



fundamental para comprender la capacidad de uso del suelo, determinar su idoneidad para diferentes cultivos o usos, y diseñar estrategias de manejo que promuevan la sostenibilidad agrícola y ambiental.

El proceso para obtener un monolito de suelo requiere de un arduo trabajo en equipo, ya que se necesita de planeación, investigación, análisis físico-químicos y, sobre todo, mucho trabajo físico. Para la realización de esta práctica, es necesario contar con información previa sobre el sitio de recolección, lo que permite conocer la localización, relieve, condiciones climáticas, geología, uso actual del terreno, entre otros aspectos. Posteriormente, se procede a realizar el trabajo de campo y se recaba la descripción del perfil de suelo, que incluye información como espesor, humedad, permeabilidad, consistencia, color, entre otros aspectos observables en campo. Finalmente, se transporta el monolito extraído al laboratorio y se realizan los análisis correspondientes (mediciones de carbonatos, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, entre otros) para integrar toda la información al monolito de suelo listo para su exposición.

En particular, las colecciones de perfiles de suelo (monolitos) son muy importantes tanto en la investigación y divulgación sobre el manejo y conservación del suelo, como en cuestiones de uso práctico. Debido a esto y atendiendo la necesidad de concientizar al público acerca de la importancia de la conservación y diversidad de suelos que hay en México, en el año 2020 el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, inauguró el primer y único Museo Nacional de Suelos del país, el cual cuenta con alrededor de 60 monolitos listos para su exposición al público. Cabe señalar que dentro de esta colección de monolitos no se cuenta con alguno de la región de Pachuca de Soto, por lo que, una vez terminado el proceso de preparación del monolito, el perfil de suelo recolectado en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” será donado al Museo Nacional de Suelos con la finalidad de que sea expuesto al público y sirva como recurso didáctico para estudiantes, facilitando así el proceso de enseñanza y aprendizaje.

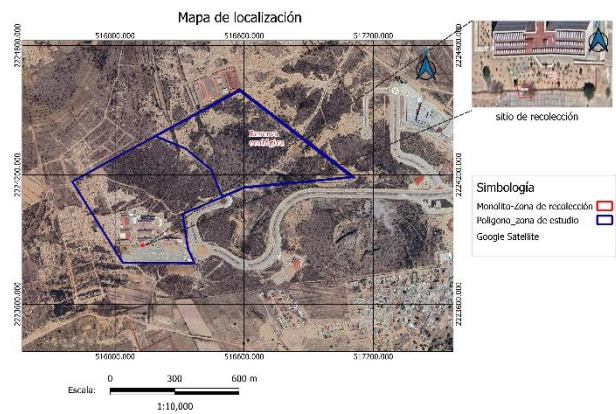
## 2. Desarrollo experimental

### 2.1 Localización

La Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” (figura 1) se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo, entre los límites del poblado Santiago Tlapacoya y el este de San Agustín Tlaxiaca. La unidad se localiza entre las coordenadas  $20^{\circ} 06' 45.38''$  de latitud norte, y  $98^{\circ} 50' 43.63''$  de longitud oeste y se encuentra a una altitud promedio de 2500 m.s.n.m.

#### 2.1.2. Sitio de recolección

El sitio de recolección del monolito de suelo fue seleccionado tomando en cuenta que es representativo del área de estudio puesto que no presenta algún tipo de alteración por actividad humana, además, se evaluó la condición física del suelo asegurándose de que el sitio no estuviera demasiado seco o saturado y se observó que la cobertura vegetal de la sección fuera uniforme, por lo cual resultó ser el sitio adecuado para la recolección del perfil de suelo. El sitio se encuentra dentro del polígono de la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” (figura 1) y cuenta con las siguientes coordenadas:  $20^{\circ} 6' 42.82''$  de latitud norte y  $98^{\circ} 50' 44.90''$  de longitud oeste.



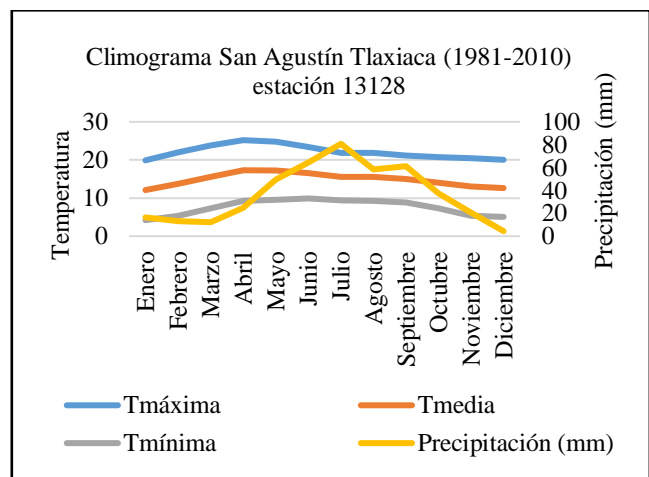
**Figura 1:** Mapa de localización que muestra el sitio de recolección del monolito de suelo y el polígono de la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”. El recuadro rojo muestra el sitio de recolección dentro del área de estudio.

### 2.2. Clima y temperatura

Las temperaturas en Pachuca de Soto suelen ser moderadas a lo largo del año. Los veranos son templados, mientras que los inviernos tienden a ser frescos a fríos. De acuerdo con datos obtenidos del INEGI, la temperatura media anual oscila entre los  $15^{\circ}\text{C}$  y  $17^{\circ}\text{C}$ . Durante el invierno, las temperaturas suelen descender por debajo de los  $10^{\circ}\text{C}$  (INEGI, 2010).

La precipitación en Pachuca de Soto es estacional, con la mayoría de las lluvias ocurriendo durante los meses de verano, principalmente de junio a septiembre. La temporada seca se extiende de octubre a mayo. La precipitación media anual es relativamente baja, generalmente en el rango de 400 a 600 mm.

Tomando en cuenta que la zona de estudio se encuentra comprendida entre los límites del poblado Santiago Tlapacoya y el este del municipio San Agustín Tlaxiaca, se realizó un climograma (figura 2) basándose en datos del Servicio Meteorológico Nacional y utilizando como base la estación meteorológica 13128 perteneciente a San Agustín Tlaxiaca, puesto que es la estación más cercana a la zona de estudio. Además, debido a su proximidad geográfica y altitud similar, ambos poblados comparten varias similitudes en cuanto a su clima y temperatura.



**Figura 2.** Climograma de la estación 13128 perteneciente a San Agustín Tlaxiaca. El color azul muestra las temperaturas

máximas, el color gris las temperaturas mínimas, el naranja las temperaturas medias y el amarillo la precipitación en mm.

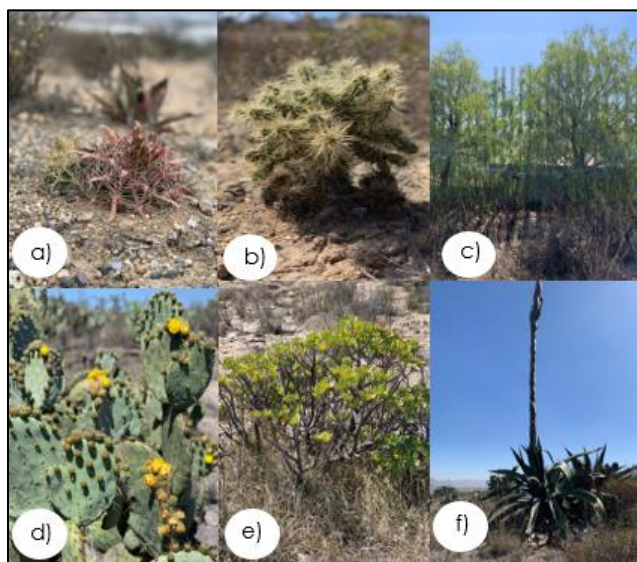
### 2.3. Flora y fauna

#### 2.3.1 Flora

Mayormente, el matorral xerófilo es el tipo de vegetación dominante en la zona de estudio. Este tipo de vegetación está adaptado a condiciones de aridez y suelos pobres en nutrientes. Algunos ejemplos de plantas representativas del área de estudio son: *Ferocactus latispinus* (figura 3a), coloquialmente conocido como biznaga ganchuda, es una especie de planta de la familia de las cactáceas; *Cylindropuntia echinocarpa* (figura 3b), especie de planta que comparte familia con *Ferocactus latispinus* al pertenecer a las cactáceas. De igual manera, podemos encontrar plantas suculentas como *Opuntia ficus-indica* (figura 3d), mejor conocido como nopal, y *Aeonium arboreum* (figura 3e), una especie de planta tropical con hojas suculentas perteneciente a la familia Crassulaceae.

Por otra parte, en la zona se encuentran árboles como *Schinus molle* (figura 3c), mejor conocidos como árboles de pirul. Además de contar con este tipo de árbol, que contribuye a detener la erosión del suelo, también se encuentran plantas como *Agave salmiana* (figura 3f), conocido comúnmente como maguey pulquero.

Esta diversidad de vegetación no solo define el paisaje, sino que también tiene un papel crucial en la ecología y el uso del terreno en la zona. Cabe señalar que la adaptación de estas plantas a condiciones de sequía y suelos pobres es una característica común en esta región.



**Figura 3.** Fotografías tomadas en la zona de estudio. Se pueden apreciar algunos ejemplares de plantas que son representativas del sitio de trabajo, donde: a) *Ferocactus latispinus*, b) *Cylindropuntia echinocarpa*, c) *Schinus molle*, d) *Opuntia ficus-indica*, e) *Aeonium arboreum*, f) *Agave salmiana*.

#### 2.3.2 Fauna

La zona de estudio (figura 1) alberga una diversidad de fauna que se ha adaptado a las condiciones del matorral xerófilo predominante en el área. La fauna típica de esta región consiste en: *Lepus californicus*, comúnmente conocida como liebre. Este mamífero herbívoro es común en matorrales y áreas abiertas, donde se alimenta de plantas y hierbas;

*Didelphis virginiana*, también conocida como zarigüeya. Es un marsupial nocturno y común en esta región (Gardner et al., 1973). También se encuentran ejemplares de aves como: *Cyanocitta stelleri*, coloquialmente llamada chara. Es una especie de ave de plumaje azul nativa de México; *Accipiter striatus*, comúnmente conocido como gavilán. Es un ave rapaz común en zonas con matorral y arboledas, donde caza pequeños mamíferos.

Así mismo, dentro de la zona de estudio (figura 1), es común encontrarse con ejemplares de reptiles como: *Sceloporus spp*, comúnmente conocidas como lagartijas espinudas que suelen, ser abundantes en matorrales y áreas rocosas; *Crotalus spp*, mejor conocidas como serpientes de cascabel, este tipo de serpientes son comunes en regiones áridas y semiáridas.

Esta diversidad de fauna refleja la capacidad de adaptación de las especies a las condiciones áridas y semiáridas de la región, y destaca la importancia ecológica del matorral xerófilo.

### 2.4. Fisiografía

Fisiográficamente, la zona de estudio se encuentra dentro de la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), una importante provincia geológica de México que atraviesa el centro del país de este a oeste. Sin embargo, la zona también se encuentra en el límite de las subprovincias llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo, que comprende desde la ciudad de Querétaro hasta Pachuca de Soto. La mayor parte del terreno está constituida por sierra.

#### 2.4.1. Geología

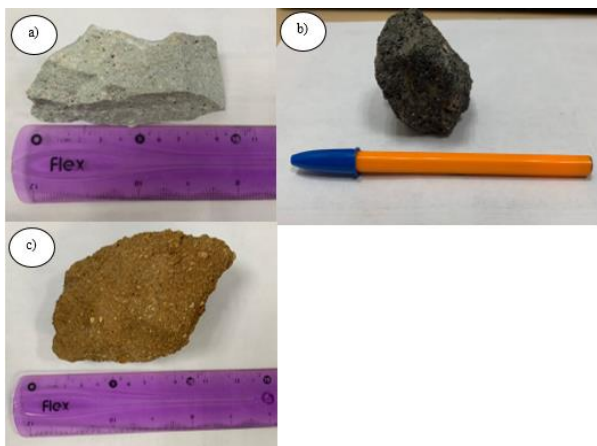
La composición geológica del municipio de Pachuca de Soto incluye rocas ígneas extrusivas: volcanoclástico (19.28%), andesita-brecha volcánica intermedia (11.98%), toba ácida brecha volcánica ácida (6.86%), basalto-brecha volcánica básica (5.91%), brecha volcánica básica (3.52%), riolita (0.49%), toba ácida (0.48%) y vidrio volcánico (0.55%). Suelo: aluvial (6.47%). El porcentaje restante corresponde a la zona urbana con el 44.6% (INEGI, 2010).

La zona de estudio (figura 1) se caracteriza por la presencia de rocas ígneas volcánicas, principalmente andesitas y basaltos. El periodo al que pertenece es el Neógeno y Cuaternario (INEGI, 2010). Nos encontramos en una zona ígneo-sedimentaria, donde además de encontrar rocas ígneas, se encuentran sedimentos cuaternarios, que incluyen depósitos aluviales y coluviales. Estos sedimentos son producto de la erosión y el transporte de materiales más antiguos por ríos y arroyos, así como la deposición en áreas de menor pendiente.

Haciendo un análisis con datos de la carta geológico-minera F14-D81 escala 1: 50,000 del SGM, se puede observar que la unidad TplQptB-Pc predomina en la zona de estudio e integra a la Formación San Cristóbal. La unidad está constituida por derrames de lava, capas clásticas, bloques, bombas y niveles de escorias, con material erosionado de las formaciones subyacentes (Sanchez et al., 2005), además de acuerdo con la descripción realizada por Gayne et al. (1963, Léxico SGM) la Formación San Cristóbal está compuesta por derrames densos de andesita olivínica con cantidades pequeñas de capas tobáceas y clásticas.

Posteriormente se realizaron algunos recorridos en campo y se recolectaron algunos ejemplares de rocas (muestras de mano). De acuerdo con sus características, se identificaron como Andesita de anfíbol + piroxeno, con alteración hidrotermal (propilítica) fuerte (figura 4a); Basalto, que corresponde a la Formación San

Cristóbal y presenta una matriz cristalina fina (figura 4b) y Arenisca, que contiene cristales de cuarzo (figura 4c)



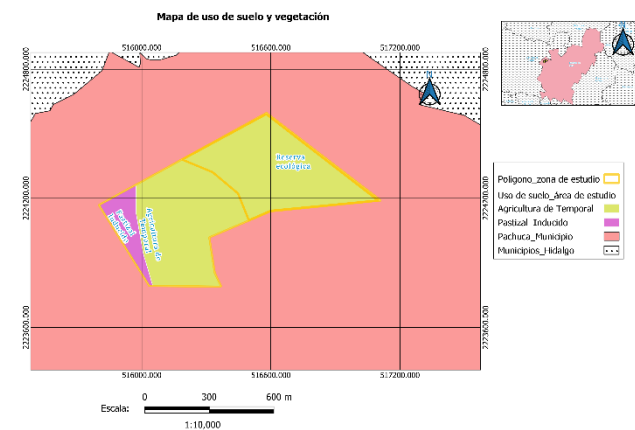
**Figura 4.** Ejemplares de rocas recolectadas en la zona de estudio.

### 2.4.2 Uso de suelo y vegetación

La zona de Santiago Tlapacoya ha sido tradicionalmente agrícola, con cultivos que incluyen maíz, frijol y otros tipos de legumbres. Sin embargo, con el crecimiento de la población y la expansión de la ciudad de Pachuca, Santiago Tlapacoya ha experimentado un aumento en el desarrollo residencial, lo que ha llevado a la construcción de viviendas para acomodar a la creciente población (INEGI, 2010).

A pesar de que una gran parte del territorio se encuentra sobre rocas ígneas extrusivas, principalmente Basalto-Brecha Volcánica, roca que puede presentar agrietamientos, se han registrado asentamientos humanos, lo que ha ocasionado fenómenos de erosión (Mendoza, 2020).

Para elaborar el mapa de uso de suelo y vegetación (figura 5), se utilizaron los datos vectoriales de uso del suelo y vegetación de INEGI, escala 1: 250,000 de la carta F14-11, se trabajó con el software QGIS versión 3.28.4. y así, una vez procesada la información, se pudo determinar que, mayormente, la zona de estudio (figura 1) presenta un uso de suelo agrícola temporal (figura 5), cubriendo el 80% de la zona, y en menor porcentaje pastizal inducido (figura 5), cubriendo el 20% de la zona. Además, es importante señalar que parte del territorio de la zona de estudio está cubierto por matorrales xerófilos, que son importantes para la conservación del ecosistema local.

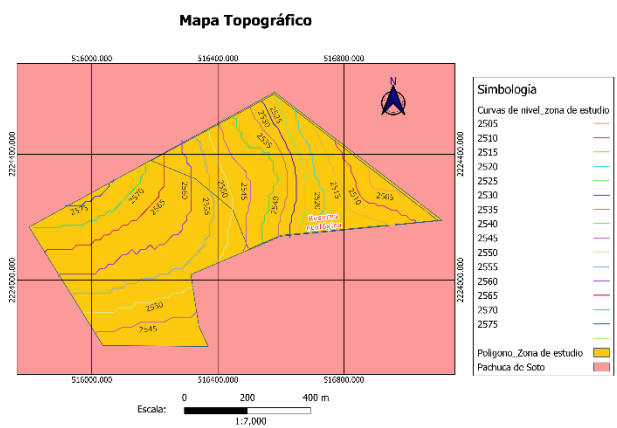


**Figura 5.** Mapa de uso de suelo y vegetación de la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”.

### 2.4.3 Topografía

La zona de Santiago Tlapacoya presenta una topografía caracterizada por una combinación de elevaciones moderadas y terrenos irregulares, se encuentra dentro de la Sierra de Pachuca, una cadena montañosa que forma parte de la sierra Madre Oriental (Aguirre et al., 2009). Una característica de esta región es su relieve accidentado, con altitudes que varían considerablemente en distancias cortas. La red de drenaje en la región está influenciada por la topografía irregular, con arroyos temporales que se forman durante la temporada de lluvias y conducen el agua hacia áreas de menor altitud. Dentro de la zona de estudio (figura 1) se presentan altitudes que van desde los 2505 m.s.n.m. siendo la altura mínima y los 2575 m.s.n.m. siendo la altura máxima. Por lo que, dentro del municipio de Pachuca de Soto, es una de las zonas de mayor altitud.

Para elaborar el mapa topográfico (figura 6) de la zona de estudio se utilizó el DEM (Modelo Digital de Elevación) de Hidalgo, se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 5 m y se realizó el mapa a una escala 1: 7,000. Todo se trabajó con el software QGIS versión 3.28.4.



**Figura 6.** Mapa topográfico de la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”. Presenta una equidistancia de 5 m de diferencia altitudinal entre cada curva de nivel.

### 2.5 Recolección de monolito de suelo

La selección del sitio para abrir la calicata (cavidad que se realiza en el suelo del área de estudio para la observación y descripción del perfil) es esencial para un buen muestreo, ya que se requiere que el sitio de recolección se encuentre lo menos perturbado posible (Van Baren et al., 1982).

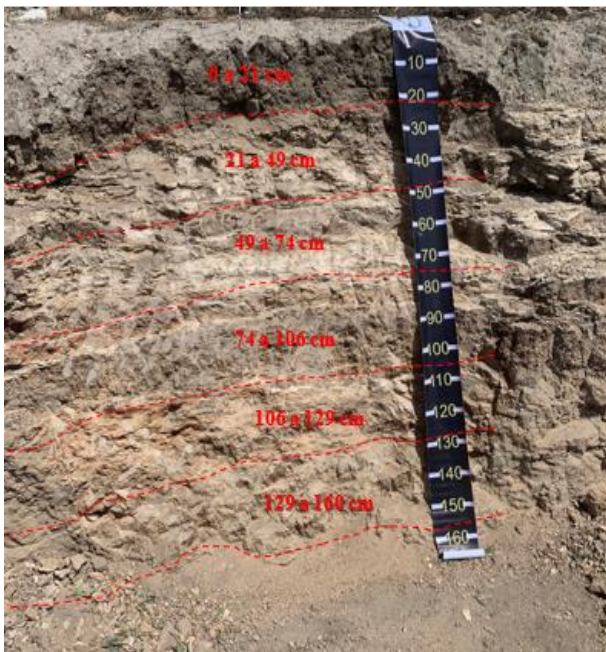
Tomando en cuenta estas características, para la recolección del perfil de suelo en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” (figura 1), se seleccionó un sitio representativo del área de estudio, basándose en una altitud promedio de la zona, eligiendo un sitio lo menos perturbado por actividad humana y además eligiendo una sección donde se tuviera fácil acceso para ingresar con unidades vehiculares. Posteriormente, se comenzó a abrir la calicata (figura 7a) con las siguientes dimensiones: 2 m de largo × 1.5 m de ancho × 1 m de profundidad. Continuando con el trabajo de campo, se alisó la cara de muestreo lo más verticalmente posible (figura 7b). En este momento, se delimitó la columna de suelo, en la cual se identificaron 6 horizontes (figura 8).

Seguido de la delimitación de la columna de suelo, se procedió a realizar la descripción del perfil de suelo en campo (tabla 1), la cual se realiza usando determinaciones cualitativas rápidas *in situ*. Los valores se establecen mediante la comparación de las diferentes capas del suelo, de acuerdo con los criterios de la guía

para la descripción y codificación de datos de suelo (Van Waveren y Bos, 1987; Siebe et al., 1996). En esta descripción se tomaron en cuenta factores como: cambios de color, consistencia, textura, estructura, humedad, permeabilidad, transición, poros y raíces.



**Figura 7.** Fotografías del procedimiento para la recolección de monolito de suelo en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”, donde: a) apertura de la calicata con barreta de acero, b) alisado de calicata con pico.



**Figura 8.** Fotografía del sitio de trabajo donde se muestra la delimitación de los 6 horizontes identificados, en ella se puede observar con líneas punteadas de color rojo los límites de cada horizonte, así como la profundidad de cada uno en centímetros.

Continuando con el procedimiento, se recolectaron muestras de suelo (figura 9a) de cada uno de los 6 horizontes identificados (las muestras fueron tomadas desde el horizonte superior hasta el horizonte inferior para evitar la posible contaminación entre cada horizonte). Todas las muestras recolectadas fueron etiquetadas con su número de horizonte para su identificación en los análisis de laboratorio.

Finalmente, se llevó a cabo la extracción del monolito. Después de delimitar y recolectar las muestras de suelo, se marcó

el perfil de suelo en la cara de muestreo de la calicata y se procedió a realizar el corte del perfil con ayuda de un esmeril (figura 9b). Cabe señalar que las dimensiones del perfil de suelo fueron semejantes a las dimensiones de la caja de muestreo (90 cm de largo  $\times$  20 cm de ancho  $\times$  10 cm de profundidad). Después de realizar el corte del perfil de suelo, se recubrió la columna con la caja de muestra (figura 9c) para poder desprenderla cuidadosamente de la cara de muestreo de la calicata. Por último, una vez recolectado el monolito de suelo, se procedió a guardar el perfil para su proceso de tallado y montaje en el taller.

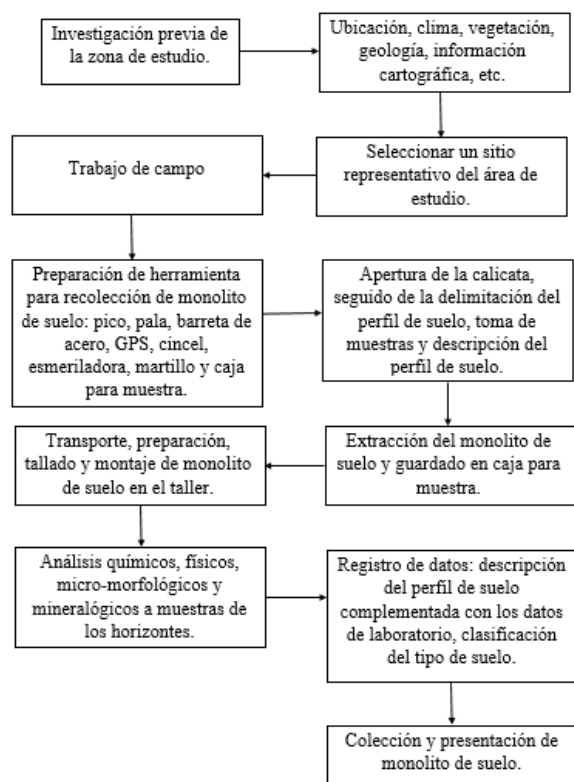


**Figura 9.** Fotografías del procedimiento para la recolección de monolito de suelo en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”, donde: a) recolección de muestras de mano (las muestras fueron etiquetadas individualmente por número de horizonte), b) corte del perfil de suelo con ayuda de una esmeriladora angular, c) recubrimiento y extracción del perfil de suelo con ayuda de la caja de muestra.

Siguiendo la metodología tradicional propuesta por Van Baren *et al.*, (1982), se realizó un diagrama (figura 10) que muestra el procedimiento utilizado para la colección del perfil de suelo recolectado en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”. Metodología que ha implementado el MNS (Museo Nacional de Suelos) para la colección de monolitos de suelo.

Tabla 1. Descripción del perfil de suelo

Horizonte	Designación WRB	Designación SS	Profundidad (cm)	Transición	Humedad	Permeabilidad	Estructura	Consistencia	Textura	Color	Poros	Raíces
1	Ay	A	0-21	Horizontal abrupta	Seco	Moderada	Bloques subagulares 0.5-10 cm	Seco friable	Franca	10 YR 5/2 10 YR 3/2	Intersticiales-frecuentes	Muy finas frecuentes
2	2Ck	2Ck	21-49	Horizontal clara	Seco	Lenta	Laminar a bloques angulares 0.5-2 cm	Seco friable	Franca-limosa	10 YR 7/2 10 YR 4/3	Intersticiales-frecuentes fisuras muy finas comunes	Sin presencia de raices
3	3Cksm1	3Ckcm1	49-74	Horizontal difusa	Seco	Lenta	Masiva a prismas 2-12 cm	Seco friable	Franco-limosa	Muestra blanca: 10 YR 7/2 10 YR 4/3 Matriz manganeso: 10 YR 5/3 10 YR 3/6 Concreciones: 10 YR 2/1 10 YR 2/1	Fisuras finas y medias comunes	Sin presencia de raices
4	3Cksm2	3Ckcm2	74-106	Horizontal difusa	Seco	Lenta	Masiva a prismas 5-18 cm	Seco friable	Franco arcillo-limoso	Matriz manganeso: 10 YR 6/6 10 YR 4/6 Concreciones: 10 YR 2/1 10 YR 2/1	Fisuras finas pocas	Sin presencia de raices
5	3Csm1	3Ccm1	106-129	Horizontal difusa	Seco	Lenta	Masiva a bloques angulares 2-8 cm	Seco friable	Franco-limoso	Matriz manganeso: 2.5 YR 6/6 2.5 YR 4/5 Concreciones: 10 YR 2/1 10 YR 2/1	Fisuras finas pocas	Sin presencia de raices
6	3Csm2	3Ccm2	129-160		Seco	Lenta	Masiva a bloques angulares 2-7 cm	Rígido o muy duro	Franco-limoso	Matriz manganeso: 10 YR 6/4 10 YR 3/3 Concreciones: 10 YR 2/1 10 YR 2/1	Fisuras finas pocas	Sin presencia de raices



**Figura 10.** Metodología implementada en la recolección de monolito de suelo en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”.

2.5.1 Caracterización físico-química del suelo

Para realizar los análisis de laboratorio las muestras fueron secadas al aire, molidas y tamizadas para obtener la fracción de tierra fina ( $\leq 2$  mm). Las determinaciones químicas fueron: pH (agua 2:1), conductividad eléctrica (pasta de saturación), carbono orgánico (Walkley y Black), nitrógeno total (micro-Kjeldahl), carbonatos totales  $\text{CaCO}_3$  (Horton and Newson), capacidad de intercambio catiónico CIC y bases intercambiables  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  (acetato de amonio-pH 7) y fósforo soluble (Olsen).

Las propiedades físicas analizadas fueron: color en húmedo y seco (carta de colores Munsell), textura (pipeta americana) y densidad aparente (terrón parafinado). Los procedimientos para cada determinación se extrajeron del Manual de procedimientos para análisis de suelos de Van Reeuwijk (2002).

3. Resultados y discusión

3.1 Clasificación del perfil de suelo

A partir de los datos obtenidos en el laboratorio de los análisis físico-químicos realizados a las muestras recolectadas en campo (figura 9a) se pudo clasificar el tipo de suelo sobre el que se encuentra la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” (Figura 1). Esta clasificación del perfil de suelo se hizo acorde a la World Reference Base for Soil Resources (WRB). la clasificación quedó de la siguiente manera (ver tabla 2):

**Tabla 2.** Clasificación del perfil de suelo

Clasificación (WRB)	Ubicación (coordenadas geográficas)	Zona	Estado
Eutric Vitric Andosols (Loamic, Calcaric)	20° 6' 42.82" de latitud norte 98° 50' 44.90" de longitud oeste.	Unidad Profesional Multidisciplinaria "Miguel Hidalgo y Costilla"	Hidalgo

Los resultados obtenidos para las variables pH (potencial de hidrógeno), EC (conductividad eléctrica), CO (carbono orgánico), MO (materia orgánica), N (nitrógeno total), P (fósforo soluble), CIC (capacidad de intercambio catiónico), y bases intercambiables  $\text{Na}^+$   $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  en los seis horizontes (Ay, 2Ck, 3Cksm1, 3Cksm2, 3Csm1 y 3Csm2) se presentan en la Tabla 3.

Uno de los factores importantes para clasificar este perfil de suelo como calcisol es que, de acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos (tabla 3), el perfil muestra un bajo contenido de materia orgánica, característica común en este tipo de suelos. Además, de acuerdo con la descripción de la vegetación en la zona de estudio (figura 1), el matorral xerófilo es predominante, cumpliendo con otra característica de estos suelos. Según la International Union for Soil Sciences, IUSS (2007), los matorrales xerófilos son los ecosistemas naturales típicos de estos suelos.

**Tabla 3.** Propiedades físico-químicas

Horizonte	Profundidad (cm)	pH	EC	CO	MO	N <sub>tot</sub>	P	CIC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CaCO <sub>3</sub>
Ay	0-21	8.2	1.04	0.52	0.90	0.086	1.8	37.99	5.26	3.24	15.97	62.34	2.04
2Ck	21-49	8.6	1.03	1.05	1.80	0.093	1.1	54.06	5.47	4.28	18.47	84.00	10.53
3Cksm1	49-74	8.6	1.06	0.37	0.64	0.007	0.3	25.98	5.26	5.71	10.45	49.68	1.94
3Cksm2	74-106	8.6	1.02	0.15	0.26	0.007	15.1	26.04	4.39	6.22	7.43	57.15	0.92
3Csm1	106-129	6.6	1.09	0.30	0.51	0.007	1.0	32.02	5.91	6.74	6.11	56.51	0.51
3Csm2	129-160	8.6	1.66	0.22	0.39	0.007	0.0	29.99	6.34	5.06	3.75	35.58	0.51

CE en  $\text{dSm}^{-1}$ ; CO, MO y N-total en %; P en  $\text{mg.Kg}^{-1}$ ; CIC, Na, K, Ca y Mg en  $\text{cmol}^{(+)} / \text{Kg}^{-1}$  y  $\text{CaCO}_3$  en %.

### 3.1.2 Descripción de horizontes del perfil de suelo

Se lograron identificar 6 horizontes para el perfil de suelo, siendo “Ay” el primero a una profundidad de 0 a 21 cm, seguido de “2Ck” a una profundidad de 21 a 49 cm, como tercer horizonte “3Cksm1”, a una profundidad de 49 a 74 cm, el cuarto horizonte “3Cksm2” a una profundidad de 74 a 106 cm, el quinto horizonte “3Csm1” a una profundidad de 106 a 129 cm, y, por último, el horizonte “3Csm2” a una profundidad de 129 a 160 cm.

En la tabla 4 se muestra la clase textural del suelo por cada uno de los horizontes que fueron delimitados (Ay, 2Ck, 3Cksm1, 3Cksm2, 3Csm1, 3Csm2), además, también se muestran los porcentajes de arena, limo y arcilla, así como la profundidad de cada horizonte en cm.

**Tabla 4.** Textura de suelo  
Porcentaje de fracción (mm)

Horizonte	Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural
Ay	0-21	13.6	70.5	15.9	Franco Limoso
2Ck	21-49	36.7	49.1	14.2	Franca
3Cksm1	49-74	71.5	20.9	7.6	Franco Arenosa
3Cksm2	74-106	73.7	20.7	5.6	Franco Arenosa
3Csm1	106-129	71.0	21.2	7.8	Franco Arenosa
3Csm2	129-160	65.2	27.1	7.7	Franco Arenosa

Una vez obtenidos los resultados de las variables de textura, color, estructura, consistencia, permeabilidad, reacción al HCl, y raíces, de todos los horizontes que se delimitaron, podemos decir que, todos estos factores revelan información clave sobre las características físicas y químicas del suelo en la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla”. En la tabla 5 se muestra una descripción completa y detallada que engloba todos estos factores, mientras que la figura 11 muestra una fotografía de la cara de muestreo de la calicata de donde fue recolectado el perfil de suelo.

El perfil de suelo muestra una progresión desde una capa superficial con buen contenido de materia orgánica y raíces, hacía capas subsuperficiales endurecidas por carbonatos de calcio que afectan el potencial productivo (Apcarian, 2006). La presencia de carbonatos en todos los horizontes se debe al intemperismo y posterior precipitación de los materiales volcánicos ricos en minerales como las plagioclasas (Nesbitt y Young, 1984), procesos característicos de los entornos semiáridos de la región.

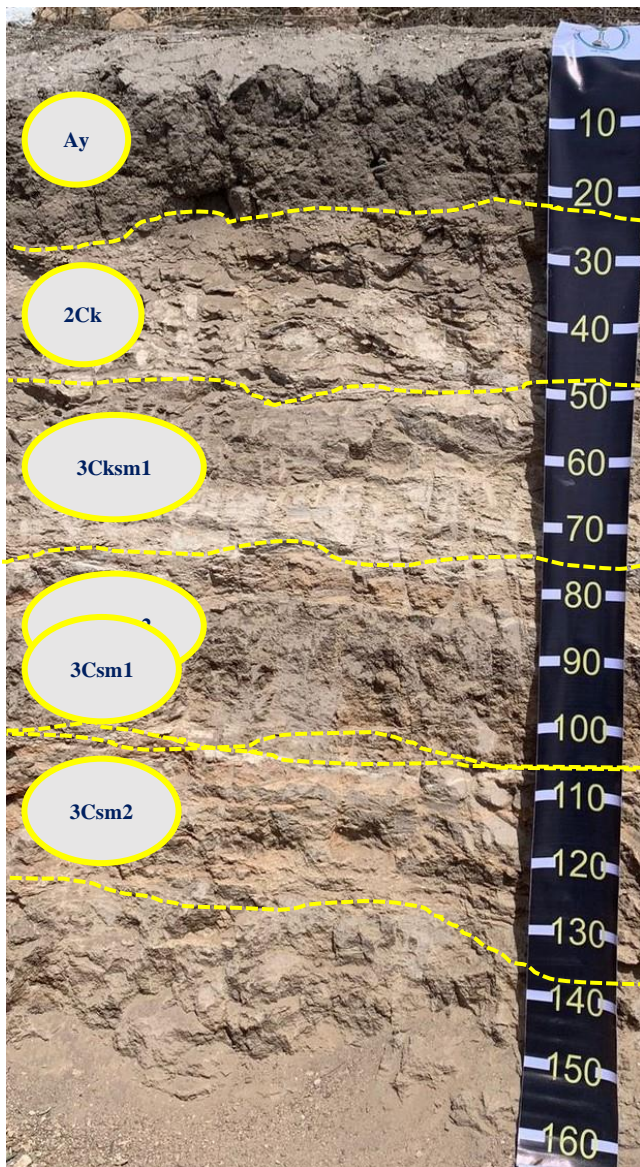
La capacidad productiva de un suelo está influenciada por propiedades intrínsecas como la textura y la estructura, mientras que factores como el pH y la materia orgánica, pueden ser gestionados mediante técnicas de manejo (Mishra y Sharma, 2010). El cambio en el uso del suelo puede alterar significativamente la cubierta vegetal en periodos cortos, afectando las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo. Además, esto puede causar la pérdida de carbono debido a

la perturbación humana, contribuyendo a cambios globales significativos (Smith et al., 2016).

**Tabla 5.** Descripción de horizontes

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ay	0-21 cm	Color pardo grisáceo en seco (10YR 5/2) y Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR 3/2). Estructura de bloques subangulares de 0.5-10 cm con consistencia friable en seco y permeabilidad moderada con reacción al HCl; presencia de raíces muy finas y frecuentes; presencia de vidrio volcánico observado en campo y transición horizontal abrupta.
2Ck	21-49 cm	Color gris claro (10YR 7/2) y pardo en húmedo (10YR 4/3). Estructura laminar a bloques angulares de 0.5-2 cm con consistencia friable en seco y permeabilidad lenta con reacción fuerte al HCl; débil desarrollo y cementado sin presencia de raíces; presencia de filamentos continuos de carbonatos de calcio en 30% del horizonte.
3Cksm1	49-74 cm	Color gris claro en seco (10YR 7/2) y pardo en húmedo (10YR 4/3). Estructura masiva a prismas de débil desarrollo, cementado, sin raíces y permeabilidad lenta con reacción moderada al HCl, sin presencia de raíces; presencia de concreciones de manganeso de color negro (10YR 2/1) en 20% del horizonte
3Cksm2	74-106 cm	Color amarillo pardoso en seco (10YR 6/6) y pardo amarillento oscuro en húmedo (10 YR 4/6). Estructura masiva a prismas de débil desarrollo, cementado sin presencia de raíces con consistencia friable en seco y permeabilidad lenta con reacción moderada al HCl; presencia de concreciones de manganeso de color negro (10YR 2/1) en 40% del horizonte.
3Csm1	106-129 cm	Color rojo claro en seco (2.5YR 6/6) y rojo en húmedo (2.5YR 4/8). Estructura masiva a bloques angulares de débil desarrollo, cementado, sin presencia de raíces, con consistencia friable en seco y permeabilidad lenta con reacción ligera al HCl; presencia de concreciones de manganeso de color negro (2/1) en 30% del horizonte.
3Csm2	129-160 cm	Color pardo amarillento claro en seco (10 YR 6/4) y pardo oscuro en húmedo (10YR 3/3). Estructura masiva a bloques angulares, de débil desarrollo, cementado, sin presencia de raíces, permeabilidad lenta con reacción ligera al HCl; presencia de concreciones de manganeso de color negro (10YR 2/1) en 10% del horizonte.





**Figura 11.** Fotografía de la cara de muestreo de la calicata, en la cual se puede apreciar la delimitación de los 6 horizontes de acuerdo a su profundidad en cm, donde: Ay) horizonte número 1, presenta profundidad de 0 a 21 cm, presenta una textura franco-limosa, una estructura de bloques subangulares, y es el único horizonte que presenta raíces frecuentes. 2Ck) horizonte 2 se encuentra a una profundidad de 21 a 49 cm, con textura franca, una estructura laminar a bloques angulares, no presenta raíces. 3Cksm1) horizonte 3, se encuentra a una profundidad de 49 a 74 cm, con textura franca-arenosa, una estructura masiva a prismas, no presenta raíces. 3Cksm2) horizonte 4, se encuentra a una profundidad de 74 a 106 cm, con una textura franca-arenosa, una estructura masiva a prismas, sin presencia de raíces. 3Csm1) horizonte 5, se encuentra a una profundidad de 106 a 129 cm, presenta textura franca-arenosa, una estructura masiva a bloques angulares, sin presencia de raíces. 3Csm2) horizonte 6, presenta una textura franca-arenosa, estructura masiva a bloques angulares y sin presencia de raíces.

#### 4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados, la zona de estudio se encuentra situada sobre suelos de tipo calcisol, que presentan bajo contenido de arcilla y materia orgánica. Es por ello que, la eficacia demostrada en este trabajo sobre la caracterización edafológica de la zona a partir de la recolección de un perfil de suelo resalta la importancia de esta práctica, ya que proporciona la base científica necesaria para identificar el uso óptimo del suelo, ya sea para maximizar su productividad o bien fomentar su conservación. Los suelos de la Unidad Profesional Multidisciplinaria “Miguel Hidalgo y Costilla” presentan limitantes para la producción agrícola, debido que son suelos poco profundos, con bajo contenido de materia orgánica, capas subsuperficiales endurecidas, pendientes pronunciadas y se encuentra bajo climas con poca precipitación; por lo que, su mejor uso es el de conservación.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, al Museo Nacional de Suelos, se agradece el apoyo de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo (UPIIH) por el espacio brindado para la realización de este trabajo y al Instituto Politécnico Nacional por el proyecto SIP 20240987.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### Referencias

- Aguirre-Díaz, G. J., & López-Martínez, M. (2009). Geología de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1), 141-159.
- Apcarian, Alicia, Echenique, María del C, Aruani, María C, & Reeb, Pablo. (2006). Efecto de Capas Endurecidas de Suelos Sobre el Potencial Productivo de Viñedos, Alto Valle de Río Negro, Patagonia, Argentina. *Agricultura Técnica*, 66(1), 70-79. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000100008>
- Bouma, J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9, 177-213.
- Gardner, A. L. (1973). The systematic status of some North American marsupials (Mammalia: Didelphidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 86, 135-148.
- Geyne, A.R., Fries, Jr. C., Segerstrom, K., Black, R.F., Wilson, I.F., 1963, Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, estado de Hidalgo, México: Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Publicación 5 E, 222 p
- INEGI. (2010). Geografía de Santiago Tlapacoya, Pachuca de Soto, Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/13/13048.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13048.pdf)
- International Union for Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB. (2007). World reference base for soil resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome.
- Mishra, A., & Sharma, S. D. (2010). Influence of forest tree species on reclamation of semiarid sodic soils. *Soil Use and Management*, 26(4), 445-454.
- Nesbitt, H. M., & Young, G. M. (1984). Prediction of some weathering trends of the plutonic and volcanic rocks on the thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et cosmochimica*, 1523-1534.
- Piña-Arce, M., López Palomino, I. (2007). *Léxico Estratigráfico Mexicano*. Servicio Geológico Mexicano.
- Sánchez Rojas, L. E., Arredondo Mendoza, J. A., Cardoso Vázquez, E. A., (2005) Carta Geológica Minera Pachuca, F14D81, Escala 1: 50,000,

- Estado de Hidalgo, Servicio Geológico Mexicano. Pachuca. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004
- Siebe Ch., Jahn, R. y Stahr K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P. C., Clark, J. M., Adhya, T., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P., Cotrufo, M. F., Elliott, J. A., Mcdowell, R., Griffiths, R. I., Asakawa, S., Bondeau, A., Jain, A. K., Meersmans, J., & Pugh, T. A. M. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 22, 1008-1028.
- Torres, P. S., Martínez, M., & Perdomo, R. C. (2003). Propuesta metodológica y experiencias en la preparación e impregnación de monolitos de suelo usando goma de carpintero. *Bioagro*, 15(1), 31-40. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85715104>
- Van Baren J. H. V. y Bomer W. 1982. Procedimientos para la Colección y Preservación de Perfiles de Suelo. Publicación Técnica No. 1. isric, Wageningen. The Netherlands
- Van Reeuwijk, L. P. (2002). Procedures for Soil Analysis. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.
- Van Waveren, E. J., & Bos, A. B. (1987). Guidelines for the description and coding of soil data. Technical paper. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands