, rico en humus que, en comparación con Chernozems y Kastanozems, son menos ricos en bases. Los Phaeozems pueden o no tener carbonatos secundarios pero tienen alta saturación con bases en el metro superior del suelo (IUSS Working Group WRB, 2006).

Dentro del ejido de San Antonio Texcala fueron identificados los calificadores Grupo I Léptico y Réndzico. IUSS Working Group WRB (2006) define el calificador léptico (le) referido a que tiene roca continua que comienza dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo.

Los calificadores del Grupo II asignados fueron: arcílico (ce), esquelético (sk) y calcárico (ca), descritos anteriormente para los calcisoles y leptosoles, respectivamente.

#### a) Uso actual y vegetación

El uso principal de este tipo de suelos es el pecuario (pastoreo caprino principalmente), debido a que se encuentra distribuido principalmente en laderas inclinadas. También hay áreas destinadas a la protección y restauración de la vegetación como lo es en Cerro Mogote y Cerro Nopaltepec; y como caso particular, también le dan un uso agropecuario sobre terrenos menos inclinados localizados en el sitio denominado La Mesa.

Las asociaciones vegetales según Valiente-Baunet A. y colaboradores en 2009, que presenta este grupo de suelos fueron: Cardonal de *Mitrocereus fulviceps* siempre distribuido sobre laderas (C. Mogote y al noreste de C. Llano Grande, cerca de la parcela de escolar), Izotal de *Yucca periculosa* distribuido sobre mesa (La Mesa), *Matorral crasi-rosulifolio* encontrado sobre laderas intermedias en lomas (antes de llegar a Barranca Encinal al noroeste de Cerro Mogote Grande) y transiciones entre Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y Cardonal de *Mitrocereus fulviceps* sobre laderas (Barranca Pulpito). Las especies vegetales acompañantes fueron: *Agave peacockii*, *Agave potatorum*, *Agave marmorata*, *Echinocactus platyacanthus*, *Acacia sp.*, *Braheasp.*, *Beaucarnea gracilis*, *Prosopis laevigata*, *Dasyllirion serratifolium*, *Hechtia podantha*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Gochnatia hypoleuca*, *Gymnosperma glutinosum* y *Opuntia pilifera*.

#### b) Descripción ambiental

Los Phaeozem lépticos (PHlp) se distribuyen sobre laderas inclinadas de elevaciones aisladas con una pendiente de hasta 29°, sobre material parental de origen sedimentario del tipo caliza, se determinó una profundidad útil de hasta 36 cm y una pedregosidad promedio de 50% de volumen ocupado. Se encontró un severo grado de erosión de tipo laminar o difusa en hasta un 60% del área, ocasionando la pérdida parcial del horizonte superficial (Barranca Encinal al noroeste de Cerro Mogote Grande).

Los Phaeozem réndzicos (PHrz) se encontraron sobre laderas inclinadas rectas, cóncavas y convexas, que pueden ser denudativas o acumulativas, con una pendiente que va de 10° a 22° en los sitios conocidos Cerro Nopaltepec y Cerro Tehuantepec chico; también se encontraron distribuidos sobre terreno elevado como lo es La Mesa con una pendiente de 3° sobre material parental sedimentario de tipo caliza, con una profundidad útil de 57 cm y una pedregosidad promedio del 50% del volumen ocupado. Se observó erosión de tipo difusa provocando la pérdida moderada del horizonte superficial, sin embargo, la mayor problemática en estas zonas es su alta pedregosidad.

### c) Descripción morfológica

Los Phaeozem encontrados en el ejido poseen horizontes minerales A y C con perfiles que muestran un mayor desarrollo del horizonte A dentro de este grupo de suelos.

El Phaeozem réndzico (PHrz) es de color pardo claro, pardo grisáceo, pardo grisáceo oscuro, gris, gris claro, gris oscuro, gris muy oscuro y negro en seco; mientras que en húmedo presenta colores pardo oscuro, pardo muy oscuro, pardo grisáceo oscuro, pardo grisáceo muy oscuro, gris oscuro, gris muy oscuro y negro. Son ligeramente compactos o compactos en horizontes superficiales y su nivel de compactación aumenta considerablemente conforme aumenta la profundidad; son de estructura granular suave a media, en algunos casos mezclados con partícula individual y fragmentos de roca, con agregados débilmente estables que, en el menor de los casos, pueden ser poliedros subangulares. Su consistencia en seco llega a ser suelta a blanda mientras que en húmedo se mantiene generalmente friable, es adhesivo y plástico en menor o mayor medida, dependiendo de su textura la cual puede ser franca, franco arenoso, franco arcillo arenosa y arcillo arenosa. Se encontraron intrusiones en la descripción de estos suelos, ocupando volúmenes muy variados, llegando a contener desde el 5% hasta un 90% en casos extremos, poseen raíces de distintos tamaños a lo largo de todo el perfil pero su abundancia disminuye conforme aumenta la profundidad, generalmente poseen una reacción violenta con HCl al 10% y no poseen nódulos ni concreciones.

El Phaeozem léptico (PHlp) es gris oscuro y negro en seco; en húmedo presenta colores gris muy oscuro y negro. Es ligeramente compacto a lo largo de todo el perfil, con estructura granular suave, poliedros subangulares y partícula individual mezclada con fragmentos de roca; sus agregados poseen nula o poca estabilidad, son bastante adhesivos y plásticos con una consistencia en seco suelta o ligeramente blanda, pero se mantiene friable en

húmedo. Es de textura franco arcillo arenosa, con raíces finas y medianas a lo largo de todo el perfil, se encontraron intrusiones en todos los horizontes desde un 30% hasta un 60% del volumen ocupado, de reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.

d) Propiedades físicas y químicas

**Phaeozem réndzico (PHrz)** intervalos de 7 perfiles.

Propiedad	Horizonte A	Horizonte C/R
% Arenas	21-70	27-72
% Arcillas	20-36.8	16-48
% Limos	8-41	6-25
Densidad aparente (gr/cc)	0.72-1.00	0.73-0.96
Densidad real (gr/cc)	1.82-2.59	1.43-2.46
Porosidad (%)	51-68	38-67
% Materia orgánica	4.1-20.3	3.3-15.7
pH	7.2-8.6	7.7-8.8
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9.7-64	45-54

**Phaeozem léptico (PHlp)** perfil único.

Propiedad	Horizonte A (promedio)	Horizonte C/R
% Arenas	61	64
% Arcillas	21	24
% Limos	18	12
Densidad aparente (gr/cc)	0.86	0.94
Densidad real (gr/cc)	1.83	1.85
Porosidad (%)	52	49
% Materia orgánica	15.5	12.13
pH	8.05	8.2
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19	19

Perfil tipo de **Phaeozem réndzico (PHrz)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 18

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe18	Ah	2-37 cm	Horizonte color gris muy oscuro en seco y negro en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular media, agregados débilmente estables, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, textura franco arcillo arenoso, sin intrusiones, raíces finas abundantes, medianas y grandes frecuentes; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ch	37-59 cm	Horizonte color gris muy oscuro en seco y negro en húmedo, ligeramente compacto, estructura conformada por partícula individualy algunos agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia suelta en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, volumen ocupado por intrusiones en un 80%, raíces finas frecuentes y medianas escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 13. Panorámica y vegetación representativa sobre Phaeozem réndzico (PHrz).



Figura 14. Perfil representativo Phaeozem réndzico (PHrz).

Perfil tipo de **Phaeozem léptico (PHlp)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 22

Perfil	Horizontes	Profundidad	Descripción morfológica
Pe22	Ah1	0-6 cm	Horizonte color gris oscuro en seco y gris muy oscuro en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave y partícula individual mezclada con fragmentos de roca en un 50% del volumen; agregados sin estabilidad, adhesivo, plástico, de consistencia suelta en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, raíces finas muy abundantes y medianas frecuentes; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ah2	6-36 cm	Horizonte color negro en seco y negro en húmedo, ligeramente compacto, estructura del tipo granular suave con poliedros subangulares pequeños mezclado con fragmentos de roca en un 30%, agregados débilmente estables, bastante adhesivo, muy plástico, de consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, gravas y fragmentos de roca presentes en un 30% del volumen, raíces finas muy abundantes y medianas abundantes, reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ch	36-67 cm	Horizonte color negro en seco y negro en húmedo, compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares pequeños, mezclado con fragmentos de roca en un 60%; agregados débilmente estables, muy adhesivo, plástico, de consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, raíces finas y medianas escasas, reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 15. Panorámica con vegetación representativa sobre Phaeozem léptico (PHlp).



Figura 16. Perfil edáfico representativo Phaeozem léptico (PHlp).

#### 7.1.4. Regosoles (RG)

Los Regosoles forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros GSR. En la práctica, los Regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte *mólico* o *úmbrico*, no son muy someros ni muy ricos en gravas (Leptosoles), arenosos (Arenosoles) o con materiales flúvicos (Fluvisoles). Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos (IUSS Working Group WRB, 2006).

En la zona estudiada fueron identificados los calificadores epiléptico, léptico y háplico pertenecientes al Grupo I. El IUSS Working Group WRB (2006) define el calificador epiléptico (el) como: con roca continua que comienza desde 50 cm de la superficie del suelo.

Los calificadores léptico (le) y háptico (ha) fueron descritos en los apartados de los Phaeozems y Leptosoles, respectivamente.

Los calificadores del Grupo II atribuidos para este grupo de suelo fueron: arcílico (ce), calcárico (ca) y húmico (hu) que fueron descritos en los apartados correspondientes a los Calcisoles y Leptosoles respectivamente.

#### a) Uso de suelo y vegetación

El uso principal de estos suelos es el pecuario aunque también tienen áreas pequeñas poco perturbadas donde aún se encuentra vegetación original.

Basándonos en las comunidades vegetales descritas por Valiente-Baunet A. y colaboradores en 2009, las asociaciones vegetales encontradas fueron: *Tetechera de Neobuxbaumia tetetzo* en Barranca Grande y *Matorralcrasi-rosulifolio* en los sitios Barranca El Pulpito y al noreste de Cerro Oreganal; además, fueron registradas especies acompañantes como: *Mammillaria spp.*, *Bursera spp.*, *Dasyllirion serratifolium*, *Hechtia podantha*, *Echinocactus platyacanthus* y *Prosopis laevigata*.

#### b) Descripción ambiental

Los Regosoles epilépticos (RGel) se distribuyen sobre la cima de elevaciones aisladas, específicamente al noreste de Cerro Oreganal, con una pendiente de 10° sobre material parental sedimentario del tipo caliza, con una profundidad de suelo útil de 37 cm, además, poseen un alto grado de pedregosidad, por encima del 50% del volumen ocupado. Se observó un grado moderado de erosión laminar y compactación.

El Regosol léptico (RGle) se distribuye sobre las laderas bajas de elevaciones aisladas, específicamente en el sitio conocido como Barranca Grande, llegando a tener una pendiente de hasta 19°, posee un material parental de origen sedimentario del tipo de las calizas y una profundidad de suelo útil de 50 cm. Poseen un alto grado de pedregosidad por encima del 50% del volumen ocupado. Se determinó que un 10% del área se encuentra afectada por erosión de tipo hídrica generando canales o cárcavas.

Los Regosoles hápticos (RGha) se encuentran sobre laderas muy inclinadas en el sitio Barranca Pulpito con pendientes de 30°, poseen un material parental sedimentario del tipo caliza y una profundidad útil de 49 cm. Presentan pedregosidad hasta un 25% del volumen

ocupado. Se encontraron señales de erosión de tipo hídrica y laminar provocando la formación de canales y la pérdida parcial del horizonte superficial en un grado moderado.

### c) Descripción morfológica

El grado de desarrollo de los horizontes en este tipo de suelos es muy pobre, por lo que comúnmente solo se encuentran horizontes tipo A y C, con excepción en un caso particular del Regosol háplico (RGha), donde se determinó un horizonte B de acumulación con arcilla transportada por iluviación (horizonte Bt) en el sitio Barranca Púlpito.

Regosol epiléptico (RGel) presentó colores gris pardo claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto a lo largo del perfil, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares mezclados con gravas en un 5%, con agregados débilmente estables. Se conserva con mucha plasticidad y adhesión en todo el perfil, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, volumen ocupado por fragmentos de roca en un 5%, raíces de tamaños variados cuya abundancia disminuye a medida que aumenta la profundidad, del mismo modo desaparecen las raíces más grandes; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.

El Regosol léptico (RGle) presentó colores pardo claro amarillento y gris claro en seco, mientras que en húmedo adquiere colores pardo olivo claro y pardo amarillento claro, es ligeramente compacto en el horizonte superficial y el grado de compactación aumenta con la profundidad, estructura conformada por agregados granulares, partícula individual, poliedros subangulares pequeños y fragmentos de roca; los agregados son débilmente estables. Es bastante adhesivo y bastante plástico a lo largo del perfil, su consistencia se mantiene ligeramente blanda en seco y friable en húmedo a lo largo de todo el perfil; su textura se encuentra en los rangos de arcilla, franco arcillosa y franco arcillo arenosa. Presenta intrusiones o fragmentos de roca de un 30% a un 50% en los primeros 40 cm de profundidad desde la superficie del suelo, contiene abundantes raíces pequeñas y escasas raíces medianas en un 75% del perfil, con reacción violenta o muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.

Regosol háplico (RGha) presenta colores gris pardo claro en seco y pardo grisáceo oscuro a muy oscuro en húmedo, es compacto, con estructura granular, poliedros subangulares y partícula individual, agregados débilmente estables, muy adhesivo, plástico, de consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo a lo largo de todo el perfil. Es

de textura franco a franco arcillo arenosa, las gravas se encuentran ocupando hasta un 20% del volumen, con raíces de tamaño fino y mediano a lo largo de todo el perfil, disminuyendo su abundancia al aumentar la profundidad, de reacción violenta al HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.

d) Propiedades físicas y químicas

**Regosol epiléptico (RGel) perfil único.**

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>	<b>Horizonte C/R</b>
% Arenas	38	38
% Arcillas	38	40
% Limos	24	22
Densidad aparente (gr/cc)	0.92	0.92
Densidad real (gr/cc)	1.96	1.98
Porosidad (%)	53	53
% Materia orgánica	5.7	5.7
pH	8.13	8.2
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	53	56

**Regosol léptico (RGle) perfil único.**

<b>Propiedad</b>	<b>Horizonte A</b>	<b>Horizonte C/R (promedio)</b>
% Arenas	47.2	22.2
% Arcillas	30.4	42.4
% Limos	22.4	35.4
Densidad aparente (gr/cc)	1.22	1.12
Densidad real (gr/cc)	2.85	2.61
Porosidad (%)	57	57
% Materia orgánica	2.84	1.11
pH	7.64	7.9
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.6	17.3

**Regosol háplico (RGha) perfil único.**

Propiedad	Horizonte A	Horizonte C/R	Horizonte Bt (promedio)
% Arenas	48	52	24
% Arcillas	22	28	54
% Limos	30	20	23
Densidad aparente (gr/cc)	0.84	0.89	1.28
Densidad real (gr/cc)	2.22	2.19	2.5
Porosidad (%)	62	59	49
% Materia orgánica	3.12	2.3	1.24
pH	8.06	8.04	8.1
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29.5	26.3	21

Perfil tipo de **Regosol epiléptico (RGel)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 17b

Perfil	Horizonte	Profundidad	Descripción morfológica
Pe17B	Ahk1	0-27 cm	Horizonte color gris pardo claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares pequeños mezclados con gravas en un 5%; agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, raíces finas muy abundantes, medianas frecuentes y grandes escasas; reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	Ahk2	27-37 cm	Horizonte color gris pardo claro en seco y pardo en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares de tamaño moderado débilmente estables; muy adhesivo, muy plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, volumen ocupado por fragmentos de roca en un 5%, raíces finas y medianas escasas, reacción muy violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.



Figura 17. Panorámica con vegetación representativa sobre Regosol epiléptico.



Figura 18. Perfil edáfico representativo de Regosol epiléptico.

Perfil tipo de **Regosol léptico (RGle)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 8

Perfil	Horizonte	Profundidad	Descripción morfológica
Pe8	A1	0-18 cm	Horizonte pardo claro amarillento y pardo olivo claro, ligeramente compacto, estructura granular suave y partícula individual mezclada con fragmentos de roca en un 40%, agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y ligeramente friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, 30% del volumen ocupado por intrusiones, raíces finas abundantes, medianas y grandes escasas; reacción violenta alHCl al 10%, sin nódulos o concreciones.
	C1	18-40 cm	Horizonte color pardo claro amarillento en seco y pardo olivo claro en húmedo, compacto, estructura granular suave y partícula individual, agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, consistencia en seco ligeramente blanda y friable en húmedo; textura arcillosa-franco arcillosa, contiene gravas e intrusiones ocupando un 50% del volumen, raíces finas abundantes, medianas y grandes

			escasas; reacción muy violenta alHCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.
	C2	40-67 cm	Horizonte color pardo claro amarillento en seco y pardo olivo claro en húmedo, muy compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares pequeños; agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura arcillosa, raíces medianas escasas, reacción violenta alHCl al 10%, sin nódulos o concreciones.
	C3	>67 cm	Horizonte color gris claro en seco y pardo amarillento claro en húmedo, muy compacto, estructura granular suave, partícula individual y poliedros subangulares pequeñas; agregados débilmente estables, muy adhesivo, muy plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura arcillosa, sin intrusiones, sin raíces, reacción muy violenta alHCl al 10%, sin nódulos o concreciones.



Figura 19. Perfil edáfico representativo Regosol léptico.



Figura 20. Panorámica con vegetación representativa sobre Regosol léptico.

Perfil tipo de **Regosol háplico (RGha)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 14

Perfil	Horizonte	Profundidad	Descripción morfológica
Pe14	A	0-9 cm	Horizonte color gris pardo claro en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, ligeramente compacto, estructura conformada por partícula individual, granular suave y poliedros subangulares de distintos tamaños débilmente estables; adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco, con gravas de distintos tamaños ocupando un 10% del volumen, raíces finas abundantes y medianas escasas; reacción violenta alHCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	C	9-46 cm	Horizonte color gris pardo claro en seco y pardo grisáceo oscuro en húmedo, compacto, estructura granular suave con poliedros subangulares pequeños y medianos débilmente estables; muy adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillo arenosa, con gravas de diversos tamaños ocupando un 20% del volumen, raíces finas y medianas escasas; reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Bt1	46-80 cm	Horizonte color pardo muy claro en seco y pardo amarillento claro en húmedo, muy compacto, estructura conformada por partícula individual y poliedros subangulares de diversos tamaños estables; ligeramente adhesivo, no es plástico, de consistencia blanda en seco y firme en húmeda; textura arcillosa, presencia de gravas ocupando un 5% del volumen, raíces finas escasas, reacción muy violenta alHCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	2Bt2	80-96 cm	Horizonte color pardo muy claro en seco y pardo amarillento claro en húmedo, muy compacto, estructura granular suave con poliedros subangulares de diversos tamaños muy estables; ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, de consistencia dura en seco y friable en húmedo; de textura arcillosa, sin presencia de raíces, reacción muy violenta alHCl al 10%, sin nódulos o concrecencias.



Figura 21. Panorámica con vegetación representativa sobre Regosol háplico.



Figura 22. Perfil edáfico representativo de Regosol háplico.

#### 7.1.5. Vertisoles (VE)

Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del latín *vertere*, dar vuelta) se refiere al reciclado interno constante del material del suelo (IUSS Working Group WRB, 2006).

Con el análisis de los datos se identificó el calificador Grúmico (gm) perteneciente al Grupo I, que de acuerdo con la IUSS Working Group WRB (2006) se define como: que tiene una capa superficial del suelo con un espesor de 3 cm o más, con estructura fuerte, más fina que granular gruesa.

Los calificadores calcárico (ca) y húmico (hu) pertenecientes al Grupo II fueron asociados a este grupo de suelos y ya fueron descritos en el apartado de los Leptosoles.

#### a) Uso actual y vegetación

En esta zona el uso principal que se le da a estos suelos es agrícola de temporal que se lleva a cabo en los parajes La Mesa y Llano Grande, encontrándose en este último, la parcela escolar.

Las zonas de aprovechamiento agrícola se encuentran rodeadas por parches de mezquital de *Prosopis laevigata* y *Yucca periculosa*; además se registraron otras especies vegetales como *Agave sp.* que se utilizan como elementos para retener el suelo en los bordos alrededor de las parcelas.

#### b) Descripción ambiental

Los Vertisoles se distribuyen en zonas planas, en la zona de estudio, se encontró en la unidad geomorfológica denominada mesa, cabe aclarar que en este sitio se encuentra la parcela escolar, con una pendiente no mayor a 3° y con un material parental de origen sedimentario de tipo conglomerado. Posee una profundidad útil de 35 cm y un grado de pedregosidad ocupando el 25% del volumen total. Se determinó un ligero grado de erosión de tipo laminar en menos de un 10% del área.

#### c) Descripción morfológica

Este grupo de suelos son más profundos y arcillosos sin embargo poseen una configuración simple de horizontes en su desarrollo, de tal manera que solo se determinaron horizontes A y C a lo largo de todo el perfil.

El Vertisol grúmico (VEgm) presentó color gris y gris oscuro en seco y en húmedo presentó pardo grisáceo muy oscuro y gris muy oscuro. Su grado de compactación va en aumento conforme aumenta la profundidad, teniendo suelo suelto en horizontes superficiales hasta un alto grado de compactación en horizontes más profundos. Posee una estructura variada entre los horizontes superficiales y los adyacentes, estando conformada por partícula individual, granular media, poliedros subangulares de tamaños medianos y grandes; posee agregados con estabilidad variada, llegando a ser débiles a bastante estables en horizontes profundos. Generalmente tiene propiedades bastante adhesivas y plásticas, posee una consistencia bastante blanda en seco o incluso llega a ser suelta en horizontes superficiales y muy dura en aquellos más cercanos al material parental, su consistencia en húmedo se mantiene friable a lo largo del perfil. Su textura se encuentra en el rango de franco arcillosa

y arcilla; sin intrusiones, raíces de tamaños fino no muy abundantes, reacción muy violenta al HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.

d) Propiedades físicas y químicas

**Vertisol grómico (VEgm)** perfil único.

Propiedad	Horizonte A (promedio)	Horizonte C/R (promedio)
% Arenas	40	28
% Arcillas	38	44
% Limos	21	12
Densidad aparente (gr/cc)	1.00	1.06
Densidad real (gr/cc)	1.95	2.06
Porosidad (%)	48.6	48.5
% Materia orgánica	5.1	1.95
pH	8.16	8.5
% CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	31

Perfil tipo de **Vertisol grómico (VEgm)** seguido de foto panorámica y del perfil representativo: 21

Perfil	Horizonte	Profundidad	Descripción morfológica
Pe21	Ap1	0-15 cm	Horizonte color gris oscuro en seco y gris muy oscuro en húmedo, suelto, estructura débilmente desarrollada conformada en su mayoría por partícula individual, muy adhesivo, muy plástico, de consistencia suelta en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, sin intrusiones, raíces finas frecuentes, reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	A2	15-27 cm	Horizonte color gris oscuro en seco y gris muy oscuro en húmedo, ligeramente compacto, estructura granular media y poliedros subangulares de tamaño mediano, débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia en seco ligeramente blanda y friable en húmedo; textura arcillosa, raíces finas escasas, reacción violenta con HCl al 10%, sin nódulos ni concrecencias.
	AC	27-35 cm	Horizonte color gris oscuro en seco y gris muy oscuro en húmedo, compacto, estructura granular media y poliedros subangulares de tamaño mediano; agregados

			moderadamente estables, muy adhesivo, plástico, consistencia blanda en seco y friable en húmedo; textura franco arcillosa, sin intrusiones, raíces finas escasas, reacción violenta al HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.
	Ck1	35-57 cm	Horizonte color gris en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, muy compacto, estructura granular media y poliedros subangulares de tamaño grande; agregados débilmente estables, adhesivo, plástico, consistencia ligeramente blanda en seco y friable en húmedo; textura arcillosa, sin intrusiones, sin raíces, reacción muy violenta al HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.
	CK2	57-100 cm	Horizonte color gris en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, muy compacto, estructura conformada por poliedros subangulares de tamaños que van del mediano a muy grande bastante estables, de consistencia muy dura en seco, textura arcillosa, sin intrusiones, sin raíces, reacción muy violenta al HCl al 10%, sin nódulos ni concreciones.



Figura 24. Panorámica con vegetación representativa sobre Vertisol grúmico.



Figura 23. Perfil edáfico representativo de Vertisol grúmico.

## 7.2 Unidades cartográficas y superficies de los distintos tipos de suelo

Los diferentes tipos de suelo identificados fueron representados cartográficamente en 12 unidades simples (1004.163 Ha total) y 10 unidades complejas (2539.7291 Ha total) a

manera de asociaciones. Debido a la escala del mapa edafológico, al material cartográfico base y a los datos que se desean representar, se optó por utilizar estas unidades para abarcar la mayor cantidad de información posible; todo esto tomando en cuenta el nivel de detalle, el esfuerzo y los recursos económicos para llevar a cabo el estudio. Tanto las asociaciones como las asociaciones están definidas en función de los cambios en la pendiente del terreno y la altitud sobre el nivel del mar, por lo que representan una geoforma característica; sin embargo, las unidades simples representan solo un tipo de suelo a lo largo de su extensión, mientras que las asociaciones se encuentran representando 2 o más tipos de suelo, que están escritas en orden decreciente de izquierda a derecha en función de la frecuencia en la que cada tipo de suelo puede ser encontrado dentro de la unidad.

### 7.2.1 Unidades simples

Tabla 1. Unidades simples con sus respectivos tipos de suelo, geoforma, nombre del paraje y la superficie que abarca en hectáreas.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Geoforma</b>	<b>Paraje(s)</b>	<b>Superficie</b>
CLha(ce,nv)	Mesa	Cerro Manrubio	34.664 Ha
CLhc(sk,ce,nv)	Laderas ligeramente inclinadas	El Palenque	111.728 Ha
CLhc	Laderas inclinadas	Cerro Bancos	72.721 Ha
CLhc(skp)	Piedemonte	Norte del C. Oreganal y al sur de C. Tecoyuco	82.442 Ha
CLptn(ce)	Mesa	El Rincón	53.489 Ha
PHrz	Elevación aislada	Noroeste de C. Mogote Grande	75.936 Ha
PHrz(ca)	Elevación aislada Ladera inclinada Piedemonte	Cerro Nopaltepec, Cerro Tehuantepec Chico	423.423 Ha
PHrz(sk)	Elevación aislada	Barranca Púlpito	63.029 Ha
LPrz(ca,nv)	Ladera ligeramente inclinada	Camino a Cerro Mogote	86.731 Ha

CL= Calcisol, PH=Phaeozem, ca=calcárico, ha=háplico, ce=arcilloso, nv=nóvico, hc=hipercálico, sk=esquelético, skp=epiesquelético, ptn=endopétrico, rz=réndzico.

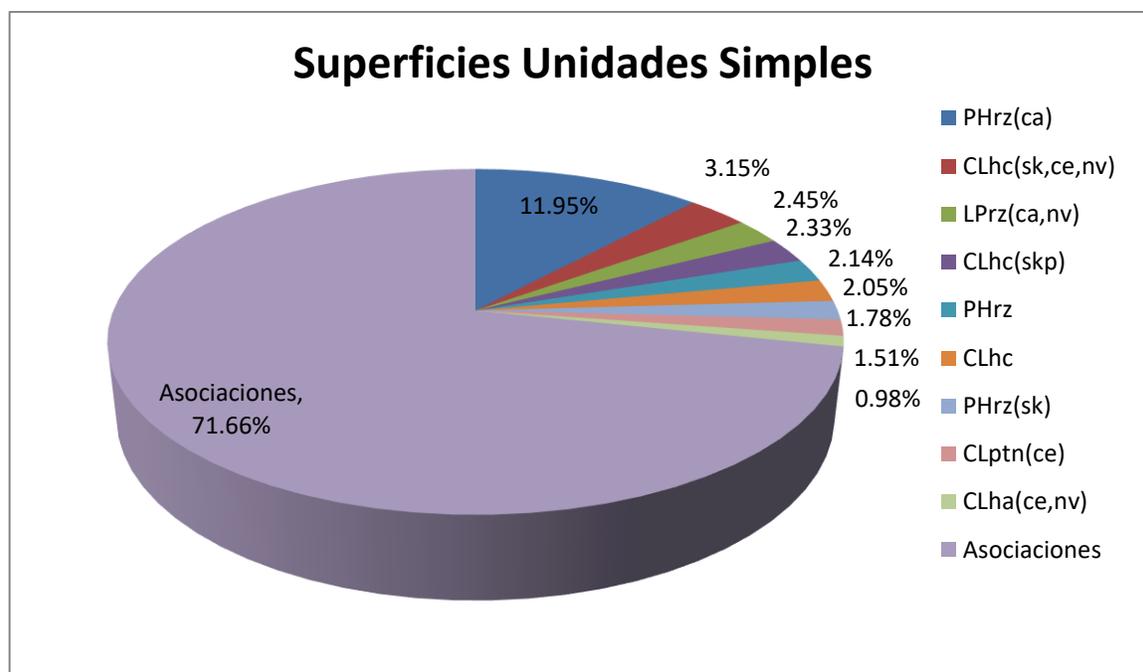


Figura 25. Superficies que abarcan las unidades simples de tipos de suelo de San Antonio Texcala, Puebla.

#### 7.2.2 Unidades complejas (asociaciones)

Tabla 2. Asociaciones de suelo con sus respectivos tipos de suelo que las conforman, geoformas, nombre de los parajes y superficies que abarcan en hectáreas.

Tipos de suelo	Geoforma	Parajes	Superficies
CLptp(skp)+CLptn(ce)	Planicie inclinada	El Rincón, Al noroeste de C. Mogote Grande entre B. Encinal y B. Cruz Rosario	519.205 Ha
CLptn(sl)+RGel(hu,ca)	Elevación aislada	Cerro Oreganal (porción NE)	125.645 Ha
PHrz(sk)+RGle(ca,ce)+RGlen(ca)+RGha(ca,hu)	Ladera inclinada	Barranca Pulpito, Barranca Grande	430.217 Ha
LPrz(hk)+VRgm(ca,hu)+PHrz(ca,ce)	Mesa	Cerca del relleno sanitario	459.809 Ha
LPLi(hu,skp)+LPLi(hu)	Ladera ligeramente inclinada	Cerro Manrubbio	279.32 Ha
LPLi(hu)+LPrz(hu,nv)+CLptn(sl)	Ladera ligeramente inclinada	Barranca Grande Cerro Oreganal	186.434 Ha
LPrz(ca,nv)+PHrz(ca)	Ladera inclinada	Cerro Mogote	169.184 Ha
LPLi(ca,hu)+PHle(sk)	ladera inclinada	La Mesa Parcela Escolar	292.563 Ha

LPrz+LPrz(hu)	Elevación aislada	Ladera noreste de Cerro Llano Grande cerca de la parcela de Escolar	51.1901 Ha
LPhk(ca)+LPrz(hk)	Elevación aislada	Cerro Paxtepec	26.162 Ha

CL=Calcisol, LP=Leptosol, PH=Phaeozem, RG=Regosol, VR=Vertisol, ptn=endopétrico, ptp=epipétrico, sk=esquelético, skp=epiesquelético, hk=hiperesquelético, ce=arcilloso, sl=límico, li=lítico, le=léptico, len=endoléptico, el=epiléptico, ha=háplico, hu=húmico, ca=calcárico, rz=réndzico, gm=grúmico, nv=nóvico.

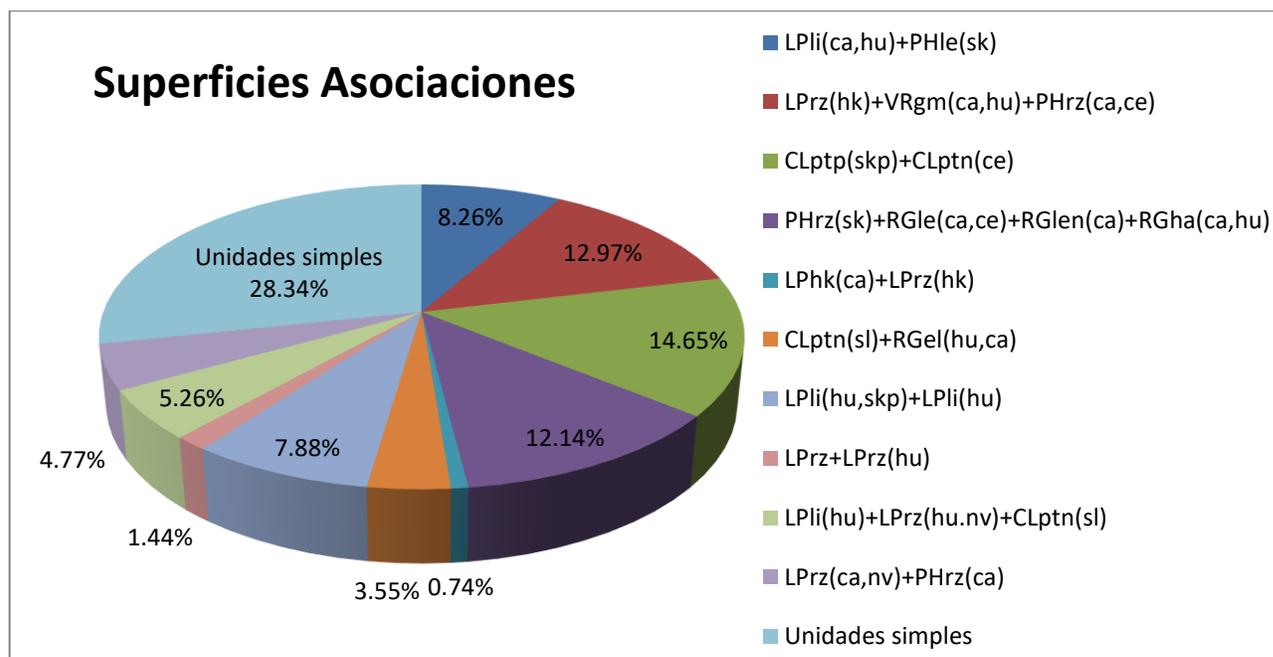


Figura 26. Superficies que abarcan las asociaciones de suelo de San Antonio Texcala, Puebla.

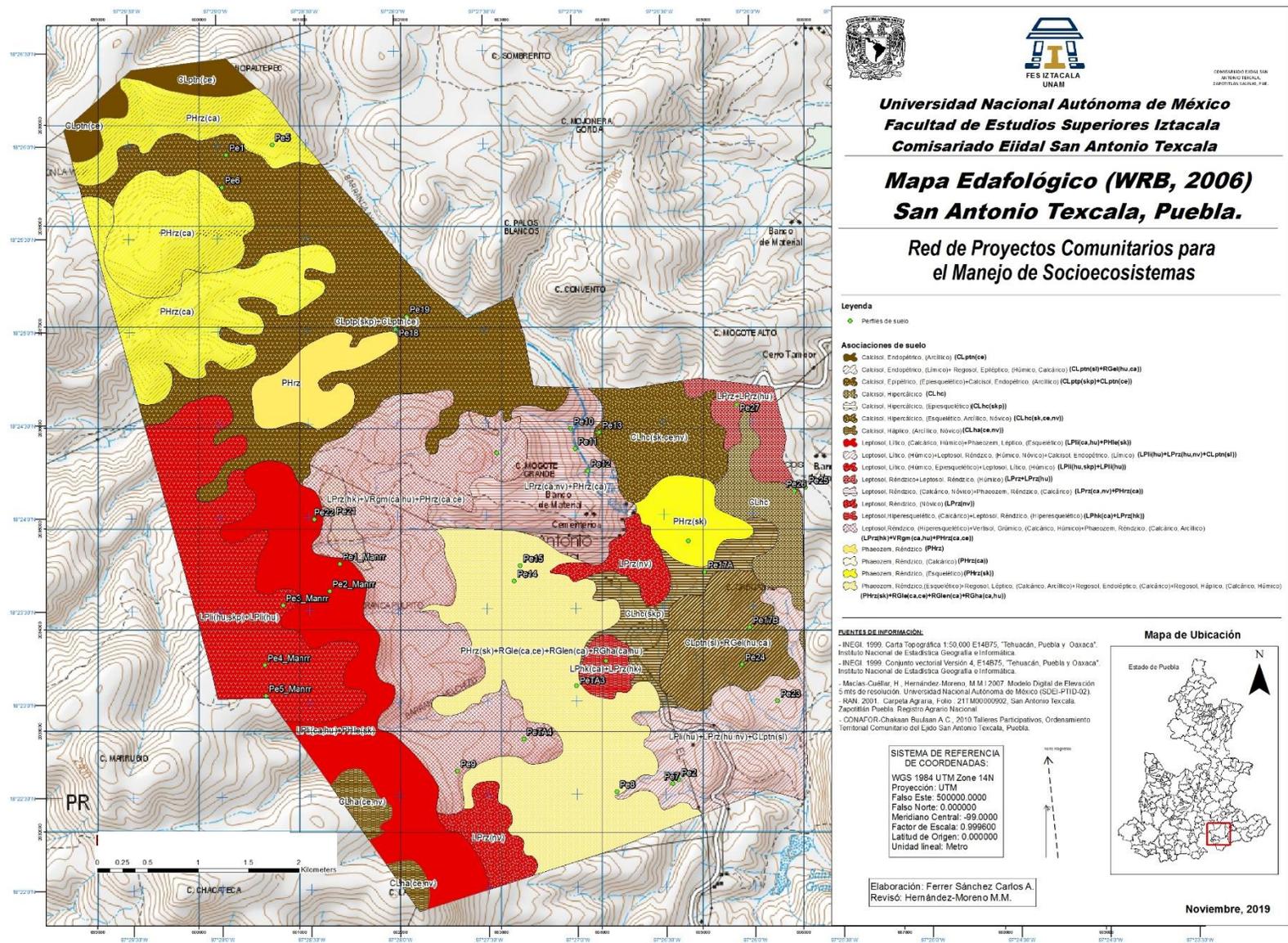


Figura 27. Mapa edafológico de San Antonio Texcala, escala 1:50,000 con los diferentes GSR determinados en base a los criterios taxonómicos de la WRB 2006.

## **8. Análisis y discusión de resultados**

La cartografía es una disciplina que responde a una necesidad social, es un documento base del conocimiento de la realidad física y de todo aquello que gira en torno a las actividades humanas; la cartografía de suelos tiene como objetivo explicar su distribución, conocer sus propiedades y las relaciones geográficas con el medio ambiente (Guerrero y Cruz, 2001).

Bajo este contexto, las autoridades y los pobladores de San Antonio Texcala podrán contar con información base que les permita conocer las características físicas y químicas, el origen y las problemáticas y limitaciones para el uso y manejo (Guerrero y Cruz, 2001) de los diferentes tipos de suelo presentes en el ejido, para la gestión de su territorio; teniendo como base para ello, el mapa de suelos. La cartografía semidetallada, como documento gráfico no solo permitirá identificar espacialmente el medio físico, sino además satisfacer la necesidad de comprender mejor el espacio geográfico circundante, el ambiente y sus características.

Adicional a lo anterior, contar con información detallada sobre la diversidad y distribución de los suelos, considerando que la cartografía disponible (INEGI, 2004), no se encuentra en una escala que permita distinguir dicha diversidad, también contribuye con los objetivos del Plan de Acción Comunitaria y el Ordenamiento Territorial Comunitario (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010), pues el presente estudio permitirá dar seguimiento a los programas de manejo de los recursos forestales no maderables, y a los proyectos relacionados con la conservación del suelo y el monitoreo ambiental. Lo anterior permitirá definir mejores prácticas de uso, manejo, aprovechamiento y conservación del recurso suelo.

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos de los diferentes tipos de suelo identificados, se analizarán en función de su origen y desarrollo, considerando las características específicas de cada Grupo, las problemáticas y limitantes de uso, y finalmente se discuten las propuestas de manejo.

La fuerte influencia del clima en los Leptosoles, Regosoles, Phaeozem y Vertisoles, es evidenciada en su distribución y variabilidad; pues entre los factores climáticos, la humedad posee mayor importancia, dado que, en una zona con la misma temperatura, la meteorización variará con el grado de humedad o sequedad de la atmósfera y de las rocas

(Ortiz *et al.*, 2011). Algunos Calcisoles que se distribuyen en la zona de estudio se encuentran bajo aprovechamiento agrícola (paraje El Rincón), pese a esto, su alto potencial agrícola queda muy restringido por la disponibilidad de agua (Ortiz *et al.*, 2011). Por otra parte, para la taxonomía de suelos de México, desde finales de los años 90, se consideraron las características intrínsecas, más que las relacionadas con el clima, explicando el desarrollo de los Calcisoles, y eliminando a los Xerosoles del sistema de clasificación empleado hasta entonces (FAO, 1998 y WRB, 2006).

El relieve como factor formador condiciona la distribución de la energía sobre el sistema morfopedológico, por lo que, dependiendo de su configuración, posición y forma se pueden distinguir diversos procesos que favorecen la formación y desarrollo del suelo. De acuerdo con López y Cruz (2015) los procesos que los desarrollan y las características resultantes, están en función de su posición topográfica, como los horizontes mólicos de los Phaeozem, o los Leptosoles húmicos, que se distribuyen en las cimas del área de estudio, en donde el agua se infiltra verticalmente dando lugar a suelos húmedos con mayor contenido de materia orgánica, horizontes más gruesos y mejor diferenciación de horizontes, que en los demás elementos de la ladera. Mientras que, los Leptosoles que se desarrollan en el hombro de la ladera, en general suelen ser más jóvenes, con bajo contenido de materia orgánica y relativamente secos, además, dado que la erosión elimina el material más fino, los suelos suelen ser de texturas más gruesas (arenas), debido a que en estos sitios la velocidad de escorrentía y la erosión son máximas.

Siguiendo sobre la ladera media, suelen encontrarse los Phaeozem y Leptosoles, esta alternancia en los grupos se debe a que se encuentran en una zona de transporte, donde hay zonas dominadas por la erosión y otras de acumulación. El agua y los escombros se mueven sobre y a través de las dorsales, y los flujos de agua dependen de la curvatura de la ladera. Los Leptosoles, Calcisoles y Phaeozem que se desarrollan sobre la ladera baja-pie de monte, suelen tener mayor profundidad y acumulación de carbonato de calcio debido a que la mayoría de las formas del relieve son cóncavas, pues por su posición topográfica se reciben sedimentos y agua, por lo que el material es acarreado en suspensión y solución a través del flujo superficial y subsuperficial. La humedad de estos sitios acentúa la productividad primaria neta, que a su vez provee de mayor cantidad de residuos orgánicos que provienen de las partes más altas. Todos estos factores se combinan para que tanto en la ladera, como en la planicie haya un mayor contenido de materia orgánica.

En relación con lo anterior, la composición vegetal en suelos expuestos hacia el norte produce una acumulación de material orgánico, cuya humificación es mayor que en suelos expuestos hacia el sur (Cajuste y Gutiérrez 2011), por lo que dicho fenómeno ayudaría a explicar la génesis de suelos como los Phaeozem réndzicos y Leptosoles réndzicos, que muestran un alto contenido de materia orgánica y son muy frecuentes en las laderas. Sin embargo, la orientación que presentan los suelos de San Antonio Texcala, es muy variada, además de que la escasez de agua, por encontrarse en una zona semiárida, es una limitante para la velocidad a la cual se lleva a cabo la humificación de los materiales orgánicos.

Por otro lado, el desarrollo de Vertisoles, Calcisoles y Phaeozem es frecuente sobre el fondo del valle, siendo el final del pie y extensión del pie de monte, una zona de depósito aluvial, en la que los sedimentos provienen de la parte alta de la ladera, pero también de los ríos que se inundan y depositan sedimento en la llanura de inundación; estos sedimentos tienden a tener mayor humedad, texturas finas y están estratificados debido a los procesos de lavado y transporte de material, gracias a ello, los suelos que se desarrollan en ésta geoforma suelen tener una marcada diferenciación de horizontes, como el mólico para los Phaeozem y el calcárico para el Calcisol, y específicamente, el grúmico del Vertisol.

Para continuar con el análisis de los factores formadores del suelo, el material parental representa un elemento fundamental para entender su génesis (origen) y distribución espacial; influye, desde una escala regional, en sus características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas, y en consecuencia en su fertilidad (Solleiro y Gama, 2011). Bajo este contexto, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2000) reporta que la estratigrafía en la porción sur del Estado de Puebla está constituida, principalmente, por dos unidades pertenecientes al Cretácico inferior: i) calizas, y ii) secuencias de areniscas y lutitas calcáreas intercaladas con gruesos bancos de caliza fosilífera, y por lutita y arenisca calcárea, con un registro fósil de moluscos, equinodermos, celenterados y otros organismos marinos, aunque también la conforman conglomerados y otros cuerpos menores. Dicha unidad comprende 4 formaciones del Aptiano (125 millones de años) que incluye la formación Zapotitlán, a la cual pertenece San Antonio Texcala (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010).

Los grupos dominantes identificados dentro de la zona de estudio fueron los Leptosoles, Phaeozem réndzicos y Calcisoles, cuyo material parental es de tipo calcárico; de acuerdo con Solleiro y Gama (2011), después de las rocas ígneas extrusivas (con edades principalmente cenozoicas), las rocas sedimentarias de origen mesozoico-cenozoico son

las más abundantes dentro del territorio mexicano, dentro de éstas, las calcáreas tienen una clara influencia sobre la génesis del suelo, dando origen a los grupos de suelo arriba mencionados.

En los Calcisoles hipercálcicos, los Leptosoles réndzicos y los Phaeozem réndzicos identificados, su característica particular es la acumulación de carbonatos y bicarbonatos, dichos minerales provienen de la meteorización de las calizas, provocando la acumulación de bicarbonatos en el suelo. De acuerdo con Solleiro y Gama (2011), la reacción del ácido carbónico que se muestra a continuación, representa el proceso antes mencionado:  $(\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3) \rightarrow \text{bicarbonato de calcio } (\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) + \text{CO}_2$ . Adicional a lo anterior, los suelos que se producen a partir de calizas son delgados, como pueden ser los Leptosoles réndzicos y los Calcisoles lépticos, y que aunque sus propiedades reflejan un alto grado de desarrollo y calidad agroecológica, su única limitante es la profundidad (Solleiro y Gama, 2011).

Lo anterior se reconoce, pues el material parental confiere a los suelos características particulares, sin embargo la génesis del suelo está fuertemente determinada por la interacción de todos los factores que lo forman. Un ejemplo de esto es cuando el material parental y el factor tiempo forman Leptosoles, en las primeras etapas evolutivas, la roca comienza a meteorizarse, constituyendo regolitos, que con el transcurso del tiempo forman Leptosoles. Por otro lado, si se tiene un ambiente coluvial o aluvial, con aportaciones constantes de sedimentos al suelo en formación, no habrá tiempo suficiente para desarrollar perfiles completos (Solleiro y Gama, 2011), por lo que, como se mencionó con anterioridad, la influencia del relieve como factor formador también es determinante.

Finalmente, los restos vegetales, animales y microbianos representan una fracción limitada de la materia orgánica del suelo, que suelen ser rápidamente biodegradados o mineralizados (mineralización primaria), por lo que más de la mitad de la materia orgánica del suelo (MOS) está constituida por las denominadas sustancias húmicas que se forman en el suelo a partir de precursores provenientes de la alteración o degradación de los residuos orgánicos (Gallardo, 2017). Teniendo como premisa la humificación, a continuación, se discuten las variaciones en la cantidad de MOS entre los distintos GSR.

Considerando que una buena actividad microbiana favorece el proceso de humificación del suelo, podemos decir que GSR como el Phaeozem, los Leptosoles réndzicos y todos aquellos suelos con calificador húmico de San Antonio Texcala, gozan de una buena actividad microbiana debido al aporte de material orgánico, proveniente de plantas fijadoras

de Nitrógeno, como *Prosopis laevigata*, leguminosa que contiene del 12 al 20% de proteína en sus hojas (Gallardo, 2017) y que se encuentra en 4 de los 5 GSR descritos en la zona de estudio.

Sin embargo, la gran variabilidad en los porcentajes de MO, registrados para los diferentes GSR y el grado de humificación que presentan, dependerá de algunos factores limitantes como la humedad, la temperatura, las características intrínsecas del suelo, la calidad y cantidad de la materia orgánica fresca (MOF), entre otros. Pues, de acuerdo con Gallardo (2017), dentro de los mecanismos de humificación, coexisten teóricamente tres fases superpuestas que suceden continuamente en el suelo: i) en el proceso de mineralización primaria (rápida) ocurre la degradación de moléculas orgánicas iniciales constitutivas de la MOF; ii) neoformación de sustancias, bien por degradación de las anteriores, excretadas por los microorganismos, o por la interacción de unos catabolitos con otros; y, iii) mineralización secundaria (lenta), donde se condensan todas las sustancias anteriores mediante reacciones físico-químicas y químicas con las arcillas y sesquióxidos del propio suelo, para formar las sustancias húmicas. En ese sentido la humificación dependerá de los factores arriba mencionados.

De acuerdo con lo anterior, la presencia de una mayor cantidad de sustancias húmicas promueve la estabilidad edáfica, manteniendo y asegurando la reserva de la energía potencial (y de bioelementos) en el suelo, con escasa variación en el tiempo, si los impactos al mismo, no son excesivos (Gallardo, 2017). En ese sentido, el alto contenido de MO de algunos suelos como los Leptosoles, algunos de los cuales, prácticamente no poseen una gran cobertura vegetal, ni un color negruzco, puede estar altamente influenciado por la actividad microbiana que ayuda a mineralizar los restos orgánicos y, junto con las uniones entre sustancias húmicas, arcillas y sesquióxidos, forman el complejo arcillo-húmico-edáfico, más o menos estable según la intensidad de dichas uniones (Gallardo, 2017).

## **Factores limitantes**

Dentro del grupo de los Calcisoles, las principales limitantes son la pedregosidad cuando se distribuyen en zonas con una pendiente pronunciada; otro factor limitante es la erosión hídrica, que se presenta laderas o planicies, en donde la cobertura vegetal es escasa, dejando el suelo desnudo y vulnerable a los agentes erosivos.

Los Leptosoles fueron el segundo grupo con mayor distribución en la zona de estudio, pues se encuentran en unos 45% del territorio, en su mayoría asociados con otros grupos de suelo, por lo que es muy común encontrarlos en todas las formas del relieve. Las principales limitantes en este tipo de suelo son la poca profundidad, el bajo desarrollo del suelo, la alta cantidad de pedregosidad y el alto riesgo a los agentes erosivos, debido a la falta o poca cubierta vegetal que los protege. Estas problemáticas son típicas de este tipo de suelos, pues es común encontrarlos sobre laderas donde los procesos erosivos, especialmente la erosión hídrica, son favorecidos por factores como la pendiente, el clima, la falta de vegetación y la influencia humana.

Los principales efectos generados por la erosión hídrica en la zona, son la formación de cárcavas, proceso que desencadena la destrucción de la estructura y propicia la modificación de las propiedades físicas del suelo como la porosidad y la estructura disminuyendo la capacidad de permeabilidad del suelo, la aireación y la difusión del calor (Ruiz-Figueroa, 2015). La destrucción de la estructura provoca la formación de costras o el sellado de la superficie del suelo, dificultando la penetración del agua y, en terrenos con pendiente pronunciada, favorece la escorrentía superficial y la erosión laminar (Ruiz-Figueroa, 2015). Pese a esto, de acuerdo con Cardoza-Vázquez y colaboradores (2007), si al menos el 25% de la superficie de un área determinada aún posee las condiciones necesarias para llevar a cabo actividades agropecuarias y forestales (a pesar de su reducción considerable en la producción), éste fenómeno aún puede revertirse, mediante prácticas de uso y manejo sustentable del recurso.

Los Phaeozem son el grupo de suelo con mayor extensión en el área de estudio, se puede encontrar en un 54% del territorio, frecuentemente se encuentran asociados con otros GSR y a lo largo de las distintas formas del relieve. Las principales limitantes de estos suelos se dan cuando se encuentran en pendientes pronunciadas, siendo la vulnerabilidad a la erosión y la alta pedregosidad las de mayor impacto. La erosión tanto hídrica como eólica son un serio problema para este tipo de suelos, debido a que comprometen su uso potencial

para la agricultura, el pastoreo, la retención del agua, humificación de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para las plantas; además, la pérdida del horizonte superficial conlleva al arrastre y deposición de sedimentos en partes bajas, llegando a contaminar cuerpos de agua (Ruiz-Figueroa, 2015).

Con respecto a los Regosoles, no se detectaron serios problemas en este grupo de suelo, pero sí se pudo observar un aumento en la compactación y alteraciones en la vegetación original, ambas problemáticas aparentemente propiciadas por el pastoreo.

Finalmente, el GSR Vertisol presentó una única variante, Vertisol Grúmico, (calcárico, húmico). Cabe resaltar que se encontró asociado a otros grupos de suelos, en donde se localiza la parcela escolar. No se encontraron mayores problemas que limiten el uso de este tipo de suelos, pero hay que considerar el alto contenido de arcillas, ya que son un factor determinante en la velocidad con la que el agua se mueve a través del suelo. En contraste, la buena estructura de un suelo depende, en parte, de la neutralización de las cargas eléctricas de las arcillas y del papel de éstas como agentes cementantes de partículas de limo y arena (Fierro-Álvarez, 2001), pues al mezclarse, forman grietas anchas y profundas debido a la expansión y contracción alternada de arcillas expandibles en la estación de seca (IUSS Working Group WRB, 2006). Por ende, la cantidad de arcilla de un suelo, el tipo de éstas y su estructura, determinan en gran medida la capacidad del suelo para retener humedad, su fertilidad, la aireación y la nutrición vegetal (Fierro-Álvarez, 2001).

Como se ha señalado con anterioridad, la falta de agua es la principal limitante para llevar a cabo un aprovechamiento agrícola del recurso con niveles adecuados de productividad, en las zonas dedicadas al aprovechamiento tradicional del suelo (Macías-Cuéllar et al., 2010). Pese a esto, aún se encuentran zonas con una densa cobertura vegetal, algunas mejor conservadas, en las que se mantiene la cobertura vegetal original; debido a las adaptaciones que las especies que forman las asociaciones vegetales identificadas, han desarrollado para poder subsistir en condiciones de aridez.

## 9. Conclusiones

- ❖ En el ejido de San Antonio Texcala se identificaron y mapearon 5 Grupos de Suelo de referencia: Calcisol (8 variantes), Leptosol (9 variantes), Phaeozem (6 variantes), Regosol (4 variantes) y Vertisol (1 variante).
- ❖ La gran diversidad de suelos en el ejido de San Antonio Texcala está dada principalmente por una marcada variabilidad en las formas del terreno, distintos gradientes en la pendiente, y tipos de asociaciones vegetales; y en general, por un clima con bajos niveles de precipitación media anual.
- ❖ Los suelos encontrados en el ejido presentan limitantes de uso muy similares entre ellos la poca profundidad, un alto grado de pedregosidad y pendientes pronunciadas, propiciando el impacto de la erosión hídrica y eólica en diferentes magnitudes; lo anterior asociado con la marcada falta en la retención de humedad.
- ❖ Con este trabajo, las autoridades y pobladores del ejido de San Antonio Texcala cuentan ya con información detallada sobre la diversidad y distribución de los suelos de su territorio para una mejor gestión de sus recursos, además de contribuir con los objetivos del Plan de Acción Comunitaria y el Ordenamiento Territorial Comunitario, permitiendo dar seguimiento a los programas de manejo de los recursos forestales no maderables, y a los proyectos relacionados con la conservación del suelo y el monitoreo ambiental.
- ❖ En respuesta a las diferentes limitantes de uso que presentan los suelos en Texcala, se sugiere la implementación de una serie de obras para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos y el control de la erosión, además de complementar con prácticas vegetativas y sistemas agroforestales para el aprovechamiento y conservación de los suelos dentro del territorio del ejido.

## Literatura citada

- Astier-Calderón, M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Aubert, J. y Boulaine, J. 1967. *La Pedologie*. Coll. «Que sais-je?» P.U.F. Paris. Traducción con el título «La Edafología». Ed. Oikos-Tau. Barcelona, 1982.
- Cajuste-Bontemps, L. y Gutiérrez-Castorena, M. C. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México, Eds. Krasilnikov P., Jiménez F. J., Reyna T. T. y García N. E. *Geografía de los Suelos de México*, Las prensas de ciencias. 73-86.
- Cardoza-Vázquez, R., Cuevas-Flores, L., García-Carreón, J. S., Guerrero-Herrera, J. A., González-Olarte, J.C., Hernández-Méndez, H., Lira-Quintero, M. L., Nieves-Frausto, J. L., Tejeda-Sartorius, D. y Vázquez-Martínez, C. M. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales *MANUAL DE OBRAS Y PRÁCTICAS*, Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Jalisco, México.
- Colegio de Postgraduados 2009. Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua, Campus Montecillos, Texcoco, Edo. de México.
- Delgado-Durán Ma de R. 2000. Levantamiento Edafológico semidetallado del territorio de la comunidad del Dexthi Alto Mezquital, Hidalgo. Tesis Licenciatura, UNAM Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Edo. de México.
- FAO, 1998. World Reference Base for Soil Resources, by ISSS-ISRIC-FAO. World Soil Resources Report No. 84. Rome.
- FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos, Roma.
- Fierro-Álvarez, A. 2001. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el movimiento del agua en el suelo, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, México, D.F. 4-8, 48-50.
- Gallardo-Lancho, J. F. 2017. La materia orgánica del suelo, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.
- García-Martínez, M.G. 2001. Mapeo y caracterización de las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis para título Biólogo, FES Iztacala, UNAM, Edo. de México.
- Guerrero-Eufracio, E. G. y Cruz-Gaistardo C. O., 2011. Cartografía edáfica y mapas edáficos en México, Eds. Krasilnikov P., Jiménez F. J., Reyna T. T. y García N. E. *Geografía de los Suelos de México*, Las prensas de ciencias. 211-216.

- Hernández-Moreno, M.M. 2006. Evaluación del proceso de degradación del suelo mediante modelos con indicadores edáficos, topográficos y climáticos en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Orientación Ambiental). FES Iztacala, UNAM. México.
- INEGI 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, Aguascalientes, Ags, p. 45-49.
- INEGI 2004. Edafología de la República Mexicana, escala 1: 250 000. México.
- INEGI 2013. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional). Consultado el 23 de mayo de 2016 en: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/edafologia/vectorial_serieii.aspx)
- IUSS Working Group WRB. 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Report No. 103. FAO, Rome.
- Krasilnikov, P. 2011. Distribución espacial de los suelos y los factores que la determinan, Eds. Krasilnikov P., Jiménez F. J., Reyna T. T. y García N. E. Geografía de los Suelos de México, Las prensas de ciencias. 1-35.
- López-García J., Muñoz-Iniestra J. D. y Venegas-Cardoso F. R. 2010. Levantamiento de suelos en el Valle de Tehuacán, Puebla, México. *Zonas Áridas*, 14(1), 99-109.
- López-López A. B. y Cruz-Flores G. 2015. Relieve: factor formador del suelo y de distribución de energía. En: El suelo: su importancia ecológica y agrícola (2015), Cruz-Flores G. y López-López A. B. (eds). UNAM Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México, D. F. 59-61.
- Macías-Cuéllar, H., De la Puente Martínez de Castro, M., Hernández-Moreno, M. M., Rosas López, R. y Sánchez-Paredes, L. 2010. Estudio para el Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido de San Antonio Texcala, Puebla. Chakaan Buulaan, A. C.
- Macías-Cuéllar, H., Hernández-Moreno, M.M., Dávila-Aranda, P. Informe preliminar del proyecto Caracterización, mapeo y evaluación de los recursos hídricos del ejido San Antonio Texcala, Puebla. FES Iztacala – UNAM, México. Inédito.
- Muñoz, I. D., Soler, A. A., López, G. F., Hernández, M. M. 2015. Edafología Manual de Métodos de Análisis de suelo. UNAM Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
- Ortiz-Solorio C., H. Cuanalo de la Cerda. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. Pág. 13.
- Ortiz-Solorio, C. A., Sánchez-Guzmán, P., Gutiérrez-Castorena, E. V. y Gutiérrez-Castorena, M. C. 2011. El factor clima en la distribución de suelos en México, en: Krasilnikov, P., Jiménez, N.F.J., Trujillo, R.T., García, C.N.E. (eds). 2011. Geografía de los Suelos de México. Las prensas de ciencias. México, p. 57-72.

- Ramírez-Guevara, S. A. 2015. Producción de regolito y meteorización química de las rocas graníticas de la cordillera de la costa - zona de Curacaví, Memoria para optar el título de Geólogo, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología,
- Rivas-Reyes A. 2003. Levantamiento Edafológico semidetallado de la porción norte del valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis Licenciatura, UNAM Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Edo. De México.
- Ruiz Figueroa, J. F. 2015. Conservación y rehabilitación de tierras degradadas. Una visión holística. Parte 1, Universidad Autónoma de Chapingo, p. 101-134.
- Santillán Hernández M. 2003. Levantamiento Edafológico semidetallado de la porción suroeste del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis licenciatura, UNAM Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Edo. De México.
- SEMARNAT, UACH. 2003. Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria 2001-2002. México.
- SEMARNAT. 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México, p. 119-152.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Manual 18.
- Soler Aburto A. 2002. Levantamiento Edafológico Semidetallado de la región de Ajacuba-Mixquiahuala, Hidalgo, Tesis para título Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Los Reyes Iztacala, Edo de México.
- Solleiro, R.E., Gama, C.J.E. 2011. Material parental como factor geográfico en la distribución de los suelos. en: Krasilnikov, P., Jiménez, N.F.J., Trujillo, R.T., García, C.N.E. (eds). 2011. Geografía de los Suelos de México. Las prensas de ciencias. México, p. 41-54.
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M.C., Silva, P.C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C.J., Rangel-Landa, S. Casas, A., 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. UNAM, CONABIO, INAH, UAT Fundación para la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. México

## **Anexo I.**

### **Propuestas de manejo y conservación de los suelos de San Antonio Texcala**

De acuerdo con las características y condiciones de formación de cada GSR, se presentan una serie de propuestas de manejo y conservación, bajo la premisa de que para desarrollar una estrategia adecuada de planificación de los recursos naturales y conservación de tierras, como parte de la estrategia técnica de manejo y conservación de suelos y agua, es necesario considerar que dichas prácticas deberán contribuir con:

- El aumento de la cobertura vegetal del suelo (CV)
- El aumento de la infiltración de agua en el perfil del suelo (IAS)
- El control de la contaminación (CC)
- El control de la escorrentía superficial (CES)

De forma general, se presenta una breve descripción de cada una de las prácticas de manejo y conservación de los suelos (Cardoza *et al.*, 2007 y Colegio de Postgraduados, 2009) sugeridas para San Antonio Texcala; en el Anexo II se presenta cada una de ellas, adecuadas para cada GSR.

### **OBRAS PARA EL USO SUSTENTABLE DEL AGUA Y CONTROL DE CÁRCAVAS**

**Presa de mampostería.** Es una estructura de piedra, arena y cemento, que se construye en sentido perpendicular a las cárcavas, controla la velocidad de escurrimiento al formar un escalón que reduce la erosión hídrica y almacena agua.

**Olla de agua, jagüey o bordos de agua.** Son depresiones sobre el terreno que permiten almacenar agua proveniente de los escurrimientos superficiales. Son cuerpos de agua más pequeños que una presa de tierra compactada, que permiten almacenar y distribuir, de manera controlada y por gravedad, el agua captada de los escurrimientos superficiales.

**Presa de gaviones.** Es una estructura que consiste en una caja prismática rectangular de malla de alambre de triple torsión, rellena de piedras. Este tipo de presas es de bajo costo y de larga duración. Sirve como protección a la erosión y, por sus dimensiones, puede variar dependiendo del tamaño de la cárcava, pero se recomienda para aquellas con alturas mayores a 2 metros.

**Presas de malla de alambre electrosoldada o ciclónica.** Es una estructura que sirve para el control de cárcavas. Es similar a la presa de gaviones, sólo que en este caso no es prefabricada sino que se arma en el lugar, a partir de las características de la cárcava.

**Presa de piedra acomodada.** Es una estructura construida con piedras acomodadas, que se coloca transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utiliza para el control de cárcavas.

Es una estructura pequeña, construida con ramas entrelazadas, en forma de barreras, que se coloca en sentido transversal a la pendiente, ayuda en el control de cárcavas, aunque debe construirse en zonas de bajo a medio desnivel del terreno.

## **OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN LAMINAR**

**Zanja derivadora de escorrentía.** Desde el punto de vista de la conservación de suelos, las zanjas derivadoras se construyen con una sección lo suficientemente amplia para controlar y desalojar el agua de escorrentías de los caminos, las parcelas o las cárcavas. Las zanjas funcionan interceptando el agua y la conducen hacia lugares donde no provoquen daños como lagos, arroyos o cárcavas estabilizadas. Este tipo de obras es muy importante para la protección de caminos.

**Bordos en curvas de nivel.** Es un conjunto de bordos que se conforma con el producto de la excavación de suelo o subsuelo, de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo curvas a nivel con maquinaria o herramienta de labranza, en combinación con instrumentos manuales. Sirve para propiciar la interceptación de azolves y escurrimientos, así como aumentar la infiltración y retención de humedad para el establecimiento de reforestaciones y vegetación nativa.

## **OBRAS COMPLEMENTARIAS**

**Cabeceo de cárcavas.** Consiste en el recubrimiento con materiales pétreos (piedras), de la parte más alta de una cárcava, para evitar su crecimiento longitudinal.

**Afine de taludes.** Consiste en suavizar y uniformizar la inclinación de los taludes con el fin de estabilizar las paredes de un terraplén o excavación eliminando rocas salientes y restos de vegetación. Esta actividad radica en rasar o remover el material sobrante, en la construcción de una presa de tierra nueva, para ajustar el terraplén a la línea de la sección y pendiente fijadas en el proyecto.

## **PRÁCTICAS VEGETATIVAS Y AGRONÓMICAS COMPLEMENTARIAS**

**Formación de cortinas rompe vientos.** Son barreras que se establecen con árboles y/o arbustos de diferentes alturas, orientadas de forma paralela a los límites del terreno y perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes; tienen como finalidad atenuar

o nulificar la intensidad del viento, mitigar la erosión eólica, evitar que se doblen las plantas de los cultivos anuales por efecto del viento, conservar la humedad y mejorar la estética del paisaje. Las especies recomendadas para la zona de estudio están descritas más adelante (revisar Sistemas agroforestales).

**Abonos verdes.** Establecimiento de cultivos de rápido crecimiento y de follaje denso cuya función no es el consumo humano o pecuario sino la incorporación en el suelo para mejorar sus propiedades con fines agrícolas. En concreto, para los suelos de San Antonio Texcala se recomienda el uso de hojas y ramas frescas del maíz (*Zea mays*) y del mezquite (*Prosopis laevigata*).

**Reforestación con especies nativas arbustivas y forestales.** Regeneración de áreas altamente o totalmente deforestadas, con la plantación de especies nativas.

## **SISTEMAS AGROFORESTALES**

La agroforestería es el nombre que se asigna a los sistemas y tecnologías de uso de la tierra, donde las especies leñosas (árboles, arbustos, palmas, bambúes, etc.) son usadas deliberadamente dentro de las mismas unidades de manejo de la tierra, junto con cultivos agrícolas y animales, con algún arreglo espacial o secuencia temporal, de tal manera que hay interacción ecológica y económica entre los diferentes componentes. En el ejido de San Antonio Texcala es preponderante utilizar árboles multipropósito mezclados con cultivos, o como parte de los sistemas pastoriles (sistemas agrosilvopastoriles). Para delimitar y proteger las parcelas se recomienda el uso de cortinas rompe vientos utilizando especies como mezquite (*Prosopis laevigata*), tanto por su valor en la obtención de productos madereros como por su capacidad de enriquecimiento al suelo y presencia de cubierta vegetal en periodos de sequía; en combinación con pastos de forraje como navajita, zacate o grama (del género *Bouteloua spp.*) y arbustos forestales no maderables como pueden ser el nopal tunero (*Opuntia pilifera*), agaves (*Agave marmorata*, *A. potatorum* ó *A. peacockii*), orégano (*Lippia graveolens*) y el ixtle (*Agave lechuguilla* Torr).

## Anexo II

Tabla de datos ambientales, taxonomía, prácticas de manejo y conservación de suelo y agua para cada GSR.

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe1	El Rincón, parcela agrícola	Fondo del valle	Depósitos gravitacionales	Sedimentaria: caliza	Valle	Planicie	2°	0-25 cm	<5%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe2	B. Grande	Ladera alta	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Cuenca	Ladera inclinada cóncava denudativa	25°	0-25 cm	>50 %	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe3	B. Grande	Ladera alta	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Cuenca	Ladera inclinada cóncava denudativa	7°	<10 cm	>50 %	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe1	uso agropecuario para siembra de maíz y pastoreo bovino y caprino.	<i>Mezquital de Prosopis laevigata (Agave marmorata, Mammillaria sp., también se encontró Yucca periculosa).</i>	Difusa o laminar, moderada, provoca la pérdida parcial del horizonte superficial (11-25% área afectada)	poca precipitación y disposición de agua	Calcisol Endopétrico (Arcilloso)	Parcela agricultura de temporal	Arcilla, Arcilla, Franco arcilloso, Franco arcilloso	Prácticas agroforestales/agrosilvopastoriles en parcelas, bordos a curvas de nivel en dirección perpendicular a la pendiente y en donde se encuentre lo mas despojado de vegetación (como en los pies de monte).
Pe2	vegetación primaria, uso pecuario (equino)	<i>Cardonal de Cephalocereus columnn-trajani (Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Beaucarnea gracilis, Agave spp. Lippia graveolens, Solanum rostratum, Mammillaria sp.)</i>	Difusa o laminar, moderada, provoca la pérdida parcial del horizonte superficial (<10% área afectada)	indicios de pastoreo en las laderas asociadas a la barranca	Leptosol Réndzico (Húmico, Nóvico)	Perfil ubicado en la ladera aledaña a la barranca donde se encuentra el gavión. Vegetación densa, mejor conservada	Franco, Arcilla, Arcilla	Conservación de cobertura vegetal original
Pe3	Pecuario (pastoreo caprino)	<i>Cardonal de Cephalocereus columnn-trajani (Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Beaucarnea gracilis, Agave spp. Lippia graveolens, Solanum rostratum, Mammillaria sp.)</i>	Difusa o laminar, severa, provoca la pérdida parcial ó total del horizonte superficial	erosión severa con poca cobertura vegetal	suelo erosionado	vegetación escasa, muy erosionado	Franco arcilloso	Debido al alto nivel de erosión en la zona, prácticas como el uso de abonos verde con hojas y ramas frescas de mezquite ( <i>Prosopis laevigata</i> ) y maíz ( <i>Zea mays</i> ) con el inconveniente del traslado del material pero altamente recomendable; barreras de piedra combinado con barreras vivas (especies de agaves y nopaleras son recomendables), sin embargo, dichas propuestas requieren de una inversión económica elevada, sin mencionar que para llegar a resultados satisfactorios se requiere de un seguimiento con largo periodo de tiempo. Además, de ser posible, se recomienda complementar las obras con zanjas derivadoras de escorrentía y sistemas de presas de piedra (cabeza de la barranca) y de gaviones en partes bajas donde se encuentran barrancas de mayor erosión pero en pendientes que no sobrepase de 1º 08'.

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe4	B. Grande	Ladera alta	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Cuenca	Ladera inclinada cóncava	15°	0-25 cm	>50 %	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe5	Cerro Nopaltepec	Ladera baja	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	Ladera inclinada, cóncava, acumulativa	11°	0-30 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe6	Cerro Tehuantepec Chico	Ladera baja	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	Ladera inclinada recta, denudativa	22°	0-10 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe7	B. Grande	Cima	Roca consolidada	Sedimentaria: lutita	Elevación aislada	Cima	6°	<10 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe8	B. Grande	Ladera baja	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Cuenca	Ladera recta	19°	0-50 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe9	La Mesa	Mesa	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Mesa	Mesa	3°	0-57 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe10	C. Mogote	Ladera alta	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	Ladera inclinada, convexa	10°	0-25 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe4	vegetación primaria	<i>Cardonal de Cephalocereus columna-trajani (Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Beaucarnea gracilis, Agave spp. Lippia graveolens, Solanum rostratum, Mammillaria sp.)</i>	Difusa o laminar ligera, provocando pérdida parcial del horizonte superficial	/	Leptosol Háptico (Calcárico)	/	Franco	Conservación de cobertura vegetal original
Pe5	Vegetación primaria	<i>Cardonal de Mitrocereus fulviceps (Yucca periculosa, Agave peacockii, Agave potatorum, Acacia sp.)</i>	Hídrica ligera, provocando canales afectando un 10% del área	alta pedregosidad y pendiente como limitante	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	sin ganado desde hace 10 años	Franco arenoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso	presas de ramas (la altura de la barrera no debe exceder un metro) acompañadas con pastos para mejor funcionamiento, zanjas derivadoras de escorrentía
Pe6	Pecuario (pastoreo)	<i>Cardonal de Mitrocereus fulviceps (Yucca periculosa, Agave peacockii, Agave potatorum, Acacia sp.)</i>	Hídrica ligera, provocando canales afectando un 10% del área	vegetación alterada, pastoreo, alta pedregosidad, pendiente como limitante	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	/	Arcillo arenoso, Franco, Franco arenoso	presas de ramas (la altura de la barrera no debe exceder un metro) acompañadas con pastos para mejor funcionamiento, zanjas derivadoras de escorrentía
Pe7	Vegetación secundaria	<i>Cardonal de Cephalocereus columna-trajani (Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Beaucarnea gracilis, Agave spp. Lippia graveolens, Solanum rostratum, Mammillaria sp.)</i>	Difusa o laminar, ligera provocando pérdida parcial del horizonte superficial 11-25% del área	vegetación alterada, afloramiento de rocas	Leptosol Lítico (Húmico)	/	Franco arcilloso	Pequeñas presas de piedra acomodada a curvas de nivel
Pe8	Pecuario (caprino y equino) antes de la cerca	<i>Tetechera de Neobuxbaumia tetetzo (Mammillaria spp., Bursera spp.)</i>	Hídrica provocando canales o C'racava afectando <10% del área	/	Regosol Léptico (Calcárico, Arcílico)	Pastoreo, cercado para evitar paso de ganado	Franco arcillo arenoso, arcilla-franco arcilloso, Arcilla, Arcilla	Presa de piedra acomodada o electrosoldada
Pe9	Agrícola, cultivo anual (maíz)	<i>Izotal de Yucca periculosa (Agave spp, Brahea sp.)</i>	Difusa o laminar, moderada provocando pérdida parcial de horizonte superficial	Alta pedregosidad	Phaeozem Réndzico (Calcárico, Arcílico)	Agaves como barreras para delimitar parcelas	Franco arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso, Arcilla	Gaviones sobre barrancas en laderas del sitio Mal paso, antes de llegar a La Mesa, reforestación sobre las mismas laderas, bordos a curvas de nivel sobre pie de monte de C. Manrubio en zonas con poca vegetación, prácticas agroforestales en zonas de parcelas.
Pe10	Vegetación primaria (reforestada)	<i>Cardonal de Mitrocereus fulviceps (Yucca periculosa, Agave marmorata, Echinocactus platyacanthus)</i>	Difusa o laminar, moderada provocando pérdida parcial de horizonte superficial en un 10% del área	erosión	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	Área con reforestación	Franco arcilloso, Arcillo arenoso-Franco arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso	Presa de piedra acomodada o electrosoldada

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe11	Corte sobre el camino a C. Mogote	Sobre el camino mal cerro Mogote	Conglomerado	Sedimentaria: conglomerado	Elevación aislada	Loma	Perfil irregular	0-28 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe12	Corte sobre el camino a C. Mogote	Ladera intermedia	Conglomerado	Sedimentaria: conglomerado	Elevación aislada	Ladera convexa		26-50 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe13	El Palenque	Ladera baja	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	Ladera inclinada denudativa	16°	0-62 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe14	B. Pulpito	ladera alta	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera inclinada	30°	0-49 cm	6-25%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe15	B. Pulpito	ladera intermedia	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Sierra	ladera inclinada, cóncava, denudativa	20°	0-68 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe11	Pecuario	<i>Cardonal de Mitrocereus fulviceps (Yucca periculosa, Agave sp., Echinocactus platyacanthus, Opuntia pilifera)</i>	Hídrica provocando pedestales y cárcavas; difusa o laminar provocando la pérdida parcial del horizonte superficial en un 26-50% del área	Zona dedicada a restauración ambiental	Leptosol Réndzico (Calcárico, Nóvico)	Se colocó malla para evitar paso al ganado	Franco arcillo arenoso, Franco arcilloso	Presa de piedra acomodada, reforestación sobre sedimentos depositados
Pe12	Pecuario (caprino)	<i>Izotal de Yucca periculosa (Mitrocereus fulviceps, Agave marmorata, Hechtia podantha)</i>	Hídrica provocando pedestales, canales y cárcavas; difusa o laminar provocando la pérdida parcial del horizonte superficial en un 26-50% del área	Vegetación alterada	Leptosol Réndzico (Calcárico, Nóvico)	/	Franco arcillo arenoso, Franco arcilloso	Presa de piedra acomodada si se cuenta con banco de material, presa de ramas, reforestación sobre sedimentos depositados, zanjas derivadoras de escorrentía
Pe13	Pecuario (caprino)	<i>Izotal de Yucca periculosa (Mitrocereus fulviceps, Agave marmorata, Hechtia podantha)</i>	Hídrica provocando pedestales, canales, cárcavas y barrancas; difusa o laminar provocando la pérdida parcial del horizonte superficial en un 26-50% del área	Vegetación altamente alterada debido al pastoreo	Calcisol Hipercálico (Esquelético, Arcillo, Nóvico)	/	Franco arcillo arenoso, arcilla, arcilla	Presa de piedra acomodada si se cuenta con banco de material, presa de ramas, reforestación sobre sedimentos depositados, zanjas derivadoras de escorrentía
Pe14	vegetación primaria	<i>Matorral crasi-rasulifolia (Dasylirion serratifolium, Hechtia podantha)</i>	hídrica, difusa o laminar moderada provocando canales y pérdida parcial del horizonte superficial	/	Regosol Háptico (Calcárico, Húmico)	presencia abundante de <i>Sellaginella sp.</i>	Franco, Franco arcillo arenoso, arcilla, arcilla	Presa de piedra acomodada si se cuenta con banco de material, presa de ramas, reforestación sobre sedimentos depositados, zanjas derivadoras de escorrentía, presa de mampostería al final del control de escurrimientos y donde su posición asegure estabilidad y el vaso de captación sea amplio.
Pe15	Pecuario (caprino)	<i>Cardonal de Cephalocereus columna-trajani (Beaucarnea gracilis, Agave marmorata, Yucca periculosa) colinda con cardonal de Mitrocereus fulviceps más arriba</i>	Hídrica ligera, provocando canales afectando un 10% del área	/	Phaeozem Réndzico, (Esquelético)	indicio de pastoreo	FA-FAA, Franco arenoso, Franco arcillo arenoso	Presa de ramas, reforestación sobre sedimentos depositados

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe16	C. Tecoyuco	Ladera alta	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera inclinada	20°	0-50 cm	26-50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe17A	Parcela de Don Juan Palacios, al norte del C. Oreganal y al sur de C. Tecoyuco	Piedemonte	Depósitos fluviales, conglomerado	Sedimentaria: conglomerado	Cuenca	planicie aluvial	1°	0-50 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe17B	Noreste de C. Oreganal	Cima	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	cima de cerro	10°	0-37 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe18	Antes de llegar a B. Encinal al noroeste de C. Mogote Grande	Ladera intermedia	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza	Elevación aislada	loma		0-50 cm	26-50%	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe16	pecuario	<i>Transición entre cardonal de Cephalocereus columna-trajani y cardonal de Mitrocereus fulviceps (Prosopis laevigata, Agave marmorata, Yucca periculosa)</i>	Difusa o laminar moderada provocando la pérdida parcial del horizonte superficial en un 26-50% del área afectada	/	Phaeozem Réndzico, (Esquelético)	indicio de pastoreo	Franco arcillo arenoso, Franco arenoso, Franco arenoso	Presas de ramas
Pe17A	Agrícola, cultivo de temporal	<i>Cardonal de Cephalocereus columna-trajani en el pie de monte y mezquital de Prosopis laevigata en las partes bajas donde se encuentran las parcelas (Yucca periculosa, Agave marmorata y Agave sp. Delimitan las parcelas y surcos)</i>	Hídrica y difusa o laminar, moderada a severa, provocando formación de cárcavas	Propicio a la erosión hídrica	Calcisol Hipercálcico, (Epiesquelético)	sitio potencial para medición de cárcavas	Franco arenoso, Franco arenoso, Arena francosa, Arena francosa, Arena francosa	Prácticas agroforestales/agrosilvopastoriles en parcelas, bordos a curvas de nivel en dirección perpendicular a la pendiente y en donde se encuentre lo mas despojado de vegetación (como en los pies de monte).
Pe17B	Pecuario	<i>Matorral crasi-rosulifolio (Dasylirion serratifolium, Echinocactus platyacanthus, Prosopis laevigata)</i>	difusa o laminar moderada a elevada, provocando la pérdida parcial del horizonte superficial y en algunas zonas se pierde totalmente el horizonte superficial	compactación, erosión y pastoreo	Regosol Epiléptico, (Húmico, Calcárico)	/	Franco arcilloso, Franco arcilloso	Presas de piedra acomodada, reforestación sobre sedimentos depositados
Pe18	Pecuario (caprino y equino)	<i>Matorral crasi-rosulifolio (Dasylirion serratifolium, Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Euphorbia antisiphilitica, Gochnatia hypoleuca, Gymnosperma glutinosum) Prosopis laevigata, Yucca periculosa y Mitrocereus fulviceps en partes más altas y Brahea sp. en partes más bajas.</i>	difusa o laminar, ligera	/	Phaeozem Réndzico	similar a Manrrubio	Franco arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso	pequeñas presas de piedra en zonas más expuestas y reforestación

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe19	Al noroeste de C. Mogote Grande entre B. Encinal y B. Cruz Rosario	planicie	Roca consolidada	Sedimentaria: caliza y algunos depósitos conglomerados	Mesa inclinada	mesa inclinada	5°	0-24 cm	1-5%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe21	Parcela Escolar	mesa	conglomerado	Sedimentaria: conglomerado	mesa	mesa	3°	0-35 cm	6-25%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe22	Ladera noreste de C. Llano Grande cerca de la parcela de Escalar	ladera intermedia	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera inclinada, cóncava, denudativa	29°	0-60 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe23	Río entre el C. el Oreganal las Salinas Grandes	cima	Roca consolidada	sedimentaria: lutita y caliza	Elevación aislada	lomerío		0-24 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe19	agrícola, pecuario (caprino) y pastizal inducido		difusa o laminar ligera, provocando pérdida parcial del horizonte superficial en menos del 10% del área	/	Calcisol, Epipétrico, (epiesquelético)	indicio de arado y pastoreo	Franco arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso, Arcillo arenoso	bordos a curvas de nivel en dirección perpendicular a la pendiente y en donde se encuentre lo mas despojado de vegetación, reforestación o uso de prácticas agroforestales en el caso de que aún se utilicen las parcelas
Pe21	agrícola de temporal	<i>Mezquital de Prosopis laevigata (Agave sp. Como barrera de parcelas, Yucca periculosa abundante alrededor de las parcelas).</i>	Difusa o laminar, ligera provocando pérdida parcial del horizonte superficial en <10% del área	/	Vertisol Grúmico, (calcárico, húmico)	parcela escolar	Franco arcilloso, Arcilla, Franco arcilloso, Arcilla, Arcilla	bordos y canales de derivación de escurrimientos en la parte alta del área de cultivos de donde el agua se derrama aguas abajo a través de varias salidas, olla de agua, practicas agroforestales
Pe22	pecuario (caprino)	<i>Cardonal de Mitrocereus fulviceps (Yucca periculosa, Beaucarnea gracilis, Opuntia pilifera, Agave sp., también se encontró Prosopis laevigata)</i>	difusa o laminar severa, provoca la pérdida parcial del horizonte superficial afectando del 51-60% del área	erosión severa	Phaeozem Léptico, (Esquelético)	pastoreo	FAA, FAA, FAA	Presa de ramas (la altura de la barrera no debe exceder un metro), reforestación sobre sedimentos depositados
Pe23	pecuario (caprino y equino)	<i>Matorral crasi-rosulifolio colinda con Cardonal de cardonal de Cephalocereus columna-trajani (Dasylirion serratifolium, Echinocactus platyacanthus, Hechtia podantha, Beaucarnea gracilis)</i>	difusa o laminar, erosión vertical, severa provocando la pérdida parcial del horizonte superficial	zona muy alterada, altamente degradada con un sistema complejo de barrancas	Calcisol Endopétrico, (límico)	formación de aluviones	Franco arcillo limoso, Franco arcillo limoso, Franco arcilloso, Franco arcilloso	Las siguientes propuestas de manejo requieren de una inversión económica considerable, aunado a un mayor esfuerzo de trabajo, mayores recursos humanos y tiempo: Presa de gaviones donde se encuentren las barrancas de mayor dimensión (mayores a los 2 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad o más) y donde el flujo de corrientes sea turbulento, además de colocarse en pendientes no mayores a 1º 08'; caso contrario construir un sistema de presas de piedra en barrancas donde la pendiente sea moderada (máximo 19º 30'), tener consideración del espaciamiento de cada presa con los calculos correspondientes, un buen empotramiento y la disponibilidad del material (rocas) donde no comprometa la estabilidad del suelo ni propicie mayor erosión. Se recomienda complementar las obras con cabeceo de cárcavas, zanjas derivadoras de escorrentía, afine de taludes, reforestación en terraplenes de formación con especies forestales como mezquite ( <i>Prosopis laevigata</i> ) en las partes más bajas y matorrales aprovechables como Agaves ( <i>Agave lechuguilla</i> Torr y <i>A. marmorata</i> son recomendadas), nopales ( <i>Opuntias spp.</i> ) e izotales de <i>Yucca periculosa</i> .

Perfil	Paraje	Posición del observador	Material parental	Litología y recursos minerales	Fisiografía	Geomorfología	Pendiente	Profundidad de suelo útil	Pedregosidad	Hidrología
Pe24	C. el Oreganal	ladera intermedia	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera inclinada, cóncava, denudativa	28°	0-20 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe25	Muy cerca del camino al relleno sanitario	cima	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	cima, parte de lomerío	7°	0-13 cm	26-50%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe26	C. Bancos	ladera alta	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera inclinada	25°	0-12 cm	1-5%	Ríos y escurrimientos intermitentes
Pe27	Ladera de loma cerca de la carretera	ladera baja	Roca consolidada	sedimentaria: caliza	Elevación aislada	ladera convexa; loma	14°	0-19 cm	>50%	Ríos y escurrimientos intermitentes

Perfil	Uso de suelo	Tipo de vegetación	Erosión	Problemática ambiental	Tipo de suelo	Observaciones	Texturas	Propuestas de manejo y conservación de suelo
Pe24	Vegetación primaria	<i>Cardonal de Cephalocereus columna-trajani (Bursera aloexylon, Bursera sp., Agave sp., Beaucarnea gracilis, Lippia graveolens, Jatropha neopauciflora, Hechtia podantha, Euphorbia antisiphilitica)</i>	difusa o laminar e hídrica, moderada provocando la pérdida parcial del horizonte superficial y formar canales.	zona más conservada, erosión como problemática	Calcisol Endopétrico, (límico)	zona muy conservada (abundantes Teclates)	Arcillo limoso, Arcillo limoso	Pequeñas presas de piedra acomodada o barreras de piedra en caso de contar con recursos humanos y económicos para mitigar efectos erosivos con el fin de conservar la vegetación original lo más posible.
Pe25	urbano, pecuario (caprino y equino)	<i>Matorral de Gochnatia hypoleuca (Yucca periculosa, Hechtia podantha, Opuntia sp.)</i>	difusa o laminar, ligera provocando la pérdida parcial del horizonte superficial	/	Leptosol Réndzico, (húmico)	/	Franco arenoso, Franco arcilloso	Conservación de cobertura vegetal original
Pe26	vegetación primaria-secundaria	<i>Matorral de Gochnatia hypoleuca (Yucca periculosa, Hechtia podantha, Opuntia sp.)</i>	difusa o laminar, ligera, provoca la pérdida parcial del horizonte superficial	poco perturbado	Calcisol Hipercálcico	/	Franco arenoso, FAA, FAA	Conservación de cobertura vegetal original
Pe27	pecuario (caprino)	<i>Matorral de Gochnatia hypoleuca (Yucca periculosa, Hechtia podantha, Opuntia sp.)</i>	difusa o laminar, ligera, provoca la pérdida parcial del horizonte superficial	/	Leptosol, Réndzico	se encuentra cerca el depósito basurero	FAA	Conservación de cobertura vegetal original

### Anexo III

Tabla de resultados en las determinaciones de parámetros físicos y químicos de las muestras recolectadas.

Perfil	Profundidad	Color (seco)	Color (húmedo)	%Arenas	%Arcillas	%Limos	Clase Textural	Densidad Ap. (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)	M.O. (%)	pH	CO3- (%)	Grupo	Clave
Pe1	0-18 cm	10YR 4/1	10YR 2/1	39.6	40.8	19.6	Arcilla	0.97	2.07	53.14	4.521	8.21	21.565	Calcisol Endopétrico (Arcílico)	CLptn(ce)
	18-70 cm	10YR 4/1	10YR 2/1	35.6	44.8	19.6	Arcilla	0.97	1.974	50.87	3.684	8.28	20.04		
	70-100 cm	10YR 5/1	10YR 3/1	39.6	38.8	21.6	Franco arcilloso	0.95	1.817	47.73	2.177	8.17	22.58		
	>100 cm	10YR 7/2	10YR 5/2	31.2	39.2	29.6	Franco arcilloso	0.98	2.04	52.15	1.071	8.09	33.385		
Pe2	0-12 cm	10YR 6/2	10YR 4/3	37.2	19.2	43.6	Franco	0.99	2.192	54.85	4.22	8.37	42.31	Leptosol Réndzico (Húmico,	LPrz(hu,nv)
	12-20 cm	10YR 6/2	10YR 4/2	39.2	41.2	19.6	Arcilla	1.02	1.994	48.85	4.153	8.36	43.275		
	20-30 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	31.2	49.2	19.6	Arcilla	0.96	1.985	51.65	2.813	8.35	52		
Pe3	0-8.5 cm	2.5Y 6/2	2.5Y 5/3	33.2	36.8	30	Franco arcilloso	N/A	N/A	N/A	0.456	7.9	35.67	Suelo erosionado	
Pe4	0-19.5 cm	2.5Y 7/3	2.5Y 6/3	31.6	38.8	29.6	Franco	1.13	2.23	47.83	2.764	8.03	49.88	Leptosol Háptico (Calcárico)	LPha(ca)
Pe5	0-7 cm	10YR 5/2	10YR 3/2	68	20	12	Franco arenoso	0.83	1.98	58.08	7.309	7.95	39.007	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	PHrz(ca)
	7-30 cm	10YR 5/2	10YR 4/2	58	24	18	Franco arcillo arenoso	0.89	1.85	51.9	5.191	8.14	43.207		
	30-49 cm	10YR 7/1	10YR 4/1	70	24	6	Franco arcillo arenoso	0.92	1.94	52.6	3.321	8.14	54.814		
Pe6	0-10 cm	10YR 3/1	10YR 2/1	46	36	18	Arcillo arenoso	0.81	1.822	55.54	11.985	8.05	38.266	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	PHrz(ca)
	10-38 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	50	30	20	Franco	0.9	1.949	53.83	5.819	8.2	48.392		
	38-50 cm	10YR 6/1	10YR 4/1	56	28	16	Franco arenoso	0.96	2.048	53.13	4.087	8.32	54.074		
Pe7	0-11 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	40	38	22	Franco arcilloso	0.95	2.015	53.13	4.128	8.21	43.703	Leptosol Lítico (Húmico)	LPlí(hu)
Pe8	0-18 cm	2.5Y 6/3	2.5Y 5/3	47.2	30.4	22.4	Franco arcillo arenoso	1.22	2.858	57.32	2.84	7.64	16.603	Regosol Léptico (Calcárico, Arcílico)	RGle(ca,ce)
	18-40 cm	2.5Y 6/3	2.5Y 5/4	25.2	40.4	34.4	Arcilla-Franco arcilloso	1.1	2.545	56.79	1.338	8	15.094		
	40-67 cm	2.5Y 6/3	2.5Y 5/4	17.2	44.4	38.4	Arcilla	1.08	2.566	57.92	0.892	7.79	17.358		
	>67 cm	2.5Y 7/2	2.5Y 6/4	27.2	40.4	32.4	Arcilla	1.16	2.699	57.03	0.892	7.86	19.622		
Pe9	0-15 cm	2.5Y 2.5/1	2.5Y 2.5/1	51.6	28.8	19.6	Franco arcillo arenoso	1	2.243	55.41	6.841	7.81	15.471	Phaeozem Réndzico (Calcárico, Arcílico)	PHrz(ca,ce)
	15-35 cm	2.5Y 3/1	2.5Y 2.5/1	45.6	30.8	23.6	Franco arcillo arenoso	0.95	2.119	55.17	7.185	7.8	17.735		
	35-57 cm	2.5Y 5/1	2.5Y 4/1	27.6	48.8	23.6	Arcilla	0.87	2.361	58.92	4.377	7.77	50.566		

Perfil	Profundidad	Color (seco)	Color (húmedo)	%Arenas	%Arcillas	%Limos	Clase Textural	Densidad Ap. (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)	M.O. (%)	pH	CO3- (%)	Grupo	Clave
Pe10	0-10 cm	2.5Y 4/2	2.5Y 3/2	21.6	36.8	41.6	Franco arcilloso	0.93	2.597	64.19	7.209	7.79	32.075	Phaeozem Réndzico (Calcárico)	PHrz(ca)
	10-24 cm	2.5Y 5/1	2.5Y 3/2	47.6	34.8	17.6	Arcillo arenoso-Franco arcillo arenoso	0.89	2.368	62.42	4.153	7.88	33.962		
	24-48 cm	2.5Y 6/2	2.5Y 5/2	45.6	28.8	25.6	Franco arcillo arenoso	0.88	1.434	38.66	7.689	7.84	47.773		
Pe11	0-10 cm	2.5Y 5/2	2.5Y 4/2	49.6	30.8	19.6	Franco arcillo arenoso	0.88	2.726	67.72	6.556	7.76	34.339	Leptosol Réndzico (Calcárico, Nóvico)	LPrz(ca,nv)
	10-28 cm	2.5Y 5/1	2.5Y 4/2	36	38.8	25.2	Franco arcilloso	0.91	2.498	63.58	8.685	7.75	32.83		
Pe12	0-10 cm	2.5Y 5/2	2.5Y 4/2	62	34	4	Franco arcillo arenoso	0.88	2.594	66.3	8.136	7.83	36.603	Leptosol Réndzico (Calcárico, Nóvico)	LPrz(ca,nv)
	10-23 cm	2.5Y 5/2	2.5Y 4/2	36	34	30	Franco arcilloso	0.87	2.529	65.59	6.193	7.79	42.641		
Pe13	0-8 cm	10YR 5/1	10YR 3/2	46	34	20	Franco arcillo arenoso	1.02	2.627	61.178	6.108	7.85	50.566	Calcisol Hipercálico (Esquelético, Arcillico, Nóvico)	CLhc(sk,ce,nv)
	8-31 cm	10YR 6/1	10YR 5/2	26	54	20	Arcilla	1.04	2.416	56.964	4.325	7.9	41.509		
	31-62 cm	10YR 7/1	10YR 5/2	23.2	50	26.8	Arcilla	1.08	2.337	53.796	1.819	8.5	45.547		
Pe14	A 0-9 cm	10YR 6/2	10YR 3/2	48	22	30	Franco	0.84	2.222	62.20	3.120	8.06	29.50	Regosol Háplico (Calcárico, Húmico)	RGha(ca,hu)
	C 9-46 cm	10YR 6/2	10YR 4/2	52	28	20	Franco arcillo arenoso	0.89	2.190	59.36	2.300	8.04	26.30		
	2Bt3 46-80 cm	10YR 8/3	2.5Y 6/4	20	56	24	Arcilla	1.27	2.506	49.33	1.342	8.10	22.93		
	2Bt3 80-96 cm	10YR 8/3	2.5Y 6/4	26	52	22	Arcilla	1.29	2.543	49.28	1.150	8.10	18.54		
Pe15	0-14 cm	10YR 5/2	10YR 2/2	60	20	20	FA-FAA	0.81	2.138	62.11	9.200	7.99	64.39	Phaeozem Réndzico, (Esquelético)	PHrz(sk)
	14-37 cm	10YR 5/2	10YR 3/3	64	20	16	Franco arcillo arenoso	0.81	2.417	66.48	9.200	8.66	39.51		
	37-68 cm	10YR 5/2	10YR 3/3	58	24	18	Franco arcillo arenoso	0.81	2.462	67.10	9.583	8.87	47.32		
Pe16	0-7 cm	10YR 3/1	10YR 2/1	60	24	16	Franco arcillo arenoso	0.72	2.262	68.18	18.783	7.26	9.76	Phaeozem Réndzico, (Esquelético)	PHrz(sk)
	7-28 cm	10YR 3/1	10YR 2/1	70	14	16	Franco arenoso	0.73	2.279	67.97	17.250	7.67	13.66		
	28-50 cm	10YR 5/1	10YR 3/2	72	16	12	Franco arenoso	0.73	2.236	67.35	11.117	7.83	46.83		

Perfil	Profundidad	Color (seco)	Color (húmedo)	%Arenas	%Arcillas	%Limos	Clase Textural	Densidad Ap. (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)	M.O. (%)	pH	CO3- (%)	Grupo	Clave
Pe17A	0-29 cm	10YR 6/2	10YR 4/3	64	18	18	Franco arenoso	0.89	2.361	62.30	4.600	8.18	47.32	Calcisol Hipercálcico, (Epiesquelético)	CLhc(skp)
	29-50 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	70	18	12	Franco arenoso	0.96	2.358	59.30	2.492	8.19	54.15		
	50-73 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	82	6	12	Arena francosa	1.17	2.316	49.48	0.767	8.13	48.78		
	73-97 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	86	4	10	Arena francosa	1.16	2.312	49.82	1.342	8.34	57.07		
	97-121 cm	10YR 7/2	10YR 5/3	84	4	12	Arena francosa	1.21	2.363	48.79	1.533	8.30	52.68		
Pe17B	0-27 cm	10YR 6/2	10YR 4/3	38	38	24	Franco arcilloso	0.92	1.965	53.17	5.687	8.13	53.18	Regosol Epiléptico, (Húmico, Calcárico)	RGel(hu,ca)
	27-37 cm	10YR 6/2	10YR 4/3	38	40	22	Franco arcilloso	0.92	1.985	53.65	5.687	8.2	56.36		
Pe18	2-37 cm	10YR 3/1	10YR 2/1	62	30	8	Franco arcillo arenoso	0.84	2.220	62.17	20.317	8.14	35.12	Phaeozem Réndzico	PHrz
	37-59 cm	10YR 3/1	10YR 2/1	72	22	6	Franco arcillo arenoso	0.8	2.042	60.82	15.717	8.19	45.37		
Pe19	0-8 cm	10YR 5/2	10YR 3/2	62	22	16	Franco arcillo arenoso	1	2.464	59.42	2.306	7.82	45.41	Calcisol Epipéptico, (epiesquelético)	CLtp(skp)
	8-24.5	10YR 4/1	10YR 3/2	54	30	16	Franco arcillo arenoso	0.89	2.288	61.11	1.623	7.86	44.05		
	24.5-45	10YR 5/1	10YR 3/1	52	36	12	Arcillo arenoso	0.94	2.384	60.58	0.683	7.89	44.32		
Pe21	0-15 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	42	34	24	Franco arcilloso	1.03	2.002	48.56	5.497	8.24	23.18	Vertisol Grúmico, (calcárico, húmico)	VRgm(ca,hu)
	15-27 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	40	42	18	Arcilla	0.98	1.905	48.57	5.118	8.23	23.64		
	27-35 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	38	40	22	Franco arcilloso	1	1.955	48.84	4.739	8.09	24.09		
	35-57 cm	10YR 5/1	10YR 3/2	32	58	10	Arcilla	1.08	2.034	46.91	2.085	8.4	31.82		
	57-100 cm	10YR 5/1	10YR 3/2	26	60	14	Arcilla	1.05	2.102	50.04	1.896	8.61	30.45		
Pe22	0-6 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	58	22	20	Franco arcillo arenoso	0.87	1.899	54.19	17.819	8.02	23.18	Phaeozem Léptico, (Esquelético)	PHle(sk)
	6-36 cm	10YR 2/1	10YR 2/1	64	20	16	Franco arcillo arenoso	0.86	1.781	51.72	13.269	8.18	15.45		
	36-67 cm	10YR 2/1	10YR 2/1	64	24	12	Franco arcillo arenoso	0.94	1.856	49.35	12.132	8.23	19.09		

Perfil	Profundidad	Color (seco)	Color (húmedo)	%Arenas	%Arcillas	%Limos	Clase Textural	Densidad Ap. (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)	M.O. (%)	pH	CO3- (%)	Grupo	Clave
Pe23	0-16 cm	10YR 7/3	10YR 5/4	20	38	42	Franco arcillo limoso	1.08	2.263	52.29	3.063	7.98	65.33	Calcisol Endopétrico, (límico)	CLptn(sl)
	16-24 cm	10YR 7/3	10YR 6/4	20	36	44	Franco arcillo limoso	1.11	2.258	50.85	1.870	7.57	66.33		
	24-34 cm	10YR 7/3	10YR 6/4	24	34	42	Franco arcilloso	1.13	2.231	49.35	2.064	7.79	61.00		
	34-45 cm	10YR 7/3	10YR 6/4	24	36	40	Franco arcilloso	1.13	2.281	50.46	1.096	8.05	52.00		
	45-90 cm	10YR 7/3	10YR 6/4	26	22	52	Franco limoso	1.22	2.403	49.22	1.161	8.07	60.67		
Pe24	0-19 cm	10YR 6/2	10YR 5/3	14	46	40	Arcillo limoso	0.98	2.421	59.53	1.806	8.48	66.00	Calcisol, Endopétrico, (límico)	CLptn(sl)
	19-57 cm	10YR 7/2	10YR 6/3	14	46	40	Arcillo limoso	1.28	2.568	50.16	0.709	8.81	65.33		
Pe25	0-13 cm	10YR 5/2	10YR 2/2	72	20	8	Franco arenoso	0.88	1.914	54.03	7.772	8.02	35	Leptosol Réndzico, (húmico)	LPrz(hu)
	13-34 cm	10YR 5/2	10YR 2/2	44	30	26	Franco arcilloso	0.93	1.830	49.18	6.066	8.2	40		
Pe26	0-7 cm	10YR 3/2	10YR 3/1	64	16	20	Franco arenoso	0.86	1.829	52.98	15.354	8.07	32.27	Calcisol Hipercálcico	CLhc
	7-12 cm	10YR 5/2	10YR 3/1	58	22	20	Franco arcillo arenoso	0.84	1.758	52.22	9.857	8.07	40		
	12-47 cm	10YR 5/2	10YR 3/2	64	20	16	Franco arcillo arenoso	0.88	1.755	49.86	6.445	8.21	57.73		
Pe27	0-19 cm	10YR 3/2	10YR 2/1	52	30	18	Franco arcillo arenoso	0.96	2.185	56.07	10.157	8.22	35.67	Leptosol Réndzico	LPrz

Perfil	Profundidad	Color (seco)	Color (húmedo)	%Arenas	%Arcillas	%Limos	Clase Textural	Densidad Ap. (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)	M.O. (%)	pH	CO3- (%)	Grupo	Clave
Pe1 (Manrr)	0-7	10 YR 3/1	10 YR 2/1	68.6	19.2	12.2	Franco arenoso				17.65	7.88	21.18	Leptosol lítico (calcárico, húmico)	LPli(ca,hu)
Pe3 (Manrr)	0-10	2.5Y 3/1	2.5Y 2.5/1	60.6	27.2	12.2	Franco arcillo arenoso				9.83	7.75	7.96	Leptosol lítico (húmico)	LPli(hu)
Pe4 (Manrr)	0-11	10 YR 3/1	10 YR 2/1	37.2	48.4	14.4	Arcilla				8.74	7.89	20.89	Leptosol lítico (húmico, epiesquelético)	LPli(hu,skp)
Pe5 (Manrr)	0-5	2.5Y 2/1	2.5Y 2.5/1	56.6	31.2	12.2	Franco arcillo arenoso				12.54	7.75	3.23	Leptosol lítico (húmico)	LPli(hu)
	5-15	2.5Y 2/1	2.5Y 2.5/1	66	24	10	Franco arcillo arenoso				9.83	7.79	3.55		

A - 1 (PAPIIT)				38	30	32	4	1.07	2.43	56	5.3	7.98	25.35	Leptosol Hiperesqueletico O (calcárico)	LPrz(ca)
A - 2 (PAPIIT)				59	15	26	1	0.93	1.99	53	4.5	7.9	52.85	Leptosol Rendzico (hiperesquelético)	LPrz(hk)
A - 3 (PAPIIT)				37	36	27	4	1	2.11	53	5.35	7.92	18.21	Regosol Endoleptico (calcárico)	RGlen(ca)
A - 4 (PAPIIT)				58	16	26	1	0.85	2.36	64	5.6	8.1	56.42	Leptosol Rendzico (hiperesquelético)	LPrz(hk)