

PROTECTORA DE BOSQUES DEL ESTADO DE MÉXICO

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ESTUDIO DE ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE AGUA
CAPTADA EN LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS, CON BASE EN
LOS PREDIOS BENEFICIADOS CON EL PROGRAMA PARA EL
PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS DEL
ESTADO DE MÉXICO
(PRIMERA ETAPA)

CONVENIO: CC.03.04.3.0.2018.-169

Informe final

COLABORADORES

Roel Simuta Champo
Pedro Rivera Ruiz
Manuel Martínez Morales
José Alberto Baez Durán
Roberto Ramírez Villa
José Alfredo Díaz Magaña
Jorge Enrique Brena Zepeda
Cervando Castillo Romano
Gema Alín Martínez Ocampo
Marcia Adriana Yáñez Kernke
Martín Medina Samano
Mauricio José Ríos

DIRECTORIO PROBOSQUE

Director General

Lic. Edgar Conzuelo Contreras

Dirección de Restauración y Fomento Forestal

C.P. Zahidi Tatiana Díaz Salgado

Directora

Unidad de Conservación de Suelos Forestales

Ing. Dámaso Almanza Tinoco

Jefe de Unidad

Departamento de Estudios de Manejo Integral Forestal

Mtro. Jorge Ocampo Mata

Jefe de Departamento

Ramiro Leonardo Alcántara

Cartografía

DIRECTORIO IMTA

Director General

Dr. Adrián Pedrozo Acuña

Coordinador de Hidrología

Dr. José Agustín Breña Naranjo

Subcoordinador de Planeación Hídrica

Mtro. Alberto Güitrón de los Reyes

Jefe de Proyecto

Dr. Roel Simuta Champo

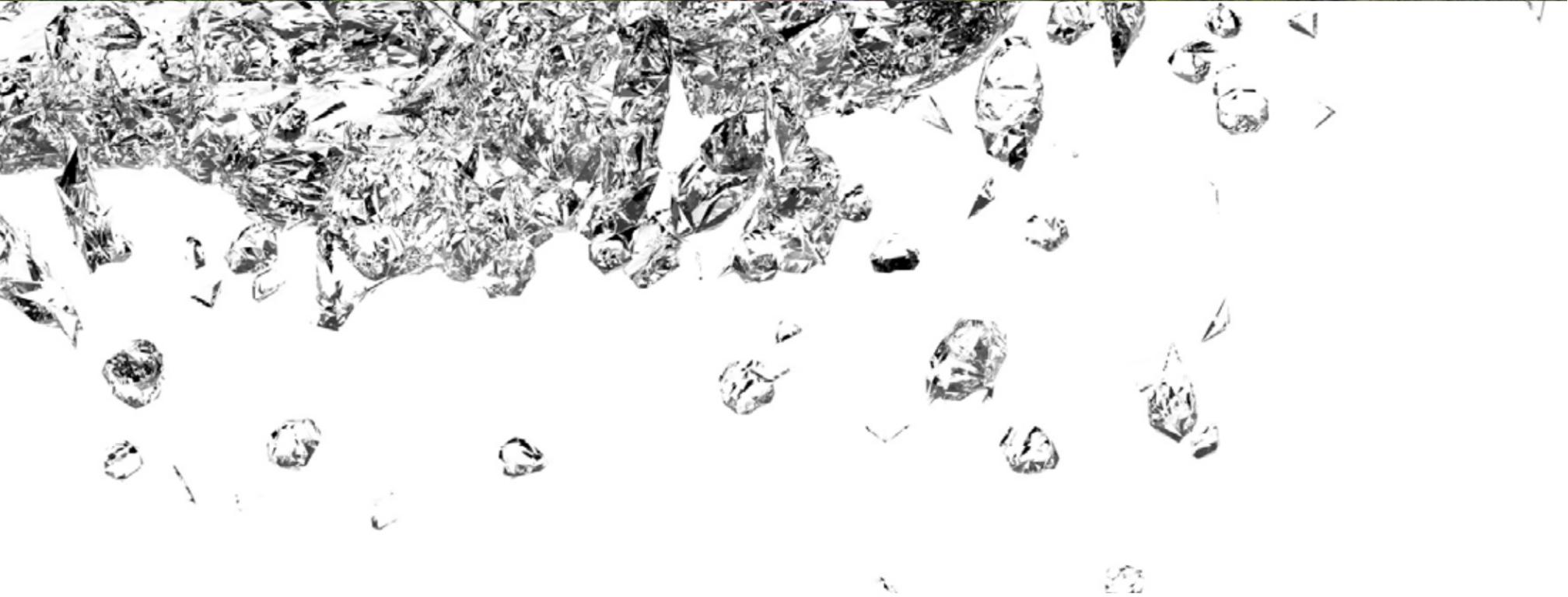
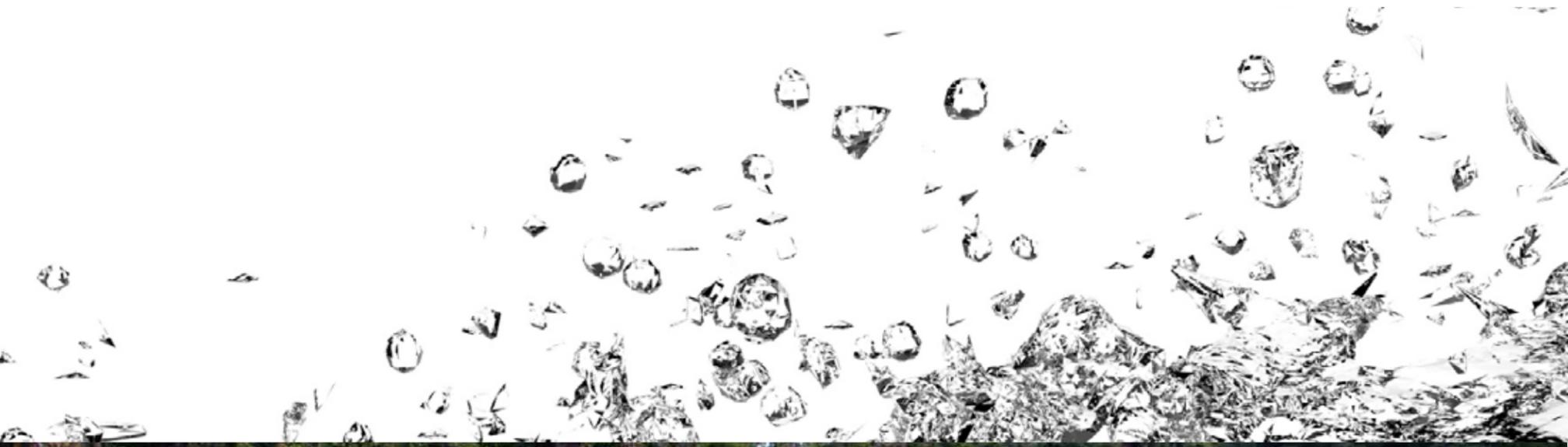
La Protectora de Bosques del Estado de México contrató la elaboración de este estudio con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Según Convenio No. CC.03.04.3.0.2018.-169

La coordinación estuvo a cargo de la Protectora de Bosques del Estado de México a través del Ing. Ramiro Leonardo Alcántara (supervisor del estudio).

Índice

1. Antecedentes	5
1.1. Programa de pago por servicios ambientales a nivel federal	5
1.2. Pago por servicios ambientales hidrológicos en el Estado de México	5
2. Justificación	7
3. Objetivos	9
3.1. Objetivo General	9
3.2. Objetivos específicos:	9
4. Metodología	10
4.1. Descripción del área de estudio	11
4.1.1. Localización	11
4.1.2. Orografía	11
4.1.3. Clima	11
4.1.4. Geomorfología	14
4.1.5. Hidrología	15
4.1.6. Áreas de servicios ambientales hidrológicos del Estado de México	17
4.2. Metodología para la estimación de la recarga potencial	18
4.2.1. Datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB	21
5. Resultados	23
5.1. Usos de Suelo	23
5.2. Modelo digital de elevaciones	26
5.3. Datos climáticos	27
5.3.1. Precipitación media anual	27
5.3.2. Datos climáticos para el modelo SWB	28
5.4. Identificación y obtención de muestras de los tipos y horizontes de suelo	29
5.4.1. Perfiles de suelo en áreas de PSAHEM	29
5.4.2. Perfiles de suelo del INEGI	30
5.4.3. Descripción de perfiles de suelo	32
5.4.4. Muestreo de permeabilidad en campo	35
5.4.5. Muestreo de permeabilidad en laboratorio	45
5.4.6. Análisis físico de muestras de suelo en laboratorio	48
5.4.7. Análisis y aplicabilidad de los resultados de los perfiles de suelo, de las muestreos de permeabilidad y de los análisis físico de muestras de suelo	56
5.5. Cartografía Edafológica	72
5.5.1. Información documental y cartográfica	73
5.5.2. Digitalización y procesamiento de cartografía escala 1:50,000	73
5.5.3. Cartografía de edafología escala 1:250,000	75
5.5.4. Cartografía de edafología escala 1:250,000 en áreas de PSAHEM	75
5.5.5. Aplicabilidad de la información cartográfica de edafología	75
5.6. Capacidad de agua disponible en el suelo	76
5.6.1. Obtención del mapa de capacidad de agua disponible	77
5.7. Delimitación de zonas de influencia de recarga de los acuíferos del Estado de México.	78
5.7.1. Los acuíferos del Estado de México	78
5.7.2. Análisis de los sistemas de flujo	78
5.7.3. Zonas de recarga	80
5.8. Calibración del modelo Soil Water Balance	82
5.9. Cartografía de la recarga potencial	87
5.9.1. Recarga potencial anual estimada para la Cuenca Balsas, Estado de México.	87
5.9.2. Recarga potencial anual estimada para la Cuenca Lerma, Estado de México.	88
5.9.3. Recarga potencial estimada en las poligonales con PSAHEM.	89
5.10. Cartografía del escurrimiento superficial	89
5.10.1. Lámina de escurrimiento superficial estimado para la cuenca Balsas.	89
5.10.2. Lámina de escurrimiento superficial estimado para la cuenca Lerma.	90
5.11. Cartografía del evapotranspiración	91
5.11.1. Lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca Balsas	91
5.12. Lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca Lerma	92
6. Conclusiones y recomendaciones	95
6.1. Conclusiones	95
6.1.1. Suelo, bosque y agua	95
6.1.2. Zonas prioritarias de recarga y acuíferos	96
6.1.3. Recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración	97
6.2. Recomendaciones	97
6.2.1. Suelo, bosque y agua	97
6.2.2. Recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración	98
6.2.3. Valoración del recurso hídrico	98
Bibliografía	99
Anexo I	103
Anexo II	107
Anexo III	127
Anexo IV	199
Anexo V	253
Índice Tablas	261
Índice Figuras	262



1.1. Programa de pago por servicios ambientales a nivel federal

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) es un incentivo que se otorga durante un periodo de tiempo determinado, en el cual, los dueños o poseedores de los terrenos forestales se comprometen a realizar buenas prácticas de manejo para garantizar la provisión de servicios que brindan los ecosistemas. Es un instrumento económico con reconocimiento local y fuera de las fronteras de México, quien ha sido punta de lanza en América Latina en el desarrollo e implementación de esta política pública (CONAFOR, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5336).

Los PSA, implementados por la CONAFOR, se inician en México en el año 2003 como resultado de la acción conjunta de la clase política y las iniciativas de expertos del gobierno y académicos para identificar y financiar los servicios ambientales de los bosques ligados al doble problema de la deforestación y la escasez hídrica. En la Figura 1.1 se describe la línea del tiempo del PSA en México. (Fuente: CONAFOR, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5763)

De acuerdo con la CONAFOR el PSA es un instrumento de conservación de ecosistemas que coadyuva a evitar el cambio de uso de suelo, disminuir riesgos de incendios y de sanidad forestal, al tiempo que fomenta la productividad sustentable. Se concibe como un instrumento económico que sirve para retribuir a los dueños de los terrenos en donde se generan los beneficios derivados de los ecosistemas.

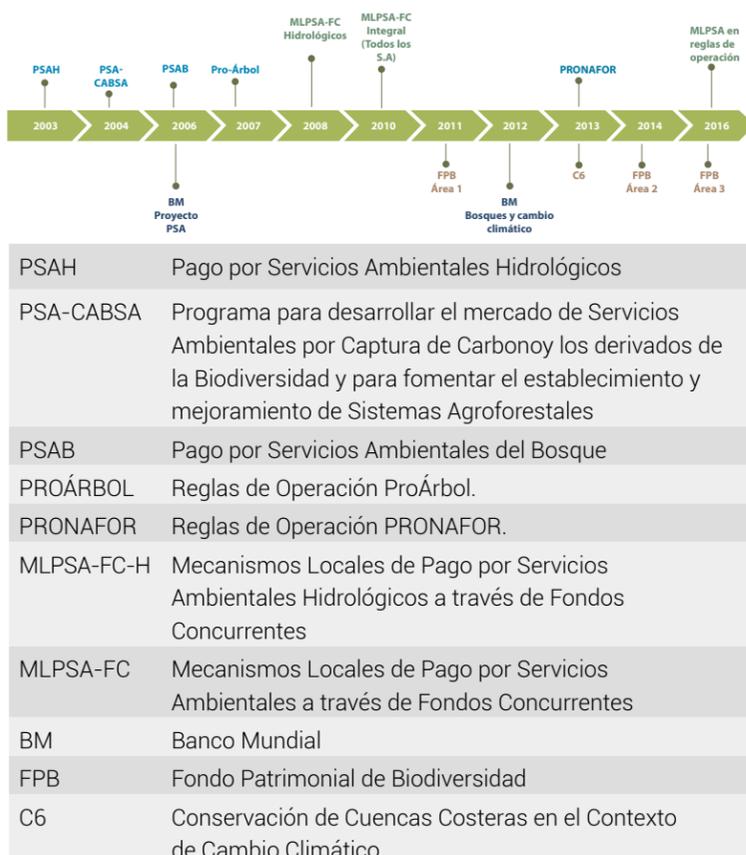


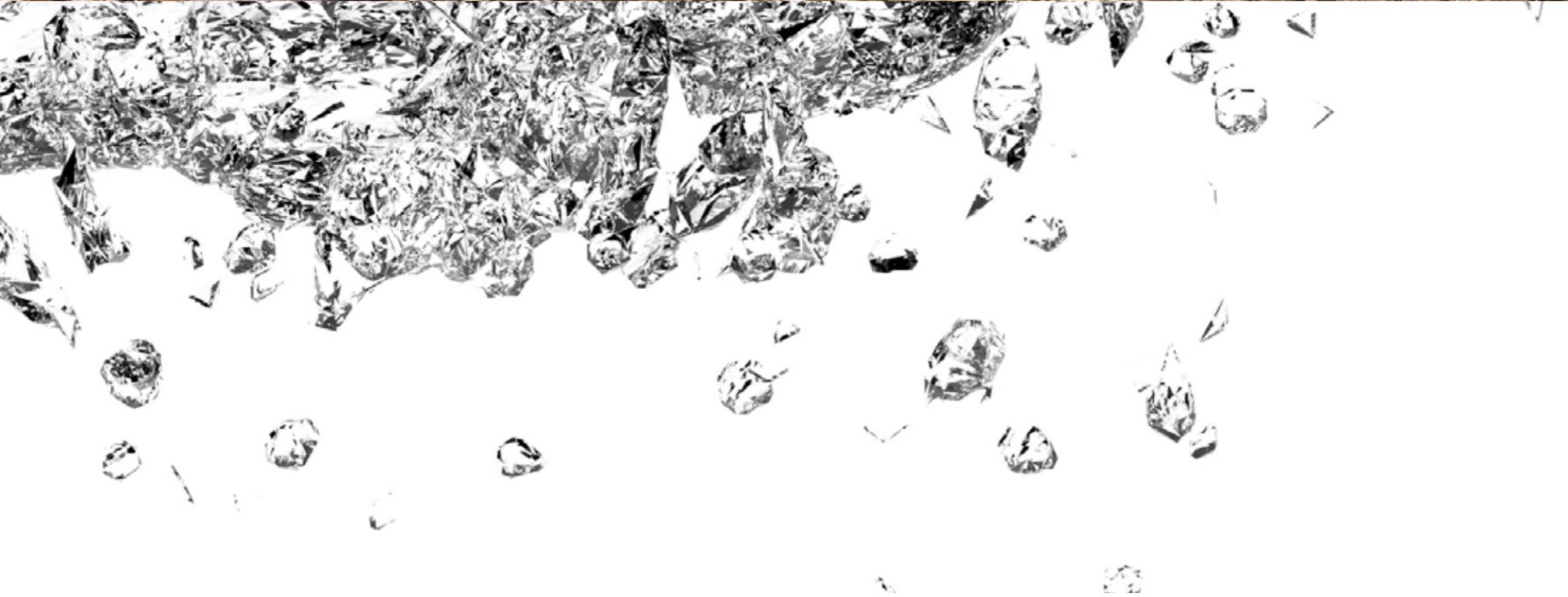
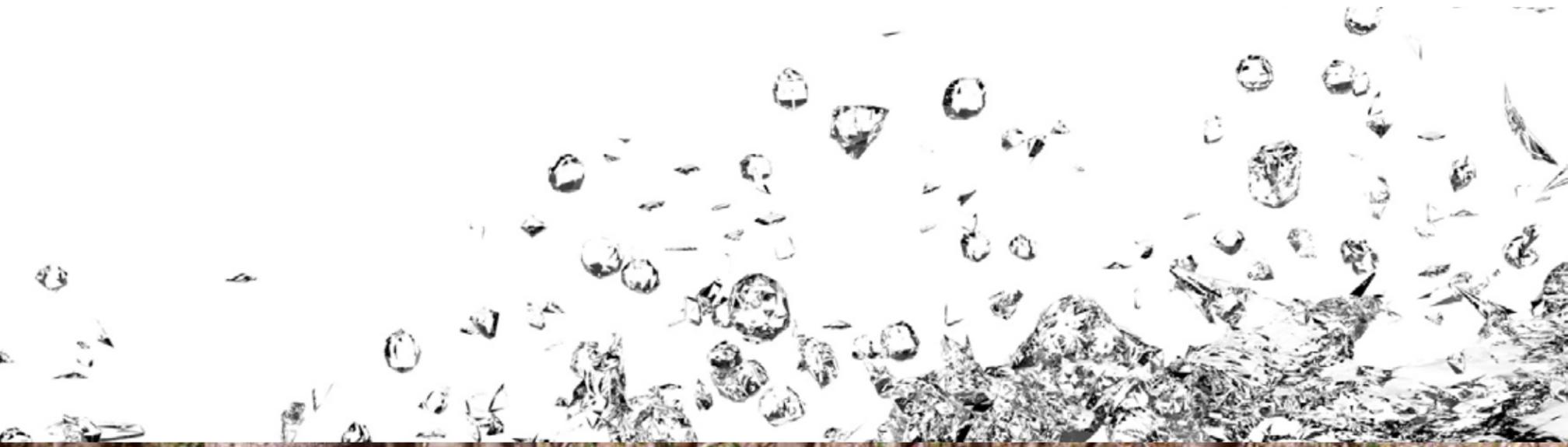
Figura 1.1. Elementos de Seguridad del Agua
https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441.

El Programa de PSA de México, como parte del Programa Nacional Forestal (PRODEFOR), es uno de los primeros programas de PSA implementados a gran escala, el cual está diseñado para incentivar el aumento en la producción de servicios hidrológicos, de biodiversidad y de captura de carbono a través de la conservación del bosque. (Fuente: CONAFOR, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5778).

1.2. Pago por servicios ambientales hidrológicos en el Estado de México

De acuerdo con el Plan Estatal de Desarrollo del Estado de México 2005-2011, en la vertiente 2 (Desarrollo Sustentable), objetivo 1 (Sustentabilidad ambiental para el desarrollo con conciencia ambiental y protección a la biodiversidad), estrategia 6 (Remediación y restauración de sitios alterados), así como el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025 y el Código para la Biodiversidad del Estado de México, determina acciones orientadas al desarrollo y protección de los bosques, por lo que para atender esta premisa, a partir del 2007 se inician acciones orientadas a la creación del Programa para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM), previendo el otorgamiento de un pago compensatorio de \$1,500.00 por hectárea a los usufructuarios, poseedores, dueños o representantes legales de terrenos forestales, por los servicios ambientales hidrológicos que generan.

Para lograr lo anterior, el Gobierno del Estado de México cuenta con una Secretaría del Medio Ambiente encargada de planear, coordinar, dirigir y evaluar los asuntos relativos a la política estatal en materia de protección al ambiente y de preservación del equilibrio ecológico en la entidad. Por lo anterior, la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE), tiene como atribuciones conservar, proteger, restaurar y fomentar los bosques de la entidad, con base en las metas plasmadas en el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025 (Avances y Perspectivas al 2030), es la encargada de ejecutar el PSAHEM, con el objetivo de compensar a los usufructuarios, poseedores, dueños o representantes legales de áreas forestales elegibles, con la finalidad de proteger, conservar, mantener e incrementar sus bosques, selvas y vegetación de zonas áridas (PROBOSQUE, 2017b). La superficie forestal del Estado de México que cuenta con apoyo de PSAHEM es de 50,297 ha (Periódico Oficial, Gaceta de Gobierno, 15 de mayo de 2018) de las cuales 25,879 ha están bajo Fondos Concurrentes CONAFOR-PROBOSQUE y 24,418 ha con apoyo estatal.



Justificación 2

Los bosques influyen en la cantidad de agua disponible de las aguas subterráneas, las corrientes y las masas de agua superficiales al interceptar la lluvia, mediante la evaporación de la humedad superficial de la vegetación, la transpiración de la humedad del suelo, la captación del agua de la bruma y el mantenimiento de la infiltración del suelo. Los bosques influyen en los tiempos del suministro del agua mediante el mantenimiento o mejoramiento de la filtración del suelo y de la capacidad de éste de almacenar agua. Al reducir la erosión al mínimo, reducen también al mínimo los daños a la calidad del agua debidos a la sedimentación. Los bosques también pueden proteger las masas de agua y las corrientes porque atrapan los sedimentos y los contaminantes producidos por las actividades y los usos de las zonas altas. A lo largo de los ríos, los bosques ofrecen sombra y así disminuyen la temperatura del agua (FAO, 2009).

Como cubierta de cuenca, los bosques protegidos o sujetos a una buena ordenación son lo mejor para el ciclo hidrológico, contra la erosión y para la calidad del agua, la cual bien podría ser el producto más útil e importante del bosque.

En el trabajo de la FAO (2009), se considera que además de proteger los recursos hídricos, los bosques también conservan la biodiversidad. Los compromisos adquiridos por los países a través del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica se están cumpliendo con medidas para salvaguardar el agua y establecer bosques "protegidos" y "protectores", así como muchos tipos de bosques certificados para la sostenibilidad. Los bosques también fijan el carbono y ofrecen otros servicios ambientales.

Con respecto al impacto del cambio climático sobre la hidrología y los recursos hídricos la FAO (2009) externa que esto puede manifestarse en un mayor número de catástrofes, como inundaciones, sequía y deslaves, en todos los cuales puede influir la cubierta forestal. Las situaciones que afectan a los grupos más vulnerables de la sociedad exigen una atención particular. Restablecer los ecosistemas forestales dañados o degradados puede ayudar a que los bosques "amortigüen" los efectos del cambio climático.

Dada la importancia que tienen los bosques la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE), tiene como objetivos "Proteger, conservar, fomentar y restaurar los bosques y selvas del Estado de México, así como promover su producción para garantizar su sustentabilidad, en coordinación con las autoridades federales y municipales respectivas.", se tiene la necesidad de contar con instrumentos fiables para la toma de decisiones y la aplicación o en su caso la generación de políticas públicas encaminadas al desarrollo, protección, y restauración de la masa forestal estatal. Con el Programa para el PSAHEM, instituido en 2007, de manera particular se busca asegurar que la función de captación de agua se mantenga o se mejore.

Algunos de los requisitos que deben cumplir las zonas de recarga, son disponer de agua proveniente de lluvia abundante para infiltrar (canti-

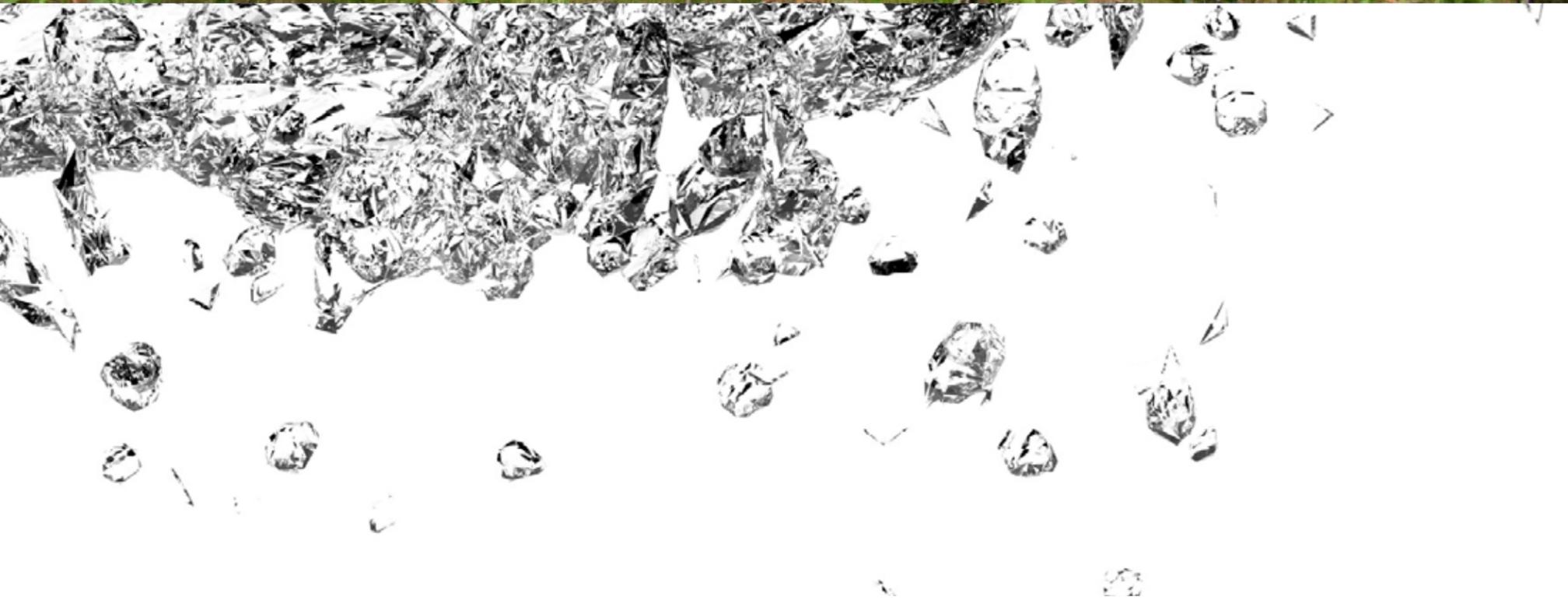
dad e intensidad), suelos y rocas permeables en la superficie del terreno, fracturas, fallas y grietas para facilitar la infiltración y la percolación profunda, así como la comunicación hidráulica con los canales y mantos acuíferos, cobertura vegetal y uso adecuado del suelo. Sin embargo, no todos estos requisitos se plasman en una sola subcuenca, mucho menos en las tributarias o microcuencas, por lo que se debe diferenciar la participación de cada una en la recarga potencial de los acuíferos.

El agua como agente integrador, desde las partes más altas en la cuenca hidrográfica se aprovecha de los medios permeables y semipermeables para convertirse en recarga potencial de los mantos acuíferos, para después manifestarse a través de manantiales, ríos o percolación profunda, y es aprovechada por los usuarios de las partes medias y bajas, por medio de extracción de pozos para uso doméstico, comercial e industrial.

Un obstáculo importante para las investigaciones en México, acerca del impacto en la cobertura forestal es el de determinar cómo esta cobertura impacta en las variables del ciclo hidrológico, principalmente en la estimación de la recarga del agua subterránea distribuida espacial y temporalmente.

El objetivo principal de este trabajo es determinar los aportes de recarga potencial que se tienen en las superficies beneficiadas con el programa para el PSAHEM para las cuencas hidrográficas Balsas y Lerma del Estado de México. Para el desarrollo del proyecto se programó un conjunto de actividades que permitirán el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos: 1) Determinar la recarga potencial de agua captada a nivel de las cuencas en donde se tienen pagos por servicios ambientales, 2) cuantificar de volumen de agua capturada por hectárea en los predios o polígonos beneficiados con el PSAHEM, 3) Evaluar el impacto del PSAHEM al conservar las áreas de bosques y selvas de la entidad, para la infiltración de agua en las cuencas hidrográficas del Estado de México, 4). Determinar recomendaciones para establecer políticas públicas para conservar los bosques, mediante la valoración de los diferentes servicios ambientales que se obtienen de los ecosistemas, y 5). Elaborar la cartografía para ubicar las zonas prioritarias de recarga de agua. Para la estimación espacial y temporal de la recarga potencial se utilizó el código Soil-Water-Balance (SWB).

El SWB es un modelo determinista cuasi-tridimensional desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos que simula la recarga diaria realizando un balance diario del agua del suelo y utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG) para configurar la malla del modelo y postprocesar los resultados del modelo. El modelo contabiliza los procesos de precipitación, evapotranspiración, interceptación, escorrentía superficial, almacenamiento de humedad del suelo y deshielo por medio del uso de un SIG y una combinación de métodos publicados previamente en la literatura. El modelo utiliza información disponible de suelo, cobertura de suelo, topografía y datos climáticos para estimar la distribución espacial y temporal de la recarga de agua subterránea a la escala de cuenca hidrográfica (Dripps y Bradbury, 2010).



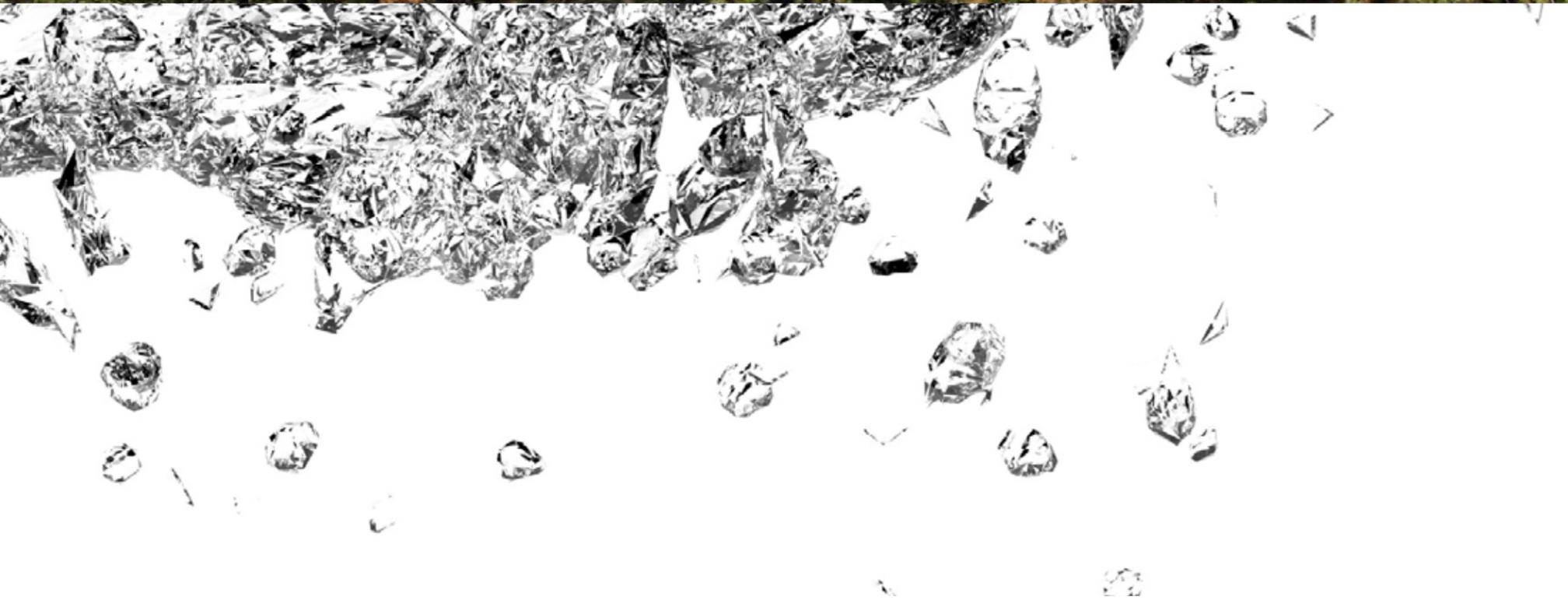
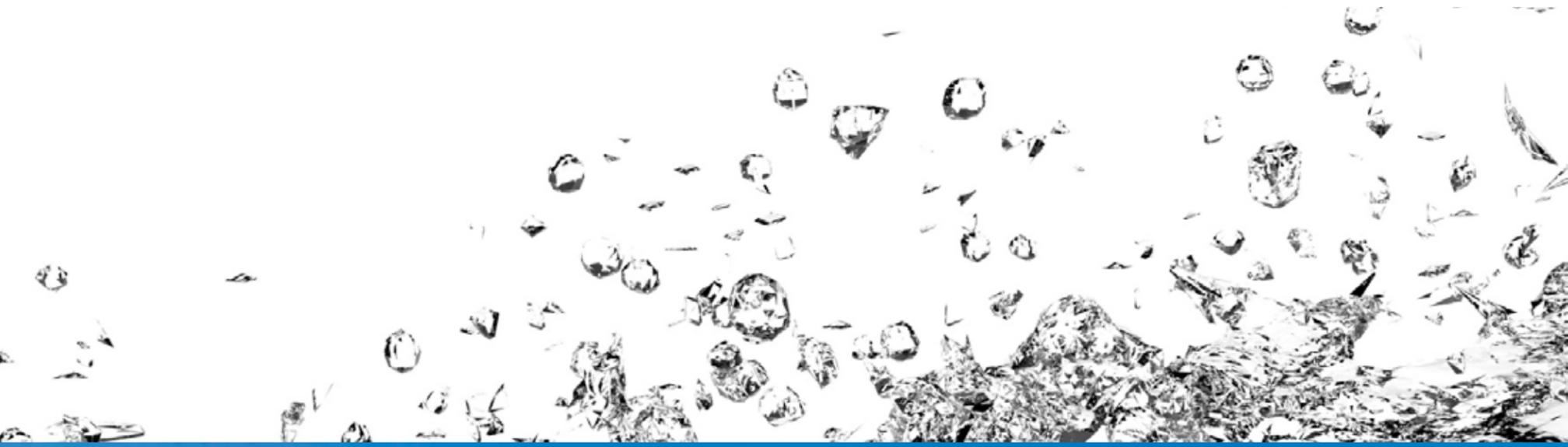
Fotografía: Probosque. Autor: César Jonhatan Vega Hernández.

3.1. Objetivo General

Estimar la captación de agua a nivel de cuenca hidrológica, tomando como referencia los predios apoyados con el Programa para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México.

3.2. Objetivos específicos:

- i. Determinar la recarga potencial de agua captada a nivel de las cuencas en donde se tienen pagos por servicios ambientales,
- ii. Cuantificar el volumen de agua capturada por hectárea en los predios o polígonos beneficiados con el PSAHEM
- iii. Evaluar el impacto del PSAHEM al conservar las áreas de bosques y selvas de la entidad, para la infiltración de agua en las cuencas hidrológicas del Estado de México,
- iv. Determinar recomendaciones para establecer políticas públicas para conservar los bosques, mediante la valoración de los diferentes servicios ambientales que se obtienen de los ecosistemas,
- v. Elaborar la cartografía de zonas de recarga de los principales acuíferos del Estado de México.
- vi. Elaborar la cartografía de la precipitación media, recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración de las cuencas hidrográficas Balsas y Lerma del Estado de México para los años 2008, 2015 y 2018.



Fotografía: Probosque. Autor: César Jonhatan Vega Hernández.

4.1. Descripción del área de estudio

4.1.1. Localización

El Estado de México se ubica en la parte centro sur de la República Mexicana entre los paralelos 18°21'29" y 20°17'20" de latitud norte y los meridianos 99°42'03" y 100°36'34" de longitud oeste (IGECEM, 2016) y representa el 1.14 % de la superficie del país (Figura 4.1). Está dividido en 125 municipios (Figura 4.2) en una superficie de 22,487.85 km² y limita al norte con Querétaro, al noreste con Hidalgo, al este con Tlaxcala, al sureste con Puebla, al sur con Morelos y Ciudad de México, al suroeste con Guerrero y al oeste con Michoacán.



Figura 4.1. Ubicación de la zona de estudio



Figura 4.2. División municipal de la zona de estudio.

4.1.2. Orografía

El Estado de México forma parte de dos provincias fisiográficas, el Eje Neovolcánico Transversal que ocupa la mayor parte del estado y comprende las subprovincias Mil Cumbres, Lagos y Volcanes de Anáhuac y Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo; y la Sierra Madre del Sur que comprende las subprovincias Depresión del Balsas y Sierras y Valles Guerrerenses (Figura 4.3).

Nombre	Altitud (msnm)
Volcán Popocatepetl	5,380
Volcán Iztaccíhuatl	5,203
Xinantécatl (Nevado de Toluca)	4,645
Cerro Tláloc	4,120
Cerro Telapón	4,064

Fuente: INEGI. Carta Topográfica Escala 1: 50,000, serie II.

En el estado predominan las sierras y lomeríos que ocupan poco más de un 76% de la superficie del estado, siendo las principales elevaciones las siguientes:

En la zona oriente del estado resaltan las sierras de Río Frío y Nevada, donde sobresalen los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, en los límites de Puebla y Morelos. Las Sierras de Tlalpujahua y Carimangacho destacan entre los estados de Estado de México y Michoacán y al sur poniente se ubica la Sierra de Valle de Bravo. En la zona sur se encuentra la parte más accidentada del estado con gran cantidad de elevaciones y montículos de los cuales destacan las Sierras de Temascaltepec, Nanchititla, Goleta y Zacualpan.

Las Sierras de Monte Alto y Las Cruces dan paso a los Valles de Cuautitlán – Texcoco (este valle es interrumpido por algunas elevaciones como la Sierra de Guadalupe ubicada al norte de la Ciudad de México y la Sierra de Santa Catarina al sur poniente de la Ciudad de México) y Toluca (con algunas elevaciones de origen volcánico como el Nevado de Toluca al sur poniente de la capital Toluca, así como el Cerro del Molcajete, El Tigre, La Ciénega, Papalotepec y la zona montañosa al norte de la ciudad de Toluca conocida como Parque Estatal Sierra Morelos (Plan Estatal de desarrollo urbano 2006-2008).

En la Figura 4.4 se muestran las topoformas generales que se presentan en el Estado de México.

4.1.3. Clima

El clima predominante en el Estado de México es el llamado Templado subhúmedo, sin embargo las variaciones de la orografía estatal generan una diversidad de climas en la entidad, los cuales se pueden agrupar en cuatro climas básicos que van desde los templados en los valles elevados del norte centro y este del estado,

fríos y semifríos en las montañas, los semisecos en algunas zonas al noroeste y los cálidos y semicálidos al sur y sureste en los límites con el estado de Guerrero.

En la figura 4.5 se muestra la distribución espacial de los grupos y subgrupos de climas presentes en el Estado de México según el sistema de clasificación de Köppen modificada por García de acuerdo al 'Atlas General del Estado de México' publicado por el Instituto de Investigación e Información Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM) en 1993, El clima Templado subhúmedo C(w) presenta verano fresco y largo,



Figura 4.3. Provincias fisiográficas en la zona de estudio
Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de la Base de Datos Geográficos de INEGI

lluvia invernal inferior a 5 % de la anual, con oscilación térmica de 5-7 °C. El subtipo de clima C(w2)(w)b(i)g presenta alta humedad, el C(w1)(w)b(i')g humedad moderada y el C(w0)(w)b(i')g baja humedad. Está presente en gran parte de las regiones Pánuco y Lerma.

El clima Semifrío C(E) presenta una precipitación invernal menor a 5%, el verano es largo e isotermal, con la temperatura más elevada antes del solsticio de verano, en la entidad se presentan dos subtipos, el C(E)(W2)(w)b(i)g, es subhúmedo, característico de aquellas zonas con altitud considerable, como el Nevado de Toluca, la Sierra de Monte Alto y la Sierra de las Cruces. El segundo es el C(E)(m)(w)b(i)g, que es húmedo.

El clima Frío E(T)H, presenta temperatura media anual de -2 °C a 5 °C, es característico de zonas altas, como en el volcán Nevado de Toluca y la Sierra Nevada.

El clima Seco estepario o semiárido templado B(s) es el menos seco de los secos, presenta lluvia invernal inferior a 5 % con reducida oscilación térmica y la temperatura más elevada ocurre antes del solsticio de verano. Su simbología es BS1kw(w)(i)g. Presente en la mayor parte del norte de la región Pánuco.

El clima Cálido A(w) presenta tres subtipos: el AW0 (w)(i')g, es el más seco; el AW1(w)(i')g, con humedad moderada, ambos con un porcentaje de lluvia invernal inferior a 5 %, poca oscilación térmica y la temperatura más alta ocurre antes del solsticio de verano; y el tercero, el cálido subhúmedo AW"0(w)(e)g que presenta sequía intraestival, valores térmicos extremos de 7-14 °C. Es característico de la región Balsas.

El clima Semicálido subhúmedo, manifiesta dos subtipos: el A(C)W2(w)(i')g, el más húmedo de los húmedos; y el (A)C(W1")(w)(i)g, de humedad moderada, este último se caracteriza por ser isotermal (Diccionario de Datos Climáticos del INEGI).

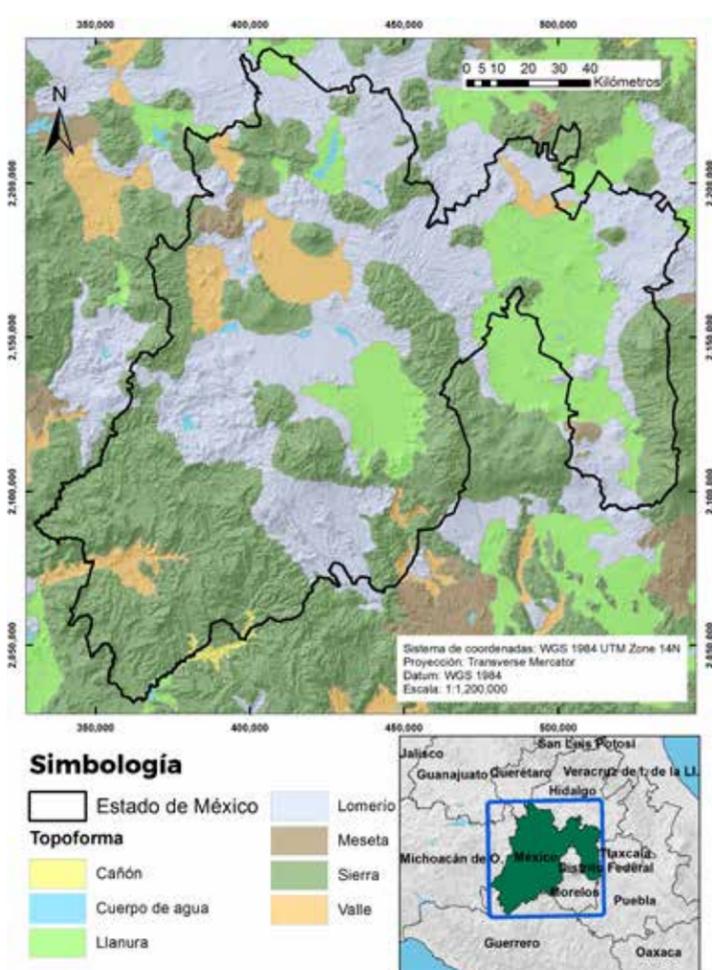


Figura 4.4. Topografías presentes en la zona de estudio
Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de la Base de Datos Geográficos de INEGI

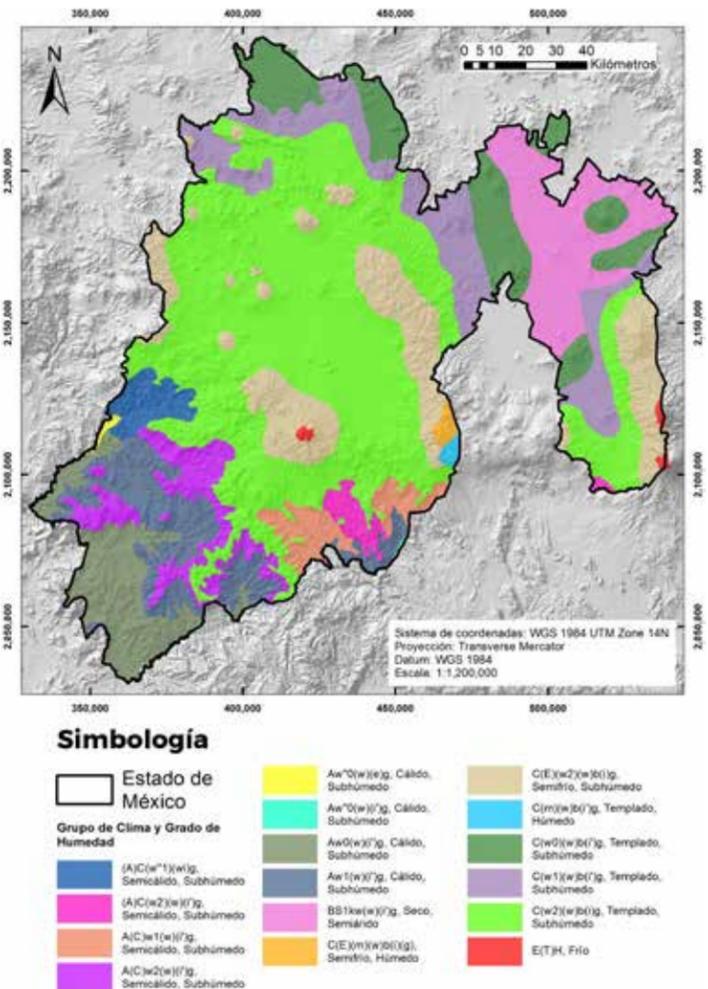


Figura 4.5. Climas en la zona de estudio
Fuente: Elaborado por el IMTA, con información del IGECEM (1993)

4.1.3.1. Precipitación

En el Estado de México las lluvias se presentan principalmente durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 900 mm anuales (INEGI). En la Figura 4.6 se muestra la distribución espacial de la precipitación normal estimada con datos del periodo 1981-2010 por la Conagua con información de la Gerencia de Meteorología y Climatología de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN).

4.1.3.2. Temperatura

La temperatura media anual en el estado es de 14.7°C (INEGI), en la Figura 4.7 se muestra la distribución espacial de las temperaturas medias anuales en el estado, obtenidas con datos de un periodo de 99 años (1910-2009).

Las temperaturas máximas en el estado se presentan en los meses de abril y mayo, siendo la máxima promedio en el estado de alrededor de 25°C. En la Figura 4.8 se muestra la distribución espacial de las temperaturas máximas promedio en todo el estado.

Las temperaturas mínimas en el estado se presentan en los meses de enero y febrero, siendo la mínima promedio en el estado de alrededor de 3.0°C. La estación climatológica ubicada en El Nevado de Toluca registra la temperatura media anual más baja de todo el país de 3.9°C (INEGI).

En la Figura 4.9 se muestra la distribución espacial de las temperaturas mínimas promedio en todo el estado.

En la mayor parte del estado predominan las temperaturas templadas, presentándose temperaturas extremas cálidas en la zona sur en los límites con Guerrero y Michoacán, mientras que las temperaturas extremas frías se presentan en las zonas más elevadas del estado.

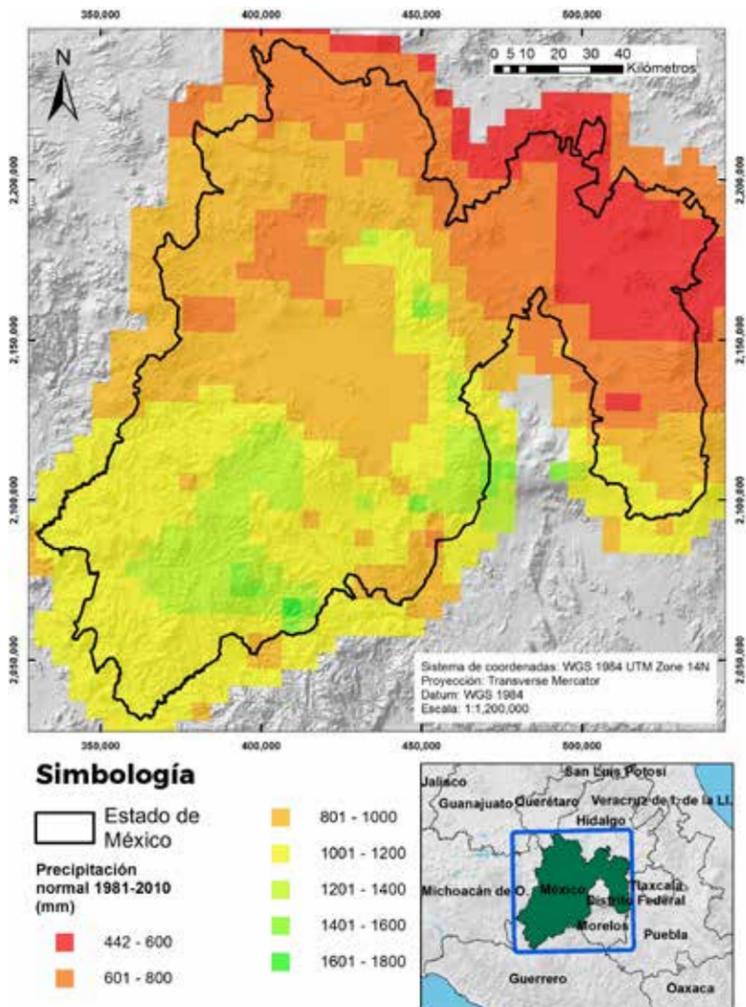


Figura 4.6. Precipitación normal (1981-2010) en la zona de estudio
Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de Conagua

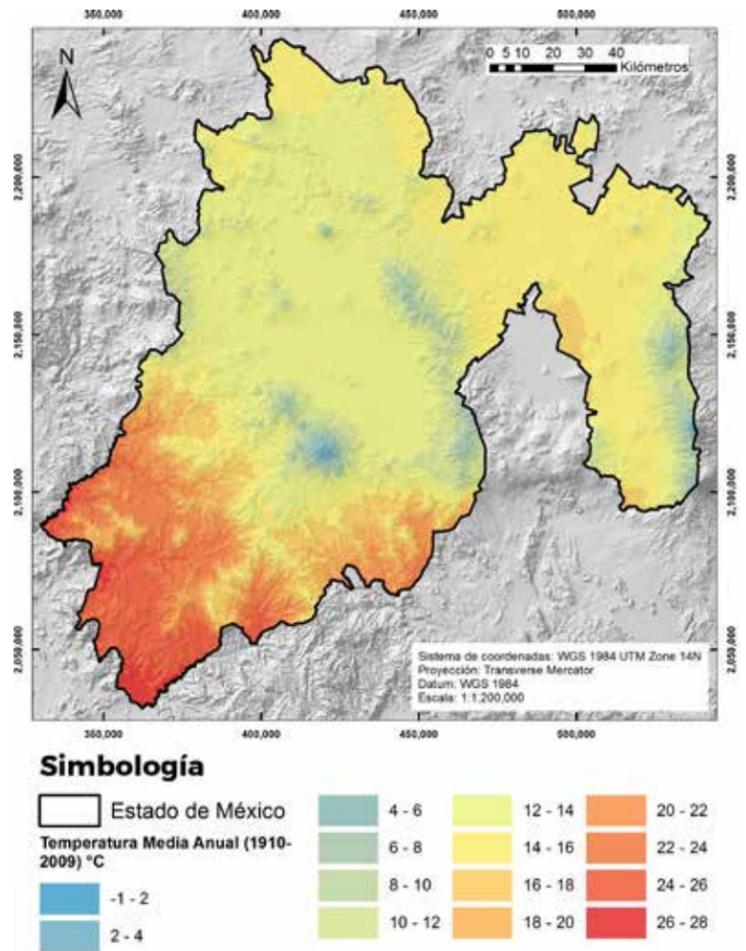


Figura 4.7. Temperatura media anual en la zona de estudio
Fuente: Cuervo-Robayo, A. P., et al., (2014). 'Temperatura media anual en México (1910-2009)', modificado por CONABIO (2015)

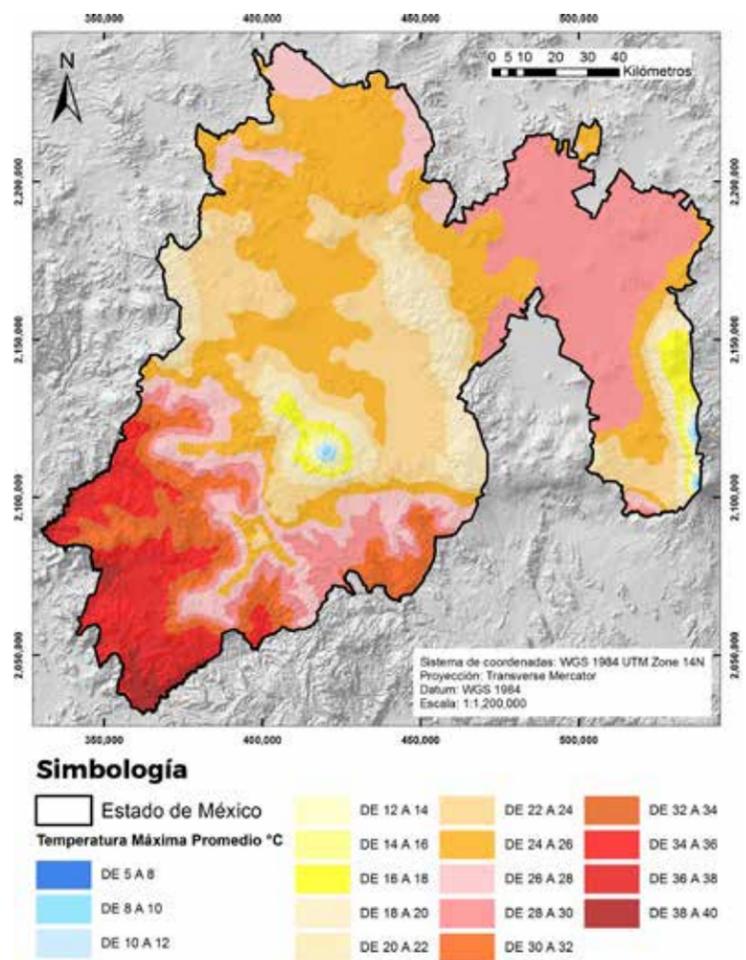


Figura 4.8. Temperaturas máxima promedio en la zona de estudio
Fuente: García, E. - CONABIO, (1998). 'Temperatura máxima promedio'. Escala 1:1000000. México



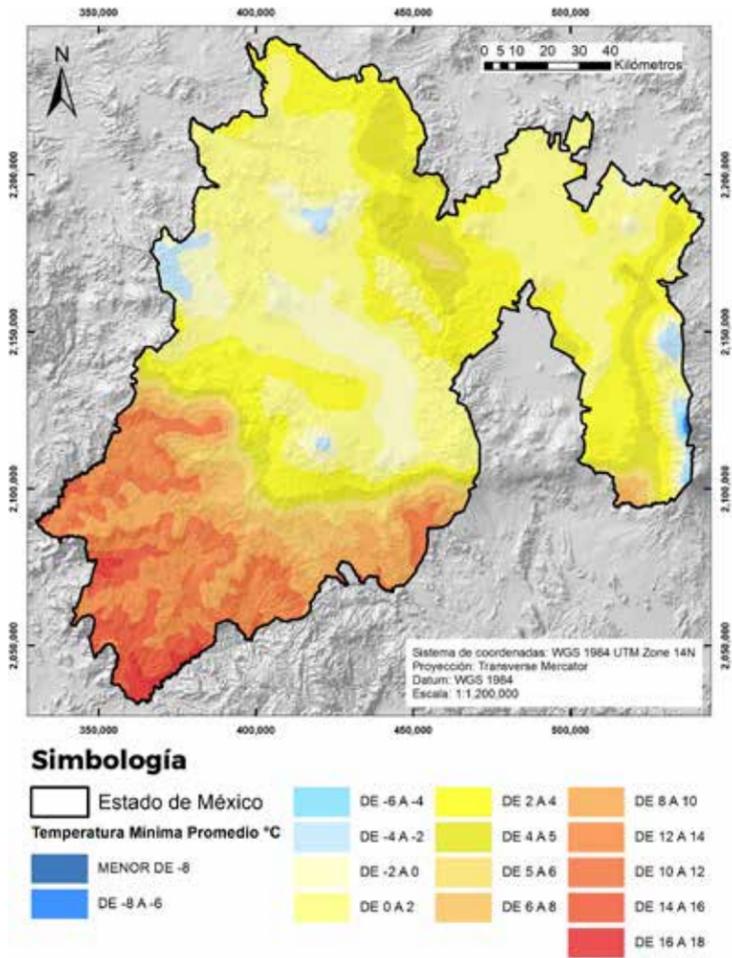


Figura 4.9. Temperaturas mínimas promedio en la zona de estudio
Fuente: García, E. - CONABIO, (1998). 'Temperatura mínima promedio'. Escala 1:1000000. México

4.1.4. Geomorfología

En el Estado de México se distinguen dos grandes provincias geológicas: la geología volcánica cenozoica del Eje Neovolcánico Transversal (que abarca la mayor parte de la superficie estatal) y la geología estructural y sedimentaria marina de la cuenca del río balsas.

En las unidades hidrogeológicas del Estado de México, las cuales se obtienen caracterizando la porosidad y permeabilidad del suelo para describir el subsuelo (ver Figura 4.10) se puede observar que en el 55% del territorio dominan las rocas volcánicas (lavas, brechas y tobas), principalmente basálticas y andesíticas, con permeabilidad media a alta (localizada).

En cuanto a la categorización por clase de rocas, en la entidad dominan las rocas ígneas extrusivas en un 63% de la superficie estatal, de tres tipos principalmente (las tres pertenecientes a la era cenozoica): Volcanoclástico del periodo neógeno, andesita también del periodo neógeno y basalto del periodo cuaternario. En la Figura 4.11 se muestra la distribución espacial de las clases de rocas en el estado.

Las estructuras volcánicas más notables están representadas por el complejo volcánico de la Sierra Nevada constituido por los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl así como por los domos volcánicos de los cerros Telapón y el Mirador o Tláloc en el Parque Nacional Zoquiapan. En el valle de Toluca Lerma sobresalen el Xinantécal y Nevado de Toluca y el volcán de Jocotitlán.

En cuanto a las estructuras, destacan los sistemas de fallas geológicas normales, en el Valle de Toluca en la zona de Ixtlahuaca-Perales y la falla de Tixmadejé-Acambay en el municipio de Acambay, (Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2006).

En la figura 4.12 se muestra la ubicación de las fallas y fracturas identificadas en el Estado de México, así como de los principales volcanes.

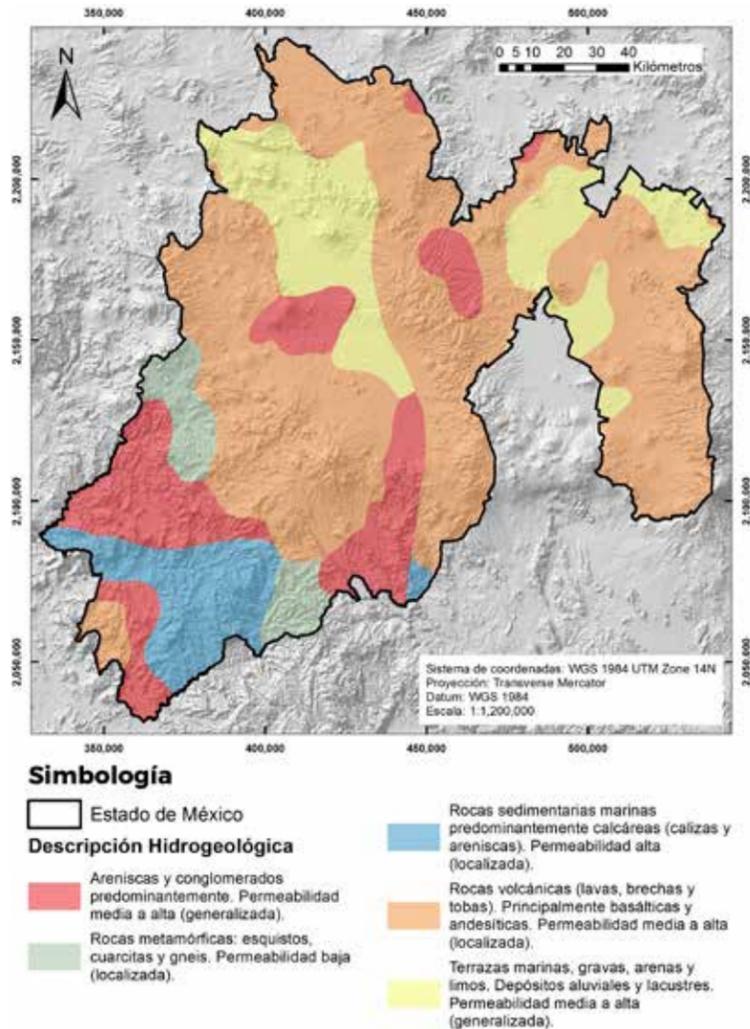


Figura 4.10. Unidades hidrogeológicas en la zona de estudio
Fuente: Marín-C, S y Torres- Ruata, C. (1990), 'Hidrogeología'. IV. 6. 3. Atlas Nacional de México. Vol. II Instituto de Geografía, UNAM

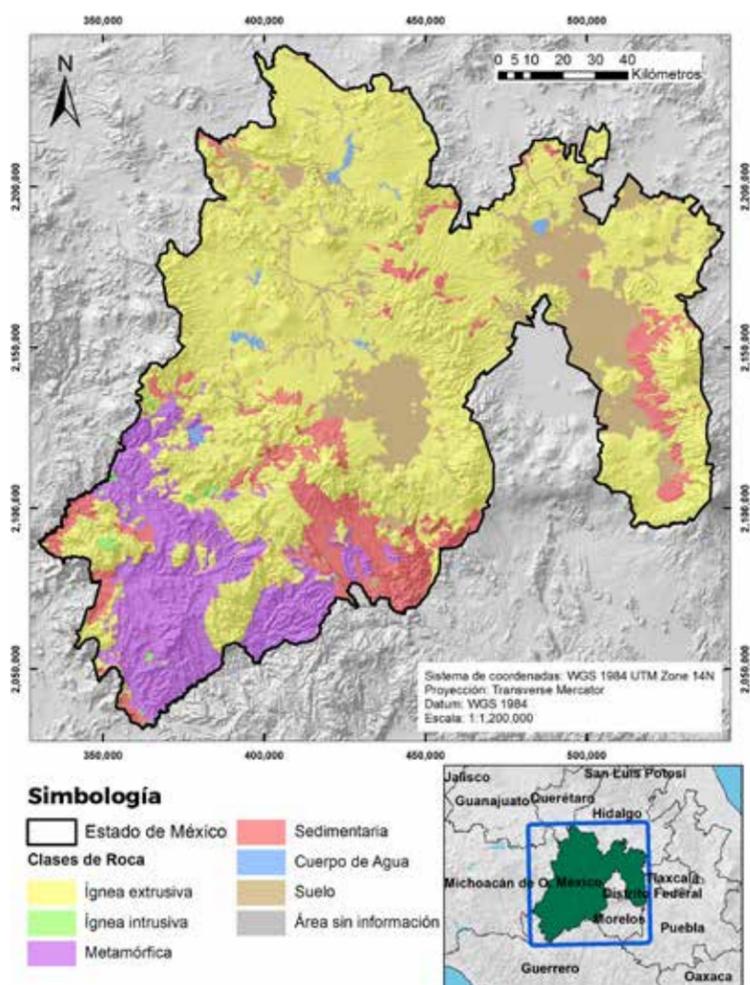


Figura 4.11. Clases de Rocas en la zona de estudio.

Fuente: Base de datos geográficos de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI

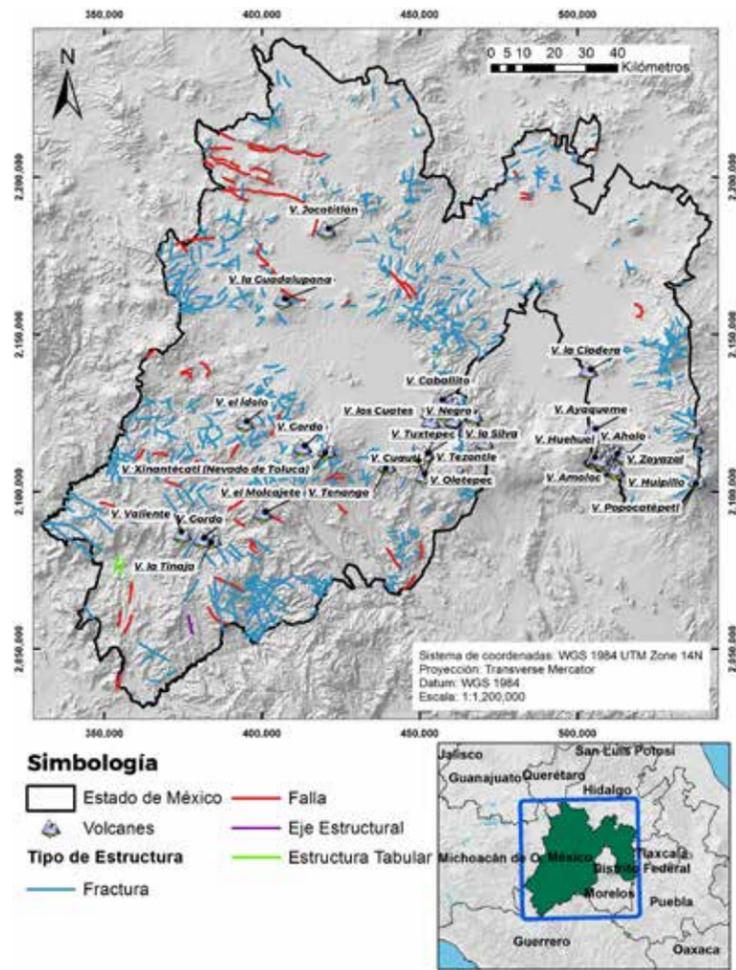


Figura 4.12. Ubicación de fallas, fracturas y Volcanes en la zona de estudio.
Fuente: Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI

4.1.5. Hidrología

El Estado de México forma parte de tres regiones hidrológicas (RH): la RH No. 18 Balsas en la parte suroeste del estado, la RH No. 12 Lerma-Santiago en la parte central y la RH 26 Pánuco en la zona noreste de la entidad; estas regiones a su vez están conformadas por subregiones hidrológicas, formando parte del estado 6 de estas subregiones: 18A Alto Balsas, 18B Medio Balsas, 12A Alto Lerma, 26D Río Tula, 26C Río San Juan Querétaro y 26F Valle de México. En la Figura 4.13 se muestra la distribución de las regiones y subregiones hidrológicas en el estado.

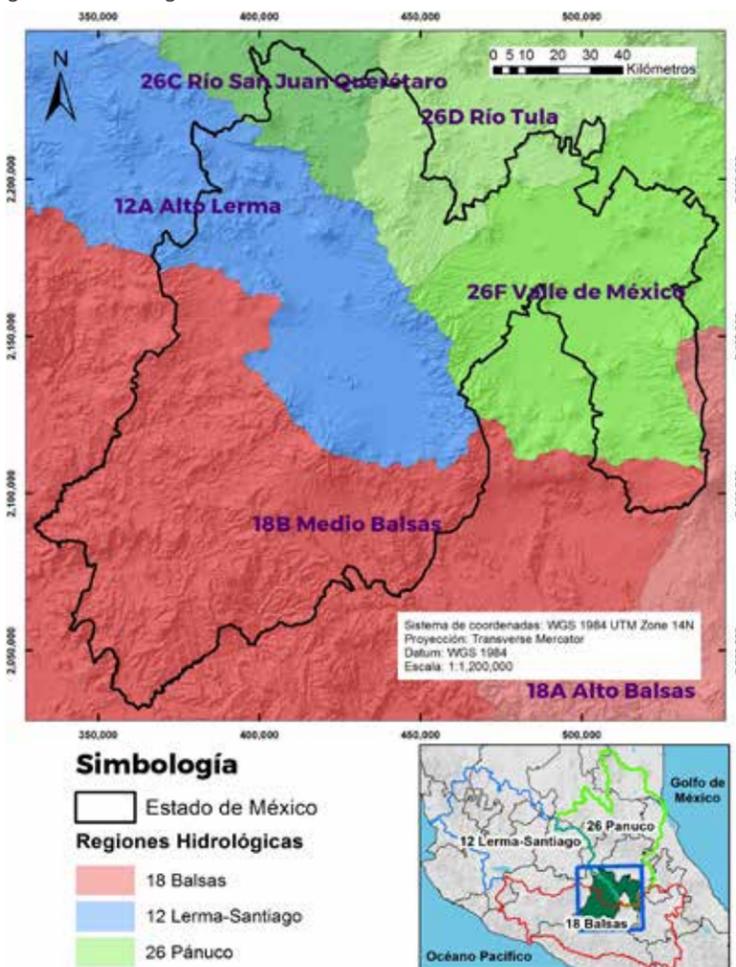


Figura 4.13. Regiones y subregiones hidrológicas en la zona de estudio

En cuanto a la parte administrativa, la Conagua considera al Estado de México como parte de 3 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) las cuales prácticamente coinciden con las regiones hidrológicas (RH) aunque con algunas diferencias: la RHA No. IV Balsas en la parte suroeste del estado, la RHA No. VIII Lerma-Santiago-Pacífico en la parte central y la RHA XIII Aguas del Valle de México en la zona noreste de la entidad. En la Figura 4.14 se muestra la distribución de las RHA en el estado.

4.1.5.1. Cuencas

El Estado de México comprende completa o parcialmente 26 cuencas hidrológicas, de las cuales 21 tienen una superficie significativa dentro del estado, en la Tabla 4.1 se enlistan las 21 cuencas hidrológicas principales del estado así como su disponibilidad de agua de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 7 de julio de 2016 (La información contenida no presenta cambios en la disponibilidad de agua en cuencas a diciembre de 2017).

Cabe resaltar que únicamente 8 cuencas hidrológicas en la entidad cuentan con disponibilidad de agua, todas ubicadas al noreste del estado, pero con disponibilidades menores a los 3 hm³, en la Figura 4.15 se muestra la distribución de las cuencas hidrológicas en el Estado de México y se ilustra la disponibilidad de las mismas.

4.1.5.2. Ríos, cuerpos de agua y presas

La región del Balsas es la que mayor superficie ocupa dentro del Estado de México y es donde se ubican la mayoría de los embalses de la entidad, en esta zona se localizan importantes cuerpos de agua reservados para la generación de energía eléctrica como la presa Villa Victoria, los principales ríos en esta zona son: Temascaltepec, Sultepec, Topilar, San Pedro, Amacuzac, Cutzamala, San Felipe- El Naranjo, Meyuca, San Martín Pungarancha, La Asunción, Ixtapan, Almoloya, Los Lobos y Chalma.

La región Pánuco ocupa el segundo lugar en cuanto a superficie estatal, entre los principales afluentes de la región se encuentran los ríos Cuautitlán, El Salado, El Órgano, Ñado, San Juan, San Bernardino y El Zarco. En esta zona es donde se ubica el canal La Compañía, que sirve de desagüe de los escurrimientos de la Sierra Nevada y da origen a pequeños cuerpos de agua como Cola de Pato, La Regalada y El Tesorito. La cuenca del Pánuco se considera endorreica ya que no tiene salida natural hacia al mar, pero debido a las obras de ingeniería como el Tajo de Nochistongo y las obras de desagüe profundo adquiere el carácter de exorreica. En esta región se localizan importantes cuerpos de agua como los lagos de Zumpango, Texcoco y Chalco, y las presas Huapango, Santa Clara, Daxhó, Taxhimay y Madín.

En la región Lerma, existe gran número de almacenamientos entre los que destacan las presas Tepetitlán, José Antonio Álzate e Ignacio Ramírez. La importancia de esta región radica en que ahí se encuentran las zonas agrícolas de temporal y riego más importantes de la entidad, así como algunas zonas industriales que demandan gran parte del agua disponible. Entre los principales afluentes de la región destacan los ríos Lerma, Zacango, Jaltepec, Gavia, Tejalpa, Verdiguél y Oztolotepec.

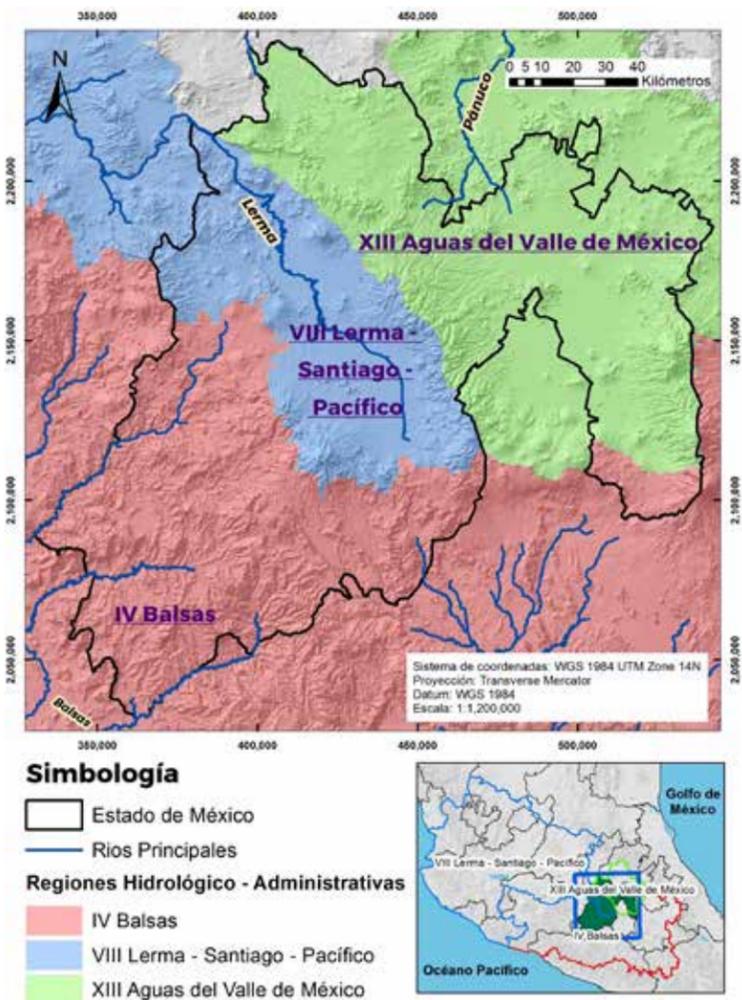


Figura 4.14. Regiones hidrológico-administrativas de Conagua en la zona de estudio.
Fuente: Geodatabase de Conagua (2015).

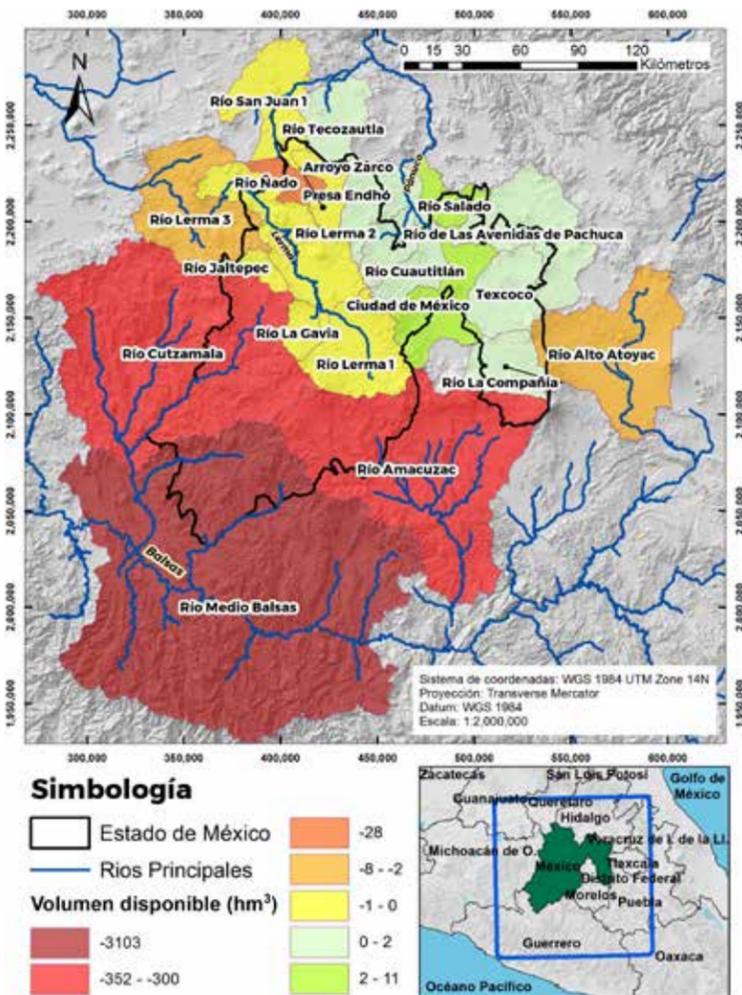


Figura 4.15. Cuencas hidrológicas en la zona de estudio y su disponibilidad.
Fuente: Conagua, Subdirección General Técnica (2017)

En la Figura 4.16 se muestra la red hidrográfica del estado (se indican las corrientes de orden 2 en adelante), así como la ubicación de las principales presas y de los cuerpos de agua naturales.

En la Tabla 4.2 se enlistan las principales características de las 15 presas más importantes en el Estado de México.

Tabla 4.1. Principales cuencas hidrológicas del Estado de México y disponibilidad de agua (DOF, 2016)

Región Hidrológico - Administrativa	Cuenca	Volumen Disponible (hm ³)	Clasificación
IV Balsas	1807 Río Cutzamala	-352.214	Sin disponibilidad
IV Balsas	1801 Río Alto Atoyac	-7.745	Sin disponibilidad
IV Balsas	1802 Río Amacuzac	-300.395	Sin disponibilidad
IV Balsas	1808 Río Medio Balsas	-3102.916	Sin disponibilidad
VIII Lerma-Santiago-	1205 Río Lerma 3	-2.366	Sin disponibilidad
VIII Lerma-Santiago-	1204 Río Lerma 2	-1.19	Sin disponibilidad
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1203 Río Jaltepec	-0.04	Sin disponibilidad
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1201 Río Lerma 1	-0.193	Sin disponibilidad
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1202 Río La Gavia	-0.053	Sin disponibilidad
IX Golfo Norte	2604 Río San Juan 1	-0.276	Sin disponibilidad
IX Golfo Norte	2605 Río Tecoautla	0.228	Con disponibilidad
IX Golfo Norte	2601 Arroyo Zarco	-1.221	Sin disponibilidad
IX Golfo Norte	2602 Río Nado	-27.594	Sin disponibilidad
XIII Valle de México	2674 Río Salado	2.924	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2668 Río de Las Avenidas de Pachuca	0.233	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2673 Presa Endhó	1.282	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2672 Presa Requena	0.047	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2671 Río Cuautitlán	0.141	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2669 Texcoco	0.108	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2666 Río La Compañía	0.181	Con disponibilidad
XIII Valle de México	2670 Ciudad de México	2.416	Con disponibilidad

Fuente: Diario Oficial de la Federación del 7 de julio de 2016.

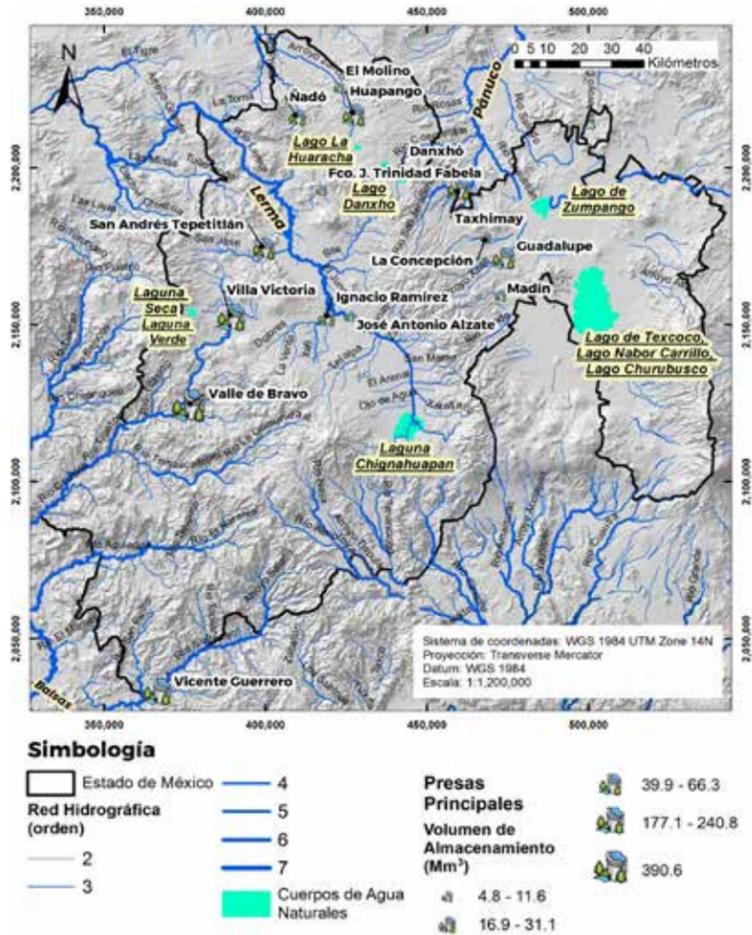
4.1.5.3. Acuíferos

El Estado de México comprende completa o parcialmente 31 acuíferos de las cuales 16 tienen una superficie significativa dentro del estado, en la Tabla 4.3 se enlistan los 16 acuíferos principales del estado así como su disponibilidad de agua subterránea de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 4 de enero de 2018.

En relación al agua subterránea destaca que 9 de los 16 acuíferos principales en la entidad no cuentan con disponibilidad y que de los 9 acuíferos que administrativamente le corresponden al Estado de México únicamente los acuíferos de Ixtlahuaca - Atlacomulco y Temascaltepec cuentan con disponibilidad de agua subterránea, en la Figura 4.16 se muestra la distribución de los acuíferos en la zona de estudio y se ilustra la situación de disponibilidad de los mismos.

4.1.6. Áreas de servicios ambientales hidrológicos del Estado de México

La superficie forestal del Estado de México es de 1,065,366.91 ha, que representan el 48 % de la superficie estatal (2,222.657.80 ha).



Principales presas, cuerpos de agua naturales y red hidrográfica estatal
Fuente: Conagua, Subdirección General Técnica

Tabla 4.3. Disponibilidad de agua subterránea en el Estado de México (DOF, 2018)

Clave	Acuífero	Estado	Región Hidrológico - Administrativa	Volumen Disponible (hm³)	Clasificación
901	Zona Metropolitana de la Cd. de México	Distrito Federal	XIII Valle de México	0	Sin disponibilidad
1208	Altamirano - Cutzamala	Guerrero	IV Balsas	34.146868	Con disponibilidad
1209	Arcelia	Guerrero	IV Balsas	10.303679	Con disponibilidad
1310	Valle del Mezquital	Hidalgo	XIII Valle de México	30.856540	Con disponibilidad
1316	Tepeji del Rio	Hidalgo	XIII Valle de México	0	Sin disponibilidad
1501	Valle de Toluca	México	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	0	Sin disponibilidad
1502	Ixtlahuaca - Atlacomulco	México	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	38.457251	Con disponibilidad
1503	Polotitlan	México	IX Golfo Norte	0	Sin disponibilidad
1504	Tenancingo	México	IV Balsas	0	Sin disponibilidad
1505	Villa Victoria - Valle de Bravo	México	IV Balsas	0	Sin disponibilidad
1506	Chalco - Amecameca	México	XIII Valle de México	0	Sin disponibilidad
1507	Texcoco	México	XIII Valle de México	0	Sin disponibilidad
1508	Cuatitlan -Pachuca	México	XIII Valle de México	0	Sin disponibilidad
1509	Temascaltepec	México	IV Balsas	4.328604	Con disponibilidad
1701	Cuernavaca	Morelos	IV Balsas	19.952535	Con disponibilidad
1702	Cuatla - Yautepec	Morelos	IV Balsas	2.750795	Con disponibilidad

Fuente: Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2018.

Tabla 4.2. Presas más importantes en el Estado de México.

Nombre Oficial	RHA	Corriente	Altura de Cortina (m)	NAME (Mm³)	NAMO (Mm³)	Volumen de Almacenamiento (Mm³)	Año de termino
Taxhimay	XIII Aguas del Valle de México	Río San Luis de Las Peras	43.0	58.0	43.0	39.914	1912
La Concepción	XIII Aguas del Valle de México	Río Tepotzotlán	28.0	11.0	12.0	11.622	1949
Danxhó	XIII Aguas del Valle de México	Río Coscomate	31.0	25.0	31.0	31.141	1949
Guadalupe	XIII Aguas del Valle de México	Río Cuautitlán	33.0	64.0	57.0	48.791	1936
Huapango	XIII Aguas del Valle de México	Río Huapango o Arroyo Zarco	14.0	126.0	119.0	66.319	1765
Madín	XIII Aguas del Valle de México	Río Tlanepantla, Arroyo San	75.0	25.0	16.0	9.318	1977
El Molino (Arroyo Zarco)	XIII Aguas del Valle de México	Río Zarco y El Posal	11.0	7.0	7.0	6.802	1880
Ñadó	XIII Aguas del Valle de México	Río Ñadó	52.0	18.0	17.0	16.850	1981
Fco. J. Trinidad Fabela (isla de la Aves)	VIII Lerma Santiago Pacífico	Arroyo Del Salto	19.0	10.0	6.0	7.389	1945
Ignacio Ramírez (La Gavia)	VIII Lerma Santiago Pacífico	Río La Gavia	24.0	36.0	20.0	20.975	1965
José Antonio Álzate (San Bernabé)	VIII Lerma Santiago Pacífico	Río Lerma	24.0	52.0	34.0	4.811	1962
San Andrés Tepetitlán	VIII Lerma Santiago Pacífico	Río Jaltepec	31.0	92.0	68.0	60.798	1964
Vicente Guerrero (Palos Altos)	IV Balsas	Río Poliutla	68.0	325.0	250.0	240.759	1968
Valle de Bravo	IV Balsas	Río Valle de Bravo	56.0	458.0	394.0	390.557	1947
Villa Victoria	IV Balsas	Río San José o Malcatepec	19.0	252.0	186.0	177.142	1944

Fuente: Conagua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (2018)

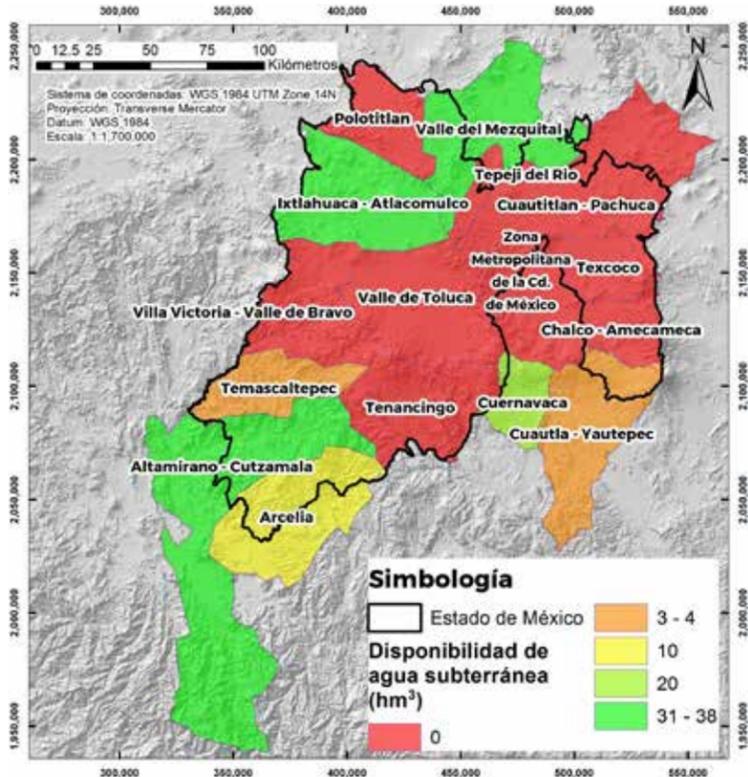


Figura 4.16. Acuíferos en la zona de estudio y disponibilidad de agua subterránea.
Fuente: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas (2018).

En la Tabla 4.4 se describen las diferentes coberturas forestales del Estado de México (PROBOSQUE).

Tabla 4.4. Diferentes coberturas forestales en el Estado de México.

Formación	Superficie (ha)	%
Coníferas	225,355.07	21
Coníferas latifoliadas	209,358.80	20
Latifoliadas	210,981.09	20
Bosque mesófilo	15,127.06	1
Selva baja caducifolia	130,5709.95	12
Otras asociaciones	49,171.68	5
Zonas áridas	25,463.57	2
Otras áreas forestales	24,148.56	2
Áreas forestales perturbadas	175,190.13	17
Total	1,065,366.91	100

Fuente: PROBOSQUE

De acuerdo con el programa sexenal de PROBOSQUE se seleccionó una superficie a conservar con potencial de 135,526 ha que pertenecen a ejidos, comunidades y pequeños propietarios, usufructuarios, poseedores, dueños o representantes legales de terrenos cubiertos por bosques, selvas y vegetación de zonas áridas del Estado de México, las cuales representan una cobertura mayor al 50 % (Diagnóstico de Programa de Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México). La superficie forestal del Estado de México que cuenta con apoyo de PSAHEM es de 50,297 ha (Periódico Oficial, Gaceta de Gobierno, 15 de mayo de 2018) de las cuales 25,879 ha están bajo Fondos Concurrentes CONAFOR-PROBOSQUE y 24,418 ha con apoyo estatal. En la Figura 4.18 se presenta la distribución de las superficies que cuentan con el PSAHEM.

4.2. Metodología para la estimación de la recarga potencial

La cuantificación de la recarga de agua subterránea sigue siendo uno de los problemas fundamentales en la investigación y evalua-

ción hidrológica. La estimación precisa de la recarga, incluyendo su distribución en espacio y tiempo, son importantes para la evaluación de los recursos de agua subterránea, protección de la calidad del agua, manejo de flujos y ecosistemas ribereños, recuperación de acuíferos, modelación de agua subterránea y transporte de contaminantes, y son claves para un desarrollo inteligente de la expansión de zonas urbanas, industriales y agrícolas. El entendimiento de las distribuciones de la recarga y los controles sobre esas distri-

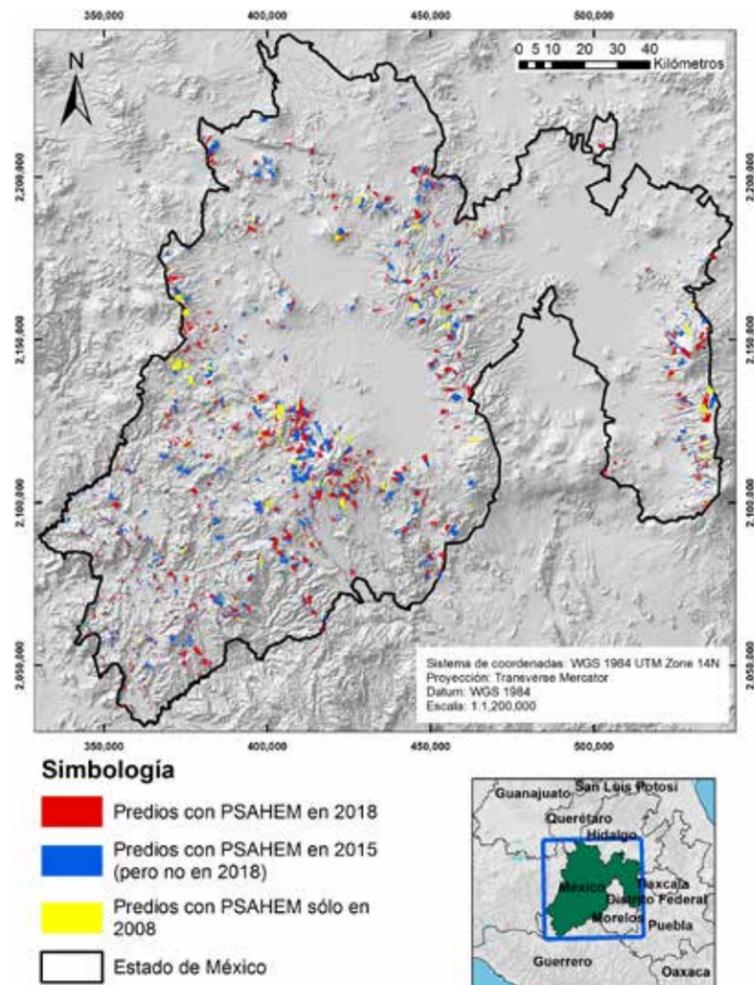


Figura 4.17. Distribución de las superficies con PSAHEM en el Estado de México.
Fuente: PROBOSQUE

buciones son de gran importancia para predecir los impactos del cambio de uso de suelo y calentamiento global sobre los recursos hídricos.

Para la estimación distribuida espacial y temporalmente de la recarga Dripps y Bradbury (2010) desarrollaron un modelo de balance de agua del suelo (SWB por sus siglas en inglés) con una temporalidad física diaria, dicho modelo utiliza fácilmente información disponible de suelo, cobertura de suelo, topografía y datos climáticos para estimar la distribución espacial y temporal de la recarga de agua subterránea a escala de cuenca en áreas húmedas templadas. El SWB es un modelo determinista cuasi-tridimensional que simula la recarga diaria realizando un balance diario del agua del suelo y utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG) para configurar la malla del modelo y postprocesar los resultados del modelo. El modelo contabiliza los procesos de precipitación, evapotranspiración, interceptación, escurrimiento superficial, almacenamiento de humedad del suelo y deshielo por medio del uso de un SIG y una combinación de métodos publicados previamente en la literatura.

El modelo SWB logra el equilibrio apropiado entre complejidad y precisión al mismo tiempo que satisface las necesidades de practicidad y aplicabilidad, y proporciona a los modeladores, planificadores y responsables de políticas de aguas subterráneas un método fácilmente aplicable para proporcionar estimaciones de recarga distribuidas espacial y temporalmente para los modelos regiona-

les de flujo de agua subterránea y el manejo del recurso hídrico. Además se ha probado el rendimiento del modelo en dos cuencas hidrográficas en Wisconsin y mostraron que el modelo produce estimaciones de recarga y matrices de recarga espacial comparables con los valores medidos en campo y calculados por dos modelos significativamente más rigurosos, un modelo analítico bidimensional del flujo del agua subterránea y un modelo completo de biosfera terrestre modular (Dripps y Bradbury, 2010).

Para la estimación distribuida espacial y temporalmente de la recarga en este trabajo se utilizará el programa SWB desarrollado por Dripps y Bradbury (2010), dicho modelo utiliza información disponible de suelo, cobertura de suelo, topografía y datos climáticos para estimar la distribución espacial y temporal de la recarga de agua subterránea a escala de cuenca en áreas húmedas templadas. El SWB es un modelo determinista cuasi-tridimensional que simula la recarga diaria realizando un balance diario del agua del suelo y utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG) para configurar la malla del modelo y postprocesar los resultados del modelo. El modelo contabiliza los procesos de precipitación, evapotranspiración, intercepción, escurrimiento superficial, almacenamiento de humedad del suelo y deshielo por medio del uso de un SIG y una combinación de métodos publicados previamente en la literatura.

Para calcular la recarga, el código del SWB utiliza el método modificado de Thornthwaite-Meter (USGS, 2010) para contabilizar el agua en el suelo. La recarga se calcula de forma separada para cada celda de la malla en el dominio del modelo. Las fuentes y sumideros de agua dentro de cada celda se determinan a partir de datos climáticos y características del paisaje (tipo de suelo, cobertura del suelo, topografía); la recarga se calcula como las diferencias entre el cambio en la humedad del suelo y esas fuentes y sumideros (Ecuación 4.1).

$$\text{recarga} = (\text{precip} + \text{deshielo} + \text{flujo de entrada}) - (\text{intercepción} + \text{flujo de salida} + \text{ET}) - \Delta \text{humedad de suelo} \quad \text{Ecuación 4.1.}$$

Cada una de las componentes del balance de agua de la ecuación 1 se manipula por uno o más módulos dentro del modelo SWB. Las componentes específicas del balance de agua se describen brevemente a continuación.

precip – Los datos de precipitación son entradas de valores diarios como una serie de tiempo de una estación dada o como archivos mallados en formato Arc, ASCII o Surfer creados por el usuario. Se puede utilizar un número ilimitado de registros de precipitación de estaciones climatológicas si el usuario decide utilizar precipitaciones de una series de archivos mallados.

deshielo – Para las regiones que así lo requieran el código del SWB tiene integrada la opción que permite que la nieve se acumule y/o derrita diariamente. Las temperaturas media, máxima y mínima del aire se utilizan para determinar si la precipitación toma forma de lluvia o de nieve.. Para el caso de estudio (Estado de México) está opción no se utiliza.

flujo de entrada– el flujo de entrada se calcula por medio del uso de la dirección de flujo derivado de la malla del modelo digital de

elevaciones para dirigir la salida del flujo (escurrimiento superficial) para la celda vecina de la malla pendiente abajo. El flujo de entrada se considera como cero si la ruta de flujo está desactivada.

intercepción – la intercepción se trata simplemente mediante un enfoque de modelo de "cubeta": se supone que una cantidad de lluvia especificada por el usuario queda atrapada y utilizada por la vegetación y se evapora o se transpira desde las superficies de las plantas. Los valores diarios de precipitación deben exceder la cantidad de intercepción especificada antes de que se suponga que el agua llegue a la superficie del suelo. Los valores de intercepción se pueden especificar para cada tipo de uso de suelo o estación (creciente y latente).

flujo de salida – el flujo de salida (o escurrimiento superficial) de una celda se calcula por medio del uso del método del número de curva de la relación lluvia-escurrimiento del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (NRCS por sus siglas en inglés). Esta relación lluvia-escurrimiento se basa en cuatro propiedades de la cuenca: tipo de suelo, uso del suelo, condición de la superficie y la condición del escurrimiento antecedente.

El método de número de curva define al escurrimiento en relación con las diferencias entre precipitación y un término de "abstracción inicial". Conceptualmente, el término de abstracción inicial representa la sumatoria de todos los procesos que pudieran actuar para reducir el escurrimiento, incluyendo la intercepción por las plantas y hojas caídas, almacenamiento por depresión e infiltración. Para calcular el volumen de escurrimiento se usa la Ecuación 4.2.

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{[P + (S_{max} - I_a)]} \quad P > I_a \quad \text{Ecuación 4.2.}$$

Donde

- R = es el escurrimiento
- P = es la precipitación diaria
- S_{max} = es la capacidad de retención máxima de humedad del suelo
- I_a = es la abstracción inicial, la cantidad de precipitación que puede caer antes de que cualquier escurrimiento se genere

El término de abstracción inicial (I_a) se relaciona con el término de almacenamiento (S_{max}) como sigue:

$$I_a = 0.2S_{max} \quad \text{Ecuación 4.3.}$$

El término de almacenamiento máximo se define por el número de curva para el tipo de uso de suelo bajo consideración:

$$S_{max} = \left(\frac{1,000}{CN} \right) - 10 \quad \text{Ecuación 4.4.}$$

El número de curva se ajusta hacia arriba o hacia abajo dependiendo de que tanta precipitación ha ocurrido en un periodo de cinco días previos. La cantidad de precipitación que ha caído en los cinco días previos se usa para describir las condiciones de humedad del suelo; se definen tres clases de condiciones de humedad y se llaman condiciones de escurrimiento antecedente I, II y III, definidos como se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Definición de las condiciones de escurrimiento antecedente usados por el código SWB.

Condición	Humedad del suelo	Temporada latente	Temporada de crecimiento
I	Seco	< 0.05	< 1.4
II	Intermedio	0.5 – 1.1	1.4 – 2.1
III	Cerca de la saturación	> 1.1	> 2.1

Cuando los suelos están cercano a lo saturado, con una condición de escurrimiento antecedente III, el número de curva para la celda de la malla se ajusta hacia arriba de la condición de escurrimiento antecedente II (Ecuación 4.5), generalmente se contabilizan cantidades observadas de escurrimiento más altas cuando la precipitación cae sobre suelos saturados:

$$CN_{ARCUM} = \frac{CN_{ARCUM}}{(0.427 + 0.00573 \cdot CN_{ARCUM})} \quad \text{Ecuación 4.5.}$$

Inversamente, cuando los suelos están secos, como en una condición de escurrimiento antecedente I, los números de curva se ajustan hacia abajo de la condición de escurrimiento antecedente II (Ecuación 4.6) para reflejar el incremento en las tasas de infiltración de los suelos secos.

$$CN_{ARCUM} = \frac{CN_{ARCUM}}{(2.281 + 0.01281 \cdot CN_{ARCUM})} \quad \text{Ecuación 4.6.}$$

Entre las condiciones "seca" y "cercana a saturada" esta la condición de escurrimiento antecedente II, lo cual representa una relación lluvia escurrimiento promedio para condiciones moderadas de humedad del suelo.

El rango de números de curva va de 0 a 100. Si un rango útil de número de curva se define con un mínimo de 30 y un máximo de 98, el término de almacenamiento máximo (Δ) varía de un valor bajo de aproximadamente 0.2 pulgadas a un valor algo de 23 pulgadas. El uso de un término de abstracción inicial de Δ implica que entre 0.04 y 4.6 pulgadas de precipitación podrían caer antes de que inicie el escurrimiento.

El código del SWB también considera una análisis para el suelo congelado mediante el uso de un índice de suelo congelado continuo, o CFGI, en este trabajo esta opción no se utiliza ya que en la región de estudio (Estado de México) no se presentan estas condiciones. Para ver un análisis detallado de cómo el código aborda el CFGI se recomienda consultar el documento de la USGS (2010).

Evotranspiración (ET) – el código SWB puede usar cualquiera de los cinco métodos comúnmente aplicados para estimar la evapotranspiración potencial. Los métodos que se incluyen en el código son:

1. Thornthwaite-Mather,
2. Jensen-Haise,
3. Blaney-Criddle,
4. Turc, y
5. Hargreaves y Samani

Actualmente todos los métodos, excepto el Hargreaves-Samani produce un estimado de la evapotranspiración potencial que es uniforme en todo el dominio del área modelada. El método de Hargreaves-Samani puede producir un estimado espacialmente varia-

ble de la evapotranspiración potencial si se suministra la temperatura máxima y mínima del aire de forma espacial para cada paso de tiempo y diario en cada celda de la malla del modelo, dado lo anterior, en este trabajo se utilizará este método.

Todos los métodos requieren de que se asignen las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire. Los otros métodos, excepto los de Thornthwaite-Mather y Hargreaves-Samani, requieren datos adicionales, incluyendo datos como humedad relativa, velocidad del viento y porcentaje de horas de sol posibles diarias reales.

Δ humedad del suelo– la humedad del suelo se calcula por medio del método de balance de agua del suelo de acuerdo con Thornthwaite y, Thornthwaite y Mather (USGS, 2010).

Con el fin de registrar los cambios en la humedad del suelo, se calculan varios valores intermedios, incluida la precipitación menos la evapotranspiración potencial ($P - PE$), la pérdida potencial acumulada de agua ($APWL$), la evapotranspiración real, el exceso de humedad del suelo y el déficit de humedad del suelo. Estos términos se describen abajo.

P menos PE ($P - PE$)– el primer paso en calcular un nuevo valor de la humedad del suelo para cualquier celda dada de la malla es para restar la evapotranspiración potencial de la precipitación diaria. Los valores negativos de dicha resta representan la deficiencia potencial de agua, mientras que los valores positivos representan superávit potencial de agua.

Pérdida de Agua Potencial Acumulada ($APWL$) – la pérdida de agua potencial acumulada se calcula como una sumatoria continua de los valores diarios de ($P - PE$) durante periodos cuando $P - PE$ es negativo. La sumatoria continua representa la cantidad total de evapotranspiración potencial no lograda a la que ha estado sujeto el suelo. Los suelos ceden agua más fácilmente durante los primeros días en los que ($P - PE$) es negativa. En los días subsecuentes, conforme el $APWL$ crece, la humedad del suelo se pierde con mayor dificultad.

La relación no lineal entre la humedad del suelo y la pérdida de agua potencial acumulada fue descrita por Thornthwaite y Mather en una serie de tablas. Esas tablas están incorporadas en el código del SWB (USGS, 2010).

Note que la pérdida de agua potencial acumulada puede crecer sin límite; esto representa la pérdida de agua potencial diaria acumulada dados la evapotranspiración y la precipitación observada.

Humedad de suelo, Δ de humedad del suelo – el término de humedad de suelo representa la cantidad de agua retenida en el almacenamiento del suelo para una celda dada de la malla. La humedad del suelo tiene un límite superior que corresponde a la capacidad máxima de retención de agua de los suelos (aproximadamente equivalente a la capacidad de campo); la humedad del suelo tiene un límite inferior que corresponde a la capacidad de marchitez de los suelos.

Cuando $P - PE$ es positivo, el nuevo valor de humedad del suelo se encuentra agregando este término $P - PE$ directamente al valor de humedad del suelo anterior. Si el nuevo valor de humedad del suelo permanece todavía por debajo de la capacidad máxima de reten-

ción de humedad, se consultan las tablas de humedad del suelo de Thornthwaite-Mather para calcular un nuevo valor, el valor de la pérdida de agua potencial acumulada se reduce. Si el nuevo valor de humedad del suelo excede la capacidad máxima de retención de agua, El valor de humedad del suelo se limita al valor de la capacidad máxima de retención de agua, la humedad en exceso se convierte en recarga, y el término de pérdida de agua potencial acumulada se restablece a cero.

Cuando $P-PE$ es negativo, el término de humedad del suelo se encuentra buscando el valor de humedad del suelo asociado con el valor de pérdida de agua potencial acumulada actual en las tablas de Thornthwaite-Mater.

ET real – cuando $P-PE$ es positivo, la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial. Cuando $P-PE$ es negativo, la evapotranspiración real es igual únicamente a la cantidad de agua que se puede extraer del suelo (Δ de humedad del suelo).

Excedente de humedad del suelo – si la humedad del suelo alcanza la capacidad máxima de humedad del suelo, cualquier exceso en la precipitación se agrega al valor de exceso de humedad del suelo diario. En la mayoría de las condiciones, el valor de exceso de humedad del suelo es equivalente al valor de recarga diaria del agua subterránea.

Déficit de humedad del suelo – el déficit diario de humedad del suelo es la cantidad por la cual la evapotranspiración real difiere de la evapotranspiración potencial.

Los términos de exceso y déficit de humedad del suelo no tienen relación directa con el cálculo de la recarga; estos términos ocupan un lugar destacado en el trabajo original de Thornthwaite y Mather (1955, 1957) y se incluyen aquí como complemento.

4.2.1. Datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB

El modelo requiere de que se proporcionen datos climatológicos tabulares y datos de la superficie terrestre mallados para calcular el balance de agua y estimar la recarga para cada celda de la malla (Tabla 4.6).

Se requieren cuatro conjuntos de datos mallados: (1) grupo hidrológico del suelo, (2) uso de suelo/cobertura del suelo, (3) capacidad disponible de agua del suelo, y (4) direcciones de flujo del agua superficial.

Además de los datos mallados de la superficie terrestres, el modelo requiere datos climatológicos diarios tabulares o mallados (mallado si se usa el método de Hargreaves y Samani para estimar la evapotranspiración potencial). Como mínimo el modelo necesita de precipitación diaria (en pulgadas), Temperatura promedio diaria del aire (en grados Fahrenheit), temperatura máxima del aire (en grados Fahrenheit), y temperatura mínima del aire (en grados Fahrenheit), se puede requerir de datos adicionales dependiendo del método que se determine para estimar la evapotranspiración

para el cálculo del balance de agua. El tipo de datos adicionales incluyen: (1) velocidad promedio diaria del viento, (2) humedad relativa promedio diaria (en por ciento), (3) humedad relativa máxima diaria (en por ciento), y (4) porcentaje diario posible del sol (en por ciento).

Tabla 4.6. Datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB

Tipos de datos
Mallado (ARC ASCII o Malla Surfer)
Uso de suelo/cobertura del suelo
Direcciones de flujo
Grupo hidrológico del suelo
Capacidad de agua disponible del suelo
Climatología, si se requiere utilizar varias estaciones climatológicas en el análisis (Tmax, Tmin y P), se puede utilizar además el formato Netcdf
Tabular
Tabla de búsqueda de las propiedades del suelo y uso de suelo
Climatología si se utiliza una sola estación
Matriz de retención de agua del suelo para una pérdida de agua potencial acumulada dada.

Finalmente, se puede incluir una tabla de búsqueda para asignar el número de curva, valores de interceptación, profundidad radicular y valores de recarga diaria máxima para cada combinación de grupo hidrológico del suelo y tipo de uso de suelo/cobertura de suelo. En la Figura 4.18 se presenta un esquema de la relación entre cada uno de los datos antes descritos.

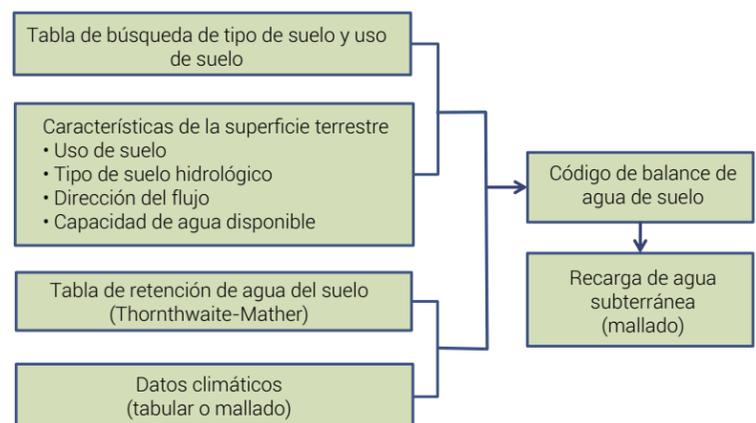
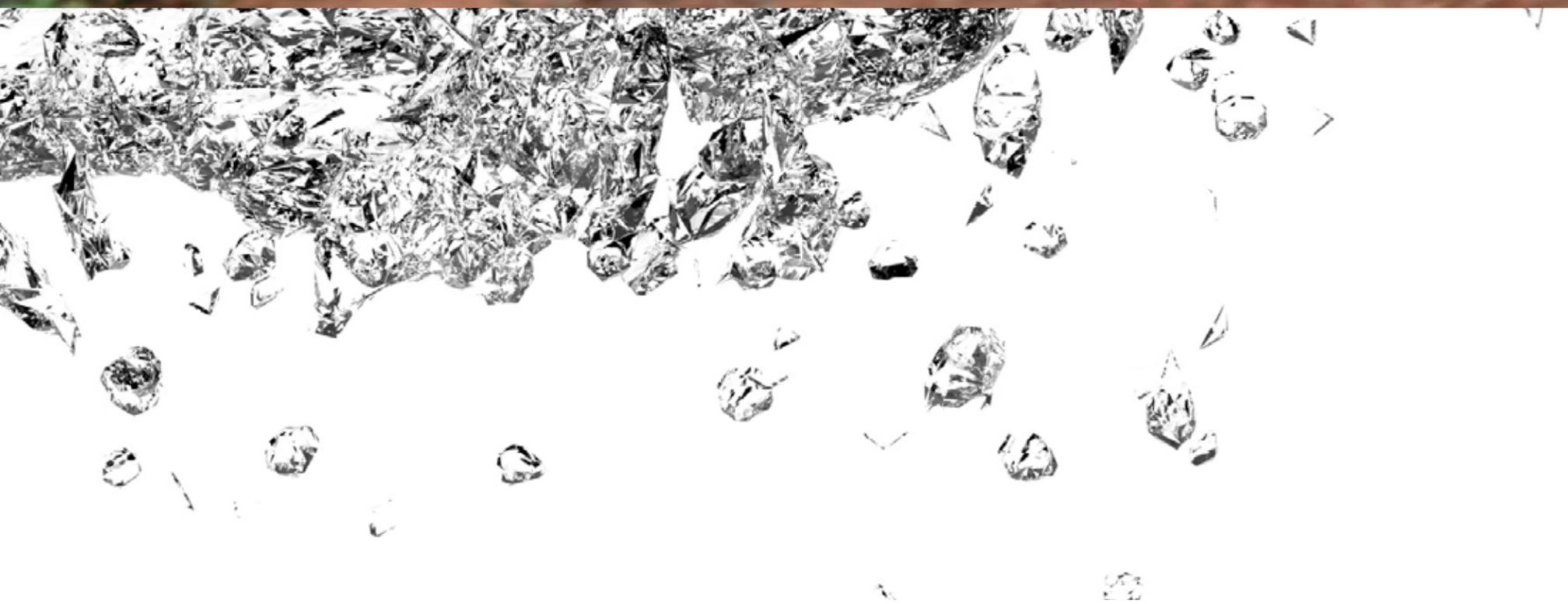
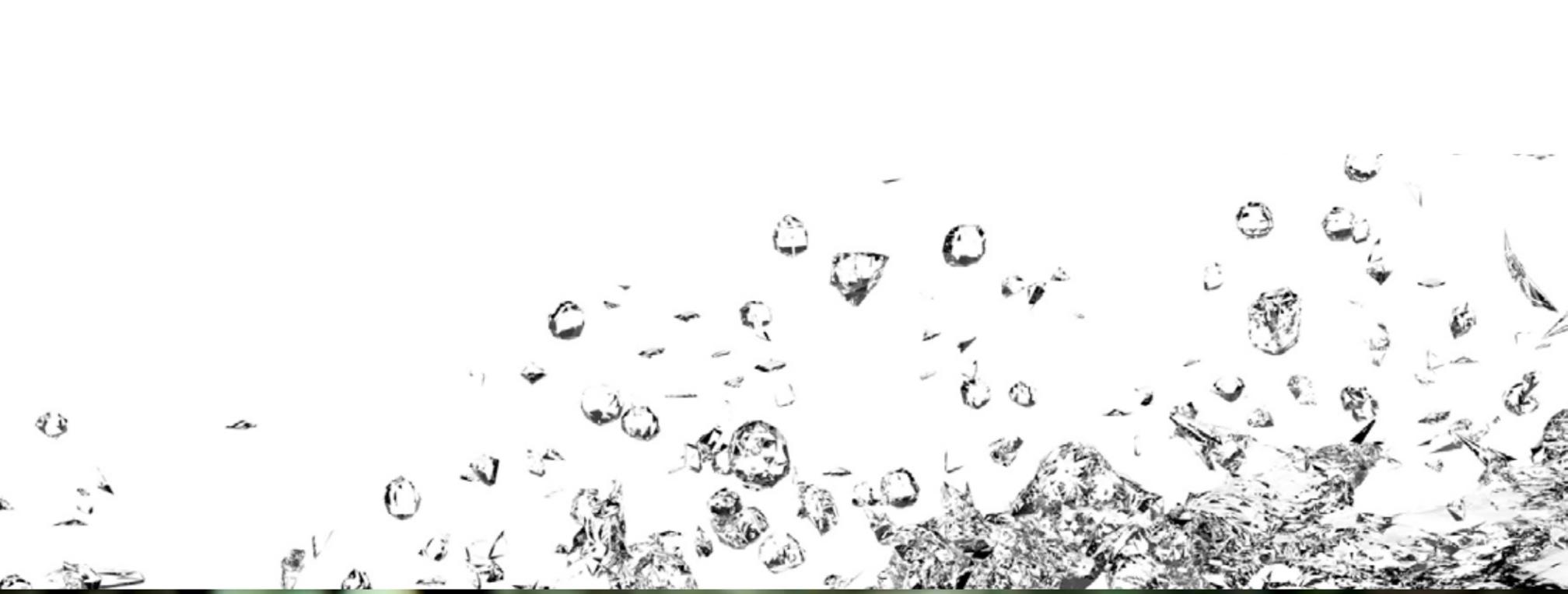


Figura 4.18. Esquema de la relación entre cada uno de los datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB (USGS, 2010).

Para obtener los parámetros que requiere el código del SWB y determinar la recarga potencial espacial de las cuencas Lerma y Balsas del Estado de México para los años 2008, 2015 y 2018 se realizaron las siguientes actividades:

- I. Recopilación y análisis de datos de uso de suelo, modelo digital de elevaciones, y datos climáticos del Estado de México.
- II. Establecer muestras en todos los tipos de suelo y horizontes presentes en todo el estado, obteniendo valores de permeabilidad, con muestras en periodo de estiaje y saturación. Diferenciando muestreo en campo y laboratorio.
- III. Elaborar la cartografía de tipos de suelo y/o material parental con valores de textura y permeabilidad escala 1:50,000, como resultado de la clasificación obtenida de los muestreos de campo referidos en el punto 1.
- IV. Elaborar el mapa estatal de zonas de recarga para los acuíferos del Estado de México, a escala 1: 250,000.



Fotografía: Probosque. Autor: David Israel Mendieta Mercado.

5.1. Usos de Suelo

Los diferentes usos de suelo que se tienen para el Estado de México fueron proporcionados por PROBOSQUE a escala 1:50,000, la información consiste en dos conjuntos de archivos en formato shapefile de los inventarios de uso de suelo para los años 2010 y 2014. En la figura 5.1 se presenta el inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2010 y en la figura 5.2 se presenta el inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014.

Como se puede observar en las Figura 5.1 y Figura 5.2 los datos de usos de suelo se tienen únicamente dentro de la poligonal del Estado de México, sin embargo debido a las características del código SWB, el cual requiere de un dominio rectangular para realizar la simulación, se hace necesario complementar la información de usos de suelo fuera de la poligonal del Estado de México con información existente con la que cuenta el INEGI para los estados vecinos. El criterio que se utilizó fue el siguiente:

Para complementar la información del inventario de usos de suelo del año 2010 se utilizó la información del INEGI publicada en 2013 (escala 1:250,000 y elaborada con datos del 2011). En la Figura 5.3 se presenta el Inventario de usos de suelo del Estado de México

para el año 2010 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI.

Para complementar la información del inventario de usos de suelo del año 2014 se utilizó la información del INEGI publicada en 2016 (escala 1:250,000 y elaborada con datos del 2014). En la Figura 5.4 se presenta el Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI.

A partir de la información que se presenta en la Figura 5.3 y Figura 5.4 se elaboraron los archivos de entrada (formato ráster) de usos de suelo para el modelo SWB de las cuencas Balsas y Lerma. En la Figura 5.5 y Figura 5.6 se presentan los datos de uso de suelo del año 2010 para las cuencas Balsas y Lerma, respectivamente; y en la Figura 5.7 y Figura 5.8 se presentan los datos de uso de suelo del año 2014 para las cuencas Balsas y Lerma, respectivamente.

Es importante aclarar que los datos que se presentan para el año 2010 (Figura 5.3) se usaran para realizar las simulaciones del año 2008 y los datos que se tienen del año 2014 (Figura 5.4) se usarán para realizar las simulaciones de los años 2015 y 2018.

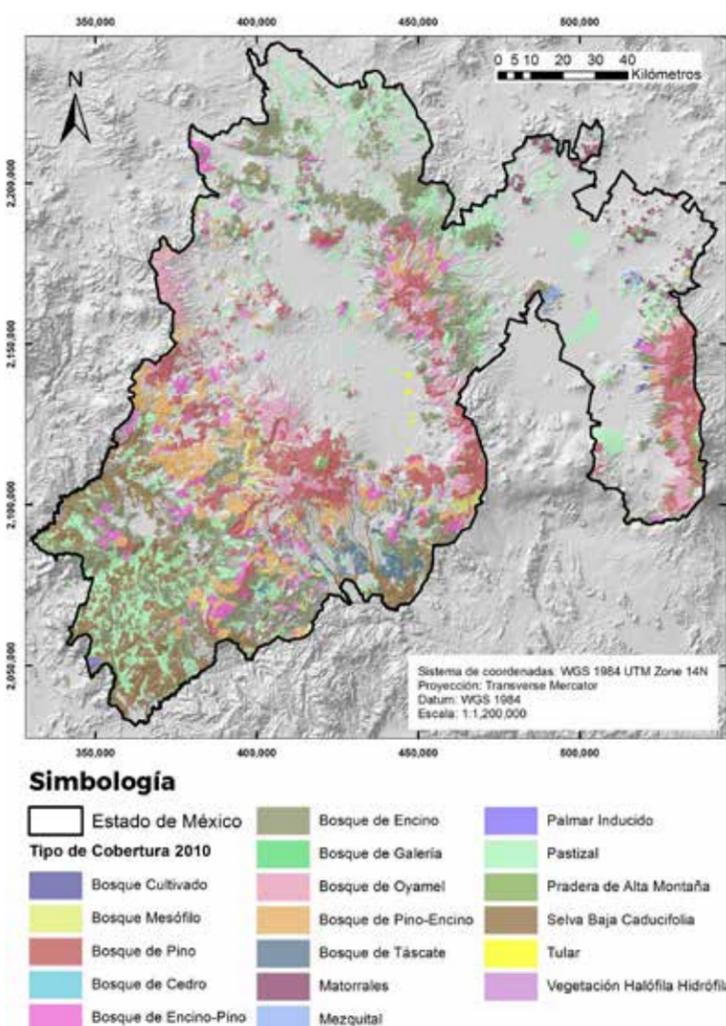


Figura 5.1. Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2010 (PROBOSQUE)

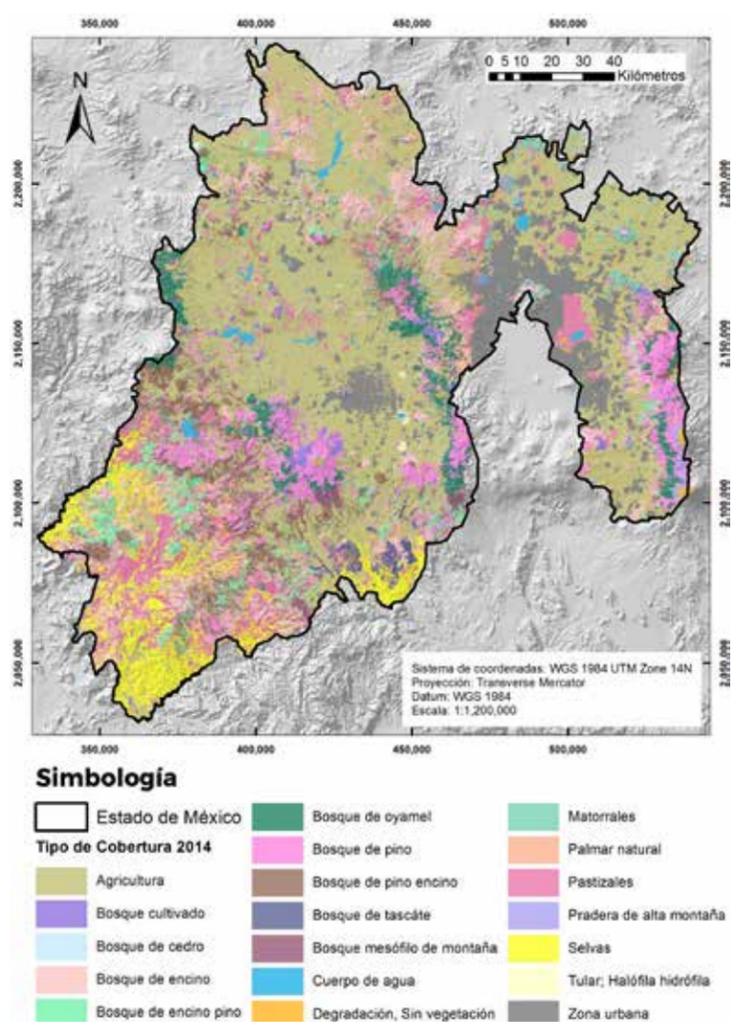
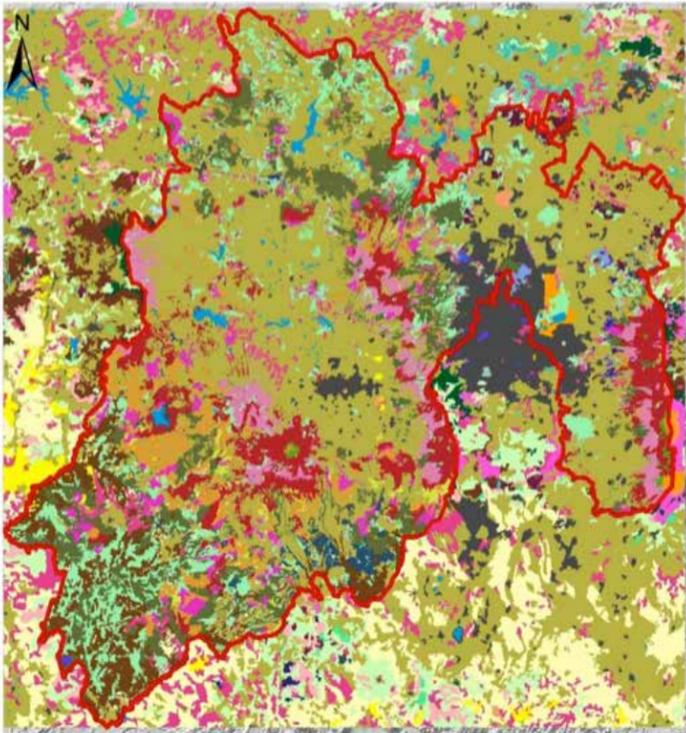


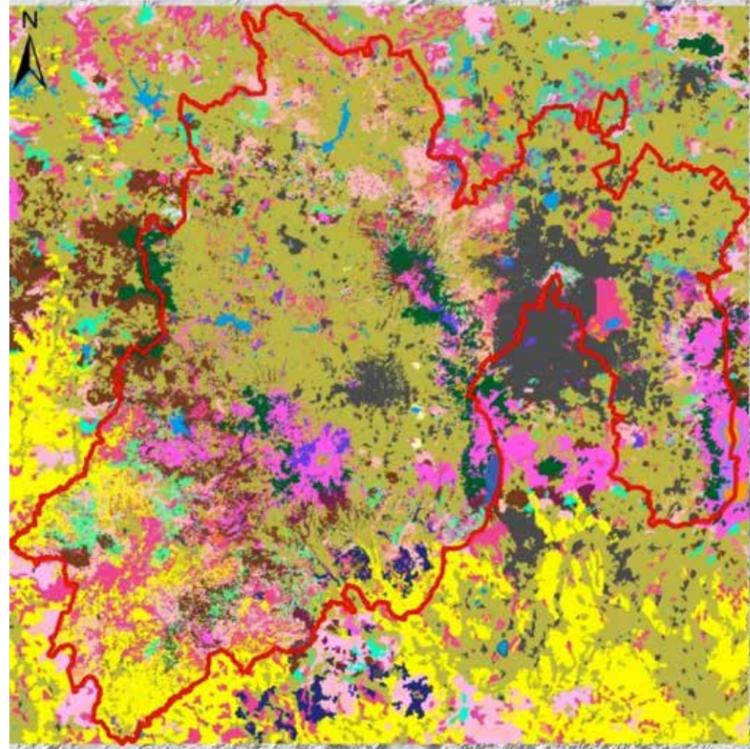
Figura 5.2. Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014 (PROBOSQUE)



Simbología

Estado de México	Bosque de Encino-Pino	Bosque Mesófilo de Montaña
Tipo de Cobertura	Bosque de Galería	Cuerpo de Agua
Agricultura	Bosque de Mezquite	Sin Vegetación Aparente
Zona Urbana	Bosque de Oyamel	Matorrales
Bosque Cultivado	Bosque de Pino	Otros
Bosque de Cedro	Bosque de Pino-Encino	Pastizales
Bosque de Encino	Bosque de Tascate	Selvas
Vegetación Secundaria de Bosque	Vegetación Secundaria de Matorral	Vegetación Secundaria de Selva

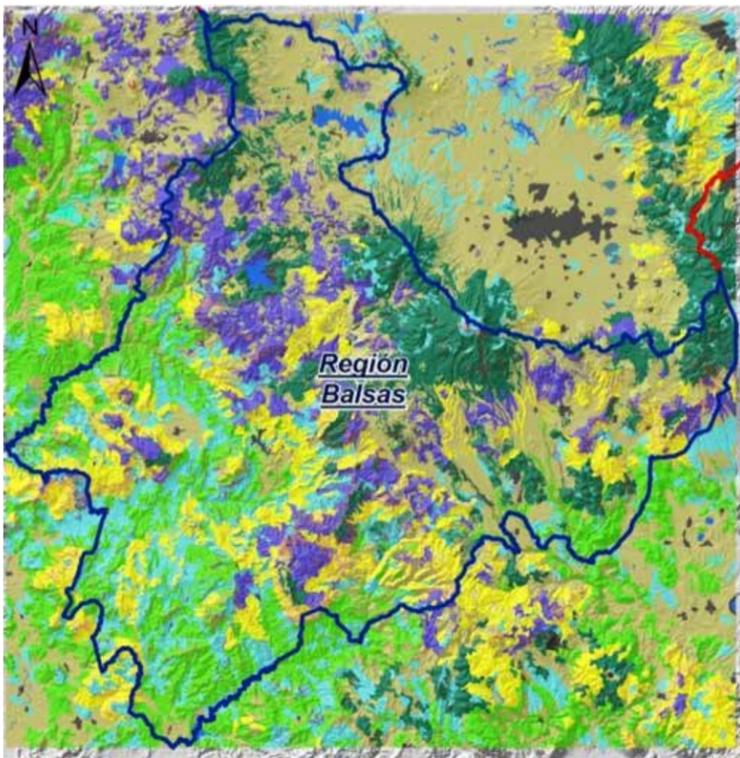
Figura 5.3. Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2010 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI, 2013.



Simbología

Estado de México	Bosque de oyamel	Matorrales
Tipo de Cobertura	Bosque de pino	Palmer natural
Agricultura	Bosque de pino encino	Pastizales
Bosque cultivado	Bosque de tascate	Pradera de alta montaña
Bosque de cedro	Bosque mesófilo de montaña	Selvas
Bosque de encino	Cuerpo de agua	Tular; Halófila hidrófila
Bosque de encino pino	Degradación, Sin vegetación	Zona urbana

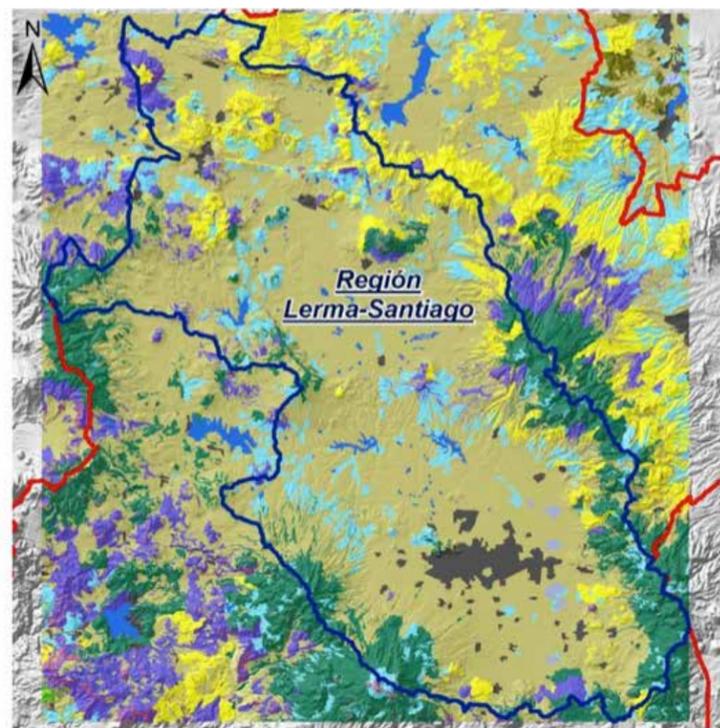
Figura 5.4. Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI, 2016.



Simbología

Balsas - Estado de México	150	199	304	361
Estado de México	160	200	312	375
USV Balsas 2010	161	212	319	377
Código SWB	175	217	340	390
104	177	219	350	399
112	190	240	360	

Figura 5.5. Datos de usos de suelo del año 2010 de la cuenca Balsas en el Estado de México para entrada del modelo SWB.



Simbología

Lerma-Santiago - Edo. México	112	190	240	350
Estado de México	150	199	250	361
USV Lerma 2010	161	200	304	375
Código SWB	175	212	312	377
104	177	217	340	390
				399

Figura 5.6. Datos de usos de suelo del año 2010 de la cuenca Lerma en el Estado de México para entrada del modelo SWB.

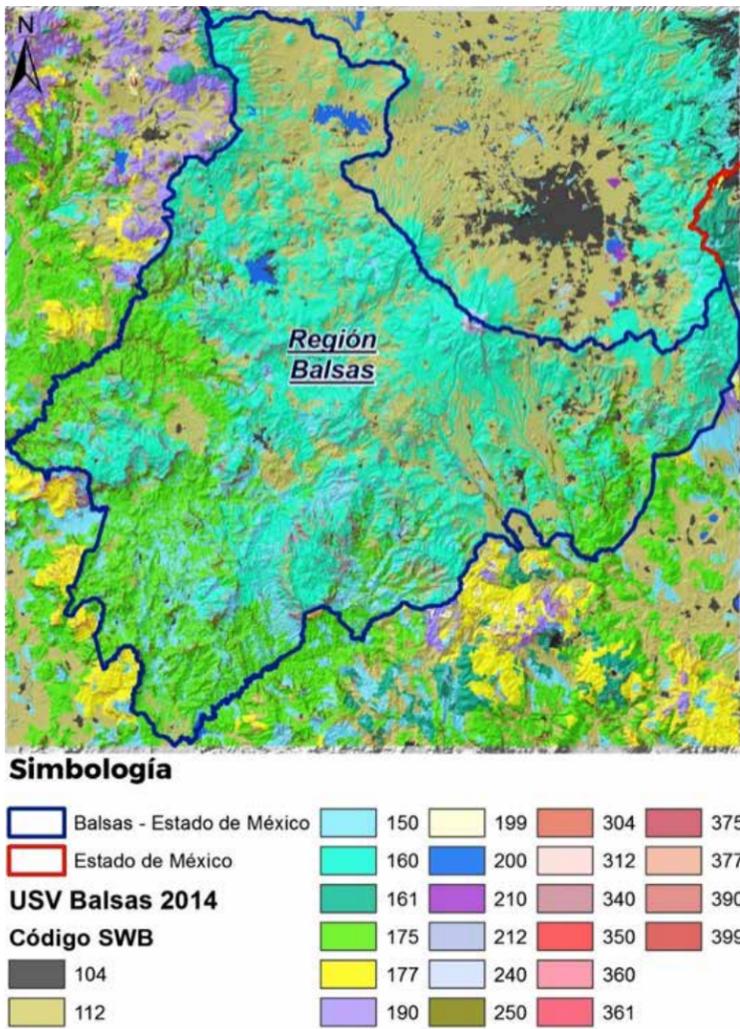


Figura 5.7. Datos de usos de suelo del año 2014 de la cuenca Balsas en el Estado de México para entrada del modelo SWB.

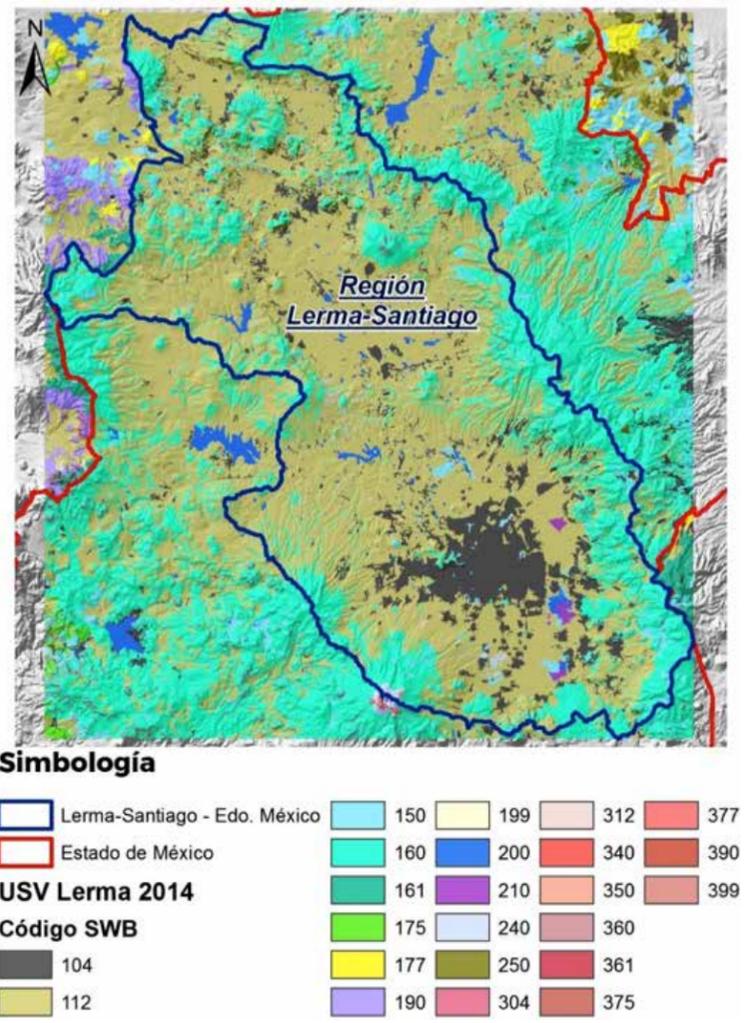


Figura 5.8. Datos de usos de suelo del año 2014 de la cuenca Lerma en el Estado de México para entrada del modelo SWB.

Los valores numéricos que se presentan en las figuras 5.5 a la 5.8 representan los diferentes usos de suelo que identifica el modelo SWB a los cuales les asigna una serie de características hidrológicas (p. ej. número de curva, intercepción, recarga máxima y profundidad radicular efectiva). En la Tabla 5.1 se presenta la caracterización de usos de suelo para el modelo SWB. Adicionalmente, para tomar en cuenta las características hidrológicas particulares de los terrenos escarpados, se identificaron aquellas zonas con pendientes iguales o mayores a 30° (considerando que en diversos estudios

se establece que a partir de pendientes mayores a 25° son zonas escarpadas, R. Heras 1976 o IGAC 2009); para ello se elaboró un ráster de pendientes a partir del MDE con la herramienta de ArcGIS "Pendiente" y posteriormente este ráster se sobrepuso a los rássteres de uso de suelo y se les asignó un nuevo código a estas zonas y se adicionaron los valores correspondientes a la nueva clasificación propuesta en la tabla de características hidrológicas dentro del sistema del modelo SWB, en la Tabla 5.2 se presenta la caracterización de los usos de suelo obtenida para zonas escarpadas.

Tabla 5.1. Caracterización de usos de suelo para el modelo SWB.

Uso del suelo y vegetación	Código SWB
Asentamientos humanos, urbano construido, zona urbana	104
Agricultura, agricultura de humedad anual, agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y permanente, agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de riego permanente, agricultura de riego semipermanente, agricultura de riego semipermanente y permanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal anual y semipermanente, agricultura de temporal permanente, agricultura de temporal semipermanente, agricultura de temporal semipermanente y permanente.	112
Palmar inducido, pastizal, pastizal cultivado, pastizal halófilo, pastizal inducido, pradera de alta montaña.	150
Selva mediana subcaducifolia, vegetación secundaria herbácea de selva mediana subcaducifolia, vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia, vegetación secundaria arbórea de selva mediana subcaducifolia, bosque con entre 30 y 60 % de cobertura, bosque con más del 60 % de cobertura, bosque con menos de 30 % de cobertura.	160
Bosque de cedro, bosque de oyamel, bosque de oyamel con vegetación secundaria arbórea, bosque de oyamel con vegetación secundaria arbustiva, bosque de oyamel con vegetación secundaria herbácea, bosque de pino, bosque de pino con vegetación secundaria arbórea, bosque de pino con vegetación secundaria herbácea, bosque de táscate, bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva, bosque pino con vegetación secundaria arbustiva, vegetación secundaria arbórea de bosque de cedro, vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate, vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate.	161
Selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbórea, selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva, selva baja caducifolia con vegetación secundaria herbácea, selva con más del 20 % de cobertura, selva con menos de 20 % de cobertura, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia.	175
Bosque de encino, bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, bosque de encino con vegetación secundaria herbácea, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbórea, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria herbácea de bosque de encino.	177

Tabla 5.1 Caracterización de usos de suelo para el modelo SWB (continuación).

Uso del suelo y vegetación	Código SWB
Bosque cultivado, bosque de encino-pino, bosque de encino-pino con vegetación secundaria arbórea, bosque de encino-pino con vegetación secundaria arbustiva, bosque de pino-encino, bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbórea, bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbustiva, bosque de pino-encino con vegetación secundaria herbácea, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino.	190
Bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña.	199
Agua, cuerpo de agua	200
Humedales	210
Tular	212
Vegetación Halófila Hidrófila	217
Bosque de Galería	219
Área Desprovista de Vegetación, Sin Vegetación Aparente	240
Bosque de Mezquite, Matorral, Matorral Crasicaule, Matorral Sarcocaulle, Matorral Subtropical, Matorral Desértico Rosetófilo, Matorral Crasicaule con Vegetación Secundaria Arbórea, Matorral Crasicaule con Vegetación Secundaria Arbustiva, Mezquital, Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Mezquite, Vegetación Secundaria Arbustiva de Matorral Crasicaule, Vegetación Secundaria Arbustiva de Matorral Desértico Rosetófilo.	250

Tabla 5.2. Caracterización de usos de suelo en zonas escarpadas para el modelo SWB.

Código SWB	Uso del suelo y vegetación
304	Asentamientos urbanos (escarpado)
312	Agricultura (escarpado)
350	Pastizal (escarpado)
360	Selvas altas y medianas, bosques sin cobertura total (escarpado)
361	Bosques de coníferas (pino, oyamel, cedro, táscate) (escarpado)
375	Selvas bajas (escarpado)
377	Bosques de latifoliadas (encino) (escarpado)
390	Bosques de coníferas y latifoliadas (encino-pino, pino-encino) (escarpado)
399	Bosques de latifoliadas (mesófilo de montaña) (escarpado)
319	Selva de galería, bosque de galería (escarpado)
340	Sin vegetación aparente (escarpado)

herramienta "De rásster a ASCII". Cada una de las ocho direcciones posibles se representa por un número predefinido (ver Figura 5.9). En la Figura 5.11 y Figura 5.12 se presentan las direcciones de flujo para las cuencas Balsas y Lerma, respectivamente, para ser usadas como entrada del Modelo SWB.

32	64	128
16	Celda central	1
8	4	2

Figura 5.9. Definición de las direcciones de flujo.

5.2. Modelo digital de elevaciones

En este trabajo se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones de alta resolución denominado ALOS PALSAR el cual tiene una resolución remuestreada de 12.5 x 12.5 metros; los datos provienen de imágenes de satélite tomadas de 2006 a 2011 por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA). En la siguiente Figura 5.10 se muestra el mapa del Modelo Digital de Elevaciones del Estado de México, el cual se elaboró mediante la unión de las diferentes imágenes que conforman dicha Entidad. El modelo digital de elevaciones es importante porque a partir de éste se definen las direcciones del flujo en el área de estudio.

Antes de proceder a obtener las direcciones de flujo de la zona de estudio se quitaron las imperfecciones existentes en los datos de elevación que pudieran provocar direcciones de drenaje indefinidas conocidas como sumideros, para esto se aplicó la herramienta "Relleno" del software ArcGis. Finalmente se aplicó la herramienta "Dirección de flujo" del software ArcGis para obtener los valores de la dirección del flujo de cada una de las celdas de las zonas de estudio y se exportó al formato requerido por el modelo con la he-

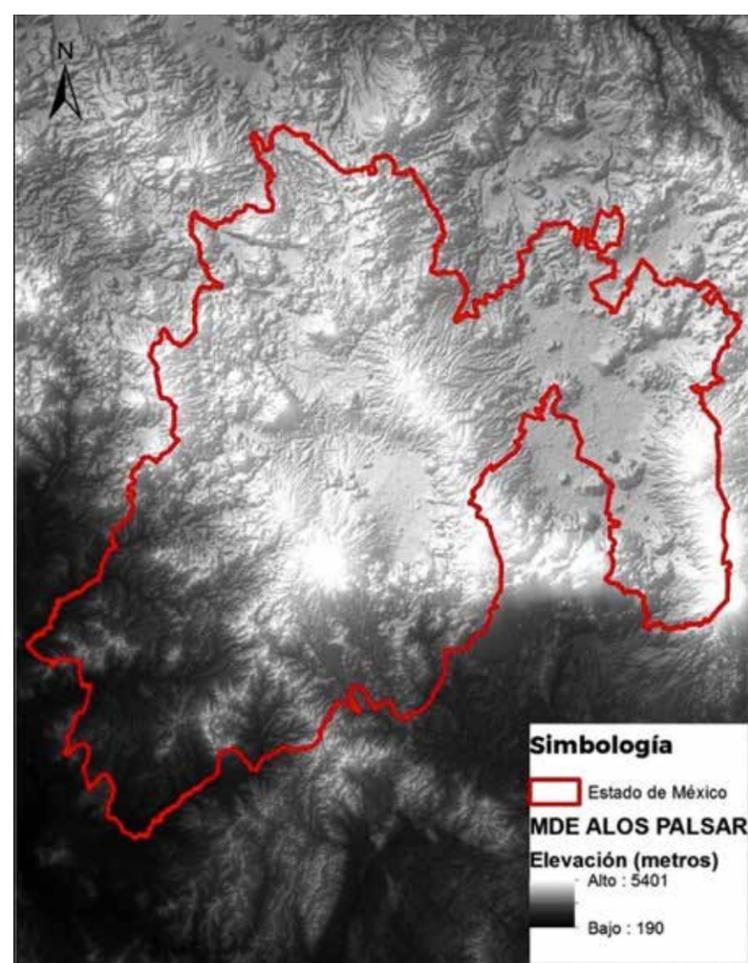


Figura 5.10. Ráster obtenido de direcciones de flujo, Región Lerma, Estado México.
Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.

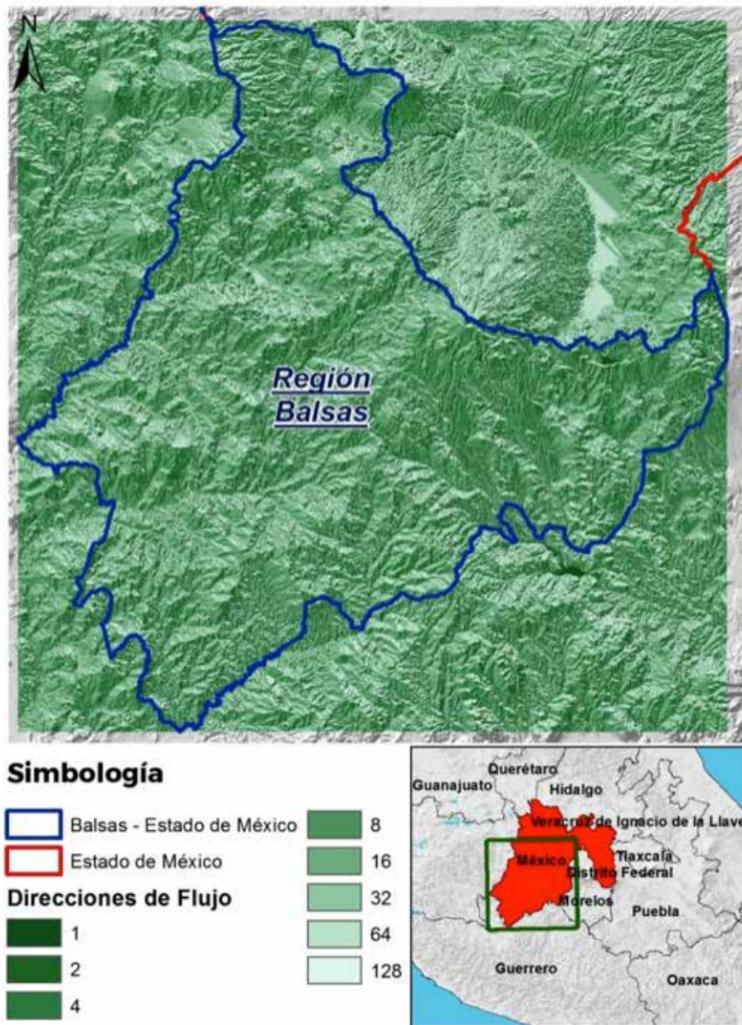


Figura 5.11. Modelo Digital de Elevación para la zona del Estado de México, ALOS PALSAR.
Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.

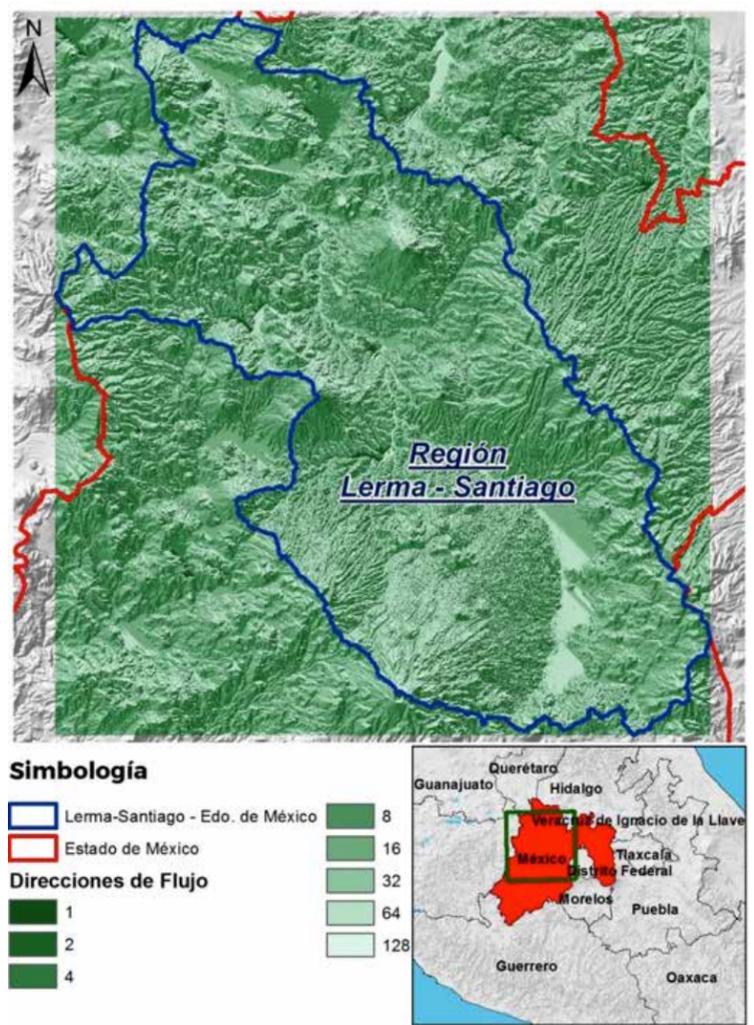


Figura 5.12. Ráster obtenido de direcciones de flujo, Región Balsas, Estado México.
Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.

5.3. Datos climáticos

El Sistema Meteorológico Nacional (SMN) administra una red de estaciones climáticas superficiales en la República Mexicana así como sus bases de datos correspondientes, y se puede acceder a ellas mediante el sistema CLICOM. CLICOM es un sistema de software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas, que significa CLimate COMputing project. Las observaciones diarias del CLICOM representan los datos recopilados durante las últimas 24 horas, finalizando a las 08:00 AM a los cuales el SMN les realiza un control de calidad inicial. Cada una de

las diferentes estaciones del país contiene diferentes periodos de información, presentando datos de 1920 a 2018.

En el proyecto actual, el área de interés es la región delimitada por el Estado de México a través de sus cuencas, por lo que se tomaron en consideración estaciones climáticas ubicadas en dicho estado, así como regiones cercanas en estados colindantes (Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Distrito Federal), que contarán con registros disponibles de las variables lámina de precipitación en mm/día, Temperatura máxima y Temperatura mínima. En la Figura 5.13 se presenta la ubicación de las estaciones climáticas convencionales de la base de datos del CLICOM.

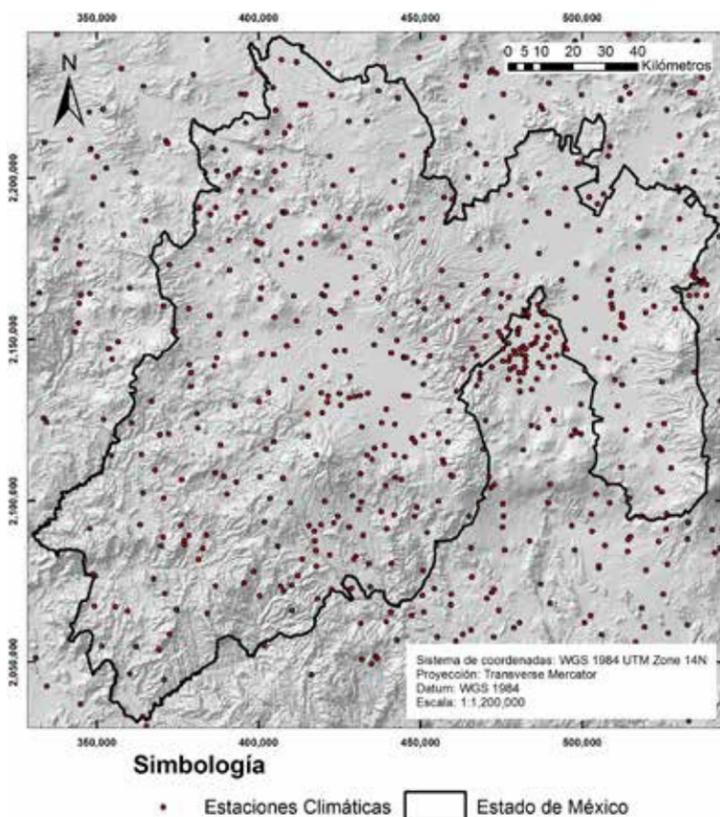


Figura 5.13. Ubicación de estaciones climáticas convencionales (CLICOM).

5.3.1. Precipitación media anual

El procesamiento incluyó la lectura de los archivos provenientes del sistema Clicom, la selección de la variable "precipitación en 24 hrs (mm)", obtención de los valores diarios, la generación de acumulados mensuales y anuales, para estaciones que contarán con por lo menos 10 años de información, así como la integración de los resultados asociándolo con la información de la estación correspondiente y sus características de operación. Posteriormente mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se desplegó la ubicación e información de cada estación para los estados revisados, generando el mapa de climatología de precipitación media anual mediante el método de interpolación espacial denominado Funciones de Base Radial (RBF por sus siglas en inglés). Las RBF son una serie de técnicas de interpolación exacta, es decir la superficie debe pasar por cada valor de muestra medido. Los métodos RBF son un caso especial de splines. En la Figura 5.14 se presenta la lámina de precipitación media anual del Estado de México.

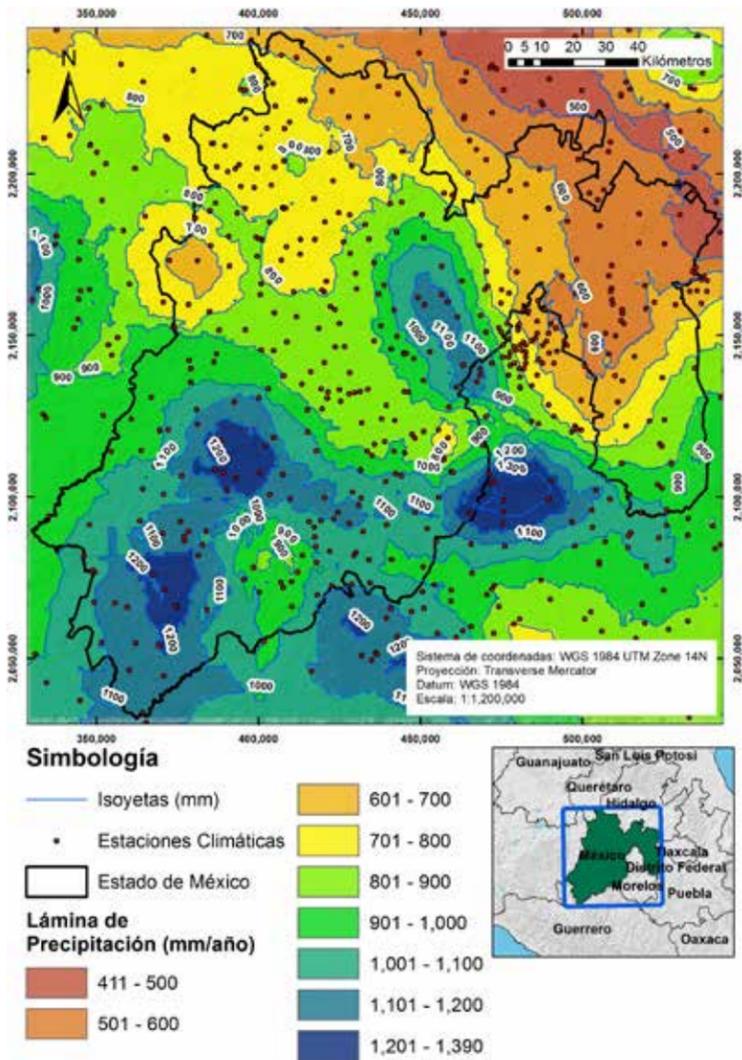


Figura 5.14. Lámina de precipitación media anual en el Estado de México.

5.3.2. Datos climáticos para el modelo SWB

Entre los insumos que requiere el modelo SWB para su ejecución, se encuentran los datos de precipitación, temperatura mínima, y temperatura máxima, distribuidas espacialmente, para los años 2008, 2015 y 2018, que son los años elegidos para realizar la simulación en las cuencas Balsas y Lerma.

En lo que respecta al manejo, procesamiento y análisis de la información se elaboraron scripts empleando códigos de programación en el lenguaje del software GrADS (Grid Analysis and Display System). El software GrADS es una herramienta de escritorio interactiva que es usada para acceso práctico, manipulación y visualización de datos científicos de Ciencias de la Tierra, provenientes de estaciones o de modelos numéricos. GrADS soporta archivos en múltiples formatos, incluyendo binarios, Grib (versiones 1 y 2), NetCDF, HDF (versiones 4 y 5) y BUFR. GrADS ha sido implementado en varios países, en una amplia variedad de sistemas operativos y distribuidos de forma libre.

A partir de la información puntual de cada estación climática analizada sobre la cuenca de interés, se procedió a estructurar los archivos contenedores con el fin de realizar una lectura óptima de procesos posteriores, generando archivos en formato .csv delimitados por comas. La lectura y procesamiento de dichos archivos, así como el acondicionamiento de ficheros en formato NetCDF se realizó mediante la construcción de scripts en código de programación Python.

Una vez que el código desarrollado en el lenguaje Python lee los archivos en formato .csv de la información climatológica, las localizaciones de las estaciones climáticas son transformadas de coordenadas geográficas (latitud/longitud) a formato UTM, Datum WGS84, región 14, para ser interpoladas mediante el método de RBF y generar una matriz regular de datos que cubra la región analizada, correspondientes a las cuencas del Estado de México.

La matriz de datos resultante de la interpolación de datos climáticos debe comprender un total de 2822 columnas x 2842 filas, lo que significa un total de más de 8 millones de celdas por cada malla diaria generada. El análisis contemplado requiere 3 variables con 365 soluciones para cada año, de tres años, y considerando 2 cuencas, lo que conlleva a la necesidad de un gran poder de cómputo y de tiempo para el procesamiento de dicha información y generar los archivos de las interpolaciones diarias para cada año y cuenca de análisis en formato NETCDF.

El formato NetCDF (formulario de datos comunes en la red) es un formato de archivo destinado a almacenar datos científicos multidimensionales (variables) como la temperatura, la humedad, la presión, la velocidad del viento y la dirección. Cada una de estas variables se puede mostrar mediante una dimensión, por ejemplo, tiempo o nivel (Figura 5.15). Fue creado por UNIDATA como formato estándar para que sea usado en algunos de los softwares que ofrece a la comunidad científica. La característica de este formato es que contiene la suficiente información para poder saber qué clase de dato se encuentra en el archivo (tipo de variable, unidades, dimensiones, institución que la creó, etc.) a diferencia de otros formatos que necesitan de un archivo adicional para su correcta interpretación. También se puede contar como otra de sus características la portabilidad de su formato, es decir, que puede ser manipulado por cualquier computadora que tenga las librerías NetCDF instaladas en su disco duro.

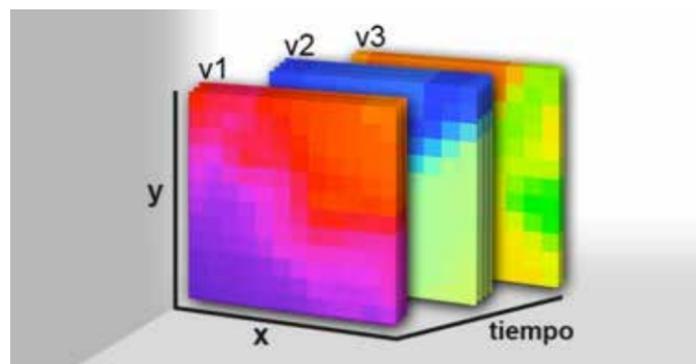


Figura 5.15. Superposición de información en formato NetCDF.

Para el caso de este análisis, mediante librerías NETCDF para código Python, se desarrollaron scripts que, una vez generadas las mallas regulares mediante interpolación con el método RBF, se procedió a guardar en cada paso de tiempo ($\Delta \equiv 1 \text{ día}$) una a una las soluciones generadas, integrando en un solo archivo NetCDF el total de pasos de tiempo correspondientes a un año (365 días), de manera individual para cada variable. Se generaron así los archivos en formato NETCDF de las interpolaciones diarias de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para las cuencas Balsas y Lerma para los años 2008, 2015 y 2018, mismos que serán parte de los parámetros de entrada de modelo SWB.

5.4. Identificación y obtención de muestras de los tipos y horizontes de suelo

5.4.1. Perfiles de suelo en áreas de PSAHEM

Con el apoyo del SIG ArcGis y mediante el álgebra de mapas, se sobrepusieron los mapas de los siguientes temas: unidades de suelo escala 1:50,000, uso de suelo y vegetación (2014), áreas de PSAHEM (2018), redes viales (2017) y delegaciones de PROBOSQUE, y se realizó el siguiente procedimiento:

- Obtención del centroide de los polígonos que conforman los PSAHEM.
- Se creó un buffer de la red vial a 500 m (solo se consideran carreteras y caminos)
- Se extrajeron los puntos que quedaron en el buffer.
- Se seleccionaron 71 puntos que fueron los sitios donde se realizaron los perfiles de suelo, considerando solamente las unidades de suelo más representativas y que están dentro de las áreas de PSAHEM.
- Se agregaron las características de la unidad de suelo, el tipo de vegetación, las coordenadas X y Y y la elevación en msnm (Tabla 5.3).

En el mapa de la Figura 5.16 se presenta la ubicación de los 71 sitios de perfiles de suelo.

De acuerdo con lo requerido, se ubicaron perfiles de suelo en áreas agrícolas, con pastizales u otro tipo de vegetación que considere unidades de suelo cercanas a las áreas con PSAHEM, para que así se pueda realizar una comparación de información.

En la Tabla 5.3 se incluyen los perfiles de suelo que se realizaron considerado lo solicitado por PROBOSQUE. Analizando la información se puede mencionar lo siguiente:

- a) Se contempla 10 unidades principales de suelo y la cantidad de perfiles que se realizaron por unidad de suelo se presenta a continuación:

Unidad de Suelo	No. de perfiles de suelo
Acrisol	2
Andosol	20
Cambisol	12
Feozem	13
Litosol	3
Luvisol	6
Planosol	3
Regosol	5
Rendzina	2
Vertisol	5
Total	71

- b) Además, se contemplan 18 subunidades de suelos, que serían las siguientes: Acrisol órtico, Andosol húmico, Andosol mólico, Andosol ócrico, Cambisol crómico, Cambisol dístrico, Cambisol éutrico, Cambisol húmico, Feozem háptico, Feozem lúvico, Litosol, Luvisol crómico, Luvisol férrico, Planosol húmico, Planosol mólico, Regosol éutrico, Rendzina y Vertisol pélico.

- c) Los tipos de vegetación y/o uso de suelo que se contemplaron y la cantidad de perfiles de suelo que se realizaron en cada uno, se presenta enseguida:

Tipo de vegetación / Uso de Suelo	No. de perfiles de suelo
Agricultura de temporal (con cultivo de avena, maíz, en descanso con pastizal, frutícola con durazno y huerta de aguacate)	8
Bosque cultivado (plantaciones de diversos años y vegetación incluyendo eucalipto)	15
Bosque de encino	12
Bosque de encino pino	5
Bosque de oyamel	6
Bosque de pino	5
Bosque de pino encino	14
Bosque de táscate	2
Bosque mesófilo de montaña	1
Matorral crasicuale	1
Selva baja caducifolia	2
Total	71

A continuación se muestra la cantidad de perfiles que se realizaron por Delegación de PROBOSQUE:

Delegación de PROBOSQUE	No. de perfiles de suelo
I-Toluca	10
II-Naucalpan	5
III-Texcoco	5
IV-Tejupilco	7
V-Atzacmulco	26
VI-Coatepec Harinas	11
VII-Valle de Bravo	3
VIII-Amecameca	4
Total	71

- e) Se realizaron los perfiles de suelo en el periodo de marzo a mayo de 2019.

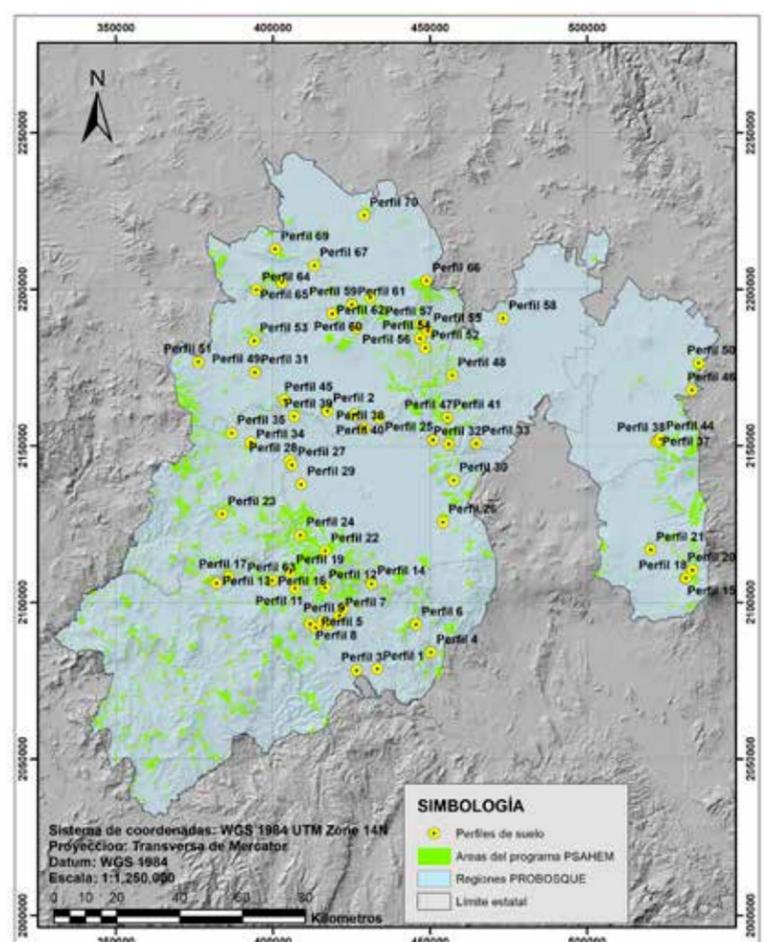


Figura 5.16. Ubicación de sitios donde se realizaron perfiles de suelo en áreas de PSAHEM.

Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

5.4.2. Perfiles de suelo del INEGI

Adicionalmente, se ubicaron los perfiles de suelo de INEGI que están dentro del Estado de México, en la Figura 5.17 se presenta su ubicación en el mapa. La información se obtuvo de cartografía en escala 1:250,000 del continuo nacional de Perfiles de Suelo Serie II en la cual se incluye la información de perfiles de suelo levantada en campo y pruebas de laboratorio, así como su localización y en algunos casos fotografía del perfil de suelo. En el Estado de México se encontraron 31 perfiles de suelo en 12 grupos de suelos, esta información se presenta en la Tabla 5.4.

En el Anexo 2 se presenta la descripción de los 31 perfiles de suelo, ésta se realizó considerando la información cartográfica que se obtuvo de INEGI y se adaptó al formato tipo que se utilizó en el presente estudio.

Al conjuntar los perfiles de suelo tanto de INEGI como los realizados durante el desarrollo del presente estudio, se tuvieron en total 102 perfiles de suelo. En el mapa de la Figura 5.18 se presenta la ubicación de todos los perfiles de suelo.

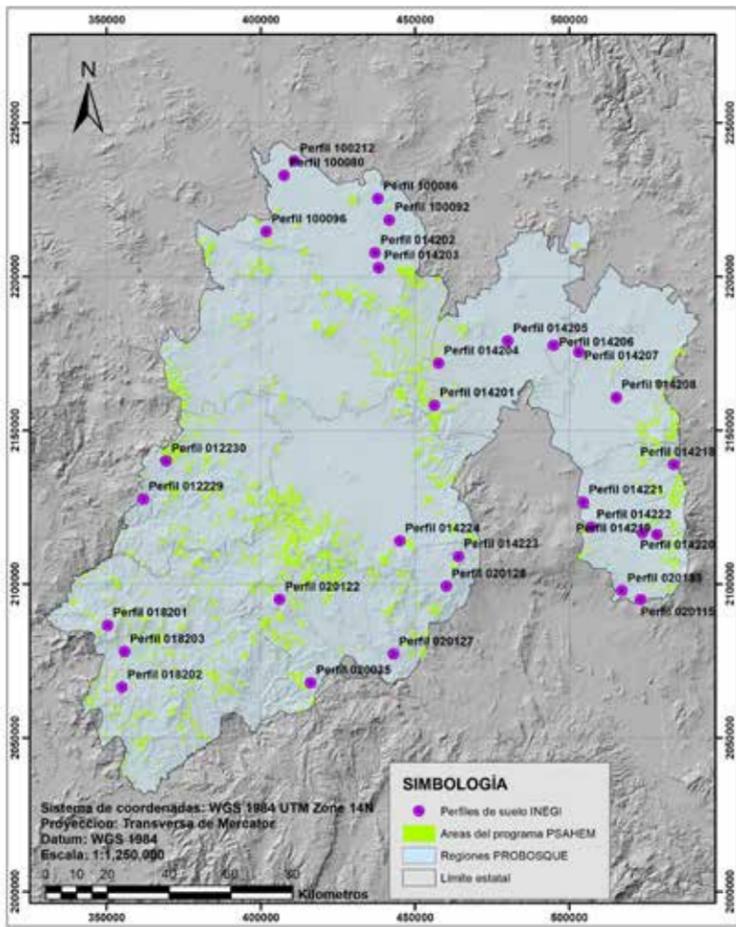


Figura 5.17. Ubicación de sitios de perfiles de suelo de INEGI.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

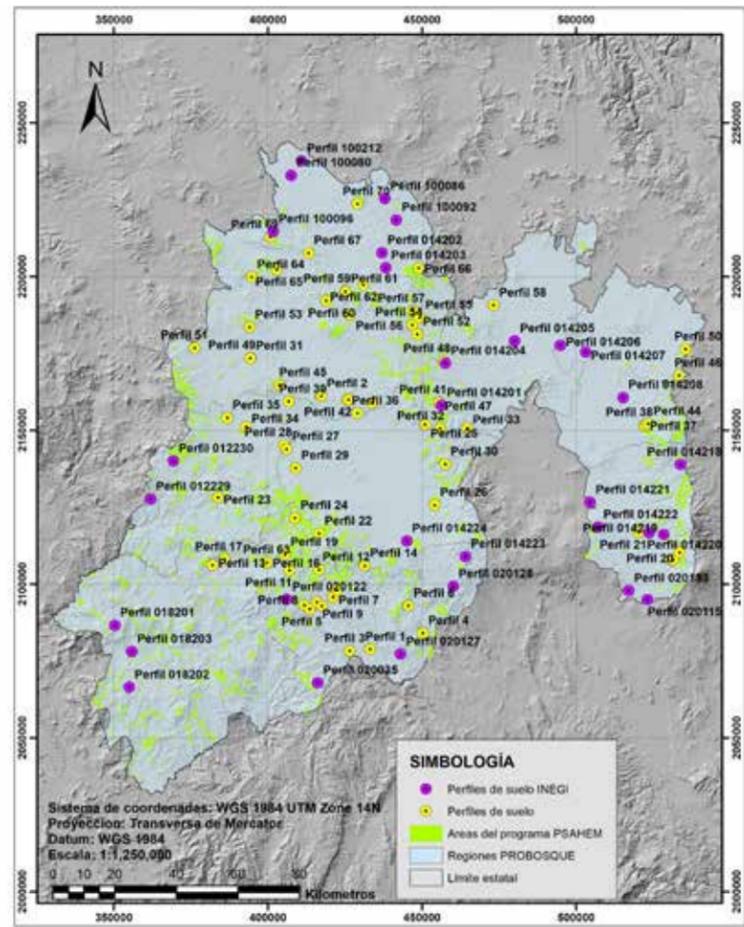


Figura 5.18. Ubicación de todos los sitios de perfiles de suelo.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

Tabla 5.3. Información general de cada sitio del perfil de suelo.

No. Perfil	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Delegación PROBOSQUE	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
					Longitud (X)	Latitud (Y)	
1	E	Rendzina	Selva baja caducifolia	VI - COATEPEC HARINAS	433158.00	2078809.00	1707
2	Vp	Vertisol pélico	Agricultura de temporal (en descanso pastizal)	V - ATLACOMULCO	417275.00	2161143.00	2606
3	Re	Regosol éutrico	Bosque de táscate	VI - COATEPEC HARINAS	426528.00	2078296.00	1789
4	E	Rendzina	Bosque de táscate	VI - COATEPEC HARINAS	450224.00	2084072.00	1401
5	Lf	Luvisol férrico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	413563.00	2091861.00	2203
6	Hh	Feozem háplico	Selva baja caducifolia	VI - COATEPEC HARINAS	445558.00	2092935.00	1736
7	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	421082.00	2095799.00	2491
8	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	411791.00	2093202.00	2574
9	Be	Cambisol éutrico	Bosque mesófilo de montaña	VI - COATEPEC HARINAS	415857.00	2094142.00	2282
10	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	422404.00	2098066.00	2467
11	Hh	Feozem háplico	Bosque de oyamel	IV - TEJUPILCO	406986.00	2104516.00	2936
12	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	VI - COATEPEC HARINAS	416555.00	2104708.00	2915
13	Ao	Acrisol órtico	Bosque de encino pino	IV - TEJUPILCO	382043.00	2106122.00	1803
14	I	Litosol	Bosque de pino encino	I - TOLUCA	431393.00	2105997.00	2726
15	Re	Regosol éutrico	Bosque de pino encino	VIII - AMECAMECA	531208.00	2107673.00	2992
16	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	IV - TEJUPILCO	399734.00	2106708.00	2323
17	Bd	Cambisol dístrico	Bosque de pino encino	IV - TEJUPILCO	385887.00	2108089.00	2242
18	Re	Regosol éutrico	Bosque de oyamel	VIII - AMECAMECA	531466.00	2107751.00	3012
19	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	IV - TEJUPILCO	405481.00	2109563.00	2898
20	Re	Regosol éutrico	Bosque de oyamel	VIII - AMECAMECA	533536.00	2110300.00	3224
21	Re	Regosol éutrico	Bosque cultivado	VIII - AMECAMECA	520235.00	2116809.00	2464
22	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	416579.00	2116456.00	3791
23	Ao	Acrisol órtico	Bosque de pino encino	VII - VALLE DE BRAVO	383814.00	2128160.00	2077

Resultados

Tabla 5.3 Información general de cada sitio del perfil de suelo. (Continuación).

No. Perfil	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Delegación PROBOSQUE	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
					Longitud (X)	Latitud (Y)	
24	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	IV - TEJUPILCO	408716.00	2121482.00	2979
25	To	Andosol ócrico	Agricultura de temporal (maíz)	I - TOLUCA	450994.00	2151885.00	3013
26	I	Litosol	Bosque de encino	I - TOLUCA	454067.00	2125658.00	2716
27	Hh	Feozem háplico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	406083.00	2143898.00	2618
28	Vp	Vertisol pélico	Bosque de pino	I - TOLUCA	405235.00	2145197.00	2593
29	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	408998.00	2137719.00	2807
30	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	I - TOLUCA	457522.00	2139010.00	3226
31	Wh	Planosol húmico	Agricultura de temporal (maíz)	V - ATLACOMULCO	394278.00	2173450.00	2664
32	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	I - TOLUCA	455871.00	2150590.00	3178
33	Be	Cambisol éutrico	Bosque de encino	II - NAUCALPAN	464666.00	2150740.00	2873
34	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	VII - VALLE DE BRAVO	392851.00	2151130.00	2614
35	To	Andosol ócrico	Bosque cultivado	VII - VALLE DE BRAVO	386823.00	2154074.00	2675
36	Wm	Planosol mólico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	429052.00	2155554.00	2596
37	Bd	Cambisol dístico	Bosque de encino	III - TEXCOCO	522025.00	2151358.00	2731
38	Bd	Cambisol dístico	Bosque de encino pino	III - TEXCOCO	522636.00	2151772.00	2753
39	Tm	Andosol mólico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	406722.00	2159371.00	3272
40	Be	Cambisol éutrico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	433718.00	2158977.00	2748
41	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	II - NAUCALPAN	455528.00	2159035.00	3045
42	Hh	Feozem háplico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	426074.00	2159988.00	2931
43	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	417161.00	2161312.00	2579
44	Bh	Cambisol húmico	Bosque de encino	III - TEXCOCO	523376.00	2152086.00	2798
45	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino	V - ATLACOMULCO	403710.00	2164680.00	2977
46	Be	Cambisol éutrico	Bosque de pino encino	III - TEXCOCO	533411.00	2167821.00	2847
47	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	II - NAUCALPAN	455521.00	2158958.00	3042
48	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	II - NAUCALPAN	457071.00	2172525.00	2728
49	Wh	Planosol húmico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	394389.00	2173580.00	2664
50	Hh	Feozem háplico	Matorral crasicaule	III - TEXCOCO	535435.00	2176440.00	2757
51	To	Andosol ócrico	Bosque de oyamel	V - ATLACOMULCO	376235.00	2176864.00	2921
52	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	448462.00	2181243.00	2637
53	To	Andosol ócrico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	393971.00	2183570.00	2933
54	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	446775.00	2184300.00	2618
55	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	449281.00	2186695.00	2487
56	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado (de 3 años, antes agrícola)	V - ATLACOMULCO	426636.00	2187602.00	2732
57	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	446932.00	2188891.00	2544
58	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado (eucalipto)	II - NAUCALPAN	473236.00	2190710.00	2298
59	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	V - ATLACOMULCO	425065.00	2195232.00	2776
60	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	418879.00	2192142.00	2804
61	Th	Andosol húmico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	425073.00	2195191.00	2786
62	Hh	Feozem háplico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	430898.00	2197345.00	2785
63	Bc	Cambisol crómico	Agricultura de temporal (frutícola durazno)	IV - TEJUPILCO	399767.00	2107077.00	2308
64	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	394707.00	2199847.00	2525
65	HI	Feozem lúvico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	402832.00	2202244.00	2871
66	I	Litosol	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	448911.00	2202773.00	2689
67	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	413111.00	2207640.00	2759
68	Hh	Feozem háplico	Agricultura de temporal (maíz)	V - ATLACOMULCO	425520.00	2159953.00	2787
69	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	400720.00	2212835.00	2845
70	Be	Cambisol éutrico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	428968.00	2223626.00	2686
71	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (huerta de aguacate)	VI - COATEPEC HARINAS	417520.00	2092842.00	2274

Tabla 5.4. Información general de los perfiles de suelo del Continuo Nacional Serie II de INEGI.

No.	No. de Identificación	Grupo de Suelo	Tipo de vegetación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
				Longitud (X)	Latitud (Y)	
1	12229	Regosol	Bosque	361,913	2,127,668	1700
2	12230	Luvisol	Bosque	369,259	2,140,069	2500
3	14201	Andosol	Bosque	456,254	2,158,142	2995
4	14202	Cambisol	Agricultura de temporal	436,975	2,207,746	2740
5	14203	Luvisol	Pastizal	438,179	2,202,857	2611
6	14204	Luvisol	Bosque	457,618	2,171,805	2718
7	14205	Vertisol	Agricultura de riego	480,051	2,179,073	2275
8	14206	Solonetz	Agricultura de riego	494,905	2,177,682	2260
9	14207	Durisol	Agricultura de temporal	503,034	2,175,429	2370
10	14208	Phaeozem	Agricultura de riego	515,194	2,160,693	2294
11	14218	Luvisol	Bosque	533,858	2,138,855	3024
12	14219	Umbrisol	Bosque	528,356	2,116,088	2637
13	14220	Phaeozem	Pastizal	523,620	2,116,779	2480
14	14221	Gleysol	Pastizal	504,549	2,126,622	2270

Tabla 5.4 Información general de los perfiles de suelo del Continuo Nacional Serie II de INEGI. (Continuación).

No.	No. de Identificación	Grupo de Suelo	Tipo de vegetación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
				Longitud (X)	Latitud (Y)	
15	14222	Leptosol	Bosque	507,030	2,118,533	2893
16	14223	Andosol	Bosque	464,041	2,108,961	3140
17	14224	Gleysol	Tular	445,040	2,114,055	2588
18	18201	Regosol	Bosque	350,297	2,086,644	1800
19	18202	Leptosol	Pastizal	355,000	2,066,470	900
20	18203	Leptosol	Selva	355,792	2,078,085	750
21	20035	Vertisol	Agricultura de temporal	416,122	2,067,886	2200
22	20115	Andosol	Bosque	523,104	2,094,971	2200
23	20122	Andosol	Bosque	406,078	2,095,041	2800
24	20127	Leptosol	Pastizal	443,025	2,077,257	1800
25	20128	Andosol	Bosque	460,095	2,099,297	2500
26	20133	Andosol	Agricultura de temporal	517,047	2,097,854	2000
27	100080	Planosol	Agricultura de temporal	407,523	2,232,953	2350
28	100086	Luvisol	Pastizal	437,902	2,225,348	2590
29	100092	Vertisol	Agricultura de temporal	441,652	2,218,396	2440
30	100096	Luvisol	Bosque	401,715	2,214,669	3000
31	100212	Phaeozem	Agricultura de riego	410,855	2,237,608	2215

5.4.3. Descripción de perfiles de suelo

Se realizaron recorridos de campo por las áreas con PSAHEM ubicadas en los municipios donde se seleccionaron los sitios para realizar los perfiles de suelo. Para ello de manera coordinada se tuvo la participación decidida de personal de cada Delegación de PRO-BOSQUE, ya que a través de ellos se realizaron los contactos con los dueños y responsables de los predios y se gestionó para que en coordinación con los propietarios o autoridades como Comisariados, Delegados, Consejo de Vigilancia, etc., se fuera a campo para elegir el sitio definitivo donde se realizaría el perfil del suelo, y para ello se consideró lo siguiente:

- Que formara parte o estuviera dentro de un área de PSAHEM.
- Que correspondiera a la unidad de suelo que se buscaba.

- Que fuera una zona de bosque y con el tipo de vegetación que se buscaba para cada sitio.
- Que tuviera accesibilidad para realizar el perfil del suelo.

Siguiendo las consideraciones anteriores es como se seleccionó el sitio definitivo en campo donde se realizaría el perfil del suelo (Figura 5.19).

Posteriormente, se capacitó e instruyó a los propietarios o autoridades responsables del cómo realizar la excavación del pozo edafológico para el perfil del suelo, se solicitó que lo realizarán de acuerdo a las siguientes dimensiones: 2.0 m de largo, de 1.5 a 2.0 m de ancho y de 1.0 a 2.0 m de profundidad dependiendo del tipo de suelo o hasta que se llegue a la roca o al material parental. Se sugirió además que si la excavación era profunda se procurará dejar 1 o 2 escalones para ingresar al pozo (Figura 5.20).



Figura 5.19. Recorridos de campo para verificación de unidad de suelo y uso de suelo y vegetación para la ubicación final de sitios para perfiles de suelo.



Figura 5.20. Tipos de pozos edafológicos excavados donde se realizaron perfiles de suelo.

De marzo a mayo de 2019 se realizaron los trabajos de descripción de los perfiles de suelo. Se programó por Delegación, se inició en la Delegación Atlacomulco, se siguió con la Delegación Toluca, luego la Delegación Coatepec Harinas, siguió la Delegación Valle de Bravo, enseguida la Delegación Tejupilco, y a la par se trabajó en las Delegaciones Amecameca y Texcoco, y se finiquitó en la Delegación Naucalpan.

Para la descripción de los perfiles de suelo se utilizó el formato tipo y la metodología de INEGI, para ello se siguió el procedimiento del manual correspondiente para llevar a cabo la descripción de cada una de los apartados que integran el formato.

En la Figura 5.21 se presenta el ejemplo del formato de campo con la información obtenida de la descripción de un perfil de suelo.

En cada sitio donde se realizó la descripción del perfil de suelo se realizaron los trabajos de toma de información como lo es la determinación de las diferentes capas u horizontes, y de cada capa se determinaba la textura del suelo al tacto, el pH con tiras reactivas, la reacción al HCl, la reacción al H₂O₂, el color en seco y en húmedo, así como, diversas características que ayudan a describir el tipo de suelo que se encuentra bajo las condiciones actuales de uso de suelo y vegetación y que quedaron registrados en cada uno de los formatos. La información fue indispensable para posteriormente en gabinete realizar la descripción de cada una de las capas u horizontes del perfil de suelo.

En las Figura 5.22, Figura 5.23 y Figura 5.24, se presentan testimonios fotográficos de los trabajos de campo que se realizaron en cada uno de los perfiles de suelo que se describieron.

PROYECTO: Estudio de colectores de la línea base de agua regional en las comarcas hidrográficas, con base en los predios beneficiados con el Programa para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México. Primera Etapa.

FORMATO PARA LA DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE SUELO

INFORMACIÓN GENERAL

REGIÓN: 142120 MUNICIPIO: TOLUCA DE LEÓN ESTADO: TOLUCA DE LEÓN COORDENADAS: 19° 05' 30" N 98° 05' 30" W

INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

ALTURA: 2675 msnm TEMPERATURA: 18.5 °C HUMEDAD: 75% VIENTO: 11 km/h

DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA DEL PERFIL DE SUELO

Nº	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA	ESTRUCTURA	COLORES	OTROS
1	0-5	5	...	...	...	...
2	5-10	10	...	...	...	...
3	10-15	15	...	...	...	...
4	15-20	20	...	...	...	...
5	20-25	25	...	...	...	...
6	25-30	30	...	...	...	...
7	30-35	35	...	...	...	...
8	35-40	40	...	...	...	...
9	40-45	45	...	...	...	...
10	45-50	50	...	...	...	...
11	50-55	55	...	...	...	...
12	55-60	60	...	...	...	...
13	60-65	65	...	...	...	...
14	65-70	70	...	...	...	...
15	70-75	75	...	...	...	...
16	75-80	80	...	...	...	...
17	80-85	85	...	...	...	...
18	85-90	90	...	...	...	...
19	90-95	95	...	...	...	...
20	95-100	100	...	...	...	...

OBSERVACIONES GENERALES

Trabajos de acondicionamiento de suelo en la zona...

Figura 5.21. Formato de campo que se utilizó para el registro de información de la descripción del perfil del suelo.



Figura 5.22. Registro de información general y de las condiciones ambientales del sitio y finamiento de la cara del perfil del suelo que se describirá.



Figura 5.23. Determinación de la estructura del suelo y pruebas reactivas al HCl y H₂O₂.



Figura 5.24. Determinación de la textura al tacto y toma de muestras de suelo de cada capa u horizonte.

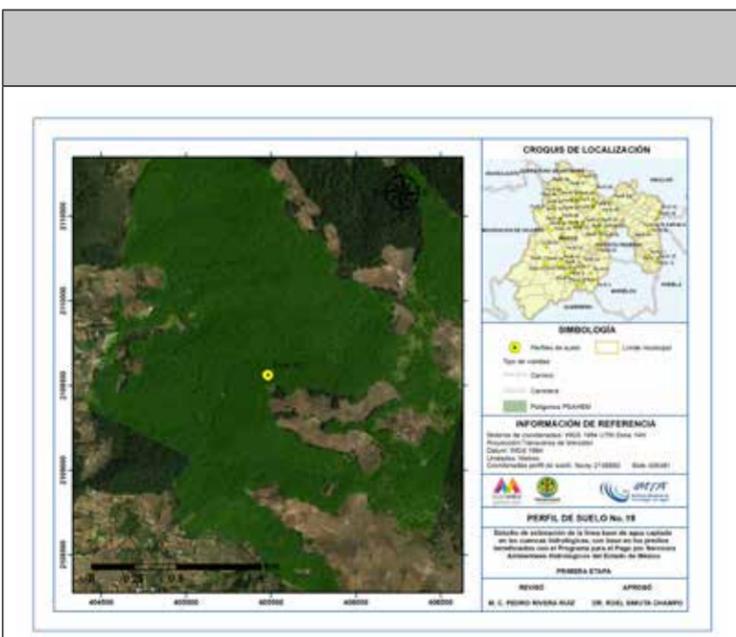
A continuación, se presenta a manera de ejemplo, la descripción del Perfil de Suelo No. 19 que corresponde a un suelo Andosol de un bosque de pino de un predio de la comunidad La Estancia del municipio de Temascaltepec en la Delegación IV Tejupilco de PRO-BOSQUE. En el Anexo 3 se presenta la descripción de los 71 perfiles de suelo.

Descripción del Perfil de Suelo No. 19 de un Andosol de un Bosque de Pino

PERFIL 19	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2109563	ESTE: 405481
ALTITUD: 2898 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1252.7 mm Temperatura media anual: 12.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Norte Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de abies. Abies religiosa	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-50 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 50-83 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>

<p>Horizonte 3: Profundidad de: 83-140 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos,cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 140-170 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 5: 170 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; sin raíces; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: A los 25 centímetros de profundidad se tiene una muy delgada de arena, posiblemente por arrastre de material y rompe la continuidad del horizonte, que en otras caras del pozo continua hasta los 50 centímetros.</p>



Croquis de localización del Perfil No. 19.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 19 se localiza en el Paraje Las Milpas, Localidad La Laguna, Bienes Comunales La Estancia, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Toluca-Temascaltepec, hasta el entronque con la carretera con dirección a Tequesquipan, recorriendo por esta una distancia de 3.2 kilómetros hasta la comunidad del mismo nombre, en esta comunidad tomar la carretera hacia la comunidad de La Laguna, a aproximadamente 3.3 kilómetros, de aquí continuar por el camino hacia la comunidad de La Orejeta, recorriendo una distancia de aproximadamente 3 kilómetros. El sitio se ubica a 15 metros al noreste del camino.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 19.



5.4.4. Muestreo de permeabilidad en campo

Los ecosistemas establecidos en las áreas de PSAHEM contribuyen significativamente a asegurar unas condiciones de vida favorables para plantas, animales y para personas. Estos bosques son tremendamente valiosos a nivel de biodiversidad y son también un elemento paisajístico que aumenta el valor del suelo gracias al factor recreativo. También desempeñan una importante función como protector frente a erosión y pérdida de suelo. Además, estos ecosistemas reducen los sedimentos arrastrados por el agua, evitando daños en la fauna riparia o en infraestructuras instaladas aguas abajo. También hace las veces de filtro verde ya que el suelo puede retener contaminación de origen antropogénico o natural purificando el agua (Vilhar y Zlindra, 2013).

La complejidad hidrológica de estos parajes favorece que tras un periodo de precipitaciones, no se sepa con exactitud qué acuíferos se están llenando, hacia qué cuenca se puede desviar el agua o desde qué cuenca puede estar entrando, por lo que las zonas ganadoras y perdedoras del río varían con la orografía, la estación y la intensidad de las precipitaciones.

La infiltración en el suelo es un proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo por gravedad o capilaridad y como se ha explicado anteriormente es un factor determinante en las relaciones ecológicas dependientes del agua por lo que se ha tratado de estudiar y modelar con gran precisión. (Martínez de Azagra, 2006).

Independientemente de estos factores, el conocimiento de la infiltración, base del ciclo hidrológico, es un campo que resulta difícil

calcular ya que depende de otros muchos factores. Entre los más importantes se destacan (Martínez de Azagra y Navarro, 1996):

- Características del suelo: tales como profundidad, contenido de materia orgánica, permeabilidad, porosidad, textura, proximidad a nivel freático, estructura, etc.
- Topografía del terreno.
- Agua: temperatura, contenido de iones, partículas en suspensión.
- Precipitación: Intensidad, duración y tamaño de las gotas.
- Vegetación existente: Porcentaje de cobertura vegetal y especies.
- Usos y tratamientos: Labor agrícola, roturación canalizaciones, repoblaciones forestales, urbanización, etc.

Estos factores, además de afectar a la infiltración, afectan determinantemente a todos los métodos de medición de la misma, por lo que en muchas ocasiones no resulta fácil extraer datos concluyentes ni precisos de las experiencias en campo. Sin embargo, de una adecuada valoración y conocimiento del entorno a estudiar depende de la correcta elección del método escogido y por tanto la validez e interés del estudio resultante.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de la infiltración en las distintas unidades de suelo y tipos de vegetación que se ubican en las áreas de PSAHEM, es que se realizó un estudio que consistió en llevar a cabo pruebas de permeabilidad o infiltración en 71 sitios que corresponden a los mismos sitios de donde se realizó la descripción de perfiles de suelo.

Fue así como se realizaron pruebas de permeabilidad en época de estiaje (suelo seco) y en época de saturación (suelo húmedo). Para la época de estiaje se realizaron las pruebas de permeabilidad durante el periodo de marzo a mayo y para ello se utilizó el permeámetro de disco de tensión, sin embargo, cuando se empezaron a analizar los datos en gabinete a mitad del mes de abril, se observó que los resultados obtenidos no correspondían a los esperados, sobretodo comparándolos con los reportados por la literatura de estudios e investigaciones de autores como: Martínez (2015), Gómez-Tagle (2010) y Taboada, et al. (1999).

Al comparar los resultados obtenidos con los reportados por dichos investigadores que utilizaron la misma metodología aplicada en bosques, se observó que los datos que se estaban obteniendo estaban subestimándose. De ello se informó a PROBOSQUE, y ante ello de común acuerdo, se decidió cambiar la metodología a la de doble anillo, y teniendo de base los resultados de investigaciones que se realizaron con la misma metodología, se identificó y comprobó que los resultados obtenidos de las primeras pruebas que se realizaron en la Delegación Tejuzilco, éstos eran convincentes por lo que se decidió cambiar la metodología a la del doble anillo para realizar las pruebas de permeabilidad en el resto de las Delegaciones que fueron las de Naucalpan, Texcoco y Amecameca.

A continuación se presentan algunos de los resultados de conductividad hidráulica (o permeabilidad) no saturada de Martínez (2015), quien utilizó el infiltrómetro de minidisco (similar al permeámetro de disco) en tres diferentes tipos de bosque (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Datos finales de conductividad hidráulica no saturada (Martínez, 2015).

	Bosque de ribera	Bosque mixto	Pradera
K (mm/h)	13.4188	21.0967	32.2931

Los resultados corresponden a los reportados en la página 39 de la tesis de maestría de Ingeniería de Montes de la Universidad de Valladolid.

Por su parte, en la Tabla 5.6 se presentan algunos de los resultados que se obtuvieron con el permeámetro de disco en la Delegación Atlacomulco, donde se observa que están subestimados comparados con los resultados reportados por Martínez (2015) en condiciones de bosque.

Tabla 5.6. Resultados obtenidos de conductividad hidráulica no saturada con permeámetro de disco en la Delegación Atlacomulco, Estado de México.

No. Perfil	No. de sitio	Ks (mm/h)	Unidad de Suelo
2	Sitio 2	7.812	Vertisol
31	Sitio 31	3.899	Planosol
42	Sitio 42	3.623	Feozem
43	Sitio 43	1.615	Vertisol
49	Sitio 49	0.254	Planosol
51	Sitio 51	0.346	Andosol
53	Sitio 53	3.985	Andosol
54	Sitio 54	2.040	Andosol
55	Sitio 55	1.420	Luvisol
56	Sitio 56	2.085	Feozem

También, si se analizan los datos del cuadro anterior se observa que se presentan variaciones significativas de datos de permeabilidad entre unidades de suelo similares de Vertisol, Planosol y más aún en los Andosoles.

En cuanto a los resultados obtenidos con doble anillo, el mismo autor, Martínez (2015), presenta gráficos de resultados similares a los que se obtuvieron con las pruebas realizadas en este estudio, como se muestra primero, en la Figura 5.25 se presenta el gráfico de tasa de infiltración para el bosque de ribera (Martínez, 2015) y en la Figura 5.26 se presenta el gráfico que se obtuvo para el sitio 14 del Estado de México que se trata también de un bosque similar. Se observa que Martínez (2015) obtuvo un valor de infiltración final promedio por arriba de los 500 mm/h, y en el Sitio 16 osciló en los 275 mm/h, es decir, una tendencia muy similar.



Figura 5.25. Gráfico de tasa de infiltración para el bosque de ribera (Martínez, 2015).

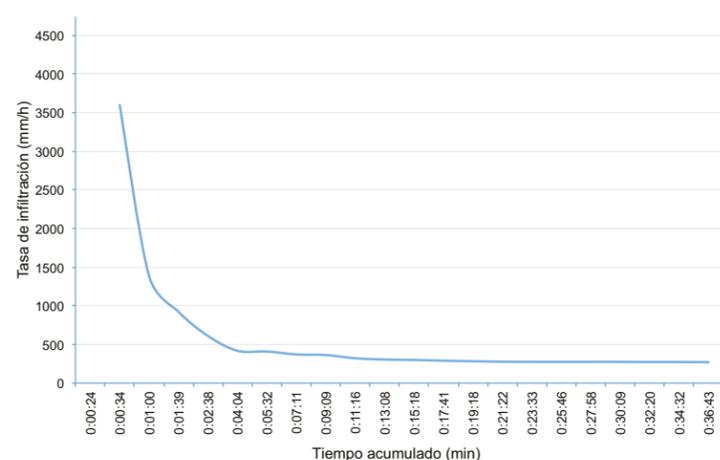


Figura 5.26. Gráfico de la tasa de infiltración que se obtuvo para el sitio 14 del Estado de México.

Con ello, se comprueba un mejor comportamiento para obtener resultados más confiables de permeabilidad a través de la metodología de doble anillo, por lo que de común acuerdo entre ambas partes, IMTA y PROBOSQUE, se decidió utilizar el método del doble anillo para el muestreo de permeabilidad del resto de las pruebas en campo, y asimismo, también se acordó utilizar ésta metodología para los muestreos de permeabilidad que se realizaron en la época de saturación (de julio a septiembre de 2019).

La descripción de la metodología del permeámetro de disco de tensión, así como, los resultados que se obtuvieron de las pruebas realizadas, se presenta en el Anexo 4.

A continuación se describe la metodología del infiltrómetro de doble anillo y se presentan los resultados que se obtuvieron de las pruebas de permeabilidad, así como también se presenta el análisis y discusión de los resultados.

5.4.4.1. Metodología para muestreo de permeabilidad con infiltrómetro de doble anillo

El infiltrómetro de doble anillo se utiliza ampliamente para hacer pruebas que determinan la permeabilidad en suelos, simulando el proceso de infiltración del agua en el suelo desde áreas de inundación amplias. Su diámetro puede variar regularmente entre 30 y 60 cm y su altura entre 20 y 30 cm, y para este estudio se consideró utilizar los anillos de 50 cm y de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura. Las pruebas se realizaron enterrando verticalmente los anillos en el suelo unos centímetros (5-10cm), llenándolo con agua de calidad similar a la lluvia típica del terreno y midiendo la tasa de descenso de esta agua. Así se simula el área de inundación. Un esquema de la prueba se puede ver en la Figura 5.27.

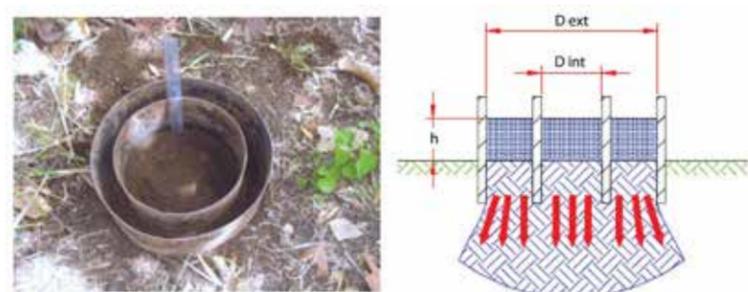


Figura 5.27. Esquema de la prueba de infiltración con doble anillo (Alvarado y Barahona, 2017).

Los materiales que se ocuparon para realizar las pruebas de infiltración será el siguiente:

- Anillo de acero galvanizado de 50 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- Anillo de acero galvanizado de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- Regla de metal de 30 cm o flexómetro.
- Prensa metálica.
- 4 bidones de agua de 20 l.
- 3 bidones de agua de 10 l.
- 2 cubetas.
- 2 Mazos.
- Polín de madera.
- Bolsa de plástico grande.
- Cronómetro
- Formato de captura de datos.

Básicamente, para el desarrollo de esta prueba se enterraron los cilindros metálicos unos pocos centímetros en el suelo. Luego, se rellenaron de agua hasta una altura no mayor a 15 cm. Finalmente

con la regla y el cronómetro, se midió la variación de la altura del agua en el tiempo. Al inicio de la prueba la variación de la altura del agua fue mayor y luego tendió a estabilizarse. El tiempo de estabilización dependió del tipo de suelo en el cual se realizó la prueba.

Esta última tasa en régimen permanente será, aproximadamente, la conductividad hidráulica del suelo húmedo K_w . Después de cada prueba que se realice en campo y dependiendo de si sea en suelo seco o en húmedo, se obtendrá una curva gráfica como se muestra en la Figura 5.28 y también dependerá del tipo de suelo (Ibáñez, et al., 2010).

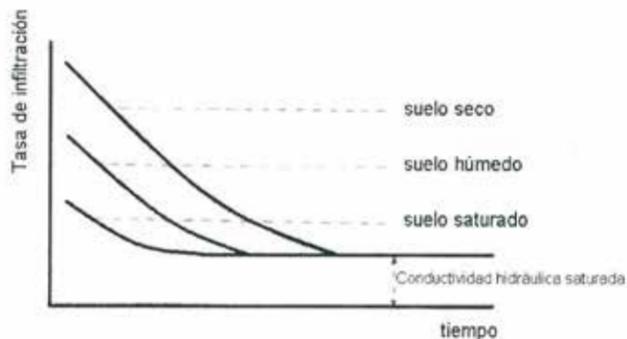


Figura 5.28. Curvas tipo de infiltración que se obtendrán en campo de acuerdo con la condición del suelo seco o húmedo que se obtienen con el método del doble anillo.

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>

El trabajo en campo que se realizó para realizar la prueba fue el siguiente:

1. Se buscó un lugar más o menos plano y característico del área en estudio para instalar el infiltrómetro. Antes de instalarlo se procedió a limpiar de pasto o alteraciones de la superficie del suelo, sacando hojas, basuras e impurezas que puedan intervenir el flujo normal del agua.
2. Se enterraron los anillos de 5-10 cm aproximadamente de la forma más vertical posible. Para esto se posicionó el anillo en el lugar seleccionado, martillándolo firmemente en los bordes con los mazos pegando en el polín de madera para no dañar los bordes de los anillos.
3. Lo anterior se debió hacer paulatinamente en todos los bordes, así los anillos entraron de manera uniforme. Para medir cuanto se ha enterrado se debe usar la regla. Como los anillos miden 30 cm de altura, si la superficie que queda afuera

mede aproximadamente 20 cm en todos lados, el anillo ha entrado lo suficiente.

4. Se colocaba la regla de metal verticalmente en el interior del anillo central para así poder medir el nivel del agua y ésta se fijó con una prensa metálica. Se enterraba unos cuantos centímetros para que quedara firme (es útil tener esta medida para saber a qué altura queda el agua con respecto al suelo). Un lugar recomendable para ubicar la regla es en la línea de la soldadura, ya que ésta es aproximadamente vertical.
5. En el espacio que queda entre los dos anillos se vaciaba agua para saturar el área aledaña a donde se realizará la prueba de permeabilidad, es decir, se vacía agua en el anillo exterior.
6. Se colocó un plástico en el suelo al interior del anillo, utilizándolo para que al vaciar el agua la caída del chorro no golpee directamente el suelo, ya que se pueden alterar las propiedades de éste. Se vaciaba el agua directamente de los bidones o de la cubeta suavemente al interior del anillo, hasta que el nivel del agua quedaba entre 10-15 cm.
7. Se desalojó el plástico con cuidado, y de inmediato se empezaba a registrar el tiempo y el nivel del agua. Se recomienda que al principio se hagan mediciones todos los minutos, y luego, dependiendo de la tasa de descenso, el intervalo de tiempo se puede alargar. Para que las mediciones fueran más precisas se estuvieron registrando medidas de tiempo entre niveles de 1.0 cm, y en el caso de suelos en que la infiltración era más lenta, las medidas de tiempo se realizaban cada 0.5 cm.
8. Se realizaron mediciones por periodos de prueba de al menos 20 minutos o hasta una hora, esto dependiendo del tiempo de suelo y de la vegetación que influyen en el proceso de infiltración. Se detenía la prueba cuando se observaba que al menos las últimas tres tasas de permeabilidad sucesivas eran iguales o muy similares. Un promedio de éstas, se consideró como la tasa de Velocidad de Infiltración (V_i), útil para calcular la Conductividad Hidráulica (K).

En la Figura 5.29 se presentan fotografías que muestran las actividades que se realizaban en cada sitio donde se llevaba a cabo la prueba de permeabilidad.



Figura 5.29. Trabajos de campo durante la realización de una prueba de permeabilidad.

Las pruebas de permeabilidad se realizaron durante los meses de julio a septiembre que corresponde al periodo en que se presentan las lluvias, y por tanto, los suelos se encontraban a saturación de humedad o casi a saturación, por lo que se pudieron obtener resultados de infiltración de suelos a saturación.

5.4.4.2. Resultados de las pruebas de permeabilidad

En campo se obtuvo la información de la lámina infiltrada con respecto al tiempo de cada sitio, y en gabinete se procesó y analizó la información para finalmente obtener el gráfico que muestra la lámina en cm/h con respecto al tiempo.

Además, se utilizaron las metodologías de Horton y Kostiakov para determinar el ajuste de los datos y así obtener la ecuación que mejor representa el comportamiento de la curva de infiltración en cada sitio.

A continuación se presenta a manera de ejemplo los resultados que se obtienen para el Sitio 19 que corresponde a un suelo Andosol húmico y que tiene como vegetación un bosque de pino.

Los datos generales del Sitio 19 son los siguientes:

No. SITIO: 19
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: La Estancia
 Municipio: Temascaltepec
 Fecha: miércoles 28 de agosto de 2019
 Ubicación geográfica (UTM): Longitud (X): 405481 Latitud (Y): 2109563
 Tipo de vegetación: Bosque de pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la Figura 5.30.

De los resultados obtenidos se puede observar que en este sitio de bosque de pino y con el suelo Andosol, se tiene una respuesta de la permeabilidad inicial de 300 cm/h, y paulatinamente conforme el agua va penetrando en el perfil del suelo se empieza a saturar de agua y tiende a disminuir la capacidad de infiltración hasta llegar a un momento en que tiende a ser constante, y para el caso, llega a equilibrarse en 52.17 cm/h, que significa que para ese suelo en ese tipo de vegetación es la capacidad que tiene para infiltrar agua en el suelo, también nos indica que al presentarse una lluvia de 50 mm/h o menos, entonces el suelo tiene la capacidad de infiltrar el agua y almacenarla en el perfil y llegar hasta capas del suelo subyacentes donde se almacena o se mueve subsuperficialmente, e incluso llega hasta los mantos acuíferos.

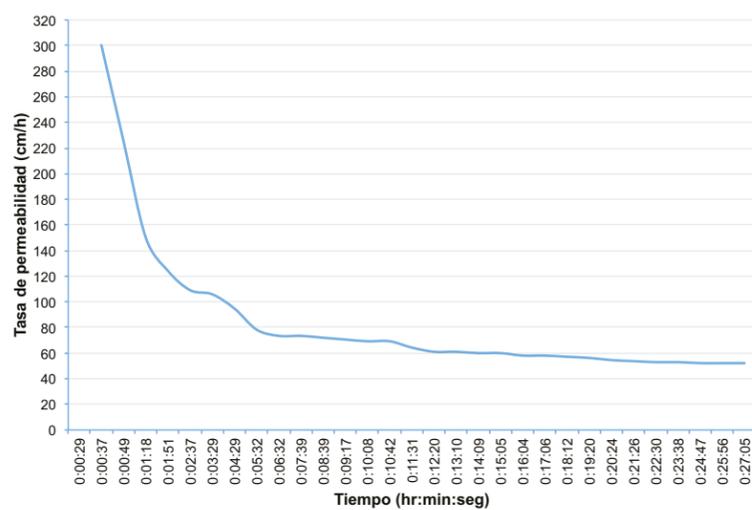


Figura 5.30. Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO

Preparación del equipo para la prueba.

Toma de lectura de lámina de permeabilidad

Carga de agua en los anillos.

Vista del entorno de la vegetación del sitio.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura 5.31.

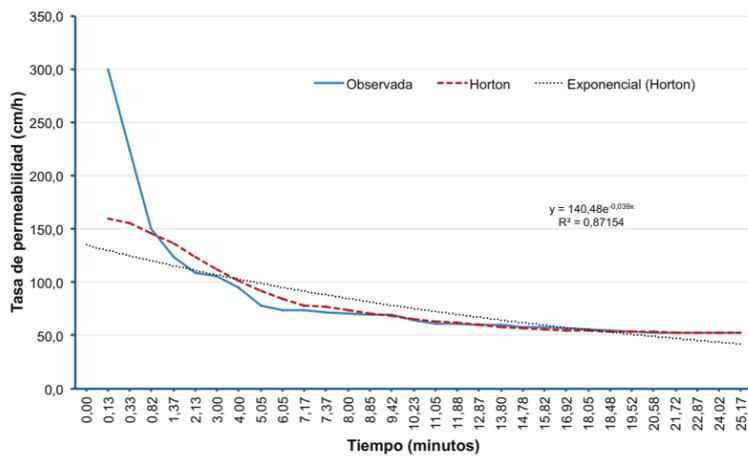


Figura 5.31. Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la Figura 5.32:

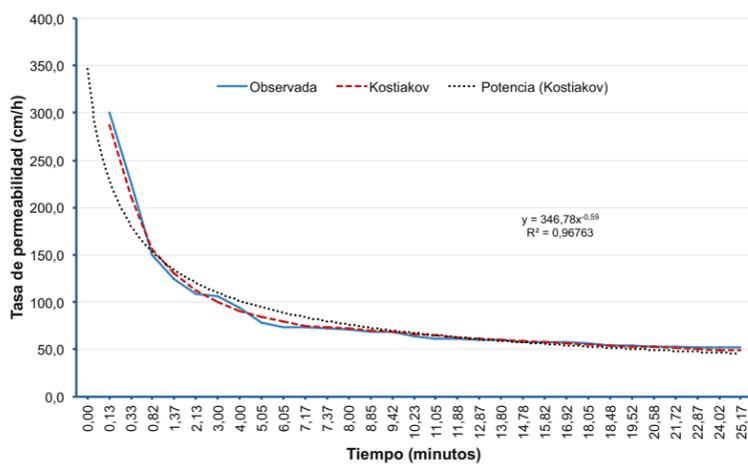


Figura 5.32. Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Kostiakov.

Y para que se presente el escurrimiento superficial, se debe presentar una lluvia que supere los 52.0 mm/h, y generalmente ese tipo de lluvias son poco frecuentes, por lo tanto, este bosque de pino en este tipo de suelo Andosol es una "esponja" que absorbe prácticamente toda el agua que llueve.

En el Anexo 4 se presentan los resultados completos de los 71 sitios donde se realizaron las pruebas de infiltración, e incluye el ajuste de las curvas con las metodologías de Horton y Kostiakov.

5.4.4.3. Análisis de los resultados de las pruebas de permeabilidad

En cada una de las pruebas de permeabilidad que se realizaron se obtuvo la tasa inicial y la tasa final de infiltración en cm/h. En la Tabla 5.7 se presentan los resultados para cada sitio.

La clasificación de la permeabilidad se realizó de acuerdo a la propuesta del USDA Soil Conservation Service (SCS) del Dr. Clarence

Tabla 5.7. Clasificación de la permeabilidad y la conductividad hidráulica (Ks) de acuerdo a la tasa de infiltración (cm/h).

Clase	Permeabilidad		
	Tasa de infiltración (cm/h)		
	Baja	Media	Alta
Muy rápida	50.8000	152.4000	254.0000
Rápida	15.2400	33.0200	50.8000
Moderadamente rápida	5.0800	10.1600	15.2400
Moderada	1.5240	3.3020	5.0800
Moderadamente lenta	0.5080	1.0160	1.5240
Lenta	0.1524	0.3302	0.5080
Muy lenta	0.0038	0.0782	0.1524
Impermeable	0.0000	0.0020	0.0038

Tabla 5.7. Clasificación de la permeabilidad y la conductividad hidráulica (Ks) de acuerdo a la tasa de infiltración (cm/h). (Continuación)

Clase	Ksat		
	Tasa de infiltración (cm/h)		
	Baja	Media	Alta
Muy rápida	>50.75	>50.75	>50.75
Rápida	15.1166	32.9325	50.7484
Moderadamente rápida	5.0389	10.0777	15.1166
Moderada	1.4397	3.2393	5.0389
Moderadamente lenta	0.5039	0.9718	1.4397
Lenta	0.1512	0.3275	0.5039
Muy lenta	0.0036	0.0774	0.1512
Impermeable	0.0000	0.0002	0.0004

Fuente: Clarence Chavez. USDA Soil Conservation Service, 704 South Sunset, Roswell, NM 88201
https://prod.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_068436.pdf

Chavez que reporta los valores de acuerdo con la Tabla 5.8, y para ello se considera el valor de la tasa final de permeabilidad o infiltración que se obtuvo de cada sitio.

Analizando los datos obtenidos se puede observar lo siguiente:

- Los suelos Acrisoles se encontraron en bosques de encino pino y presentaron una tasa de infiltración final de 13.28 cm/h, sin embargo, el mismo tipo de suelo pero en un bosque de pino encino la tasa de infiltración final fue de 3.54 cm/h. La diferencia es debido a que en el Sitio 13 donde se tiene encino pino, se trata de un bosque maduro con buen manejo y el suelo estaba aglomerado y bien formado de su estructura, por lo que existe buena infiltración del agua por los macroporos que tiene, en cambio, en el Sitio 23 con el bosque de pino encino, se trata de un bosque reforestado de unos 15 años y el suelo presenta arcillas en su perfil por lo que dificulta el movimiento del agua en el perfil, además, que hay pastoreo de ganado.
- En cambio, en los suelos Andosoles en los bosques cultivados se obtuvieron tasas finales de permeabilidad que oscilaron de 8.04 a 138.46 cm/h, con un promedio de 66.78 cm/h. En los bosques de oyamel los valores registrados estuvieron desde 33.03 a 81.82 cm/h, con un promedio de 59.32 cm/h. Y en los bosques de pino el rango estuvo de 20.45 a 102.86 cm/h, y promedio de 58.68 cm/h. Y en cuanto a los bosques de pino encino, el rango osciló de 12.34 a 38.71 cm/h, y promedio de 22.81 cm/h. Por lo tanto, se puede mencionar que los Andosoles presentan tasas más bajas de permeabilidad en los bosques de pino encino, y en los bosques cultivados, de oyamel y de pino, mostraron una misma tendencia en la tasa de permeabilidad que ronda por los 60.0 a 63.0 cm/h. En cambio, en parcelas que tienen uso de suelo agrícola con cultivos de avena, maíz y huerta de aguacate, las tasas de infiltración oscilaron de 5.29 a 11.04 cm/h, y el promedio oscila en 8.11 cm/h, por lo que se puede concluir que el manejo del suelo por el excesivo laboreo que se realiza a los suelos Andosoles ha tendido a afectar la estructura y porosidad, por lo que hay pérdida de infiltración de casi el 85% si lo comparamos con los bosques de pino, oyamel o cultivado.
- En relación con los suelos Cambisoles, se realizaron pruebas de infiltración en bosques de pino encino y tienen en promedio una tasa de infiltración de 31.18 cm/h. En bosque

de encino pino el promedio es de 28.13 cm/h. En los bosques de encino se obtuvo una infiltración promedio de 32.04 cm/h. En cambio en bosque mesófilo de montaña tuvo una infiltración de 4.01 cm/h, debido a que el suelo es poco profundo y tiene piedra en su perfil, aunado a que se encuentra en pendiente fuerte de más del 35%. Finalmente en un bosque cultivado que tiene poco más de 10 años que se reforestó, se tiene una infiltración de 4.90 cm/h, y esto es debido a que se trataba de un suelo erosionado y está en franca recuperación y formación de suelo. En la prueba que se realizó en una parcela frutícola con durazno, se encontró que la infiltración está en 12.37 cm/h, es decir, por el laboreo del suelo y el paso frecuente de personas en la parcela, ha habido afectación de la estructura del suelo y hay compactación, y ello ha conllevado a afectar la infiltración en promedio en un 60.1%, es decir, por efecto de cambio de uso de suelo a frutícola se propicia el escurrimiento superficial y con ello la erosión hídrica, y por tanto hay menos infiltración hacia los mantos acuíferos.

d) Referente a los suelos Feozem, se encontró que en bosque de encino cuando no hay aprovechamientos ni alteración del bosque, el suelo tiende a conformar agregados estables y buena estructura y por ello se tienen tasas de infiltración de 112.50 cm/h como en el caso del sitio 62 que es un área protegida. Sin embargo, cuando existe aprovechamiento para carbón y madera, y combinado con que se trata de suelos que en las capas subsecuentes tiene cantidades considerables de arcilla, es que presentan tasas de infiltración de 13.30 cm/h. En cambio, en los bosques cultivados se registraron permeabilidades de 4.19 a 31.30 cm/h, y un promedio de 12.51, valores que son indicadores de que aún el bosque no se ha establecido bien y por los contenidos de limos y arcillas en el perfil, hace que se presenten bajas tasas de infiltración. En una parcela agrícola de maíz, el valor de permeabilidad fue de 14.63, lo que significa que no hay diferencias significativas si se considera el tipo de vegetación o uso de suelo.

e) De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en los suelos Luvisoles, se observó que en el bosque de encino las tasas de permeabilidad estuvieron en el rango de 4.12 a 12.41 cm/h, y el promedio es de 6.38 cm/h; y en los bosques de encino pino se obtuvieron tasas de permeabilidad de 17.24 a 85.26 cm/h, y promedio de 51.25 cm/h, es decir, para suelos luvisoles se tiene mejores infiltraciones en bosques de encino pino.

f) Los suelos Regosoles en los bosques de oyamel presentaron tasas de permeabilidad de 43.37 a 94.74 cm/h, por tanto el promedio oscila por 69.06 cm/h. Y en el caso de un bosque cultivado la permeabilidad oscila los 36.36 cm/h, muy similar al que se encuentra en el bosque de pino encino que es de 40.45 cm/h. Y es que en este tipo de bosques la textura que se encontró en los suelos fue de franco a franco arenoso, y son texturas de suelo que facilitan el movimiento del agua en el perfil del suelo por el tamaño de las macroporos. En cambio, en un bosque de táscate el valor de permeabilidad está en 4.40 cm/h, y la textura del suelo es franco arcilloso donde la cantidad de macroporos

es menor por lo que el movimiento del agua en el suelo es más lenta.

g) En caso del suelo Rendzina se encuentra en vegetaciones de bosque de táscate y selva baja caducifolia, y en el primer caso se tienen infiltraciones considerablemente alta con 163.64 cm/hr y es debido a que este tipo de suelo son ricos en materia orgánica y están bien estructurados y muchos agregados que ayuda a que el agua se mueva por el perfil del suelo. En caso de la selva baja caducifolia la tasa de infiltración se encuentra en 25.71 cm/h, es decir, es menor, pero se detecta que existe pastoreo de ganado y hay compactación de suelo que afecta por supuesto la infiltración.

h) Por último, los vertisoles se encontraron en bosques cultivados donde presentaron tasas de permeabilidad de 4.33 a 28.57 cm/h, por tanto el promedio es de 15.31 cm/h. En el bosque de pino la tasa de permeabilidad que se registró fue de 21.18 cm/h, y en una parcela agrícola donde se cultiva maíz y ahora está en descanso, la tasa de permeabilidad es de 8.77 cm/h, es decir, es menor la tasa con respecto a los bosques.

5.4.4.4. Comentarios y consideraciones en relación con los resultados de las pruebas de permeabilidad

La vegetación existente en un suelo juega un papel determinante en la cantidad de agua infiltrada en el mismo. Además, esta infiltración no depende únicamente del propio suelo y de la masa que lo protege, sino también del tipo, del estado natural y de la antigüedad de la misma (Bens et al., 2007).

De esta antigüedad y tipo de masa dependen factores como la capa de materia orgánica o la cobertura vegetal. La primera favorece la retención e infiltración de agua. La segunda, mediante las copas se protege por obstrucción, reduciendo la escorrentía y la erosión mecánica que producen las gotas de agua al impactar en el suelo (MAGRAMA, 2010).

Aparte de estos dos factores, existen muchos otros relacionados con la cobertura vegetal que afectan positivamente a la infiltración:

Existen numerosos trabajos que comparan la infiltración en suelos con y sin cobertura arbolada. Todos los consultados coinciden en una clara mejoría en suelos forestales con respecto a los otros.

Así por ejemplo Mongil y Navarro (2012) realizan un estudio de infiltración en las laderas de los páramos de Valladolid. Los suelos son entre francos y arcillosos, pero todos son geológicamente similares. Estas superficies difieren en la masa que albergan que son pinar y matorral. Aunque se puntualiza que convendría aumentar el número de repeticiones, el estudio concluye con una clara mejoría en las condiciones generales del suelo, incluyendo la infiltración, conforme la vegetación es más densa y evolucionada. Concretamente el pinar tiene tasas de infiltración inicial 16 y 26.7 veces superior a las otras dos parcelas de matorral y 8.4 y 23 veces mayor en el caso de infiltración final.

Otro estudio realizado por la Universidad de La Laguna en Tenerife (Neris et al., 2012) realiza ensayos en suelos Andosoles con un infiltrómetro de doble anillo en un total de 32 puntos distribuidos en tres categorías de vegetación y uso del suelo: bosque húmedo, pinar y zonas cortadas. Los resultados reflejan que la infiltración en bosque húmedo (796 mm/h) es mucho más rápida que en las otras dos categorías: pinar (188mm/h) y zonas cortadas (67 mm/h). También se observó que algunas características edáficas del suelo como estabilidad estructural, materia orgánica, agregados del suelo y densidad aparente jugaban un papel fundamental en la infiltración, pero éstas dependen del uso que se haga del suelo y por ende de la masa albergada.

Hay que recordar que la existencia o no de escurrimiento dependerá de la intensidad y duración de una lluvia. Una lluvia intensa puede limitar la infiltración si la capacidad de infiltración de un suelo es menor que el volumen precipitado. Por otra parte las lluvias prolongadas de baja intensidad pueden producir más infiltración que aquellas que son de periodo corto pero que son más intensas.

También el tamaño de las gotas puede modificar las propiedades mecánicas del suelo compactando su parte superficial, recibiendo en éste la energía cinética del impacto del agua. Así por ejemplo, en una lluvia, el diámetro de las gotas puede alcanzar los 4mm y la velocidad de impacto puede ser de 9 m/s (Martínez de Azagra & Navarro, 1996) favoreciendo este proceso y por ende dificultando la infiltración. Este proceso afecta más drásticamente a suelos arcillosos.

La cobertura vegetal y uso del suelo afectan directamente la infiltración. Un suelo encostrado o compactado reduce la infiltración. Así pues, terrenos con gran laboreo, transitados por ganado o maquinaria y desprovistos de vegetación son zonas propensas al encharcamiento o escurrimiento, como se observó en las parcelas con uso agrícola de maíz y avena, e incluso en las parcelas de aguacate y durazno.

Los suelos arcillosos también muestran facilidad al encharcamiento. Aunque se generan grietas que aumentan la infiltración cuando

están secos, pero conforme se humedecen a la larga la expansión de las arcillas limita gravemente la permeabilidad del estrato, es por ello que se pueden obtener infiltraciones elevadas al inicio, pero al final las infiltraciones son bajas.

La implantación de vegetación en un terreno desnudo aumenta la infiltración. Los efectos principales de la cubierta vegetal son:

- Disminuye la velocidad de escurrimiento superficial y consecuentemente aumenta el tiempo de oportunidad de infiltración.
- Reduce y elimina el impacto de las gotas de lluvia.
- Aumenta la porosidad del suelo por los canalillos que crean las raíces de las hierbas y arbustos.
- Mejora la estructura del suelo gracias al incremento de la materia orgánica.

Estos efectos se encontraron en la mayoría de los suelos y los distintos tipos de vegetación.

Para ahondar más en el conocimiento de la permeabilidad de un predio concreto, es conveniente realizar mediciones a diferentes profundidades y horizontes como lo realizó Jordan (2010) o Lichner et al (2007), aumentando a su vez el número de repeticiones para obtener resultados más concluyentes.

Diferentes estudios como Neris et al (2012) determinan que existe una correlación entre la infiltración y propiedades como la estabilidad de los agregados, la materia orgánica y la densidad aparente.

El espesor del estrato de materia orgánica parece tener correlación directa con la infiltración. Un espesor aceptable de este estrato se encontró en los bosques maduros, sin embargo, en los bosques cultivados las permeabilidades fueron menores por lo que no se asegura un aumento de la infiltración a corto plazo. Conviene por lo tanto reforestar zonas degradadas o con baja cobertura vegetal, pero se debe considerar la posibilidad de añadir al suelo materiales que incrementen la capacidad de adsorción. Otra medida que se debe realizar son las de protección a los bosques que tiene un estrato orgánico bien evolucionado, sobre todo para la prevención de incendios.

Tabla 5.8. Información general y tasas de permeabilidad inicial y final de cada sitio.

No. Sitio	Nombre	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Delegación PROBOSQUE	Longitud (X)_UTM	Latitud (Y)_UTM	Altitud (msnm)	Tasa de Permeabilidad Inicial (cm/h)	Tasa de Permeabilidad final (cm/h)	Clasificación de la permeabilidad
	Tasa de Permeabilidad final										
	Clasificación de la permeabilidad										
1	Ejido Tonatico	E	Rendzina	Selva baja caducifolia	VI - COATEPEC HARINAS	433158	2078809	1707	144.00	25.71	Rápida
2	San Lorenzo Toxico	Vp	Vertisol pélico	Agricultura de temporal (en descanso)	V - ATLACOMULCO	417275	2161143	2606	63.16	8.77	Moderadamente rápida
3	Ejido Tonatico	Re	Regosol éútrico	Bosque de táscate	VI - COATEPEC HARINAS	426528	2078296	1789	8.18	4.40	Moderada
4	San Pedro Chichiasco	E	Rendzina	Bosque de táscate	VI - COATEPEC HARINAS	450224	2084072	1401	720.00	163.64	Muy rápida
5	Chiltepec de Hidalgo	Lf	Luvisol férrico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	413563	2091861	2203	138.46	32.14	Rápida
6	Delegación San Martín	Hh	Feozem háplico	Selva baja caducifolia	VI - COATEPEC HARINAS	445558	2092935	1736	64.29	24.00	Rápida
7	ExHacienda Agua Amarga	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	421082	2095799	2491	327.27	19.15	Rápida
8	Chiltepec de Hidalgo	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	411791	2093202	2574	112.50	51.43	Muy rápida
9	San Martín El Salto	Be	Cambisol éútrico	Bosque mesófilo de montaña	VI - COATEPEC HARINAS	415857	2094142	2282	38.71	4.01	Moderada
10	Rancho Potrero de la Sierra	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	VI - COATEPEC HARINAS	422404	2098066	2467	42.86	12.34	Moderadamente rápida
11	La Guacamaya	Hh	Feozem háplico	Bosque de oyamel	IV - TEJUPILCO	406986	2104516	2936	327.27	19.46	Rápida
12	Ejido Coatepec Harinas	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	VI - COATEPEC HARINAS	416555	2104708	2915	55.38	20.45	Rápida
13	Ejido El Peñón	Ao	Acrisol órtico	Bosque de encino pino	IV - TEJUPILCO	382043	2106122	1803	112.50	13.28	Moderadamente rápida
14	San Pedro Tlanixco	I	Litosol	Bosque de pino encino	I - TOLUCA	431393	2105997	2726	360.00	27.07	Rápida
15	Ejido Ozumba	Re	Regosol éútrico	Bosque de pino encino	VIII - AMECAMECA	531208	2107673	2992	189.47	40.45	Rápida
16	Tequesquipan	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	IV - TEJUPILCO	399734	2106708	2323	43.90	22.09	Rápida
17	San Francisco Albarrada	Bd	Cambisol déstrico	Bosque de pino encino	IV - TEJUPILCO	385887	2108089	2242	30.51	12.08	Moderadamente rápida
18	Ejido Ozumba	Re	Regosol éútrico	Bosque de oyamel	VIII - AMECAMECA	531466	2107751	3012	276.92	94.74	Muy rápida
19	La Estancia	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	IV - TEJUPILCO	405481	2109563	2898	300.00	52.17	Muy rápida
20	B.C. Amecameca	Re	Regosol éútrico	Bosque de oyamel	VIII - AMECAMECA	533536	2110300	3224	180.00	43.37	Rápida
21	San Francisco Zentlalpan	Re	Regosol éútrico	Bosque cultivado	VIII - AMECAMECA	520235	2116809	2464	85.71	36.36	Rápida
22	San Juan de las Huertas	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	416579	2116456	3791	327.27	42.35	Rápida
23	San Francisco Mihualtepec	Ao	Acrisol órtico	Bosque de pino encino	VII - VALLE DE BRAVO	383814	2128160	2077	50.00	3.54	Moderada
24	Ejido Mesón Viejo	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	IV - TEJUPILCO	408716	2121482	2979	276.92	102.86	Muy rápida
25	San Miguel Miriapan	To	Andosol ócrico	Agricultura de temporal (maíz)	I - TOLUCA	450994	2151885	3013	13.53	5.29	Moderadamente rápida
26	Santiago Tlilapa	I	Litosol	Bosque de encino	I - TOLUCA	454067	2125658	2716	15.93	4.21	Moderada
27	Hacienda La Gavia	Hh	Feozem háplico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	406083	2143898	2618	450.00	31.30	Rápida
28	Hacienda La Gavia	Vp	Vertisol pélico	Bosque de pino	I - TOLUCA	405235	2145197	2593	128.57	21.18	Rápida
29	ExHacienda San Nicolás	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	408998	2137719	2807	12.59	6.90	Moderadamente rápida
30	Santa María Atarasquillo	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	I - TOLUCA	457522	2139010	3226	400.00	81.82	Muy rápida
31	El Calvario del Carmen	Wh	Planosol húmico	Agricultura de temporal (maíz)	V - ATLACOMULCO	394278	2173450	2664	97.30	15.93	Rápida

Tabla 5.8 Información general y tasas de permeabilidad inicial y final de cada sitio. (Continuación).

No. Sitio	Nombre	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Delegación PROBOSQUE	Longitud (X)_UTM	Latitud (Y)_UTM	Altitud (msnm)	Tasa de Permeabilidad Inicial (cm/h)	Tasa de Permeabilidad final (cm/h)	Clasificación de la permeabilidad
32	San Miguel Miriapan	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	I - TOLUCA	455871	2150590	3178	156.52	33.03	Rápida
33	San Francisco Chimalpa	Be	Cambisol éutrico	Bosque de encino	II - NAUCALPAN	464666	2150740	2873	300.00	43.37	Rápida
34	Ejido Cerritos del Pilar	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	VII - VALLE DE BRAVO	392851	2151130	2614	55.38	4.33	Moderada
35	San Pedro del Rincón	To	Andosol ócrico	Bosque cultivado	VII - VALLE DE BRAVO	386823	2154074	2675	400.00	138.46	Muy rápida
36	Rancho San Antonio	Wm	Planosol mólico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	429052	2155554	2596	36.00	11.39	Moderadamente rápida
37	Ejido Nativitas	Bd	Cambisol distrito	Bosque de encino	III - TEXCOCO	522025	2151358	2731	600.00	42.35	Rápida
38	San Pablo Ixayoc	Bd	Cambisol distrito	Bosque de encino pino	III - TEXCOCO	522636	2151772	2753	257.14	28.13	Rápida
39	Palos Amarillos, Yebucivi	Tm	Andosol mólico	Bosque cultivado	I - TOLUCA	406722	2159371	3272	128.71	78.26	Muy rápida
40	San Juan Jiquipilco	Be	Cambisol éutrico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	433718	2158977	2748	112.50	17.45	Rápida
41	Santa Ana Jilotzingo	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	II - NAUCALPAN	455528	2159035	3045	29.03	8.04	Moderadamente rápida
42	San Miguel Yuxtepec	Hh	Feozem háplico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	426074	2159988	2931	128.57	48.86	Rápida
43	San Lorenzo Toxico	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	417161	2161312	2579	144.00	13.04	Moderadamente rápida
44	San Miguel Tlaxpan	Bh	Cambisol húmico	Bosque de encino	III - TEXCOCO	523376	2152086	2798	327.27	35.29	Rápida
45	San Jerónimo Mavati	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino	V - ATLACOMULCO	403710	2164680	2977	225.00	59.24	Muy rápida
46	Santa Bárbara	Be	Cambisol éutrico	Bosque de pino encino	III - TEXCOCO	533411	2167821	2847	327.27	39.13	Rápida
47	Santa Ana Jilotzingo	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	II - NAUCALPAN	455521	2158958	3042	124.14	6.00	Moderadamente rápida
48	Rancho El Paradero	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	II - NAUCALPAN	457071	2172525	2728	52.17	12.41	Moderadamente rápida
49	El Calvario del Carmen	Wh	Planosol húmico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	394389	2173580	2664	47.37	3.60	Moderada
50	Ejido Buenavista	Hh	Feozem háplico	Matorral crasicauale	III - TEXCOCO	535435	2176440	2757	300.00	42.35	Rápida
51	Santa Cruz del Tejocote	To	Andosol ócrico	Bosque de oyamel	V - ATLACOMULCO	376235	2176864	2921	276.92	63.10	Muy rápida
52	San Jerónimo Zacapexco	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	448462	2181243	2637	130.91	17.24	Rápida
53	San Juan Coajomulco	To	Andosol ócrico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	393971	2183570	2933	400.00	38.71	Rápida
54	San Francisco de las Tablas	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	446775	2184300	2618	93.51	21.05	Rápida
55	Ejido La Cañada	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	449281	2186695	2487	6.95	2.61	Moderada
56	San Marcos Tlazalpan	Hl	Feozem lúvico	Bosque cultivado (de 3 años, antes agrícola)	V - ATLACOMULCO	426636	2187602	2732	26.87	4.19	Moderada
57	Rancho Ventei	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	446932	2188891	2544	13.33	4.12	Moderada
58	Ejido Huehuetoca	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado (eucalipto)	II - NAUCALPAN	473236	2190710	2298	85.71	28.57	Rápida
59	San Antonio Yondeje	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	V - ATLACOMULCO	425065	2195232	2776	33.75	10.11	Moderadamente rápida
60	Ejido Santiago Mixda	Hl	Feozem lúvico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	418879	2192142	2804	42.86	7.66	Moderadamente rápida
61	San Antonio Yondeje	Th	Andosol húmico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	425073	2195191	2786	38.30	14.03	Moderadamente rápida
62	Tinaguizolco Bioparque	Hh	Feozem háplico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	430898	2197345	2785	600.00	112.50	Muy rápida

Tabla 5.8 Información general y tasas de permeabilidad inicial y final de cada sitio. (Continuación).

No. Sitio	Nombre	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Delegación PROBOSQUE	Longitud (X)_UTM	Latitud (Y)_UTM	Altitud (msnm)	Tasa de Permeabilidad Inicial (cm/h)	Tasa de Permeabilidad final (cm/h)	Clasificación de la permeabilidad
63	Tequesquipan	Bc	Cambisol crómico	Agricultura de temporal (frutícola durazno)	IV - TEJUPILCO	399767	2107077	2308	29.75	12.37	Moderadamente rápida
64	Ejido La Corona	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	394707	2199847	2525	4.55	2.59	Moderada
65	San Mateo El Viejo	HI	Feozem lúvico	Bosque de pino encino	V - ATLACOMULCO	402832	2202244	2871	180.00	40.91	Rápida
66	Dexcani El Alto	I	Litosol	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	448911	2202773	2689	514.29	120.00	Muy rápida
67	Ejido San Miguel Acambay	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	V - ATLACOMULCO	413111	2207640	2759	43.90	24.00	Rápida
68	San Miguel Yuxtepec	Hh	Feozem háplico	Agricultura de temporal (maíz)	V - ATLACOMULCO	425520	2159953	2787	40.91	14.63	Moderadamente rápida
69	Santa María Tismadeje	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	V - ATLACOMULCO	400720	2212835	2845	225.00	85.26	Muy rápida
70	Ejido El Rosal	Be	Cambisol éutrico	Bosque cultivado	V - ATLACOMULCO	428968	2223626	2686	21.05	4.90	Moderada
71	Acuitlapilco	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (huerta de aguacate)	VI - COATEPEC HARINAS	417520	2092842	2274	26.47	11.04	Moderadamente rápida

5.4.5. Muestreo de permeabilidad en laboratorio

Complementariamente a las pruebas de permeabilidad que se realizaron en campo, se realizó un muestreo para determinar la permeabilidad en laboratorio, y para ello se tomaron muestras de suelo de los mismos sitios donde se realizaron las pruebas de permeabilidad en campo y éstas se enviaron a laboratorio para determinar la conductividad hidráulica a saturación mediante la metodología del permeámetro de carga constante.

El análisis de las muestras de suelo para determinar la conductividad hidráulica a saturación se realizó en el laboratorio de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados (COLPOS).

5.4.5.1. Metodología del permeámetro de carga constante

Para determinar la conductividad hidráulica de un suelo en laboratorio con esta metodología, se utiliza un permeámetro como el que se muestra en la Figura 5.33.



Figura 5.33. Permeámetro de carga constante para determinar la conductividad hidráulica a saturación en laboratorio.

Por su parte, en la Figura 5.34 se presenta un esquema que muestra el funcionamiento del permeámetro de carga constante.

El permeámetro consiste de un cilindro de unos 10 cm de diámetro donde se introduce la muestra representativa de suelo, donde los extremos superior e inferior están protegidos por una piedra porosa o un filtro. Es importante que la muestra de suelo este completamente saturada de humedad, por lo que la muestra confinada en el cilindro, se introduce en un reservorio anegado de agua que cuenta con un vertedor de nivel constante. Luego, se conecta un tubo de carga en el extremo superior del cilindro que contiene la muestra de suelo. La prueba se lleva a cabo llenando el tubo de carga con agua, permitiendo así que el agua desairada pase a través de la muestra de suelo por un tiempo (t). Se registra el nivel de la columna de agua en el tubo de carga al empezar y al finalizar el ensayo.

En el ensayo de carga constante, una muestra de suelo de longitud L y de sección transversal A es colocada en un tubo cilíndrico entre

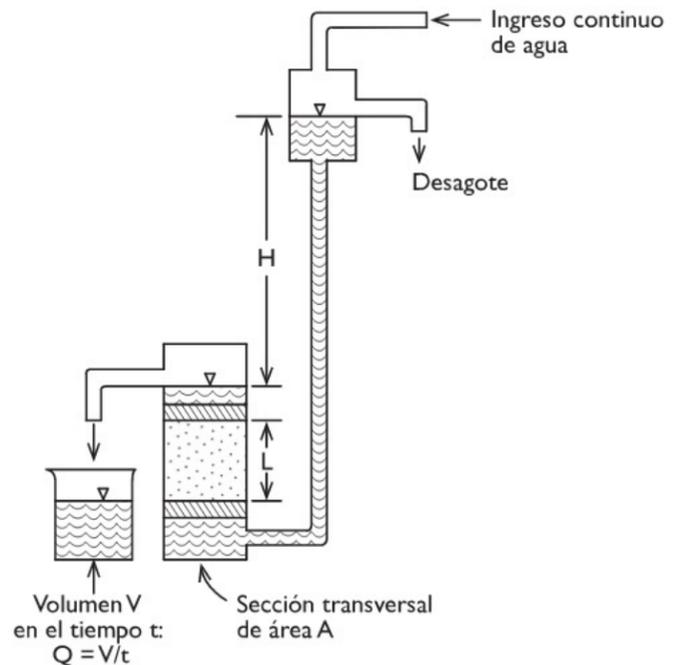


Figura 5.34. Esquema del funcionamiento de un permeámetro de carga constante para determinar la permeabilidad (conductividad hidráulica) de los suelos

Fuente: <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-8/>

dos placas porosas. A dicha muestra se la somete a una diferencia de carga hidráulica constante H .

Según la Ley de Darcy, el caudal que circula por el sistema será:

$$K = \frac{QL}{AH}$$

Donde Q es la descarga constante a través del sistema. Es importante que el aire no quede atrapado en el sistema, por lo que es aconsejable usar agua que no contenga aire atrapado. Si en el permeámetro se están ensayando muestras alteradas, a medida que se las coloca en el cilindro se las debe ir saturando cuidadosamente desde abajo.

Klute (1965) señala que el sistema de carga constante es el más adecuado para muestras con conductividades hidráulicas superiores a 0,01 cm/min.

5.4.5.2. Obtención de muestras de suelo

Se realizaron recorridos de campo por las áreas del Programa de Pagos de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM) y en los 71 sitios donde se realizaron los perfiles de suelo en las diferentes unidades de suelo y distintos tipos de vegetación, se obtuvo una muestra de suelo que se envió al laboratorio para determinar la permeabilidad.

En las fotografías de las figuras 5.35 y 5.36, se presentan testimonios de la obtención de muestras de suelo en campo.

En la Tabla 5.9 se presentan los resultados que se obtuvieron de K_s , conductividad hidráulica, de cada sitio que se ubica en áreas de PSAHEM.



Figura 5.35. Determinación de la textura al tacto y toma de muestras de suelo de cada capa u horizonte.



Figura 5.36. Toma de muestras de suelo para determinar permeabilidad en laboratorio.

5.4.5.3. Resultados de laboratorio de permeabilidad de suelo

Tabla 5.9. Resultados de Ks (conductividad hidráulica, cm/h) obtenidos en laboratorio a partir de muestras de suelo obtenidas de los sitios ubicados en áreas de PSAHEM.

No. Sitio	Nombre	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Ks (cm/h)
1	Ejido Tonatico	E	Rendzina	Selva baja caducifolia	119.90
2	San Lorenzo Toxico	Vp	Vertisol pélico	Agricultura de temporal (en descanso)	3.02
3	Ejido Tonatico	Re	Regosol éútrico	Bosque de táscate	4.23
4	San Pedro Chichiasco	E	Rendzina	Bosque de táscate	77.47
5	Chiltepec de Hidalgo	Lf	Luvisol férrico	Bosque de pino encino	35.69
6	Delegación San Martín	Hh	Feozem háplico	Selva baja caducifolia	22.17
7	ExHacienda Agua Amarga	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	13.48
8	Chiltepec de Hidalgo	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	43.20
9	San Martín El Salto	Be	Cambisol éútrico	Bosque mesófilo de montaña	44.55
10	Rancho Potrero de la Sierra	Th	Andosol húmico	Bosque de pino encino	11.85
11	La Guacamaya	Hh	Feozem háplico	Bosque de oyamel	29.83
12	Ejido Coatepec Harinas	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	65.00
13	Ejido El Peñón	Ao	Acrisol órtico	Bosque de encino pino	5.97
14	San Pedro Tlanixco	I	Litosol	Bosque de pino encino	97.91
15	Ejido Ozumba	Re	Regosol éútrico	Bosque de pino encino	19.73
16	Tequesquipan	Bc	Cambisol crómico	Bosque de pino encino	14.21
17	San Francisco Albarrada	Bd	Cambisol dístrico	Bosque de pino encino	9.22
18	Ejido Ozumba	Re	Regosol éútrico	Bosque de oyamel	48.73
19	La Estancia	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	39.60
20	B.C. Amecameca	Re	Regosol éútrico	Bosque de oyamel	36.17
21	San Francisco Zentlalpan	Re	Regosol éútrico	Bosque cultivado	19.61
22	San Juan de las Huertas	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	33.36
23	San Francisco Mihualtepec	Ao	Acrisol órtico	Bosque de pino encino	40.47
24	Ejido Mesón Viejo	Th	Andosol húmico	Bosque de pino	44.87
25	San Miguel Mimiapan	To	Andosol ócrico	Agricultura de temporal (maíz)	7.06
26	Santiago Tilapa	I	Litosol	Bosque de encino	30.78
27	Hacienda La Gavia	Hh	Feozem háplico	Bosque cultivado	7.92
28	Hacienda La Gavia	Vp	Vertisol pélico	Bosque de pino	20.61
29	ExHacienda San Nicolás	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado	1.66
30	Santa María Atarasquillo	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	102.74
31	El Calvario del Carmen	Wh	Planosol húmico	Agricultura de temporal (maíz)	9.45
32	San Miguel Mimiapan	Th	Andosol húmico	Bosque de oyamel	23.76
33	San Francisco Chimalpa	Be	Cambisol éútrico	Bosque de encino	71.97

Resultados

Tabla 5.9. Resultados de Ks (conductividad hidráulica, cm/h) obtenidos en laboratorio a partir de muestras de suelo obtenidas de los sitios ubicados en áreas de PSAHEM. (Continuación).

No. Sitio	Nombre	Clave de Unidad de Suelo	Nombre de Unidad de Suelo	Tipo de vegetación	Ks (cm/h)
34	Ejido Cerritos del Pilar	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	18.24
35	San Pedro del Rincón	To	Andosol ócrico	Bosque cultivado	11.29
36	Rancho San Antonio	Wm	Planosol mólico	Bosque cultivado	4.30
37	Ejido Nativitas	Bd	Cambisol dístrico	Bosque de encino	7.50
38	San Pablo Ixayoc	Bd	Cambisol dístrico	Bosque de encino pino	10.17
39	Palos Amarillos, Yebucivi	Tm	Andosol mólico	Bosque cultivado	17.56
40	San Juan Jiquipilco	Be	Cambisol éútrico	Bosque de encino	25.16
41	Santa Ana Jilotzingo	Th	Andosol húmico	Bosque cultivado	10.10
42	San Miguel Yuxtepec	Hh	Feozem háplico	Bosque de pino encino	37.29
43	San Lorenzo Toxico	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado	3.87
44	San Miguel Tlaixpan	Bh	Cambisol húmico	Bosque de encino	9.29
45	San Jerónimo Mavati	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino	9.80
46	Santa Bárbara	Be	Cambisol éútrico	Bosque de pino encino	16.63
47	Santa Ana Jilotzingo	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	5.79
48	Rancho El Paradeño	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	41.58
49	El Calvario del Carmen	Wh	Planosol húmico	Bosque cultivado	15.28
50	Ejido Buenavista	Hh	Feozem háplico	Matorral crasicaule	4.37
51	Santa Cruz del Tejocote	To	Andosol ócrico	Bosque de oyamel	8.08
52	San Jerónimo Zacapexco	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	62.49
53	San Juan Coajomulco	To	Andosol ócrico	Bosque de pino encino	15.53
54	San Francisco de las Tablas	Tm	Andosol mólico	Bosque de pino encino	16.28
55	Ejido La Cañada	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	46.43
56	San Marcos Tlaxalpan	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado (de 3 años, antes agrícola)	4.21
57	Rancho Ventei	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino	12.60
58	Ejido Huehuetoca	Vp	Vertisol pélico	Bosque cultivado (eucalipto)	4.96
59	San Antonio Yondeje	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (avena)	13.47
60	Ejido Santiago Mixda	HI	Feozem lúvico	Bosque cultivado	9.92
61	San Antonio Yondeje	Th	Andosol húmico	Bosque de encino pino	27.22
62	Tinaguizolco Bioparque	Hh	Feozem háplico	Bosque de encino	38.57
63	Tequesquipan	Bc	Cambisol crómico	Agricultura de temporal (frutícola durazno)	24.76
64	Ejido La Corona	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	7.92
65	San Mateo El Viejo	HI	Feozem lúvico	Bosque de pino encino	14.62
66	Dexcani El Alto	I	Litosol	Bosque de encino	12.16
67	Ejido San Miguel Acambay	HI	Feozem lúvico	Bosque de encino	109.88
68	San Miguel Yuxtepec	Hh	Feozem háplico	Agricultura de temporal (maíz)	15.19
69	Santa María Tismadeje	Lc	Luvisol crómico	Bosque de encino pino	10.63
70	Ejido El Rosal	Be	Cambisol éútrico	Bosque cultivado	21.33
71	Acuitlapilco	Th	Andosol húmico	Agricultura de temporal (huerta de aguacate)	2.83

De acuerdo con la tabla 5.9 se observa que existe una gran variabilidad de valores de **Ks** entre los diferentes tipos de suelo y no se diga entre los distintos tipos de vegetación. Por supuesto que se esperaba que existiera una correlación entre la misma unidad de suelo y el mismo tipo de suelo, sin embargo, las diferencias se deben a que los manejos que se presentan en cada bosque difieren y por ello se tienen suelos con diferentes respuestas a la conductividad hidráulica. Y es que en este caso la prueba se hace con muestras alteradas de suelo, por lo tanto sería mejor determinar el comportamiento de la conductividad de acuerdo con la textura de suelo.

En general, en los suelos donde se tiene un uso agrícola con cultivos de maíz o avena o en descanso, se tienen valores de conductividad hidráulica que oscilan de 15.19 a 3.02 cm/h, lo que da en promedio de 9.00 cm/h que corresponde a 6 sitios.

En los bosques cultivados, se obtuvieron valores de conductividad hidráulica de 33.36 a 1.66 cm/h, con un promedio de 12.82 cm/h para 14 sitios.

En relación con el bosque de encino, se tienen valores que oscilan de 109.88 a 4.21 cm/h, con un valor promedio de 32.16 cm/h de acuerdo con información de 13 sitios.

El bosque de encino pino a su vez presenta valores de 62.49 a 10.17 cm/h, y el valor medio es de 27.63 para los 4 sitios que se evaluaron.

Por su parte el bosque de oyamel presento conductividades hidráulicas de 102.74 a 8.08 cm/h, y de acuerdo con los 6 sitios que se estudiaron, el promedio oscila en los 41.55 cm/h.

Con valores de 66.0 a 9.8 cm/h en el bosque de pino y un promedio de 35.98 cm/h de conductividad hidráulica de acuerdo a datos de 5 sitios.

Y en cuanto al bosque de pino encino, se realizaron pruebas de 14 sitios, y los valores de conductividad hidráulica oscilaron de 97.91 a 9.22 cm/h, y el valor medio está en 27.58 cm/h.

La misma comparación de resultados se realizó para caso de los valores de permeabilidad final que se obtuvieron en campo, por lo que se obtuvo para cada tipo de vegetación el valor medio, de tal manera que junto con los valores medios de conductividad hidráulica (**Ks**) de laboratorio, se puede mencionar que los bosque de oyamel y pino son quienes tienden a presentar las mejores tasas de permeabilidad y conductividad hidráulica en los suelos en que se

establecen. Le siguen los bosques de encino, luego los encino pino y pino encino, y al final están los bosques cultivados, que se trata generalmente de reforestaciones recientes en donde los suelos están en proceso de recuperación debido a que anteriormente tenía un uso de suelo agrícola, de pastizales o en su caso de zonas o áreas que fueron deforestadas y erosionadas, pero que sin embargo presentan buenas tasas de permeabilidad y de conductividad hidráulica en comparación con las áreas agrícolas de maíz o avena y no se diga comparada con una parcela que se cambia de uso de suelo de forestal a parcela de aguacate (Tabla 5.10).

5.4.6. Análisis físico de muestras de suelo en laboratorio

De cada perfil de suelo que se describió se tomaron muestras de suelo de cada horizonte o capa de suelo. Existieron sitios en los cuales se obtuvo una sola muestra y sitios donde se tomaron 6 muestras de suelo (Figura 5.37).

Cada muestra de suelo tuvo un peso aproximado de 1.0 – 1.5. kg, y éstas se enviaron al Laboratorio de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados y se les practicaron los análisis físicos de acuerdo a las metodologías estándar aprobadas. Este laboratorio cuenta con el personal calificado con experiencia y con el equipamiento requerido para realizar los análisis físicos.

En las Figura 5.38 y Figura 5.39, se presentan testimonios fotográficos de la realización de los análisis físicos a las muestras de suelo en laboratorio.

En el laboratorio se les realizó el análisis de las siguientes determinaciones físicas:

- Textura (método de Day modificado)
- Densidad aparente (método del terrón con parafina)
- Densidad real (método del picnómetro)

Tabla 5.10. Valores medios de Ks (conductividad hidráulica, cm/h) y de permeabilidad (cm/h) por tipo de uso de suelo y vegetación de las áreas de PSAHEM.

No.	Uso de suelo / Vegetación	Valor medio de Ks de laboratorio (cm/h)	Valor medio de tasa de permeabilidad final (cm/h)
1	Agrícola (maíz, avena, descanso)	9.00	10.12
2	Bosque cultivado	12.82	29.74
3	Bosque de pino encino	27.58	29.21
4	Bosque de encino pino	27.63	31.59
5	Bosque de encino	32.16	31.90
6	Bosque de pino	35.98	51.10
7	Bosque de oyamel	41.55	55.92
8	Huerta de aguacate	2.83	11.01

- Curva de retención de humedad (método de la membrana y olla de presión)
- Capacidad de campo (CC) (a partir de la curva de retención de humedad)
- Punto de marchitamiento permanente (PMP) (a partir de la curva de retención de humedad)
- Materia orgánica (método de Walkley y Black)
- pH (método del potenciómetro)
- Conductividad hidráulica a saturación (método del permeámetro de carga constante) esta metodología se describe en el apartado de muestreo de permeabilidad en laboratorio.

En el Anexo 5 se describen las metodologías que se utilizaron para realizar los análisis físicos a las muestras de suelo.

5.4.6.1. Resultados de los análisis físico de las muestras de los perfiles de suelo

Se obtuvieron 256 muestras de suelo de los 71 perfiles de suelo que se describieron en las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). En la Tabla 5.11 se presentan los resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo.



Figura 5.37. Toma de muestras de los perfiles de suelo para realizar análisis físico en laboratorio.



Figura 5.38. Actividades que se realizaron en el laboratorio para los análisis físicos a las muestras de suelo.

Tabla 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
1	1	H1	7.20	2.84	4.89	1.25	2.45	29	22	85.79	29.0	33.8	37.2	Franco Arcilloso
2		H2	7.10	1.34	2.32	0.93	2.49	31	22	34.26	29.6	26.1	44.3	Arcilla
3		H3	7.60	0.82	1.42	1.22	2.63	28	17	7.84	38.7	28.0	33.3	Franco Arcilloso
4	2	H1	5.70	1.12	1.93	1.68	2.37	29	19	2.79	21.7	31.5	46.9	Arcilla
5		H2	6.10	0.37	0.64	1.52	2.35	33	22	1.25	24.1	20.6	55.2	Arcilla
6		H3	6.90	0.07	0.13	1.58	2.32	42	30	1.88	10.8	27.5	61.7	Arcilla
7		H4	7.30	0.52	0.90	1.76	2.42	46	36	1.39	6.6	30.2	63.1	Arcilla
8	3	H1	5.60	2.61	4.50	1.56	2.47	25	17	12.46	21.5	47.6	30.9	Franco Arcilloso
9	4	H1	6.80	4.40	7.59	1.32	2.32	33	25	16.92	9.3	55.7	35.0	Franco Arcillo Limoso
10	5	H1	5.00	1.72	2.96	1.42	1.47	29	19	3.92	17.5	41.8	40.7	Arcillo Limoso
11		H2	4.60	0.22	0.39	1.55	2.47	36	28	2.51	12.9	27.5	59.6	Arcilla
12		H3	4.70	0.00	0.00	1.72	2.22	42	32	1.90	7.9	19.8	72.3	Arcilla
13	6	H1	5.80	4.33	7.46	1.45	2.31	33	18	10.95	19.3	61.1	19.6	Franco Limoso
14		H2	5.40	0.52	0.90	1.71	2.49	25	16	2.98	15.3	57.7	27.0	Franco Limoso
15	7	H1	5.80	2.02	3.47	1.02	2.21	51	31	4.56	33.7	59.0	7.3	Franco Limoso
16		H2	5.50	0.97	1.67	1.02	2.23	53	38	6.41	12.9	77.0	10.1	Franco Limoso
17		H3	6.00	0.37	0.64	1.03	2.06	61	40	6.68	15.3	65.2	19.5	Franco Limoso
18		H4	6.00	1.05	1.80	1.03	2.34	58	37	2.90	29.9	60.0	10.1	Franco Limoso

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
19	8	H1	5.20	4.33	7.46	1.02	2.19	49	26	6.24	21.6	64.9	13.6	Franco Limoso
20		H2	5.00	2.46	4.25	1.19	2.31	44	26	4.20	14.1	62.4	23.5	Franco Limoso
21		H3	4.80	0.15	0.26	1.34	2.31	42	33	6.29	3.3	42.3	54.4	Arcillo Limoso
22	9	H1	5.40	1.27	2.19	0.96	2.45	37	26	7.31	19.2	55.8	25.0	Franco Limoso
23		H2	5.60	2.24	3.86	0.93	2.27	53	30	1.43	16.5	57.8	25.6	Franco Limoso
24		H3	5.30	0.00	0.00	1.47	2.51	36	30	3.74	14.0	49.1	36.9	Franco Arcillo Limoso
25	10	H1	5.40	2.99	5.15	0.94	1.90	50	32	4.92	32.4	42.9	24.6	Franco
26		H2	5.50	0.97	1.67	1.04	2.24	50	36	9.98	27.6	53.8	18.6	Franco Limoso
27		H3	5.90	0.37	0.64	1.04	2.25	43	30	10.13	28.0	35.5	36.6	Franco Arcilloso
28	11	H1	4.70	14.00	24.13	1.04	1.78	77	56	16.74	11.4	68.7	19.9	Franco Limoso
29		H2	4.90	9.64	16.62	1.04	1.64	77	38	19.18	11.8	64.8	23.4	Franco Limoso
30		H3	5.60	0.82	1.42	1.02	2.31	21	12	8.71	72.1	17.7	10.2	Franco Arenoso
31	12	H1	5.20	9.64	16.62	1.02	1.52	42	28	28.22	28.6	47.4	24.0	Franco
32		H2	5.50	1.57	2.70	1.22	2.33	24	16	3.98	58.6	22.4	19.1	Franco Arenoso
33		H3	5.60	1.34	2.32	1.22	2.47	21	15	31.74	61.1	18.9	20.0	Franco Arenoso
34	13	H1	5.50	1.57	2.70	1.19	2.52	20	12	12.02	70.8	13.0	16.2	Franco Arenoso
35		H2	4.90	0.37	0.64	1.76	2.66	15	11	19.19	59.4	21.9	18.7	Franco Arenoso
36	14	H1	5.50	4.33	7.46	1.14	2.61	27	15	11.71	51.4	47.0	1.6	Franco Arenoso
37		H2	5.10	2.09	3.60	1.20	2.68	12	9	7.95	68.9	19.9	11.2	Franco Arenoso
38		H3	5.40	1.27	2.19	1.07	2.23	37	29	17.31	38.3	38.0	23.7	Franco
39	15	H1	5.50	2.46	4.25	1.22	2.88	20	11	3.06	44.7	45.6	9.7	Franco
40		H2	5.80	2.39	4.12	1.25	2.59	22	12	2.94	45.9	40.6	13.5	Franco
41		H3	6.00	1.72	2.96	1.25	2.57	18	7	5.10	59.2	29.4	11.4	Franco Arenoso
42		H4	6.00	0.37	0.64	1.47	2.62	9	3	3.66	69.6	19.3	11.1	Franco Arenoso
43		H5	6.00	0.37	0.64	1.61	2.63	8	3	0.93	69.4	20.9	9.7	Franco Arenoso
44		H6	6.00	0.22	0.39	1.32	2.62	19	4	0.06	56.0	38.3	5.8	Franco Arenoso
45	16	H1	5.20	4.55	7.85	1.20	2.20	44	30	25.59	13.8	37.6	48.6	Arcilla
46		H2	5.30	1.79	3.09	1.01	2.36	42	27	6.49	11.4	41.7	46.9	Arcillo Limoso
47		H3	4.80	0.15	0.26	1.40	2.35	40	31	6.83	6.6	37.9	55.5	Arcilla
48	17	H1	4.50	2.09	3.60	1.33	2.46	23	12	33.33	52.4	28.2	19.3	Franco Arenoso
49		H2	4.50	0.45	0.77	1.42	2.53	22	14	19.38	45.0	31.9	23.1	Franco
50		H3	4.90	0.00	0.00	1.56	2.61	21	13	6.33	51.7	28.7	19.6	Franco
51	18	H1	6.00	7.78	13.41	1.02	2.40	32	21	39.64	57.7	33.0	9.3	Franco Arenoso
52		H2	5.90	4.70	8.11	1.09	2.38	28	14	14.58	58.1	28.5	13.4	Franco Arenoso
53		H3	6.00	1.57	2.70	1.20	2.52	18	7	4.83	59.4	29.9	10.7	Franco Arenoso
54		H4	6.00	0.75	1.29	1.43	2.56	15	4	3.48	62.4	29.3	8.3	Franco Arenoso
55		H5	6.10	0.07	0.13	1.52	2.70	10	3	3.26	70.7	23.6	5.8	Franco Arenoso
56		H6	5.90	0.90	1.54	1.39	2.78	11	5	3.40	50.7	38.7	10.6	Franco
57	19	H1	5.30	6.27	10.81	1.02	2.23	53	30	19.85	22.5	65.1	12.4	Franco Limoso
58		H2	5.50	2.76	4.76	1.02	2.29	51	34	21.41	26.5	58.5	15.0	Franco Limoso
59		H3	5.80	3.36	5.79	1.01	1.98	61	45	28.69	17.3	68.7	14.0	Franco Limoso

Resultados

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
60		H4	5.80	2.91	5.02	1.01	1.90	69	49	41.16	6.2	77.1	16.7	Franco Limoso
61		H5	5.70	1.05	1.80	1.02	2.32	54	34	41.16	31.1	43.4	25.5	Franco
62	20	H1	5.60	3.58	6.18	1.08	2.55	22	12	6.99	55.6	32.0	12.4	Franco Arenoso
63		H2	5.90	0.97	1.67	1.43	2.72	14	5	3.55	64.2	26.2	9.6	Franco Arenoso
64		H3	5.90	1.19	2.06	1.02	2.66	27	9	2.40	35.7	49.3	15.0	Franco
65		H4	6.00	1.79	3.09	1.14	2.52	28	12	3.45	47.5	40.0	12.5	Franco
66		H5	5.40	0.00	0.00	1.08	2.60	24	11	4.42	59.2	32.3	8.5	Franco Arenoso
67	21	H1	6.00	2.76	4.76	1.29	2.50	26	12	4.40	43.6	35.6	20.8	Franco
68		H2	5.90	1.12	1.93	1.32	2.53	25	13	0.78	32.1	44.2	23.6	Franco
69		H3	5.90	0.60	1.03	1.56	2.48	28	17	0.43	21.6	49.6	28.8	Franco Arcilloso
70		H4	6.10	0.52	0.90	1.35	2.31	34	21	0.75	17.9	51.0	31.1	Franco Arcillo Limoso
71	22	H1	5.10	11.20	19.30	1.01	1.38	70	38	15.46	23.4	57.4	19.1	Franco Limoso
72		H2	4.90	6.84	11.80	1.97	2.08	56	30	35.10	41.1	42.7	16.1	Franco
73		H3	5.30	0.07	0.13	1.16	2.49	16	5	98.18	87.8	8.6	3.5	Arena
74		H4	5.50	0.15	0.26	1.47	2.46	9	4	39.42	85.3	9.0	5.8	Arena Francosa
75	23	H1	4.90	0.45	0.77	1.53	2.41	31	21	15.55	7.4	31.4	61.2	Arcilla
76		H2	4.90	0.97	1.67	1.53	2.73	31	22	22.61	7.3	29.9	62.7	Arcilla
77		H3	5.70	0.52	0.90	1.52	2.31	39	30	14.46	3.9	18.0	78.1	Arcilla
78	24	H1	5.20	8.33	14.36	1.01	2.20	52	30	16.45	34.1	45.5	20.4	Franco
79		H2	5.80	0.97	1.67	1.08	2.38	40	22	7.60	34.5	40.4	25.2	Franco
80		H3	5.70	0.37	0.64	1.27	2.38	35	27	30.44	40.2	29.3	30.5	Franco Arcilloso
81	25	H1	5.60	2.91	5.02	1.25	2.55	44	23	0.67	28.8	47.3	23.9	Franco
82		H2	5.60	0.82	1.42	0.94	2.48	39	26	11.26	18.0	31.6	50.4	Arcilla
83		H3	5.80	0.07	0.13	1.01	2.34	51	42	17.85	4.0	48.6	47.5	Arcillo Limoso
84		H4	5.70	0.07	0.13	1.37	2.51	46	34	6.16	3.6	40.3	56.1	Arcillo Limoso
85		H5	5.90	0.07	0.13	1.30	2.38	51	39	18.01	2.6	33.7	63.7	Arcilla
86	26	H1	5.60	3.96	6.82	0.79	2.13	60	31	2.31	13.1	78.9	7.9	Franco Limoso
87		H2	6.00	1.57	2.70	0.91	2.24	52	35	0.72	23.1	69.1	7.8	Franco Limoso
88	27	H1	5.40	3.43	5.92	1.30	2.29	28	22	21.79	26.6	48.8	24.6	Franco
89		H2	5.50	0.67	1.16	1.78	2.44	27	19	1.67	22.7	34.9	42.4	Arcilla
90	28	H1	4.95	2.24	3.86	1.27	2.33	25	18	30.56	21.5	51.4	27.1	Franco Arcilloso
91		H2	5.80	1.27	2.19	1.71	2.46	26	16	1.18	37.4	29.5	33.1	Franco Arcilloso
92		H3	6.40	0.37	0.64	1.69	2.38	33	23	0.83	31.5	21.9	46.5	Arcilla
93		H4	6.60	0.15	0.26	1.02	2.38	35	19	7.76	67.8	15.6	16.7	Franco Arenoso
94	29	H1	4.60	0.97	1.67	1.42	2.37	28	19	15.17	25.9	33.2	40.9	Arcilla
95		H2	5.40	0.07	0.13	1.62	2.47	28	18	3.51	25.6	36.7	37.7	Franco Arcilloso
96		H3	5.50	0.15	0.26	1.49	2.44	34	25	0.43	9.5	44.7	45.8	Arcillo Limoso
97	30	H1	5.30	9.64	16.62	1.02	1.27	58	49	114.68	14.8	66.3	18.9	Franco Limoso
98		H2	5.45	2.02	3.47	0.94	2.25	42	26	12.58	44.8	42.5	12.7	Franco
99		H3	5.60	1.05	1.80	1.01	2.35	35	23	15.38	41.1	44.1	14.7	Franco
100		H4	5.20	0.00	0.00	1.22	3.02	35	26	2.89	36.3	41.5	22.2	Franco
101	31	H1	4.40	1.05	1.80	1.39	2.37	30	21	7.59	15.7	36.4	48.0	Arcilla
102		H2	5.20	0.22	0.39	1.63	2.36	36	25	0.74	20.0	25.1	54.8	Arcilla
103		H3	4.80	0.37	0.64	1.62	2.42	36	25	0.70	10.9	28.8	60.3	Arcilla
104		H4	5.50	0.52	0.90	1.57	2.20	41	23	0.44	6.0	28.5	65.5	Arcilla
105		H5	5.80	0.00	0.00	1.52	2.32	29	17	0.20	24.6	43.6	31.8	Franco Arcilloso
106	32	H1	5.90	5.15	8.88	1.02	2.02	48	36	40.69	17.9	71.9	10.3	Franco Limoso
107		H2	5.80	1.05	1.80	2.19	2.26	38	25	7.88	24.3	67.8	7.9	Franco Limoso

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
108		H3	5.30	0.00	0.00	1.66	2.37	25	19	4.20	29.8	46.7	23.6	Franco
109		H4	4.90	0.15	0.26	1.43	2.29	34	22	5.45	29.5	52.3	18.1	Franco Limoso
110	33	H1	5.70	4.33	7.46	1.07	2.22	47	27	3.01	20.3	67.6	12.1	Franco Limoso
111		H2	5.80	3.28	5.66	1.01	2.36	36	19	2.03	33.8	53.9	12.3	Franco Limoso
112		H3	6.25	0.97	1.67	1.06	2.25	41	24	1.94	21.8	66.4	11.8	Franco Limoso
113		H4	5.40	0.00	0.00	1.43	2.38	34	22	0.57	12.5	65.6	21.9	Franco Limoso
114	34	H1	5.15	3.96	6.82	1.42	2.31	36	24	1.14	5.3	55.6	39.1	Franco Arcillo Limoso
115		H2	4.60	1.05	1.80	1.45	2.42	28	19	4.33	8.2	53.2	38.6	Franco Arcillo Limoso
116		H3	4.85	0.60	1.03	1.42	2.52	26	17	3.92	18.9	50.4	30.7	Franco Arcillo Limoso
117		H4	5.10	0.15	0.26	1.52	2.53	29	21	0.66	16.3	36.1	47.6	Arcilla
118	35	H1	6.15	13.37	23.06	1.04	1.63	77	56	13.68	9.1	76.0	14.9	Franco Limoso
119		H2	5.70	0.75	1.29	1.03	1.61	56	34	5.36	34.9	56.0	9.0	Franco Limoso
120		H3	5.65	0.07	0.13	1.03	2.30	65	31	13.80	58.0	31.5	10.5	Franco Arenoso
121	36	H1	4.90	1.87	3.22	1.25	2.55	25	17	67.27	33.6	42.0	24.4	Franco
122		H2	5.10	1.42	2.45	1.46	2.57	24	15	21.79	29.9	43.3	26.8	Franco
123		H3	5.65	0.82	1.42	1.22	2.40	37	26	3.43	13.9	34.1	52.0	Arcilla
124		H4	6.10	0.00	0.00	1.62	2.32	34	27	2.94	8.2	32.6	59.3	Arcilla
125		H5	6.30	0.22	0.39	1.47	2.40	35	28	8.11	41.7	33.9	24.5	Franco
126	37	H1	5.60	4.18	7.21	1.02	2.18	45	29	45.70	23.1	54.5	22.4	Franco Limoso
127		H2	5.10	0.37	0.64	1.27	2.49	29	16	0.92	33.3	40.1	26.6	Franco
128		H3	5.40	0.00	0.00	1.47	2.44	30	17	0.92	29.3	41.6	29.1	Franco Arcilloso
129		H4	5.65	0.15	0.26	1.58	2.63	32	19	0.31	23.4	43.1	33.5	Franco Arcilloso
130		H5	5.80	0.00	0.00	1.64	2.29	37	26	0.34	16.1	39.4	44.5	Arcilla
131		H6	6.20	0.07	0.13	1.11	3.40	36	27	6.86	7.2	66.8	26.1	Franco Limoso
132	38	H1	5.85	1.87	3.22	1.05	2.30	47	29	1.19	8.4	73.8	17.8	Franco Limoso
133		H2	5.90	1.05	1.80	1.02	2.39	41	25	2.80	9.0	73.3	17.7	Franco Limoso
134		H3	5.95	0.30	0.51	1.37	2.51	25	17	2.28	55.5	32.3	12.2	Franco Arenoso
135		H4	5.85	0.00	0.00	1.32	2.54	19	14	10.41	27.9	49.9	22.1	Franco
136		H5	6.30	0.00	0.00	1.50	2.03	50	27	1.13	8.4	32.5	59.1	Arcilla
137		H6	6.65	0.00	0.00	1.43	2.04	47	27	0.02	11.8	35.0	53.3	Arcilla
138	39	H1	5.10	6.42	11.07	1.02	2.04	60	20	3.70	15.2	73.6	11.2	Franco Limoso
139		H2	5.50	2.31	3.99	1.03	1.98	52	21	9.35	24.6	62.6	12.7	Franco Limoso
140		H3	5.70	0.00	0.00	1.33	2.18	33	16	3.94	43.7	30.9	25.4	Franco
141	40	H1	5.40	7.02	12.10	0.70	1.79	65	24	62.67	0.7	79.6	19.7	Franco Limoso
142		H2	6.00	2.54	4.38	1.02	2.00	52	18	2.18	18.2	71.9	10.0	Franco Limoso
143		H3	5.80	2.09	3.60	1.02	2.05	46	17	3.38	24.8	47.2	27.9	Franco Arcilloso
144		H4	6.30	0.52	0.90	1.39	2.07	35	17	3.74	13.3	36.8	49.9	Arcilla
145	41	H1	5.05	2.91	5.02	1.02	2.06	45	15	2.05	31.5	56.2	12.3	Franco Limoso
146		H2	5.30	1.94	3.35	1.26	2.02	44	16	5.96	27.4	50.7	21.9	Franco Limoso
147		H3	4.80	0.37	0.64	1.38	2.15	31	14	9.19	43.7	34.3	22.0	Franco
148	42	H1	4.90	6.84	11.80	0.91	1.97	44	15	6.67	38.1	53.6	8.3	Franco Limoso
149		H2	5.10	2.46	4.25	1.25	2.22	28	9	0.72	-55.8	38.4	5.8	Franco Arenoso

Resultados

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
150		H3	5.00	0.82	1.42	1.93	2.38	21	7	3.31	63.4	0.5	36.1	Franco Arcillo Arenoso
151	43	H1	5.35	1.87	3.22	1.52	2.42	26	17	41.00	45.9	29.6	24.4	Franco
152		H2	5.70	0.22	0.39	1.20	2.43	43	20	2.99	15.3	58.7	26.0	Franco Limoso
153		H3	5.95	0.90	1.54	1.26	2.39	29	16	7.99	23.5	51.6	24.9	Franco Limoso
154		H4	6.10	0.52	0.90	1.26	2.60	27	14	5.37	33.0	46.8	20.2	Franco
155	44	H1	5.80	2.09	3.60	1.01	2.52	30	16	4.75	47.7	38.7	13.7	Franco
156		H2	5.65	1.72	2.96	1.22	2.61	29	15	2.70	37.7	56.4	5.9	Franco Limoso
157		H3	5.70	1.42	2.45	1.09	2.19	41	21	1.37	44.7	49.2	6.1	Franco Arenoso
158		H4	5.80	0.75	1.29	1.02	2.43	49	22	1.15	39.5	28.5	32.0	Franco Arcilloso
159		H5	6.10	1.42	2.45	1.35	2.39	35	24	23.25	29.2	36.0	34.8	Franco Arcilloso
160		H6	6.50	0.52	0.90	1.50	2.73	27	17	0.30	33.5	39.1	27.3	Franco
161	45	H1	5.00	5.37	9.27	1.01	2.19	67	35	8.87	14.8	74.2	10.9	Franco Limoso
162		H2	5.55	1.79	3.09	1.02	2.22	54	30	5.92	26.8	60.0	13.2	Franco Limoso
163		H3	5.35	0.90	1.54	1.49	2.17	33	23	12.44	16.7	26.8	56.4	Arcilla
164	46	H1	5.85	2.99	5.15	1.14	2.16	39	21	5.52	20.0	51.5	28.5	Franco Arcilloso
165		H2	5.80	2.91	5.02	1.01	2.15	37	21	8.59	26.7	47.2	26.1	Franco
166		H3	5.70	1.94	3.35	1.02	2.22	45	22	1.70	27.3	53.4	19.3	Franco Limoso
167		H4	5.95	0.67	1.16	0.85	2.21	60	24	1.39	24.6	59.5	15.9	Franco Limoso
168		H5	6.00	0.52	0.90	1.21	2.22	34	24	1.37	23.1	57.1	19.8	Franco Limoso
169		H6	6.10	0.22	0.39	1.01	2.37	44	24	1.37	25.0	52.0	23.0	Franco Limoso
170	47	H1	4.80	4.85	8.36	1.01	2.04	50	26	2.05	24.9	58.2	16.9	Franco Limoso
171		H2	4.85	0.52	0.90	1.37	2.27	34	24	8.11	33.9	39.3	26.8	Franco
172		H3	4.50	0.30	0.51	1.29	2.22	37	27	1.91	21.4	45.5	33.1	Franco Arcilloso
173	48	H1	5.05	4.85	8.36	1.29	2.09	40	29	37.18	9.7	48.3	42.0	Arcillo Limoso
174		H2	4.50	1.87	3.22	1.49	2.23	32	23	3.35	12.4	30.5	57.0	Arcillo Limoso
175		H3	4.80	2.76	4.76	1.22	2.22	35	24	2.50	18.1	40.3	41.6	Franco Arcillo Limoso
176		H4	4.90	0.67	1.16	1.46	2.41	41	34	9.67	5.2	18.2	76.6	Arcilla
177	49	H1	4.80	1.87	3.22	1.59	2.42	30	23	7.55	21.9	22.9	55.2	Arcilla
178		H2	5.35	0.90	1.54	1.66	2.37	37	28	0.75	17.8	22.2	60.0	Arcilla
179		H3	6.50	0.37	0.64	1.47	2.35	40	26	0.88	21.4	51.5	27.1	Franco Limoso
180		H4	6.70	0.30	0.51	1.44	2.38	27	16	1.18	50.9	41.4	7.7	Franco
181	50	H1	5.50	3.28	5.66	1.22	2.48	37	23	4.28	22.8	45.1	32.2	Franco Arcilloso
182		H2	5.30	1.72	2.96	1.20	2.44	31	18	1.55	26.5	46.5	27.0	Franco
183		H3	5.60	1.57	2.70	1.03	2.39	32	18	3.49	23.3	51.8	24.9	Franco Limoso
184		H4	5.90	0.67	1.16	1.16	2.40	35	18	1.42	25.4	55.4	19.2	Franco Limoso
185		H5	5.90	0.75	1.29	1.13	2.42	35	21	1.94	21.1	48.4	30.5	Franco Arcilloso
186		H6	6.00	0.67	1.16	1.00	2.29	47	28	1.39	15.2	58.6	26.2	Franco Limoso
187	51	H1	5.20	5.37	9.27	0.77	2.15	59	33	4.80	25.3	59.9	14.8	Franco Limoso
188		H2	5.50	0.97	1.67	0.85	2.22	57	34	2.95	25.5	62.7	11.8	Franco Limoso
189		H3	5.50	0.97	1.67	0.89	2.23	43	36	11.95	23.3	61.5	15.2	Franco Limoso
190	52	H1	5.00	5.91	10.19	1.06	2.30	43	28	49.96	16.0	57.4	26.6	Franco Limoso
191		H2	4.20	1.57	2.70	1.61	2.54	31	20	1.20	22.3	45.8	31.8	Franco Arcilloso

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
192		H3	4.70	0.60	1.03	1.61	2.44	36	34	13.15	9.1	27.4	63.5	Arcilla
193		H4	4.70	0.45	0.77	1.35	2.43	42	30	2.10	29.5	32.4	38.1	Franco Arcilloso
194	53	H1	5.40	7.78	13.41	0.91	2.36	41	24	6.49	42.6	40.9	16.5	Franco
195		H2	5.00	2.31	3.99	1.14	2.50	32	17	1.29	55.1	28.3	16.6	Franco Arenoso
196		H3	4.60	0.75	1.29	1.33	2.50	25	12	2.92	40.7	41.4	17.9	Franco
197	54	H1	5.50	10.89	18.77	1.32	2.01	71	44	38.08	9.3	65.9	24.8	Franco Limoso
198		H2	5.10	6.53	11.26	1.04	1.90	67	31	5.72	11.8	77.7	10.5	Franco Limoso
199		H3	5.00	1.57	2.70	0.93	2.32	55	24	1.93	9.0	83.6	7.4	Limo
200	55	H1	4.50	4.11	7.08	1.37	2.42	33	18	17.11	23.6	50.1	26.3	Franco Limoso
201		H2	4.30	1.72	2.96	1.38	2.53	29	17	6.24	17.9	45.7	36.4	Franco Arcillo Limoso
202		H3	4.40	0.97	1.67	1.49	2.33	33	29	20.48	11.6	48.7	39.7	Franco Arcillo Limoso
203		H4	5.00	0.30	0.51	1.56	2.57	32	23	7.64	24.3	35.1	40.5	Arcilla
204	56	H1	4.90	2.91	5.02	1.42	2.34	36	22	11.77	10.4	50.2	39.3	Franco Arcillo Limoso
205		H2	5.30	1.34	2.32	1.62	2.58	30	20	10.72	13.6	38.5	47.9	Arcilla
206		H3	5.80	0.67	1.16	1.81	2.28	36	27	1.23	16.3	23.0	60.7	Arcilla
207		H4	4.60	0.22	0.39	1.40	3.87	42	26	1.71	45.7	34.0	20.4	Franco
208	57	H1	4.20	4.48	7.72	1.21	2.01	36	29	55.04	13.6	46.2	40.2	Arcillo Limoso
209		H2	4.30	2.24	3.86	1.45	3.30	29	20	7.74	11.4	43.8	44.9	Arcillo Limoso
210		H3	5.90	1.12	1.93	1.52	2.84	54	22	5.27	11.0	29.5	59.5	Arcilla
211	58	H1	6.50	2.16	3.73	1.92	2.35	42	34	0.09	7.7	40.4	51.9	Arcillo Limoso
212		H2	7.60	0.15	0.26	1.75	2.30	59	31	1.55	5.9	49.7	44.4	Arcillo Limoso
213		H3	5.40	0.60	1.03	1.88	2.45	65	50	0.31	8.6	29.6	61.8	Arcilla
214	59	H1	5.20	5.08	8.75	0.87	2.22	56	29	1.36	10.7	78.7	10.6	Franco Limoso
215		H2	4.90	4.33	7.46	1.03	2.30	59	29	0.99	16.8	65.3	17.9	Franco Limoso
216		H3	5.30	0.90	1.54	1.04	2.59	55	29	3.43	15.6	61.7	22.7	Franco Limoso
217		H4	5.40	0.22	0.39	1.30	2.42	40	28	0.68	18.3	44.5	37.2	Franco Arcillo Limoso
218		H5	5.40	0.45	0.77	1.03	2.46	42	23	4.13	52.8	38.8	8.4	Franco Arenoso
219		H6	5.30	0.52	0.90	1.25	2.22	45	35	4.04	4.2	31.8	64.1	Arcilla
220	60	H1	5.00	2.02	3.47	1.22	2.41	32	19	2.93	20.5	54.3	25.3	Franco Limoso
221		H2	4.60	2.16	3.73	1.24	2.39	31	17	2.24	10.7	72.4	16.9	Franco Limoso
222	61	H1	5.60	5.30	9.14	1.04	2.11	58	31	2.39	12.0	84.0	4.1	Limo
223		H2	5.50	3.43	5.92	1.04	2.05	59	30	1.86	13.7	82.6	3.7	Limo
224		H3	5.20	1.05	1.80	1.03	2.02	61	36	3.64	10.2	79.9	9.9	Franco Limoso
225		H4	5.40	0.82	1.42	1.03	2.10	49	28	10.31	28.2	68.1	3.7	Franco Limoso
226		H5	5.50	0.90	1.54	1.12	2.41	40	25	2.47	8.8	54.4	36.8	Franco Arcillo Limoso
227	62	H1	5.60	8.09	13.94	1.05	2.19	56	26	39.63	0.1	89.5	10.4	Limo
228		H2	5.20	2.46	4.25	1.22	2.52	36	19	2.88	10.1	59.0	30.8	Franco Arcillo Limoso
229		H3	5.00	0.82	1.42	1.58	2.50	35	22	5.34	12.6	36.8	50.6	Arcilla
230		H4	4.90	0.15	0.26	1.36	2.50	46	21	0.63	23.3	57.5	19.2	Franco Limoso
231	63	H1	4.80	4.18	7.21	1.23	2.57	35	18	7.59	37.6	38.8	23.7	Franco
232		H2	4.80	1.79	3.09	1.11	2.82	29	17	10.26	39.0	35.1	25.9	Franco
233		H3	5.00	0.67	1.16	1.74	2.67	21	13	1.48	41.2	34.6	24.2	Franco
234	64	H1	5.30	1.05	1.80	1.56	2.66	26	10	0.63	34.9	44.6	20.5	Franco

Resultados

TABLA 5.11. Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). (Continuación)

No. de muestra	No de perfil de suelo	No. de horizonte	pH	% CO	% MO	Da	DR	CC	PMP	Ks	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
235		H2	4.90	1.57	2.70	1.51	2.63	24	9	3.13	46.3	38.8	14.9	Franco
236	65	H1	5.80	8.09	13.94	0.74	2.23	55	24	5.49	25.0	45.7	29.2	Franco Arcilloso
237		H2	5.30	1.87	3.22	1.06	2.40	45	17	2.22	48.3	41.0	10.7	Franco
238		H3	5.40	0.97	1.67	1.14	2.50	46	19	1.58	58.0	31.5	10.5	Franco Arenoso
239		H4	5.60	0.45	0.77	1.59	2.54	29	15	0.69	20.2	55.1	24.7	Franco Limoso
240	66	H1	4.90	2.69	4.63	0.93	2.45	41	18	40.54	22.0	60.2	17.8	Franco Limoso
241	67	H1	4.90	5.23	9.01	0.85	2.27	46	21	6.69	17.8	67.0	15.3	Franco Limoso
242		H2	5.00	2.54	4.38	1.03	2.42	50	18	1.66	22.8	69.1	8.0	Franco Limoso
243		H3	5.00	0.82	1.42	1.00	2.44	44	17	0.69	34.9	57.5	7.6	Franco Limoso
244		H4	4.90	0.37	0.64	1.45	2.43	33	15	0.20	20.2	65.6	14.2	Franco Limoso
245	68	H1	4.10	1.87	3.22	1.33	2.67	27	10	5.89	61.6	26.8	11.6	Franco Arenoso
246		H2	5.50	0.22	0.39	1.48	2.66	16	1	2.69	66.8	27.5	5.7	Franco Arenoso
247		H3	4.60	0.97	1.67	1.33	2.66	20	10	6.76	57.6	31.8	10.6	Franco Arenoso
248	69	H1	5.10	3.14	5.40	1.26	2.46	34	16	9.42	42.3	45.9	11.8	Franco
249		H2	5.50	0.97	1.67	1.03	2.41	39	20	8.18	32.3	50.3	17.4	Franco Limoso
250	70	H1	5.20	0.75	1.29	1.56	2.52	35	24	13.82	11.5	35.5	53.0	Arcilla
251		H2	5.30	0.75	1.29	1.38	2.47	23	16	17.01	4.5	75.6	19.9	Franco Limoso
252	71	H1	5.40	1.42	2.45	1.33	2.30	41	25	1.25	19.8	63.8	16.4	Franco Limoso
253		H2	5.40	1.12	1.93	1.27	2.39	40	24	1.89	17.7	64.7	17.6	Franco Limoso
254		H3	5.10	1.19	2.06	1.40	2.41	40	24	1.16	20.1	56.7	23.2	Franco Limoso
255		H4	5.50	0.67	1.16	1.03	2.20	53	38	34.75	16.4	65.6	18.0	Franco Limoso
256		H5	5.90	0.52	0.90	1.09	2.05	64	48	49.16	6.9	66.0	27.0	Franco Limoso

pH = Potencial Hidrógeno, CO = Carbono Orgánico (%), MO= Materia Orgánica (%), Da = Densidad Aparente (g/cm³),

Dr = Densidad Real (g/cm³), CC = Capacidad de Campo, PMP = Punto de Marchitez Permente, Ks = Conductividad Hidráulica a Saturación (cm/h)



Figura 5.39. Actividades que se realizaron en el laboratorio para los análisis físicos a las muestras de suelo.

5.4.7. Análisis y aplicabilidad de los resultados de los perfiles de suelo, de las muestras de permeabilidad y de los análisis físicos de muestras de suelo

El suelo es el resultado de la intervención de muchos factores, por lo cual el resultado es también heterogéneo y en un esfuerzo por su caracterización estos se agrupan de acuerdo a características que los definen en la generalidad. Al interior del suelo se dan procesos de adición y sustracción de materia y energía la cual le da características únicas y estas son tangibles en los horizontes de suelo observables a través de los pozos edafológicos. En el contexto del estudio se realizaron 71 observaciones de pozos edafológicos con la toma de muestras de cada horizonte o capa, sin embargo no es posible hacer generalizaciones puesto que la superficie beneficiada en el programa de PSAHEM, solamente en el año 2018 fue de aproximadamente 50,297 hectáreas, alcanzando un máximo de 76,086 en el año 2015, sin embargo el resultado de las observaciones si son indicadores que sirven para implementar medidas o tomar decisiones que coadyuven a los buenos resultados del programa. Durante las observaciones de campo la información obtenida en la descripción de perfiles de suelo son en su mayoría de carácter cualitativos, que se tratan de estandarizar a través de tablas de valores, como en este caso fue la guía de descripciones de suelo obtenida a través del diccionario de datos edafológicos de INEGI, para que los valores fueran comparables con la información obtenida por esta institución, además, estas observaciones de campo son complementadas con análisis de laboratorio y en su conjunto estas arrojan información valiosa sobre la calidad del suelo y sobre todo para el manejo de este recurso para su conservación.

Altitud

El programa de PSAHEM se aplica en una diversidad de altitudes, que van desde terrenos a 1,400 msnm hasta más de 3,700 msnm, desarrollándose en estos una gran variedad de comunidades vegetales, que van desde la selva baja, bosque de encino, bosque de encino pino, bosque de pino y bosque de oyamel. El factor altitud determina la variedad de especies que se desarrollan sobre el suelo ya que la altitud es uno de los factores del clima y el clima es un factor que determina el desarrollo de la vegetación, en este sentido conforme se sube en altitud el desarrollo de la vegetación se va limitando a ciertas especies y también la velocidad con que estas se desarrollan, así también los procesos de formación del suelo se ven influenciados por este factor.

Relieve

Este es otro factor importante y está relacionado directamente con la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados, en el programa se benefician áreas que generalmente se ubican en terrenos con pendientes pronunciadas ya que se ubican en zonas montañosas o en laderas, con excepción de plantaciones forestales.

Precipitación

Este factor está directamente relacionado con la disponibilidad de agua para la vegetación y directamente relacionado con el agua de escurrimiento y el agua de recarga, los registros de precipitación indican que se tiene un rango que precipitación que va desde los 517.8 mm anuales, hasta 1,339.2 mm. La cantidad de agua de escurrimiento está en función de la cobertura vegetal, tipo de suelo y manejo, en el que se pueden considerar las prácticas de conservación de suelos.

Humedad disponible

Este factor se refiere a la disponibilidad de la humedad del suelo para las plantas y se obtiene mediante pruebas de laboratorio y es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, está relacionado con la textura, estructura del suelo y la densidad aparente, ya que valores altos de esta última disminuyen el espacio poroso y por ende el agua que puede ser retenida en el suelo por capilaridad. Los valores encontrados van desde 6% hasta 41%, siendo los valores bajos los que tienen menor cantidad de agua disponible para las plantas y los valores altos los que tienen mayor disponibilidad. Es importante notar que en los suelos con valores bajos, la humedad que no puede ser retenida por el suelo se puede convertir en escurrimiento y provocar problemas de erosión.

Profundidad del suelo

Este factor se observa en los perfiles edafológicos y es un indicador de la fragilidad del ecosistema, es decir que los suelos poco profundos son suelos que tienen un pobre desarrollo, son suelos jóvenes o son suelos que han sido sometidos a procesos erosivos principalmente por el agua de lluvia y el escurrimiento y por ende la vegetación que en estos se desarrolla se ha adaptado a estas condiciones y que esta si llega a ser removida el proceso de regeneración será

lento. Cuando los suelos son delgados por procesos erosivos se ha removido la capa superficial que es la capa con mayor cantidad de nutrimentos y con las propiedades propicias para el desarrollo de la vegetación, cuando se tienen estas condiciones la vegetación que en estos suelos se desarrolla también se ha adaptado a estas condiciones y la regeneración tiene que ser acompañada con actividades que mejoren las características físicas y nutrimentales del suelo para la regeneración de la vegetación natural o inducida, así también para disminuir los escurrimientos que puedan provocar erosión del suelo

Velocidad de infiltración

Este factor está directamente relacionado con las propiedades físicas del suelo, textura, estructura y densidad aparente, ya que estos determinan la cantidad de macroporos por donde se dará el movimiento y la retención del agua del suelo. Se pueden establecer relaciones directas, ya que suelos con mayor densidad aparente son suelos con tasas de infiltración más bajas, es importante notar que cuando esta tasa de infiltración es superada por la cantidad de precipitación se presentará el escurrimiento superficial, lo que bajo determinadas condiciones puede favorecer la erosión del suelo. En las pruebas de infiltración se tienen dos valores importantes, la velocidad inicial y la velocidad final. La velocidad inicial se relaciona con el contenido de humedad del suelo y la velocidad final se da una vez que los poros del suelo se han llenado casi en su totalidad por agua y esta se comenzará a mover libremente por estos por acción principalmente de la gravedad, de manera natural se da cuando la precipitación a saturado el suelo y el exceso de humedad se convierte en recarga. Cuando la cantidad de lluvia supera la velocidad de infiltración es cuando se presenta el escurrimiento. En las observaciones realizadas se tienen valores finales de infiltración que van desde 2.59 cm/h hasta 163.64 cm/h, en donde los valores más bajos, están los suelos en donde más rápidamente habrá escurrimientos superficiales y en los valores más altos los escurrimientos se presentarán con menor frecuencia y habrá mayor recarga.

Ejemplo de análisis de información obtenida en suelos Andosoles

Al realizar un análisis de resultados que se obtuvieron de las pruebas de permeabilidad y de los análisis de las muestras de suelo para darle una aplicabilidad, se consideró como ejemplo la unidad de suelo de Andosoles que son los más representativos porque cubren la mayor superficie en las áreas de PSAHEM. Para ello se considera la densidad aparente, la materia orgánica, la tasa de permeabilidad final y la conductividad hidráulica, y los datos se obtuvieron de las Tabla 5.10 y Tabla 5.11.

Andosol húmico (Th)

Se realizaron pruebas de permeabilidad en 13 sitios que corresponde a la unidad de suelo Andosoles húmico. La vegetación que en estos se desarrolla es principalmente de coníferas, y la altitud va desde más de 2,000 msnm hasta más de 3,700 msnm.

Además de la vegetación natural se tienen usos como bosques cultivados, agricultura de temporal y permanente, como son las huertas de aguacate, estos usos impactan en las propiedades del suelo como se muestra a continuación en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Andosoles húmicos (Th) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
7	1.02	3.47	19.15	4.56	Bosque de pino encino	2491
10	0.94	5.15	12.34	4.92	Bosque de pino encino	2467
12	1.02	16.62	20.45	28.22	Bosque de pino	2915
19	1.02	10.81	52.17	19.85	Bosque de pino	2898
22	1.01	19.30	42.35	15.46	Bosque cultivado	3791
24	1.01	14.36	102.86	16.45	Bosque de pino	2979
30	1.02	16.62	81.82	114.68	Bosque de oyamel	3226
32	1.02	8.88	33.03	40.69	Bosque de oyamel	3178
41	1.02	5.02	8.04	2.05	Bosque cultivado	3045
47	1.01	8.36	6.00	2.05	Agricultura de temporal (avena)	3042
59	0.87	8.75	10.11	1.36	Agricultura de temporal (avena)	2776
61	1.04	9.14	14.03	2.39	Bosque de encino pino	2786
71	1.33	2.45	11.04	1.25	Agricultura de temporal (huerta de aguacate)	2274

a) Densidad aparente

La densidad aparente de los suelos Andosoles es generalmente baja y oscilan alrededor de la unidad (1.0 t/m³) y en algunos casos incluso menores dependiendo de la composición mineralógica principalmente, esta es una propiedad que difícilmente es modificada bajo condiciones naturales. Las observaciones hechas y las pruebas realizadas de este valor se muestran en la Tabla 5.11. En esta se aprecia que el valor promedio es alrededor de 1.0 gr/cm³ para la mayoría de los sitios y en el sitio con uso de suelo agrícola con huerto de aguacate se aprecia un incremento en este valor, lo cual indica que el manejo de la huerta que implica el uso de maquinaria agrícola, ha afectado esta propiedad, es decir ha habido un proceso de compactación que ha disminuido el espacio poroso (figura 5.40). Las implicaciones de este efecto de compactación es la disminución de dicho espacio poroso por donde el agua puede fluir libremente, haciendo que esta agua pueda convertirse en escurrimiento.

b) Materia orgánica

Esta se encuentra presente en el suelo de manera natural y es el resultado de la actividad biológica, de la vegetación y de los microorganismos. En los suelos Andosoles se forman complejos organominerales que la hacen más o menos estable. Esta tiende a acumularse de manera natural y favorece a la estructura del suelo ya que funciona como aglutinante para que se formen los agregados del suelo y para darles estabilidad. Cuando el suelo es usado para la agricultura, la materia orgánica está sometida a procesos de oxidación que libera nutrimentos para las plantas y esta tiende a disminuir cuando en el manejo no hay adiciones de esta a través de abonos o residuos de cosecha. En las observaciones hechas (Figura 5.41), se observa que los usos agrícolas presentan valores bajos, y los bosques naturales presentan los valores más altos, siendo el mayor el de bosque de oyamel, aunque hay bosques naturales que presentan valores bajos. Cabe mencionar que los incendios forestales pueden alterar el contenido de materia orgánica, y en el caso de estos suelos se desconoce si se han afectado por estos siniestros.

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

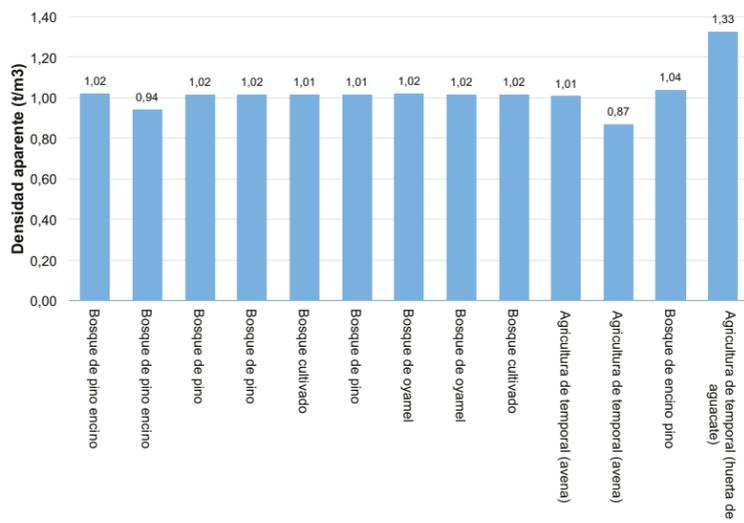


Figura 5.40. Valores de densidad aparente (t/m^3) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.

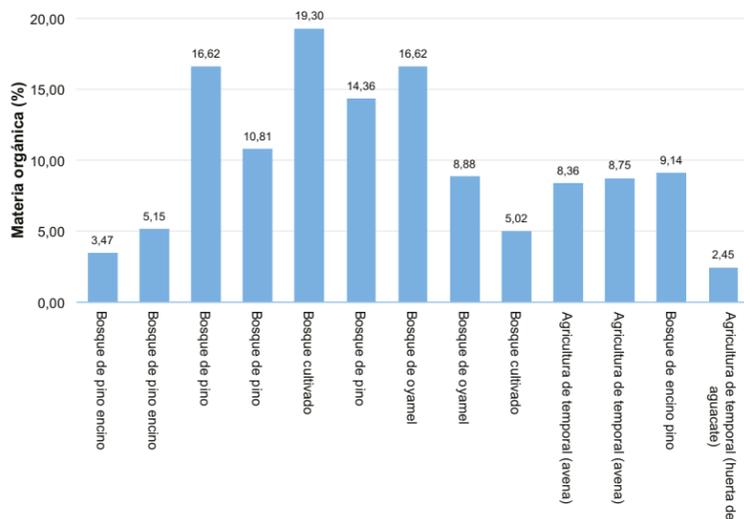


Figura 5.41. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.

c) Tasa de infiltración final

Se ha mencionado que esta se presenta una vez que el espacio poroso ha sido ocupado casi en su totalidad por el agua y esta comienza a fluir por acción de la gravedad en la Figura 5.42 se observa que estos valores son altos, es decir que bajo las condiciones en las que se hicieron las observaciones la posibilidad de formarse escurrimientos superficiales es baja ya que el suelo tienen la capacidad para filtrar grandes cantidades de precipitación, y se observa que cuando estos suelos son alterados por la actividad humana, esta propiedad del suelo se ve afectada, ya que en los suelos en donde se practica la agricultura y aun cuando el bosque se ha cultivado, las tasas de infiltración son bajas, es decir, hay más posibilidades que en estos suelos bajo estos usos se presente el escurrimiento superficial que puede causar erosión.

Particularmente, en el caso de la huerta de aguacate, estas tasas de infiltración son más parecidas a la agricultura que a los bosques, es decir, que a pesar de la cubierta arbórea, con el manejo que implica el paso continuo de maquinaria y el movimiento de suelo para el control de las malezas, ha conllevado a que se vean afectadas las propiedades físicas. Observando las propiedades en conjunto, al disminuir la materia orgánica y al aumentar la densidad aparente, se provoca por efecto de compactación que las tasas de infiltración disminuyan. En la pruebas de infiltración de campo, las tasas finales más bajas fueron para cultivo de avena y la huerta de aguacate, es decir, esta actividades son las que tienen mayor impacto en el suelo y uno de los principales efectos son la disminución en las tasas de infiltración.

Gómez-Tagle en un trabajo presentado en Valdivia Chile en 2018, menciona que de acuerdo con investigaciones que han desarro-

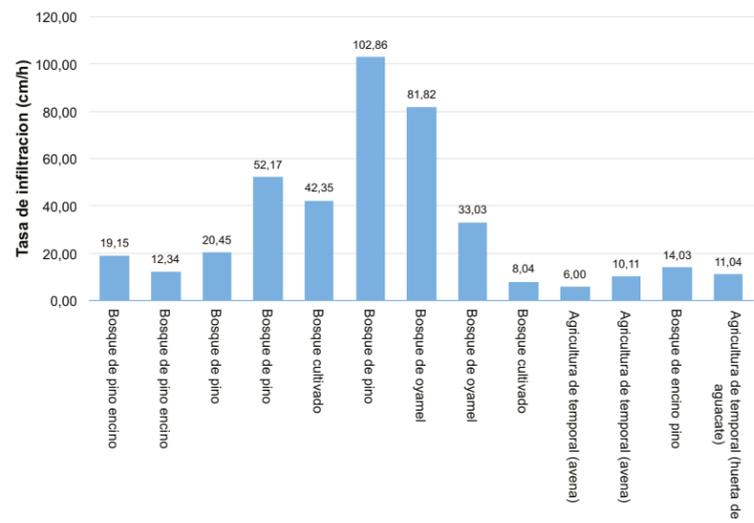


Figura 5.42. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.

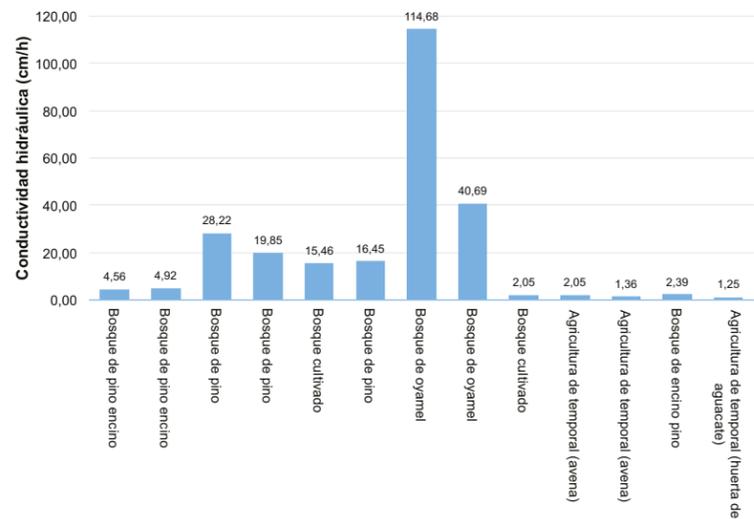


Figura 5.43. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.

llado han encontrado que el cultivo del aguacate tiene una menor capacidad de captación de agua de lluvia y por otro lado requiere de un mayor consumo de agua comparado con coberturas de bosque, ya que según sus conclusiones, el bosque capta 18 veces más agua y consume 63% menos agua comparada con una huerta de aguacate, además, que las plantas de aguacate consumen al menos 4.7 a 5.2 veces más agua que las plantas de pino (la información se reporta en la publicación que se encuentra en la siguiente liga web: https://www.researchgate.net/publication/329060308_Hydrological_impact_of_green_gold_avocado_culture_in_central_Mexico_rainfall_partition_and_water_use_comparison_with_native_forests.

Esta situación aunada a la menor capacidad de infiltración de agua por alteración de las propiedades físicas del suelo, muestran condiciones diferentes a la de un bosque natural y muestra una tendencia negativa en el cambio del ciclo natural del agua, pues se aprecia cambio en las tasas de infiltración de agua, almacenamiento y tiempo de retención de humedad en el suelo y posiblemente un impacto también negativo en las tasas de recarga.

d) Conductividad hidráulica

Si bien esta es una prueba de laboratorio con muestras alteradas de suelo, el efecto del manejo del suelo, es decir, la actividad humana a través de la agricultura también tiene un efecto, pues se observa que los valores más bajos aún en estas condiciones son para los suelos alterados y los más altos son para los que tienen vegetación natural y se deduce al igual que en la tasa de infiltración que en suelos con valores bajos hay más posibilidades de que se presente el escurrimiento ante la presencia de eventos de lluvia. También en este caso el valor más bajo es para la huerta de aguacate, lo cual

indica que este suelo bajo estas condiciones se ha alterado sus propiedades naturales.

En la Figura 5.43 se observa que los bosques de oyamel y pino presentan los valores más altos de conductividad hidráulica, y sin embargo, los de uso agrícola donde están los cultivos de maíz, avena y aguacate, tienden a presentar bajos valores de conductividad hidráulica.

Comentarios generales

Se observa y se deduce de la información anterior, que las condiciones naturales de estos suelos y el desarrollo de vegetación natural son propicias para el objetivo del programa PSAHEM, pues se favorece la infiltración del agua de lluvia y se protege al suelo de la erosión, se evita el escurrimiento superficial y la generación de sedimentos que pueden afectar cuerpos de agua e infraestructura. Cuando por alguna razón estas condiciones se ven afectadas, la regeneración de la vegetación a través de actividades de reforestación tienden a recobrar el estado natural de la vegetación para que esta siga cumpliendo sus funciones. Cuando hay cambio de uso de suelo, sobre todo de uso forestal a agrícola, las propiedades del suelo que favorecen la infiltración de agua se ven afectadas y esta capacidad se ve disminuida a tal grado de favorecer el escurrimiento y la erosión, por lo que de ser necesario este cambio de uso y se debe de acompañar de medidas que favorezcan la infiltración que se da de manera natural a través de la implementación de prácticas de conservación de agua y suelo (como tinajas ciegas o zanjas trinchera, zanjas de infiltración, bordos al contorno, etc.).

Cuando hay reconversión de uso agrícola a forestal, el establecimiento de la vegetación a través de actividades de reforestación no es suficiente para que el suelo cumpla con sus funciones naturales, es necesario complementar esta actividad con otras como son el acondicionamiento de suelo y prácticas de conservación de agua y suelo para que las tasas de infiltración tiendan a las tasas naturales.

Las observaciones de campo también permiten identificar situaciones que alteran las funciones naturales, como son, factores limitantes para el desarrollo de la vegetación, es decir suelos poco profundos, compactados, erosionados, pedregosos, o con pronunciadas pendientes y que limitan el desarrollo de actividades productivas o de aprovechamiento, ya sea por la dificultad del acceso o por capacidad natural o humana para la rehabilitación o regeneración natural del sitio.

Se observaron en algunos perfiles de suelo en estas unidades propiedades hidrofóbicas en el horizonte superficial, entendiendo la hidrofobicidad como la repelencia del agua en el suelo y se debe según diversos autores a la presencia de ciertos tipos de compuestos orgánicos que se producen por el metabolismo de microorganismos o como resultado de la descomposición de la materia orgánica. Algunos estudios revelan que estos compuestos se pueden presentar después de un incendio forestal, ya que estos pueden volatilizarse y condensarse nuevamente cuando el suelo se enfría, aunque estos pueden tender a disminuir con el paso del tiempo (Ulloa, 2014). La presencia de hidrofobicidad o repelencia del agua tiene diversos efectos, uno es que limita la infiltración de agua en el suelo, favorece la formación de escurrimientos superficiales y

consecuentemente aumenta el riesgo de erosión, esta situación se hace más crítica inmediatamente después de un incendio forestal, ya que se elimina toda cubierta vegetal que protege al suelo, tanto del impacto de las gotas de lluvias como de los escurrimientos y el riesgo más latente es que se presenten las tasas de erosión más altas.

Recomendaciones

Dada la dificultad de la caracterización por la cantidad de información requerida y por la cantidad de información generada, resulta necesario que dentro de las actividades realizadas en la implementación del programa, se incluya como parte de dichas actividades la cartografía de los polígonos en donde se identifiquen unidades cartográficas que señalen tipo de vegetación, pendientes, diferencias de suelo, profundidad de suelo, factores que limiten el uso del suelo como son: incidencia de incendios, erosión de suelos y algunos otros factores nocivos, así como la realización de pruebas de infiltración y descripción de perfiles de suelos con sus respectivos análisis de laboratorio que refuercen las observaciones de campo. Esto se debe realizar para cada polígono beneficiado con el programa de PSAHEM, de esta manera la información generada servirá para crear una base de datos que será de utilidad primeramente para los productores beneficiados, así como, también para PROBOSQUE, que será de utilidad para realizar evaluaciones periódicas con lo cual se podrá monitorear el comportamiento de los predios en el tiempo, y con toda la información obtenida en todo el Estado, entonces PROBOSQUE tendría una base de datos robusta y confiable con la cual se podrían realizar análisis a detalle de los predios donde se considere el tipo de suelo, el estado de la vegetación, efectos por los incendios, por la deforestación, etc.

Andosol mólico (Tm) y Andosol ócrico (To)

Se realizaron observaciones en 7 sitios con unidad de suelo Andosol mólico y Andosol ócrico. La vegetación que en estos se desarrolla es principalmente de coníferas natural y cultivado, bosque de pino encino uso agrícola y la altitud va desde más de 2,600 msnm hasta más de 3,200 msnm (Tabla 5.13).

Tabla 5.13. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Andosoles mólicos (Tm) y ócricos (To) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
39 (Tm)	1.02	11.07	78.26	3.70	Bosque cultivado	3272
45 (Tm)	1.01	9.27	59.24	8.87	Bosque de pino	2977
54 (Tm)	1.32	18.77	21.05	38.08	Bosque de pino encino	2618
25 (To)	1.25	5.02	5.29	0.67	Agricultura de temporal (maíz)	3013
35 (To)	1.04	23.06	138.46	13.68	Bosque cultivado	2675
51 (To)	0.77	9.27	63.10	4.80	Bosque de oyamel	2921
53 (To)	0.91	13.41	38.71	6.49	Bosque de pino encino	2933

a) Densidad aparente

La densidad aparente como se ha mencionado, se encuentra alrededor de la unidad en condiciones naturales, los valores menores estarán en función del material mineral que da origen al suelo y

valores mayores serán indicios de alteración. En estas unidades se observa una tendencia negativa hacia el uso agrícola, es decir que la agricultura debido al movimiento continuo de tierra y el paso de implementos agrícolas afecta esta propiedad, disminuyendo el espacio poroso y se refleja en un aumento en la densidad aparente (Figura 5.44). Los bosques naturales son los que presentan valores más bajos aunque los bosques cultivados también muestran valores cercanos a la unidad, lo que representa una recuperación de esta propiedad cuando estos suelos se han afectado por actividades agrícolas.

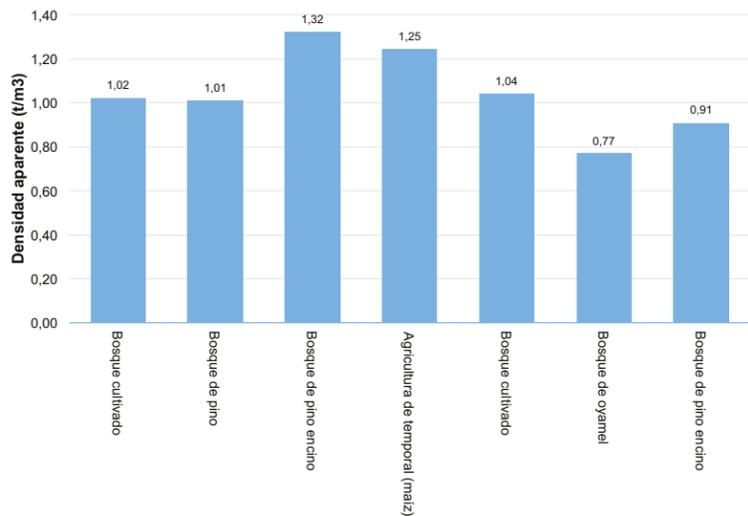


Figura 5.44. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.

b) Materia orgánica

La materia orgánica en los sitios de bosque permanece alta, y resulta importante mencionar que en el caso del bosque cultivado con valor más alto, este se ha establecido hace más de 20 años y los contenidos son parecidos a los bosques naturales de coníferas (Figura 5.45). También resulta importante mencionar que en algunos sitios se han presentado incendios forestales que disminuyen la cantidad de materia orgánica, pues las temperaturas alcanzadas en los primeros centímetros del horizonte superficial pueden ser consumidas por combustión.

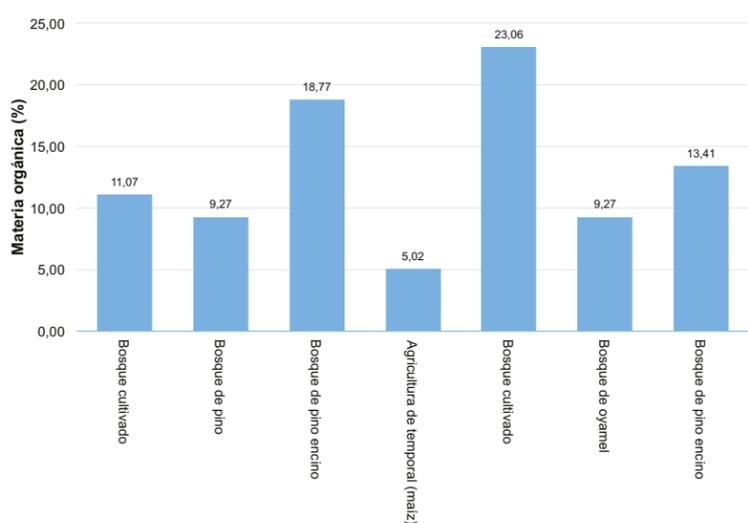


Figura 5.45. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.

c) Tasa de infiltración final

Las propiedades físicas del suelo se ven reflejadas en la capacidad de estos para infiltrar agua y se ha mencionado que ha actividades que afectan dichas propiedades físicas, como se ha visto, la densidad aparente, que rompen la continuidad del espacio poroso y lo disminuyen. En el caso de las observaciones de campo, el valor más bajo para la infiltración final, es decir, cuando el suelo se ha saturado, es para el uso agrícola, y el valor más alto es para el bosque

cultivado de más de 20 años, en el que se aprecia que el suelo ha tendido a recuperar sus condiciones naturales y una de sus principales funciones, que es la de infiltrar agua (Figura 5.46)

d) Conductividad hidráulica

Aunque esta prueba es de laboratorio y no se consideran condiciones de campo que puedan afectar las tasas de infiltración del agua, la mayoría de las veces si refleja las condiciones de suelo y la capacidad de este para infiltrar agua. De las observaciones realizadas se tiene que el valor más bajo sigue siendo para el uso agrícola y los bosques, naturales o cultivados presentan valores altos, es decir que estos suelos aun cuando están saturados tienen capacidad para infiltrar agua que en condiciones naturales es la precipitación, aun cuando se presenten eventos grandes en forma de tormentas. Para el caso agrícola, es más probable que estas precipitaciones se conviertan más rápidamente en escurrimiento (Figura 5.47).

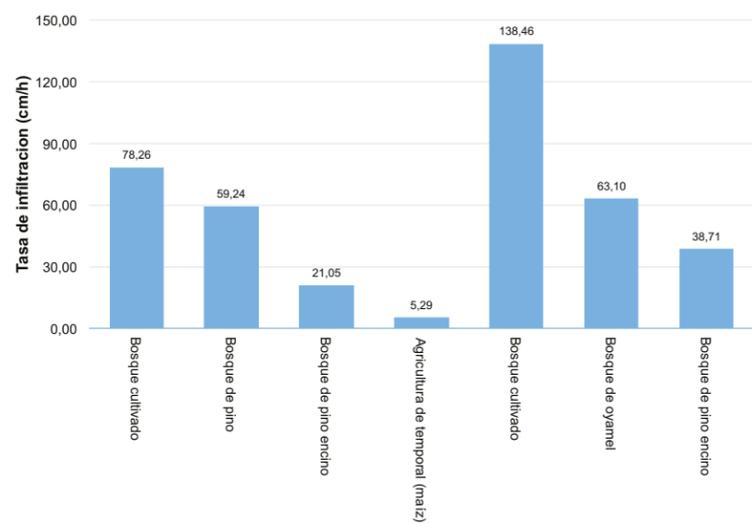


Figura 5.46. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.

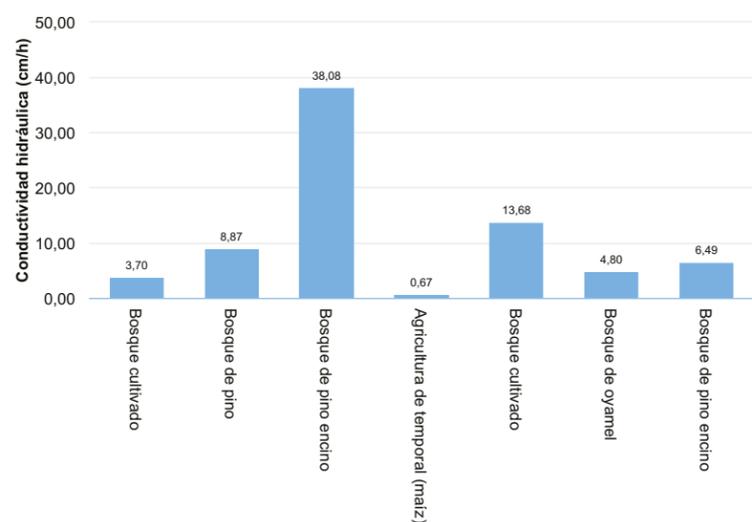


Figura 5.47. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.

Comentarios generales

Se observa que en los suelos Andosoles las actividades agrícolas afectan las propiedades físicas del suelo y afectan su capacidad de infiltración, que bajo condiciones naturales son altas, también se observa que estas propiedades tienden a recuperarse cuando son reconvertidos a su uso original, llegando incluso a comportarse como suelos bajos condiciones naturales. También se ha notado que los incendios forestales pueden afectar el contenido de materia orgánica consumiendo ésta por combustión, además de eliminar la cubierta vegetal que protege el suelo de los impactos de la gota de lluvia y que desprende grandes cantidades de suelo que pueden ser incorporados al escurrimiento superficial. En estos suelos puede presentarse hidrofobicidad sobre todo después de un incendio

forestal, con los riesgos que implica, disminución de las tasas de infiltración y aumento del riesgo de erosión hídrica del suelo.

Recomendaciones

Debido a que estos suelos se encuentran generalmente en regiones con pendientes pronunciadas, estos deben conservar su cubierta vegetal natural. Al ser suelos poco consistentes se debe evaluar la conveniencia del acondicionamiento del suelo para actividades de reforestación, considerando las condiciones de pendiente, precipitación y profundidad del suelo, para no exponerlo a los agentes erosivos. Los trabajos de acondicionamiento se deben realizar siguiendo las curvas de nivel para evitar la concentración del escurrimiento en ciertos puntos que provoquen erosión. Se deben proteger estos suelos de incendios forestales.

Cambisoles crómico (Bc), dístrico (Bd), éutrico (Be) y húmico (Bh) Se realizaron observaciones en 12 sitios que se encontraron entre los 2,200 y 2,900 msnm. Los principales tipos de vegetación son bosques de encino, además de bosque cultivado y bosque mesófilo de montaña, destacando en esta unidad es la comparación entre un bosque natural y una huerta de durazno como uso agrícola. Las unidades que se observaron son Cambisol crómico, dístrico, éutrico y húmico (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Cambisoles crómico (Bc), dístrico (Bd), éutrico (Be) y húmico (Bh) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
8 (Bc)	1.02	7.46	51.43	6.24	Bosque de pino encino	2574
16 (Bc)	1.20	7.85	22.09	25.59	Bosque de pino encino	2323
63 (Bc)	1.23	7.21	12.37	7.59	Agricultura de temporal (frutícola durazno)	2308
17 (Bd)	1.33	3.60	12.08	33.33	Bosque de pino encino	2242
37 (Bd)	1.02	7.21	42.35	45.70	Bosque de encino	2731
38 (Bd)	1.05	3.22	28.13	1.19	Bosque de encino pino	2753
9 (Be)	0.96	2.19	4.01	7.31	Bosque mesófilo de montaña	2282
33 (Be)	1.07	7.46	43.37	3.01	Bosque de encino	2873
40 (Be)	0.70	12.10	17.45	62.67	Bosque de encino	2748
46 (Be)	1.14	5.15	39.13	5.52	Bosque de pino encino	2847
70 (Be)	1.56	1.29	4.90	13.82	Bosque cultivado	2686
44 (Bh)	1.01	3.60	35.29	4.75	Bosque de encino	2798

a) Densidad aparente

Los valores más bajos se observan en los bosques naturales y estos se encuentran alrededor de la unidad y por abajo de esta, y como en el caso de los Andosoles, los valores por encima de estos pueden representar algún signo de alteración. Es de destacar la comparación de los sitios 16 y 63 que es la misma unidad con diferente uso, en ambos se observaron evidencias de erosión, pero en el caso del

sitio con bosque natural la densidad aparente es ligeramente menor, además las condiciones de humedad y de cobertura vegetal si mostraban diferencias, además del estrato herbáceo, que en el sitio agrícola prácticamente no estaba presente. El valor más alto para el sitio con bosque cultivado se trata de una plantación con fines de restauración, pues son evidentes las formas de erosión en donde posiblemente el horizonte superficial ha sido removido y el suelo se encuentra en proceso de recuperación (Figura 5.48).

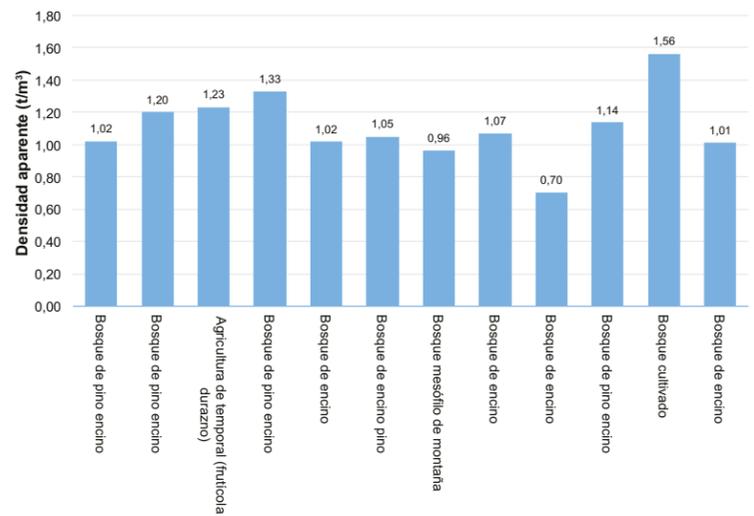


Figura 5.48. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Cambisoles.

b) Materia orgánica

Se observan los contenidos más altos para los bosques naturales como resultado de la acumulación por restos de vegetación, arbórea, arbustiva y herbácea, sin embargo también en bosques naturales se encuentran valores bajos, en estos sitios particularmente se encontraron evidencias de erosión y es de recalcar que con el procesos erosivo además de las partículas del suelo que son removidas, también la materia orgánica se ve sometida a este proceso, re desprendimiento, transporte y depositación. En el caso de los bosques cultivados, al ser sitios degradados por erosión principalmente, al establecerse el bosque comienza nuevamente el proceso de acumulación y transformación de la materia orgánica, y por el tiempo de establecimiento de la vegetación los niveles se mantienen aún bajos. En el caso del bosque natural y la huerta, el contenido de materia orgánica es ligeramente mayor para el bosque y también se resalta el hecho de que aunque es la misma exposición del perfil, en la huerta de durazno hay mayor radiación solar directamente al suelo debido a la forma del árbol y a la remoción de la vegetación herbácea como parte del manejo de la huerta (Figura 5.49).

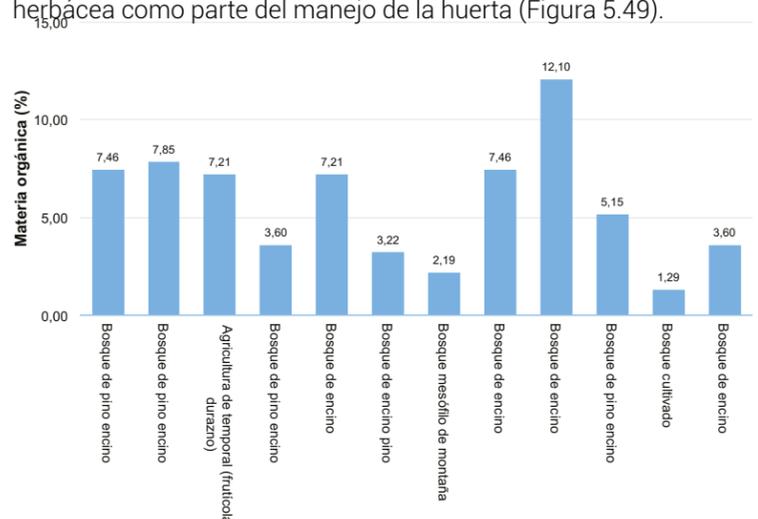


Figura 5.49. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Cambisoles.

c) Tasa de infiltración final

Las pruebas de infiltración se ha dicho nos permiten observar y medir la capacidad de los suelos para infiltrar el agua de lluvia

principalmente y la posibilidad de que esta se convierta en escurrimiento superficial cuando el suelo no tienen la capacidad de infiltrarla. De las observaciones de campo se tiene que los valores más bajos son en el primer caso, para un suelo en donde hay alteraciones por actividad humana, y suelo con pendientes pronunciadas con poco desarrollo del suelo, y en el segundo caso un sitio con evidencias de erosión y en procesos de recuperación. Y continuando con la comparación de un bosque natural con actividad agrícola, resulta evidente que si hay diferencias en la capacidad de infiltración de agua, habiendo menor infiltración en la huerta de durazno y más probabilidad de que se presenten escurrimientos en este uso, también es de resaltar que al eliminar el estrato herbáceo se deja el suelo completamente descubierto y el impacto directo de la gota de lluvia puede tener un efecto de sellado de los poros superficiales incrementando con esto las tasas de escurrimiento y disminuyendo las tasas de infiltración. Finalmente, las tasas de infiltración más altas son para los suelos con vegetación natural, es decir, bajo estas condiciones los suelos tienen mayor capacidad de infiltrar agua y las tasas de escurrimientos se minimizan al igual que las tasas de erosión, pues la presencia de vegetación funciona como una capa protectora, tanto para el impacto de las gotas de lluvia como para el escurrimiento superficial (Figura 5.50).

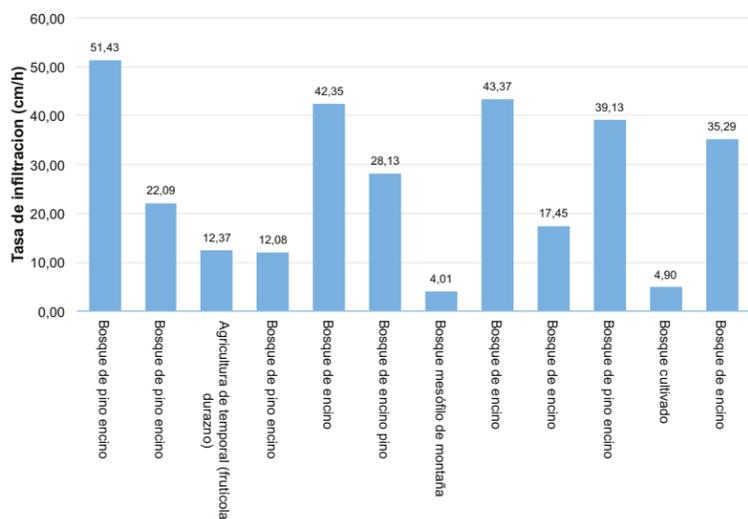


Figura 5.50. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Cambisoles.

d) Conductividad hidráulica

Se ha mencionado que al ser esta una prueba de laboratorio solo se refleja el efecto de la capa superficial de suelo y no muestra precisamente la capacidad del suelo de infiltrar agua porque en condiciones naturales pueden presentarse factores que favorezcan o limiten este procesos, como puede ser la presencia de una capa impermeable una capa completamente permeable y el resultado de esta prueba pueda presentarse como una inconsistencia, como es el caso de algunos sitios que se presentan en la Figura 5.51. En donde sí se puede tener un punto de comparación es en los sitios 16 y 63, en donde solo cambia el uso de suelo y en estos es evidente la diferencia en esta prueba, observándose que las tasas de infiltración tienden a disminuir al hacer el cambio de uso de forestal a agrícola, aun cuando se tratan de especies arbóreas.

Comentarios generales

En esta unidad se destacan las diferencias entre el bosque natural y el uso agrícola con huerta frutícola de durazno, sobre todo en las

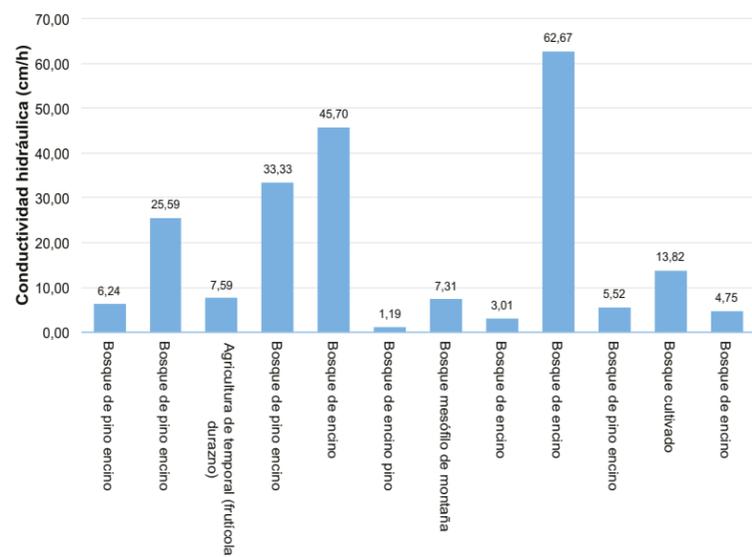


Figura 5.51. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Cambisoles.

tasas de infiltración observadas en condiciones de campo. En esta última, el manejo deja expuesto el suelo a los efectos del clima, desapareciendo ya la delgada capa de acumulación de materia orgánica observada en bosque natural, el contenido de humedad al momento de hacer las observaciones de campo denotan las pérdidas de humedad del suelo debido principalmente a la radiación solar, habiendo menos agua disponible para el cultivo. En este caso el agua de riego es requerido. Esta actividad impacta en el suelo puesto que al haber menos capacidad de infiltración del agua y en las condiciones en las que se encuentra el suelo se provoque erosión y en el caso de la huerta es evidente por la pérdida de suelo superior rica en materia orgánica observada en el bosque natural. Este suelo es rico en arcillas, por lo que tiende a saturarse rápidamente provocando escurrimientos superficiales y erosión hídrica, cuando comienzan a secarse retienen humedad que no está disponible para la planta. Esta situación debe observarse y restringir el cambio de uso.

Recomendaciones

En el bosque natural deben realizarse actividades como son las prácticas de conservación que ayuden a controlar los escurrimientos y se favorezca la infiltración del agua, además de construir cauces que conduzcan el escurrimiento superficial a cauces naturales, esto de manera controlada. Cuando se realicen actividades de reforestación se deben de mejorar las condiciones del sitio de establecimiento de la planta mediante la adición de materia orgánica que mejore las condiciones físicas del suelo y que mantengan la humedad disponible durante más tiempo. No es recomendable el cambio de uso de suelo puesto que estos son suelos delgados y cuando es retirada la cubierta vegetal los hacen susceptibles a la erosión y estos disminuyen su capacidad para infiltrar agua, por lo que deben ser destinados a la conservación de la vegetación. Estos suelos presentaron restricciones para actividades productivas, principalmente pendiente, profundidad del suelo y evidencias de erosión hídrica, por lo que su uso debe ser para la conservación.

Feozem háplico (Hh) y lúvico (Hl)

Se realizaron observaciones en 13 sitios que se encontraron entre los 1,700 y 2,900 msnm, encontrándose en diferentes ambientes climáticos y en consecuencia diferentes tipos de vegetación (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Feozem háplico (Hh) y lúvico (Hl) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
6 (Hh)	1.45	7.46	24.00	10.95	Selva baja caducifolia	1736
11 (Hh)	1.04	24.13	19.46	16.74	Bosque de oyamel	2936
27 (Hh)	1.30	5.92	31.30	21.79	Bosque cultivado	2618
42 (Hh)	0.91	11.80	48.86	6.67	Bosque de pino encino	2931
50 (Hh)	1.22	5.66	42.35	4.28	Matorral crasiucalé	2757
62 (Hh)	1.05	13.94	112.50	39.63	Bosque de encino	2785
68 (Hh)	1.33	3.22	14.63	5.89	Agricultura de temporal (maíz)	2787
29 (Hl)	1.42	1.67	6.90	15.17	Bosque cultivado	2807
56 (Hl)	1.42	5.02	4.19	11.77	Bosque cultivado	2732
60 (Hl)	1.22	3.47	7.66	2.93	Bosque cultivado	2804
64 (Hl)	1.56	1.80	2.59	0.63	Bosque de encino	2525
65 (Hl)	0.74	13.94	40.91	5.49	Bosque de pino encino	2871
67 (Hl)	0.85	9.01	24.00	6.69	Bosque de encino	2759

a) Densidad aparente

Los suelos Feozem se definen como suelos profundos ricos en nutrientes y aptos para las actividades productivas, sin embargo cuando estos al igual que otros suelos son sometidos a alteraciones por dichas actividades pueden alterarse sus propiedades físicas. Se observa para las condiciones naturales que esta propiedad presenta valores cercanos a la unidad y los valores por encima de esta son sitios que han presentado algún tipo de alteración principalmente por agricultura, pues se observa que en este uso se tiene uno de los valores más altos. En los sitios de bosque cultivado se hizo la conversión a uso forestal, sin embargo el suelo aun no muestra recuperación en esta propiedad. Pues se presentan capas endurecidas en la superficie, como en el caso del sitio 29 en donde la plantación es con fines de aprovechamiento, en donde como parte del manejo se hace uso de maquinaria. En el caso del sitio 64, que presenta el valor más alto, se observaron evidencias de erosión hídrica y se han realizado reforestaciones con fines de restauración, sin embargo es probable que el horizonte superficial haya sido removido por erosión y que ahora este expuesto el horizonte subsuperficial, que generalmente presenta valores más altos de densidad aparente. Se observa también que para la vegetación natural se tienen los valores más bajos en esta propiedad (Figura 5.52).

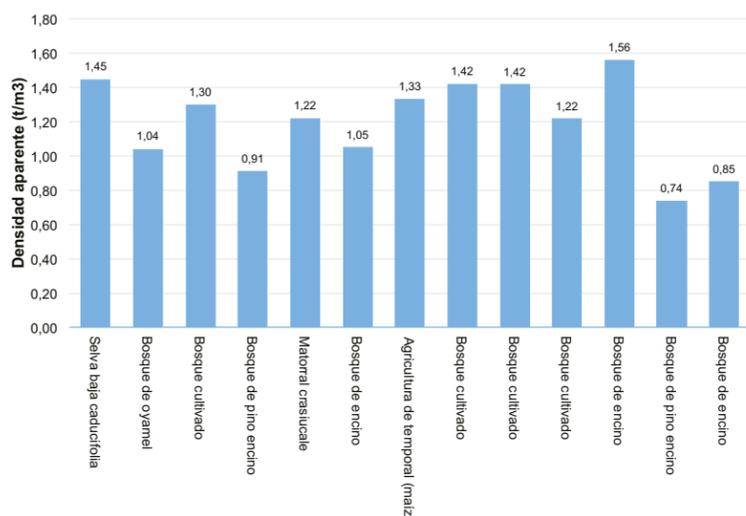


Figura 5.52. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.

b) Materia orgánica

Los contenidos más altos de materia orgánica se presentan en los sitios con vegetación natural, siendo mayor en el bosque de oyamel y como tendencia los sitios alterados son los que presentan valores más bajos. Se ha dicho que la actividad agrícola disminuye el contenido de materia orgánica por el movimiento continuo del suelo, que provoca una mayor exposición a la intemperie y se provoca su oxidación. En los sitios con bosques cultivados en la mayoría de los sitios se precisó que se realizaban actividades agrícolas, lo que explicaría los contenidos bajos de materia orgánica, además en algunos casos se han presentado incendios forestales (figura 5.53).

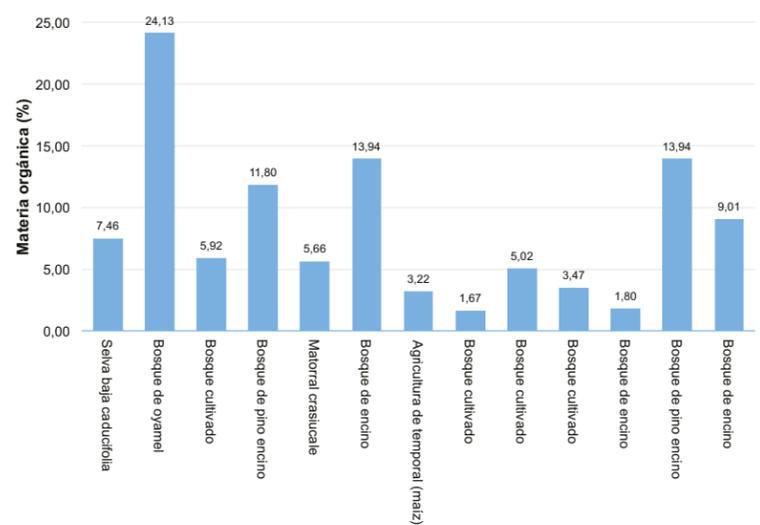


Figura 5.53. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.

c) Tasa de infiltración final

Las tasas finales de infiltración también fueron menores en sitios alterados, como son el sitio con uso agrícola y los bosques cultivados y esto se relaciona en estos casos directamente con la alta densidad aparente registrada. En estos sitios, se ha mencionado que se hace manejo de la plantación y esto implica el uso de maquinaria agrícola para las labores culturales, además de que se han realizado ya aprovechamientos y la plantación en el momento es de 5 años (sitio 29) (figura 5.54). En los otros sitios con bosque cultivado, las plantaciones se han realizado con fines de restauración puesto que los sitios presentaban algún grado de degradación principalmente por erosión hídrica. Como tendencia también se observa que las mayores tasas de infiltración son para los sitios con vegetación natural.

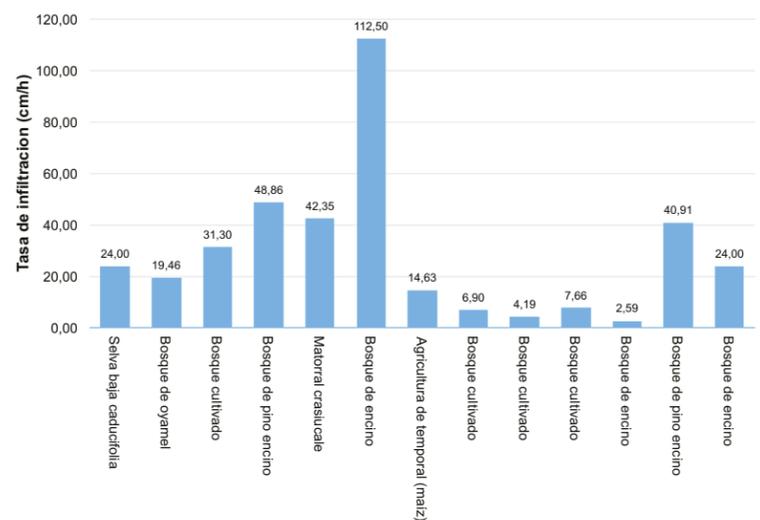


Figura 5.54. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.

d) Conductividad hidráulica

Esta prueba al ser de laboratorio implica una alteración de la muestra que no refleja las condiciones de campo, como se ha mencionado anteriormente y pueden mostrarse los resultados como inconsistencias o simplemente resultados diferentes a las observaciones de campo, por lo que se deben tomar como pruebas complementarias. En este caso se muestran como tendencias valores más altos para los sitios con vegetación natural, y en algunos casos valores bajos para sitios alterados y claramente se nota un valor aún más bajo para el sitio agrícola (figura 5.55). Entonces las actividades agrícolas para las condiciones en las que se realizaron las observaciones tienden a disminuir las tasas de infiltración de agua y son más susceptibles a formar escurrimientos superficiales y a aumentar el riesgo de erosionarse.

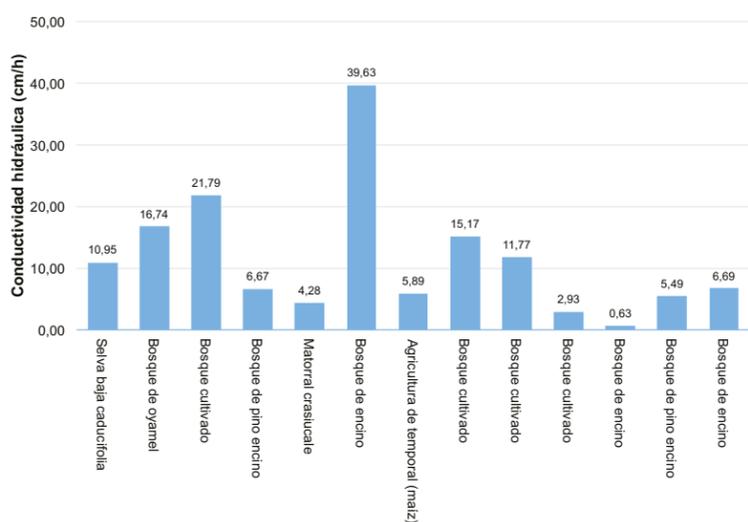


Figura 5.55. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.

Comentarios generales

En estos suelos se observó que las actividades agrícolas provocan cambios en sus propiedades en sentido negativo, que al final se reflejan en menores tasas de infiltración de agua. La reconversión a uso forestal en el corto plazo no refleja algún tipo de recuperación aunque se debe considerar que en estos casos el suelo fue sometido a procesos intensos de degradación por erosión hídrica como muestran las evidencias observadas en campo y en estos casos pueden dejarse expuesto el horizonte subsuperficial. Se observaron también condiciones o factores que restringen el uso de estos suelos a actividades productivas, como son principalmente la pendiente, la pedregosidad y la erosión del suelo. En los sitios erosionados se observó que el suelo presenta una baja capacidad de retención de humedad, lo cual significa una menor cantidad de agua disponible para la planta y en un momento dado esta agua disponible para la planta representa el éxito o fracaso de las actividades de reforestación.

Recomendaciones

Debido a las limitantes observadas, el uso que se les debe dar es el de conservación y todas las actividades deben encaminarse al mejoramiento de la vegetación a través de reforestaciones o protección de los sitios para favorecer la regeneración natural. En sitios con baja capacidad de infiltración las reforestaciones o actividades de manejo del suelo y de la vegetación deben incluir prácticas de conservación de suelo para el control de los escurrimientos, aumentar la infiltración del agua y control de la erosión.

Ante la presencia de capas endurecidas se debe valorar la posibilidad de trabajos de acondicionamiento de suelo que rompan la continuidad de estas capas, considerando siempre las condiciones de pendiente y precipitación y realizando estos trabajos siguiendo las curvas de nivel.

Litosol (I)

Se realizaron observaciones en 3 sitios que se encontraron alrededor de los 2,700 msnm. La vegetación es de bosque de encino. En general estos suelos presentan poco desarrollo, pues no hay aun horizontes y el poco suelo que puede presentar como una capa delgada o como acumulaciones de material mineral y orgánico, predominando la presencia de rocas, en los tres casos de origen volcánico. Los tres sitios presentan vegetación natural. En la Tabla 5.16 se presentan los resultados que se obtuvieron.

Tabla 5.16. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Litosoles (I) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
14	1.14	7.46	27.07	11.71	Bosque de pino encino	2726
26	0.79	6.82	4.21	2.31	Bosque de encino	2716
66	0.93	4.63	120.00	40.54	Bosque de encino	2689

a) Densidad aparente

La densidad aparente observada en los tres sitios es en general baja, pues se ha mencionado que en estos suelos presentan un desarrollo incipiente, siendo delgados o presentarse como acumulaciones de materiales, predominando los materiales rocosos de diferente tamaño y con diferente grado de intemperización. La densidad aparente en este caso estará en función de la naturaleza de estas rocas y al observarse diferentes tipos de roca en los tres sitios la diferencia en la densidad aparente puede deberse a esta situación (Figura 5.56).

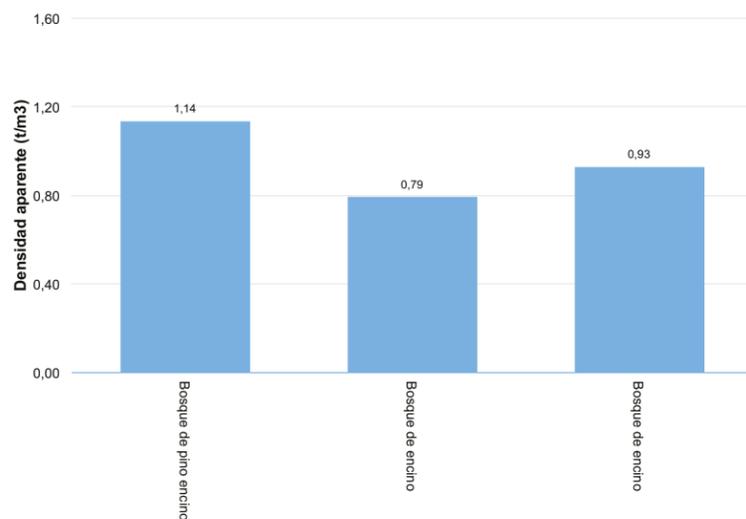


Figura 5.56. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Litosol.

b) Materia orgánica

La materia orgánica es principalmente restos de vegetación en diferente grado de descomposición mezclada con el material mineral. Estos tienden a acumularse en las depresiones superficiales y cuando las rocas forman grietas, en estas también existe la

acumulación, tanto de material mineral como de material orgánico. Esta situación puede convertirse en un factor de riesgo pues ante la presencia de incendios forestales, el fuego puede alcanzar estas acumulaciones, haciendo difícil su control. Los valores en los tres sitios puede considerarse alto (Figura 5.57).

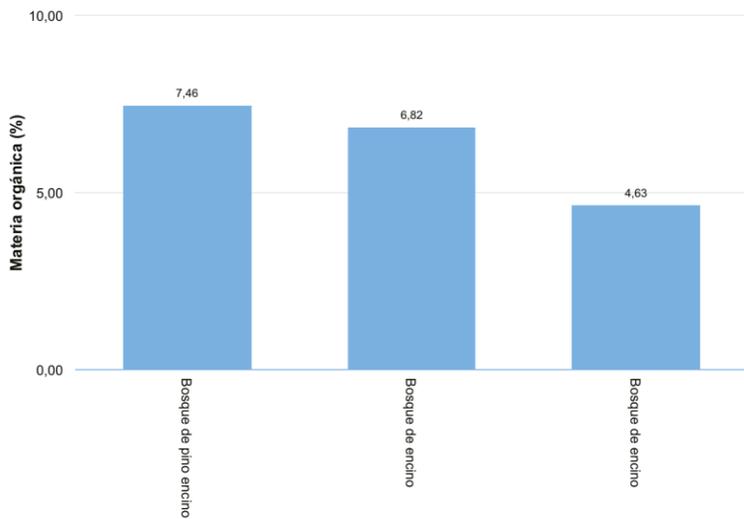


Figura 5.57. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Litosol.

c) Tasa de infiltración final

En cuanto a las pruebas de infiltración se tiene que destacar que en el caso en donde se tiene el valor más bajo se encuentra un suelo delgado con una capa continua de roca debajo de este, lo cual limita el movimiento vertical del agua en el suelo y en los otros casos, la presencia de rocas implica la presencia de grietas por donde el agua puede fluir libremente, siendo el caso de los dos sitios restantes (Figura 5.58).

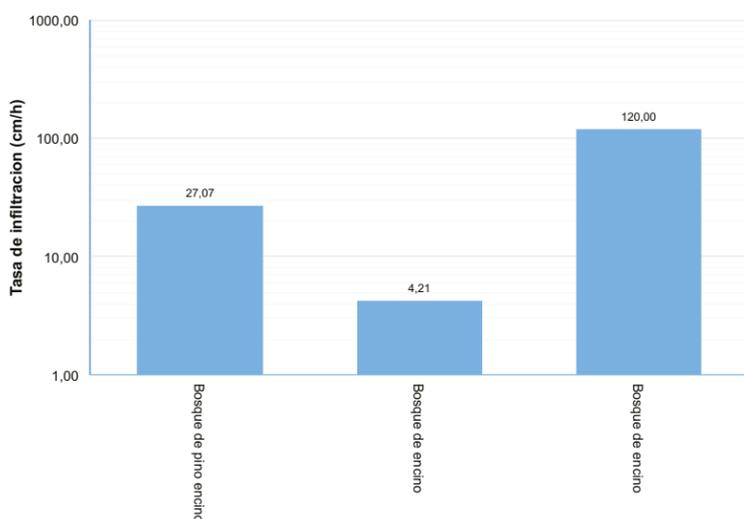


Figura 5.58. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Litosol.

d) Conductividad hidráulica

En este caso se refleja lo observado en campo, y es importante resaltar que aunque los tres suelos presentan la misma clasificación, la naturaleza de la roca es diferente, por lo que las características del suelo que se origina también es diferente, como se ha observado en párrafos anteriores (Figura 5.59).

Comentarios generales

Los sitios con Litosoles presentan limitantes para las actividades productivas, pues prácticamente no existe suelo que pueda servir de sustento a especies de beneficio económico, además, la vegetación que en estos se desarrolla se ha adaptado a las condiciones de poca profundidad y de disponibilidad de agua, lo que los hace

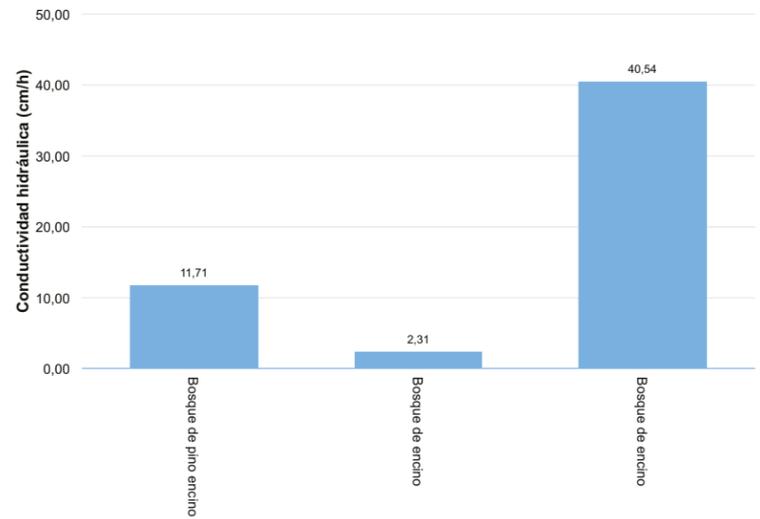


Figura 5.59. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Litosol.

sitios de alta fragilidad, pues una vez que se ha removido la vegetación por las condiciones mencionadas resultara lenta la recuperación de esta. Es frecuente encontrar en estas condiciones grietas entre las rocas por donde el agua puede fluir libremente, aunque si la roca es una capa continua esta puede limitar el flujo vertical del agua.

Recomendaciones

Son sitios limitados para las actividades productivas por lo que se deben de realizar actividades encaminadas a su conservación.

Luvisol crómico (Lc) y férrico (Lf)

Se realizaron observaciones en 6 sitios que se encontraron entre los 2,400 y los 2,900 msnm. La vegetación es de bosque natural en donde predomina el encino. Estos suelos tienen como característica horizontes diferenciados ricos en arcilla debajo del horizonte superficial. Los resultados observados en estos tipos de suelos se presentan en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Luvisoles crómico (Lc) y férrico (Lf) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m3)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
48 (Lc)	1.29	8.36	12.41	37.18	Bosque de encino	2728
52 (Lc)	1.06	10.19	17.24	49.96	Bosque de encino pino	2637
55 (Lc)	1.37	7.08	2.61	17.11	Bosque de encino	2487
57 (Lc)	1.21	7.72	4.12	55.04	Bosque de encino	2544
69 (Lc)	1.26	5.40	85.26	9.42	Bosque de encino pino	2845
5 (Lf)	1.42	2.96	32.14	3.92	Bosque de pino encino	2203

a) Densidad aparente

La densidad aparente en todos los casos muestra valores que se encuentran dentro de un rango que puede considerarse normal, en todos los casos se trata de vegetación natural. Los valores más altos corresponden a un sitio con evidencias de erosión y con presencia de una capa endurecida, sitio 55, y a un sitio en donde se encontraron evidencias de incendio forestal reciente, sitio 5 (Figura 5.60).

b) *Materia orgánica*

En todos los casos el contenido de materia orgánica puede considerarse alta, salvo en el sitio 5, que tiene los valores más bajos en donde se registró un incendio forestal el año anterior a la observación, siendo este un factor por el cual disminuyó la materia orgánica al consumirse por combustión (Figura 5.61).

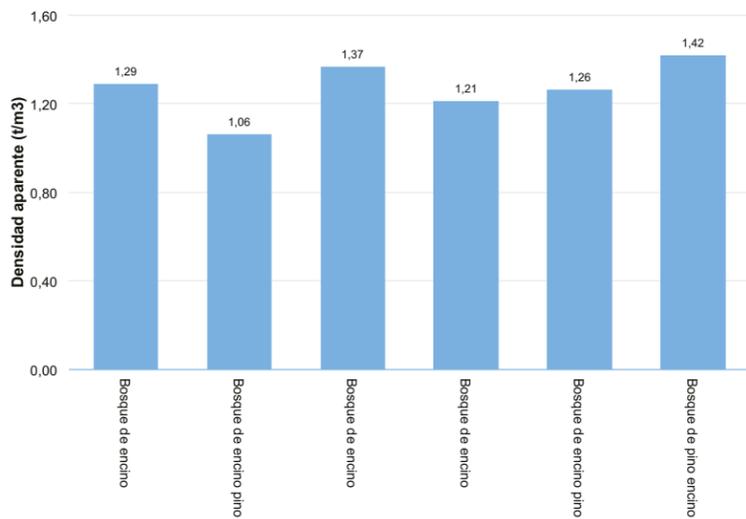


Figura 5.60. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Luvisol.

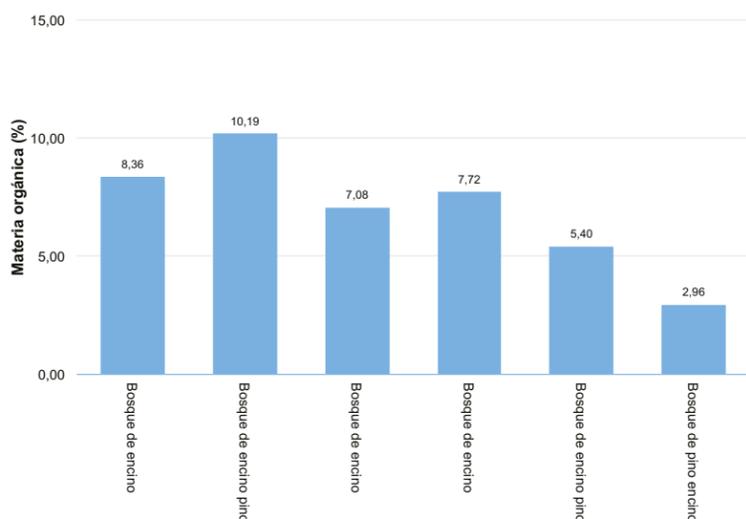


Figura 5.61. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Luvisol.

c) *Tasa de infiltración final*

Los valores más bajos se encontraron en los sitios en donde se tenía en la superficie una capa endurecida y debajo de un delgado horizonte superficial se encontraba un horizonte con estructura masiva de textura arcillosa (Figura 5.62). Además se encontró en los sitios evidencia de erosión, en donde posiblemente el horizonte superficial pudo haberse removido. La presencia de estas capas limita la infiltración del agua pues se ha perdido el espacio poroso que es por donde el agua puede fluir lentamente en sentido vertical, además de que los horizontes arcillosos más profundos también limitan este flujo vertical del agua. La presencia de arcillas provoca un movimiento más lento del agua a través del perfil del suelo, provocando encharcamientos en la superficie o provocar escurrimiento superficial cuando la capacidad de almacenamiento de la superficie del suelo es rebasada por la precipitación.

d) *Conductividad hidráulica*

En el caso de esta prueba se encontraron inconsistencias con las observaciones de campo, pues se ha mencionado que estas pruebas son con muestras alteradas del suelo y no consideran los

factores de campo que intervienen en el proceso de infiltración del agua en el suelo (Figura 5.63).

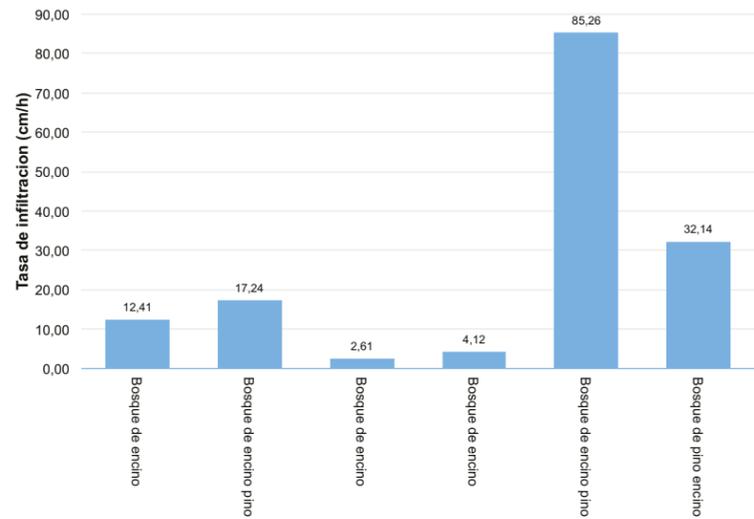


Figura 5.62. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Luvisol.

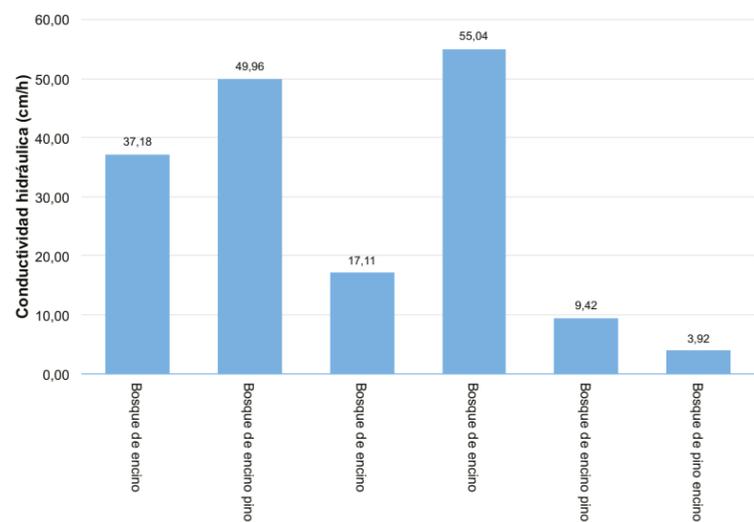


Figura 5.63. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Luvisol.

Comentarios generales

Los sitios en los que se observaron las menores tasas de infiltración muestran evidencias de erosión y son suelos con horizonte superficial delgado, que además presentan un horizonte con estructura masiva, es decir sin agregados y sin desarrollo de poros que permitan el flujo del agua, estas tasas de infiltración favorecen la aparición de escurrimientos ante la presencia de lluvias fuertes y favorecen la erosión del suelo. Además es importante destacar que la presencia de arcillas hace que el agua en el suelo sea retenida con mayor fuerza y esta no está disponible para las plantas. Este factor se debe considerar al momento de realizar actividades de reforestación, ya que el éxito o fracaso de estos trabajos sobre todo en los primeros años depende de la disponibilidad de humedad

Recomendaciones

En suelos que presenten bajas tasas de infiltración se deben realizar prácticas de conservación para el control de los escurrimientos superficiales, en su caso hacer acondicionamiento de suelos y mejorar las condiciones del suelo para que estos retengan mayor humedad durante más tiempo al realizar trabajos de reforestación. Se debe evaluar la conveniencia de los trabajos de acondicionamiento de suelos que rompan la continuidad de las capas endurecidas, considerando la pendiente del terreno, y la precipitación, realizando los trabajos siguiendo las curvas de nivel del terreno. Se deben realizar acciones que prevengan incendios forestales, ya que

estos pueden consumir la materia orgánica del horizonte superficial y exponer el suelo a procesos erosivos.

Planosol húmico (Wh) y mólico (Wm)

Se realizaron observaciones en 3 sitios que se encontraron alrededor de los 2,600 msnm. La vegetación es de bosque cultivado en donde anteriormente se practicaba la agricultura y en uno se sigue practicando siendo el maíz el principal cultivo. Los resultados observados en estos tipos de suelos se presentan en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Luvisoles crómico (Lc) y férrico (Lf) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
31 (Wh)	1.39	1.80	15.93	7.59	Agricultura de temporal (maíz)	2664
49 (Wh)	1.59	3.22	3.60	7.55	Bosque cultivado	2664
36 (Wm)	1.25	3.22	11.39	67.27	Bosque cultivado	2596

a) Densidad aparente

Los valores de densidad son ligeramente altos en los dos primeros sitios (Figura 5.64). En todos los casos se tienen antecedentes de actividades agrícolas aunque en un sitio se sigue practicando la agricultura con cultivo de maíz. Este antecedente explica la presencia de capas endurecidas en la superficie del suelo con valores altos.

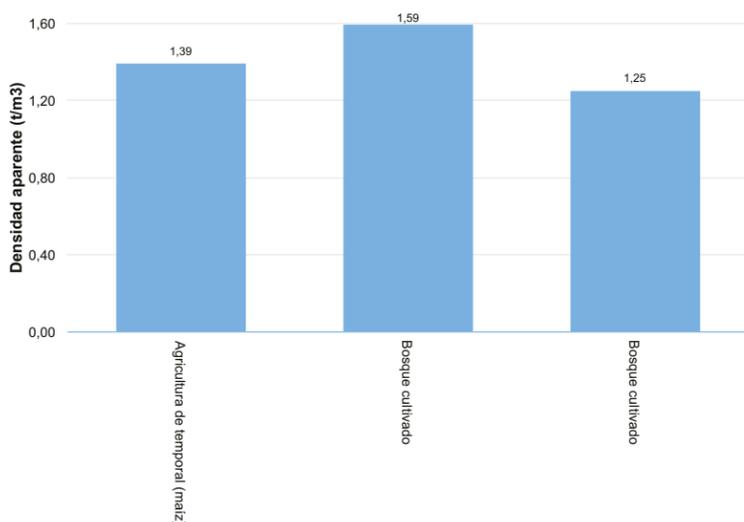


Figura 5.64. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Planosol.

b) Materia orgánica

Los valores para el contenido de materia orgánica son bajos, pues las plantaciones son relativamente jóvenes y el aporte de materia orgánica aún se refleja en el suelo, aunque se aprecian acumulaciones en la superficie en el caso de los bosques cultivados, esta materia orgánica presenta diferentes grados de descomposición pero aún no se ha incorporado al suelo (Figura 5.65). En el caso del suelo agrícola, este presenta los valores más bajos, como consecuencia de la oxidación debido al movimiento continuo del suelo.

c) Tasa de infiltración final

En el sitio con menor valor de infiltración, se encontró después de los 30 centímetros de profundidad una capa masiva, es decir que

no se ha desarrollado una estructura con el consecuente formación de poros que permitan el flujo del agua, al llegar a esta capa el movimiento del agua es horizontal, a diferencia de los otros dos sitios, en todas las capas hay desarrollo de la estructura y esta permite un flujo libre del agua una vez que el suelo se ha saturado (Figura 5.66).

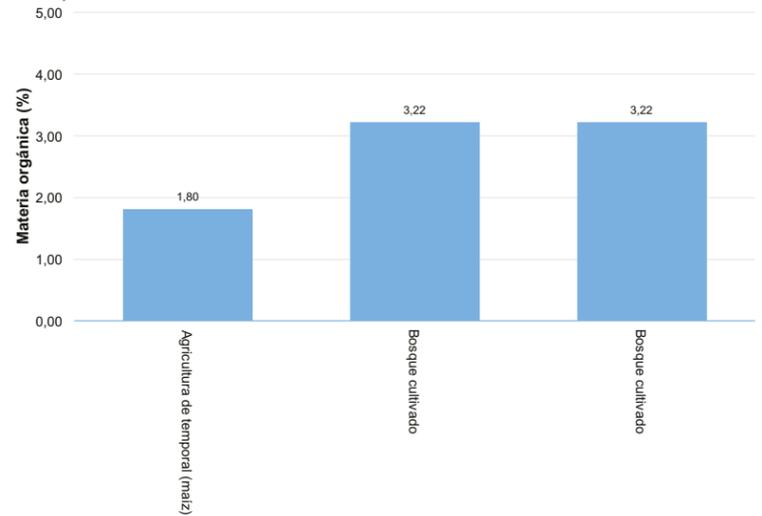


Figura 5.65. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Planosol.

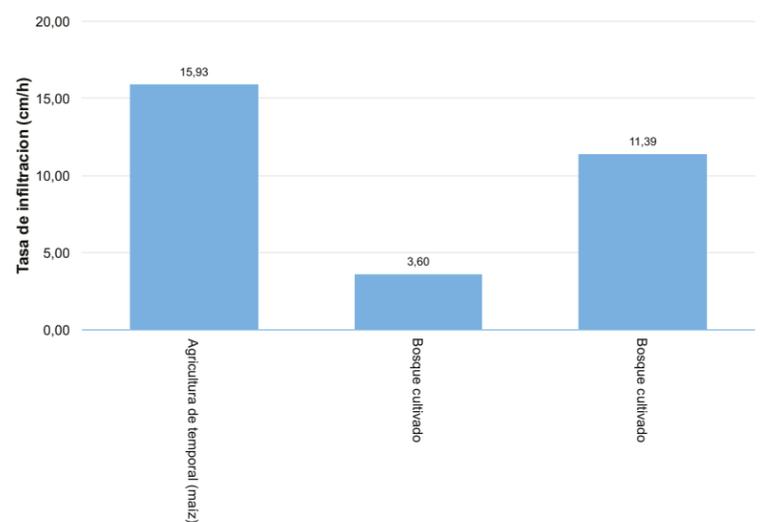


Figura 5.66. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Planosol.

d) Conductividad hidráulica

En el caso de esta prueba se encontraron inconsistencias con las observaciones de campo, pues se ha dicho que las pruebas se hacen con muestras alteradas, aunque en el caso de los dos primeros sitios se observan valores similares pues se trata de una misma unidad de suelo en donde la diferencia es el uso (Figura 5.67).

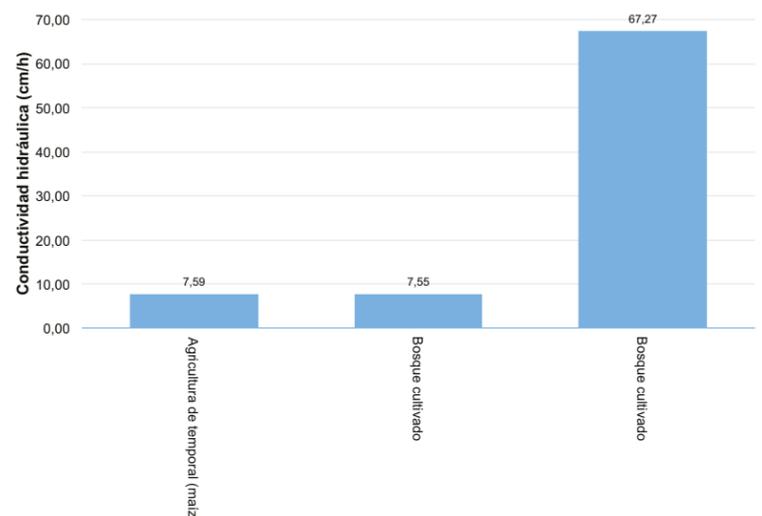


Figura 5.67. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Planosol.

Comentarios generales

En suelos en donde se da la reconversión productiva de agrícola a forestal, estos tienden a recuperar sus propiedades naturales, sin embargo esto puede tomar tiempo, por lo que es necesario realizar actividades como las prácticas de conservación de agua y suelo para el control de los escurrimientos, esto porque debido a la actividad agrícola estas propiedades pudieron verse afectadas y ante la presencia de lluvias fuertes puede favorecerse el escurrimiento superficial y la erosión del suelo.

Recomendaciones

Se recomienda al momento de establecer las plantaciones acompañar esta con prácticas de conservación considerando la pendiente del terreno y la cantidad de precipitación. en suelos con poco desarrollo de estructura en el horizonte superficial o ante la presencia de capas endurecidas o masivas de evaluarse la conveniencia de los trabajos de acondicionamiento de suelos, considerando la pendiente del terreno, la profundidad y la precipitación, realizándose estos siguiendo las curvas de nivel del terreno.

Regosol éútrico (Re)

Se realizaron observaciones en 5 sitios que se encontraron alrededor de los 1,700 y 3,300 msnm y los climas van desde el semicálido subhúmedo, templado subhúmedo y semifrío. Se encontró un caso de bosque cultivado y el resto de vegetación natural de bosque y un sitio con vegetación de bosque de táscate. Estos suelos son poco desarrollados y sus características estarán en función de las rocas o materiales que le dan origen. Los resultados observados en estos tipos de suelos se presentan en la tabla 5.19.

Tabla 5.19. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Regosoles éútrico (Re) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
3 (Re)	1.56	4.50	4.40	12.46	Bosque de táscate	1789
15 (Re)	1.22	4.25	40.45	3.06	Bosque de pino encino	2992
18 (Re)	1.02	13.41	94.74	39.64	Bosque de oyamel	3012
20 (Re)	1.08	6.18	43.37	6.99	Bosque de oyamel	3224
21 (Re)	1.29	4.76	36.36	4.40	Bosque cultivado	2464

a) Densidad aparente

Los valores encontrados están dentro de rangos normales, es decir que estos valores se presentan bajo condiciones naturales y se encuentran alrededor de la unidad. El sitio con mayor valor es el suelo más delgado con una capa de roca después de los 15 centímetros, se han presentado incendios y hay actividades de pastoreo, otro caso con valor alto es el de un bosque cultivado, en donde se ha practicado la agricultura (figura 5.68).

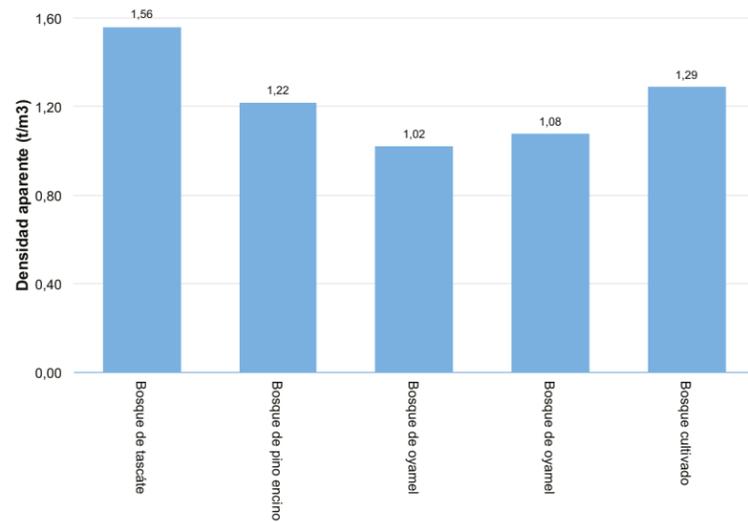


Figura 5.68. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.

b) Materia orgánica

Los valores más altos para el contenido de materia orgánica son para los sitios con vegetación natural, y se destaca el bosque de oyamel, que en otras unidades de suelo también ha mostrado los valores más altos. En el caso del bosque de táscate se han presentado incendios forestales, lo que puede ser un factor que disminuye el contenido de materia orgánica (Figura 5.69).

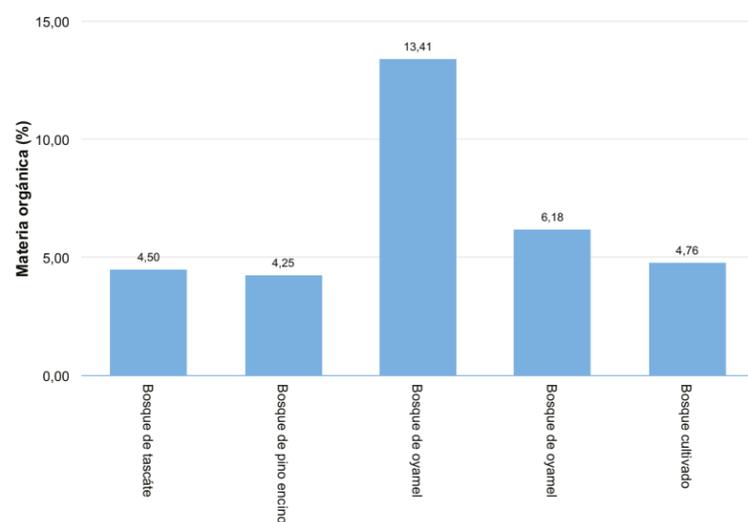


Figura 5.69. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.

c) Tasa de infiltración final

Al igual que el anterior, se destacan los valores del bosque de oyamel, que son los valores más altos, y el valor más bajo para el caso del bosque de táscate, en este último posiblemente por ser un suelo delgado y que presenta una capa de roca continua a los 15 cm de profundidad, que limita el flujo vertical del agua (figura 5.70).

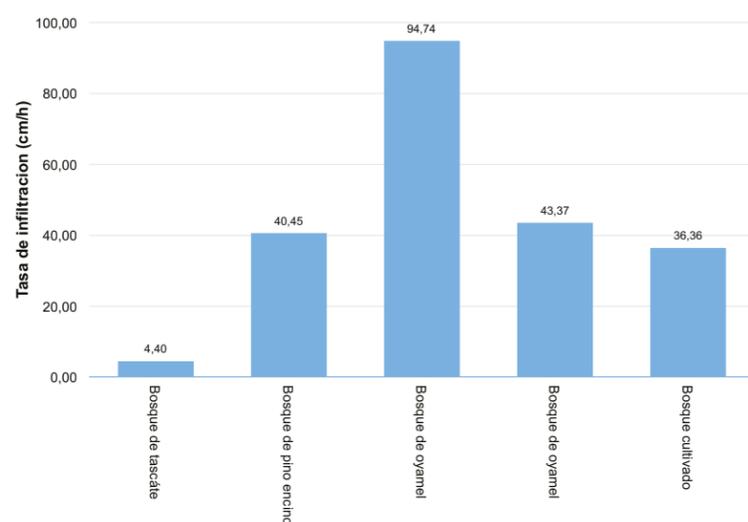


Figura 5.70. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Regosol.

d) *Conductividad hidráulica*

En este apartado los valores son consistentes con los valores mostrados para las observaciones de campo, aunque en el primer sitio, presenta valores relativamente altos, puesto que en pruebas de laboratorio no se refleja el efecto de la capa de roca que subyace al horizonte superficial (figura 5.71).

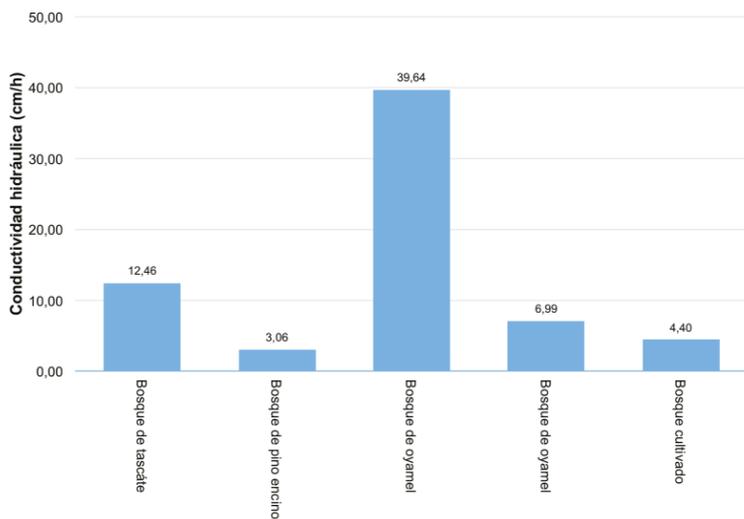


Figura 5.71. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.

Comentarios generales

Estos suelos se encuentran en diferentes ambientes, sin embargo se observa que de manera natural presentan características favorables para la infiltración de agua. En el caso del bosque cultivado se observa un comportamiento que tiende al comportamiento de los bosques naturales. En el caso de los suelos delgados, esto hace que sean de fragilidad alta, pues la pérdida de vegetación en estas condiciones será de difícil recuperación.

Recomendaciones

Dadas las condiciones de pendiente en la mayoría de los casos, y las condiciones de altitud, se recomienda que el uso de estos suelos sea para la conservación. En suelos poco profundos no se recomiendan trabajos que implique movimiento de suelo, ya que la capa de roca puede limitar el flujo del agua provocando acumulaciones que pueden convertirse en escurrimientos superficiales que favorezcan la erosión del suelo.

Rendzina (E)

Se realizaron observaciones en 2 sitios que se encontraron alrededor de los 1,200 y 1,700 msnm climas semicálido subhúmedo, en ambos casos con vegetación natural. Estos suelos son suelos delgados que generalmente se encuentran sobre material calcáreo y generalmente son ricos en arcillas. Al ser solamente dos observaciones las comparaciones o las tendencias pueden verse limitadas, sin embargo se presentan los resultados de dichas observaciones. Los resultados observados en estos tipos de suelos se presentan en la tabla 5.20.

a) *Densidad aparente*

Los valores son similares y se encuentran dentro de un rango normal, es decir no hay evidencia de alteración significativa en esta propiedad del suelo (figura 5.72).

Tabla 5.20. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Rendzinas (E) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
1 (E)	1.25	4.89	25.71	85.79	Selva baja caducifolia	1707
4 (E)	1.32	7.59	163.64	16.92	Bosque de táscate	1401

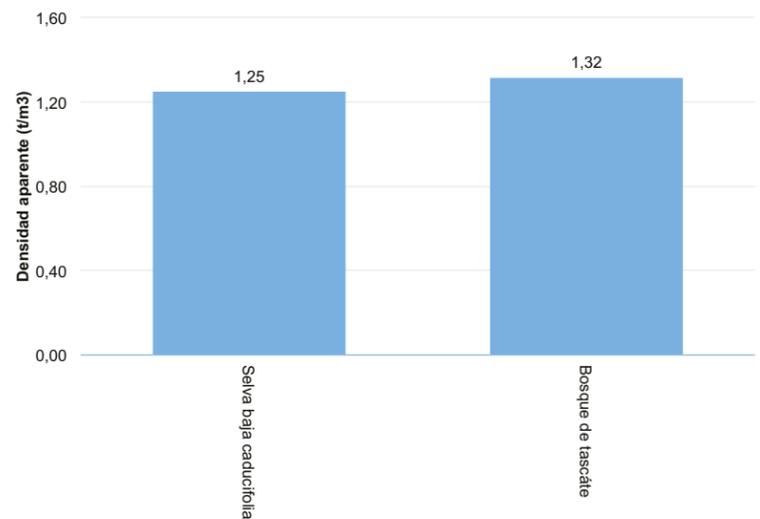


Figura 5.72. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.

b) *Materia orgánica*

La materia orgánica presenta el valores similares también aunque es mayor en el bosque de táscate y la principal fuente son los restos de la vegetación (Figura 5.73). Es importante señalar que en ambos sitios hay actividades de pastoreo y extracción de leña.

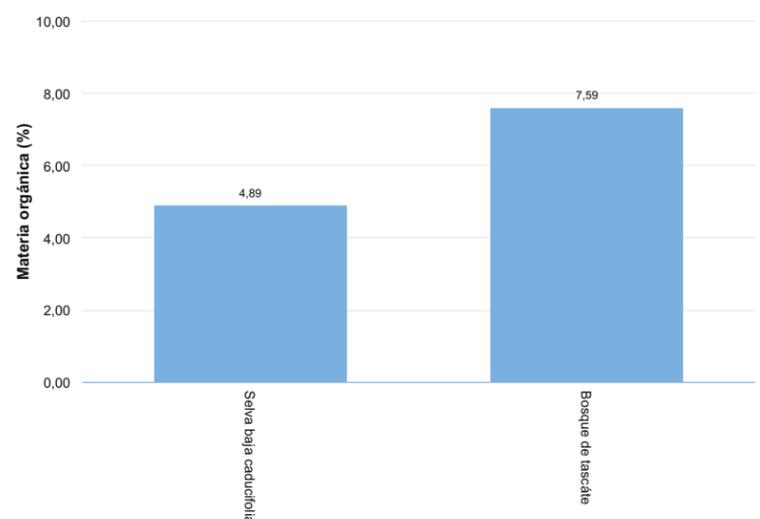


Figura 5.73. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.

c) *Tasa de infiltración final*

En los dos casos se tienen valores altos, sin embargo es mucho mayor en el sitio 4 y esto puede deberse a que el suelo presenta un mayor desarrollo estructural, con poros más grandes que permiten un mayor flujo del agua (figura 5.74).

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

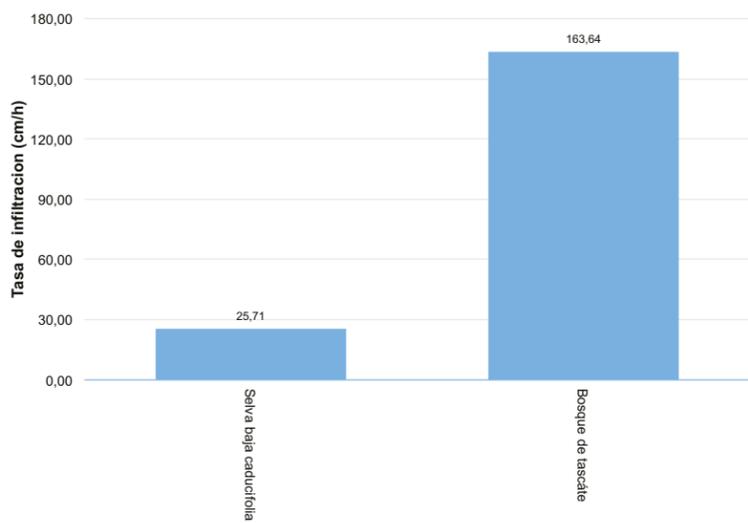


Figura 5.74. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Rendzina.

d) Conductividad hidráulica

En este apartado los valores son inconsistentes, pues esto no reflejan las condiciones observadas en campo y estos es la presencia de capas de roca y la profundidad del suelo (Figura 5.75).

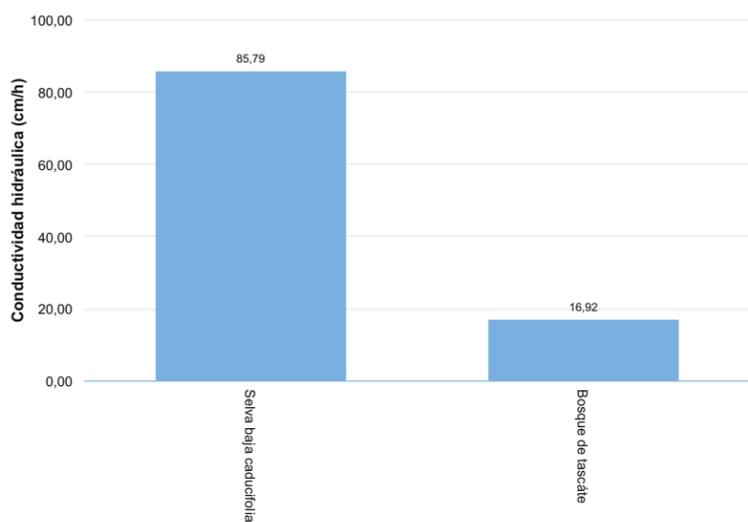


Figura 5.75. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.

Comentarios generales

Son suelos delgados con vegetación que es considerada de fragilidad alta, y se encontraron factores limitantes para actividades productivas como son, la poca profundidad y la pendiente. Al ser de poca profundidad no es conveniente realizar movimientos de tierra pues esto puede favorecer la erosión del suelo, puesto que también se tienen condiciones de alta precipitación.

Recomendaciones

Dadas las condiciones de pendiente en la mayoría de los casos, y las condiciones de profundidad del suelo, se recomienda que el uso de estos suelos sea para la conservación. En condiciones de pedregosidad y de afloramientos, realizar acomodo de estas en líneas perpendiculares a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel para favorecer la retención de suelos y para el control de los escurrimientos.

Vertisoles pélico (Vp)

Se realizaron observaciones en 5 sitios que se encontraron alrededor de los 2,200 y 2,700 msnm climas templados, con vegetación de bosque cultivado y un caso de uso agrícola. Estos suelos tie-

nen como característica un alto contenido de arcillas expandibles y la presencia de grietas cuando su contenido de humedad es bajo y son de manejo difícil pues secos son de consistencia muy dura y con exceso de humedad son plásticos y adhesivos. Son suelos muy fértiles y generalmente se usan en para agricultura, pues además se presentan en zonas relativamente planas o con poca pendiente. En todos los sitios se trata de suelos que fueron usados para actividades agrícolas y que se han reconvertido a uso forestal (tabla 5.21).

Tabla 5.21. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Vertisoles pélico (Vp) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
2 (Vp)	1.68	1.93	8.77	2.79	Agricultura de temporal (en descanso pastizal)	2606
28 (Vp)	1.27	3.86	21.18	30.56	Bosque de pino	2593
34 (Vp)	1.42	6.82	4.33	1.14	Bosque cultivado	2614
43 (Vp)	1.52	3.22	13.04	41.00	Bosque cultivado	2579
58 (Vp)	1.92	3.73	28.57	0.09	Bosque cultivado (eucalipto)	2298

Densidad aparente

Se presentan valores muy altos, pues como se ha dicho fueron usados como suelos agrícolas y esta actividad ha afectado sus propiedades físicas. En sitio con bosque cultivado de eucalipto además de encontrarse muy seco y con la capa superficial endurecida se ha presentado un incendio recientemente (Figura 5.76).

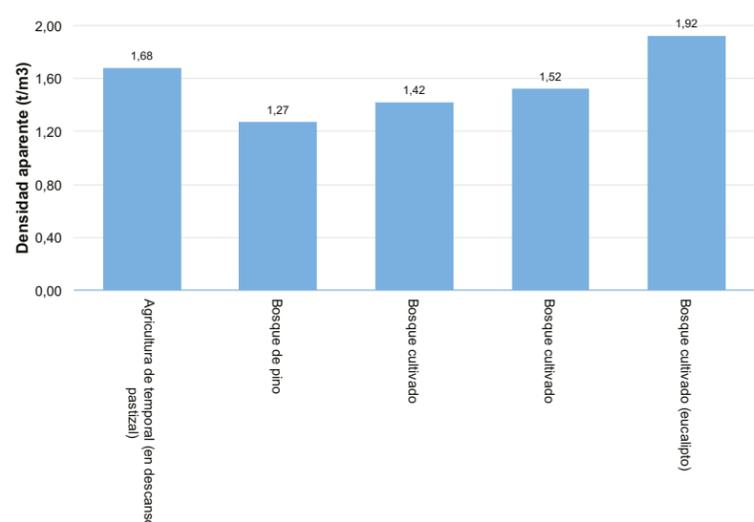


Figura 5.76. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.

b) Materia orgánica

EL contenido de materia orgánica es relativamente bajo y es menor aun en el suelo agrícola, aunque se apreciaron restos de vegetación esta se encuentra en proceso de incorporación al suelo (Figura 5.77). Se debe resaltar que en el caso de estos suelo un alto contenido de materia orgánica mejoraría sus propiedades físicas, haciéndolo más manejable.

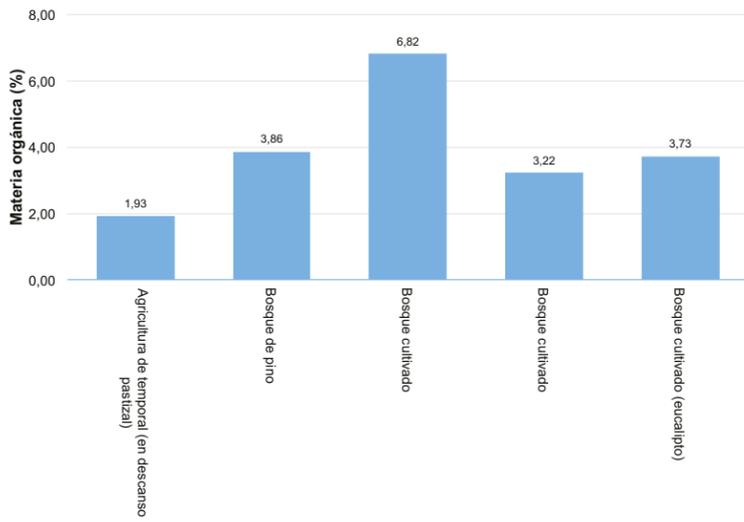


Figura 5.77. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.

c) Tasa de infiltración final

Se ha mencionado que una característica de estos suelos es la presencia de grietas que van desde el horizonte superficial y pueden llegar a los horizontes más profundos. Esta condición hace que ante las primeras lluvias el agua penetre al suelo hasta donde llegan estas grietas, una vez que el suelo se ha humedecido las grietas se cierran debido a la presencia de arcillas expandibles y en este momento las condiciones de humedad pueden hacer que el agua fluya lentamente a través del perfil, provocando encharcamientos o escurrimiento superficial. En los sitios con valores de infiltración más altos las condiciones de humedad del suelo aun no hacían que las grietas se hayan cerrado, por lo que es posible que el agua fluyera rápidamente a través de estas. El sitio con menor valor presentaba una capa endurecida y masiva en la superficie (Figura 5.78).

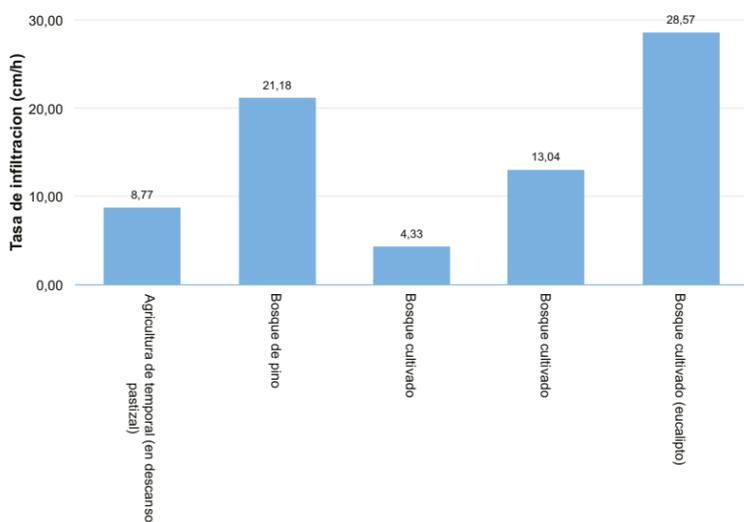


Figura 5.78. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Vertisoles.

d) Conductividad hidráulica

Esta muestra un comportamiento similar al de la prueba de infiltración en su valor final, aunque en el último sitio no se reflejan las condiciones de campo, que es la presencia de grietas por donde el agua se mueve libremente al comienzo de la temporada de lluvias (Figura 5.79).

Comentarios generales

Son suelos de manejo difícil pues en condiciones secas son de consistencia muy dura y en condiciones de humedad suelen ser muy plásticos y adhesivos. El agua puede fluir fácilmente en las primeras lluvias pues esta se mueve a través de las grietas hasta las

partes profundas del perfil, pero una vez que el suelo se ha humedecido las arcillas se expanden y cierran las grietas, haciendo que el agua fluya más lentamente y que se formen encharcamientos y escurrimiento superficial. Estas arcillas también retienen la humedad del suelo con tal fuerza que las plantas no pueden aprovecharla y en condiciones de humedad pueden saturarse rápidamente y en ambos casos provocar problemas a la planta. Esta situación debe considerarse al momento de hacer la reconversión de suelos agrícolas a uso forestal.

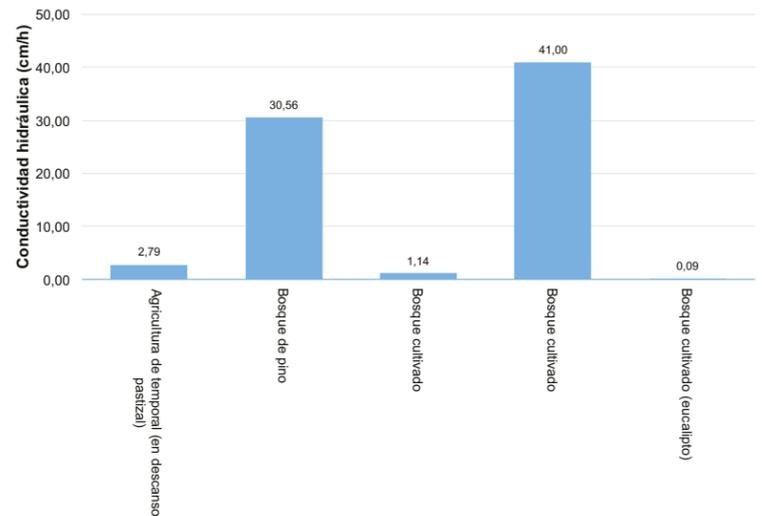


Figura 5.79. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.

Recomendaciones

El uso de materia orgánica en grandes cantidades puede mejorar las condiciones físicas de estos suelos. Cuando se hacen trabajos de reforestación o reconversión productiva en estos suelos, se debe aplicar materia orgánica como un mejorador, de manera puntual, esto favorecerá el flujo de agua y mantendrá la humedad disponible para la planta durante más tiempo. Se debe hacer un control del escurrimiento superficial con prácticas de conservación que permitan almacenar agua y que esta pueda fluir lentamente a través del perfil y los excesos conducirlos de manera controlada hacia cauces naturales.

Acrisol órtico (Ao)

Se realizaron observaciones en 2 sitios que se encontraron alrededor de los 1,800 y 2,100 msnm en climas semicálido, con vegetación de bosque (Tabla 5.22). Estos suelos tienen como característica una baja fertilidad y son suelos que tienden a ser ácidos.

Tabla 5.22. Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Acrisol órtico (Ao) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHM).

No. Perfil	Da (t/m ³)	MO (%)	Tf (cm/h)	Ks (cm/h)	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
13 (Ao)	1.19	2.70	13.28	12.02	Bosque de encino pino	1803
23 (Ao)	1.53	0.77	3.54	15.55	Bosque de pino encino	2077

a) Densidad aparente

Se tiene un sitio con un valor muy alto, en este se realizan actividades de extracción de resina y hay pastoreo, sin embargo este valor alto puede deberse más al tipo de minerales que lo forman, pues es un suelo con alto contenido de arenas y estas son de densidad alta (Figura 5.80).

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

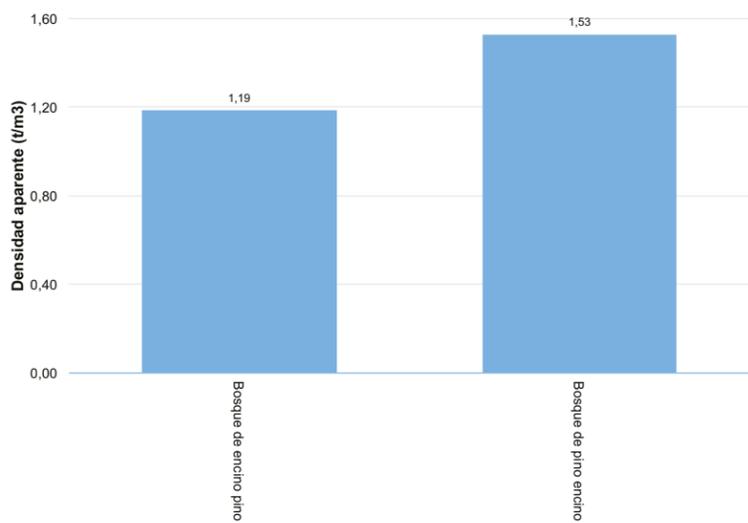


Figura 5.80. Valores de densidad aparente (t/m³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.

b) *Materia orgánica*

El contenido de materia orgánica en ambos casos es bajo aunque se apreciaron cantidades importantes de material orgánico acumulado en la superficie, sin embargo esta no se ha incorporado al suelo (figura 5.81).

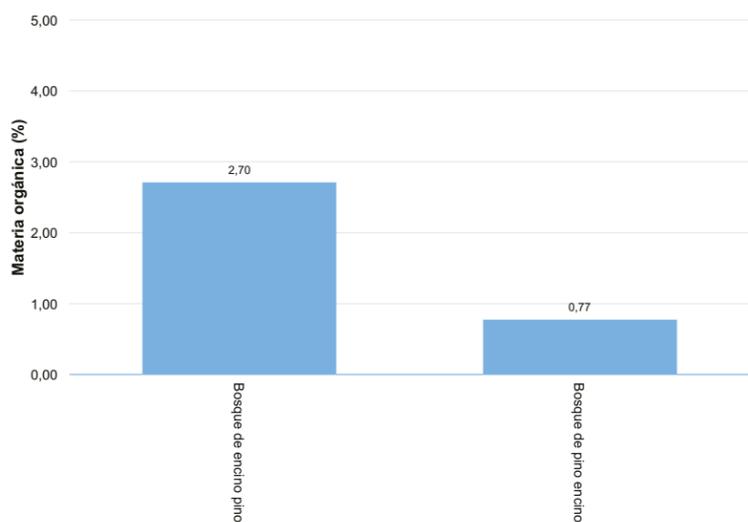


Figura 5.81. Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.

c) *Tasa de infiltración final*

Estos suelos presentan una diferencia en la textura, en el primer caso, predominan las arenas y en el segundo las arcillas. En el primer caso la textura hace que se tengan macroporos y en estos el agua fluye libremente, en el segundo caso, las arcillas presentan poros más pequeños y el agua se mueve más lentamente (figura 5.82). No se apreciaron otros factores que pudieran afectar esta propiedad.

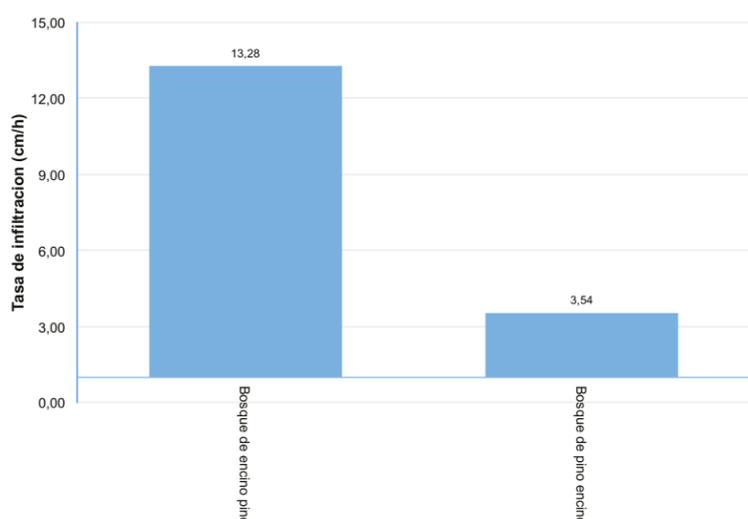


Figura 5.82. Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Acrisoles.

d) *Conductividad hidráulica*

En este apartado los valores son inconsistentes, pues estos no reflejan las condiciones observadas en campo (figura 5.83).

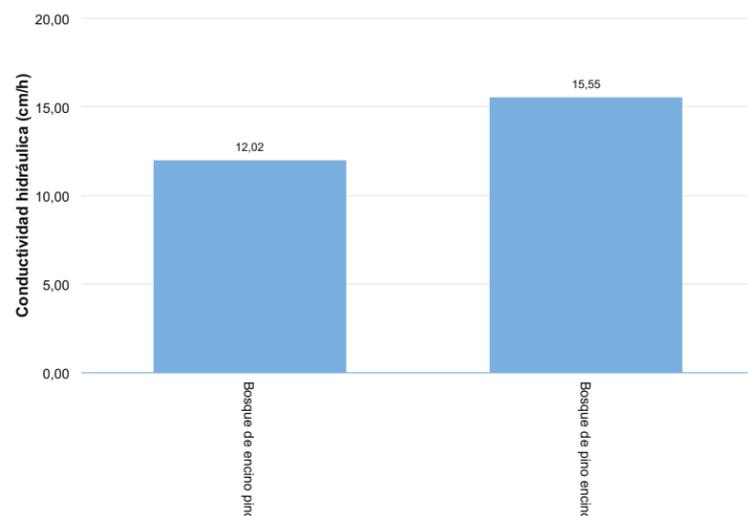


Figura 5.83. Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.

Comentarios generales

En estos suelos se debe destacar su acidez, puesto que esta puede convertirse en un momento dado en un factor limitante para el desarrollo de la vegetación y al momento de realizar actividades de reforestación este puede ser un factor que limite su desarrollo. Se observaron además otros factores limitantes para las actividades productivas como son la profundidad del suelo, la pendiente y la pedregosidad.

Recomendaciones

Para las actividades de reforestación usar especies adaptadas a estas condiciones de acidez del suelo, usar mejoradores de suelo, orgánicos o minerales de manera puntual en los sitios de establecimiento de las plantas para disminuir esta acidez. En sitios con baja capacidad de infiltración realizar actividades para el control de los escurrimientos y de la erosión del suelo.

5.5. Cartografía Edafológica

Debido a que no está disponible en formato **shape** la cartografía de edafología del Estado de México en escala 1:50,000 que se requiere para obtener información de diversos parámetros que requiere el modelo SWB que se aplicó en éste estudio, como fue lo de grupos hidrológicos de suelos, texturas del suelo, capacidad de agua disponible en el suelo, valores de curva numérica (CN), etc., es que se consideró indispensable el generar la cartografía de edafología mediante la digitalización de los polígonos de cada una de las unidades de suelo teniendo como base las cartas edafológicas impresas que ha publicado el INEGI y que afortunadamente está disponible toda la cartografía que cubre el Estado de México.

Enseguida se describe las actividades que se realizaron para cumplir con el objetivo, así mismo, se presenta un ejemplo de otro tipo de aplicación que se puede dar a la cartografía que se obtuvo como lo es obtener información de unidades de suelo a nivel de municipio, Delegación, localidad, área de PSAHEM, etc. Los mapas que se obtuvieron a partir de esta cartografía se presentan en los apartados de este estudio según corresponda.

5.5.1. Información documental y cartográfica

Se obtuvo información documental y cartográfica de diferentes fuentes, principalmente fuentes oficiales a través de sus portales electrónicos en internet y en las oficinas de las instituciones.

Del portal de INEGI se obtuvieron las cartas edafológicas escala 1:50,000 que cubren el Estado de México, en la figura 5.84, se presenta el detalle y nomenclatura de cada carta.

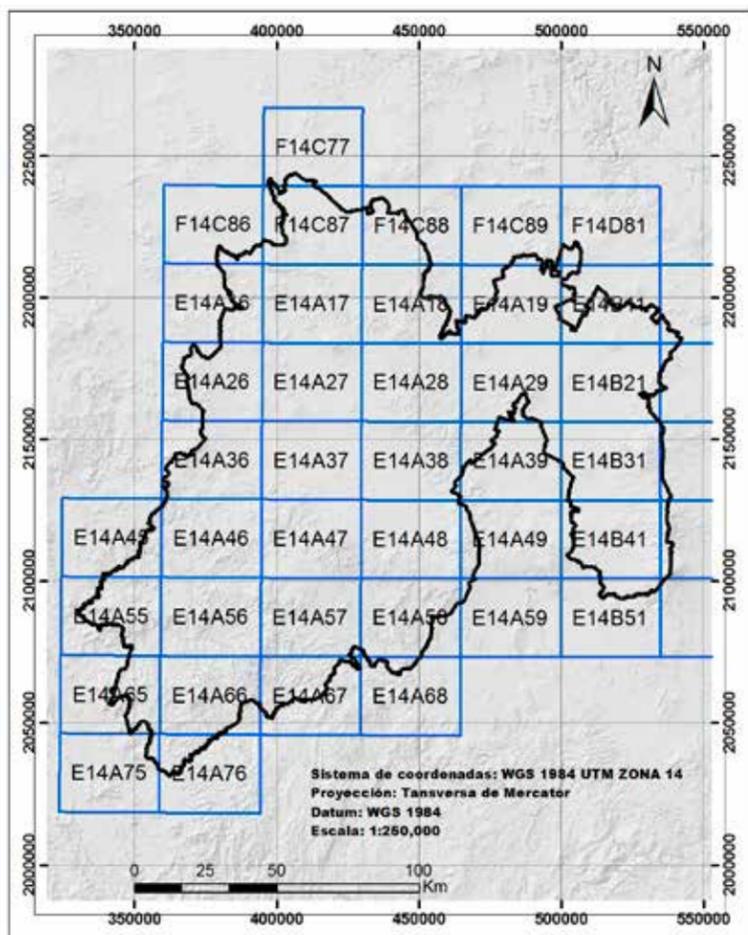


Figura 5.84. Relación de cartas edafológicas en escala 1:50,000 que se obtuvieron del portal de INEGI que cubren el Estado de México.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

Las imágenes se obtuvieron en formato PDF, y mediante un procesador de imágenes se transformaron al formato TIFF y a su vez se procedió a georreferenciar cada carta en el SIG ArcGis 10.3, finalmente se obtuvo el mosaico de cartas georreferenciadas como se muestran en la figura 5.85. En total son 44 cartas edafológicas que cubren el Estado de México.

5.5.2. Digitalización y procesamiento de cartografía escala 1:50,000

Con el apoyo del Arc GIS, se digitalizaron cada una de las cartas conformando los polígonos de cada unidad de suelo. En el Estado de México existen prácticamente todos los tipos de suelo por lo que de cada carta se tuvo que digitalizar todos los polígonos y fue un trabajo que requirió de paciencia y dedicación para obtener un resultado confiable.

En la figura 5.86 se presenta una muestra del trabajo que se realiza en gabinete mediante el SIG ArcGis donde se está digitalizando cada uno de los polígonos que conforman las diferentes unidades de suelo de cada de las 44 cartas edafológicas que cubren el Estado de México.

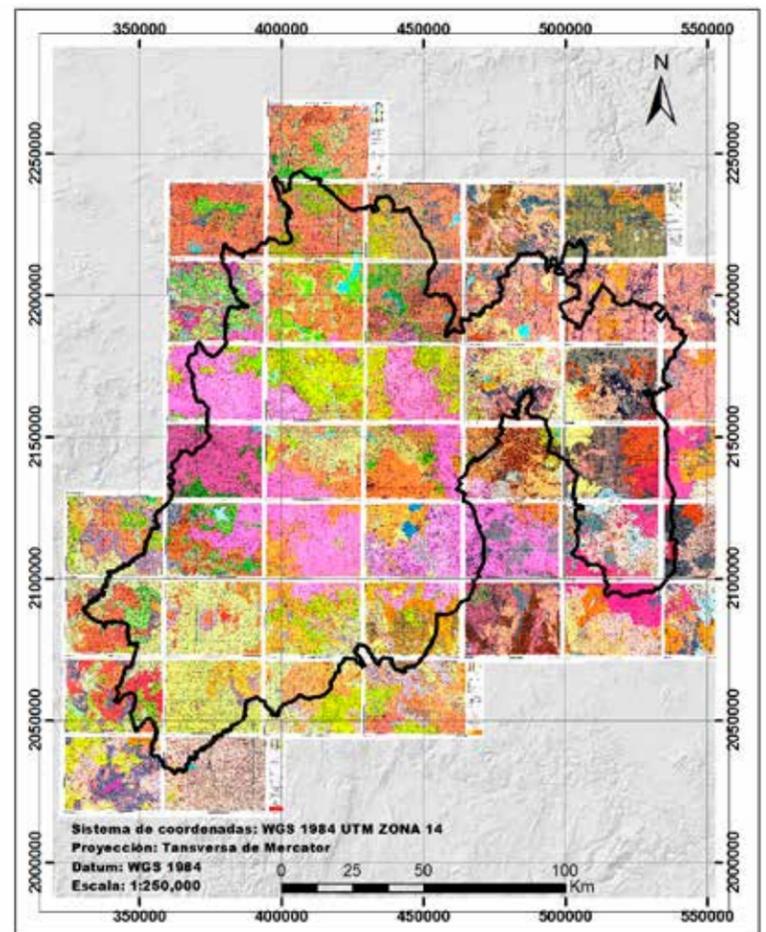


Figura 5.85. Mosaico de cartas edafológicas de INEGI que cubren el Estado de México.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

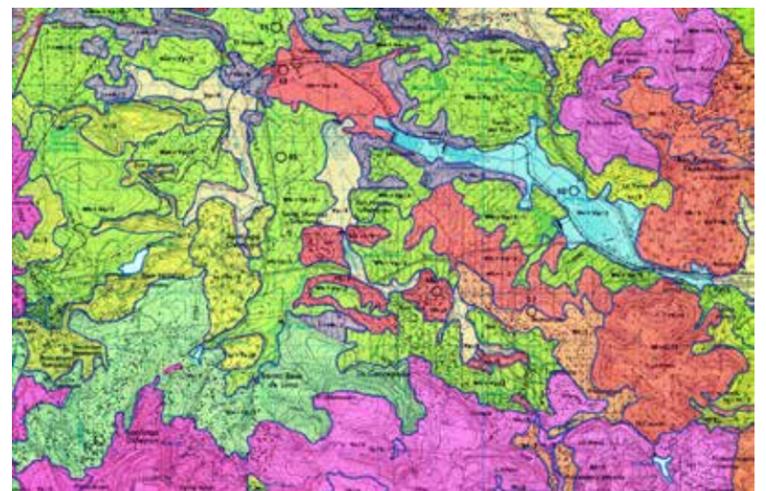


Figura 5.86. Muestra del proceso de digitalización de los polígonos que conforman las diferentes unidades de suelo de una carta edafológica.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

La información que presentan estas cartas son las unidades de suelo en la clasificación FAO y se presentan mediante una clave como se muestra a continuación:

Clave: Th+Bc/2

En donde Th y Bc son las claves de las unidades de suelo primaria y secundaria respectivamente, un aspecto a resaltar es que la clave primaria es la que predomina en el polígono y que la clave secundaria se encuentra presente pero no se puede representar porque es menor al área mínima cartografiada. La textura es indicada por el número que sigue a la diagonal, y este puede ser 1 para textura gruesa, 2 para la textura media y 3 para la textura fina, además se presentan las fases física y la fase química. En la información vectorial obtenida a partir de la digitalización de las cartas edafológicas cada una de estas características se agregó como un atributo de cada polígono y se integró la base de datos como se muestra en la Figura 5.87.

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

Figura 5.87. Tabla de atributos de información que se integró a cada polígono de las unidades de suelo que se digitalizaron.

También resulta relevante mencionar que el sistema de clasificación de suelos utilizado en estas cartas es el Sistema FAO DE 1974 (FAO-UNESCO 1974) y que en México este sistema de clasificación se ha cambiado al sistema WRB 2014 (Base Referencial Mundial para el Recurso Suelo, 2014) en los conjuntos de datos en escala 1:250,000. Sin embargo esta información resulta aún ser útil por el nivel de detalle que ofrece la escala.

De acuerdo con la información de las cartas edafológicas en escala 1:50,000 que se digitalizaron, las unidades primarias que se encuentran en el Estado de México se presentan en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23. Unidades de suelo y superficie (ha) del Estado de México.

Unidad de suelo	Superficie	
	ha	%
Acrisol órtico	42,405.92	1.89
Andosol húmico	353,734.83	15.73
Andosol mólico	48,310.38	2.15
Andosol ótrico	86,958.35	3.87
Cambisol cálcico	5,929.10	0.26
Cambisol crómico	56,187.78	2.50
Cambisol dístrico	34,307.26	1.53
Cambisol éutrico	80,431.70	3.58
Cambisol ferrálico	6,666.94	0.30
Cambisol húmico	2,660.62	0.12
Cambisol húmico	9,304.33	0.41
Cambisol vértico	4,149.16	0.18
Feozem calcárico	42,950.36	1.91
Feozem gleyco	4,801.76	0.21
Feozem háplico	400,648.56	17.82
Feozem lúvico	61,628.67	2.74
Fluvisol calcárico	49.06	0.00
Fluvisol dístrico	1,281.07	0.06
Fluvisol éutrico	17,492.03	0.78
Gleysol éutrico	29.1	0.00
Gleysol húmico	107.9	0.00
Gleysol mólico	1,926.04	0.09
Gleysol vértico	675.9	0.03
Histosol éutrico	4,049.49	0.18
Litosol	145,262.64	6.46

Tabla 5.23. Unidades de suelo y superficie (ha) del Estado de México.

Unidad de suelo	Superficie	
	ha	%
Luvisol cálcico	73.51	0.00
Luvisol crómico	136,965.99	6.09
Luvisol férrico	7,871.59	0.35
Luvisol órtico	3,116.76	0.14
Luvisol plúntico	187.33	0.01
Luvisol vértico	1,066.47	0.05
Planosol éutrico	26,098.46	1.16
Planosol húmico	7,154.14	0.32
Planosol mólico	69,414.62	3.09
Ranker	961.92	0.04
Regosol calcárico	2,666.19	0.12
Regosol dístrico	11,082.93	0.49
Regosol éutrico	255,024.08	11.34
Rendzina	25,511.81	1.13
Solonchak gléyico	23,908.22	1.06
Solonchak mólico	13,038.42	0.58
Solonchak órtico	7,027.91	0.31
Vertisol crómico	18,211.43	0.81
Vertisol pélico	209,296.66	9.31
Cuerpo de agua	18,162.42	0.81
Total	2,248,789.82	100.00

En la Tabla 5.23 se observa que la unidad más importante por la superficie que ocupa es el Feozem háplico, que representa el 17.82% de la superficie estatal, seguido por el Andosol húmico con el 15.73%, luego el Regosol éutrico y Vertisol pélico con el 11.34 y 9.31%, respectivamente.

Por su parte, al agrupar los suelos por grupo mayor de unidad de suelo, se tiene que en total el Feozem ocupara el 22.68% del total del Estado de México, le sigue el Andosol con el 21.75% de la superficie y luego está el Regosol con el 11.95% y finalmente el Vertisol con el 10.12% (Tabla 5.24).

Tabla 5.24. Unidad de suelo principal y superficie (ha) del Estado de México.

Unidad de suelo	Superficie	
	ha	%
Acrisol	42,405.92	1.89
Andosol	489,003.56	21.75
Cambisol	199,636.89	8.88
Feozem	510,029.35	22.68
Fluvisol	18,822.16	0.84
Gleysol	2,738.94	0.12
Histosol	4,049.49	0.18
Litosol	145,262.64	6.46
Luvisol	149,281.65	6.64
Planosol	102,667.22	4.57
Ranker	961.92	0.04
Regosol	268,773.20	11.95
Rendzina	25,511.81	1.13
Solonchak	43,974.55	1.96
Vertisol	227,508.09	10.12
Cuerpo de agua	18,162.42	0.81
Total	2,248,789.82	100.00

El mapa final de cartografía de unidades de suelo escala 1:50,000 se presenta en la Figura 5.88.

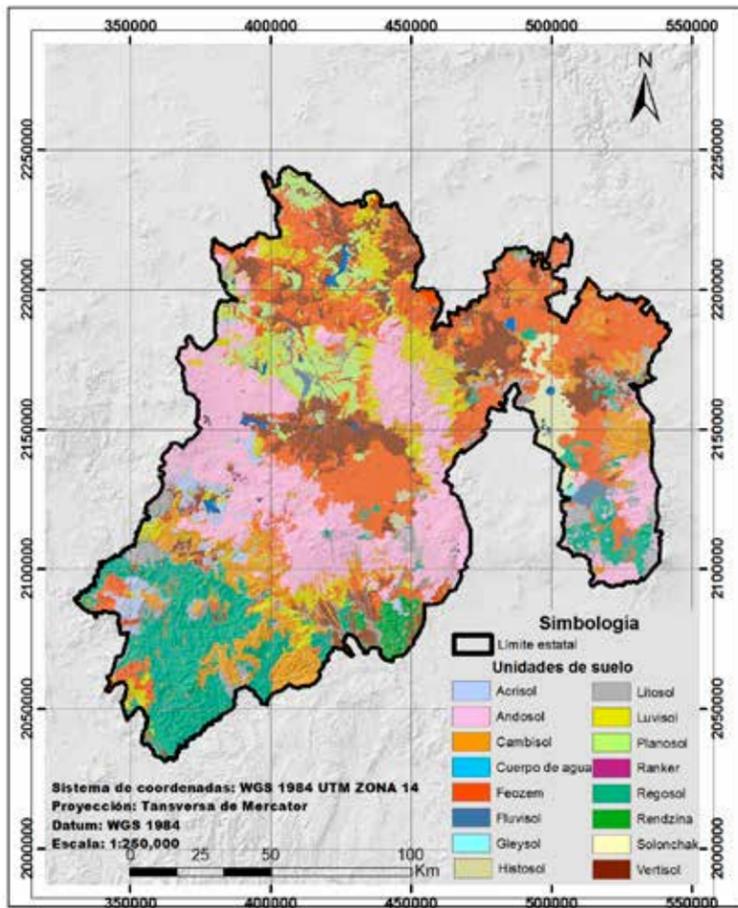


Figura 5.88. Mapa de unidades de suelo escala 1:50,000 del Estado de México.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

5.5.3. Cartografía de edafología escala 1:250,000

Del portal WEB del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se obtuvo el Continuo Nacional de Datos Edafológicos Serie II en escala 1:250,000, con el sistema de clasificación WRB 2015, en donde los campos de la tabla de atributos son las claves de los grupos de suelo y sus calificadores, en donde estos calificadores representan los principales atributos de los grupos de suelos presentes en cada unidad cartográfica. En la Tabla 5.25 se presentan las unidades de suelo o grupos de suelo que se encuentran en el Estado de México, puesto que el número de subunidades es muy grande, ya que resulta de la combinación de cada grupo de suelo con cada uno de los calificadores presentes. En este conjunto de datos también se presenta una capa de información denominada objetos edafológicos y que corresponden a los cuerpos de agua y localidades.

Tabla 5.25. Grupos de suelo (WRB, 2015) del Estado de México.

Unidad de suelo	Superficie ha	%
Andosol	494,468.99	21.99
Arenosol	28,942.65	1.29
Cambisol	134,348.24	5.97
Durisol	44,833.52	1.99
Fluvisol	7,652.14	0.34
Gleysol	3,693.58	0.16
Histosol	1,784.35	0.08
Leptosol	168,873.11	7.51
Luvisol	189,919.13	8.45
Phaeozem	500,171.10	22.24
Planosol	103,829.81	4.62
Regosol	216,744.21	9.64
Solonchak	14,319.66	0.64
Solonetz	12,955.10	0.58
Umbrisol	3,186.14	0.14
Vertisol	223,615.39	9.94
Áreas urbanas, localidades y cuerpos de agua	99,452.69	4.42
Total	2,248,789.82	100.00

En la Tabla 5.14 se observa que los grupos de suelos más importantes según la superficie que ocupan es en primer lugar el Feozem con 22.24%, le sigue el Andosol con 21.99%, el Vertisol con 9.94%, Regosol 9.64%, el Luvisol con 8.45%, el Leptosol con 7.51% y finalmente, el Cambisol con 5.97%. El resto de los grupos de suelos representan cada uno superficies menores al 3.5% y en conjunto representan el 14.26% de la superficie total (incluyendo las áreas urbanas y los cuerpos de agua). El mapa de cartografía de unidades de suelo escala 1:250,000 se presenta en la Figura 5.89.

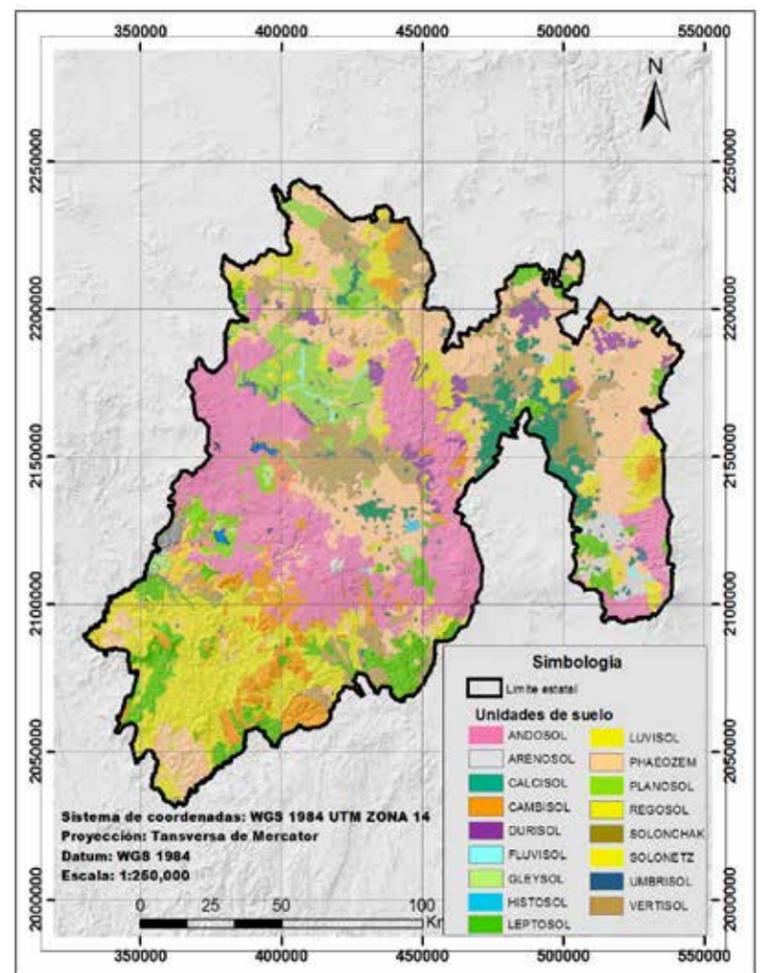


Figura 5.89. Mapa de unidades de suelo (WRB, 2015) escala 1:250,000 del Estado de México.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

5.5.4. Cartografía de edafología escala 1:250,000 en áreas de PSAHEM

Del análisis y geoprocésamiento de la información del continuo nacional de datos edafológicos se extrajo la información de grupos de suelos que se encuentran en las áreas de PSAHEM, los cuales se presentan en la Tabla 5.26. En esta Tabla se aprecia que el grupo más importante de acuerdo a la superficie que ocupan es el grupo de los Andosoles, que representa el 46.4% de la superficie total, seguido por los Feozem con 13.3%, los Luvisoles con 12.1%, Regosoles con 9.5%, Cambisoles con 8.3%, Leptosoles con 7.4% y Vertisoles con 1.6% de la superficie total, el resto de los grupos representan cada uno superficies menores al 1% y estos en conjunto apenas alcanzan el 1.4% de la superficie total.

5.5.5. Aplicabilidad de la información cartográfica de edafología

Se tiene la información cartográfica digitalizada de edafología 1:50,000 del Estado de México, y a partir de la base de datos del Estado se puede extraer u obtener datos de las unidades de suelo, por ejemplo, a nivel de Delegación de PROBOSQUE, de municipio, de ejido, de área de PSAHEM, etc., según sea el interés particular de acuerdo con el estudio a realizar o fin que se requiera la infor-

mación. En este caso, se muestra como ejemplo la información a nivel de la Delegación VII Valle de Bravo y en la Figura 5.90 se presenta el mapa correspondiente de unidades de suelo para dicha Delegación.

Tabla 5.26. Grupos de suelo (WRB, 2015) presentes en las áreas de PSAHEM del Estado de México.

Unidad de Suelo	Superficie (ha)	%
Andosol	77,817.1	46.4
Arenosol	437.8	0.3
Cambisol	13,834.7	8.3
Cuerpo de agua	6.7	0.0
Durisol	1,394.7	0.8
Fluvisol	198.0	0.1
Leptosol	12,434.3	7.4
Área urbana, Localidad	3.8	0.0
Luvisol	20,289.0	12.1
Phaeozem	22,323.6	13.3
Planosol	105.8	0.1
Regosol	15,967.2	9.5
Umbrisol	227.5	0.1
Vertisol	2,618.0	1.6
Total	167,658.20	100.00

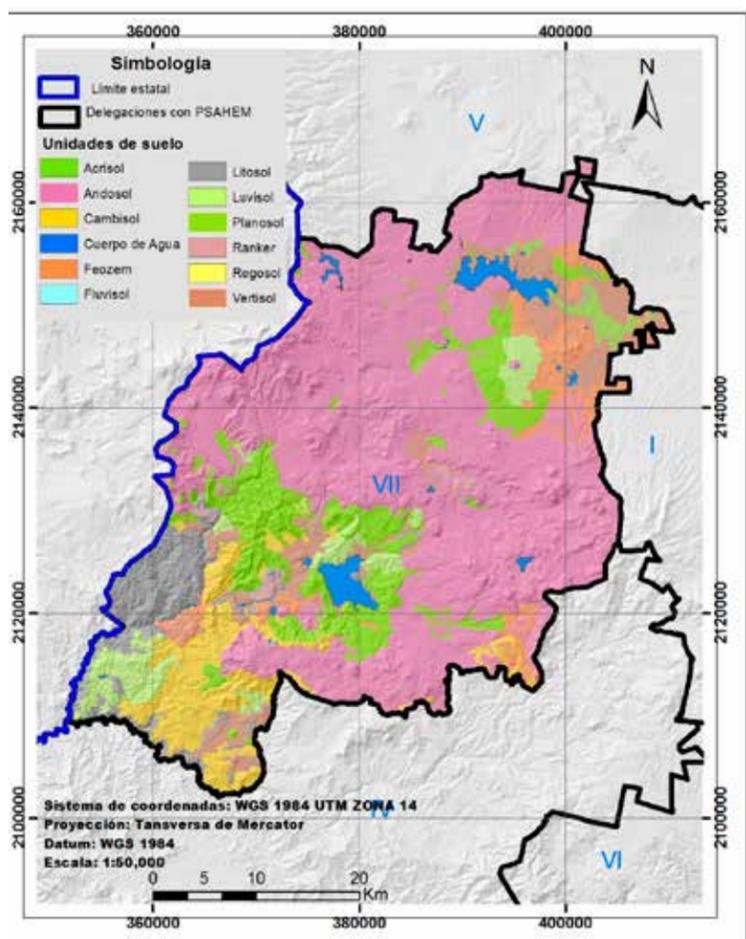


Figura 5.90. Mapa de unidades de suelo de la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

En la Tabla 5.27 se presenta la distribución de superficie para cada unidad de suelo, se observa que se tienen 11 unidades de suelo y cuerpos de agua y el suelo que predomina es el Andosol (55.04%), le siguen los suelos Acrisol (11.59%), el Cambisol (7.46%), el Vertisol (7.17%) y el Litosol (6.25%), en total representan el 87.51%. las demás unidades de suelo ocupan el 10.45% de la superficie de la Delegación, y los cuerpos de agua ocupan el 2.04%.

Si se desea por ejemplo, identificar que unidades de suelo se encuentran en las áreas de PSAHEM, se procede de la misma manera y se extrae la información cartográfica. Aplicado para la Delegación VII Valle de Bravo, en la Figura 5.91 se presenta el mapa de unidades de suelo que muestra las áreas de PSAHEM, y al obtener la

información de la base de datos de cartografía se obtiene información como la que se muestra en la Tabla 5.16.

Tabla 5.27. Unidades de suelo y superficie que ocupan en la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE.

Unidad de suelo	Superficie	
	ha	%
Acrisol	22,987.77	11.59
Andosol	109,162.99	55.04
Cambisol	14,790.32	7.46
Cuerpo de Agua	4,053.33	2.04
Feozem	9,517.44	4.80
Fluvisol	18.41	0.01
Litosol	12,400.62	6.25
Luvisol	8,144.15	4.11
Planosol	1,994.51	1.01
Ranker	961.92	0.48
Regosol	76.48	0.04
Vertisol	14,230.02	7.17
Total	198,337.96	100.00

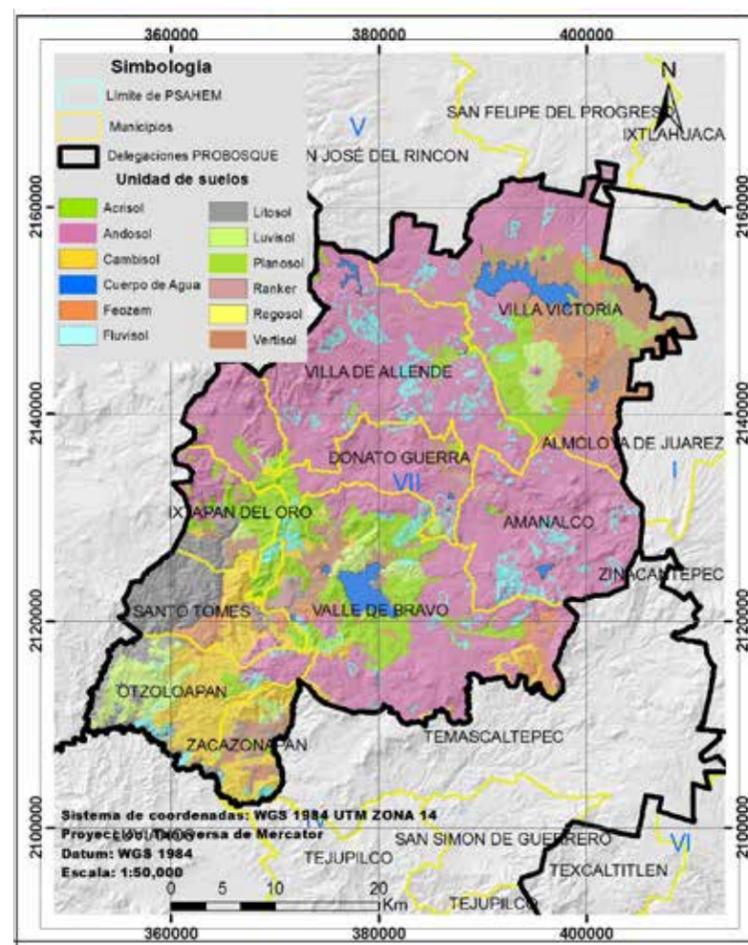


Figura 5.91. Unidades de suelo que se ubican en predios beneficiados con el Programa de PSAHEM de la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE.

Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

5.6. Capacidad de agua disponible en el suelo

El suelo se ha definido como un sistema de tres fases, en donde la fase sólida, también llamada matriz del suelo y consiste en partículas que varían en su tamaño y composición química, así como en su forma y orientación. También contiene materiales orgánicos que se unen a las partículas minerales para unirlos, formando los agregados del suelo. La organización de estos componentes sólidos del suelo determinan las características geométricas del espacio poroso en los cuales el agua y el aire son transmitidos y retenidos. La fase líquida es el agua en el suelo, esta generalmente tiene sustancias disueltas y es también llamada solución del suelo; la fase gaseosa es la atmósfera del suelo. Estas dos últimas, varían en

su composición volumétrica, en tiempo y espacio. Es así como la composición volumétrica del suelo se considera como que el 45% es material mineral, el 25% es agua y otro 25% también lo conforma el aire, y finalmente, la materia orgánica ocupa un 5% (Figura 5.92).

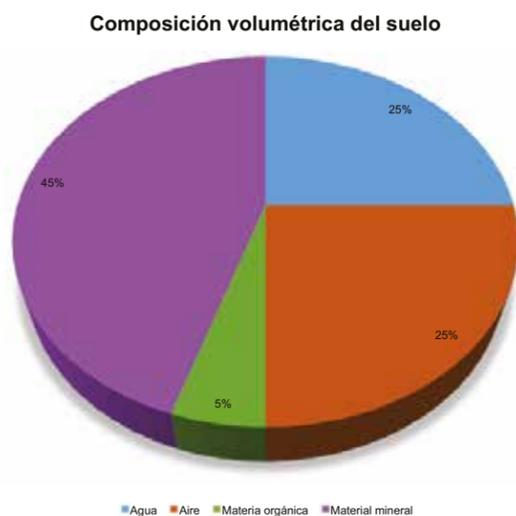


Figura 5.92. Composición volumétrica del suelo.

La cantidad de agua contenida en el suelo así como su estado energético son factores que afectan la disponibilidad de esta para las plantas, además de que de esta dependen algunas otras propiedades como son sus propiedades mecánicas: consistencia, plasticidad, resistencia, compactibilidad, penetrabilidad, adherencia y capacidad de tránsito, en algunos suelos el proceso de expansión-contracción, densidad aparente, porosidad y distribución y tamaño de los poros (Hillel, 2004).

En el suelo existen también fuerzas que retienen la humedad en el suelo y todas en su conjunto se denominan potencial de agua en el suelo.

El agua en el suelo y el aire pueden estar presentes en diferentes formas; suponiendo un suelo seco, cuando es suministrada agua por riego o por lluvia ésta se distribuye alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y de cohesión; desplaza el aire de las cavidades y finalmente, llena los poros. Cuando los poros quedan llenos de agua se dice que el terreno está saturado y a su máxima capacidad de retención, debido a esto la película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que, las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración. Esta agua que se filtra por acción de la gravedad y que drena libremente se conoce como agua gravitacional o libre. Cuando el agua libre se filtra los poros se vuelven a llenar de aire y el agua contenida en los pequeños poros sigue moviéndose por capilaridad, a este tipo de agua se le conoce como agua capilar. La evapotranspiración también reduce la cantidad de agua hasta un punto en que no se observa capilaridad de agua, hasta llegar a un punto en el que el agua ya no puede ser absorbida por las plantas (Cisneros Almazan, 2003).

De lo anterior se deriva en términos de disponibilidad de agua para las plantas los diferentes tipos de agua en el suelo (Cisneros Almazan, 2003) (Hillel, 2004):

Agua gravitacional. Agua que drena por acción de la gravedad; este drenaje es más rápido en suelos arenosos que en los arcillosos. Esta agua sólo está disponible en mínima proporción en la zona de raíces cuando se mantiene una aireación adecuada y/o cuando deja de ser gravitacional para pasar a ser aprovechable.

Punto de marchitez permanente (P.M.P.). Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También el P.M.P. depende de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, de la capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el P.M.P. representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento.

Capacidad de campo (C.C.). Es el porcentaje de humedad que es retenida a una tensión de 1/3 de atm aproximadamente y es la medida de mayor cantidad de agua que un suelo retendrá o almacenará bajo condiciones de completa humedad, después de haber drenado libremente. Aunque depende del tipo de suelo, después de la saturación, el drenado libre dura aproximadamente entre uno a tres días.

Agua disponible o humedad aprovechable (H.A.) o capacidad de agua disponible. Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente).

La capacidad de agua disponible puede ser expresada en porcentaje o como lámina. Cuando no se cuenta con la información para su cálculo esta se puede asignar de acuerdo a su clasificación textural a partir de una tabla propuesta por Thornthwaite y Mather (Westenbroek, Engott, Kelson, & Hunt, 2018) y que se presenta en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28. Capacidad de agua disponible para varios grupos texturales de suelo.

Textura del suelo	Capacidad de agua disponible (cm/m) ¹
Arena	10.0
Arena francosa	11.7
Franco arenosa	13.3
Franco arenosa fina	15.0
Franco arenosa muy fina	16.7
Franco	18.3
Franco limoso	20.0
Limo	21.3
Franco arcillo arenosa	22.5
Franco arcillo limoso	23.8
Limo arcilloso	25.0
Arcillo arenoso	26.7
Arcillo limoso	28.3
Arcilla	30.0

¹ Lámina de agua en centímetros por metro de espesor de suelo

5.6.1. Obtención del mapa de capacidad de agua disponible

Para la obtención del mapa de capacidad de agua disponible se utilizó información de textura obtenida de 71 perfiles de suelo, 650 sitios con información de textura de suelo de las cartas edafológicas escala 1:50,000 del Estado de México y de 31 perfiles de suelo

descritos por INEGI. Esta información se agregó a igual número de polígonos de la capa vectorial de unidades de suelo obtenida a partir de la digitalización de las cartas edafológicas escala 1:50,000 de INEGI. Estos polígonos con información de textura se agruparon por unidades de suelo, considerando también la clasificación textural asignada en la clave (fina, media y gruesa). Una vez agrupados se promediaron los valores de arenas limos y arcillas y se asignaron estos valores al resto de polígonos con igual clave de unidad de suelo. Una vez que todos los polígonos tenían asignados valores de textura se asignó un grupo textural de acuerdo al triángulo de texturas. Con el grupo textural definido, se asignó un valor de Capacidad de Agua Disponible de acuerdo con la tabla 5.17. Estos procedimientos de análisis se realizaron mediante un Sistema de Información Geográfica y con hojas de cálculo. La representación cartográfica de la capacidad de agua disponible se presenta en la Figura 5.93.

Este mapa muestra que en el Estado de México los suelos en su mayoría presentan una capacidad de agua disponible que oscila entre los 11.62 a 18.26 cm de agua/m de suelo, aunque existen algunas áreas en donde se pueden obtener mayores capacidades porque llegan a tener valores de 22.41 a 26.56 cm de agua/m de suelo. Esta característica generalmente depende del tipo de textura de suelo, y cuando tienden a presentar un mayor contenido de limos y arcillas el suelo tiende a tener una mayor capacidad de agua disponible. Los datos de capacidad de agua disponible en el suelo de la Figura 5.93 se utilizaron para crear los archivos (formato asc) de entrada del modelo SWB para las cuencas Balsas y Lerma.

5.29). De esos acuíferos compartidos, los más importantes por la superficie que corresponde al estado son los de Cuautitlán- Pachuca y Tepeji del Río. La disponibilidad anual para cada uno de estos acuíferos durante el año 2018, se observa en la tabla 4.3. De los 9 acuíferos (figura 5.94) 7 sufren sobreexplotación y dos de ellos presentan una disponibilidad de 38.4 y 4.3 Hm³/año, Ixtlahuaca – Atlacomulco y Temascaltepec, respectivamente (CONAGUA, 2018).

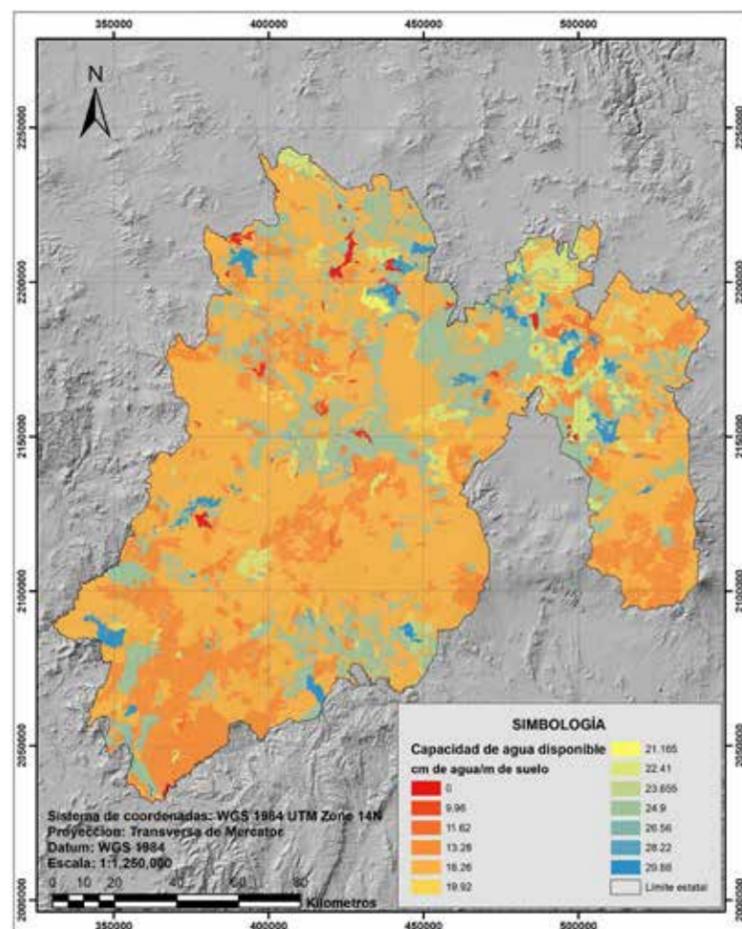


Figura 5.93. Mapa de capacidad de agua disponible en los suelos del Estado de México.
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.

5.7. Delimitación de zonas de influencia de recarga de los acuíferos del Estado de México.

5.7.1. Los acuíferos del Estado de México

En el Estado de México se consideran de manera oficial 9 acuíferos como se observa en la Figura 5.94. Sin embargo, existen siete acuíferos que son compartidos con los estados aledaños (tabla

5.7.2. Análisis de los sistemas de flujo

El movimiento del agua subterránea depende principalmente de su energía potencial y gradiente hidráulico. La forma básica de los sistemas de flujo proviene del concepto de la continuidad hidráulica en una cuenca unitaria en donde se define una zona de recarga con un flujo descendente, una zona de tránsito con un flujo horizontal y una zona de descarga ascendente (Tóth, 2000).

Tabla 5.29. Porcentaje de pertenencia de los acuíferos del Estado de México

Nombre del acuífero	Estado	Área (km ²)	% correspondiente al Estado de México	Estado	Área	%	Total
Texcoco	Estado de México	949	100%	-	-	-	949
Calco-Amecameca	Estado de México	1409.2	100%	-	-	-	1409.2
Plotitlán	Estado de México	1346.5	100%	-	-	-	1346.5
Ixtlahuaca-Atlacomulco	Estado de México	2652.7	100%	-	-	-	2652.7
Villa Victoria - Valle de México	Estado de México	2167.7	100%	-	-	-	2167.7
Valle de Toluca	Estado de México	2857.1	100%	-	-	-	2857.1
Temascaltepec	Estado de México	1425.5	100%	-	-	-	1425.5
Tenancingo	Estado de México	2327.4	100%	-	-	-	2327.4
Cuautitlán Pachuca	Estado de México	2466.7	63%	Hidalgo	1470.58	37%	3937.28
Valle del Mezquital	Estado de México	1297	47%	Hidalgo	1465	53%	2762
Tepeji del Río	Estado de México	244.6	60%	Hidalgo	166.2	40%	410.8
Zona Metropolitana de la ciudad de México	Estado de México	635.6	30%	Ciudad de México	1502.1	70%	2137.7
Altamirano - Cutzamala	Estado de México	1603	27%	Guerrero	4333	73%	5936
Arcelia	Estado de México	1169.2	43%	Guerrero	1570.3	57%	2739.5

En la Figura 5.95, se observa una sección transversal de la distribución del flujo subterráneo, en el cual se ubican las zonas de recarga, tránsito y descarga.

Principalmente los sistemas de flujo se diferencian por la profundidad del recorrido y sus características hidrogeoquímicas. El contenido de elementos químicos en el agua subterránea depende del medio geológico y generalmente aumenta al ampliar la escala espacial y temporal. A continuación se explican las diferencias entre los sistemas de flujo en forma comparativa:

Sistema de flujo local, es aquel donde su zona de recarga y descarga se encuentran a corta distancia, el agua tiene una profundidad somera, baja salinidad, alto contenido de oxígeno disuelto, bajo pH, valor más positivo en Eh, una temperatura cercana a la del ambiente y puede variar cuando cambian las estaciones del año. La presencia del flujo local se limita a una cuenca (Tóth, 2000; Peñuela-Arévalo, 2007).

Sistema de flujo intermedio, su recorrido es más profundo que la de un flujo local, puede pasar el límite de descarga a una cuenca topográficamente más baja, incluyendo dentro de su extensión la presencia de varios flujos locales, el agua tiene mayor concentración de sales disueltas, menor contenido de oxígeno disuelto, mayor contenido de sólidos totales disueltos (STD), pH más alto,

menor Eh con respecto al de un flujo local, una temperatura más elevada que la de un flujo local. Este sistema se diferencia con la de flujo local porque presenta movimiento vertical descendente del agua con mayores gradientes hidráulicos, el flujo lateral se lleva a cabo a mayor profundidad y mayor distancia, el movimiento del agua vertical ascendente tiene mayor velocidad (Tóth, 2000; Peñuela-Arévalo, 2007).

Sistema de flujo regional, es el que circula a mayor profundidad a comparación de un flujo local e intermedio, iniciando en los terrenos de mayor altitud y finalizando en las zonas más bajas donde descarga, por lo que se pueden encontrar varios sistemas de flujo local sobre éste y al menos uno de tipo intermedio. Las características químicas específicas del agua de este flujo incluyen un alto contenido en sales disueltas, bajo contenido de oxígeno disuelto, pH alto tendiendo a ser más alcalino, Eh negativo, alta temperatura (Tóth, 2000; Peñuela-Arévalo, 2007).

El referente geológico permite postular un medio de un gran espesor (>3000 m) con una distribución regional sin rocas de importancia regional sin rocas de importancia que limiten el flujo de agua subterránea. El análisis físico-químico permitió establecer la presencia de sistema de flujo de tipo local e intermedio principalmente, y de tipo regional en algunos puntos de los acuíferos de Toluca, Cuautitlán-Pachuca y Texcoco (Figura 5.96).

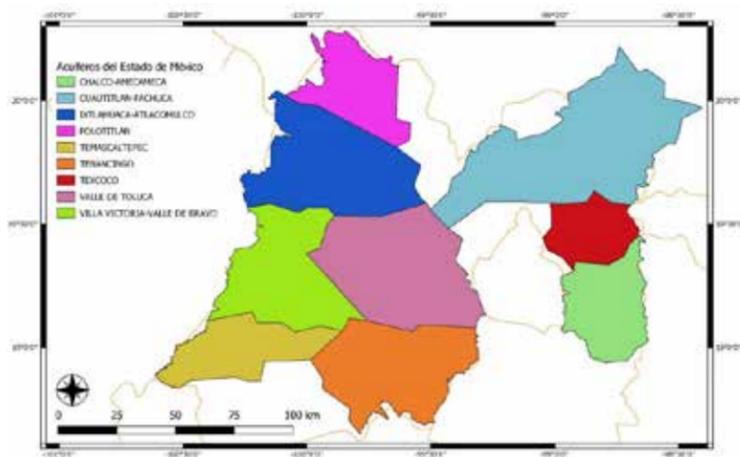


Figura 5.94. Acuíferos correspondientes administrativamente en el Estado de México

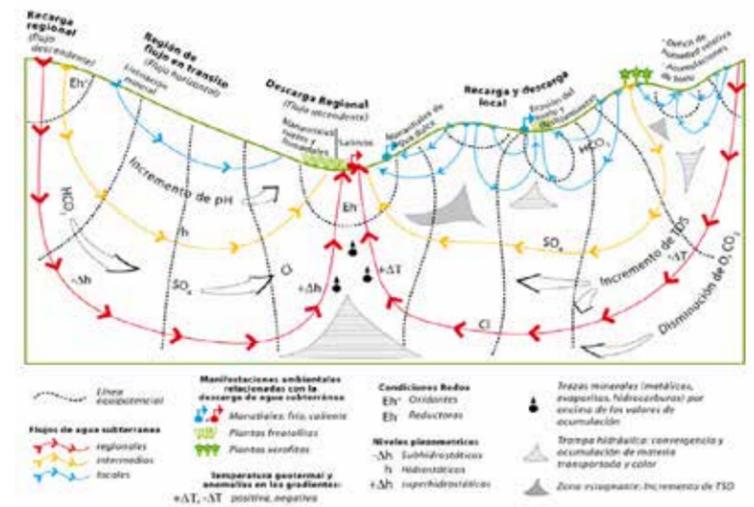


Figura 5.95. Esquema de un sistema de flujo. (Tóth, 1999).

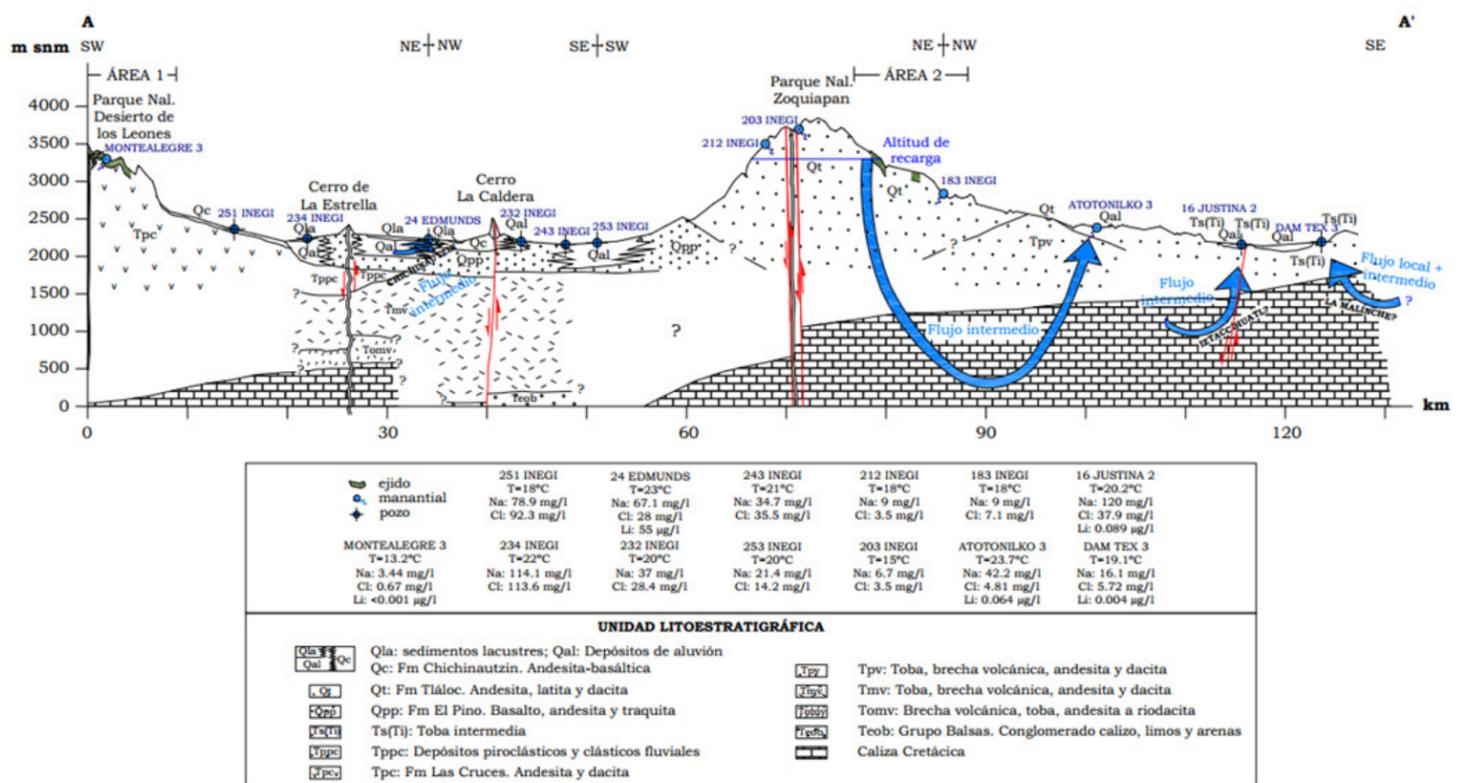


Figura 5.96. Sistemas de flujo en las inmediaciones de la Sierra de Zoquiapan (Edo. de México y Tlaxcala).

5.7.3. Zonas de recarga

Posteriormente se compilaron las configuraciones del nivel estático para los acuíferos del Estado de México y aquellos circundantes de los Estados de Guerrero, Michoacán, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos y de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, como ejemplo se incluye la de Acuífero de Tenancingo (figura 5.97). De estas configuraciones se puede determinar la dirección del flujo del agua subterránea y por consiguiente las zonas de recarga.

Se elaboró una sección geológica regional que cruza el Estado de México en la porción Norte, incluye la Cuenca de México, el valle de Toluca y el estado de Michoacán en la porción Oeste (figura 5.98). En esta figura se pueden observar los grandes depósitos vulcano-lacustres del valle de México y Toluca que sobreyacen a rocas calizas de edad Mesozoica. Por otro lado, se observa que, tanto por condiciones geológicas como por posición topográfica, el agua de recarga en la porción este del Estado de México fluye hacia Michoacán. Sin embargo, ese flujo es más bien superficial ya que no se identifican acuíferos de gran espesor en la zona de Michoacán colindante con el Estado de México.

La definición final de la localización de zonas de recarga y descarga de agua subterránea en el área, se realizó superponiendo los polígonos definidos previamente a partir de diferentes indicadores (suelo, vegetación, elevación topográfica, hidrología superficial, zonas de almacenamiento/descarga de agua subterránea).

Unos de los principales indicadores de zonas de almacenamiento de agua es la localización de los pozos de extracción actuales (figura 5.99) en el Estado de México. Para ello se obtuvo la información del REPGA proporcionada por la CONAGUA para el año de 2016. En esta figura se pueden apreciar los pozos que cuentan con concesión para la extracción de aguas nacionales. Cabe hacer mención que en este listado se incluyen tanto los pozos profundos, los pozos someros (norias) y los manantiales, es decir, se incluyen todos los aprovechamientos de aguas subterráneas. Al revisar de manera visual la distribución de los aprovechamientos se observa una gran concentración en los acuíferos de Toluca, Atlacomulco-Ixtlahuaca,

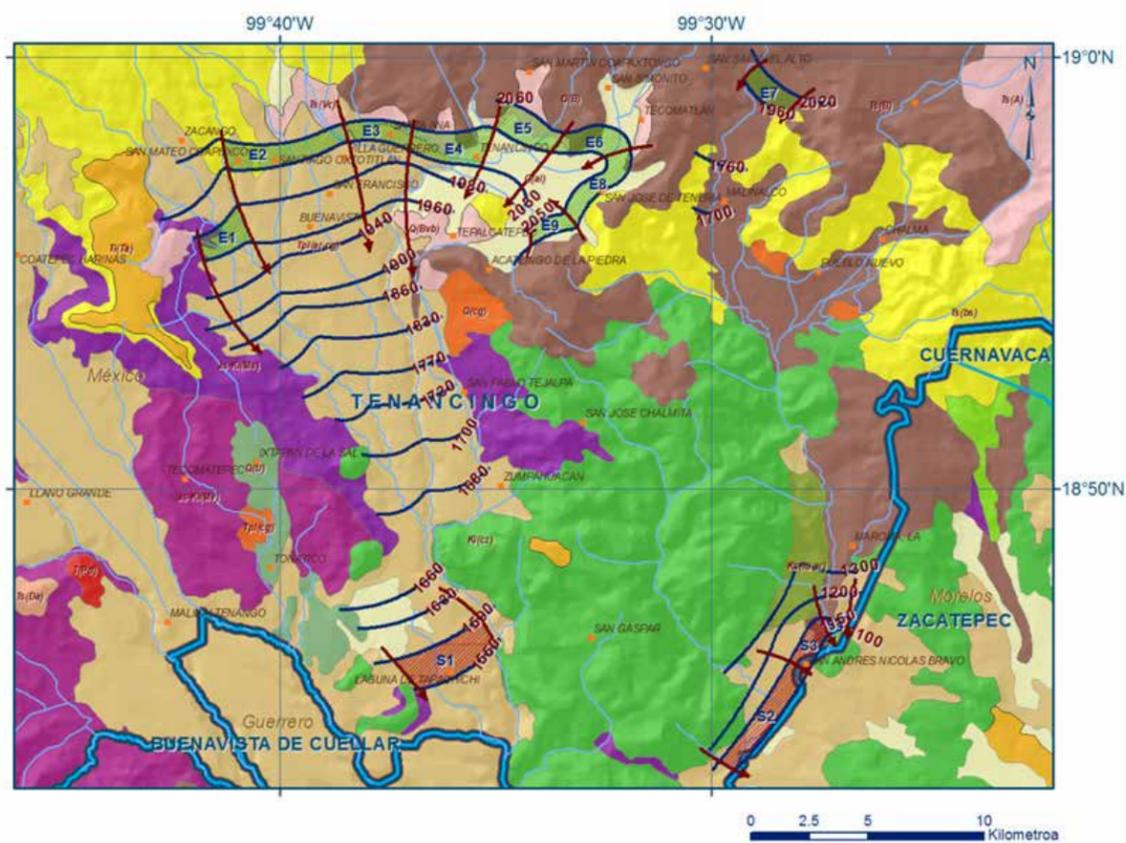


Figura 5.97. Elevación del nivel estático del Acuífero Tenancingo (Conagua, 2015)

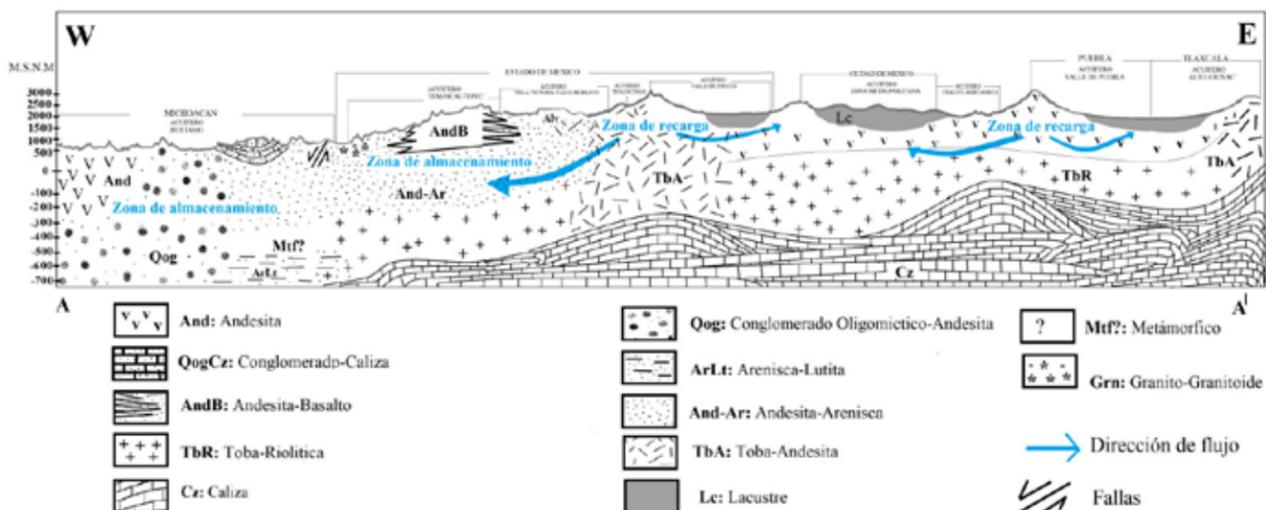


Figura 5.98. Sección hidrogeológica regional Tlaxcala-Michoacán. Elaboración propia.

Chalco, Texcoco y Cuautitlán-Pachuca, principalmente. Aquí puede apreciarse que en el resto del Estado de México existe un número muy limitado de aprovechamientos de agua subterránea. Por ejemplo, en la zona sur y suroeste del estado existen muy pocas zonas de pozos y más bien corresponden a pozos someros utilizados en el riego de hortalizas y plantas de ornato, los pozos profundos son utilizados para el abastecimiento de agua potable. La ubicación de estos aprovechamientos, aunado a las unidades geológicas permitieron definir zonas donde se almacena o descarga el agua subterránea. Por otro lado, los manantiales representan zona de descarga y dependiendo su ubicación y tiempo de residencia pueden estar contenidos en zonas de recarga y almacenamiento/descarga dentro de un acuífero. Así que podrá observarse que existen algunos aprovechamientos que quedan ubicados en zonas altas y que por lo tanto están ubicados en zonas de recarga.

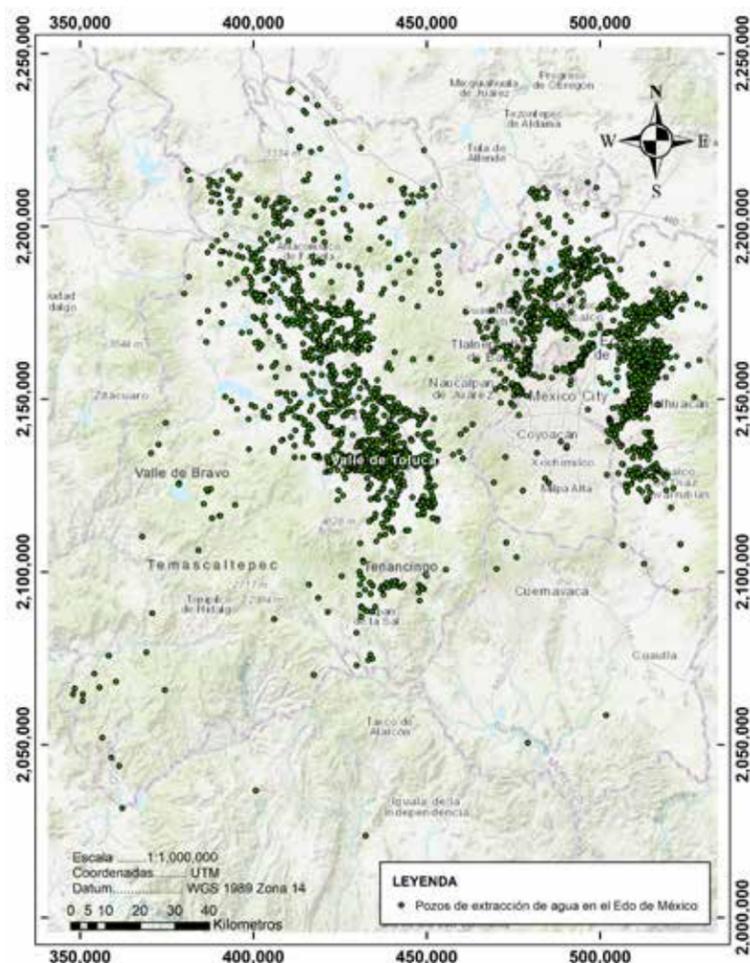


Figura 5.99. Pozos de extracción de agua subterránea del Estado de México (Conagua, REPGA 2016).

Tomando como referencia los estudios hidrogeológicos y de la ubicación de la zona de manera regional se mapearon las unidades hidrogeológicas (figura 5.100). Como podrá apreciarse en la figura se tienen las zonas acuíferos más importantes a los acuíferos denominados Toluca y Atlacomulco (como unidad continua) limitados por la Sierra de Las Cruces y el Nevado de Toluca; la zona conformada por los acuíferos Cuautitlán-Pachuca, Texcoco, Ciudad de México y Chalco-Amecameca está alimentada por la Sierra de las Cruces en la porción oeste y por la porción este por la Sierra Nevada (Volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl). El resto de las zonas de almacenamiento de aguas subterráneas es menor y corresponden a unidades aisladas. Como podrá observarse, hacia la zona suroeste del Estado de México existe una superficie muy pequeña donde se almacena el agua subterránea, lo que se infiere que la infiltración en esa zona es limitada y que el agua escurre de manera superficial hacia el sur.

Después de realizar un análisis de las principales zonas de almacenamiento y las magnitudes de recarga reportadas para los diferentes acuíferos se procedió a mapear las principales zonas de

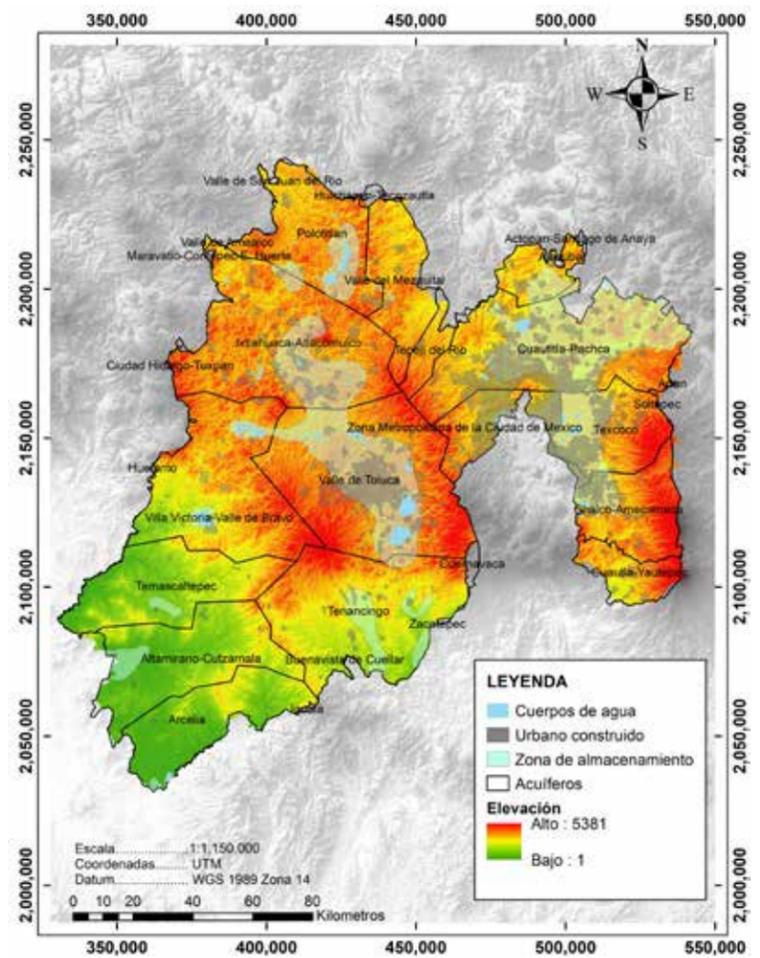


Figura 5.100. Localización de las zonas de almacenamiento/descarga de los acuíferos del Edo de México y estados circundantes.

recarga (figura 5.101). Estas zonas corresponden a las partes más altas del Estado de México, incluidos los grandes aparatos volcánicos (volcán Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca) y las sierras de Las Cruces, principalmente. Por la importancia de los acuíferos y centros urbanos ubicados en esta región se considera que es la zona de recarga económicamente más importante para el Estado de México.

Para evaluar los posibles intercambios de agua subterránea y principalmente de la recarga, se elaboró un mapa donde se presentan los niveles estáticos representativos para los acuíferos, es decir, la elevación con respecto al nivel del mar del agua subterránea. De esta manera, considerando las elevaciones topográficas y los niveles del agua subterránea se obtuvieron las principales direcciones de flujo (figura 5.102) desde las zonas de recarga hacia los acuíferos. Los resultados indican que para el Estado de México se tienen descargas hacia las zonas de los estados circundantes, y no se observa ingreso importante de agua subterránea proveniente de los otros estados. Las principales salidas de agua son en la porción sur con descargas hacia el estado de Guerrero y Morelos, y en menor proporción hacia la zona oeste en el estado de Michoacán. Hacia la Ciudad de México no se identificó flujo subterráneo, ya que los parteaguas en la sierra de las Cruces indican flujo hacia cada una de las entidades, mientras que para la porción norte de la sierra de Las Cruces los acuíferos contiguos son del Estado de México (Cuautitlán-Pachuca, Toluca y Atlacomulco). En la porción Noroeste se identificó una pequeña salida de aguas subterráneas hacia el estado de Hidalgo, específicamente hacia la zona del valle del Mezquital.

Finalmente se elaboró el mapa de zonas de influencia de la recarga de agua subterránea para todo el Estado de México (figura 5.103), considerando las zonas de descarga y las direcciones de flujo de las etapas anteriores. En este mapa se incluyen las zonas de recarga más importantes discutidas anteriormente, así como las zonas hacia el suroeste del estado. Se puede apreciar que las zonas de

recarga son el complemento para las zonas de almacenamiento/descarga del agua subterránea, aunque en unos casos puede ser confuso la presencia de manantiales (zonas de descarga) dentro de zonas de recarga. Sin embargo. Se debe mencionar que esos manantiales ubicados en partes altas, en realidad corresponden a flujos muy locales, con distancias de flujo relativamente cortas. Las zonas de recarga corresponden de manera general a las porciones más altas que rodean los valles. Las zonas de recarga alimentan de manera horizontal a las zonas de almacenamiento del agua subterránea y en zonas de descarga pueden presentarse flujos con cierta dirección vertical.

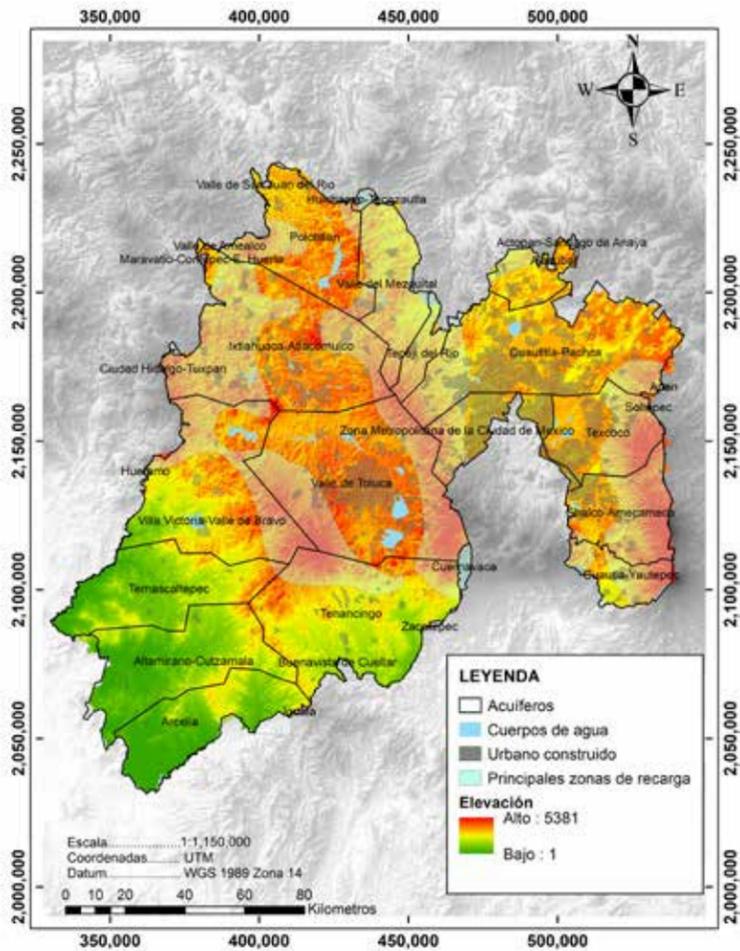


Figura 5.101. Localización de las principales zonas de recarga de los acuíferos del Edo de México y estados circundantes.

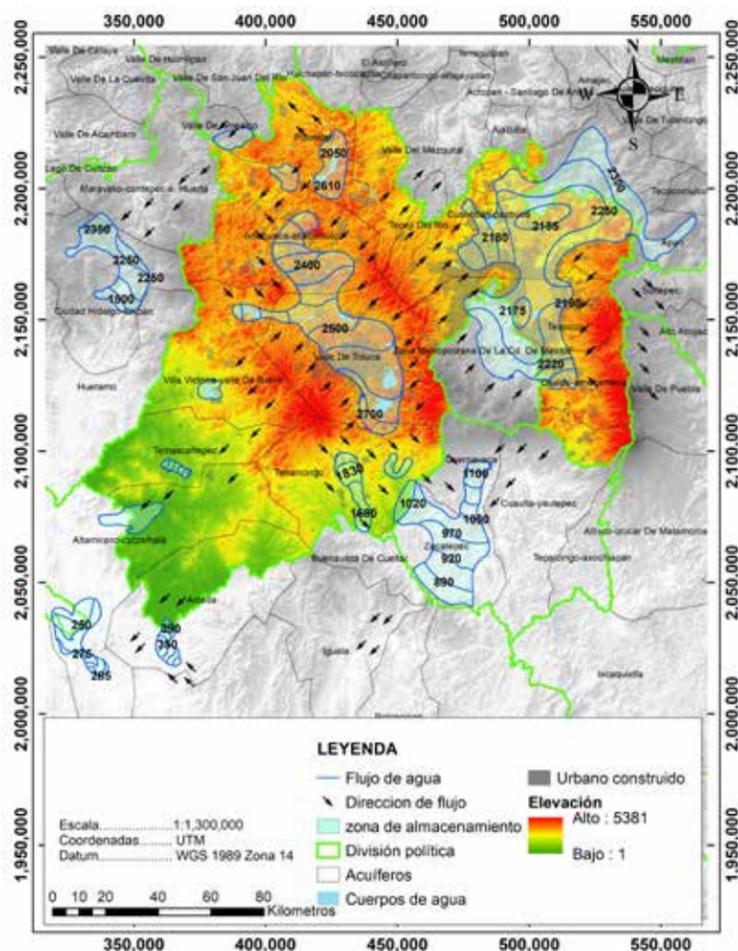


Figura 5.102. Principales direcciones de la recarga hacia estados circundantes.

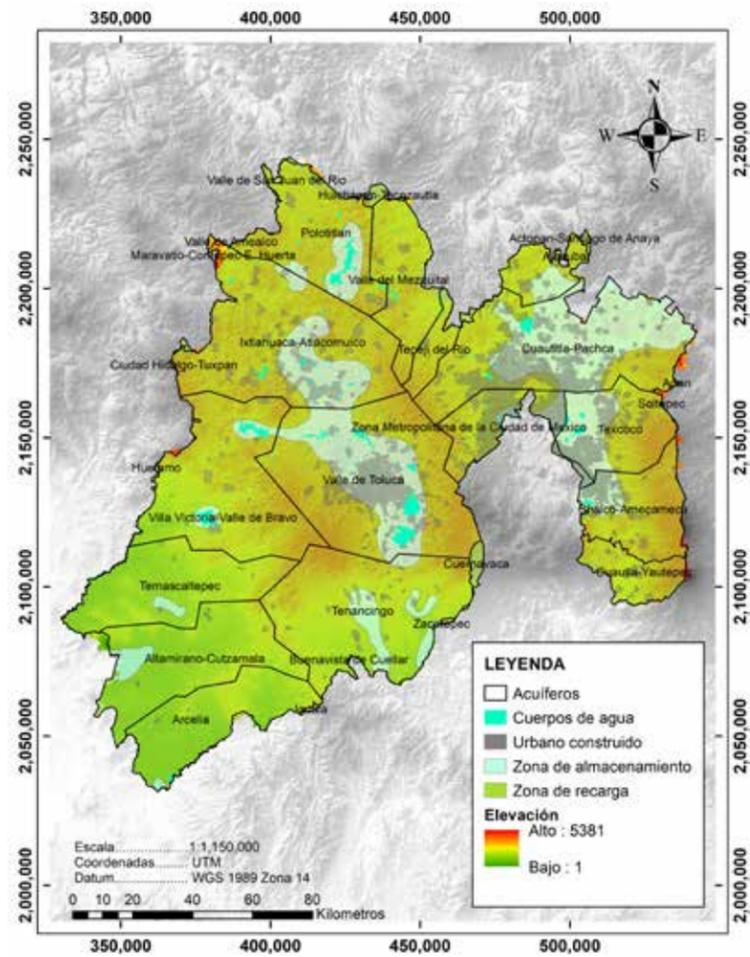


Figura 5.103. Zonas de influencia de la recarga de agua subterránea en el Estado de México.

Los resultados indican como zonas de recarga algunas sierras, cerros y mesas presentes en el área, en las que sobresalen las sierras de la Cruces, Sierra Nevada y las Porciones de la Sierra del Sur en el Edo. de México. Por su parte, las zonas de descarga naturales corresponden principalmente con la planicie del Valle de Toluca-Atlacomulco y la Cuenca de México.

5.8. Calibración del modelo Soil Water Balance

Para la calibración del modelo SWB se utilizó la región hidrológica Balsas y diseñando el modelo con datos que se tienen para el año 2008, dado que son los más confiables con los que se cuenta (principalmente por la validación de los datos climáticos). Los resultados de la simulación del modelo se compararon con el volumen medio anual de escurrimiento natural por cuenca propia reportado por la Conagua y publicado en el DOF el 7 de diciembre de 2007 (por ser la fuente más cercana a 2008) mediante el "Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas del Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cutpatitzio, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río Paracho-Nahuatzen, Río Zirahuén y Río Libres Oriental, mismos que forman parte de la Región Hidrológica número 18 Balsas".

En la tabla 5.30 se enlistan las subcuencas hidrológicas de la cuenca Balsas en el Estado de México que se ubican en la zona de estudio y en la Figura 5.104 se puede ver su localización.

Tabla 5.30. Cuencas Hidrológica

Nombre de Cuenca Hidrológica	Descripción de la cuenca hidrológica
Río Amacuzac	Desde el nacimiento del río Amacuzac hasta la EH Atenango del Río
Río Cutzamala	Desde el nacimiento del río Zitácuaro hasta la EH El Gallo
Río Medio Balsas	Desde las EH San Juan Tetelcingo y El Gallo hasta la EH La Caimanera

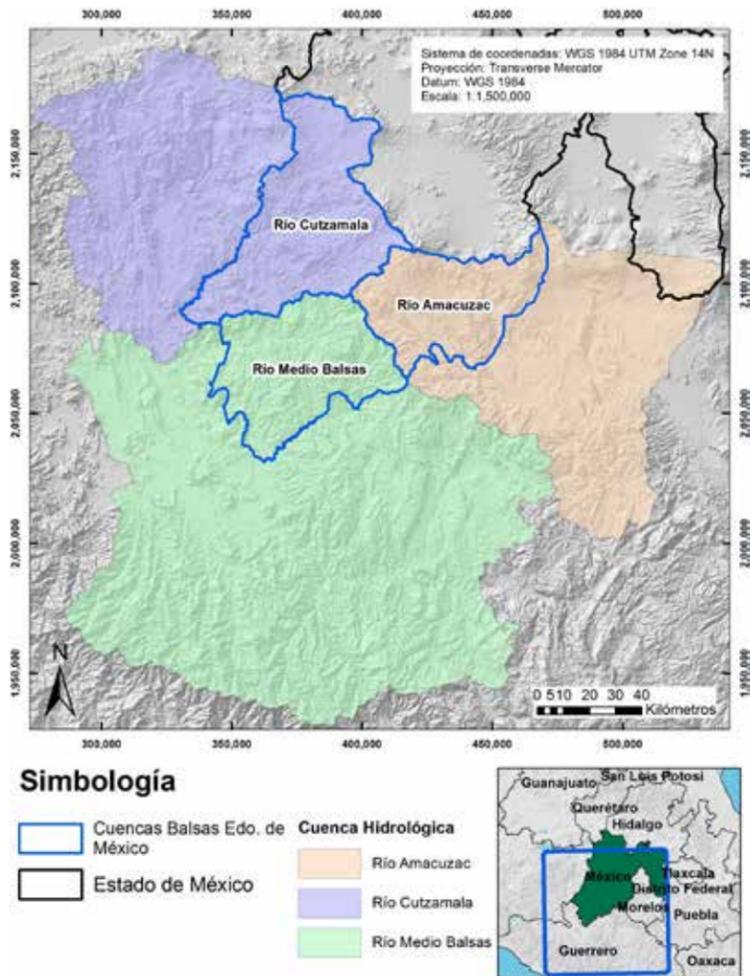


Figura 5.104. Localización de las subcuencas hidrológicas de la cuenca Balsas en el Estado de México.

Para aproximarnos al volumen de escurrimiento que le corresponde a la parte de la región Balsas que se encuentra ubicada dentro de la zona de estudio del Estado de México, se utilizó como peso el porcentaje del área de cada cuenca que se encuentra dentro de los límites de la zona de estudio respecto al área total de la cuenca, dando como resultado la Tabla 5.31.

Tabla 5.31. Volumen de escurrimiento para la Cuenca Balsas utilizado para la calibración.

Cuenca Hidrológica	Área (km ²)	Área zona de estudio (km ²)	% área en Edo. de México	Volumen escurrimiento natural en la Cuenca (Mm ³ /año)	Volumen escurrimiento natural en Edo. de México (Mm ³)
Río Amacuzac	8,891.83	2,369.46	26.65	2,102.40	560.239
Río Cutzamala	10,699.46	3,641.00	34.03	2,246.50	764.478
Río Medio Balsas	21,311.16	2,838.12	13.32	3,921.30	522.219
				Total	1,846.936

Finalmente el valor de referencia que se utilizó para la calibración del modelo fue de un volumen de escurrimiento medio anual de 1,846.936 Mm³ para la región Balsas – Estado de México.

Para el diseño de modelo se establece el archivo de control que direcciona al código SWB al subdirectorío en donde se encuentran los datos de entrada de la simulación. En la Tabla 5.32 se muestra el ejemplo del archivo de control para la cuenca Balsas del Estado de México. En el documento USGS, (2010) se puede consultar una descripción bien detallada de la estructura del archivo de control.

Durante el proceso de calibración se ajustaron los parámetros de número de curva y recarga máxima por día hasta lograr que el escurrimiento simulado alcanzara aproximadamente el escurrimiento que se presenta en la Tabla 5.31, estimado a partir de lo reportado por la Conagua y publicado en el DOF el 7 de diciembre de 2007. Los parámetros finales calibrados se presentan en las Tabla 5.33 a Tabla 5.35.

Tabla 5.32. Ejemplo del archivo de control de diseño del modelo SWB para la cuenca Balsas del Estado de México.

Archivo de control Cuenca Balsas, Estado de México	
#ESTIMACIÓN DE LA RECARGA PARA LA CUENCA RÍO BALSAS, MÉXICO	
#ESTIMACIÓN DE LA RECARGA PARA LA CUENCA RÍO BALSAS, MÉXICO	
#CONFIGURADO EL 06 AGOSTO DE 2019	
#ROEL SIMUTA CHAMPO	
#PROYECTO: PROBOSQUE - IMTA	
#AÑO DE EVALUACION : 2008	
GRID 2822 2842 330080.59375 2031245.000 471180.59375	
2173345.000 50.0	
GRID_LENGTH_UNITS METERS	
SUPPRESS_SCREEN_OUTPUT	
GROWING_SEASON 133 268 FALSE	
ANSI_COLORS FALSE	
RLE_MULTIPLIER 10000	
PRECIPITATION NETCDF climate\precip\prcpBalsas_2008.nc4	
C:\IMTA\SWB_IMTA_jun2019_copia\climate\prcp_Balsas_2008_365.nc	
C:\IMTA\SWB_IMTA_jun2019_copia\climate\tmax_Balsas_2008.nc4	
TEMPERATURE NETCDF_Z_VAR C:\IMTA\SWB_IMTA_jun2019_copia\climate\tmin_Balsas_2008.nc4	
OUTPUT_GRID_SUFFIX asc	
FLOW_DIRECTION ARC_GRID input\flow_dir_balsas.asc	
SOIL_GROUP ARC_GRID input\soils_hyd_grp_balsas.asc	
LAND_USE ARC_GRID input\land_cover_2010_balsas.asc	
OPEN_WATER_LAND_USE 200	
LAND_USE_LOOKUP_TABLE std_input\LU_lookup_WISCLAND_w_forested_hillslope.txt	
WATER_CAPACITY ARC_GRID input\soils_awc_balsas.asc	
INITIAL_SOIL_MOISTURE CONSTANT 55	
INITIAL_SNOW_COVER CONSTANT 0	
RUNOFF C-N NO_ROUTING	
ET HARGREAVES 18.37 19.64	
DISLIN_PARAMETERS RECHARGE	
SET_Z_AXIS_RANGE DAILY 0 1.5 0.1	
SET_Z_AXIS_RANGE MONTHLY 0 7 1.0	
SET_Z_AXIS_RANGE ANNUAL 0 20 2.	
Z_AXIS_TITLE RECHARGE, IN INCHES	
DISLIN_PARAMETERS ACT_ET	
SET_Z_AXIS_RANGE DAILY 0 0.8 0.05	
SET_Z_AXIS_RANGE MONTHLY 0 10. 0.5	
SET_Z_AXIS_RANGE ANNUAL 0 40. 5.0	
Z_AXIS_TITLE ACTUAL ET, IN INCHES	
DISLIN_PARAMETERS RUNOFF_OUTSIDE	
SET_Z_AXIS_RANGE DAILY 0 5. 0.5	
SET_Z_AXIS_RANGE MONTHLY 0 12. 0.5	
SET_Z_AXIS_RANGE ANNUAL 0 25. 5.	
Z_AXIS_TITLE RUNOFF OUT OF GRID, IN INCHES	
OUTPUT_OPTIONS RECHARGE NONE NONE BOTH	
OUTPUT_OPTIONS INTERCEPTION NONE NONE BOTH	
OUTPUT_OPTIONS RUNOFF_OUTSIDE NONE NONE BOTH	
OUTPUT_OPTIONS ACT_ET NONE NONE BOTH	
OUTPUT_FORMAT ARC_GRID	
SOLVE_NO_TS_FILE 2008 2008	
EOJ	

Tabla 5.33. Número de curva asociada a las diferentes coberturas vegetales y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.

LU Código SWB	Descripción de la cobertura vegetal	Número de Cuerva			
		AMC II A	AMC II B	AMC II C	AMC II D
104	Zonas urbanas	67	80	85	89
112	Agricultura (straight row, good condition)	70	88	90	92
150	Pastizales (assume pasture, good condition)	39	65	74	80
160	Bosques (assume good condition)	30	60	68	75
161	Bosques de coníferas	30	60	68	75
175	Bosques de latifoliadas caducifolios	30	60	68	75
177	Bosques de encino (roble)	30	60	68	75
190	Bosques mixtos caducifolio conífero	30	60	68	75
199	Bosques de montaña	30	60	68	75
200	Cuerpos de agua	100	100	100	100
210	Humedales	30	60	71	78
212	Vegetación acuática (tular)	30	60	71	78
217	Vegetación halófila hidrófila	30	55	65	73
219	Bosque de galería	30	55	65	73

Tabla 5.33. Número de curva asociada a las diferentes coberturas vegetales y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB. (Continuación)

LU Código SWB	Descripción de la cobertura vegetal	Número de Cuerva			
		AMC II A	AMC II B	AMC II C	AMC II D
240	Sin vegetación	74	83	87	90
250	Matorrales	35	65	70	77
304	Asentamientos urbanos (escarpados)	98	98	98	98
312	Agricultura (escarpado)	75	88	90	93
350	Pastizal (escarpado)	42	64	75	82
360	Bosques (escarpado)	33	63	70	77
361	Bosques de coníferas (escarpado)	33	63	70	77
375	Selvas bajas (escarpado)	33	63	70	77
377	Bosques de encino (escarpado)	33	63	70	77
390	Bosques de coníferas y latifoliadas (escarpado)	33	63	70	77
399	Bosques de latifoliadas (escarpado)	33	63	70	77
319	Selva de galería (escarpado)	33	63	70	77
340	Sin vegetación (escarpado)	77	85	90	93

Tabla 5.34. Recarga máxima asociada a las diferentes coberturas vegetales y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.

LU Código SWB	Descripción	Recarga máxima (pulgadas/día)			
		A	B	C	D
104	Zonas urbanas	0.15	0.1	0.1	0.1
112	Agricultura (straight row, good condition)	0.3	0.12	0.1	0.05
150	Pastizales (assume pasture, good condition)	0.5	0.3	0.2	0.1
160	Bosques (assume good condition)	0.5	0.35	0.12	0.1
161	Bosques de coníferas	0.5	0.35	0.12	0.1
175	Bosques de latifoliadas caducifolios	0.5	0.35	0.12	0.1
177	Bosques de encino (roble)	0.5	0.35	0.12	0.1
190	Bosques mixtos caducifolio conífero	0.5	0.35	0.12	0.1
199	Bosques de montaña	0.5	0.35	0.12	0.1
200	Cuerpos de agua	0.7	0.35	0.24	0.12
210	Humedales	0.5	0.35	0.12	0.1
212	Vegetación acuática (tular)	0.5	0.35	0.12	0.1
217	Vegetación halófila hidrófila	0.5	0.35	0.12	0.1
219	Bosque de galería	0.5	0.35	0.12	0.1
240	Sin vegetación	0.3	0.15	0.1	0.05
250	Matorrales	0.3	0.15	0.1	0.05
304	Asentamientos urbanos (escarpados)	0.15	0.1	0.1	0.1
312	Agricultura (escarpado)	0.3	0.12	0.1	0.05
350	Pastizal (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
360	Bosques (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
361	Bosques de coníferas (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
375	Selvas bajas (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
377	Bosques de encino (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
390	Bosques de coníferas y latifoliadas (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
399	Bosques de latifoliadas (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
319	Selva de galería (escarpado)	0.5	0.35	0.12	0.1
340	Sin vegetación (escarpado)	0.6	0.3	0.15	0.1

Tabla 5.35. Espesores efectivo de raíces asociados a tipo de cobertura vegetal y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.

LU código SWB	Descripción	Espesor efectivo de raíces (pie)			
		A	B	C	D
104	Zonas urbanas	1	1	1	1
112	Agricultura (straight row, good condition)	2	2	2	1.9
150	Pastizales (assume pasture, good condition)	2	2	2	1.9
160	Bosques (assume good condition)	4.9	4.9	4.5	4.5
161	Bosques de coníferas	4.9	4.9	4.5	4.5
175	Bosques de latifoliadas caducifolios	4.9	4.9	4.5	4.5
177	Bosques de encino (roble)	4.9	4.9	4.5	4.5
190	Bosques mixtos caducifolio conífero	4.9	4.9	4.5	4.5
199	Bosques de montaña	4.9	4.9	4.5	4.5
200	Cuerpos de agua	0	0	0	0
210	Humedales	4.5	4.5	4.5	4.5
212	Vegetación acuática (tular)	4.5	4.5	4.5	4.5
217	Vegetación halófila hidrófila	4.5	4.5	4.5	4.5
219	Bosque de galería	4.5	4.5	4.5	4.5
240	Sin vegetación	1	1	1	1
250	Matorrales	2.1	2.1	2.1	2.1
304	Asentamientos urbanos (escarpados)	2.1	2.1	2.1	1.95
312	Agricultura (escarpado)	2	2	2	1.9
350	Pastizal (escarpado)	2	2	2	1.9
360	Bosques (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
361	Bosques de coníferas (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
375	Selvas bajas (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
377	Bosques de encino (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
390	Bosques de coníferas y latifoliadas (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
399	Bosques de latifoliadas (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
319	Selva de galería (escarpado)	4.9	4.9	4.5	4.5
340	Sin vegetación (escarpado)	1	1	1	1

Tabla 5.36. Volumen de recarga potencial estimada para las poligonales con PSAHEM ubicadas en las cuencas Lerma y Balsas del Estado de México.

El resultado de la calibración del modelo SWB para la cuenca Balsas – Estado de México obtuvo un volumen de escurrimiento para 2008 de 2,090.655 Mm³, lo que representa una diferencia de +13.20% respecto a nuestro valor de referencia, por lo que se considera una buena aproximación. En la sección 5.10, se presenta el mapa de escurrimiento para la cuenca Balsas.

Se presentan a continuación los mapas de lluvia acumulada para las Cuencas Balsas y Lerma de los años 2008, 2015 y 2018, estimados a partir de las interpolaciones diarias generadas en archivo Netcdf. La visualización de las precipitaciones anuales es de gran utilidad para interpretar los valores espaciales y temporales estimados por el modelo para los parámetros de recarga potencial, escurrimiento superficial y evapotranspiración.

Precipitación anual acumulada para los años 2008, 2015 y 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.

Del análisis de las precipitaciones que se tienen para la cuenca Balsas del Estado de México se puede observar que para el año 2008 se tienen las precipitaciones más altas (1701 mm a 2360 mm) en

los límites norte y noreste de la cuenca (volcanes Gordo, Nevado de Toluca, Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Oloteppec); en la parte sur se presenta una región con precipitaciones que van de los 1000 a los 1500 mm (volcanes Valiente y La Tinaja), el resto de la cuenca, y principalmente en el valle de Toluca (fuera de la cuenca Balsas) se observan precipitaciones menores a los 1000 mm. En la figura 5.105 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas.

Para el año 2015 las precipitaciones más fuertes (1200 a 2450 mm) se ubicaron en la parte central de la cuenca, el resto de la cuenca presenta precipitaciones que van de los 610 a 1200 mm. Se puede observar que para el año 2015 se presentaron precipitaciones menores comparadas con el año 2008, principalmente en la parte noreste de la cuenca (zona de los volcanes Caballito, Negro, Tuxtepec, La Silva, Tezontle, Oloteppec y Cuatla). Esta disminución de la lluvia en esa región se ve reflejada en los resultados que se tienen del modelo de la recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración. En la figura 5.106 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas.

Para el año 2018 las precipitaciones más altas (1300 a 1500 mm) se registraron en la parte noreste de la cuenca (zona de los volcanes Caballito, Negro, Tuxtepec, La Silva, Tezontle, Oloteppec y Cuatla) de igual forma en menor cantidad que el que se registró para el año 2008 y ligeramente mayor a los registros del año 2015. El resto de la cuenca para el año 2018 presenta precipitaciones que van de los 1100 a los 1300 mm. Es importante mencionar que para el año 2018 no se cuenta con información suficiente de estaciones climatológicas por lo que los resultados del modelo para este año deberán tomarse con la debida precaución en la toma de decisiones. De igual forma los registros que se tienen de precipitación para el año 2018 impactan en los resultados de recarga potencial, es-

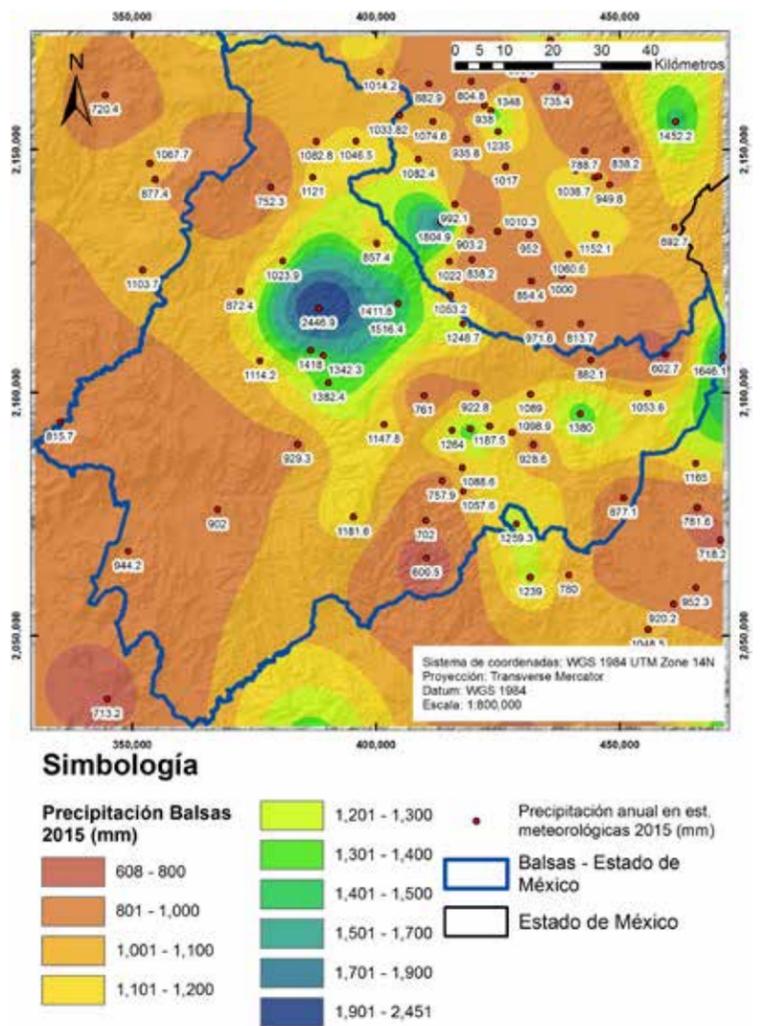


Figura 5.106. Precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.

currimento superficial y evapotranspiración obtenidos del modelo. En la figura 5.107 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas.

En las Figura 5.105 a la Figura 5.110 se puede observar además el número de estaciones climáticas utilizadas en la cuenca Balsas para obtener los datos de precipitación diaria para el modelo SWB.

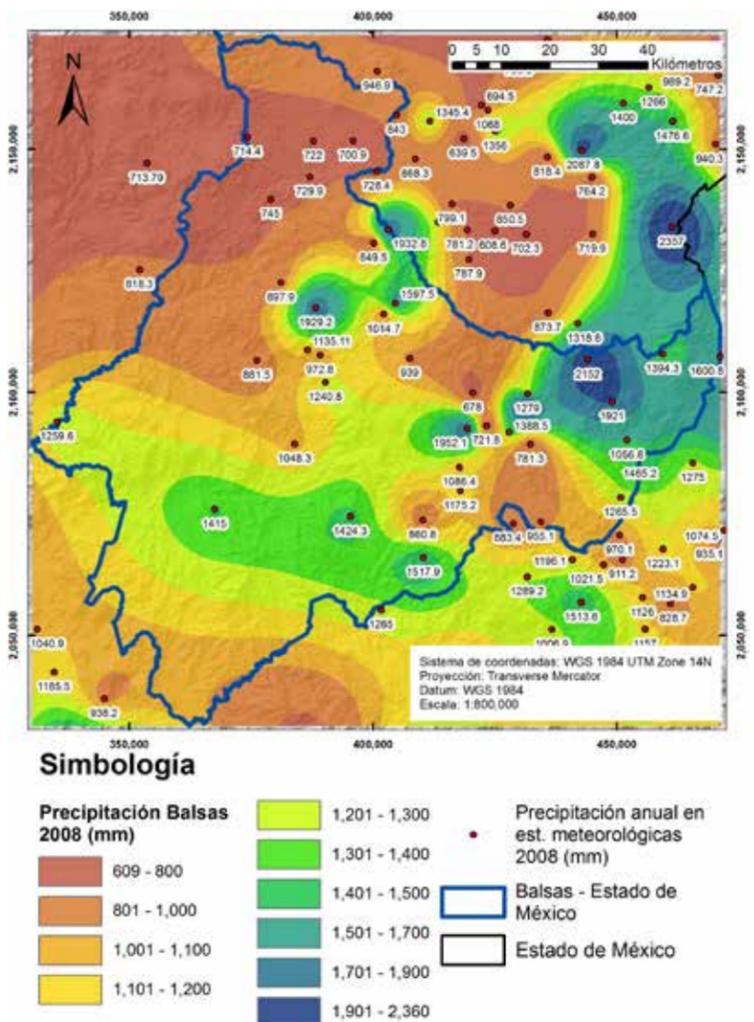


Figura 5.105. Precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.

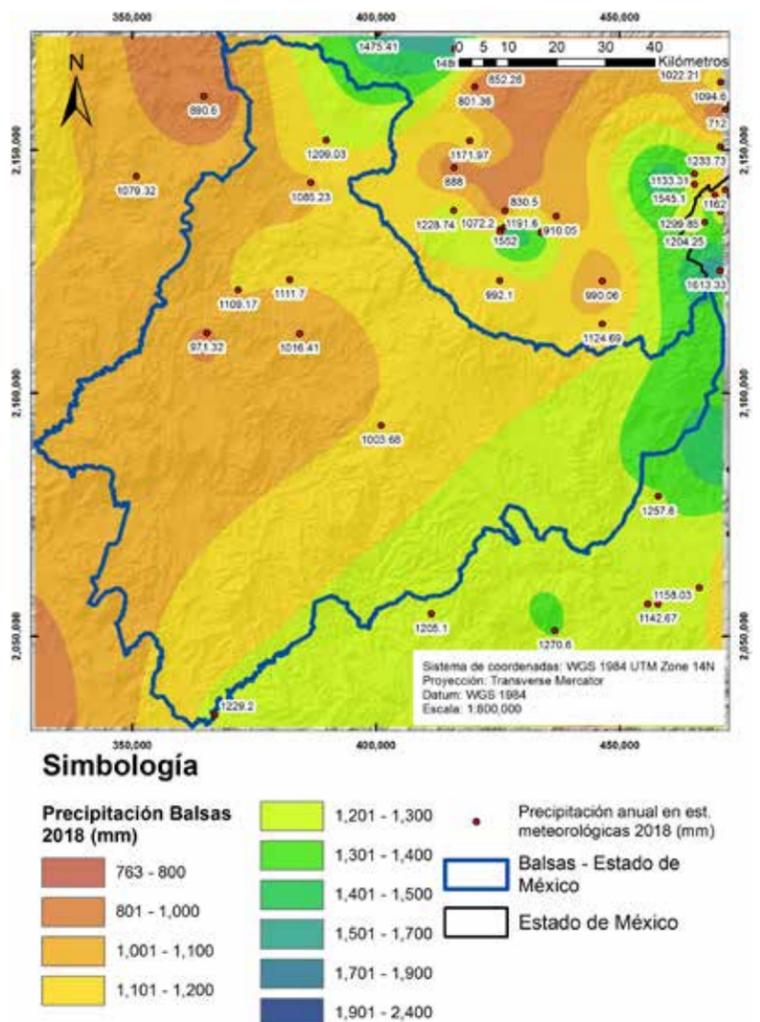


Figura 5.107. Precipitación acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.

Precipitación anual acumulada para los años 2008, 2015 y 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.

Del análisis de las precipitaciones que se tienen para la cuenca Lerma del Estado de México se puede observar que para el año 2008 se tienen las precipitaciones más altas (1501 mm a 2360 mm) en los límites sur y sureste de la cuenca (volcanes Gordo, Nevado de Toluca, Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Olotepc) así como dos regiones de alta precipitación (1500 a los 2360 mm) en la parte norte de la cuenca (próximas al cerro Las Ánimas y cerro Jocotitlán); el resto de la cuenca, principalmente en el valle de Toluca e Ixtlahuaca de Rayón se observan precipitaciones menores a los 1000 mm. En la figura 5.108 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma.

Para el año 2015 las precipitaciones más fuertes (1200 a 2810 mm) se ubicaron en la parte norte (zona próxima al cerro Las Ánimas) y sur (zona del Nevado de Toluca) de la cuenca, el resto de la cuenca presenta precipitaciones que van de los 675 a 1200 mm. Se puede observar que para el año 2015 se presentaron precipitaciones menores comparadas con el año 2008, principalmente en la parte suroeste de la cuenca (zona de los volcanes Caballito, Negro, Tuxtepec, La Silva, Tezontle, Olotepc y Cuatla). La disminución de la lluvia en esa región se ve reflejada en los resultados que se tienen del modelo de la recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración. En la figura 5.109 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2015.

Para el año 2018 las precipitaciones más altas (1200 a 1500 mm) se registraron en la parte central (próxima al cerro La Guadalupe) y sureste (zona de los volcanes Caballito, Negro, Tuxtepec, La Silva, Tezontle, Olotepc y Cuatla). El resto de la cuenca presenta precipitaciones que van de los 650 a los 1100 mm. Es importante mencionar que para el año 2018 no se cuenta con información suficiente de estaciones climatológicas por lo que los resultados del

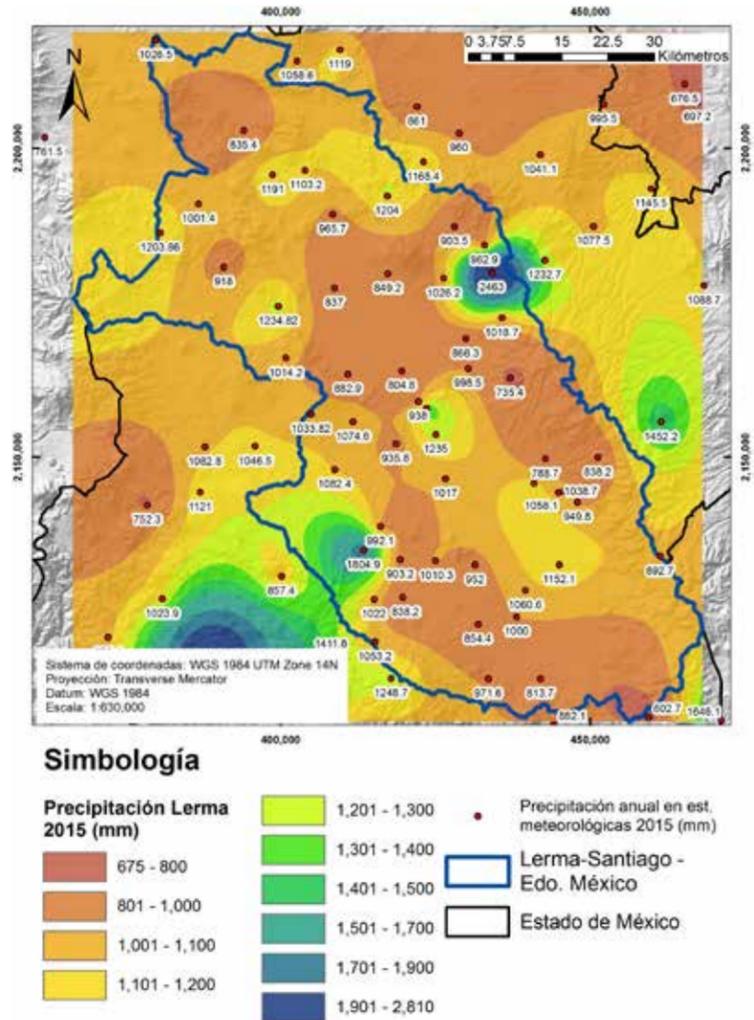


Figura 5.109. Precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.

modelo para este año deberán tomarse con la debida precaución en la toma de decisiones. De igual forma los registros que se tienen de precipitación para el año 2018 impactan en los resultados de recarga potencial, escurrimiento superficial y evapotranspiración obtenidos del modelo. En la figura 5.110 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2018.

En las figuras 5.108 a la 5.110 se puede observar además el número de estaciones climáticas utilizadas en la cuenca Lerma para obtener los datos de precipitación diaria para el modelo SWB.

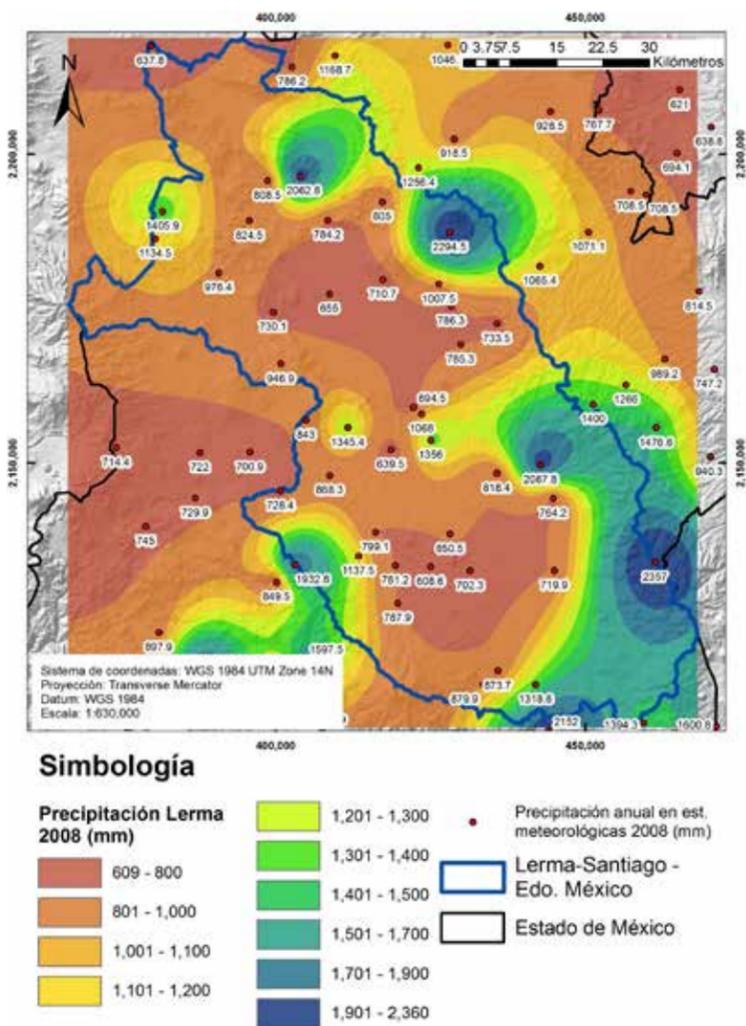


Figura 5.108. Precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.

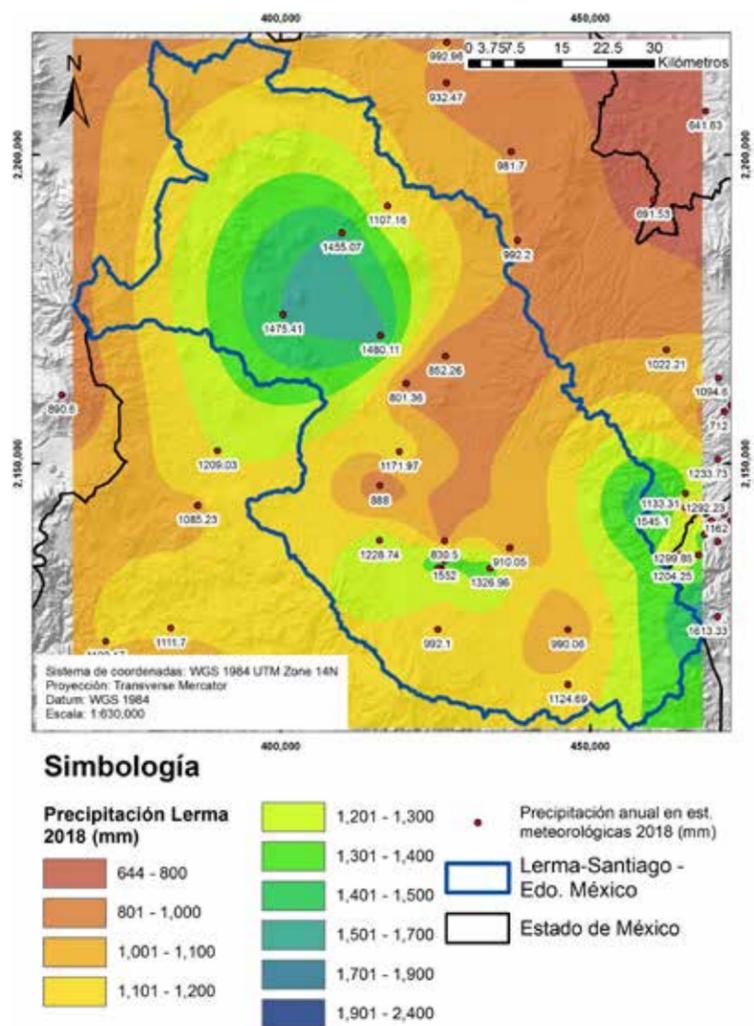


Figura 5.110. Precipitación acumulada anual del año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.

5.9. Cartografía de la recarga potencial

Una vez que el modelo se calibró se realizaron las simulaciones con el código SWB de las cuencas Balsas y Lerma para los años 2008, 2015 y 2018. Obteniéndose los resultados siguientes para la recarga potencial.

5.9.1. Recarga potencial anual estimada para la Cuenca Balsas, Estado de México.

Los resultados de recarga potencial indican que para la cuenca Balsas del Estado de México en el año 2008 se tienen los valores de recarga más altos (200 a 800 mm) en los límites norte y noreste de la cuenca (volcanes Gordo, Nevado de Toluca, Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Oloteppec); en la parte central de la cuenca se estimaron valores que van de los 150 a 300 mm (volcanes Valiente y La Tinaja), en el resto de la cuenca, se observan valores de recarga potencial menores a los 150 mm. En la figura 5.111 se presenta la recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas.

Para el año 2015 las recargas potenciales más altas (200 a 700 mm) se presentan en la parte norte de la cuenca (región influenciada por los volcanes Ídolo, Gordo y Nevado de Toluca), en la parte este (zona de influencia de los Volcanes Tezontle, Oloteppec la Silva y Tuxtepec) se registra una recarga potencial que va de los 150 a 250 mm, el resto de la cuenca presenta valores de recarga potencial de los 10 a 150 mm. Se puede observar que los valores de recarga potencial en general son menores a las estimadas para el año 2008 y que además las zonas de recarga más altas coinciden con las regiones en donde se tienen mayores precipitaciones. En la figura 5.112 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas.

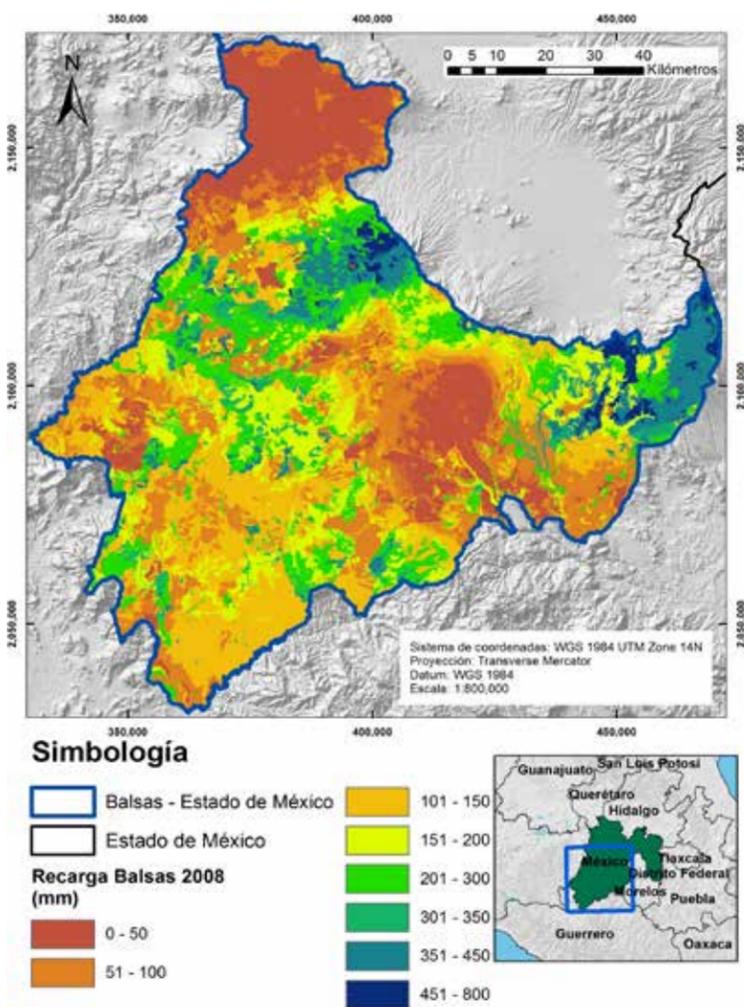


Figura 5.111. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.

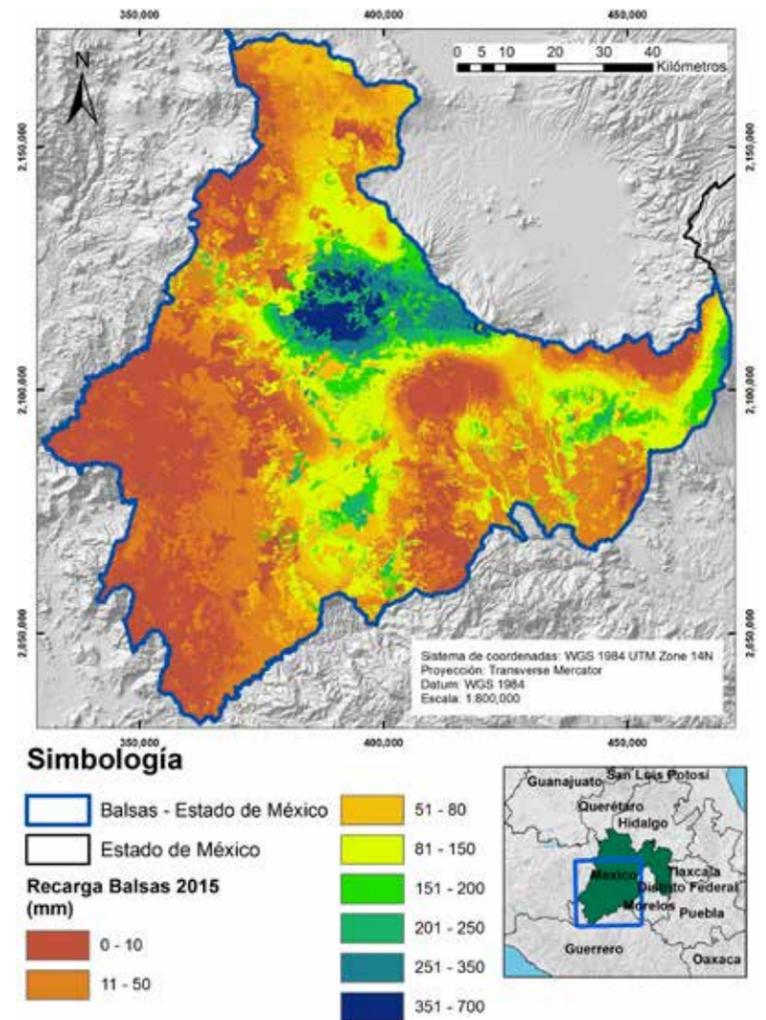


Figura 5.112. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.

Para el año 2018 las recargas potenciales estimadas más altas (150 a 410 mm) se registraron en la parte norte (volcanes Nevado de Toluca y El Ídolo) y noreste (zona de los volcanes Tuxtepec, La Silva, Tezontle y Oloteppec) de la cuenca, el resto de la cuenca presenta recarga potencial inferiores a los 150 mm. En general la cuenca Balsas para el año 2018 presenta recarga potencial inferiores a las obtenidas para los años 2008 y 2015 lo anterior probablemente se debe a que en el año 2018 no se cuenta con información suficiente por lo que los resultados del modelo para este año se deben tomar con precaución en la toma de decisiones. En la figura 5.113 se presenta la recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas.

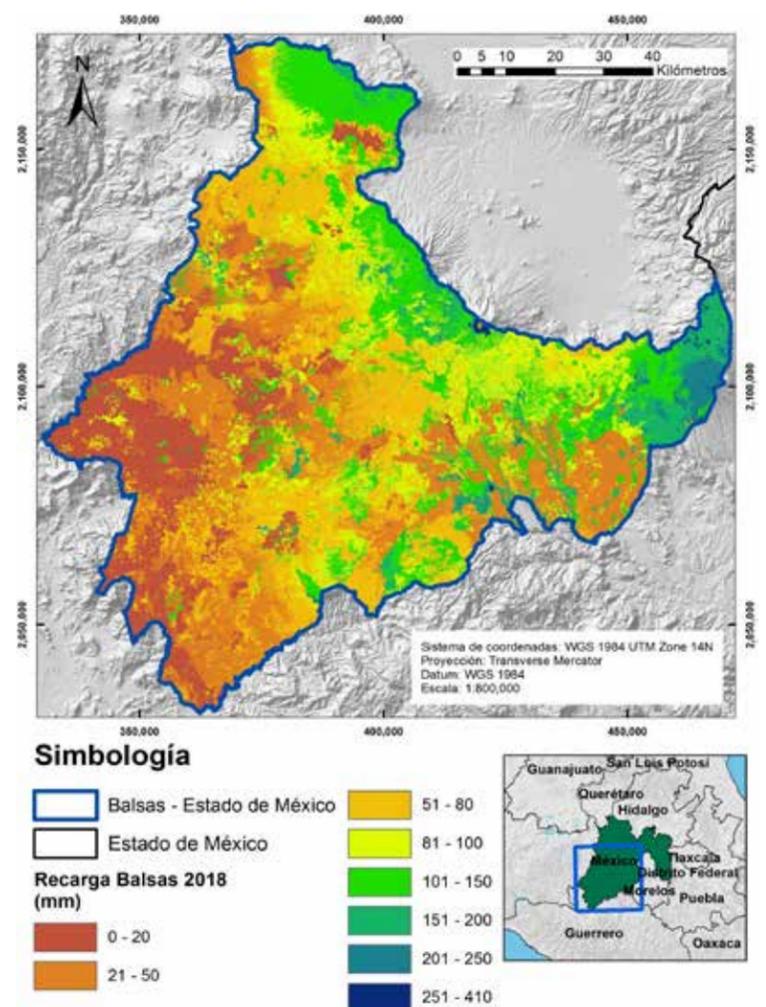


Figura 5.113. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.

5.9.2. Recarga potencial anual estimada para la Cuenca Lerma, Estado de México.

Los resultados de recarga potencial indican que para la cuenca Lerma del Estado de México en el año 2008 se tienen los valores de recarga más altos (150 a 725 mm) en los límites norte (cerro Las Ánimas), sureste (volcanes Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Oloteppec) y sur (volcanes Nevado de Toluca, Ídolo y Gordo); en el resto de la cuenca, se observan valores de recarga potencial menores a los 150 mm. En la Figura 5.114 se presenta la recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma.

Para el año 2015 las recargas potenciales más altas (150 a 650 mm) se presentan en la parte sur (región influenciada por los volcanes Ídolo, Gordo y Nevado de Toluca) y al norte (zona de influencia del cerro las ánimas), el resto de la cuenca presenta valores de recarga potencial inferiores a los 150 mm. Se puede observar que los valores de recarga potencial en general son menores a las estimadas para el año 2008 y que además las zonas de recarga más altas coinciden con las regiones en donde se tienen mayores precipitaciones. Disminuye de forma importante la recarga potencial, con respecto a los valores estimados en 2008, en la zona este (zona de influencia de los volcanes Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Oloteppec), dicha disminución probablemente se debe a que en esa misma zona para el año 2015 se registra menos precipitación que en el año 2008. En la Figura 5.115 se presenta la precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Lerma.

Para el año 2018 las recargas potenciales estimadas más altas (150 a 650 mm) se registraron en la parte sur (volcanes Nevado de Toluca y El Ídolo) y sureste (zona de los volcanes Tuxtepec, La Silva, Tezontle y Oloteppec), en la parte oeste de la cuenca se

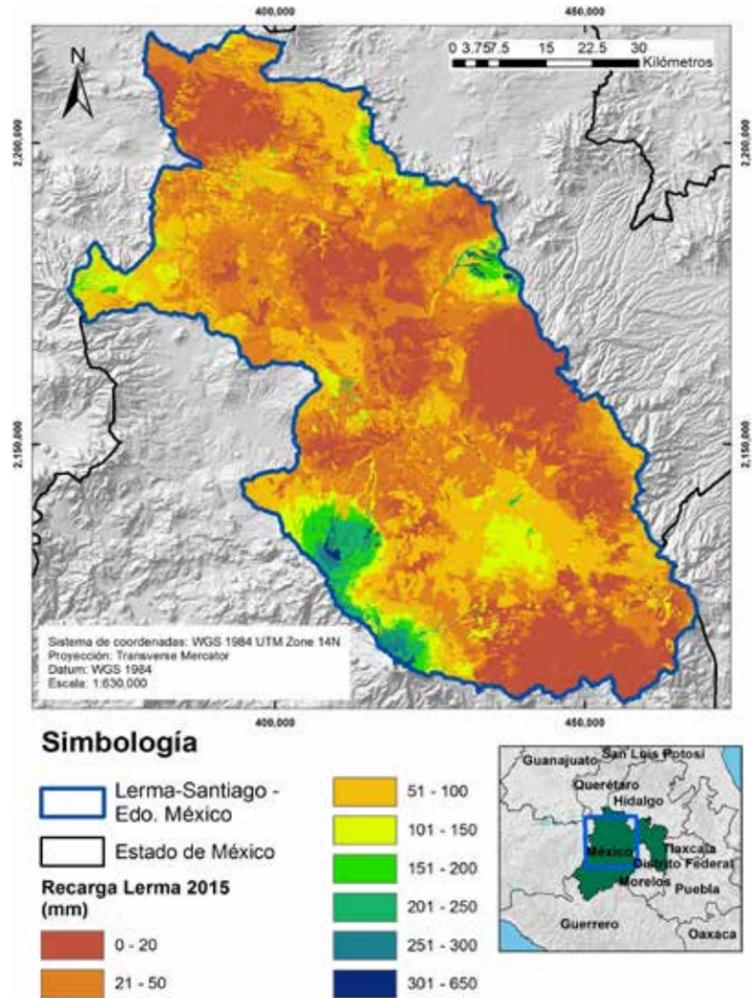


Figura 5.115. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.

observan recargas potenciales que van de los 150 a 250 mm y el resto de la cuenca presenta recarga potencial inferiores a los 150 mm. En general la cuenca Lerma para el año 2018 presenta recarga potencial inferiores a las obtenidas para los años 2008 y 2015 lo anterior probablemente se debe a que para el año 2018 no se cuenta con información suficiente de estaciones climatológicas por lo que los resultados del modelo para este año deberán tomarse con la debida precaución en la toma de decisiones. En la Figura 5.116 se presenta la recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Lerma.

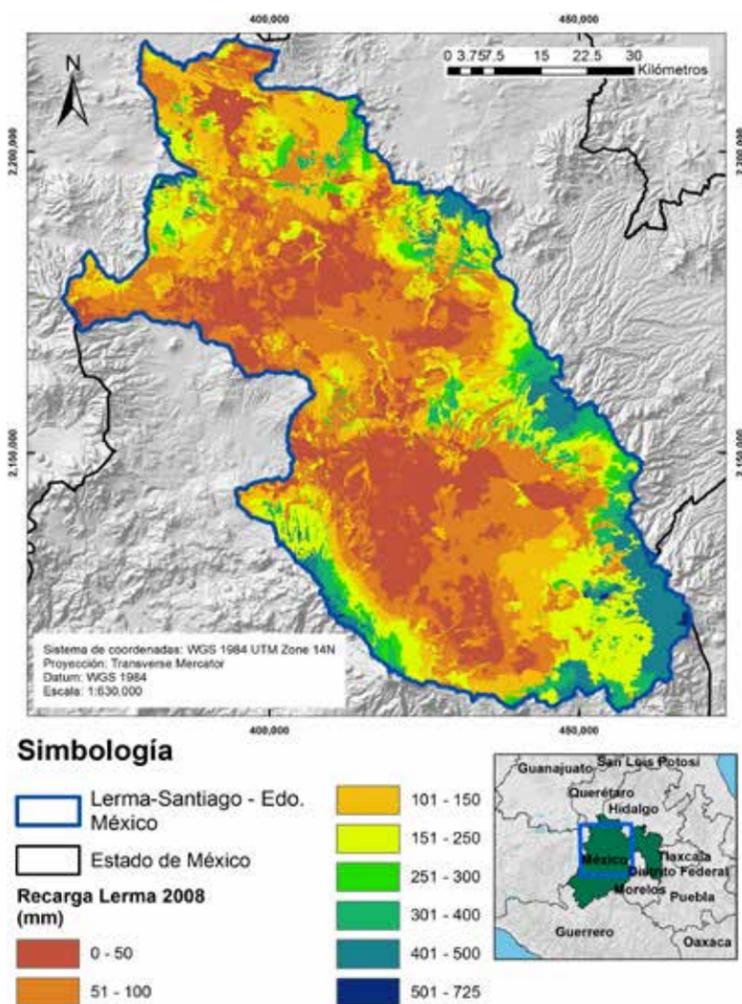


Figura 5.114. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.

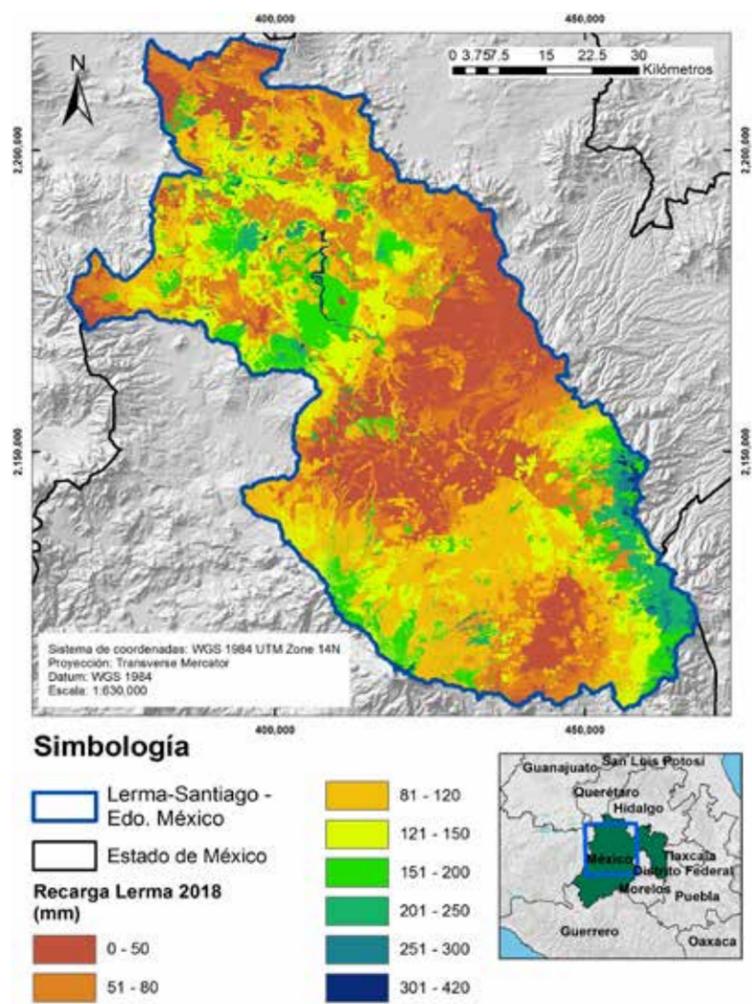


Figura 5.116. Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.

5.9.3. Recarga potencial estimada en las poligonales con PSAHEM.

hance laA partir de los datos obtenidos de la recarga potencial con el modelo SWB para las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México se realizó el cálculo estimado de la recarga potencial de las poligonales que fueron beneficiadas con el PSAHEM en los años 2008, 2015 y 2018. En la Tabla 5.36 se presenta el cálculo del volumen de la recarga potencial estimada para los años 2008, 2015 y 2018 de las poligonales con PSAHEM que se ubican en las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México.

Cuenca	Superficie PSAHEM (ha)			Volumen de Recarga Potencial PSAHEM (Mm ³)		
	2008	2015	2018	2008	2015	2018
Balsas	15,716.62	45,084.89	34,783.75	18.92	33.62	19.90
Lerma	5,702.65	15,253.86	12,008.94	10.96	11.61	10.74
Total	21,419.26	60,338.75	46,792.69	29.88	45.23	30.64

Tabla 5.37. Volumen estimado de la recarga potencial en las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México para los años 2008, 2015 y 2018.

Se puede observar en la que para el año 2015 se otorgó mayor superficie de PSAHEM con 60,338.75 ha, de las cuales 45,084.89 ha corresponden a la cuenca Balsas y 15,253.86 ha corresponden a la cuenca Lerma; le sigue en superficie el año 2018 con 46,792.69 ha, correspondiendo 34,783.75 ha a la cuenca Balsas y 12,008.94 ha a la cuenca Lerma; y, finalmente para el año 2008 se tiene una superficie con PSAHEM de 21,419.26, con 15,716.62 ha en la cuenca Balsas y 5,702.65 ha en la cuenca Lerma.

Dado lo anterior, el volumen de la recarga potencial anual estimada de las superficies con PSAHEM para el año 2008 en la cuenca Balsas fue de 18.92 millones de metros cúbicos (Mm³) y para la cuenca Lerma fue de 10.96 Mm³, haciendo un total de 29.88 Mm³.

Para el año 2015 el volumen de la recarga potencial anual estimada de las superficies con PSAHEM para la cuenca Balsas fue de 33.62 Mm³ y para la cuenca Lerma fue de 11.61 Mm³, haciendo un total de 45.23 Mm³.

Finalmente para el 2018 se estimó un volumen de recarga potencial anual de las superficies con PSAHEM de 19.90 Mm³ para la cuenca Balsas y 10.74 Mm³ para la cuenca Lerma, dando un total de recarga potencial de 30.64 Mm³.

El año que mayor volumen de recarga potencial presenta es el año 2015, dado que fue el año que presenta mayor superficie con

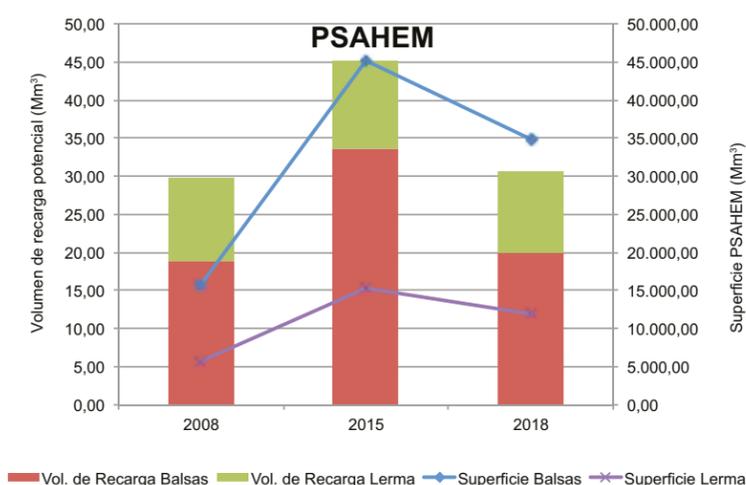


Figura 5.117. Gráfico representativo de los volúmenes de recarga potencial estimados para las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México.

PSAHEM, en segundo lugar quedó el año 2018 y el año 2008 es el que menor volumen presenta. En la figura 5.117 se presenta una gráfica en donde se puede apreciar las superficies beneficiadas con el PSAHEM y el volumen de recarga potencial estimado para los años 2008, 2015 y 2018 en las cuenca Balsas y Lerma del Estado de México.

Un análisis adicional que se realizó relacionado con los volúmenes de la recarga potencial fue el de estimar el volumen total de recarga potencial que aporta cada cuenca. En la Tabla 5.37 se presenta el volumen de recarga potencial por cuenca.

Cuenca	Volumen total de Recarga Potencial en el Estado de México (Mm ³)			Superficie Total de la Cuenca en el edo. (ha)	Volumen de recarga potencial promedio (Mm ³)
	2008	2015	2018		
Balsas	1,351.76	591.97	624.64	885,622.12	856.12
Lerma	713.46	267.57	514.28	531,772.02	498.44
Total	2,065.22	859.54	1,138.92	1,417,394.14	1,354.56

En la tabla 5.37 se observa que el año con mayor recarga potencial estimada es el 2008 con 2,065.22 Mm³ de los cuales 1351.76 Mm³ corresponden a la cuenca Balsas y 713.46 Mm³ a la cuenca Lerma; le sigue el año 2018 con 1,138.92 Mm³, correspondiendo 624.64 Mm³ a la cuenca Balsas y 514.28 Mm³ a la cuenca Lerma; y, finalmente el 2015 presenta una recarga potencial de 859.54 Mm³, de los cuales 591.97 Mm³ corresponden a la cuenca Balsas y 267.57 Mm³ fueron aportados por la cuenca Lerma. Las diferencias que se tienen en los volúmenes de recarga (principalmente para el año 2015) es debido a que en algunos años las precipitaciones fueron menores.

Considerando los tres años de análisis y obteniendo una media aritmética entre los volúmenes estimados para cada año, se puede decir que en promedio en la cuenca Balsas se tiene un volumen de recarga potencial promedio de 856.12 Mm³, para la cuenca Lerma de 498.44 Mm³, dando un promedio de recarga potencial entre ambas cuencas del orden de los 1,354.56 Mm³.

5.10. Cartografía del escurrimiento superficial

Adicional a la lámina de recarga potencial el código SWB también estima de forma espacial las láminas de escurrimiento, a continuación se presentan los resultados de las láminas de escurrimiento estimadas para las cuencas Balsas y Lerma para los años 2008, 2015 y 2018.

5.10.1. Lámina de escurrimiento superficial estimado para la cuenca Balsas.

Para el año 2008 en la cuenca Balsas se presentan mayores láminas de escurrimiento en donde se tienen cuerpos de agua (1051-1800 mm). Después de los cuerpos de agua se observan láminas de escurrimiento que van desde los 401 a 1050 mm en la parte

norte (volcanes Nevado de Toluca y El Ídolo) y noreste (zona de influencia de los volcanes Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Olotepc), en la parte sur de la cuenca se tienen láminas de escurrimiento que van de los 401 a los 650 mm (próximamente a los volcanes La Tinaja, Gordo y Valiente), en el resto de la cuenca se tienen láminas de escurrimiento inferiores a los 400 mm. En la figura 5.118 se presenta la lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Balsas.

Para el año 2015 la lámina de escurrimiento en los cuerpos de agua en la cuenca Balsas van de los 1001 a los 2410 mm, en la parte central de la cuenca (ligeramente al sur de los volcanes El Ídolo y Gordo) se observan láminas de escurrimiento que van de los 201 a los 500 mm, se visualizan además en la parte sur y sureste algunas regiones con lámina de escurrimiento que van de los 201 a los 300 mm, y el resto de la cuenca presenta láminas inferiores a los 200 mm. En la figura 5.119 se presenta la lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Balsas.

Finalmente para el año 2018 en las zonas de cuerpos de agua se tienen láminas de escurrimiento que van de los 1001 a los 1370 mm, en la parte central, sur y sureste se observan algunas regiones dispersas que presentan láminas de escurrimiento que van de los 201 a 500 mm, y el resto de la cuenca presenta láminas de escurrimiento inferiores a los 200 mm. En la Figura 5.120 se presenta el mapa de la lámina de escurrimiento para el año 2018 en la cuenca Balsas.

5.10.2. Lámina de escurrimiento superficial estimado para la cuenca Lerma.

Para el año 2008 en la cuenca Lerma se presentan mayores láminas de escurrimiento en donde se tienen cuerpos de agua (1551-

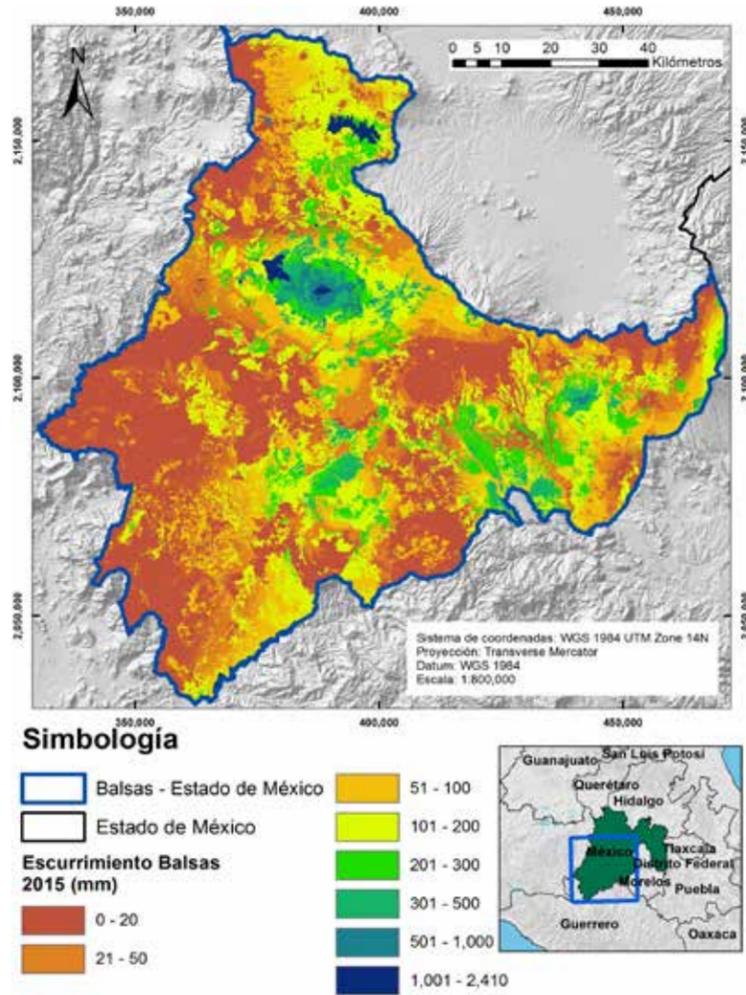


Figura 5.119. Lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.

2260 mm). Después de los cuerpos de agua se observan láminas de escurrimiento que van desde los 401 a 1550 mm en la parte norte y sureste (zona de influencia de los volcanes Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Olotepc), en la parte sur de la cuenca se tienen láminas de escurrimiento que van de los 401 a los 750 mm (próximamente a los volcanes Nevado de Toluca y El Ídolo), en el resto de la cuenca se tienen láminas de escurrimiento inferiores a los 400 mm. En la Figura 5.21 se presenta el mapa de la lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Lerma.

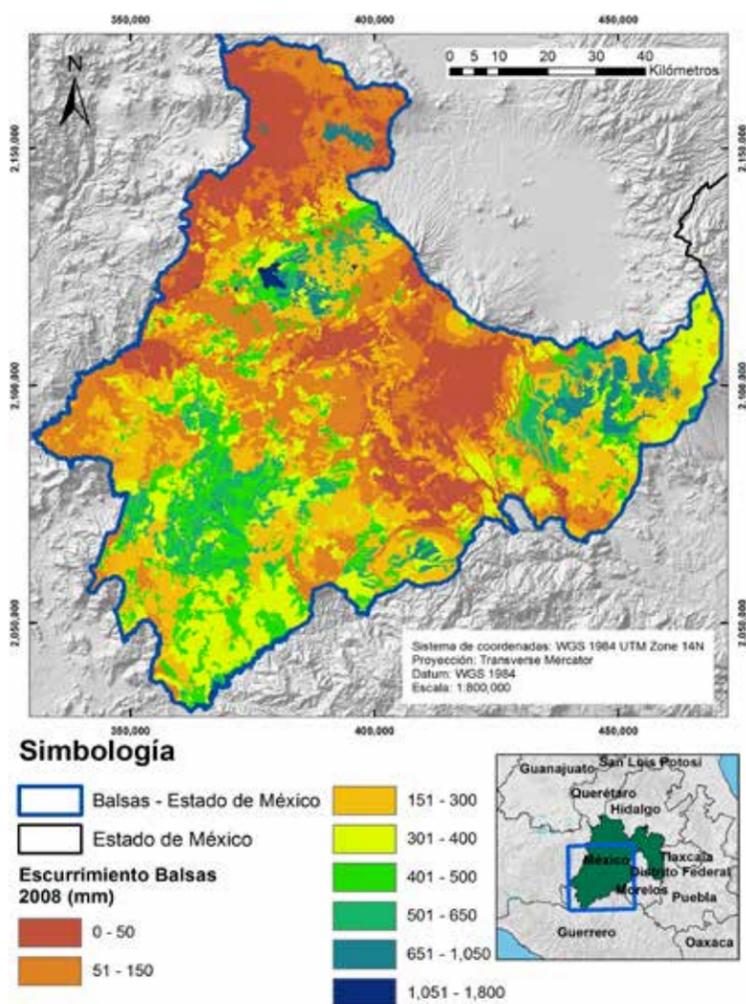


Figura 5.118. Lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.

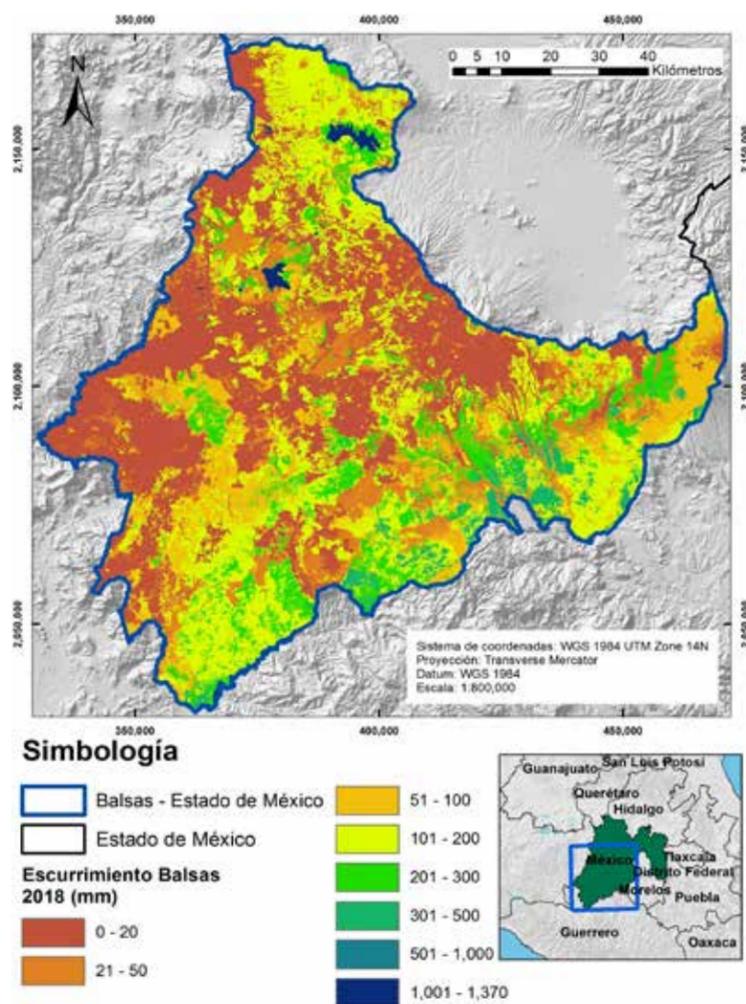


Figura 5.120. Lámina de escurrimiento para el año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.

Para el año 2015 la lámina de escurrimiento en los cuerpos de agua en la cuenca Lerma van de los 1001 a los 1810 mm, en la parte norte de la cuenca se observa una región pequeña con láminas de escurrimiento que van de los 301 a los 1000 mm, se visualizan además en la parte sur y centro algunas regiones pequeñas con lamina de escurrimiento que van de los 301 a los 500 mm, en el valle de Toluca se observan láminas de escurrimientos del orden de los 201 a 300 mm y el resto de la cuenca presenta láminas inferiores a los 200 mm. En la Figura 5.122 se presenta la lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Lerma.

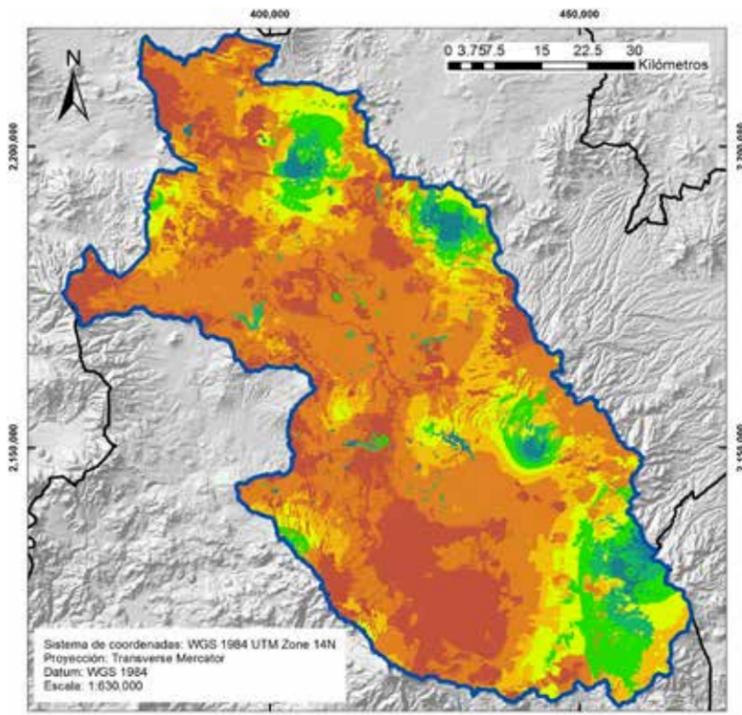


Figura 5.121. Lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.

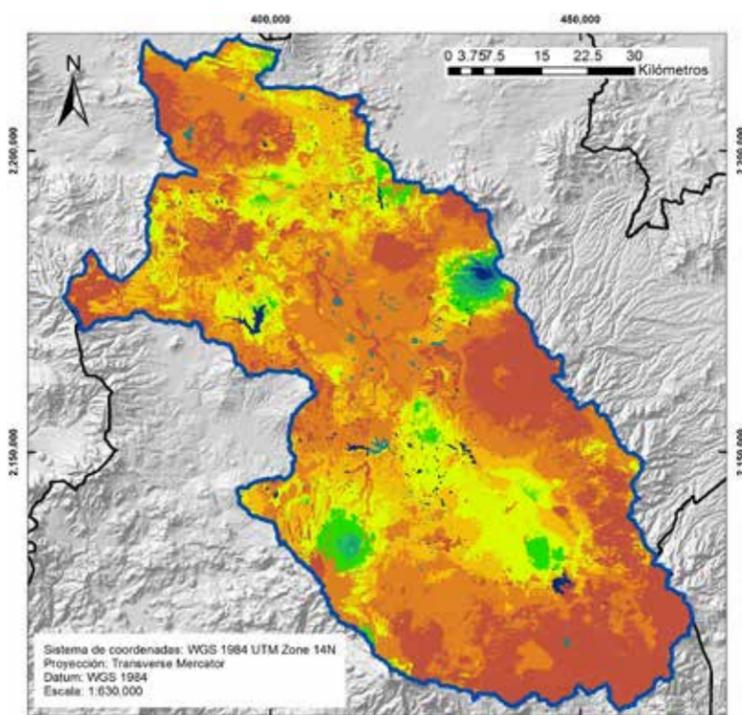


Figura 5.122. Lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.

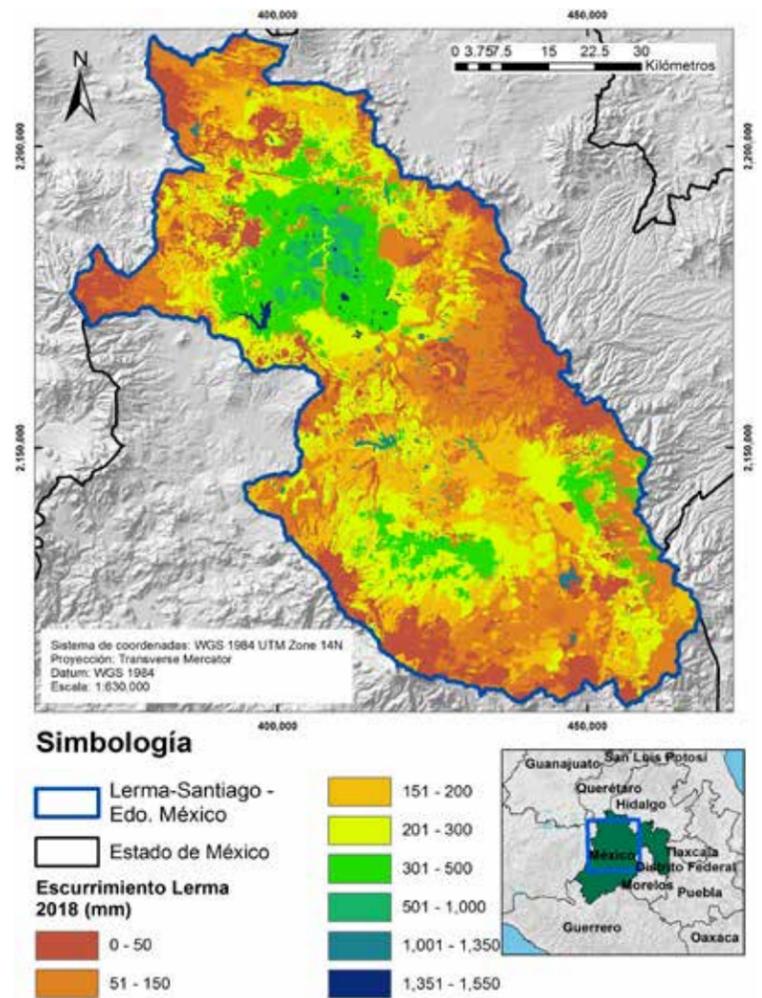


Figura 5.123. Lámina de escurrimiento para el año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.

5.11. Cartografía del evapotranspiración

Otra de las variables del ciclo hidrológico estimados por el código SWB es la evapotranspiración, a continuación se presentan los resultados de las láminas de evapotranspiración estimados para las cuencas Balsas y Lerma para los años 2008, 2015 y 2018.

5.11.1. Lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca Balsas

Para el año 2008 la lámina de evapotranspiración de la cuenca Balsas presenta valores más altos (901 a 1250 mm) en la parte norte (volcan El Ídolo) y oeste, la mayor parte de la cuenca se observan láminas de evapotranspiración que oscilan entre los 701 y 900 mm. En la Figura 5.124 se presenta la lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca Balsas en el año 2008.

Para el año 2015 los valores más altos de lámina de evapotranspiración (1051 a 1290 mm) se localizan en la parte norte de la cuenca (volcanes El Ídolo y Gordo), en el resto de la cuenca se tienen láminas de evapotranspiración que van de los 851 a 1000 mm. En la Figura 5.125 se presenta la lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Balsas.

Finalmente para el año 2018 en la cuenca Balsas se observan láminas de evapotranspiración que van de los 951 a los 1210 mm en la parte sur y este de la cuenca, y para la parte norte se observan principalmente láminas de avapotranspiración que van de los 851 a los 900 mm. En la Figura 5.126 se presenta la lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Balsas.

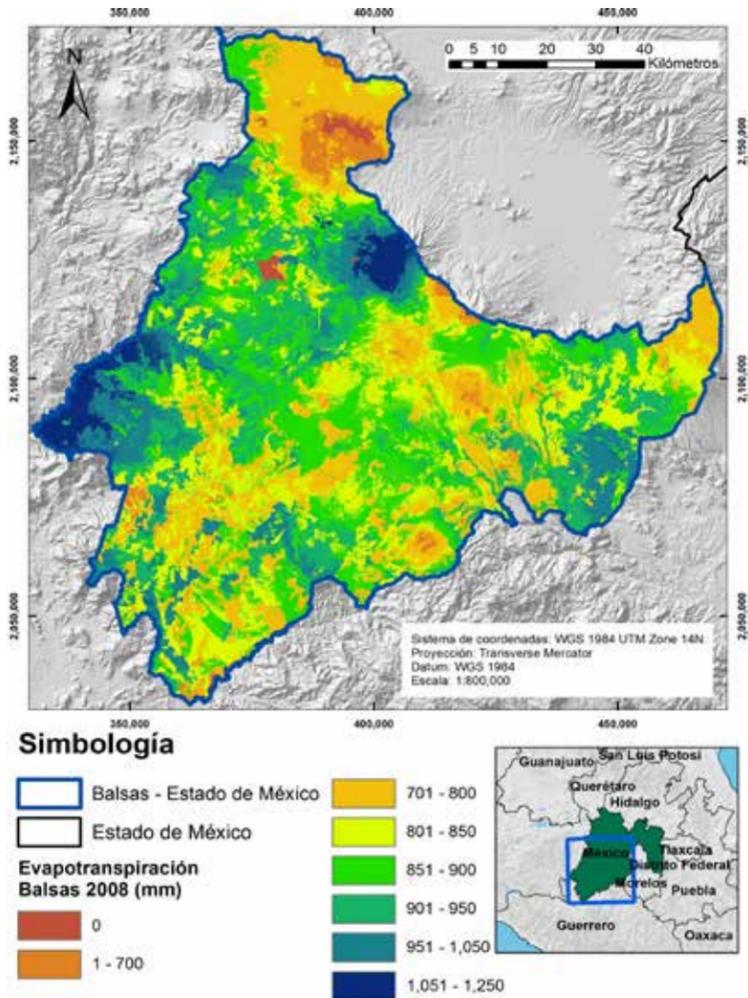


Figura 5.124. Lámina de evapotranspiración para el año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.

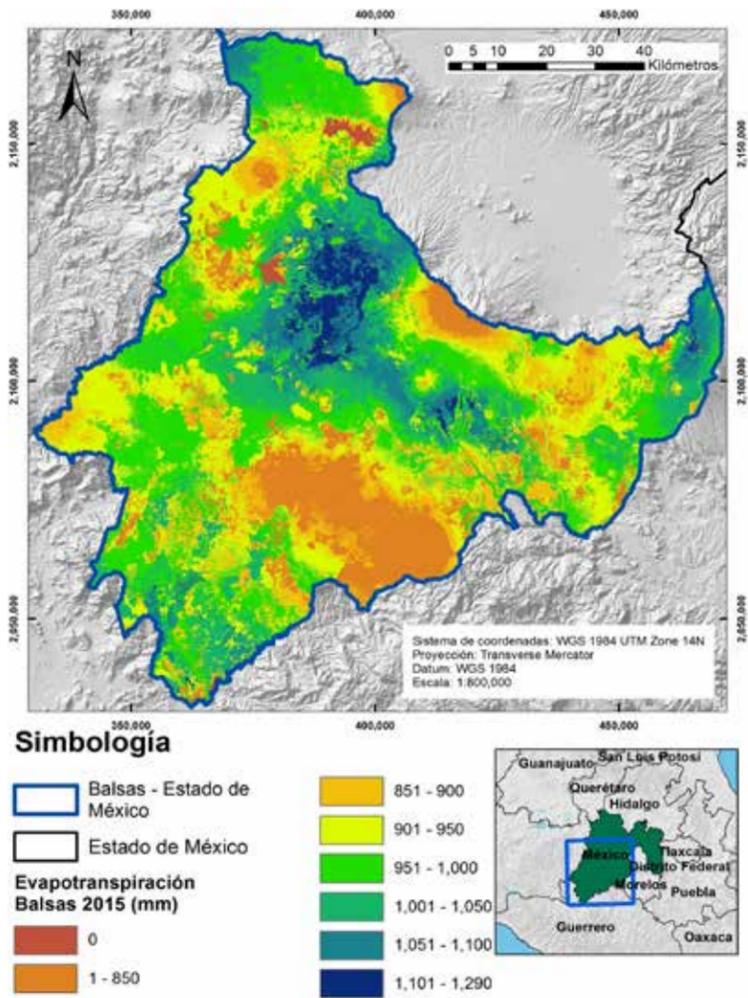


Figura 5.125. Lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.

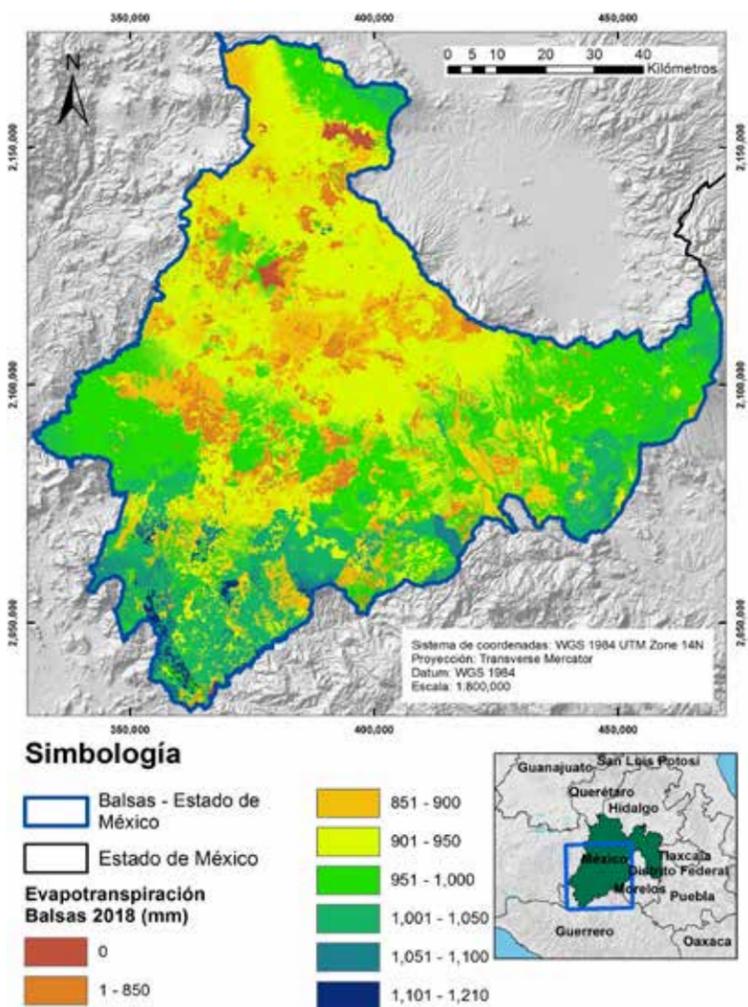


Figura 5.126. Lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.

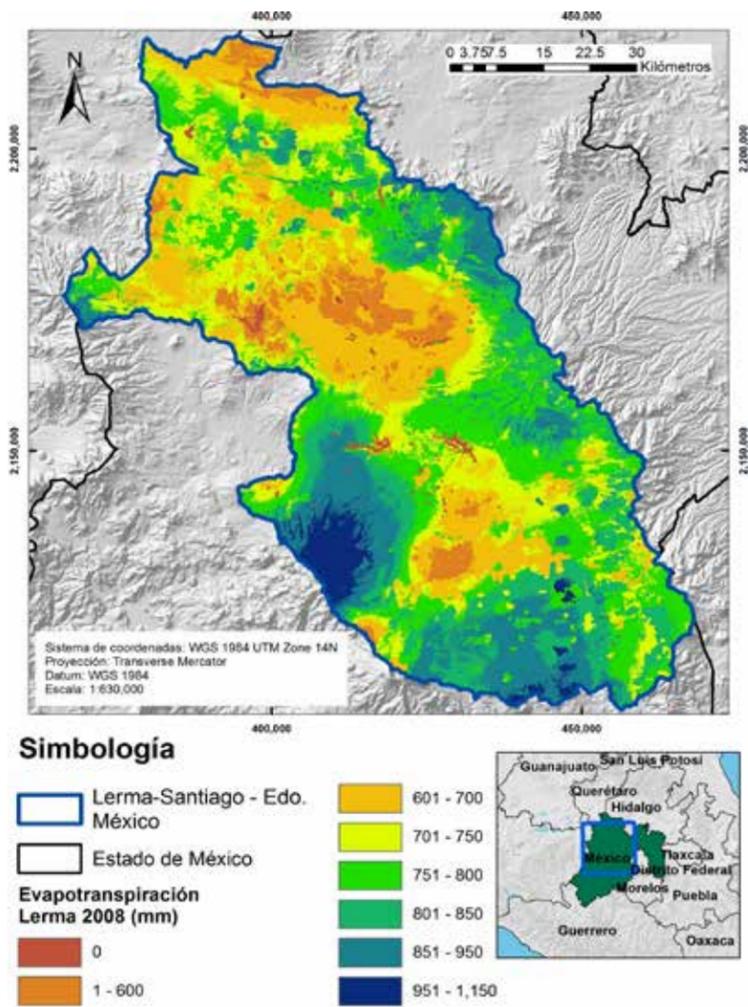


Figura 5.127. Lámina de evapotranspiración para el año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.

5.12. Lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca Lerma

Para el año 2008 la lámina de evapotranspiración de la cuenca Lerma presenta valores más altos (851 a 1150 mm) en la parte norte y sur de la cuenca, la mayor parte de la cuenca se observan láminas

de evapotranspiración que oscilan entre los 601 y 800 mm. En la figura 5.127 se presenta la lámina de evapotranspiración estimada para en cuenca Lerma para el año 2008.

Para el año 2015 los valores más altos de lámina de evapotranspiración (951 a 1280 mm) se localizan en los límites norte, sur y este de la cuenca, en el resto de la cuenca se tienen láminas de evapotranspiración que van de los 751 a 900 mm. En la figura 5.128 se presenta la lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Lerma.

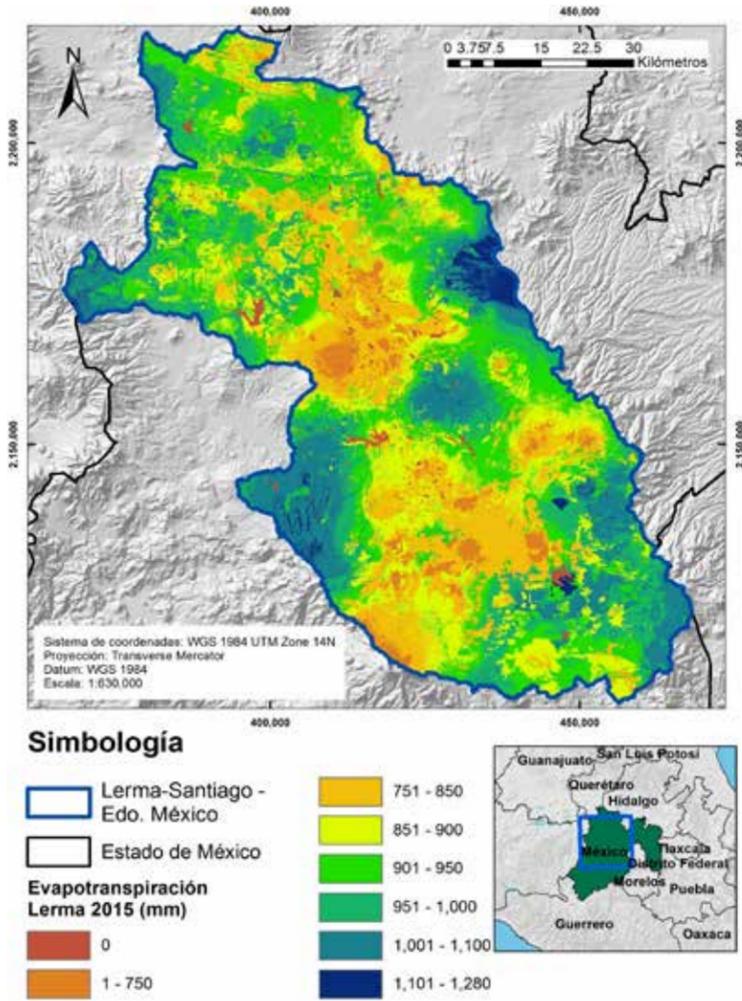


Figura 5.128. Lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.

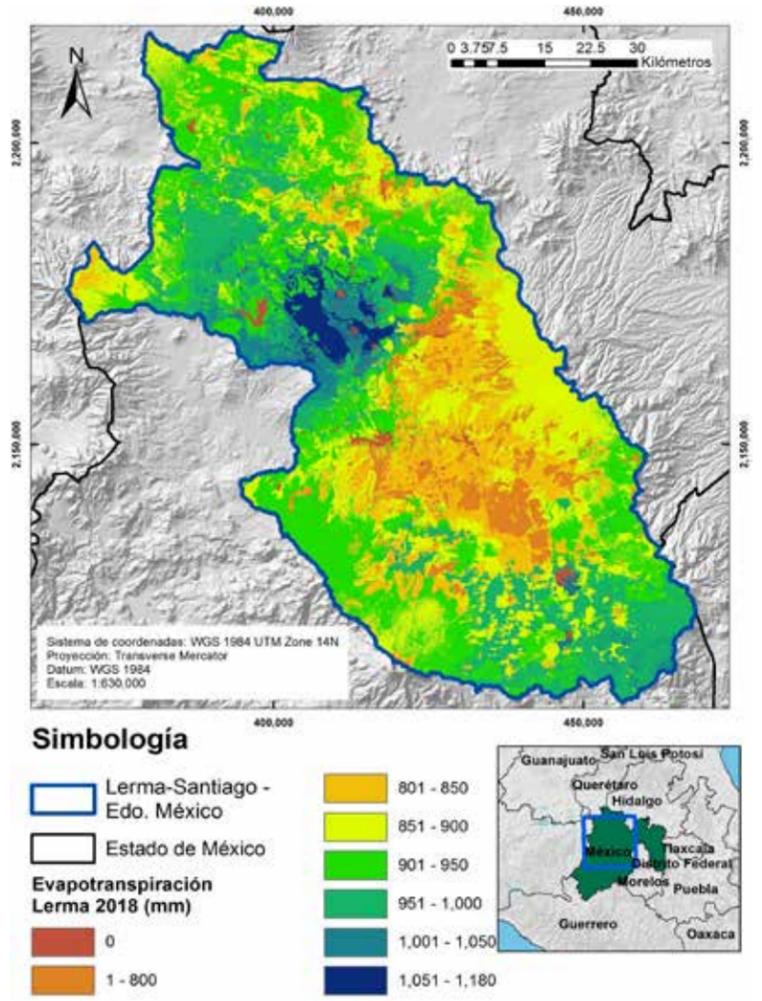
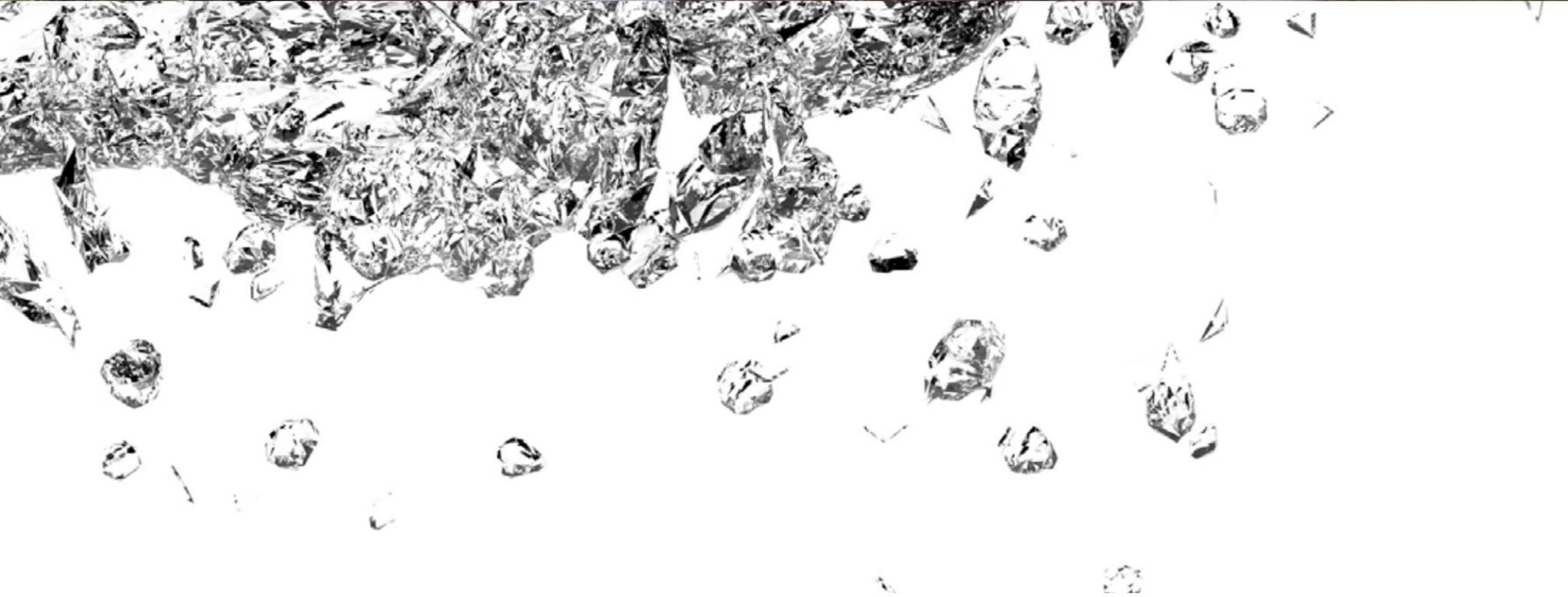
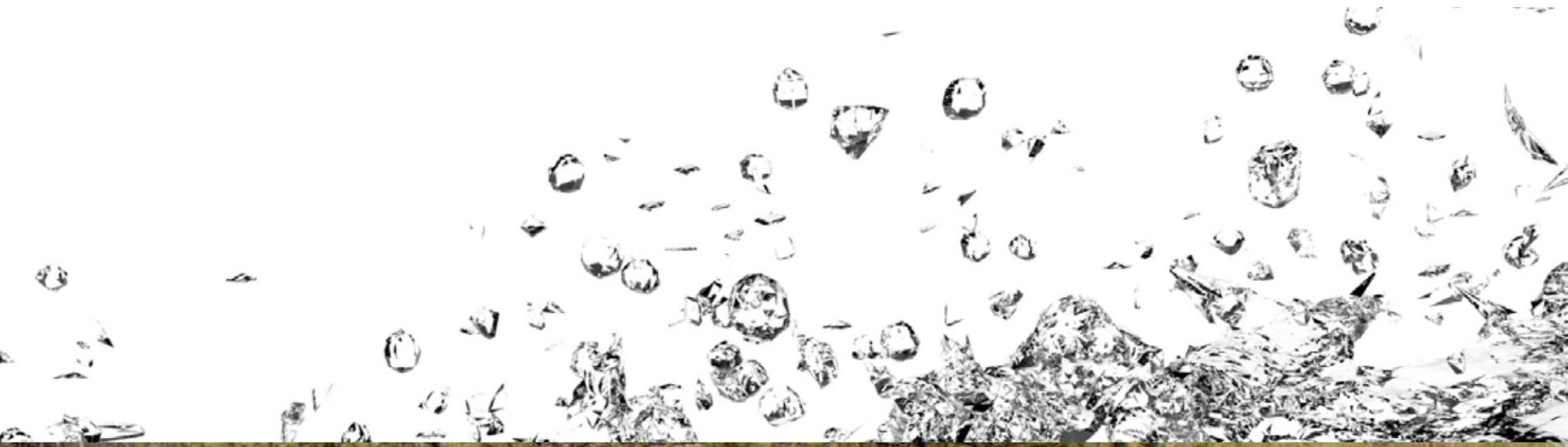


Figura 5.129. Lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.

Finalmente para el año 2018 en la cuenca Balsas se observan láminas de evapotranspiración que van de los 1001 a 1180 mm en la parte suroeste de la cuenca, en la parte norte y sureste de la cuenca se observan láminas de evapotranspiración del orden de los 901 a 950 mm y en la parte central de la cuenca evapotranspiraciones que van de los 801 a los 850 mm. En la figura 5.1 5.129 se presenta la lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Lerma.



Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

6.1.1. Suelo, bosque y agua

Con relación a las pruebas de infiltración se observó que la cobertura forestal y uso del suelo afectan directamente la infiltración. Un suelo encostrado o compactado reduce la infiltración. Así pues, terrenos con gran laboreo, transitados por ganado o maquinaria y desprovistos de vegetación son zonas propensas al encharcamiento o escurrimiento, como se observó en las parcelas con uso agrícola de maíz y avena, e incluso en las parcelas de aguacate y durazno.

Los suelos arcillosos también muestran facilidad al encharcamiento. Aunque se generan grietas que aumentan la infiltración cuando están secos, pero conforme se humedecen a la larga la expansión de las arcillas limita gravemente la permeabilidad del estrato, es por ello que se pueden obtener infiltraciones elevadas al inicio, pero al final las infiltraciones son bajas.

Por otro lado, el espesor del estrato de materia orgánica parece tener correlación directa con la infiltración. Un espesor aceptable de este estrato se encontró en los bosques maduros, sin embargo, en los bosques cultivados las permeabilidades fueron menores por lo que no se asegura un aumento de la infiltración a corto plazo. Conviene por lo tanto reforestar zonas degradadas o con baja cobertura vegetal, pero se debe considerar la posibilidad de añadir al suelo materiales que incrementen la capacidad de adsorción. Otra medida que se debe realizar son las de protección a los bosques que tiene un estrato orgánico bien evolucionado, sobre todo para la prevención de incendios.

De las pruebas de permeabilidad realizadas en laboratorio los resultados indicaron que existe una gran variabilidad de valores de K_s entre los diferentes tipos de suelo y no se diga entre los distintos tipos de vegetación. Por supuesto que se esperaba que existiera una correlación entre la misma unidad de suelo y el mismo tipo de suelo, sin embargo, las diferencias se deben a que los manejos que se presentan en cada bosque difieren y por ello se tienen suelos con diferentes respuestas a la conductividad hidráulica. Y es que en este caso la prueba se hace con muestras alteradas de suelo, por lo tanto sería mejor determinar el comportamiento de la conductividad de acuerdo con la textura de suelo.

La misma comparación de resultados se realizó para caso de los valores de permeabilidad final que se obtuvieron en campo, por lo que se obtuvo para cada tipo de vegetación el valor medio, de tal manera que junto con los valores medios de conductividad hidráulica (K_s) de laboratorio, se puede mencionar que los bosque de oya-

mel y pino son quienes tienden a presentar las mejores tasas de permeabilidad y conductividad hidráulica en los suelos en que se establecen. Le siguen los bosques de encino, luego los encino pino y pino encino, y al final están los bosques cultivados, que se trata generalmente de reforestaciones recientes en donde los suelos están en proceso de recuperación debido a que anteriormente tenía un uso de suelo agrícola, de pastizales o en su caso de zonas o áreas que fueron deforestadas y erosionadas, pero que sin embargo presentan buenas tasas de permeabilidad y de conductividad hidráulica en comparación con las áreas agrícolas de maíz o avena y no se diga comparada con una parcela que se cambia de uso de suelo de forestal a parcela de aguacate.

Se observa y se deduce de los resultados obtenidos en este trabajo, que las condiciones naturales de los suelos del tipo Andosol húmico (Th) en la zona de estudio y el desarrollo de vegetación natural son propicias para el objetivo del programa PSAHEM, pues se favorece la infiltración del agua de lluvia y se protege al suelo de la erosión, se evita el escurrimiento superficial y la generación de sedimentos que pueden afectar cuerpos de agua e infraestructura. Cuando por alguna razón estas condiciones se ven afectadas, la regeneración de la vegetación a través de actividades de reforestación tienden a recobrar el estado natural de la vegetación para que esta siga cumpliendo sus funciones. Cuando hay cambio uso de suelo, sobre todo de uso forestal a agrícola, las propiedades del suelo que favorecen la infiltración de agua se ven afectadas y esta capacidad se ve disminuida a tal grado de favorecer el escurrimiento y la erosión, por lo que de ser necesario este cambio de uso y se debe de acompañar de medidas que favorezcan la infiltración que se da manera natural a través de la implementación de prácticas de conservación de agua y suelo (como tinas ciegas o zanjas trinchera, zanjas de infiltración, bordos al contorno, etcétera.).

Cuando hay reconversión de uso agrícola a forestal, el establecimiento de la vegetación a través de actividades de reforestación no es suficiente para que el suelo cumpla con sus funciones naturales, es necesario complementar esta actividad con otras como son el acondicionamiento de suelo y prácticas de conservación de agua y suelo para que las tasas de infiltración tiendan a las tasas naturales.

Las observaciones de campo también permiten identificar situaciones que alteran las funciones naturales, como son, factores limitantes para el desarrollo de la vegetación, es decir suelos poco profundos, compactados, erosionados, pedregosos, o con pronunciadas pendientes y que limitan el desarrollo de actividades productivas o de aprovechamiento, ya sea por la dificultad del acceso o por capacidad natural o humana para la rehabilitación o regeneración natural del sitio.

Se observó que en los suelos Andosoles las actividades agrícolas afectan las propiedades físicas del suelo y afectan su capacidad de infiltración, que bajo condiciones naturales son altas, también se observa que estas propiedades tienden a recuperarse cuando son reconvertidos a su uso original, llegando incluso a comportarse como suelos bajo condiciones naturales. También se ha notado que los incendios forestales pueden afectar el contenido de materia orgánica consumiendo ésta por combustión, además de eliminar la cubierta vegetal que protege el suelo de los impactos de la gota de lluvia y que desprende grandes cantidades de suelo que pueden ser incorporados al escurrimiento superficial. En estos suelos puede presentarse hidrofobicidad sobre todo después de un incendio forestal, con los riesgos que implica, disminución de las tasas de infiltración y aumento del riesgo de erosión hídrica del suelo.

En las unidades de suelos Cambisoles destacan las diferencias entre el bosque natural y el uso agrícola con huerta frutícola de durazno, sobre todo en las tasas de infiltración observadas en condiciones de campo. En esta última, el manejo deja expuesto el suelo a los efectos del clima, desapareciendo ya la delgada capa de acumulación de materia orgánica observada en bosque natural, el contenido de humedad al momento de hacer las observaciones de campo denotan las pérdidas de humedad del suelo debido principalmente a la radiación solar, habiendo menos agua disponible para el cultivo. En este caso el agua de riego es requerido. Esta actividad impacta en el suelo puesto que al haber menos capacidad de infiltración del agua y en las condiciones en las que se encuentra el suelo se provoca erosión y en el caso de la huerta es evidente por la pérdida de suelo superior rica en materia orgánica observada en el bosque natural. Este suelo es rico en arcillas, por lo que tiende a saturarse rápidamente provocando escurrimientos superficiales y erosión hídrica, cuando comienzan a secarse retienen humedad que no está disponible para la planta. Esta situación debe observarse y restringir el cambio de uso.

Para las unidades de suelo Feozem se observó que las actividades agrícolas provocan cambios en sus propiedades en sentido negativo, que al final se reflejan en menores tasas de infiltración de agua. La reconversión a uso forestal en el corto plazo no refleja algún tipo de recuperación aunque se debe considerar que en estos casos el suelo fue sometido a procesos intensos de degradación por erosión hídrica como muestran las evidencias observadas en campo y en estos casos pueden dejarse expuesto el horizonte subsuperficial. Se observaron también condiciones o factores que restringen el uso de estos suelos a actividades productivas, como son principalmente la pendiente, la pedregosidad y la erosión del suelo. En los sitios erosionados se observó que el suelo presenta una baja capacidad de retención de humedad, lo cual significa una menor cantidad de agua disponible para la planta y en un momento dado esta agua disponible para la planta representa el éxito o fracaso de las actividades de reforestación.

Los sitios con Litosoles presentan limitantes para las actividades productivas, pues prácticamente no existe suelo que pueda servir de sustento a especies de beneficio económico, además, la vegetación que en estos se desarrolla se ha adaptado a las condiciones de poca profundidad y de disponibilidad de agua, lo que los hace sitios de alta fragilidad, pues una vez que se ha removido la vegeta-

ción por las condiciones mencionadas resultara lenta la recuperación de esta. Es frecuente encontrar en estas condiciones grietas entre las rocas por donde el agua puede fluir libremente, aunque si la roca es una capa continua esta puede limitar el flujo vertical del agua.

Los sitios en los que se observaron las menores tasas de infiltración (unidades de suelo Luvisol) muestran evidencias de erosión y son suelos con horizonte superficial delgado, que además presentan un horizonte con estructura masiva, es decir sin agregados y sin desarrollo de poros que permitan el flujo del agua, estas tasas de infiltración favorecen la aparición de escurrimientos ante la presencia de lluvias fuertes y favorecen la erosión del suelo. Además es importante destacar que la presencia de arcillas hace que el agua en el suelo sea retenida con mayor fuerza y esta no está disponible para las plantas. Este factor se debe considerar al momento de realizar actividades de reforestación, ya que el éxito o fracaso de estos trabajos sobre todo en los primeros años depende de la disponibilidad de humedad

Los suelos Vertisoles son de manejo difícil pues en condiciones secas son de consistencia muy dura y en condiciones de humedad suelen ser muy plásticos y adhesivos. El agua puede fluir fácilmente en las primeras lluvias pues esta se mueve a través de las grietas hasta las partes profundas del perfil, pero una vez que el suelo se ha humectado las arcillas se expanden y cierran las grietas, haciendo que el agua fluya más lentamente y que se formen encharcamientos y escurrimiento superficial. Estas arcillas también retienen la humedad del suelo con tal fuerza que las plantas no pueden aprovecharla y en condiciones de humedad pueden saturarse rápidamente y en ambos casos provocar problemas a la planta. Esta situación debe considerarse al momento de hacer la reconversión de suelos agrícolas a uso forestal.

Con relación a los suelos Acrisoles presentes en el área de estudio se debe destacar su acidez, puesto que esta puede convertirse en un momento dado en un factor limitante para el desarrollo de la vegetación y al momento de realizar actividades de reforestación este puede ser un factor que limite su desarrollo. Se observaron además otros factores limitantes para las actividades productivas como son la profundidad del suelo, la pendiente y la pedregosidad.

6.1.2. Zonas prioritarias de recarga y acuíferos

En cuanto a la determinación de las zonas de influencia de la recarga de los acuíferos del Estado de México, los resultados del análisis desarrollado indican que las principales zonas de recarga para el Estado de México lo conforman la Sierra de las Cruces, y las zonas de los volcanes del Nevado de Toluca, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, los cuales alimentan a las extensas unidades hidrogeológicas de los acuíferos denominados Toluca y Atlacomulco (como unidad continua) y la zona conformada por los acuíferos Cuautitlán-Pachuca, Texcoco, Ciudad de México y Chalco-Amecameca. En cuanto al intercambio de agua subterránea con las zonas circundantes, no se observa ingreso importante de agua subterránea proveniente de los otros estados.

6.1.3. Recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración

Los balances de agua que actualmente se realizan en México, en la mayoría de los casos, las variables (precipitación, temperaturas, escurrimiento, evapotranspiración y recarga potencial) de las ecuaciones de balance se consideran de forma global en toda la cuenca, para este trabajo se consideró realizar el balance de agua en el suelo de forma espacial y temporal, esto es, se tienen los resultados de tal forma que permitiría evaluar los aportes de recarga potencial, escurrimiento o evapotranspiración a niveles regional, municipal o predio.

Con toda la información recopilada en los diferentes trabajos de campo realizados durante el presente estudio y los resultados de prueba de laboratorio fue posible configurar los archivos de entrada a mayor detalle para el diseño del modelo SWB que realiza el balance de agua en el suelo. En ese sentido se pudieron generar de forma exitosa los archivos (formato asc) de tipo de cobertura vegetal, grupo hidrológico del suelo, direcciones de flujo, capacidad de agua disponible en el suelo, de igual forma se realizaron las interpolaciones diarias de las variables climáticas (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima) en formato NetCDF. Se realizó la calibración del modelo comparando los resultados de escurrimiento en la cuenca Balsas del Balance Hídrico reportado en el DOF (2007) con los resultados de escurrimiento simulados para el año 2008 en la misma cuenca obteniéndose en dicha calibración un error de +13%. Los parámetros que se ajustaron en la calibración fueron el número de curva y la recarga máxima diaria. Una vez que se consideró calibrado el modelo se realizaron las simulaciones para las cuencas Balsas y Lerma en el Estado de México para los años 2008, 2015 y 2018.

Con los resultados obtenidos con el modelo SWB fue posible estimar la lámina de recarga potencial, lámina de escurrimiento y lámina de evapotranspiración que se tienen en las cuencas Balsas y Lerma para los años arriba mencionados.

Al estimar la lámina de recarga potencial se cumple con el objetivo principal del estudio ya que a partir de dicha estimación se determinó el volumen de recarga potencial que aporta las superficies beneficiadas con el PSAHEM. El año que mayor volumen aportó fue el 2015 (45.23 Mm³) ya que para ese año se tenía mayor superficie (60, 338.75 ha) con PSAHEM.

En general las zonas con mayores láminas de recarga potencial se encuentran en las zonas correspondientes a los volcanes de Nevado de Toluca, Gordo, Ídolo, Caballito, Negro, La Silva, Tuxtepec, Tezontle, Cuatla y Olotepic, así como en las zonas de influencia del cerro Las Ánimas y el cerro Jocotitlan. Se observó además que las zonas con mayor lámina de recarga obtenidas con el modelo SWB coinciden con las regiones de zonas de recarga que se obtuvieron del análisis de la dinámica de los flujos de los principales acuíferos que se tienen en el Estado de México.

Con los resultados obtenidos fue posible también estimar el volumen de recarga potencial que aportan las cuencas Balsas y Lerma. El año con mayor recarga potencial estimada es el 2008 con 2,065.22 Mm³ de los cuales 1351.76 Mm³ corresponden a la cuen-

ca Balsas y 713.46 Mm³ a la cuenca Lerma; le sigue el año 2018 con 1,138.92 Mm³, correspondiendo 624.64 Mm³ a la cuenca Balsas y 514.28 Mm³ a la cuenca Lerma; y, finalmente el 2015 presenta una recarga potencial de 859.54 Mm³, de los cuales 591.97 Mm³ corresponden a la cuenca Balsas y 267.57 Mm³ fueron aportados por la cuenca Lerma. Las diferencias que se tienen en los volúmenes de recarga (principalmente para el año 2015) es debido a que en algunos años las precipitaciones fueron menores.

Considerando los tres años de análisis y obteniendo una media aritmética entre los volúmenes estimados para cada año, se puede decir que en promedio en la cuenca Balsas se tiene un volumen de recarga potencial promedio de 856.12 Mm³, para la cuenca Lerma de 498.44 Mm³, dando un promedio de recarga potencial entre ambas cuencas del orden de los 1,354.56 Mm³.

Es importante mencionar que las variables climáticas y su distribución en el espacio y el tiempo juegan un papel importante en los resultados que se obtienen para la recarga potencial, en ese sentido el año 2015 es un año crítico para el Estado de México ya que de acuerdo a los resultados obtenidos fue un año con poca precipitación lo que se ve reflejado en el volumen total de recarga potencial obtenido. Para la toma de decisiones se sugiere tomar el valor promedio que se tiene entre los tres años de análisis.

De acuerdo con la FAO (2009) el cambio climático producirá un impacto considerable en la hidrología y los recursos hídricos. Esto puede manifestarse en un mayor número de catástrofes, como inundaciones, sequía y deslaves, en todos los cuales puede influir la cubierta forestal. Las situaciones que afectan a los grupos más vulnerables de la sociedad exigen una atención particular. Restablecer los ecosistemas forestales dañados o degradados puede ayudar a que los bosques "amortigüen" los efectos del cambio climático.

6.2. Recomendaciones

6.2.1. Suelo, bosque y agua

Dada la dificultad de la caracterización por la cantidad de información requerida y por la cantidad de información generada, resulta necesario que dentro de las actividades realizadas en la implementación del programa, se incluya como parte de dichas actividades la cartografía de los polígonos en donde se identifiquen unidades cartográficas que señalen tipo de vegetación, pendientes, diferencias de suelo, profundidad de suelo, factores que limiten el uso del suelo como son: incidencia de incendios, erosión de suelos y algunos otros factores nocivos, así como la realización de pruebas de infiltración y descripción de perfiles de suelos con sus respectivos análisis de laboratorio que refuercen las observaciones de campo. Esto se debe realizar para cada polígono beneficiado con el programa de PSAHEM, de esta manera la información generada servirá para crear una base de datos que será de utilidad primeramente para los productores beneficiados, así como, también para PROBOSQUE, que será de utilidad para realizar evaluaciones periódicas con lo cual se podrá monitorear el comportamiento de los predios en el tiempo, y con toda la información obtenida en todo el Estado, entonces PROBOSQUE tendría una base de datos robusta y confiable con la cual se podrían realizar análisis a detalle de los pre-

dios donde se considere el tipo de suelo, el estado de la vegetación, efectos por los incendios, por la deforestación, etc.

Debido a que estos suelos Andosoles se encuentran generalmente en regiones con pendientes pronunciadas, estos deben conservar su cubierta vegetal natural. Al ser suelos poco consistentes se debe evaluar la conveniencia del acondicionamiento del suelo para actividades de reforestación, considerando las condiciones de pendiente, precipitación y profundidad del suelo, para no exponerlo a los agentes erosivos. Los trabajos de acondicionamiento se deben realizar siguiendo las curvas de nivel para evitar la concentración del escurrimiento en ciertos puntos que provoquen erosión. Se deben proteger estos suelos de incendios forestales.

En el bosque natural deben realizarse actividades como son las prácticas de conservación que ayuden a controlar los escurrimientos y se favorezca la infiltración del agua, además de construir cauces que conduzcan el escurrimiento superficial a cauces naturales, esto de manera controlada. Cuando se realicen actividades de reforestación se deben de mejorar las condiciones del sitio de establecimiento de la planta mediante la adición de materia orgánica que mejore las condiciones físicas del suelo y que mantengan la humedad disponible durante más tiempo. No es recomendable el cambio de uso de suelo puesto que estos son suelos delgados y cuando es retirada la cubierta vegetal los hacen susceptibles a la erosión y estos disminuyen su capacidad para infiltrar agua, por lo que deben ser destinados a la conservación de la vegetación. Estos suelos presentaron restricciones para actividades productivas, principalmente pendiente, profundidad del suelo y evidencias de erosión hídrica, por lo que su uso debe ser para la conservación.

En sitios con baja capacidad de infiltración las reforestaciones o actividades de manejo del suelo y de la vegetación deben incluir prácticas de conservación de suelo para el control de los escurrimientos, aumentar la infiltración del agua y control de la erosión. Ante la presencia de capas endurecidas se debe valorar la posibilidad de trabajos de acondicionamiento de suelo que rompan la continuidad de estas capas, considerando siempre las condiciones de pendiente y precipitación y realizando estos trabajos siguiendo las curvas de nivel.

El uso de materia orgánica en grandes cantidades puede mejorar las condiciones físicas de los suelos Vertisoles. Cuando se hacen trabajos de reforestación o reconversión productiva en estos suelos, se debe aplicar materia orgánica como un mejorador, de manera puntual, esto favorecerá el flujo de agua y mantendrá la humedad disponible para la planta durante más tiempo. Se debe hacer un control del escurrimiento superficial con prácticas de conservación que permitan almacenar agua y que esta pueda fluir lentamente a través del perfil y los excesos conducirlos de manera controlada hacia cauces naturales.

Para las actividades de reforestación, en suelos Acrisoles, se recomienda usar especies adaptadas a estas condiciones de acidez del suelo, usar mejoradores de suelo, orgánicos o minerales de manera puntual en los sitios de establecimiento de las plantas para disminuir esta acidez. En sitios con baja capacidad de infiltración realizar

actividades para el control de los escurrimientos y de la erosión del suelo.

6.2.2. Recarga potencial, escurrimiento y evapotranspiración

En cuanto a la estimación del volumen de recarga potencial que aportan las poligonales con PSAHEM y las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México, dichos volúmenes se estimaron para los años 2008, 2015 y 2018 y se observó que el volumen estimado es diferente para cada año, dependiendo en gran medida del comportamiento espacial y temporal de las variables climáticas, por lo que, para la toma de decisiones se recomienda utilizar el valor medio de la recarga potencial. Para tener un valor de mayor certidumbre en cuanto a este valor medio de recarga potencial sería importante estimar el valor de la lámina de la recarga potencial por lo menos en un periodo de 10 años (2008 – 2018).

6.2.3. Valoración del recurso hídrico

Por otro lado, los esquemas de conservación y protección de zonas de recarga de fuentes de agua superficiales y subterráneas, tienen un beneficio importante para la ocurrencia de las funciones ecosistémicas que permiten la generación de escurrimientos y/o infiltración de agua que beneficia a un conjunto diverso de usos de agua en una región. La tarea de mostrar evidencia técnica a la sociedad que los recursos públicos asignados a este programa, contribuirán en la sostenibilidad de las fuentes de agua de la región, es una de las tareas en las que avanza con los resultados de este estudio. No obstante, para garantizar la sostenibilidad del programa en el largo plazo e incidir en el cambio cultural y de conductas de uso del agua, es necesario que se realicen estudios para determinar el valor económico de los servicios ecosistémicos que producen los volúmenes de agua que son consumidos por los usuarios beneficiarios de las zonas de conservación atendidas, es necesario la implementación de metodologías de valoración socioeconómicas de los activos ambientales. Los resultados de estos estudios permitirán el reconocimiento de la sociedad del valor económico de la conservación de las funciones ecosistémicas, en instrumentos económicos tales como las tarifas de agua y saneamiento en las ciudades, dado que las tarifas establecidas son meramente referenciadas a los gastos de operación de los organismos operadores. Dado lo anterior es posible fortalecer el financiamiento de los programas de conservación de PROBOSQUE y dar mayor garantía de su continuidad en el futuro y al mismo tiempo se estaría contribuyendo en el cambio de paradigmas de responsabilidad en la gestión integrada de los recursos hídricos por parte de la sociedad y las autoridades.

Finalmente, cuando la calidad del agua es una prioridad elevada, los bosques son la mejor cubierta del suelo o uso de la tierra. Una cobertura forestal inalterada ofrece una gran protección contra la erosión, la sedimentación y los daños por otros contaminantes. El mejor uso son los bosques designados con regímenes de ordenación, como las zonas núcleo de los parques nacionales o las reservas protegidas de las cuencas. Las pérdidas comerciales se pueden compensar con creces conforme el agua se vuelve más escasa y más valiosa (FAO, 2009).

Bibliografía

- Ahuja, L. R., Kozak, J. A., Andales, A. A., & Ma, L. (2007). Scaling Parameters of the Lewis-Kostiakov water Infiltration Equation across Soil Textural Classes and Extension to Rain Infiltration. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 50(5), 1525-1541.
- Alvarado, B. C. y Barahona, P. M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo en la cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*. ISSN:1659-4266. Vol 9(1): 23-33.
- Anderson, T. W., G. E. Welder, G. Lesser y A. Trujillo (1988), Region 7, Central Alluvial Basins, Chapter 10 in Back, W., J. S. Rosenshein and P. R. Seaber (eds.), *Hydrogeology, The Geology of North America*, vol. O-2, Geol. Soc. of Am., USA.
- Ángeles Serrano, G., M. Perevochtchikova y J. J. Carrillo Rivera (2008), "Posibles controles hidrogeológicos de impacto ambiental por la extracción de agua subterránea en Xochimilco, México", *J. of Latin Am. Geog.*, vol. 7, no. 1, pp. 39-56.
- Bens, O., Arne Wahl, N., Fischer, H. y Huttli, R. (2007). Water infiltration and hydraulic conductivity in sandy cambisols: Impacts of forest transformation on soil hydrological properties. *European Journal of Forest Research* (126.1), 102-109.
- Campano, F., A. (2014). Estudio comparativo de la Infiltración en áreas degradadas y naturales de la localidad de Saldaña (Palencia). Máster en Ingeniería de Montes. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid, Campus de Palencia.
- Cardona, A. (1990), Caracterización físico-química y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del Valle de San Luis Potosí: su relación con el sistema de flujo, tesis de Maestría, Fac. de Ing. Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Cardona, A. (2007), Hidrogeoquímica de sistemas de flujo, regional, intermedio y local. Resultado del marco geológico en la Mesa Central: reacciones, procesos y contaminación, tesis de Doctorado, Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Carrillo Rivera, J. J. (1992), The hydrogeology of San Luis Potosí Area, Mexico, tesis de Doctorado en Filosofía (Agua Subterránea), U. de Londres, Gran Bretaña.
- Carrillo Rivera, J. J., I. Clark and P. Fritz (1992), "Investigating recharge of shallow and paleo-groundwaters in the Villa de Reyes Basin, SLP, Mexico, with environmental isotopes", *Applied Hydrogeol.*, vol. 1, no. 4, pp. 35-48.
- Carrillo Rivera, J. J., A. Cardona and D. Moss (1996), "Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrogeochemical approach in the Valley of San Luis Potosí, Mexico", *J. of Hydrol.*, vol. 185, pp. 23-44.
- Carrillo Rivera, J. J. (2000), "Application of groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins, Mexico", *Hydrogeol. J.*, vol. 8, no. 5, pp. 503-520.
- Carrillo Rivera, J. J., A. Cardona and W. M. Edmunds (2002), "Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high fluoride concentration in abstracted groundwater: basin of San Luis Potosí, Mexico", *J. of Hydrol.*, vol. 261, pp. 24-47.
- Carrillo Rivera, J. J., A. Cardona, R. Huízar Álvarez and E. Graniel (2008), "Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico", *Environ. Geol.*, no. 2, pp. 303-319.
- Challenger, A. y J. Soberón (2008), "Los ecosistemas terrestres", en *Capital natural de México. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, CONABIO, México, pp. 87-108.
- Cisneros Almazan, R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. San Luis Potosí: UASLP. Facultad de Ingeniería. Centro de Investigación de Estudios de Posgrado.
- CONABIO (1999), "Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO", escala 1:1 000 000, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad, México.
- CONAFOR (2009), Tipos de vegetación forestal y de suelos [http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=7#pastizales: 29 de septiembre de 2011].
- CONAGUA (2016), Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, México.
- Contreras, C. y M. G. Galindo (2008), "Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México", *Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana de Geografía*, núm. 17, Bogotá, Colombia, pp. 127-137.
- Comisión, Nacional del Agua, Sistema Nacional de Información del Agua, Conagua (<http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?Todos=-todos>).
- CONAFOR, (2018). Editorial. Revista Electrónica de Divulgación Científica Forestal, Comisión Nacional Forestal, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5336.
- CONAFOR, (Sin año). Perspectiva Forestal. Revista Electrónica de Divulgación Científica Forestal, Comisión Nacional Forestal, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441.
- CONAFOR, (Sin año). Una lectura desde el context internacional de los Pagos por Servicios Ambientales en México. Revista Electrónica de Divulgación Científica Forestal, Comisión Nacional Forestal, https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441.
- CONAFOR, (Sin año). Logros de la evaluación del Programa PSA de la CONAFOR. Revista Electrónica de Divulgación Científica Forestal, Comisión Nacional Forestal https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5778.
- Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2018.
- Diario Oficial de la Federación del 7 de julio de 2016.
- Dirección General de Protección Civil del Estado de México, (2015), Atlas de Riesgos del Estado de México, Gobierno del Estado de México.
- Drips W. R. y K. R. Bradbury, (2010). The spatial and temporal variability of groundwater recharge in a forested basin in northern Wisconsin. *Hydrological Processes*, 24, 283-392, DOI: 10.1002/hyp.7497.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D. Y Tan, K.S. (1989). Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit. Rev.* 9: 184-193.
- FAO, (2009). Los Bosques y el Agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fernández, P. C.; J. A. Luque y J. D. Paoloni (1971). Análisis de la infiltración y su aplicación para diseños de riego en el Valle inferior del Río Colorado. *RIA. Serie 3. Clima y suelo* 8 (1): 1-29.
- García, E. (1998), "Climas" (clasificación de Köppen, modificado por García), escala 1:1 000 000, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO), México.
- Gavande, S. A. (1972). Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa Wiley. P199-232
- Gómez-Tagle, Ch. A., Gutiérrez, G. J. A. y Zepeda, C. H. (2010). Dispositivo de automatización para el infiltrómetro de campo con funcionamiento de Mariotte. *Terra Latinoamericana*. Vol. 28 No. 3. Pags 193-202.
- Gomez-Tagle, A., & Morales Chavez, R. (2018). Hydrological impact of green gold (avocado culture) in central Mexico; rainfall partition and water use comparison with native forests. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329060308_Hydrological_impact_of_green_gold_avocado_culture_in_central_Mexico_rainfall_partition_and_water_use_comparison_with_native_forests
- Haverkamp, R., P. J. Ross, K. R. J. Smetem y J.-Y. Parlange, (1994). Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrimeter. 2. Physically based infiltration equation. *Water Resour Res.* 30:2931-2935.
- Hernandez, B. L. (2015). Infiltración del agua en el suelo (infiltrómetro de doble cilindro). Física de suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hergt, T., J. J. Carrillo Rivera, L. M. Morales Manilla, G. ángeles Serrano, A. González Abraham y L. Rosales Lagarde (2002), Asesoría sobre consideraciones geohidrológicas de la relación bosques-agua en la región Sierra Gorda, Informe final para el INE, SEMARNAT, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Hillel, D. (2004). Introducción to environmental soil physics. Boston, Massachusetts, USA: Elsevier Academic Press.
- Huízar Álvarez, R., J. J. Carrillo Rivera, G. ángeles, T. Hergt y A. Cardona (2004), "Chemical response to groundwater extraction southeast of Mexico City", *Hydrogeol. J.*, no. 12, pp. 436-450.

- Ibañez, A. S., Moreno, R. H y Blanquer, J. M. (2010). Características del infiltrómetro de doble anillo. Documento Técnico. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. 10 pgs.
- IGAC, (2009). "Estudio general de suelos y zonificación de tierras", departamento del Cauca, IGAC. Subdirección de Agrología. Bogotá, Colombia. Imprenta Nacional.
- IGECEM, (2016). Estadística Básica Municipal Estado de México, Gobierno del Estado de México, 2016.
- INEGI (1991), Datos básicos de la geografía de México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2000), Hidrología superficial, escala 1:250 000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2004), Guía para la interpretación de cartografía edafología, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INIFAP y CONABIO (2005), Edafología, escalas 1:250 000 y 1:1 000 000, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad, México.
- INEGI, (varios años), Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía -(<https://www.inegi.org.mx/datos/>).
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2006). Repelencia al agua en suelos: una síntesis. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, XXX(115), 215-232.
- Jordan, J. (2010). Mediciones experimentales de la infiltración en diferentes tipos de suelo con infiltrómetro de minidisco- Ljubljana: Facultad de Ingeniería Civil y Geodesia.
- Klute, A. (1965). Laboratory measurements of hydraulic conductivity of saturated soil. p. 253-261. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI
- Lichner, L., Orfanus, T., Nováková, K., Sir, M., y Tesar, M. (2007). The impact of vegetation on hydraulic conductivity of sand soil. Soil and Water Res., (2) 59-66.
- MAGRAMA. (2010). Actuaciones de Restauración Hidrológico Forestal en el Principado de Asturias (2002-2010). Gobierno del Principado de Asturias.
- Marín C, S y Torres-Ruata, (1990), Hidrogeología. IV. 6. 3. Atlas Nacional de México. Vol. II, Instituto de Geografía, UNAM.
- Martínez de Azagra, A. (2006). Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis dimensional. Ecología (20), 471-491.
- Martínez de Azagra, A. y Navarro, J. (1996). Hidrología Forestal: El ciclo hidrológico. Palencia. Universidad de Valladolid.
- Martínez, V. J. (2015). Estudio comparativo de infiltración entre parcelas de bosque mixto urbano y de ribera en la ciudad de Liubliana (Eslovenia). Tesis Máster en Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. 208 pgs.
- Mertens, J., D. Jacques, J. Vanderborght, and J. Feyen. (2002). Characterization of the field-saturated hydraulic conductivity on a hillslope: in situ single ring pressure infiltrometer measurements. J. Hydrol. 263: 217-229.
- Mongil, J., y Navarro, J. (2012). Infiltración y grupos hidrológicos de suelos en las laderas de las páramos (Valladolid). Cuadernos de Investigación Geográfica. Universidad de la Rioja (38).
- Muñoz-Arriola, F., R. Avissar, C. Zhu, D. P. Lettenmaier (2009). Sensitivity of the water resources of Rio Yaqui Basin, Mexico, to agriculture extensification under multiscale climate conditions. Wat. Res. Res. Vol. 45 (11), DOI: 10.1029/2007WR006783.
- Neris, J., Jiménez, C., fuentes, J., Morillas, G. y Tejedor, M. (2012). Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). Catena (98). pp 55-62.
- Nieto Samaniego, A. F., S. A. Alaniz Álvarez y A. Camprubí Cano (2005), "La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica", Bol. Soc. Geol. Mex., vol. Conmemorativo del Centenario, Temas Selectos Geología Mexicana, LVII, no. 3, pp. 285-318.
- Peñuela Arévalo, L. A. (2007), Proceso de recarga-descarga de agua subterránea en zonas receptoras de pago por servicio ambiental hidrológico, Sierras Nevada y Las Cruces-México, tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Peñuela Arévalo, L. A. (2012), Caracterización del funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea en la porción centro-sur de la Mesa Central, México, tesis de Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, en proceso.
- Peñuela Arévalo L. A. y J. J. Carrillo Rivera (2012), "Discharge areas as a useful tool for understanding recharge areas, study case: Mexico catchment", Environmental Earth Sciences, julio 24, en línea.
- Pizarro, T. R., Flores, V. J. P., Sangüesa, P. C. y Martínez, A. E. (2016). Curvas de infiltración: Módulo 3. Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA. De la fuente: http://www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/guias%20y%20manuales/eias/manuales/c_modulo_curva_infiltracion.pdf
- PORTAL DE GEO INFORMACIÓN, SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).
- Prol, R. M. (1988), El calor de la Tierra, Fondo de Cultura Económica, México.
- R. HERAS. (2007). "Hidrología y recursos hidráulicos". Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos. Instituto de Hidrología. Escuela de Hidrología y Recursos Hidráulicos, Madrid, España.
- Ravi, V., & Williams, J. R. (1998). Estimation of Infiltration Rate in the Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models. Volume I. Technical Report No. EPA/600/R-97/128a. Ada, USA: United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory.
- Ruiz, R. E. y Martínez, S. M. (2014). Infiltración y humedad del suelo. En Hidrología Aplicada: Tema 4. Sitio WEB OpenCourseWare de la fuente: https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/4575/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, (2007). Diagnóstico Ambiental del Estado de México por Regiones Hidrográficas 2007, Gobierno del Estado de México.
- SEDESOL (2005), Integración del Sistema Nacional de Información para el desarrollo territorial en la fase correspondiente a la Caracterización del territorio: Diagnóstico funcional del territorio nacional, Secretaría de Desarrollo Social, Convenio SEDESOL-Instituto de Geografía, UNAM, febrero-abril.
- SRH (1976), Atlas del agua de la República Mexicana, Cincuentenario de la creación de la Comisión Nacional de Irrigación Precursora de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- Taboada, C. M. M., Lado, L. M., Diéguez, V. A. y Paz G. A. (1999). Evolución temporal de la infiltración superficial a escala de parcela. En: Avances sobre el estudio de la erosión hídrica. Capítulo 4. Universidad de La Coruña. Pags 101-127
- Tóth, J. (2009). *Gravitational Systems of Groundwater Flow: Theory, Evaluation, Utilization*. Cambridge University Press.
- Tóth, J. (2000), "Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones", Boletín Geológico y Minero, vol. 111, núm. 4, pp. 9-26.
- Ulloa, C., Pazmiño, K., Cárdenas, D., & Arcos, C. (2014). Desarrollo de repelencia al agua en suelos afectados por incendios, en una zona del Parque Metropolitano del Distrito Metropolitano de Quito. (E. Universidad Politécnica Salesiana, Ed.) La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 19(1).
- Vandervaere, J. P., C. Puegeot, M. Vauclin, R. Angulo-Jaramillo y T. Lebel (1997). Estimating hydraulic conductivity of crested Soils using disc infiltrometers and minitensiometer. J. Hydrlog. 188-189; 203-223.
- Vandervaere, J.P., M. Vauclin and D. Elrick. Transient flow from tensión infiltrometer: II. Four métodos to determine sorptivity and conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Vol. 64, July-August.
- Vilhar, U., Zlindra, D. (2013). Monitoring data analysis and processing. EMoNDur Project Life+.
- Weber, J. F. y Apestegui, L. (2016). Relaciones entre parámetros de los modelos de infiltración de Kostiaikov y Lewis-Kostiaikov, Córdoba, Argentina. Tecnología y Ciencias del Agua, vol VII, núm. 2, pp. 115-132.
- Weigand, P. (2002), "Observaciones preliminares sobre la ecología histórica de la región de Los Altos de Jalisco", en Weigand P. (comp.), Estudio histórico y cultural sobre los huicholes, Universidad de Guadalajara, México.
- Westenbroek, S. M., Engott, J. A., Kelson, V. A., & Hunt, R. J. (2018). SWB Version 2.0—A Soil-Water-Balance Code for Estimating Net Infiltration and Other Water-Budget Components. (USGS, Ed.) Reston, Virginia, USA: Virginia.
- Wooding, R. A., (1968). Steady infiltration from a shallow circular pond. Water Resour. Res. 4:1259-1273.
- Zhanf. R., (1997). Infiltration models for the disk infiltrometer. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1597-1603.
- Zhu, Chunmei, Dennis P. Lettenmaier (2007). Long-Term Climate and Derived Surface Hydrology and Energy Flux Data for Mexico: 1925-2004. J. Climate, 20, 1936-1946.

Paginas WEB:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>

<http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-8/>

<https://www.datuopinion.com/textura-del-suelo>

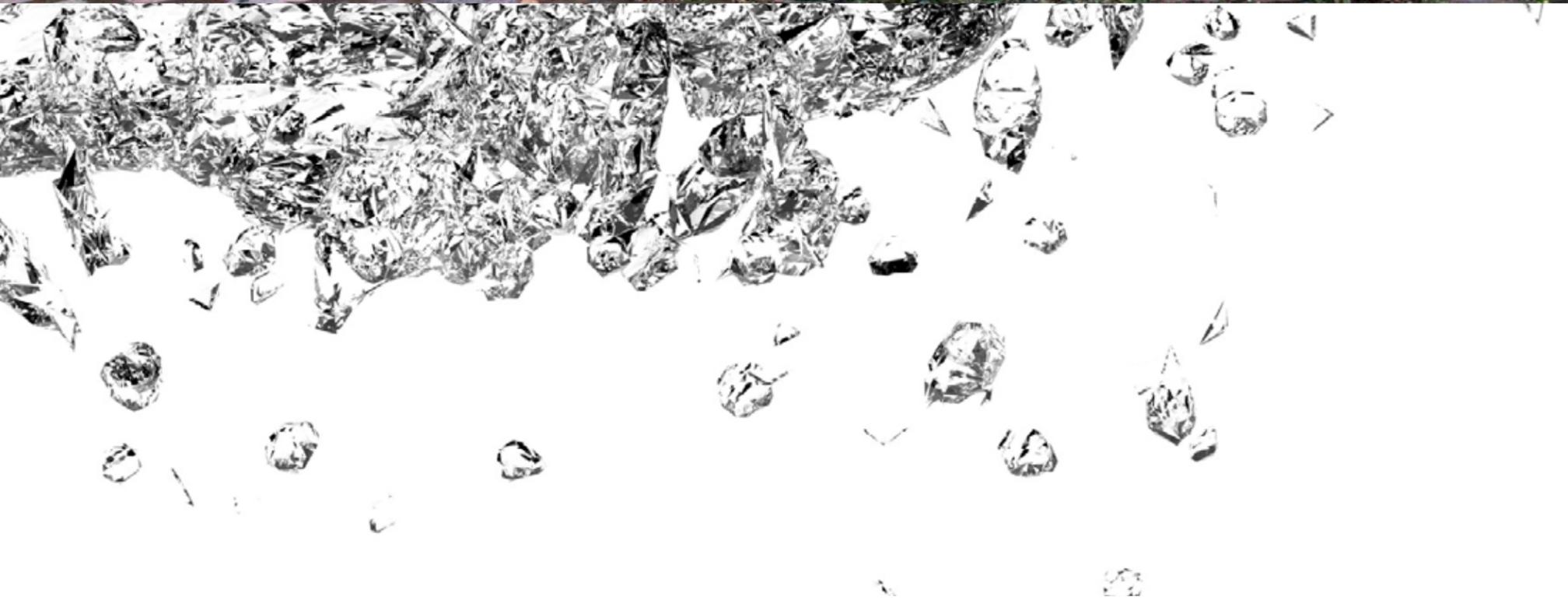
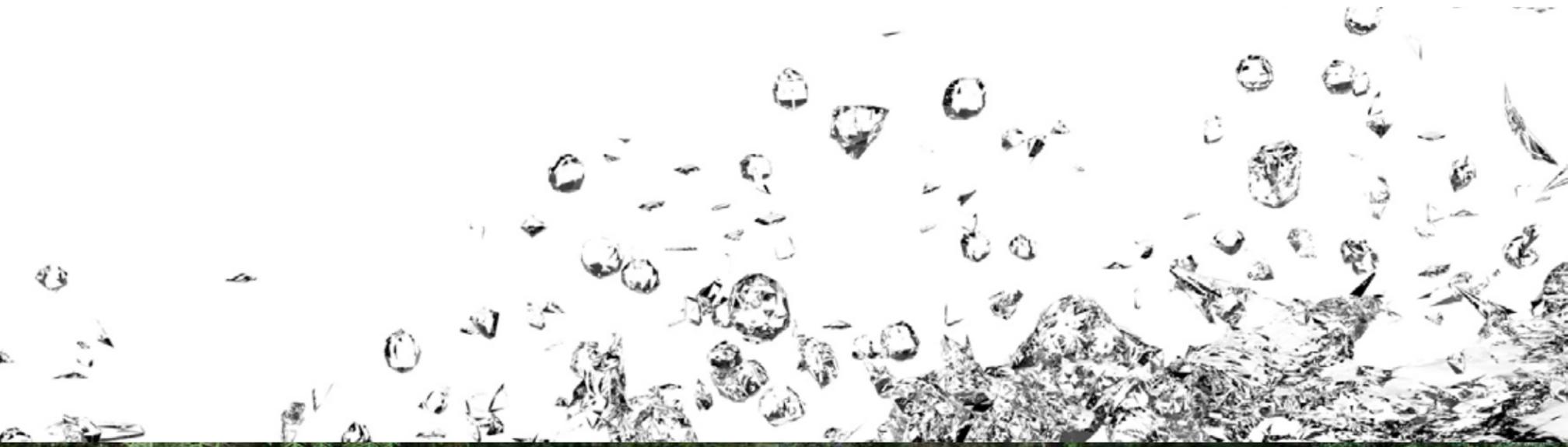
<https://www.hydrogeophysicsndt.com/laboratorio-de-hidrologia/>

<http://clicom-mex.cicese.mx/malla>

<http://cola.gmu.edu/grads/>

https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5336

https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441



Anexo I

Glosario básico de cartografía

Este apartado está dirigido a usuarios sin ninguna especialización en el área de suelos y tiene como objetivo explicar de una forma clara y sencilla conceptos que seguramente encontrará a su paso durante la consulta de este informe.

ACRISOLES. Símbolo: A. Suelos ácidos de climas húmedos, con un subsuelo arcilloso y pobres en general.

ACRISOL FERRICO. Símbolo: Af. Acrisol con un subsuelo muy rojo y claro con piedritas llamadas "nódulos" generalmente redondas, duras y de color rojizo.

ACRISOL GLEYICO. Símbolo: Ag. Acrisol con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

ACRISOL HUMICO. Símbolo: Ah. Acrisol con alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y con poco menos contenido de materia orgánica en las capas de abajo.

ACRISOL ORTICO. Símbolo: Ao. Acrisol sin ninguna otra propiedad especial.

ACRISOL PLINTICO. Símbolo Ap. Acrisol muy pobre, arcilloso y frecuentemente con manchas rojas en el perfil.

ANDOSOLES. Símbolo: T. Suelos oscuros muy ligeros, con alto contenido de ceniza y otros materiales de origen volcánico.

ANDOSOL HUMICO. Símbolo: Th. Andosol con una capa superficial algo gruesa, oscura pero pobre en nutrientes, con terrones muy duros cuando están secos.

ANDOSOL MOLICO. Símbolo: Tm. Andosol con una capa superficial oscura, gruesa, rica en nutrientes y con buen contenido de materia orgánica.

ANDOSOL OCRICO. Símbolo: To. Andosol muy limoso o arcilloso a menos de 50 cm de profundidad; tiene una capa superficial clara y pobre en materia orgánica y nutrientes.

ANDOSOL VITRICO. Símbolo: Tv. Similar al Andosol ócrico, pero además con mucho vidrio volcánico en todas las capas del suelo.

ARENOSOLES. Símbolo: Q. Suelos muy arenosos.

ARENOSOL ALBICO. Símbolo: Qa. Arenosol del cual se han removido partículas finas de suelo (arcilla) de la capa superficial hacia abajo.

ARENOSOL CAMBICO. Símbolo: Qc. Arenosol con subsuelo diferente a simple vista de la capa superficial y sin ninguna otra propiedad especial.

ARENOSOL FERRALICO. Símbolo: Qf. Arenosol con subsuelo arcilloso de más de 30 cm de espesor, con baja capacidad de almacenamiento de nutrientes.

ARENOSOL LUVICO. Símbolo: Ql. Arenosol con arcilla acumulada en forma horizontal en alguna parte del suelo.

CAMBIOSOLES. Símbolo: B. Suelos con un subsuelo muy diferente a simple vista en color y textura a la capa superficial. La capa superficial puede ser oscura, con más de 25 cm de espesor pero pobre nutrientes y en ocasiones no existe.

CAMBISOL CALCICO. Símbolo: Bk. Cambisol rico o muy rico en calcio.

CAMBISOL CROMICO. Símbolo: Bc. Cambisol que cuando está húmedo es de color pardo oscuro a rojo poco intenso.

CAMBISOL DÍSTRICO. Símbolo: Bd. Cambisol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

CAMBISOL ÉUTRICO. Símbolo: Be. Cambisol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

CAMBISOL FERRALICO. Símbolo: Bf. Cambisol con subsuelo bajo en CIC, es decir, con poco poder de almacenar nutrientes.

CAMBISOL GELICO. Símbolo: Bx. Cambisol con hielo a menos de 2 metros de profundidad.

CAMBISOL GLEYICO. Símbolo: Bg. Cambisol con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la

CAMBISOL HUMICO. Símbolo: Bh. Cambisol con una capa superficial oscura, a veces gruesa, de regular a buen contenido de materia orgánica pero pobre en nutrientes.

CAMBISOL VERTICO. Símbolo: Bv. Cambisol con subsuelo ligeramente agrietado en alguna parte de la mayoría del perfil.

CASTAÑOZEMS. Símbolo: K. Suelos de color castaño o pardo de climas semisecos. Tienen una capa superficial oscura, gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes; puede haber cal o yeso en algún lugar del suelo.

CASTAÑOZEM CALCICO. Símbolo: Kk. Castañozem con una capa de más de 15 cm de espesor rica en cal o yeso.

CASTAÑOZEM HAPLICO. Símbolo: Kh. Castañozem sin ningún otra propiedad especial.

CASTAÑOZEM LUVICO. Símbolo: Kl. Castañozem con acumulación considerable de arcilla en el subsuelo.

CHERNOZEMS. Símbolo: C. Suelos negros de climas semisecos. La única diferencia con los Castañozems es su color superficial más oscuro.

CHERNOZEM CALCICO. Símbolo: Ck. Chernozem con una capa de más de 15 cm de espesor rica en cal o yeso.

CHERNOZEM HAPLICO. Símbolo: Ch. Chernozem sin ningún otra propiedad especial.

CHERNOZEM LUVICO. Símbolo: Cl. Chernozem con acumulación considerable de arcilla en el subsuelo.

FASE CONCRECIONARIA. Suelo con una capa muy dura de cuando menos 25 cm de espesor, constituido básicamente por arcilla y fragmentos gruesos.

FASE DEL SUELO. Cualquier obstáculo físico o químico que afecte el manejo apropiado del suelo.

FASE DURICA. Suelo con una capa endurecida de material resistente al agua y al ácido. Esta capa está a menos de 50 cm de profundidad.

FASE DÚRICA PROFUNDA. Suelo con una capa endurecida de material resistente al agua y al ácido. Esta capa está entre 50 y 100 cm de profundidad.

FASE FÍSICA. Cualquier obstáculo físico (rocas, gravas, piedras...) que impidan el apropiado uso del suelo o de maquinaria agrícola. Entre más cercana esté la fase con respecto a la superficie se considera más problemática.

FASE FRAGICA. Suelo con una capa generalmente pesada, de muchos colores, casi sin materia orgánica y dura cuando está seca. Esta capa puede estar a menos de 100 cm de profundidad.

FASE FUERTEMENTE SALINA. Símbolo (S). Suelo con el mayor nivel de salinidad. Muy difícil de trabajar y es poco fértil.

FASE FUERTEMENTE SALINA FUERTEMENTE SÓDICA. Símbolo (SN). Suelo con el mayor nivel de salinidad y sodicidad. Se considera prácticamente infértil para la mayoría de las plantas.

FASE FUERTEMENTE SALINA SÓDICA. Símbolo (Sn). Suelo con el mayor nivel de salinidad y con cantidades de sodio suficientes para disminuir considerablemente la fertilidad y aprovechamiento de los suelos.

FASE FUERTEMENTE SÓDICA. Símbolo (N). Suelo con el mayor nivel de sodicidad. Muy difícil de trabajar y es poco fértil.

FASE GRAVOSA. Suelo con muchas gravas a menos de 100 cm de profundidad y que limita o impide el uso de maquinaria agrícola. Las gravas miden de 0.2 a 7.5 cm en su parte más ancha.

FASE LÍTICA. Suelo con rocas duras a menos 50 cm de profundidad.

FASE LÍTICA PROFUNDA. Suelo con rocas duras entre 50 y 100 cm de profundidad.

FASE PEDREGOSA. Suelo con muchas piedras a menos de 100 cm de profundidad y que limita o impide el uso de maquinaria agrícola. Las piedras miden de 7.5 a 25 cm en su parte más ancha, es decir, son mucho más grandes que las gravas.

FASE PETROCALCICA. Suelo con una capa delgada muy dura, la cual se disuelve, y no completamente, en ácido. Esta capa está constituida de cal y algo de arena y se encuentra a menos de 50 cm de profundidad.

FASE PETROCALCICA PROFUNDA. Suelo con una capa delgada muy dura, la cual se disuelve, y no completamente, en ácido. Esta capa está constituida de cal y algo de arena y se encuentra entre 50 y 100 cm de profundidad.

FASE PETROGYPSICA. Suelo con una capa delgada muy dura, la cual se disuelve, y no completamente, en ácido. Esta capa está constituida principalmente de yeso y se encuentra a menos de 50 cm de profundidad.

FASE PETROGYPSICA PROFUNDA. Suelo con una capa delgada muy dura, la cual se disuelve, y no completamente, en ácido. Esta capa está constituida principalmente de yeso y se encuentra entre 50 y 100 cm de profundidad.

FASE QUÍMICA. Presencia de sales o cantidades de sodio considerables en los primeros 125 cm de suelo que limitan o impiden el uso agrícola del mismo.

FASE SALINA. Símbolo (s). Suelo que contiene suficientes sales solubles como para reducir su fertilidad.

FASE SALINA FUERTEMENTE SÓDICA. Símbolo (sN). Suelo con el mayor nivel de sodicidad y con suficientes sales solubles como para reducir considerablemente su fertilidad. Muy difícil de trabajar.

FASE SÓDICA. Símbolo (n). Suelo con acumulación de sodio suficiente para reducir su fertilidad.

FEOZEMS. Símbolo: H. Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes.

FEOZEM CALCÁRICO. Símbolo: Hc. Feozem con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.

FEOZEM GLEYICO. Símbolo: Hg. Feozem con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

FEOZEM HAPLICO. Símbolo: Hh. Feozem sin ninguna otra propiedad especial.

FEOZEM LÚVICO. Símbolo: Hl. Feozem con un subsuelo más rico en arcilla que la capa superficial.

FLUVISOLES. Símbolo: J. Suelos formados por materiales arrastrados por los ríos. Su capa superficial es clara, delgada y con cantidades variables de materia orgánica y nutrientes.

FLUVISOL CALCÁRICO. Símbolo: Jc. Fluvisol con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.

FLUVISOL DÍSTRICO. Símbolo: Jd. Fluvisol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

FLUVISOL EÚTRICO. Símbolo: Je. Fluvisol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

FLUVISOL GLEYICO. Símbolo: Jg. Fluvisol con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

FLUVISOL TIÓNICO. Símbolo: Jt. Fluvisol con una capa amarilla muy clara y ácida, constituida de materiales sulfurosos o de azufre.

GLEYSOLES. Símbolo: G. Suelos pantanosos o inundados a menos de 50 cm de profundidad la mayor parte del año.

GLEYSOL CALCÁRICO. Símbolo: Gc. con algo de cal o yeso a menos de 50 cm de profundidad.

GLEYSOL DÍSTRICO. Símbolo: Gd. Gleysol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

GLEYSOL EÚTRICO. Símbolo: Ge. Gleysol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

GLEYSOL HÚMICO. Símbolo: Gh. Gleysol con alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y con poco menos contenido de materia orgánica en las capas de abajo.

GLEYSOL MÓLICO. Símbolo: Gm. Gleysol con una capa superficial oscura, gruesa, rica en nutrientes y con buen contenido de materia orgánica.

GLEYSOL PLÍNTICO. Símbolo: Gp. Gleysol muy pobre, arcilloso y frecuentemente con manchas rojas en el perfil.

GLEYSOL VÉRTICO. Símbolo: Gv. Gleysol con subsuelo ligeramente agrietado en alguna parte de la mayoría de los años.

HISTOSOLES. Símbolo: H. Suelos orgánicos con una capa mayor de 40 cm de espesor, generalmente están inundados. Son los suelos con mayor contenido de materia orgánica.

HISTOSOL DÍSTRICO. Símbolo: Hd. Histosol muy ácido con bajo o muy bajo contenido de nutrientes tales como calcio, magnesio y potasio, en una profundidad menor a 50 cm.

HISTOSOL EÚTRICO. Símbolo: He. Histosol ácido o neutro con alto o muy alto contenido de nutrientes tales como calcio, magnesio y potasio, en una profundidad menor a 50 cm.

LITOSOL. Símbolo: I. Suelo con menos de 10 cm. de espesor.

LUVISOLES. Símbolo: L. Suelos con mucha arcilla acumulada en el subsuelo. Se diferencian de los Acrisoles en que son más fértiles en general.

LUVISOL ÁLBICO. Símbolo: La. Luvisol del cual se han removido partículas finas de suelo (arcilla) de la capa superficial hacia abajo.

LUVISOL CÁLCICO. Símbolo: Lk. Luvisol rico o muy rico en calcio.

LUVISOL CRÓMICO. Símbolo: Lc. Luvisol que cuando está húmedo es de color pardo oscuro a rojo poco intenso (rojizo).

LUVISOL FÉRRICO. Símbolo: Lf. Luvisol con un subsuelo muy rojo y claro con piedritas llamadas "nódulos" generalmente redondas, duras y de color rojizo.

LUVISOL GLEYICO. Símbolo: Lg. Luvisol con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

LUVISOL ÓRTICO. Símbolo: Lo. Luvisol sin otra característica especial.

LUVISOL PLÍNTICO. Símbolo: Lp. Luvisol muy pobre, arcilloso y frecuentemente con manchas rojas en el perfil.

LUVISOL VÉRTICO. Símbolo: Lv. Luvisol con subsuelo ligeramente agrietado en alguna parte de la mayoría de los años.

NITOSOLES. Símbolo: N. Suelos brillantes, profundos y muy arcillosos en todo el perfil. Se encuentran en zonas generalmente muy lluviosas.

NITOSOL DÍSTRICO. Símbolo: Nd. Nitosol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

NITOSOL EÚTRICO. Símbolo: Ne. Nitosol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

NITOSOL HÚMICO. Símbolo: Nh. Nitosol con alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y con poco menos contenido de materia orgánica en las capas de abajo.

PERFIL DE SUELO. Corte o excavación del suelo con el fin de clasificarlo mediante la evaluación de las características más importantes de cada capa de suelo.

PLANOSOLES. Símbolo: W. Suelos situados generalmente en depresiones topográficas. Tiene un subsuelo arcilloso que disminuye el drenaje considerablemente.

PLANOSOL DÍSTRICO. Símbolo: Wd. Planosol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

PLANOSOL EÚTRICO. Símbolo: We. Planosol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

PLANOSOL HÚMICO. Símbolo: Wh. Planosol con alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y con poco menos contenido de materia orgánica en las capas de abajo.

PLANOSOL MÓLICO. Símbolo: Wm. Planosol con una capa superficial oscura, gruesa, rica en nutrientes y con buen contenido de materia orgánica.

PLANOSOL SOLÓDICO. Símbolo: Ws. Planosol con presencia de sales.

PUNTO DE VERIFICACION. Sitio sobre el terreno en donde el especialista verifica su fotointerpretación y obtiene información complementaria sobre las características y condiciones de los suelos.

RANKER. Símbolo: U. Suelos de menos de 25 cm de espesor, procedentes de arenas y que se localizan generalmente sobre colinas o pendientes onduladas. Similares a las rendzinas, a diferencia de que no se encuentran sobre rocas de cal y de que su capa superficial es más dura o pobre en nutrientes.

REGOSILES. Símbolo: R. Suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre.

REGOSOL CALCÁRICO. Símbolo: Rc. Regosol con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.

REGOSOL DÍSTRICO. Símbolo: Rd. Regosol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

REGOSOL EÚTRICO. Símbolo: Re. Regosol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.

RENDZINA. Símbolo: E. Suelos con menos de 50 cm de espesor que están encima de rocas duras ricas en cal. La capa superficial es algo gruesa, oscura y rica en materia orgánica y nutrientes.

SOLONCHAKS. Símbolo: Z. Suelos alcalinos con alto contenido de sales en alguna capa a menos de 125 cm de profundidad.

SOLONCHAK GLEYICO. Símbolo: Zg. Solonchak con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

SOLONCHAK MÓLICO. Símbolo: Zm. Solonchak con una capa superficial oscura, gruesa, rica en nutrientes y con buen contenido de materia orgánica.

SOLONCHAK ÓRTICO. Símbolo: Zo. Solonchak con una capa superficial clara y pobre en materia orgánica y nutrientes.

SOLONCHAK TAKYRICO. Símbolo: Zt. Solonchak de textura arcillosa y con grietas en la superficie cuando el suelo está seco.

SOLONETZ. Símbolo: S. Suelos muy alcalinos en donde predomina el sodio en el subsuelo. En general son muy difíciles de trabajar y de recuperar económicamente.

SOLONETZ ALBICO. Símbolo: Sa. Solonetz del cual se han removido partículas finas de suelo (arcilla) de la capa superficial hacia abajo. Se distingue visualmente una capa horizontal muy blanca de suelo.

SOLONETZ GLEYICO. Símbolo: Sg. Solonetz con un subsuelo de varios colores. Esta propiedad es posiblemente causada por la inundación del suelo en alguna parte de la mayoría de los años.

SOLONETZ MÓLICO. Símbolo: Sm. Solonetz con una capa superficial oscura, gruesa, posiblemente rica en nutrientes y de buen contenido de materia orgánica.

SOLONETZ ÓRTICO. Símbolo: So. Solonetz con una capa superficial clara y pobre en materia orgánica y nutrientes.

SUBUNIDAD DE SUELO. Características más detalladas del suelo que lo distinguen de otro del mismo tipo o unidad.

UNIDAD CARTOGRÁFICA. Forma de asociar las principales subunidades de suelo (máximo tres), la clase textural y la fase dominante en un área determinada de suelo. La secuencia de las subunidades depende del mayor área que ocupen dentro del área.

UNIDAD DE SUELO. Características muy generales que hacen diferente cada tipo de suelo.

VERTISOLES. Símbolo: V. Suelos muy arcillosos en cualquier capa a menos de 50 cm de profundidad; en época de secas tienen grietas muy visibles a menos de 50 cm de profundidad, siempre y cuando no haya riego artificial. Estos suelos se agrietan en la superficie cuando están muy mojados.

VERTISOL CRÓMICO. Vertisol oscuro pero no tanto como el vertisol pélico.

VERTISOL PÉLICO. Vertisol muy oscuro.

XEROSILES. Símbolo: X. Suelos de regiones secas. Tienen generalmente una capa superficial clara y delgada, con cantidades muy variables de materia orgánica según el tipo de textura que tengan.

XEROSOL LÚVICO. Símbolo: Xl. Xerosol con acumulación considerable de arcilla en el subsuelo, más abajo puede haber rastros de cal o yeso.

XEROSOL GYPSICO. Símbolo: Xg. Xerosol con yeso en alguna parte del suelo.

XEROSOL CÁLCICO. Símbolo: Xk. Xerosol con cal en alguna parte del suelo.

XEROSOL HÁPLICO. Símbolo: Xh. Xerosol sin ninguna otra característica especial.

YERMOSILES. Símbolo: Y. Suelos de regiones desérticas. Tienen generalmente una capa superficial clara, delgada y pobre en materia orgánica.

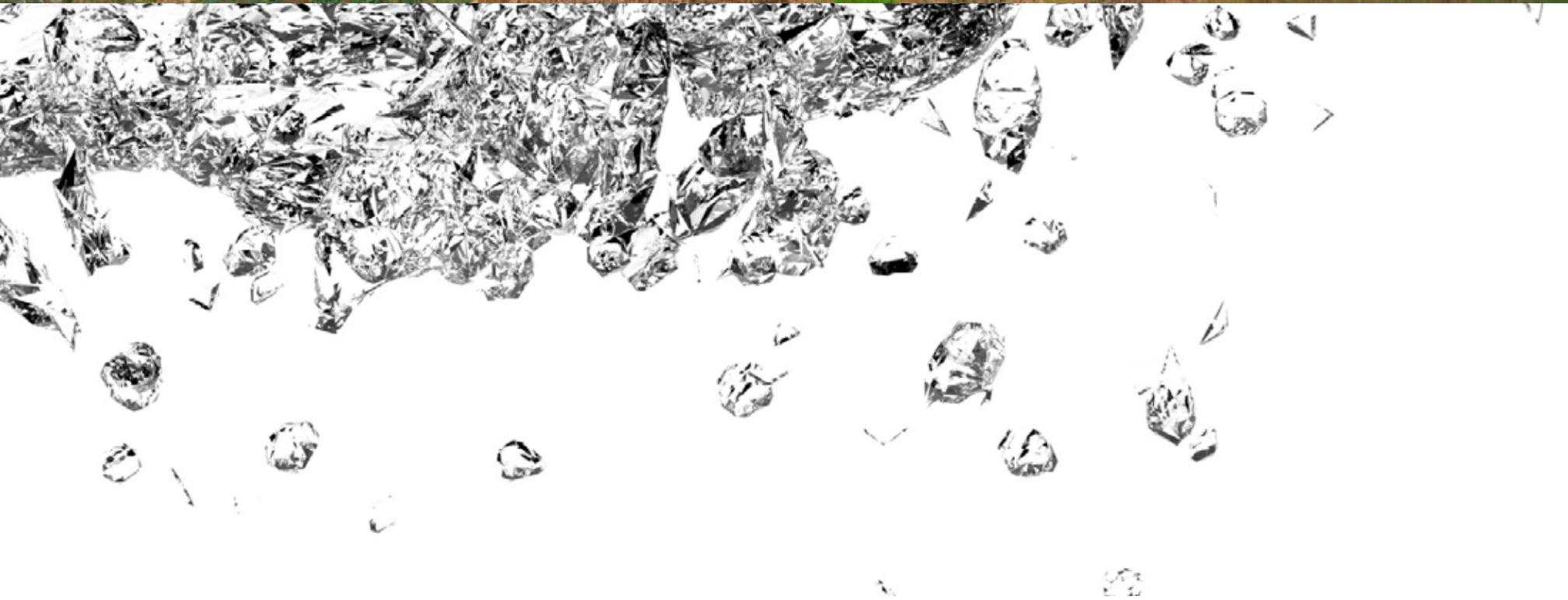
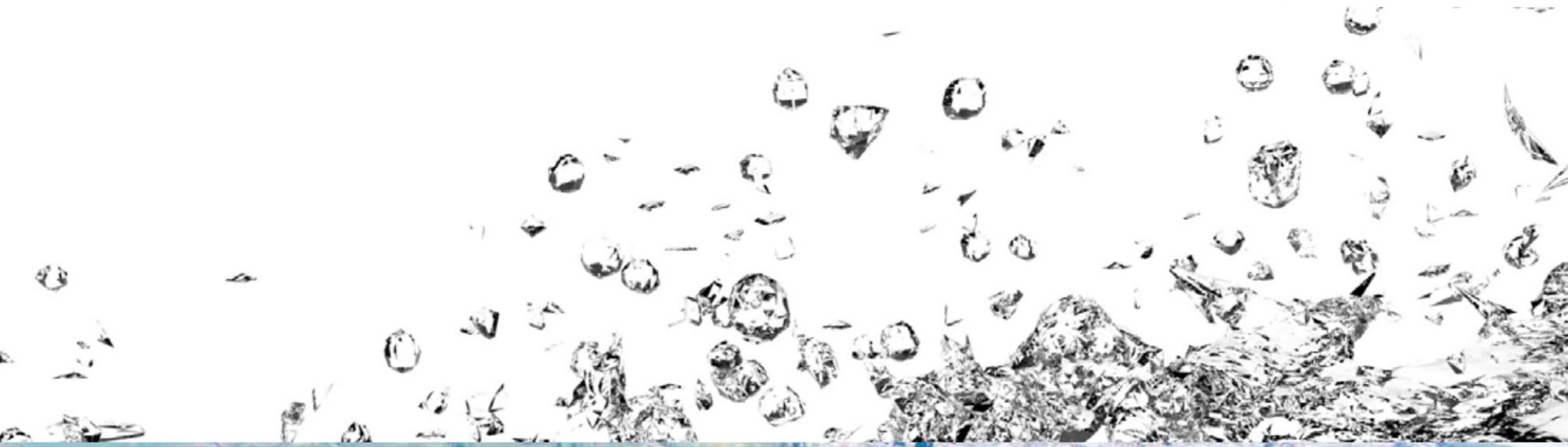
YERMOSOL CÁLCICO. Yermosol con cal en alguna parte del suelo.

YERMOSOL GYPSICO. Yermosol con yeso en alguna parte del suelo.

YERMOSOL HÁPLICO. Yermosol sin ninguna otra característica, salvo los descritos para la unidad.

YERMOSOL LÚVICO. Yermosol con puede existir un horizonte cálcico o gypsico.

YERMOSOL TAKYRICO. Yermosol de textura arcillosa, cuando está seco, presenta agrietamiento en forma de polígonos (takires).



Anexo II

Descripción de perfiles de suelos de INEGI ubicados en el Estado de México

PERFIL 012229	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2127668	ESTE: 361913
ALTITUD: 1700 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: RGHulep(sk)/2R Regosol Epiléptico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 18 °C Clima: (A)C(w"1)(wi)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Sureste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR4.5/4; color en húmedo: 7.5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Dominantes; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Muy drenado; pH: 4.6. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1; Capacidad de intercambio catiónico: 14.5; Saturación de bases: 61.7; Saturación de sodio: 0.4; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 4.5; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 4.3.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 30-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura : Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>	

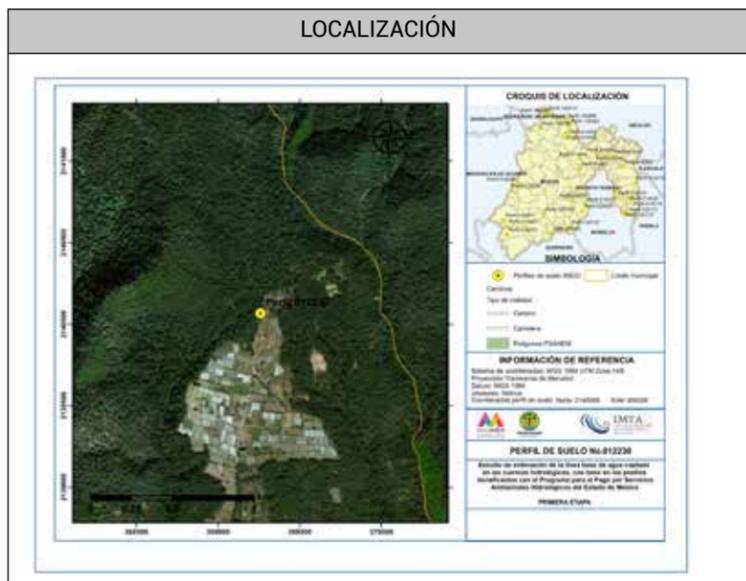


Ubicación del perfil de suelo No. 012229.

PERFIL 012230	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2140069	ESTE: 369259
ALTITUD: 2500 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVhhu/2 LUVISOL Umbrihúmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sureste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-22 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR3/3; color en húmedo: 10YR2/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Nula; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas, cantidad Escasas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 5.4. Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 4.8; Capacidad de intercambio catiónico: 37; Saturación de bases: 23.3; Saturación de sodio: 0.2; Potasio intercambiable: 0.7; Calcio intercambiable: 6.4; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 1.4.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 22-47 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR3/4; color en húmedo: 10YR2/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Frecuentes; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: > 100; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 5.6; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 3.7; Capacidad de intercambio catiónico: 25.2; Saturación de bases: 22.9; Saturación de sodio: 0.4; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 4.4; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 0.8.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 47-72 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR4/4; color en húmedo: 7.5YR3/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; alteración: : naturaleza ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 5.7; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 1.6; Capacidad de intercambio catiónico: 14.6; Saturación de bases: 29.9; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 0.6; Calcio intercambiable: 3.1; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 0.5.</p>	

Horizonte 4: Profundidad de 72-105 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR5/6; color en húmedo: 10YR3/6; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa-arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 5.9; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 16.3; Saturación de bases: 27.4; Saturación de sodio: 0.5; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 3.2; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 0.6.

Horizonte 3: Profundidad de: 25-56 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: cantidad; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.8; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 1; Capacidad de intercambio catiónico: 6; Saturación de bases: 63.5; Saturación de sodio: 3.7; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 1.7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.5.



Ubicación del perfil de suelo No. 012230.

PERFIL 014201	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2158142	ESTE: 456254
ALTITUD: 2995 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: ANmolen(hu,s)/2 ANDOSOL Endoléptico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm	
Temperatura media anual: 12 °C	
Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g	
Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico	
Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac	
Sistema de topoformas: Sierra	
Pendiente (%): 30	
Exposición perfil: Este	
Relieve: Levemente ondulado	
Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso	
Clase de afloramiento rocoso: Escasos	
Clase de drenaje externo: Rápido	
Formación vegetal o tipo de cultivo: bosque	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/3; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa-arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 6.2. Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 4.7; Capacidad de intercambio catiónico: 12; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 1.5; Potasio intercambiable: 1.3; Calcio intercambiable: 13; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 3.	
Horizonte 2: Profundidad de 15-25 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5.5/3; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.3; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.9; Capacidad de intercambio catiónico: 4.8; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 5.4; Potasio intercambiable: 0.8; Calcio intercambiable: 7.4; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 2.1.	

Horizonte 4: Profundidad de 56-80 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.7; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 28; Saturación de bases: 16.8; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 2.2; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.8.

Horizonte 5: Profundidad de 80-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: ND; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.



Ubicación del perfil de suelo No. 014201.

PERFIL 014202	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2207746	ESTE: 436975
ALTITUD: 2740 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: CMrolen/2R CAMBISOL Endoléptico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 800 mm	
Temperatura media anual: 14 °C	
Clima: C(w1)(w)b(i)g	
Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico	
Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo	
Sistema de topoformas: Lomerío	
Pendiente (%): 15	
Exposición perfil: Sureste	
Relieve: Levemente ondulado	
Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso	
Clase de afloramiento rocoso: Abundantes	
Clase de drenaje externo: Medio	
Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura de temporal	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 2.5YR4/3; color en húmedo: 2.5YR3/3; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 8. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.2; Capacidad de intercambio catiónico: 30.3; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 0.7; Potasio intercambiable: 6.1; Calcio intercambiable: 23.5; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 9.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 15-40 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 5YR4.5/4; color en húmedo: 5YR3/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 7.9; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.1; Capacidad de intercambio catiónico: 26.3; Saturación de bases: 83.3; Saturación de sodio: 0.6; Potasio intercambiable: 3.1; Calcio intercambiable: 13.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 5.4.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 40-65 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño, Grueso, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 5YR3/4; color en húmedo: 5YR3/4; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 7; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 31.3; Saturación de bases: 62.6; Saturación de sodio: 1.1; Potasio intercambiable: 3; Calcio intercambiable: 11.6; Sodio intercambiable: 0.4; Magnesio intercambiable: 4.7.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 65-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>



Ubicación del perfil de suelo No. 014202.

PERFIL 014203	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2202857	ESTE: 438179
ALTITUD: 2611 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVumgl(hu)/2r LUVISOL Endoglético
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Sur Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: pastizal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-32 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/3; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 5.9. Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 1.7; Capacidad de intercambio catiónico: 27.8; Saturación de bases: 45.5; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 7.6; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 4.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 32-56 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: <2%; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH de campo: 6.1; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 24.9; Saturación de bases: 49.6; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 6.7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 5.2.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 56-83 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR4/4; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: 2-20%; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 6.3; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 24.9; Saturación de bases: 51.1; Saturación de sodio: 1.2; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 6.9; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 5.3.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 83-110 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR4/3; color en húmedo: 7.5YR3/2.5; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de pedras; manchas: 2-20%; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 6.4; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.3; Capacidad de intercambio catiónico: 24.9; Saturación de bases: 47.5; Saturación de sodio: 1.1; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 6.5; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 4.8.</p>	

Horizonte 5: Profundidad de 110 centímetros en adelante; reacción al HCl: Sin efervescencia; **estructura:** Sin estructura, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** N/A; **color en húmedo:** N/A; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Sin consistencia; **adhesividad:** 0.0; **plasticidad:** 0.0; **textura:** FALSO; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Nulo; **pH:** 0; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0; **Capacidad de intercambio catiónico:** 0; **Saturación de bases:** 0; **Saturación de sodio:** 0; **Potasio intercambiable:** 0; **Calcio intercambiable:** 0; **Sodio intercambiable:** 0; **Magnesio intercambiable:** 0.

Horizonte 3: Profundidad de: 35-63 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, **tamaño,** Grueso, **desarrollo** Moderado; **poros:** cantidad ; **color en seco:** 7.5YR4.5/3; **color en húmedo:** 7.5YR2.5/3; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura al tacto:** Arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **alteración:** : **naturaleza:** ; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 5.1; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0.6; **Capacidad de intercambio catiónico:** 30.6; **Saturación de bases:** 21.2; **Saturación de sodio:** 0.8; **Potasio intercambiable:** 2.3; **Calcio intercambiable:** 1.3; **Sodio intercambiable:** 0.3; **Magnesio intercambiable:** 2.7.

Horizonte 4: Profundidad de 63-96 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Masiva, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** 7.5YR6.5/3; **color en húmedo:** 7.5YR4/3; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Sin consistencia; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 5.6; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0.1; **Capacidad de intercambio catiónico:** 25.2; **Saturación de bases:** 33.5; **Saturación de sodio:** 1.8; **Potasio intercambiable:** 2.6; **Calcio intercambiable:** 2.5; **Sodio intercambiable:** 0.5; **Magnesio intercambiable:** 2.9.

Horizonte 5: Profundidad de 96-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Masiva, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** 7.5YR7/3; **color en húmedo:** 7.5YR4.5/3; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Sin consistencia; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 5.7; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0.1; **Capacidad de intercambio catiónico:** 31.22; **Saturación de bases:** 29.4; **Saturación de sodio:** 1.5; **Potasio intercambiable:** 2.7; **Calcio intercambiable:** 2.9; **Sodio intercambiable:** 0.5; **Magnesio intercambiable:** 3.1.



Ubicación del perfil de suelo No. 014203.

PERFIL 014204	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2171805	ESTE: 457618
ALTITUD: 2718 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVcru/2 LUVISOL Úmbrico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	

Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, **tamaño** Medio, **desarrollo** Moderado; **color en seco:** 7.5YR4/3; **color en húmedo:** 7.5YR4/4; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Franco – arcillosa; **gravas,** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros,** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras,** cantidad Sin presencia de pedras; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros; **Manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 4.9. **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 1.5; **Capacidad de intercambio catiónico:** 20; **Saturación de bases:** 22.6; **Saturación de sodio:** 1; **Potasio intercambiable:** 1; **Calcio intercambiable:** 1.3; **Sodio intercambiable:** 0.2; **Magnesio intercambiable:** 2.

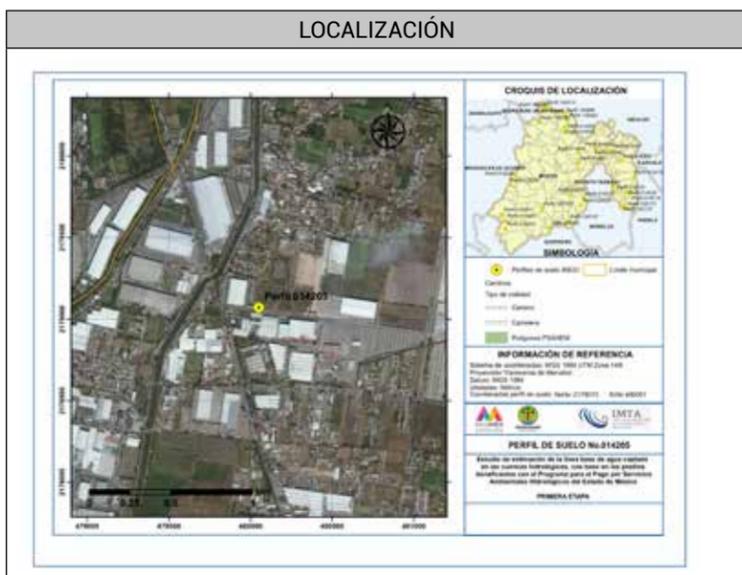
Horizonte 2: Profundidad de 25-35 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques, **tamaño** Fino, **desarrollo** Moderado; **color en seco:** 7.5YR6/4; **color en húmedo:** 7.5YR4/4; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros, **Manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH de campo:** 5.2; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0.7; **Capacidad de intercambio catiónico:** 24.4; **Saturación de bases:** 34.6; **Saturación de sodio:** 1.6; **Potasio intercambiable:** 2.8; **Calcio intercambiable:** 2.2; **Sodio intercambiable:** 0.4; **Magnesio intercambiable:** 3.1.



Ubicación del perfil de suelo No. 014204.

PERFIL 014205	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2179073	ESTE: 480051
ALTITUD: 2275 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: VRcahu(pe,mz,euh)/3 VERTISOL Húmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 700 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w0)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Llanura Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura de riego	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR5/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Extremadamente firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1 -2 centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 7.2. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.9; Capacidad de intercambio catiónico: 31.6; Saturación de bases: 89.9; Saturación de sodio: 1.4; Potasio intercambiable: 2.4; Calcio intercambiable: 18.1; Sodio intercambiable: 0.5; Magnesio intercambiable: 7.5.	
Horizonte 2: Profundidad de 30-60 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura : Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR4.5/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Extremadamente firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH de campo: 7.8; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 35; Saturación de bases: 87.6; Saturación de sodio: 1.5; Potasio intercambiable: 4.2; Calcio intercambiable: 16.4; Sodio intercambiable: 0.5; Magnesio intercambiable: 9.5.	
Horizonte 3: Profundidad de: 60-90 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: cantidad ; color en seco: 10YR4.5/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Extremadamente firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 8.1; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 44.8; Saturación de bases: 97.900001500000002; Saturación de sodio: 2.5; Potasio intercambiable: 2.3; Calcio intercambiable: 22.9; Sodio intercambiable: 1.1; Magnesio intercambiable: 17.5.	
Horizonte 4: Profundidad de 90-125 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR4/1; color en húmedo: 10YR1/1; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Extremadamente firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 8.1; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 44; Saturación de bases: 99.9; Saturación de sodio: 2.4; Potasio intercambiable: 2.8; Calcio intercambiable: 22.3; Sodio intercambiable: 1.1; Magnesio intercambiable: 17.8.	



Ubicación del perfil de suelo No. 014205.

PERFIL 014206	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2177682	ESTE: 494905
ALTITUD: 2260 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: SNhumo(ap,sl)/2 SOLONETZ Mólico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 600 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: BS1kw(w)(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Llanura Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Plano Relieve: Plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de riego	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Bloques, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/2; color en húmedo: 10YR3/1.5; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - limosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1 -2 centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 8.4. Conductividad eléctrica: 1.2; Carbono orgánico: 3.7; Capacidad de intercambio catiónico: 43.7; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 15.3; Potasio intercambiable: 8.1; Calcio intercambiable: 35.6; Sodio intercambiable: 6.7; Magnesio intercambiable: 23.	
Horizonte 2: Profundidad de 20-52 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura : Columnar, tamaño Muy grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Franco - limosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1 -2 centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH de campo: 8.4; Conductividad eléctrica: 1.5; Carbono orgánico: 3.4; Capacidad de intercambio catiónico: 47.8; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 16.3; Potasio intercambiable: 7.2; Calcio intercambiable: 31.9; Sodio intercambiable: 7.8; Magnesio intercambiable: 27.8.	
Horizonte 3: Profundidad de: 52-78 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Muy grueso, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR6/1; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 8.8000001999999995; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 2.7; Capacidad de intercambio catiónico: 44.5; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 22.9; Potasio intercambiable: 6.6; Calcio intercambiable: 29.4; Sodio intercambiable: 10.2; Magnesio intercambiable: 30.1.	
Horizonte 4: Profundidad de 78-110 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Bloques, tamaño Muy grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR6/2; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 8.7; Conductividad eléctrica: 0.7; Carbono orgánico: 2.4; Capacidad de intercambio catiónico: 45; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 19.1; Potasio intercambiable: 6.2; Calcio intercambiable: 31; Sodio intercambiable: 8.6; Magnesio intercambiable: 25.6.	
Horizonte 5: Profundidad de 110-125 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Bloques, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR6/2; color en húmedo: 10YR3.5/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 8.7; Conductividad eléctrica: 0.5; Carbono orgánico: 2.3; Capacidad de intercambio catiónico: 33.7; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 18.1; Potasio intercambiable: 3.5; Calcio intercambiable: 31.8; Sodio intercambiable: 6.1; Magnesio intercambiable: 21.5.	



Ubicación del perfil de suelo No. 014206.

PERFIL 014207	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2175429	ESTE: 503034
ALTITUD: 2370 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: DUcaptop(sow,ax)/2 DURISOL Epipétrico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 600 mm Temperatura media anual: 16 °C Clima: BS1kw(w)(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Llanura Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Noreste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Moderados Clase de drenaje externo: Rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de temporal Principales especies:	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR6/2; color en húmedo: 10YR3.5/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 8.8. Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 31.4; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 12; Potasio intercambiable: 4.5; Calcio intercambiable: 28.6; Sodio intercambiable: 3.8; Magnesio intercambiable: 14.8.	
Horizonte 2: Profundidad de 12-28 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; estructura : Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR6/2; color en húmedo: 10YR3.5/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 8.8; Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 0.5; Capacidad de intercambio catiónico: 33.4; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 8.6; Potasio intercambiable: 4.5; Calcio intercambiable: 29.7; Sodio intercambiable: 2.9; Magnesio intercambiable: 15.4.	
Horizonte 3: Profundidad de: 28-32 centímetros: reacción al HCl: Muy fuerte; estructura: Granular, tamaño, Muy fino, desarrollo Débil; poros: cantidad ; color en seco: 10YR7/2.5; color en húmedo: 10YR4/2.5; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 8.8; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.4; Capacidad de intercambio catiónico: 35; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 9.6; Potasio intercambiable: 4.7; Calcio intercambiable: 22.1; Sodio intercambiable: 3.4; Magnesio intercambiable: 16.4.	

Horizonte 4: Profundidad de 32 centímetros en adelante; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.



Ubicación del perfil de suelo No. 014207.

PERFIL 014208	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2160693	ESTE: 515194
ALTITUD: 2294 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: PHphlv/2 PHAEZEM Lúvico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 600 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Llanura Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Plano Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de riego DESCRIPCIÓN	
MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-26 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/2; color en húmedo: 10YR3/2.5; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1-2 centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 7.4. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.1; Capacidad de intercambio catiónico: 20.6; Saturación de bases: 85.9; Saturación de sodio: 4.2; Potasio intercambiable: 1.3; Calcio intercambiable: 9.1; Sodio intercambiable: 0.9; Magnesio intercambiable: 6.4.	
Horizonte 2: Profundidad de 26-52 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/3; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1-2 centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH de campo: 7.2; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.5; Capacidad de intercambio catiónico: 16; Saturación de bases: 89.3; Saturación de sodio: 3.6; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 7.4; Sodio intercambiable: 0.6; Magnesio intercambiable: 6.	

Horizonte 3: Profundidad de: 52-80 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques, tamaño, Muy grueso, **desarrollo** Moderado; **poros:** cantidad; **color en seco:** 10YR5.5/3; **color en húmedo:** 10YR3/3; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura al tacto:** Franco – arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **alteración:** : naturaleza; ; **grietas:** ancho de Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 7.4; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 0.5; **Capacidad de intercambio catiónico:** 25.2; **Saturación de bases:** 85.3; **Saturación de sodio:** 2.5; **Potasio intercambiable:** 0.4; **Calcio intercambiable:** 11.3; **Sodio intercambiable:** 0.6; **Magnesio intercambiable:** 9.2.

Horizonte 4: Profundidad de 80-102 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Masiva, tamaño Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** 10YR4/1; **color en húmedo:** 10YR3/1; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Firme; **adhesividad:** Fuerte; **plasticidad:** Fuerte; **textura:** Franco – arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 7.9; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 0.9; **Capacidad de intercambio catiónico:** 32.4; **Saturación de bases:** 79.8; **Saturación de sodio:** 2.4; **Potasio intercambiable:** 0.6; **Calcio intercambiable:** 13.9; **Sodio intercambiable:** 0.8; **Magnesio intercambiable:** 10.6.

Horizonte 5: Profundidad de 102-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Masiva, tamaño Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** 10YR5/2; **color en húmedo:** 10YR3/2; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Firme; **adhesividad:** Fuerte; **plasticidad:** Fuerte; **textura:** Franco - arcillosa- arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Moderadamente drenado; **pH:** 8; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 0.4; **Capacidad de intercambio catiónico:** 27.5; **Saturación de bases:** 75; **Saturación de sodio:** 2.8; **Potasio intercambiable:** 0.6; **Calcio intercambiable:** 10.7; **Sodio intercambiable:** 0.8; **Magnesio intercambiable:** 8.6.

Horizonte 1: Profundidad de 0-24 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, tamaño Fino, **desarrollo** Moderado; **color en seco:** 10YR4/2; **color en húmedo:** 10YR3/2; **consistencia en seco:** Ligeramente dura; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Franco – arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **grietas:** ancho de Sin Grietas centímetros; **Manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 6.1. **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 2.6; **Capacidad de intercambio catiónico:** 25.6; **Saturación de bases:** 23.3; **Saturación de sodio:** 1.9; **Potasio intercambiable:** 0.5; **Calcio intercambiable:** 3.5; **Sodio intercambiable:** 0.5; **Magnesio intercambiable:** 1.5.

Horizonte 2: Profundidad de 24-45 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, tamaño Muy fino, **desarrollo** Moderado; **color en seco:** 10YR5/3; **color en húmedo:** 10YR3/2; **consistencia en seco:** Ligeramente dura; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Franco - arcillosa- arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **grietas:** ancho de Sin Grietas centímetros, **Manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Drenado; **pH de campo:** 6.1; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 2.5; **Capacidad de intercambio catiónico:** 16.8; **Saturación de bases:** 41.9; **Saturación de sodio:** 3.4; **Potasio intercambiable:** 0.4; **Calcio intercambiable:** 4.5; **Sodio intercambiable:** 0.6; **Magnesio intercambiable:** 1.5.

Horizonte 3: Profundidad de: 45-83 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Granular, tamaño, Muy fino, **desarrollo** Débil; **poros:** cantidad; **color en seco:** 10YR6/3; **color en húmedo:** 10YR4/3; **consistencia en seco:** Blanda; **consistencia en húmedo:** Muy friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura al tacto:** Franco - arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **alteración:** : naturaleza; ; **grietas:** ancho de Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 6.5; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 1.1; **Capacidad de intercambio catiónico:** 25.6; **Saturación de bases:** 41.799999200000002; **Saturación de sodio:** 1.6; **Potasio intercambiable:** 1.5; **Calcio intercambiable:** 6.1; **Sodio intercambiable:** 0.4; **Magnesio intercambiable:** 2.6.

Horizonte 4: Profundidad de 83-104 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, tamaño Muy fino, **desarrollo** Débil; **color en seco:** 10YR6/4; **color en húmedo:** 10YR3/4; **consistencia en seco:** Ligeramente dura; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Franco - arcillosa- arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 6.5; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 0.4; **Capacidad de intercambio catiónico:** 22.3; **Saturación de bases:** 43.9; **Saturación de sodio:** 2.6; **Potasio intercambiable:** 1.5; **Calcio intercambiable:** 4.6; **Sodio intercambiable:** 0.6; **Magnesio intercambiable:** 3.1.

Horizonte 5: Profundidad de 104-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, tamaño Muy fino, **desarrollo** Débil; **color en seco:** 10YR6/4; **color en húmedo:** 10YR4/4; **consistencia en seco:** Ligeramente dura; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura:** Franco - arcillosa- arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de piedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 6.8; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0.4; **Capacidad de intercambio catiónico:** 17.6; **Saturación de bases:** 58.2; **Saturación de sodio:** 2.2; **Potasio intercambiable:** 1.4; **Calcio intercambiable:** 5.1; **Sodio intercambiable:** 0.4; **Magnesio intercambiable:** 3.4.



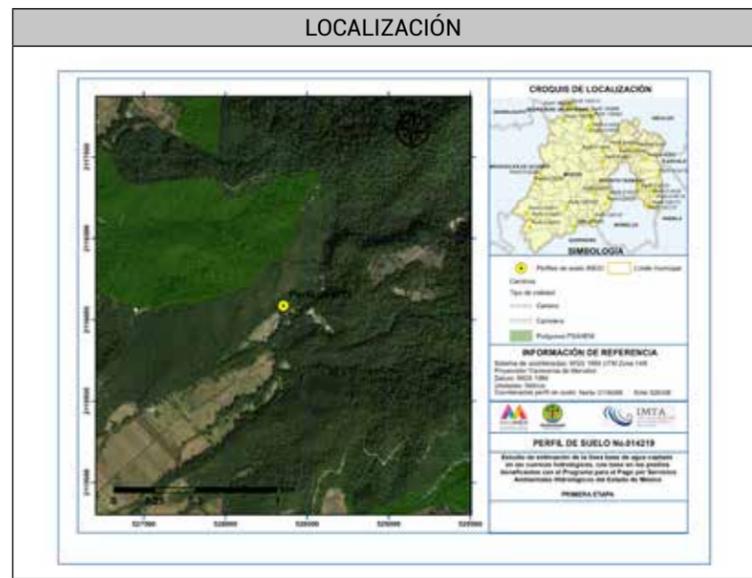
Ubicación del perfil de suelo No. 014208.

PERFIL 014218	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2138855	ESTE: 533858
ALTITUD: 3024 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVhuv/2 LUVISOL Umbrihúmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 10 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noreste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	



Ubicación del perfil de suelo No. 014218.

PERFIL 014219	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2116088	ESTE: 528356
ALTITUD: 2637 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: UMhu/2R UMBRISOL Húmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 12 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 40 Exposición perfil: Sureste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Muy rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-28 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3/2; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa; gravas, cantidad Abundantes; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.7. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 6.6; Capacidad de intercambio catiónico: 37; Saturación de bases: 35.9; Saturación de sodio: 0.6; Potasio intercambiable: 0.9; Calcio intercambiable: 10.7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.5.	
Horizonte 2: Profundidad de 28-48 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Frecuentes; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.3; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 15.3; Saturación de bases: 45.8; Saturación de sodio: 1.8; Potasio intercambiable: 0.7; Calcio intercambiable: 4.2; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 1.9.	
Horizonte 3: Profundidad de: 48-71 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Fino, desarrollo Débil; poros: cantidad; color en seco: 10YR4/3; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Frecuentes; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.5; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 15.3; Saturación de bases: 48.1; Saturación de sodio: 1.8; Potasio intercambiable: 0.8; Calcio intercambiable: 4.3; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 2.	
Horizonte 4: Profundidad de 71-102 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR4/3; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.6; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 16.7; Saturación de bases: 49.3; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 1; Calcio intercambiable: 4.6; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.5.	
Horizonte 5: Profundidad de 102-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Frecuentes; manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 6.7; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 21.4; Saturación de bases: 46.2; Saturación de sodio: 1.4; Potasio intercambiable: 1.8; Calcio intercambiable: 4.6; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 3.2.	



Ubicación del perfil de suelo No. 014219.

PERFIL 014220	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2116779	ESTE: 523620
ALTITUD: 2480 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: PHphhu/2 PHAEZEM Húmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Llanura Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Plano Relieve: Plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Pastizal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/2; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; pH: 6.7. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.1; Capacidad de intercambio catiónico: 16; Saturación de bases: 55.7; Saturación de sodio: 1.8; Potasio intercambiable: 1.3; Calcio intercambiable: 5; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 2.4.	
Horizonte 2: Profundidad de 25-50 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR5.5/2; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; pH de campo: 6.7; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1; Capacidad de intercambio catiónico: 19; Saturación de bases: 46.8; Saturación de sodio: 2.6; Potasio intercambiable: 0.9; Calcio intercambiable: 5; Sodio intercambiable: 0.5; Magnesio intercambiable: 2.5.	
Horizonte 3: Profundidad de: 50-75 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño, Muy fino, desarrollo Débil; poros: cantidad; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; pH: 6.5; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 15; Saturación de bases: 59.3; Saturación de sodio: 1.6; Potasio intercambiable: 0.6; Calcio intercambiable: 5.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.8.	

Horizonte 4: Profundidad de 75-100 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR2/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; pH: 6.4; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 15; Saturación de bases: 55.2; Saturación de sodio: 1.5; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 5; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.5.

Horizonte 5: Profundidad de 100-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; pH: 6.2; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 12.1; Saturación de bases: 57.9; Saturación de sodio: 1.7; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 4.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.1.

Horizonte 2: Profundidad de 35-70 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 2.5Y5.5/1; color en húmedo: 2.5Y2.5/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: 2-20%; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH de campo: 6.3; Conductividad eléctrica: 0.8; Carbono orgánico: 7.4; Capacidad de intercambio catiónico: 56; Saturación de bases: 71.4; Saturación de sodio: 3.5; Potasio intercambiable: 1.7; Calcio intercambiable: 19.1; Sodio intercambiable: 2; Magnesio intercambiable: 17.3.

Horizonte 3: Profundidad de: 70-95 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño, Fino, desarrollo Débil; poros: cantidad; color en seco: 2.5Y4.5/1; color en húmedo: 2.5Y2.5/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 7.2; Conductividad eléctrica: 0.8; Carbono orgánico: 9.4; Capacidad de intercambio catiónico: 23.2; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 7.1; Potasio intercambiable: 1.5; Calcio intercambiable: 21.1; Sodio intercambiable: 1.6; Magnesio intercambiable: 20.2.

Horizonte 4: Profundidad de 95-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 2.5Y7/1; color en húmedo: 2.5Y3.5/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Arcillo - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 7.8; Conductividad eléctrica: 0.7; Carbono orgánico: 7.8; Capacidad de intercambio catiónico: 58.4; Saturación de bases: 54.7; Saturación de sodio: 3.3; Potasio intercambiable: 0.8; Calcio intercambiable: 21.8; Sodio intercambiable: 1.9; Magnesio intercambiable: 7.5.



Ubicación del perfil de suelo No. 014220.

PERFIL 014221	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2126622	ESTE: 504549
ALTITUD: 2270 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: GLmoso(hu)/2 GLEYSOL Sódico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 700 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Llanura Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Sureste Relieve: Plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: Pastizal	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte 1: Profundidad de 0-35 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 2.5Y5/1; color en húmedo: 2.5Y2.5/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 8.3. Conductividad eléctrica: 0.9; Carbono orgánico: 6; Capacidad de intercambio catiónico: 40.8; Saturación de bases: 100; Saturación de sodio: 15.7; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 21.9; Sodio intercambiable: 6.4; Magnesio intercambiable: 25.4.



Ubicación del perfil de suelo No. 014221.

PERFIL 014222	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2118533	ESTE: 507030
ALTITUD: 2893 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LPhuu/2 LEPTOSOL Umbrihúmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 800 mm Temperatura media anual: 12 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Meseta Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Noreste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.6. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 3.9; Capacidad de intercambio catiónico: 37.6; Saturación de bases: 45.4; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 1.4; Calcio intercambiable: 11.1; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 4.3.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura : Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>

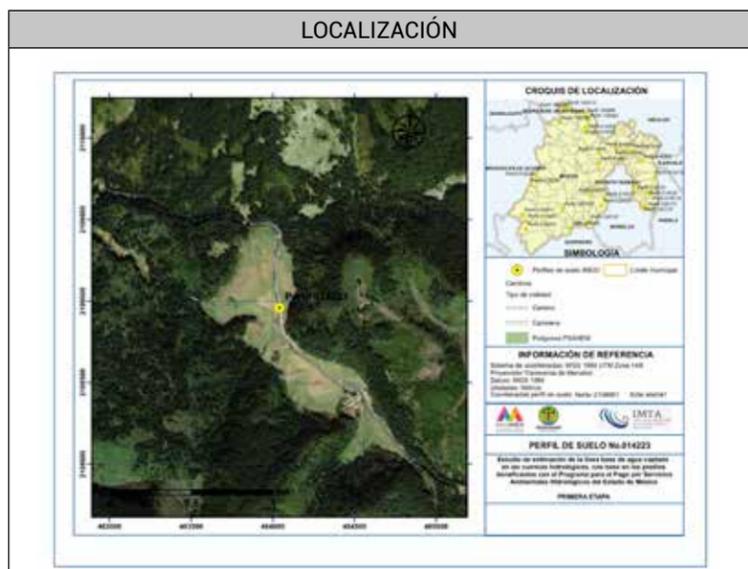


Ubicación del perfil de suelo No. 014222.

PERFIL 014223	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2108961	ESTE: 464041
ALTITUD: 3140 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: A N p h u m (d y h) / 2 ANDOSOL Úmbrico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1500 mm Temperatura media anual: 10 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-26 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6. Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 11.1; Capacidad de intercambio catiónico: 36; Saturación de bases: 12.5; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 3.2; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 0.9.</p>

<p>Horizonte 2: Profundidad de 26-52 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3.5/2; color en húmedo: 10YR2/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.4; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 6.4; Capacidad de intercambio catiónico: 41.6; Saturación de bases: 7.6; Saturación de sodio: 0.6; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 2; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.9.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 52-72 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño, Muy fino, desarrollo Débil; poros: cantidad ; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 7.6; Capacidad de intercambio catiónico: 60.4; Saturación de bases: 7.7; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 2.9; Sodio intercambiable: 0.6; Magnesio intercambiable: 1.1.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 72-85 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 5.9; Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 6.4; Capacidad de intercambio catiónico: 56; Saturación de bases: 8.3; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 2.2; Sodio intercambiable: 0.5; Magnesio intercambiable: 1.9.</p> <p>Horizonte 5: Profundidad de 85-110 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 6.1; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 5.9; Capacidad de intercambio catiónico: 48; Saturación de bases: 5.9; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 1; Sodio intercambiable: 0.6; Magnesio intercambiable: 1.1.</p> <p>Horizonte 6: Profundidad de 110 centímetros en adelante; al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.4; Conductividad eléctrica: 0.0; Carbono orgánico: 5.7; Capacidad de intercambio catiónico: 25.6; Saturación de bases: 14.7; Saturación de sodio: 1.1; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 2.1; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 1.2.</p>



Ubicación del perfil de suelo No. 014223.

PERFIL 014224	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2114055	ESTE: 445040
ALTITUD: 2588 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: GLhum/2 GLEYSOL Molihúmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 12 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Llanura Pendiente (%): 0 Exposición perfil: Plano Relieve: Plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Sin escurrimiento Formación vegetal o tipo de cultivo: Tular	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Migajosa, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franca; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: 2-20%; raíces: 1-20; drenaje interno: Nulo; pH: 6.3. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 6.8; Capacidad de intercambio catiónico: 40.8; Saturación de bases: 50; Saturación de sodio: 3.1; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 9.3; Sodio intercambiable: 1.3; Magnesio intercambiable: 9.7.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 25-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura : Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>	



Ubicación del perfil de suelo No. 014224

PERFIL 018201	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2086644	ESTE: 350297
ALTITUD: 1800 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: RGdyhlen(cr)/2 REGOSOL Endoléptico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 20 °C Clima: A(C)w2(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Sur Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Moderados Clase de drenaje externo: Muy lento Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-13 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño Medio, desarrollo Débil; color en seco: 7.5YR6/6; color en húmedo: 5YR5/7; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - limosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: > 100; drenaje interno: Drenado; pH: 4.5. Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 1.9; Capacidad de intercambio catiónico: 11.4; Saturación de bases: 8.3; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 0.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.4.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 13-43 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR6.5/6; color en húmedo: 5YR5/8; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 4.8; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.3; Capacidad de intercambio catiónico: 13.5; Saturación de bases: 11.5; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 0.8; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.4.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 43-73 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Fino, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 7.5YR6.5/6; color en húmedo: 5YR6/8; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.1; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.1; Capacidad de intercambio catiónico: 20.9; Saturación de bases: 5.6; Saturación de sodio: 1; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 0.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 73-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>	



Ubicación del perfil de suelo No.018201.

PERFIL 018202	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2066470	ESTE: 355000
ALTITUD: 900 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LPmo/2r LEPTOSOL Mólico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 26 °C Clima: Aw0(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 45 Exposición perfil: Sureste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: Pastizal	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 6.8000002000000004. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.2; Capacidad de intercambio catiónico: 46.2; Saturación de bases: 89.5; Saturación de sodio: 0.8; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 21.3; Sodio intercambiable: 0.4; Magnesio intercambiable: 19.6.	
Horizonte 2: Profundidad de 15 centímetros en adelante; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura : Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.	

PERFIL 018203	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2078085	ESTE: 355792
ALTITUD: 750 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LPhuli/2r LEPTOSOL Lítico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 26 °C Clima: Aw0(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de toposformas: Valle Pendiente (%): 45 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: Selva	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-8 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR4/4; color en húmedo: 10YR4/3; consistencia en seco: Muy dura; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.7. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 2.1; Capacidad de intercambio catiónico: 36; Saturación de bases: 96.9; Saturación de sodio: 0.5; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 22.2; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 12.	
Horizonte 2: Profundidad de 8 centímetros en adelante; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura : Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.	



Ubicación del perfil de suelo No. 018203.



Ubicación del perfil de suelo No. 018202.

PERFIL 020035	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2067886	ESTE: 416122
ALTITUD: 2200 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: VRcrows/3 VERTISOL Hiposódico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 16 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de topofomas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Este Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Rápido Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de temporal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR6/6; color en húmedo: 5YR4/6; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 5.6. Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 1; Capacidad de intercambio catiónico: 16.5; Saturación de bases: 97; Saturación de sodio: 6.1; Potasio intercambiable: 5; Calcio intercambiable: 6.7; Sodio intercambiable: 1; Magnesio intercambiable: 3.3.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 30-62 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR6/6; color en húmedo: 5YR4/6; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 1 -2 centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH de campo: 5.6; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.4; Capacidad de intercambio catiónico: 15.3; Saturación de bases: 60.1; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 5.6; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 3.1.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 62 centímetros en adelante: reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: cantidad ; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura al tacto: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>	

PERFIL 020115	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2094971	ESTE: 523104
ALTITUD: 2200 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: ANdy/2 ANDOSOL Distrito
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 18 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sureste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Escasos Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR4.5/3; color en húmedo: 10YR2.5/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH: 6. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 3.7; Capacidad de intercambio catiónico: 32.8; Saturación de bases: 46.8; Saturación de sodio: 0.6; Potasio intercambiable: 1.9; Calcio intercambiable: 10.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.9.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 12-41 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/3.5; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.1; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 15.4; Saturación de bases: 40; Saturación de sodio: 1.2; Potasio intercambiable: 1.4; Calcio intercambiable: 3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 41-62 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/3.5; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.2; Capacidad de intercambio catiónico: 40.3; Saturación de bases: 20.4; Saturación de sodio: 0.7; Potasio intercambiable: 0.9; Calcio intercambiable: 4.6; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 2.4.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 62-86 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/3.5; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.6; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.1; Capacidad de intercambio catiónico: 45.4; Saturación de bases: 23.3; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 7.5; Sodio intercambiable: 0.4; Magnesio intercambiable: 2.2.</p>	



Ubicación del perfil de suelo No. 020035.

Horizonte 5: Profundidad de 86-115 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/3.5; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Nula; plasticidad: Nula; textura: Areno - francosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 6.5; Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 0.1; Capacidad de intercambio catiónico: 18; Saturación de bases: 69.2; Saturación de sodio: 2.8; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 8.2; Sodio intercambiable: 0.5; Magnesio intercambiable: 3.4.

Horizonte 6: Profundidad de 115 centímetros en adelante; al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0.0; Conductividad eléctrica: 0.0; Carbono orgánico: 0.0; Capacidad de intercambio catiónico: 0.0; Saturación de bases: 0.0; Saturación de sodio: 0.0; Potasio intercambiable: 0.0; Calcio intercambiable: 0.0; Sodio intercambiable: 0.0; Magnesio intercambiable: 0.0.

Horizonte 2: Profundidad de 12-43 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR3.5/4; color en húmedo: 7.5YR2.5/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; pH de campo: 5.9; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 3; Capacidad de intercambio catiónico: 35.3; Saturación de bases: 12; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 3.1; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 0.7.

Horizonte 3: Profundidad de: 43-65 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR4/3; color en húmedo: 7.5YR2.5/2; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Muy drenado; pH: 7.1; Conductividad eléctrica: 0.8; Carbono orgánico: 2.9; Capacidad de intercambio catiónico: 33.5; Saturación de bases: 10.7; Saturación de sodio: 0.5; Potasio intercambiable: 0.1; Calcio intercambiable: 2.7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.6.

Horizonte 4: Profundidad de 65-85 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Muy drenado; pH: 6.6; Conductividad eléctrica: 0.5; Carbono orgánico: 2.1; Capacidad de intercambio catiónico: 24.6; Saturación de bases: 14; Saturación de sodio: 0.7; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 2.5; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.6.

Horizonte 5: Profundidad de 85-105 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5.5/4.5; color en húmedo: 10YR4.5/4; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Areno - francosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; pH: 5.8; Conductividad eléctrica: 0.6; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 11.7; Saturación de bases: 30.1; Saturación de sodio: 1.8; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 2.4; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.7.

Horizonte 6: Profundidad de 105 centímetros en adelante; al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/6; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Muy drenado; pH de campo: 6.8; Conductividad eléctrica: 0.6; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 13.9; Saturación de bases: 30.4; Saturación de sodio: 1.7; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 3.0; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.7.



Ubicación del perfil de suelo No. 020115.

PERFIL 020122	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2095041	ESTE: 406078
ALTITUD: 2800 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: ANphum/2 ANDOSOL Úmbrico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noreste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Sin estructura, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR4/3; color en húmedo: 10YR2/1.5; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: FALSO; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; pH: 5.5. Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 6.4; Capacidad de intercambio catiónico: 45; Saturación de bases: 21; Saturación de sodio: 0.4; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 7.6; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.3.



Ubicación del perfil de suelo No. 020122.

PERFIL 020127	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2077257	ESTE: 443025
ALTITUD: 1800 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LPhurz/2 LEPTOSOL Réndzico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 20 °C Clima: (A)C(w2)(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Sierras y Valles Guerrerenses Sistema de topofomas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Abundantes Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Pastizal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR2.5/1; color en húmedo: 10YR1/1; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: FALSO; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.6. Conductividad eléctrica: 0.5; Carbono orgánico: 6.4; Capacidad de intercambio catiónico: 78.1; Saturación de bases: 58.5; Saturación de sodio: 0.4; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 42.4; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.8.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 12-999 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; estructura: Sin estructura, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: N/A; color en húmedo: N/A; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: 0.0; plasticidad: 0.0; textura: FALSO; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Nulo; pH de campo: 0; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 0; Saturación de bases: 0; Saturación de sodio: 0; Potasio intercambiable: 0; Calcio intercambiable: 0; Sodio intercambiable: 0; Magnesio intercambiable: 0.</p>	



Ubicación del perfil de suelo No. 020127.

PERFIL 020128	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2099297	ESTE: 460095
ALTITUD: 2500 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: ANhuulv(dy)/2 ANDOSOL Lúvico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1200 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Oeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-28 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5/4; color en húmedo: 10YR3/3; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6. Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 2.5; Capacidad de intercambio catiónico: 23.1; Saturación de bases: 15.2; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.6; Calcio intercambiable: 1.9; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.9.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 28-55 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR5.5/6; color en húmedo: 10YR3.5/6; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 5.8; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 1.1; Capacidad de intercambio catiónico: 17; Saturación de bases: 54.2; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 1.2; Calcio intercambiable: 5.8; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.1.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 55-82 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco: 10YR6.5/6.5; color en húmedo: 10YR4.5/6.5; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6; Conductividad eléctrica: 0.7; Carbono orgánico: 0.5; Capacidad de intercambio catiónico: 14.3; Saturación de bases: 32.2; Saturación de sodio: 1.5; Potasio intercambiable: 1.4; Calcio intercambiable: 2; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 82-105 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR6.5/6.5; color en húmedo: 10YR4.5/6.5; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 5.7; Conductividad eléctrica: 0.3; Carbono orgánico: 0.2; Capacidad de intercambio catiónico: 19.1; Saturación de bases: 21.7; Saturación de sodio: 1.2; Potasio intercambiable: 1.6; Calcio intercambiable: 1.7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 0.7.</p>	

Horizonte 5: Profundidad de 105-130 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR7/4; color en húmedo: 10YR4.5/6; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6; Conductividad eléctrica: 0.2; Carbono orgánico: 0.2; Capacidad de intercambio catiónico: 16.8; Saturación de bases: 25.4; Saturación de sodio: 1.5; Potasio intercambiable: 1.6; Calcio intercambiable: 1.8; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 0.7.

10YR4/3; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: cantidad Escasas; guijarros: cantidad Muy escasas; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 6.1; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0.5; Capacidad de intercambio catiónico: 11.2; Saturación de bases: 63.1; Saturación de sodio: 2.1; Potasio intercambiable: 0.6; Calcio intercambiable: 4; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.2.

Horizonte 4: Profundidad de 72-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Fino, desarrollo Débil; color en seco: 10YR5/3; color en húmedo: 10YR3/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Nula; plasticidad: Nula; textura: Franco - arenosa; gravas: cantidad Escasas; guijarros: cantidad Muy escasas; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Drenado; pH: 6.5; Conductividad eléctrica: 0; Carbono orgánico: 0; Capacidad de intercambio catiónico: 12; Saturación de bases: 70.7; Saturación de sodio: 2.1; Potasio intercambiable: 1; Calcio intercambiable: 4.3; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 2.9.



Ubicación del perfil de suelo No. 020128.



Ubicación del perfil de suelo No. 020133.

PERFIL 0 20133	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2097854	ESTE: 517047
ALTITUD: 2000 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: ANskp/2R ANDOSOL Epiesquelético
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1000 mm Temperatura media anual: 18 °C Clima: (A)C(w2)(w)(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de temporal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-26 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco; 10YR4/2; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Escasas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.5. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 2.3; Capacidad de intercambio catiónico: 19.4; Saturación de bases: 42.7; Saturación de sodio: 1.2; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 6; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 1.7.	
Horizonte 2: Profundidad de 26-43 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/2; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Areno - francosa; gravas: cantidad Escasas; guijarros: cantidad Frecuentes; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 6.2; Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 1.7; Capacidad de intercambio catiónico: 13.8; Saturación de bases: 65.2; Saturación de sodio: 1.7; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 6.4; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 2.1.	
Horizonte 3: Profundidad de: 43-72 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: cantidad ; color en seco:	

PERFIL 100080	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2232953	ESTE: 407523
ALTITUD: 2350 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: PLmopdp(lv)/2 PLANOSOL Epipetrodúrico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 700 mm Temperatura media anual: 16 °C Clima: C(w0)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Noreste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Moderados Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de temporal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-31 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Grueso, desarrollo Fuerte; color en seco; 7.5YR5/2; color en húmedo: 7.5YR3/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 5.9. Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 13.5; Saturación de bases: 74.1; Saturación de sodio: 0.7; Potasio intercambiable: 1.1; Calcio intercambiable: 5.3; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 3.5.	

Horizonte 2: Profundidad de 31-34 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura** : Sin estructura, **tamaño** Fino, **desarrollo** Débil; **color en seco**: N/A; **color en húmedo**: N/A; **consistencia en seco**: Sin consistencia; **consistencia en húmedo**: Muy friable; **adhesividad**: Ligera; **plasticidad**: Ligera; **textura**: FALSO; **gravas**: cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros**: cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras**: cantidad Sin presencia de piedras; **grietas**: **ancho de** Sin Grietas centímetros, **Manchas**: No existe; **raíces**: No existe; **drenaje interno**: Moderadamente drenado; **pH de campo**: 0; **Conductividad eléctrica**: 0; **Carbono orgánico**: 0; **Capacidad de intercambio catiónico**: 0; **Saturación de bases**: 0; **Saturación de sodio**: 0; **Potasio intercambiable**: 0; **Calcio intercambiable**: 0; **Sodio intercambiable**: 0; **Magnesio intercambiable**: 0.

Horizonte 3: Profundidad de: 34-43 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura**: Masiva, **tamaño**, Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **poros**: cantidad ; **color en seco**: 7.5YR7/2; **color en húmedo**: 7.5YR5/2; **consistencia en seco**: Sin consistencia; **consistencia en húmedo**: Extremadamente firme; **adhesividad**: Fuerte; **plasticidad**: Fuerte; **textura al tacto**: Arcillosa; **gravas**: cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros**: cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras**: cantidad Sin presencia de piedras; **alteración**: : **naturaleza**: ; **grietas**: **ancho de** Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas**: 2-20%; **raíces**: No existe; **drenaje interno**: Moderadamente drenado; **pH**: 5.9; **Conductividad eléctrica**: 1; **Carbono orgánico**: 0.6; **Capacidad de intercambio catiónico**: 25.8; **Saturación de bases**: 70.9; **Saturación de sodio**: 2.7; **Potasio intercambiable**: 2.2; **Calcio intercambiable**: 8.4; **Sodio intercambiable**: 0.7; **Magnesio intercambiable**: 7.

Horizonte 4: Profundidad de 43 centímetros en adelante; reacción al HCl: Sin efervescencia; **estructura**: Sin estructura, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco**: N/A; **color en húmedo**: N/A; **consistencia en seco**: Sin consistencia; **consistencia en húmedo**: Sin consistencia; **adhesividad**: 0.0; **plasticidad**: 0.0; **textura**: FALSO; **gravas**: cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros**: cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras**: cantidad Sin presencia de piedras; **manchas**: No existe; **raíces**: No existe; **drenaje interno**: Nulo; **pH**: 0; **Conductividad eléctrica**: 0; **Carbono orgánico**: 0; **Capacidad de intercambio catiónico**: 0; **Saturación de bases**: 0; **Saturación de sodio**: 0; **Potasio intercambiable**: 0; **Calcio intercambiable**: 0; **Sodio intercambiable**: 0; **Magnesio intercambiable**: 0.



Ubicación del perfil de suelo No. 100080.

PERFIL 100086	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2225348	ESTE: 437902
ALTITUD: 2590 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVropf/2 LUVISOL Profúndico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 700 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 6 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Escasos Clase de drenaje externo: Medio Formación vegetal o tipo de cultivo: Pastizal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-17 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 5YR4/4; color en húmedo: 2.5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 6.9. Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 1; Capacidad de intercambio catiónico: 16.8; Saturación de bases: 57.1; Saturación de sodio: 0.6; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 6.3; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 2.9.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 17-48 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura : Bloques, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 5YR4/4; color en húmedo: 2.5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH de campo: 6.1; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.9; Capacidad de intercambio catiónico: 21.3; Saturación de bases: 50.7; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 7; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 3.4.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 48-85 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño, Grueso, desarrollo Fuerte; poros: cantidad ; color en seco: 5YR4/6; color en húmedo: 2.5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 6.3; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 22.5; Saturación de bases: 56; Saturación de sodio: 1.3; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 7.2; Sodio intercambiable: 0.3; Magnesio intercambiable: 4.8.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 85-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques, tamaño Grueso, desarrollo Fuerte; color en seco: 5YR4/6; color en húmedo: 5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; pedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; pH: 6.3; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.2; Capacidad de intercambio catiónico: 22.5; Saturación de bases: 56; Saturación de sodio: 0.9; Potasio intercambiable: 0.3; Calcio intercambiable: 7.8; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 4.3.</p>	



Ubicación del perfil de suelo No. 100086.

PERFIL 1 00092	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2218396	ESTE: 441652
ALTITUD: 2440 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: VRpehu(mz)/3 VERTISOL Húmico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 800 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w0)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de toposformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Plano Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso Clase de afloramiento rocoso: Escasos Clase de drenaje externo: Muy lento Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de temporal	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-27 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR4/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Franco – arcillosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de 3-5 centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 5.5. Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 3.2; Capacidad de intercambio catiónico: 27.5; Saturación de bases: 63.6; Saturación de sodio: 0.7; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 10.3; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 6.8.	
Horizonte 2: Profundidad de 27-60 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR4/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Extremadamente firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH de campo: 6.3; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.8; Capacidad de intercambio catiónico: 33.5; Saturación de bases: 81.2; Saturación de sodio: 2.4; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 15.6; Sodio intercambiable: 0.8; Magnesio intercambiable: 10.6.	
Horizonte 3: Profundidad de: 60-97 centímetros: reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: cantidad; color en seco: 10YR4/1; color en húmedo: 10YR3/1; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; alteración: : naturaleza: ; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, profundidad centímetros, distanciamiento centímetros; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 6.3; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.7; Capacidad de intercambio catiónico: 32.5; Saturación de bases: 78.5; Saturación de sodio: 2.5; Potasio intercambiable: 0.2; Calcio intercambiable: 14.7; Sodio intercambiable: 0.8; Magnesio intercambiable: 9.8.	

Horizonte 4: Profundidad de 97-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; color en seco: 10YR7/2; color en húmedo: 10YR6/2; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Sin consistencia; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; manchas: No existe; raíces: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; pH: 6.8; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 0.2; Capacidad de intercambio catiónico: 41; Saturación de bases: 86.3; Saturación de sodio: 2.9; Potasio intercambiable: 0.5; Calcio intercambiable: 19.7; Sodio intercambiable: 1.2; Magnesio intercambiable: 14.



Ubicación del perfil de suelo No. 100092.

PERFIL 100096	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2214669	ESTE: 401715
ALTITUD: 3000 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: LVhuap(dy,cr)/2 LUVISOL Abrúptico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 800 mm Temperatura media anual: 12 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 6 Exposición perfil: Oeste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-35 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; color en seco: 7.5YR5/4; color en húmedo: 5YR3/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura: Franco - arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; piedras, cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 5.6. Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 2.7; Capacidad de intercambio catiónico: 29.8; Saturación de bases: 28.2; Saturación de sodio: 0.3; Potasio intercambiable: 0.8; Calcio intercambiable: 5.6; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 1.9.	
Horizonte 2: Profundidad de 35-65 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; estructura: Bloques subangulares, tamaño Grueso, desarrollo Fuerte; color en seco: 7.5YR5/4; color en húmedo: 5YR4/4; consistencia en seco: Sin consistencia; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura: Franco – arcillosa; gravas: cantidad Sin presencia de gravas; guijarros: cantidad Sin presencia de guijarros; piedras: cantidad Sin presencia de piedras; grietas: ancho de Sin Grietas centímetros, Manchas: No existe; raíces: 21-100; drenaje interno: Drenado; pH de campo: 5.9; Conductividad eléctrica: 1; Carbono orgánico: 1.2; Capacidad de intercambio catiónico: 20.8; Saturación de bases: 80.3; Saturación de sodio: 0.5; Potasio intercambiable: 0.4; Calcio intercambiable: 13.8; Sodio intercambiable: 0.1; Magnesio intercambiable: 2.4.	

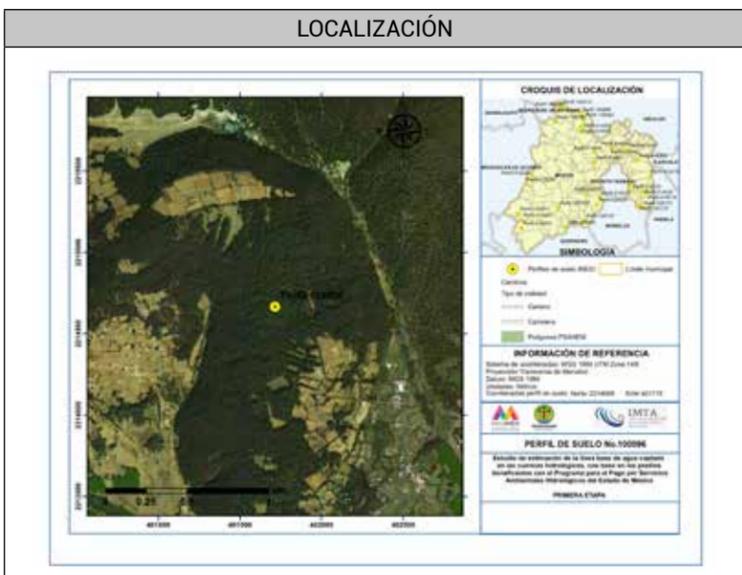
Horizonte 3: Profundidad de: 65-83 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, **tamaño**, Medio, **desarrollo** Fuerte; **poros:** cantidad ; **color en seco:** 10YR7/3; **color en húmedo:** 7.5YR5/2; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Moderada; **plasticidad:** Moderada; **textura al tacto:** Franco – arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Escasas; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **alteración:** : **naturaleza:** ; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas:** No existe; **raíces:** 1-20; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 5.9; **Conductividad eléctrica:** 1; **Carbono orgánico:** 0.9; **Capacidad de intercambio catiónico:** 20; **Saturación de bases:** 81; **Saturación de sodio:** 0.5; **Potasio intercambiable:** 0.3; **Calcio intercambiable:** 12.2; **Sodio intercambiable:** 0.1; **Magnesio intercambiable:** 3.6.

Horizonte 4: Profundidad de 83-125 centímetros; reacción al HCl: Muy débil; **estructura:** Bloques subangulares, **tamaño** Grueso, **desarrollo** Fuerte; **color en seco:** 7.5YR6/4; **color en húmedo:** 7.5YR4/4; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Fuerte; **plasticidad:** Fuerte; **textura:** Franco – arcillosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Drenado; **pH:** 5.9; **Conductividad eléctrica:** 1; **Carbono orgánico:** 0.6; **Capacidad de intercambio catiónico:** 19.5; **Saturación de bases:** 83.1; **Saturación de sodio:** 0.5; **Potasio intercambiable:** 0.4; **Calcio intercambiable:** 12.2; **Sodio intercambiable:** 0.1; **Magnesio intercambiable:** 3.5.

Horizonte 2: Profundidad de 28-66 centímetros; reacción al HCl: Muy fuerte; **estructura:** Bloques subangulares, **tamaño** Fino, **desarrollo** Moderado; **color en seco:** 10YR7.5/3; **color en húmedo:** 10YR5.5/3; **consistencia en seco:** Dura; **consistencia en húmedo:** Firme; **adhesividad:** Ligera; **plasticidad:** Ligera; **textura:** Franco – arenosa; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros, **Manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Drenado; **pH de campo:** 8; **Conductividad eléctrica:** 0.1; **Carbono orgánico:** 0; **Capacidad de intercambio catiónico:** 39.3; **Saturación de bases:** 100; **Saturación de sodio:** 1.5; **Potasio intercambiable:** 4; **Calcio intercambiable:** 31.4; **Sodio intercambiable:** 0.6; **Magnesio intercambiable:** 9.3.

Horizonte 3: Profundidad de: 66-104 centímetros; reacción al HCl: N/A; **estructura:** Sin estructura, **tamaño**, Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **poros:** cantidad ; **color en seco:** N/A; **color en húmedo:** N/A; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Sin consistencia; **adhesividad:** 0.0; **plasticidad:** 0.0; **textura al tacto:** N/A; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **alteración:** : **naturaleza:** ; **grietas:** **ancho de** Sin Grietas centímetros, **profundidad** centímetros, **distanciamiento** centímetros; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Nulo; **pH:** 0; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0; **Capacidad de intercambio catiónico:** 0; **Saturación de bases:** 0; **Saturación de sodio:** 0; **Potasio intercambiable:** 0; **Calcio intercambiable:** 0; **Sodio intercambiable:** 0; **Magnesio intercambiable:** 0.

Horizonte 4: Profundidad de 104 centímetros en adelante; reacción al HCl: N/A; **estructura:** Sin estructura, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **color en seco:** N/A; **color en húmedo:** N/A; **consistencia en seco:** Sin consistencia; **consistencia en húmedo:** Sin consistencia; **adhesividad:** 0.0; **plasticidad:** 0.0; **textura:** N/A; **gravas:** cantidad Sin presencia de gravas; **guijarros:** cantidad Sin presencia de guijarros; **pedras:** cantidad Sin presencia de pedras; **manchas:** No existe; **raíces:** No existe; **drenaje interno:** Nulo; **pH:** 0; **Conductividad eléctrica:** 0; **Carbono orgánico:** 0; **Capacidad de intercambio catiónico:** 0; **Saturación de bases:** 0; **Saturación de sodio:** 0; **Potasio intercambiable:** 0; **Calcio intercambiable:** 0; **Sodio intercambiable:** 0; **Magnesio intercambiable:** 0.

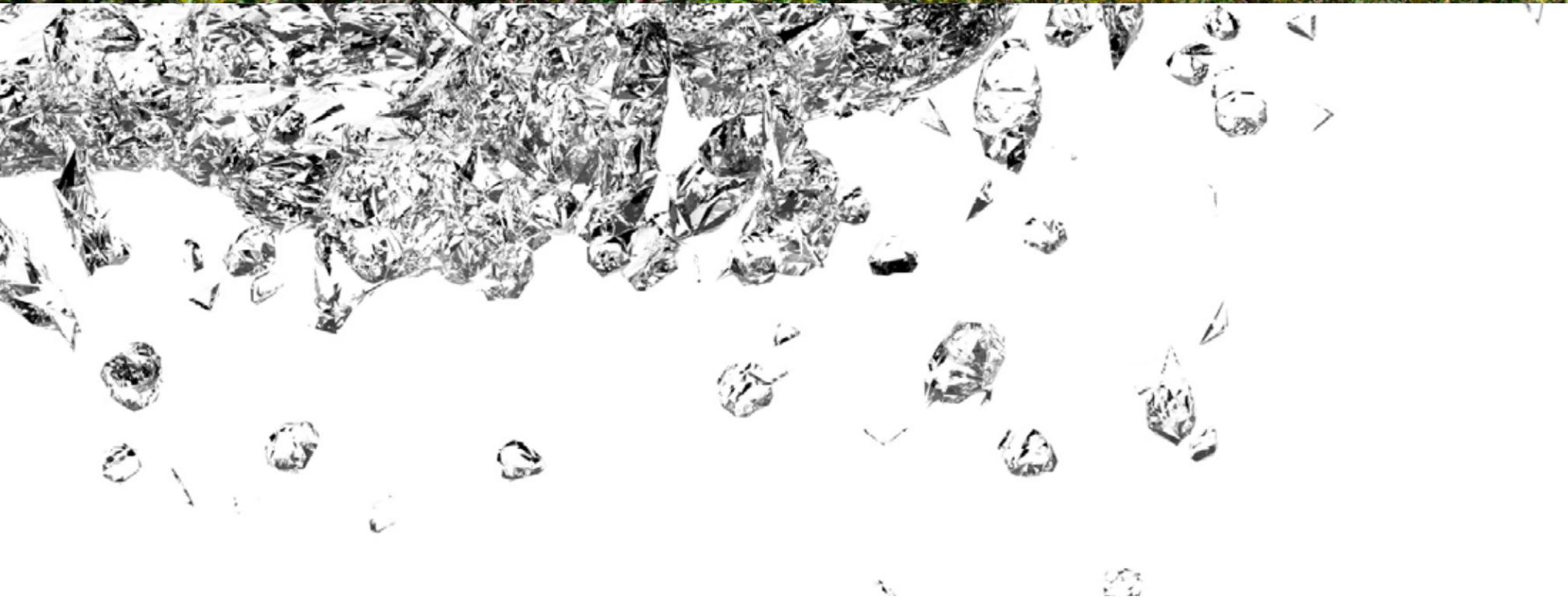
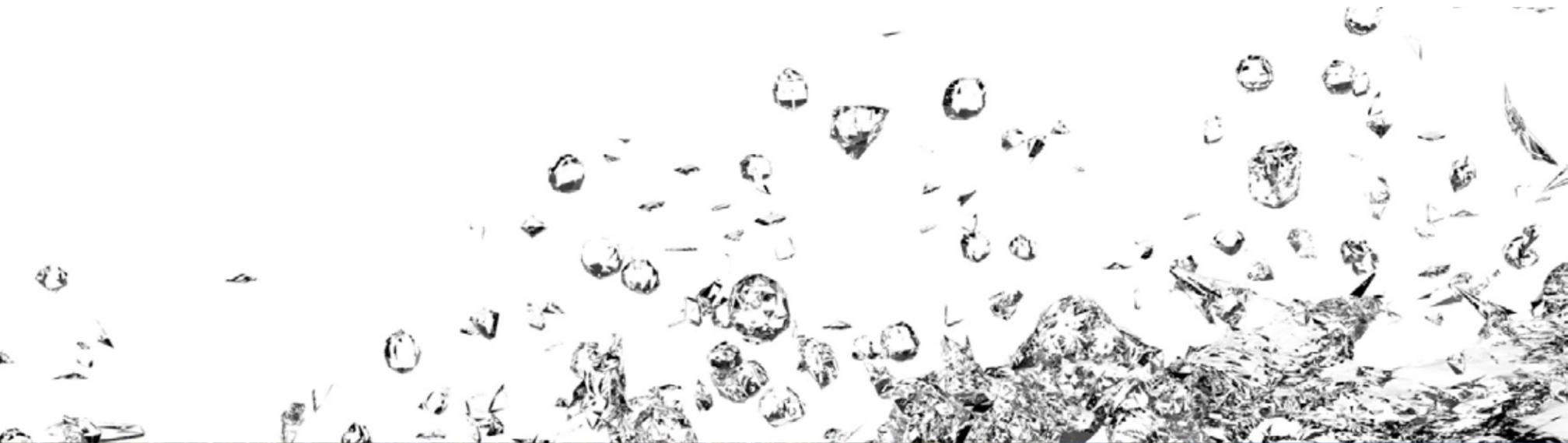


Ubicación del perfil de suelo No. 100096.



Ubicación del perfil de suelo No.100212.

PERFIL 100212	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2237608	ESTE: 410855
ALTITUD: 2215 msnm	CLASIFICACIÓN WRB: PHpcn/2 PHAEZEM Endopetrocálcico
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 700 mm Temperatura media anual: 16 °C Clima: C(w0)(w)b(i')g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de topoformas: Llanura Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Lento Formación vegetal o tipo de cultivo: agricultura de riego	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-28 centímetros; reacción al HCl: Moderada; estructura: Bloques subangulares, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; color en seco: 10YR4/1; color en húmedo: 10YR2/1; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Moderada; textura: Franco - arcillosa- arenosa; gravas, cantidad Sin presencia de gravas; guijarros, cantidad Sin presencia de guijarros; pedras, cantidad Sin presencia de pedras; grietas: ancho de 1 -2 centímetros; Manchas: No existe; raíces: 1-20; drenaje interno: Drenado; pH: 6.5. Conductividad eléctrica: 0.1; Carbono orgánico: 0.6; Capacidad de intercambio catiónico: 18.5; Saturación de bases: 75; Saturación de sodio: 1; Potasio intercambiable: 1; Calcio intercambiable: 8.8; Sodio intercambiable: 0.2; Magnesio intercambiable: 3.9.	



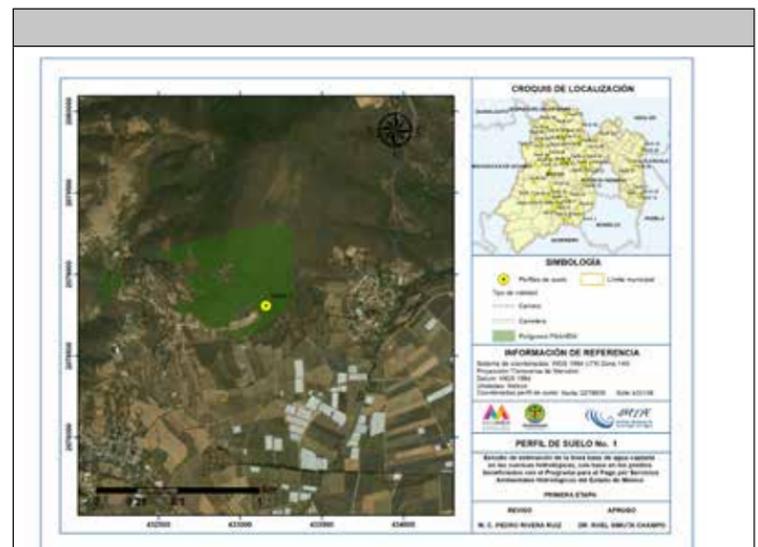
Anexo III

Descripción de de perfiles de suelos de las áreas de pago de servicios ambientales hidrológicos del Estado de México

En este apartado se presentan las Fichas de Descripción de cada Perfil de Suelo.

PERFIL 1	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2078809	ESTE: 433158
ALTITUD: 1707 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: E (Rendzina)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 997.4 mm Temperatura media anual: 19.3 °C Clima: A(C)w1(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Sierras y Valles Guerrerenses Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Sureste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Selva caducifolia Principales especies: Selva baja caducifolia, cedro guaje, tepehuaje, casahuate
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: muy fuerte; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 7.5YR 4/2 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas, forma plano, cantidad abundantes; guijarros, forma plano, cantidad escasas; sin presencia de piedras; alteración: intemperizado; naturaleza: 24; grietas no existe; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100;; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 7.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 25-30 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: muy fuerte; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 7.5YR 7/2 Gris rosáceo; color en húmedo: 10YR 4/3 Café oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 7.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 30-30 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, plana; reacción al HCl: muy fuerte; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillosa- arenosa.</p>	

Observaciones: La capa 3 es una capa rocosa suave que da origen al suelo, posiblemente caliza intemperizada, pues reacciona violentamente al HCl



Croquis de localización del Perfil No. 1.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil 1 se localiza en el Paraje Cerro de Salinas, Localidad de Salinas, Ejido Tonatico y Anexo, Municipio de Tonatico, llegando al sitio por la carretera Taxco-Ixtapan, hasta la localidad El Terrero, de ahí tomar la carretera a la localidad de Salinas, después tomando un camino de terracería con dirección al Cerro de Salinas por una distancia de aproximadamente 1,300 metros se llega a un claro de donde se extrajo material, de ahí al noreste se encuentra el punto llegando por una vereda a aproximadamente 100 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Perfil de suelo No. 1



Fotografía 2. Entorno natural del sitio



Fotografía 3. Pruebas de campo del Perfil No. 1



Fotografía 4. Muestras de suelo del Perfil No. 1

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 1.

PERFIL 2	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2161143	ESTE: 417275
ALTITUD: 2627 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vp (Vertisol pélico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 751.2 mm Temperatura media anual: 14.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: Agricultura en descanso, cultivo de maíz
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	

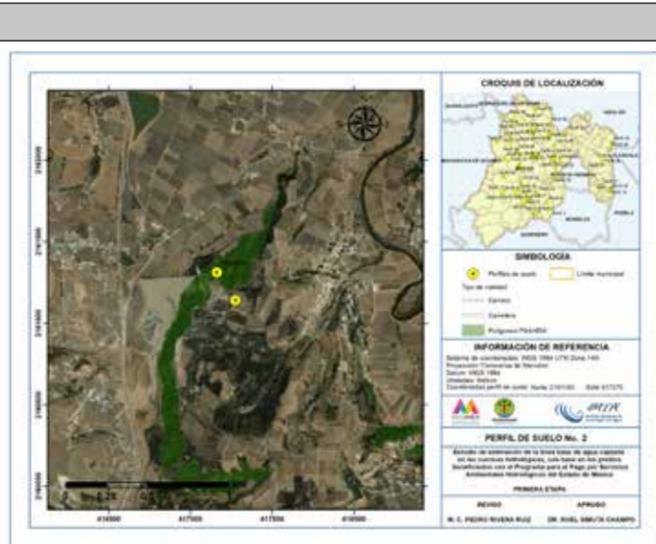
Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; **reacción al HCl:** sin efervescencia; **humedad aparente:** húmedo; **estructura:** granular, **tamaño** medio, **desarrollo** fuerte; **poros:** finos, **cantidad** comunes; **color en seco:** 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; **color en húmedo:** 10YR 2/2 Café muy oscuro; **consistencia en seco:** muy dura; **consistencia en húmedo:** firme; **adhesividad:** fuerte; **plasticidad:** fuerte; **textura al tacto:** arcillosa; **raíces:** raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; **drenaje interno:** drenado; **reacción al agua oxigenada:** fuerte; **pH de campo:** 6.

Horizonte 2: Profundidad de 10-20 centímetros; **separación:** continuidad claro, forma irregular; **reacción al HCl:** sin efervescencia; **humedad aparente:** húmedo; **estructura:** bloques angulares, **tamaño** grueso, **desarrollo** fuerte; **poros:** finos, **cantidad** muchos; **color en húmedo:** 10YR 2/1 Negro; **consistencia en húmedo:** firme; **adhesividad:** fuerte; **plasticidad:** fuerte; **textura al tacto:** arcillosa pesada; **grietas:** ancho de 3 – 5 centímetros, **profundidad** 11 – 20 centímetros, **raíces finas:** 21-100; **raíces medias:** 21-100; **drenaje interno:** moderadamente drenado; **reacción al agua oxigenada:** fuerte; **pH de campo:** 5.5.

Horizonte 3: Profundidad de: 20-110 centímetros; **separación:** continuidad, claro, forma, irregular; **reacción al HCl:** sin efervescencia; **humedad aparente:** húmedo; **estructura:** bloques angulares, **tamaño**, grueso, **desarrollo** fuerte; **poros:** finos, **cantidad** comunes; **color en húmedo:** 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; **consistencia en húmedo:** friable; **adhesividad:** fuerte; **plasticidad:** fuerte; **textura al tacto:** arcillosa; **raíces finas:** no existe; **raíces medias:** 1-20; **drenaje interno:** moderadamente drenado; **reacción al agua oxigenada:** débil; **pH de campo:** 5.

Horizonte 4: Profundidad de 110 centímetros en adelante; **separación:** continuidad, claro, forma irregular; **reacción al HCl:** sin efervescencia; **humedad aparente:** húmedo; **estructura:** masiva, **tamaño** sin dimensión, **desarrollo** sin desarrollo; **poros:** finos, **cantidad** pocos; **color en húmedo:** 10YR 5/2 Café grisáceo; **consistencia en húmedo:** friable; **adhesividad:** fuerte; **plasticidad:** fuerte; **textura al tacto:** arcillosa; **sin raíces;** **drenaje interno:** moderadamente drenado; **reacción al agua oxigenada:** débil; **pH de campo:** 6.

Observaciones: Tierra agrícola en descanso, caminos erosionados, el sitio se encuentra debajo de línea de conducción eléctrica, reacción al H₂O₂, en horizonte 4 posiblemente por Mn



Croquis de localización del Perfil No. 2.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 2 se lo caliza en Paraje denominado Maro, Ejido San Lorenzo Tojico, Municipio de Ixtlahuaca, llegando por la Carretera Toluca-Ixtlahuaca, tomando el camino con dirección al Rancho JB 2. 7 km antes de la salida a Ixtlahuaca, se recorre por este 2 km, hasta el entronque con la carretera Ixtlahuaca –San Jerónimo, continuando derecho por una distancia de 1.2 km girando a la izquierda y recorriendo una distancia de 0.8 km hasta el entornque con el camino de terracería que va de San Jerónimo a San Ildefonso, recorriendo por este una distancia de 1.2 kilómetros, hasta encontrar un camino a la derecha que da vuelta en “u”, siguiendo por este una distancia de 1.1 km hasta encontrar la línea de transmisión eléctrica.

De este punto el sitio se encuentra a 80 metros al Sur.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del Perfil de suelo No. 2



Fotografía 2. Concertación y apertura del pozo edafológico



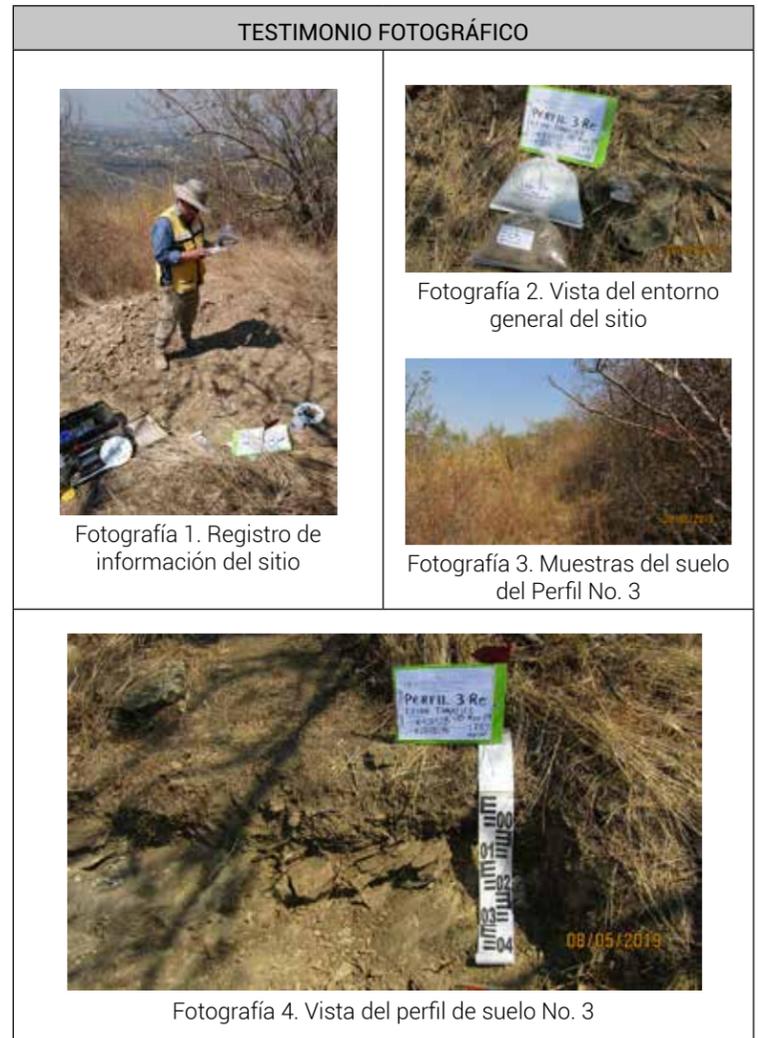
Fotografía 3. Vista del entorno natural del Perfil No. 2



Fotografía 4. Muestras de suelo del Perfil No. 2

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 2.

PERFIL 3	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2078296	ESTE: 426528
ALTITUD: 1789 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Re (Regosol eútrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 997.4 mm Temperatura media anual: 19.3 °C Clima: A(C)w1(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Sierras y Valles Guerrerenses Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Sur Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Quema o incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Selva caducifolia Principales especies: Selva baja caducifolia, copal, casahuate, tepehuaje, cedro huizache, cahualhua, chapulice</p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas, forma plano, cantidad frecuentes; guijarros, forma plano, cantidad escasas; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 15-15 centímetros; separación: continuidad abrupto, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia.</p> <p>Observaciones: La capa 2 es una capa continua de roca estratificada, con cierto grada de intemperización, se encontraron fragmentos posiblemente de cuarzo</p>	



Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 3.



Croquis de localización del Perfil No. 3.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 3 se localiza en el Paraje Cerro del Moral, Comunidad Los Amates, Ejido Tonatico y Anexas, Municipio de Tonatico, llegando por la carretera Taxco – Ixtapan de la Sal, hasta la cabecera municipal de onatico, tomando la salida hacia la Comunidad de El Rincón, y tomar la carretera hacia Los Amates, recorriendo desde Tonatico una distancia aproximada de 4 kilómetros, hasta un kilómetro antes de llegar a la comunidad de Los Amates tomar hacia el noroeste un camino de terracería, recorrer aproximadamente 250 m y tomar el camino al noroeste, recorrer aproximadamente 300 metros hasta la entrada de una vereda, desde aquí seguir por la vereda 120 metros al norte, hasta donde se encuentra el punto.

PERFIL 4	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2084072	ESTE: 450224
ALTITUD: 1401 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: E (Rendzina)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 1189.1 mm Temperatura media anual: 21.3 °C Clima: Aw1(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Sierras y Valles Guerrerenses Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Sur Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Selva caducifolia Principales especies: Selva baja caducifolia, cedro, tepehuaje, guaje, calahua, casahuate blanco, ciruelo mexicano</p>	
	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: fuerte; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco; 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas, forma plano, cantidad frecuentes; guijarros, forma plano, cantidad frecuentes; sin presencia de piedras; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 7.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 30 centímetros en adelante; separación: continuidad abrupto, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; pedras: forma plano cantidad abundantes; alteración: intemperizado; naturaleza: posiblemente caliza.</p> <p>Observaciones: La capa 2 es una capa continua de roca, posiblemente caliza, ya que reacciona violentamente al HCl, esta presenta una estructura estratificada. En las inmediaciones al sitio hay plantaciones de agave criollo para la producción de mezcal</p>	

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
 <p>Fotografía 1. Muestras de suelo del Perfil No. 4</p>	 <p>Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio</p>
 <p>Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil</p>	 <p>Fotografía 4. Vista del Perfil de suelo No. 4</p>

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 4.

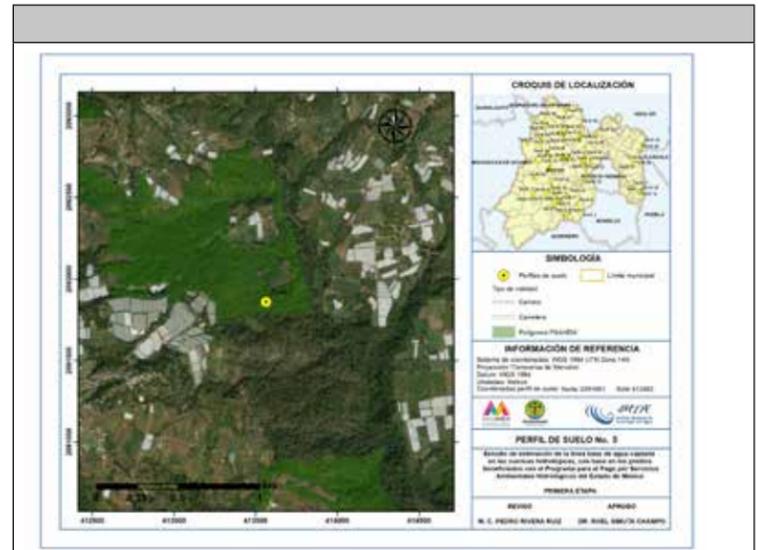


Croquis de localización del Perfil No. 4.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 4 se localiza en el Paraje El Cedro, Localidad San Pedro Chichicasco, Ejido Chichicasco, Municipio de Malinalco, llegando por la carretera Malinalco-Chalma, hasta el entronque con la carretera Chalma-San Andrés Nicolás Bravo, recorriendo por esta aproximadamente 12 kilómetros hasta la localidad de San Pedro Chichicasco, posteriormente tomar un camino encementado recorriendo aproximadamente 1,300 metros, hasta un camino de terracería al suroeste, recorriendo por este aproximadamente 300, se encuentra el sitio a 15 metros al norte.

PERFIL 5	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2091861	ESTE: 413563
ALTITUD: 2203 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lf (Luvisol férrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 869.2 mm Temperatura media anual: 15.4 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Este Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Principales especies: Pinus sp
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-50 centímetros; separación: continuidad claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: columnar, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; manchas: color 5YR 4/6 Rojo amarillento, cantidad 2 – 20% de la superficie, tamaño 0.5 – 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes difusos; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: columnar, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 4/1 Gris oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fuertemente intemperizado; manchas: color 5YR 4/6 Rojo amarillento, cantidad > 20% de la superficie, tamaño 0.5 – 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes difusos; raíces finas: no existe; raíces medias: no existe; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: Se encontraron fragmentos rocosos probablemente de cuarzo, y posiblemente lo que aparecen ser nódulos de Fe, sea material rocoso intemperizado</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 5.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 5 se localiza en el Paraje La Matanosa, Bienes Comunales Chiltepec de Hidalgo, Municipio de Coatepec Harinas, llegando por la carretera Coatepec Harinas- Chiltepec Hidalgo, a 11.5 km de Coatepec Harinas, de este punto se encuentra el sitio a 60 m al oeste de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil del suelo



Fotografía 2. Vista del entorno natural del perfil de suelo



Fotografía 3. Toma de información del sitio y del perfil del suelo



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 5.

PERFIL 6	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2092935	ESTE: 445558
ALTITUD: 1736 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 628.8 mm Temperatura media anual: 14.5 °C Clima: A(C)w1(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Sierras y Valles Guerrerenses Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso (31-60%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Selva caducifolia Principales especies: Palo dulce, chirimoya, casahuate, tepehuaje, ceiba, juniperus
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 3/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; gravas, forma angular, cantidad escasas; piedras, forma angular, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 15-35 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; piedras: forma subredondeado cantidad escasas; alteración: fuertemente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 35-60 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: guijarros: forma subredondeado, cantidad abundantes; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fuertemente intemperizado; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 60 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: intemperizado; raíces gruesas: 1-20.</p> <p>Observaciones: La capa 3 es una capa de roca fragmentada continua, con fragmentos de roca ligeramente intemperizada, la capa 4 es una capa continua de roca, con menor grado de intemperización que la anterior.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 6.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 6 se localiza en el Predio Particular El Paraiso, Localidad San Martín, Municipio de Malinalco, llegando por la carretera Tenancingo-Malinalco, hasta el entronque con la carretera a Jalmolonga, recorriendo por este camino aproximadamente 5 kilómetros hasta el entronque con la carretera a El Palmar y Pachuquilla, recorriendo por esta una distancia de 3 km. De este punto el sitio se encuentra a 15 metros al norte, llegando por una vereda.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio



Fotografía 3. Pruebas de campo y toma de información del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil No. 6

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 6.

PERFIL 7	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2095799	ESTE: 421082
ALTITUD: 2491 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1106.1 mm Temperatura media anual: 14.7 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino Principales especies: Pinus patula
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-50 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 50-90 centímetros; separación: continuidad difuso, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de 90-110 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 110 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/6 Café amarillento; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.5.</p>	
Observaciones: Sitio con aprovechamiento de resina	



Croquis de localización del Perfil No. 7.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 7 se localiza en el Paraje Entrada al Peñón, Predio Particular Fracción de la Ex Hacienda de Agua Amarga, Municipio Coatepec Harinas, llegando por la carretera Villa Guerrero-Coatepec Harinas, hasta el entronque con la carretera a la comunidad de Agua Amarga, recorriendo por este camino desde el entronque una distancia de 3.3 kilómetros, hasta llegar a un camino al este, recorriendo una distancia de aproximadamente 300 m. el Sitio se encuentra al sureste a 10 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio



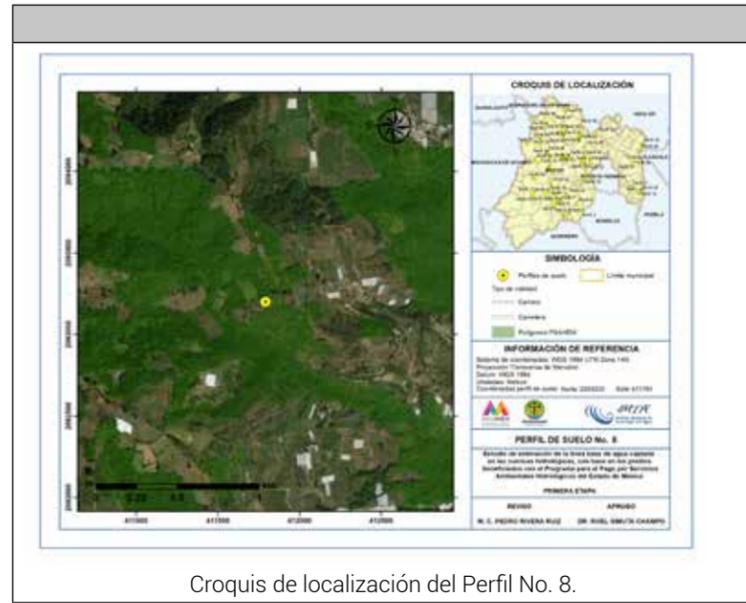
Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil No. 7.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 7.

PERFIL 8	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2093202	ESTE: 411791
ALTITUD: 2574 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Bc (Cambisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 869.2 mm Temperatura media anual: 15.4 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino-encino. Principales especies: Pinus sp, Quercus sp, Arbutus sp</p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: bloques angulares, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad muchos; color en seco: 7.5YR 4/6 Café fuerte; color en húmedo: 5YR 3/4 Café rojizo oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 10-25 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura : bloques angulares, tamaño medio, desarrollo moderado; poros : finos, cantidad muchos; color en seco: 7.5YR 5/6 Café fuerte; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 25 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; naturaleza: ; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	



INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 8 se encuentra en el Paraje Las Tirolesas, Bienes Comunales Chiltepec de Hidalgo, Municipio de Coatepec Harinas, llegando por la Carretera Catepec Harinas – Sultepec, hasta el poblado de Chiltepec de Hidalgo, una vez llegando a esta comunidad tomar el camino hacia la comunidad de Las Mesas. En esta comunidad tomar el camino al Oeste y recorrerlo por 1.2 kilómetros con dirección a las tierras de uso común de la comunidad. El perfil se localiza a 30 metros al oeste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Toma de información del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio



Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 8.

PERFIL 9	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2094142	ESTE: 415857
ALTITUD: 2282 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Be (Cambisol eutricto)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 869.2000000000005 mm Temperatura media anual: 15.4 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de encino. Quercus sp, Pinus sp, Cupressus lusitanica
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-35 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros, forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; materiales en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 35-60 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad pocos; color en seco: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 60 centímetros en adelante; separación: continuidad, difuso, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño, medio, desarrollo débil; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 2.5YR 3/6 Rojo oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo - limosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; pedras: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Observaciones: Se encontró en la capa superficial restos de construcción y restos de desechos domésticos, empaques plásticos y de vidrio</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 9.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 9 se localiza en el Predio particular San Martín El Salto, Localidad San José El Progreso, Municipio Coatepec Harinas, llegando por la carretera que va de Coatepec Harinas a Chiltepec, tomando el camino que va a la comunidad de San José del Progreso, y de ahí tomar el camino que va a la comunidad de San Martín El Salto, recorriendo por este una distancia de 1.6 kilómetros, hasta la entrada al predio, de ahí el punto se encuentra a 100 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Toma de información del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio



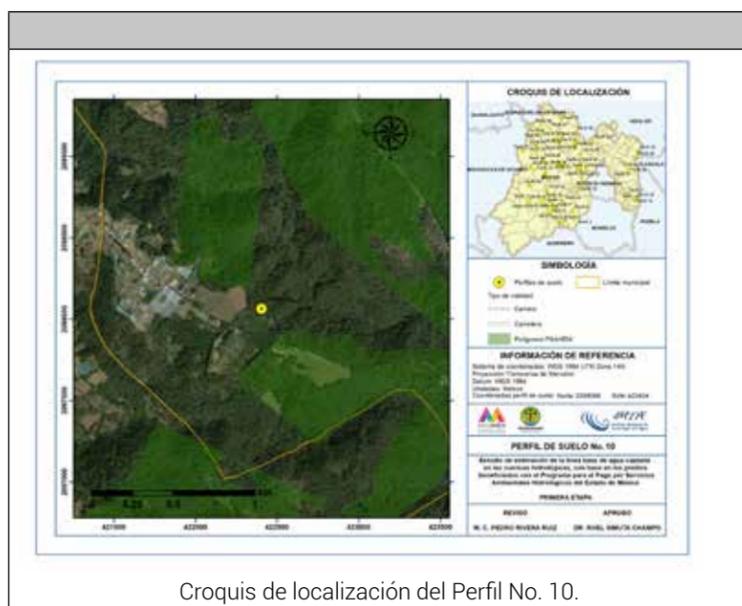
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 9.

PERFIL 10	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2098066	ESTE: 422404
ALTITUD: 2467 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1029.8 mm Temperatura media anual: 15.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Noreste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino-encino Principales especies: Pinus sp, Quercus sp
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
Horizonte 1: Profundidad de 0-60 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Horizonte 2: Profundidad de 60-120 centímetros; separación: continuidad difuso, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco-arenosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Horizonte 3: Profundidad de: 120 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño , sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Observaciones: Sitio con aprovechamiento forestal	



Croquis de localización del Perfil No. 10.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de suelo No. 10 se localiza en el Paraje La Joya, Rancho El Potrero, Fracción 3, Localidad Potrero de La Sierra, Municipio de Coatepec Harinas, llegando por la carretera Villa Guerrero – Coatepec Harinas, tomando el camino hacia la comunidad de Agua Amarga, llegando a esta comunidad, seguir el camino con dirección a la comunidad de Potrero de la Sierra por una distancia de 5.5 kilómetros hasta el Rancho El Potrero. El sitio se encuentra a 230 metros al noroeste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del sitio y del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del perfil de suelo.



Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 10.

PERFIL 11	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2104516	ESTE: 406986
ALTITUD: 2936 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1252.77 mm Temperatura media anual: 12.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Norte Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de abies. Abies religiosa
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros: gruesos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-120 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; manchas: color 2.5YR 3/6 Rojo, cantidad < 2% de la superficie, tamaño 0.5 – 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes abruptos; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 120 centímetros en adelante; separación: continuidad, abrupto, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/8 Café amarillento; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; sin raíces; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 5.5.</p> <p>Observaciones: El sitio se ubica a proximadamente 10 metros arriba del Arroyo Sabanillas, en la capa 2 se observan manchas rojas en cavidades que dejan las raíces pequeñas</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 10.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 11 se localiza en el Paraje Agua escondida, Ejido Los Ailes La Mesa y La Gacamaya, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera La Puerta-Sultepec, en dirección a Sultepec, a 550 metros antes del entronque con la carretera a Temascaltepec, el sitio se encuentra a 30 metros al sureste de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Toma de información del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



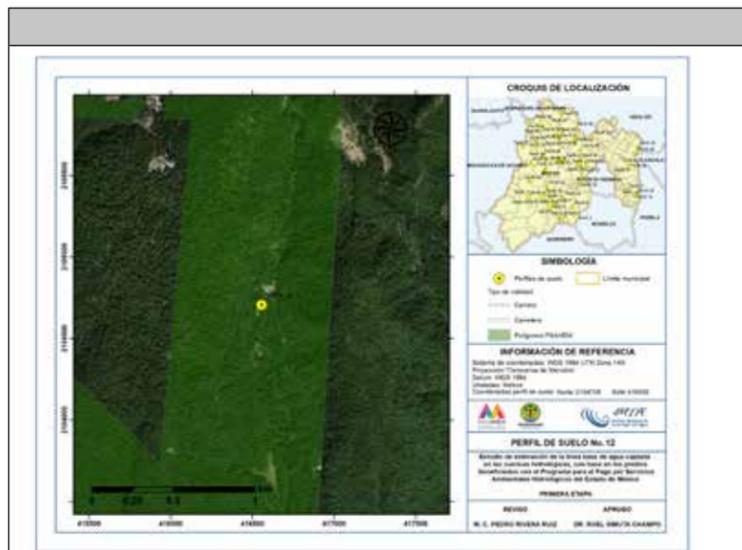
Fotografía 3. Toma de muestras del perfil de suelo.



Fotografía 4. Participación del personal de PROBOSQUE y los beneficiarios del programa PSAHEM.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 11.

PERFIL 12	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2104708	ESTE: 416555
ALTITUD: 2915 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 1029.8 mm Temperatura media anual: 15.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Sureste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de pino. Pinus pseudostrobus, Abies religiosa, reforestación con P. ayacahuite</p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño fino, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/1 Gris oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 30-50 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; pedras: forma subredondeado cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; pedras: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: En las inmediaciones del predio hay aprovechamiento forestal</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 12.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 12 se localiza en el Paraje el Chiquihuitero, Ejido Coatepec Harinas, Municipio de Coatepec Harinas, llegando por la carretera Coatepec Harinas-Parque de los Venados, recorriendo por esta una distancia de 13.5 kilómetros, hasta el lugar conocido como "Truchas El Compadre", en donde se encuentra un camino al sur, recorriendo por este 75 metros, el sitio se encuentra a 20 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



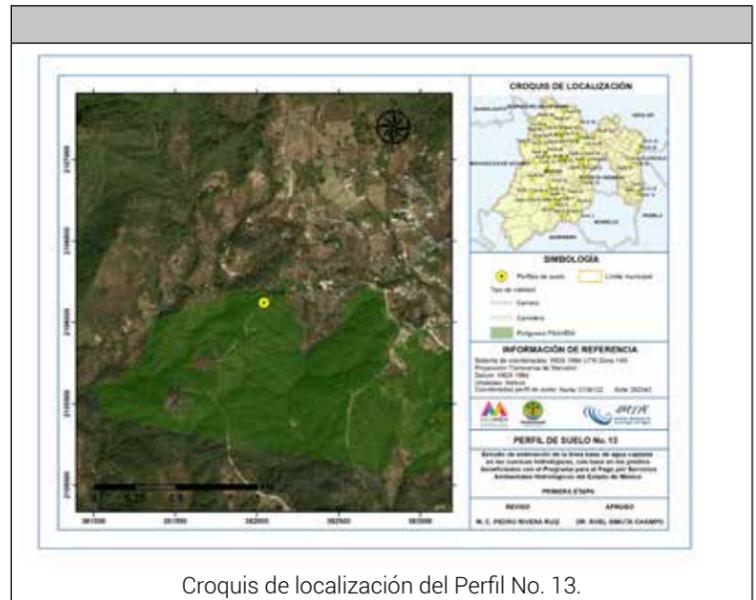
Fotografía 3. Pruebas de campo del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 12.

PERFIL 13	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2106122	ESTE: 382043
ALTITUD: 1803 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Ao (Acrisol ortico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1241.2 mm Temperatura media anual: 18.2 °C Clima: (A)C(w2)(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 50 Exposición perfil: Norte Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de encino-pino. Pinus oocarpa, Quercus sp, Lysiloma sp, Arbutus sp.
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 7/2 Café claro; color en húmedo: 10YR 4/3 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma angular, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6. Horizonte 2: Profundidad de 5 centímetros en adelante; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura : masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 8/4 Café muy claro; color en húmedo: 10YR 7/4 Café muy claro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: areno - francosa; gravas: forma angular, cantidad frecuentes; guijarros: forma angular, cantidad muy escasas; manchas: color 5YR 5/8 Rojo amarillento, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.
Observaciones: En este sitio hay aprovechamiento forestal de resina.	



Croquis de localización del Perfil No. 13.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 13 se localiza en el Ejido El Peñón, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Ciudad Altamirano-Toluca, hasta el entronque con la carretera El Fresno-Temascaltepec, recorriendo por esta 4.1 kilómetros, hasta el entronque con la carretera hacia San Pedro Tenayac, recorriendo una distancia de 9.5 kilómetros hasta un camino de terracería que conduce al área de uso común del ejido al suroeste de la carretera, recorriendo 120 metros. de este punto el sitio se encuentra a 10 metros al noroeste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma de información del sitio y del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 13.

PERFIL 14	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2105997	ESTE: 431393
ALTITUD: 2726 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: I (Litosol)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 628.8 mm Temperatura media anual: 14.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Norte Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de pino, Pinus sp, Quercus sp, Aie sp, Cupressus lusitanica
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 7.5YR 6/2 Gris rosaceo; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-25 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 6/4 Café amarillento claro; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o sin intemperismo; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 25-33 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 33 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva.</p> <p>Observaciones: Sitio con deforestación para ampliar area agrícola. El horizonte 4 es una capa continua de roca</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 14.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 14 se localiza en el Paraje El Zarzal, Ejido de San Pedro Tlanixco, Municipio de Tenango del Valle, llegando por un camino localizado al sur de la comunidad de San Pedro Tlanixco, que es la continuación de la calle Sebastian Lerdo de Tejada, recorriendo por este una distancia de aproximadamente 1.8 kilómetros, el camino en este tramo va paralelo a la autopista Tenango del Valle-Ixtapan de la Sal. De aquí se recorre una distancia de aproximadamente 100 metros para llegar al punto.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Pruebas de campo del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil.



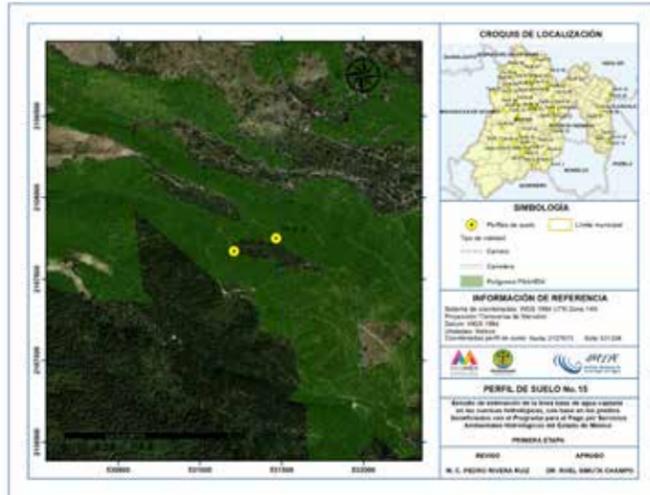
Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 14.

PERFIL 15	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2107673	ESTE: 531208
ALTITUD: 2992 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Rd (Regosol distrito)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 853.8 mm Temperatura media anual: 14.5 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 60 Exposición perfil: Norte Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy lento Erosión: Hídrica Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Pinus sp. Cupressus lusitanica</p>	
	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-8 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 5/1 Gris; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franca; gravas, forma Angular, cantidad Muy Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: 6; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.00.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 8-24 centímetros; separación: continuidad Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Bloques Subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/1 Gris oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: forma Angular, cantidad Muy Escasas; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 24-60 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en seco: 0; color en húmedo: 2.5Y 3/1 Café oliva claro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: forma Angular, cantidad Muy Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 60-90 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 2.5Y 2.5/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: No existe; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p>	
<p>Horizonte 5: 90-115 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: ; color en húmedo: 2.5Y 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p>	

Horizonte 6: 115 centímetros en adelante; **separación:** continuidad, Abrupto, forma Plana; **reacción al HCl:** Sin efervescencia; **humedad aparente:** Húmedo; **estructura:** Masiva, **tamaño** Sin dimensión, **desarrollo** Sin desarrollo; **poros:** Muy finos, **cantidad** Comunes; **color en seco:** ; **color en húmedo:** 2.5Y 5/4 Café oliva claro; **consistencia en húmedo:** Friable; **adhesividad:** Ligera; **plasticidad:** Ligera; **textura al tacto:** Franco - arenosa; **raíces finas:** No existe; **raíces medias:** 1-20; **raíces gruesas:** No existe; **drenaje interno:** Excesivamente drenado; **reacción al agua oxigenada:** Sin efervescencia.

Observaciones: Ninguna



Croquis de localización del Perfil de Suelo No. 15

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 14. El Perfil 15 se encuentra en El Ejido Ozumba de Alzate, Municipio de Ozumba, llegando por la carretera Santa Bárbara – Tlaxmacas, que lleva de la cabecera municipal de Amecameca hacia las instalaciones del Parque Izta-Popo, pasando el poblado de San Pedro Nexapa y recorriendo aproximadamente 4.5 kilómetros, hasta un camino de terracería al Sur, y recorriendo por este una distancia aproximada de 4.5 kilómetros, encontrándose el sitio a aproximadamente 35 metros al sur del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



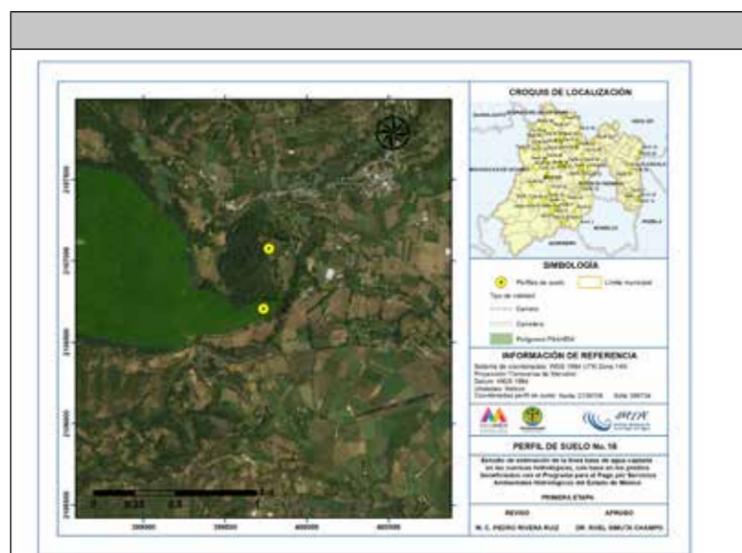
Fotografía 3. Detalles del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 15.

PERFIL 16	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2106708	ESTE: 399734
ALTITUD: 2323 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Bc (Cambisol cromico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1332.8 mm Temperatura media anual: 14.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino-encino Principales especies Pinus sp, Quercus sp, Arbutus sp.
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-8 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 4/3 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillo – limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 8-50 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/8 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 5/6 Café fuerte; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 16.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 16 se localiza en el Paraje La Cienega, Bienes Comunales San Martín Tequesquipan, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Temascaltepec-Las Juntas, hasta la desviación a San Martín Tequesquipan, recorriendo por esta una distancia de 500 metros hasta un camino de terracería que se encuentra al norte de la carretera, por este camino se recorren 60 metros y el sitio se encuentra a 40 metros al noroeste, llegando por una vereda.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



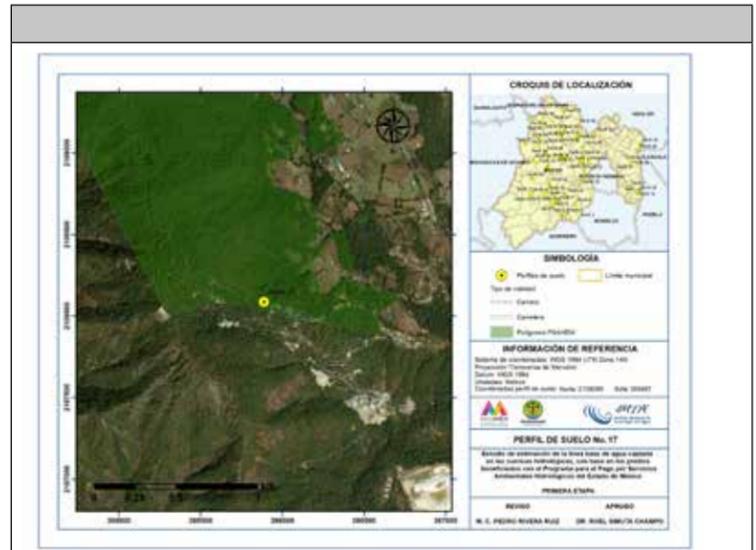
Fotografía 3. Registro de información y pruebas de campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 16.

PERFIL 17	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2108089	ESTE: 385887
ALTITUD: 2242 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Bd (Cambisol dístico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1241.2 mm Temperatura media anual: 18.2 °C Clima: (A)C(w2)(w)(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 50 Exposición perfil: Noreste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de pino. Pinus occarpa, Quercus sp, Arbutus sp-
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 6/4 Café amarillento claro; color en húmedo: 10YR 4/3 Café oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: arenosa; gravas, forma angular, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 15-55 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 6/8 Amarillo parduzco; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma angular, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 55 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/8 Café parduzco; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arcillosa- arenosa; gravas: forma angular, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: En las inmediaciones del sitio hay desechos de mina ubicada cerca de la comunidad, y posiblemente este alterando la capa superficial del suelo, ya que se apreció una capa muy delgada con color parecido al mencionado desecho que fue depositado en el camino aguas arriba del sitio.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 17.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 17 se localiza en el Paraje Las Conejeras, Bienes Comunales San Francisco La Albarrada, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera El Fresno-Temasaltepec, hasta la desviación a la comunidad de La Albarrada, recorriendo una distancia por este camino de 800 metros hasta la desviación a La Albarrada, en esta desviación se toma el camino del suroeste, parra recorrer una distancia de aproximadamente 1.5 kilómetros, de este punto el sitio se localiza 15 metros al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Preparación del perfil de suelo.



Fotografía 2. Toma de muestras del perfil de suelo.



Fotografía 3. Vista del entorno natural del sitio.



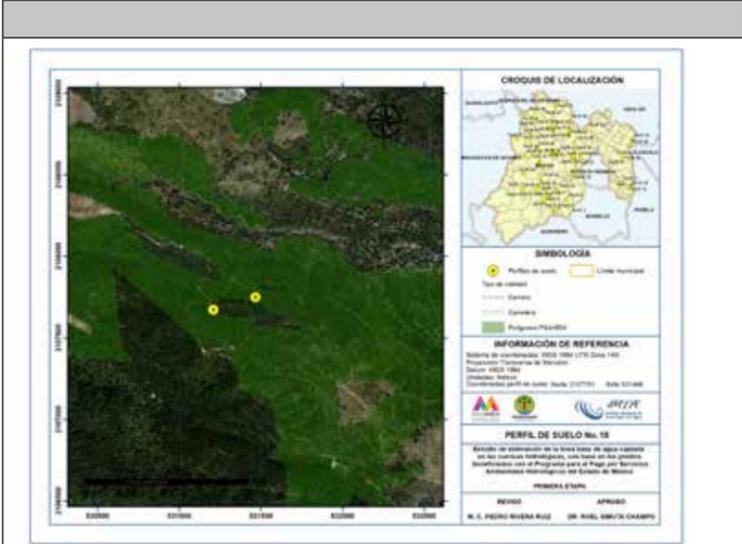
Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 17.

PERFIL 18	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2107751	ESTE: 531466
ALTITUD: 3012 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Rd (Regosol dístico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 853.8 mm Temperatura media anual: 14.5 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 50 Exposición perfil: Norte Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de abies Principales especies: Abies religiosa, Pinus sp. Cupressus lusitanica</p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-16 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/1 Gris oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 16-39 centímetros; separación: continuidad Claro, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Bloques Subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/1 Gris oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; gravas: forma Plano, cantidad Muy Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; manchas: cantidad < 2% de la superficie, tamaño 0.5 - 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes abruptos; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 39-57 centímetros: separación: continuidad, Abrupto, forma, Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 10YR 4/1 Gris oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 57-79 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en húmedo: 2.5Y 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 5: 79-118 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en húmedo: 2.5Y 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.00.</p>	

Horizonte 6: 118 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en húmedo: 5Y 2.5/1 Negro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; raíces finas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.00.

Observaciones:



Croquis de localización del Perfil No. 18.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil 18 se encuentra en El Ejido Ozumba de Alzate, Municipio de Ozumba, llegando por la carretera Santa Bárbara - Tlamacas, que lleva de la cabecera municipal de Amecameca hacia las instalaciones del Parque Izta-Popo, pasando el poblado de San Pedro Nexapa y recorriendo aproximadamente 4.5 kilómetros, hasta un camino de terracería al Sur, y recorriendo por este una distancia aproximada de 5 kilómetros, encontrándose el sitio a aproximadamente 20 metros al sur del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Pruebas de campo.

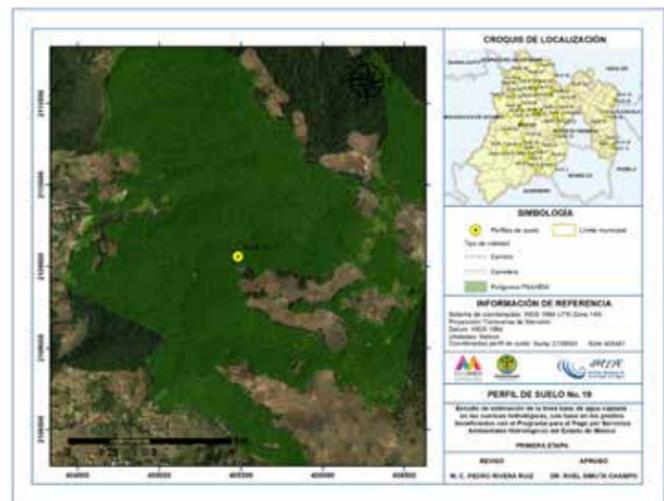


Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Croquis de localización del Perfil de Suelo No. 18

PER FIL 19	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2109563	ESTE: 405481
ALTITUD: 2898 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1252.7 mm Temperatura media anual: 12.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Norte Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: Bosque de abies. Abies religiosa
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-50 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 50-83 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 83-140 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 140-170 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 5: 170 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	

Observaciones: A los 25 centímetros de profundidad se tiene una muy delgada de arena, posiblemente por arrastre de material y rompe la continuidad del horizonte, que en otras caras del pozo continua hasta los 50 centímetros.



Croquis de localización del Perfil No. 19.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 19 se localiza en el Paraje Las Milpas, Localidad La Laguna, Bienes Comunales La Estancia, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Toluca-Temascaltepec, hasta el entronque con la carretera con dirección a Tequesquipan, recorriendo por esta una distancia de 3.2 kilómetros hasta la comunidad del mismo nombre, en esta comunidad tomar la carretera hacia la comunidad de La Laguna, a aproximadamente 3.3 kilómetros, de aquí continuar por el camino hacia la comunidad de La Orejeta, recorriendo una distancia de aproximadamente 3 kilómetros. El sitio se ubica a 15 metros al noreste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma de muestras del perfil de suelo.



Fotografía 4. Toma y registro de información del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 19.

PERFIL 20	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2110300	ESTE: 533536
ALTITUD: 2324 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Re (Regosol eutrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 853.8 mm Temperatura media anual: 14.5 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 60 Exposición perfil: Sur Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Extracción de material Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de Abies. Principales especies: Bosque de Abies. Abies religiosa, Quercus sp.
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-27 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco; 10YR 3/1 Gris muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franca; gravas, forma Angular, cantidad Escasas; piedras, forma Angular, cantidad Muy Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.0.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 27-62 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura : Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros : Finos, cantidad Pocos; color en seco: 5Y 5/1 Gris; color en húmedo: 10YR 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 62-77 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma, Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en húmedo: 10YR 6/4 Café amarillento claro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - limosa; gravas: forma Angular, cantidad Escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 77-85 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco - arcilloso - limosa; gravas: forma Angular, cantidad Frecuentes; alteración: ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 5: 85 centímetros en adelante; separación: continuidad, Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: ; color en húmedo: 10YR 5/6 Café amarillento; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa- arenosa; gravas: forma Angular, cantidad Frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.00.</p>	
Observaciones: Horizonte 4 tiene fragmentos de carbón en el 20% del horizonte	



Croquis de localización del Perfil de Suelo No. 20

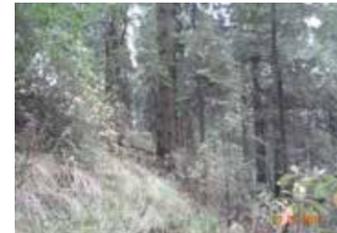
INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de suelo se localiza en los Bienes Comunales de Amecameca, llegando por la carretera Santa Bárbara – Tlamanca, que va de la cabecera municipal de Amecameca a las instalaciones del parque Izta-Popo, recorriendo una distancia de aproximadamente 9 kilómetros una vez pasando el poblado de San Pedro Nexapa. El sitio se encuentra a aproximadamente 20 metros al norte de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio



Fotografía 3. Muestras de suelo para pruebas de campo del perfil



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 20.

PERFIL 21	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2116809	ESTE: 520235
ALTITUD: 2464 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Re (Regosol eutrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 880.8 mm Temperatura media anual: 14 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento rocoso Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin evidencia de erosión Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Tala Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque pino Principales especies: Pinus sp. Quercus sp
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 3/1 Gris muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franca; gravas, forma Redondeado, cantidad Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.00.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 10-23 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura : Bloques Subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros : Finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; consistencia en seco: Muy dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.50.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 23-35 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma, Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco – arcillo – limosa; manchas: color 10YR 4/3 Café, cantidad < 2% de la superficie, tamaño < 0.5 centímetros, contraste destacadas, bordes abruptos; raíces finas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 5.50.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 35 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco – arcillosa; manchas: color 10YR 4/3 Café, cantidad 2 – 20% de la superficie, tamaño < 0.5 centímetros, contraste destacadas, bordes abruptos; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 5.50.</p>	



Croquis de localización del Perfil de Suelo No. 21

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 21 se localiza en el Ejido de San Francisco Zentlalpan, en el municipio de Ayapango, llegando por la carretera Amecameca-Ayapango, tomando a la altura del Centro Universitario Amecameca de la UAEMEX, tomar la carretera que va al poblado de Poxtla, atravesando el poblado se llega a un camino de terracería, y recorriendo este por una distancia de aproximadamente 1.5 kilómetros se llega al predio. El sitio se ubica a aproximadamente 30 metros al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Registro de información y observaciones de campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 21.

PERFIL 22	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2116456	ESTE: 416579
ALTITUD: 3791 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1214.3 mm Temperatura media anual: 4 °C Clima: C(E)(w2)(w)(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo Bosque de pino. Principales especies: <i>Pinus hartwegii</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño fino, desarrollo débil; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-70 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fuertemente intemperizado; raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 70-155 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 6/8 Amarillo parduzco; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 155 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 2.5Y 4/2 Café grisáceo oscuro; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; sin raíces; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: nula; pH de campo: 5.</p>	
Observaciones: Terreno con terrazas construidas en 1986, El horizonte 3 es lo que se conoce localmente como tepojal, y es roca pumicitica, el horizonte 4 es una capa de arena.	



Croquis de localización del Perfil No. 22.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de suelo No. 22 se localiza en el Paraje El Albergue, Ejido de San Juan de Las Huertas, Municipio de Zinacantepec, llegando por la carretera La Puerta-Sultepec, hasta la entrada al Parque de Los Venados, recorriendo este hasta el Parque de Los Venados, en donde se encuentra la caseta de cobro, continuar por el camino que conduce al cráter y recorrer aproximadamente 1.3 kilómetros. El sitio se encuentra a 70 metros al noreste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Registro de información y observaciones de campo.



Fotografía 4. Personal directivo y operativo de PROBOSQUE y autoridades comunales en los trabajos de campo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 22.

PERFIL 23	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2128160	ESTE: 383814
ALTITUD: 2077 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Ao (Acrisol ortico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 883 mm Temperatura media anual: 18.8 °C Clima: (A)C(w"1)(wi)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Sur Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino. Principales especies: Bosque de pino. Pinus oocarpa, P. pringlei, P. lawsonii
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 5YR 4/6 Rojo amarillento; color en húmedo: 5YR 3/4 Café rojizo oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas, forma redondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros; profundidad >20 centímetros; distanciamiento > 50 centímetros; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-35 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros : medios, cantidad muchos; color en húmedo: 5YR 4/4 Café rojizo oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma redondeado, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad >20 centímetros, distanciamiento > 50 centímetros; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 35-60 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 2.5YR 4/6 Rojo; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; guijarros: forma redondeado, cantidad escasas; pedras: forma redondeado, cantidad frecuentes; alteración: fuertemente intemperizado; grietas: ancho de 6 – 10 centímetros, profundidad >20 centímetros, distanciamiento > 50 centímetros; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 60 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; pedras: forma redondeado, cantidad dominantes; alteración: fuertemente intemperizado.</p> <p>Observaciones: La capa 4 es una capa con roca altamente intemperizada y con rocas redondeadas ligeramente intemperizadas</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 23.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 23 se localiza en el Paraje La Rosita, Ejido San Francisco Mihualtepec, Municipio de Donato Guerra, llegando por la carretera Amanalco-Valle de Bravo, hasta el entronque con la Avenida Vega del Río, que conduce a la comunidad de San Francisco Mihualtepec, y recorrer por esta avenida una distancia de aproximadamente 2.6 kilómetros, hasta un camino de terracería con dirección al suroeste, y recorrer este una distancia de 160 metros hasta donde se encuentra el sitio.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



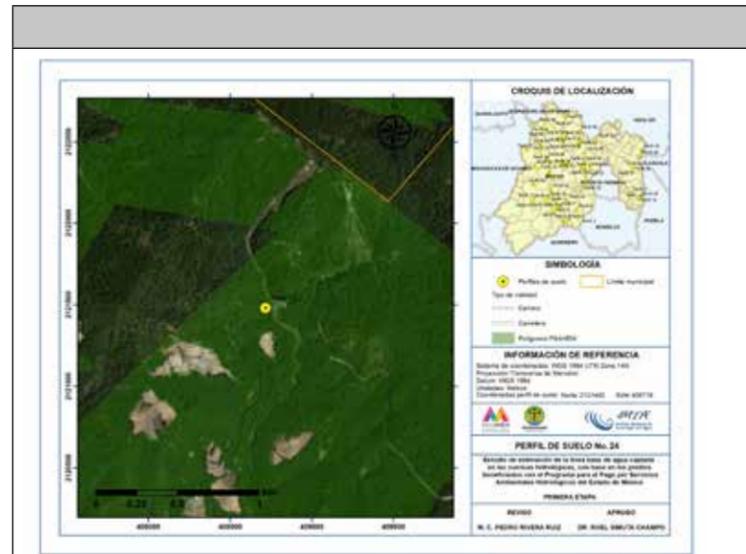
Fotografía 3. Toma de muestras del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 23.

PERFIL 24	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2121482	ESTE: 408716
ALTITUD: 2979 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1339.2 mm Temperatura media anual: 13 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 40 Exposición perfil: Sureste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino. Principales especies: Pinus sp, Abies religiosa, Alnus sp
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-7 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo débil; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma angular, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 7-80 centímetros; separación: continuidad clara, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 80-100 centímetros; separación: continuidad, clara, forma, ondulada; reacción al HCl: 00; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma angular, cantidad escasas; guijarros: forma angular, cantidad frecuentes; piedras: forma angular, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 100 centímetros en adelante; separación: piedras: forma subredondeado, cantidad dominantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado;</p>	
Observaciones: Se observó una capa 4 que es una capa continua de roca	



Croquis de localización del Perfil No. 24.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 24 se localiza en el Paraje El Toreo, Ejido Mesón Viejo, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Toluca-Ciudad Altamirano aproximadamente en el kilómetro 31.5. El sitio se encuentra a 25 metros al Noroeste de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Pruebas de campo y registro de información.



Fotografía 4. Muestras de perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 24.

PERFIL 25	
	COORDENADAS (UTM WGS84)
	NORTE 2151885 ESTE: 450994
ALTITUD: 3013 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: To (Andosl ócrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 1079.3 mm Temperatura media anual: 13.2 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Alta Factores nocivos: Prácticas agrícolas inadecuadas Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: Avena y maíz	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño muy fino, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: 21-100; material en la superficie: sin cubierta; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-90 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros : medios, cantidad muchos; color en húmedo: 5YR 4/4 Café rojizo; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 90-110 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad pocos; color en húmedo: 7.5YR 5/6 Café fuerte; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 110-130 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 6/8 Amarillo rojizo; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 5: 130-155 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 4/6 Café fuerte; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: muy fuerte; plasticidad: muy fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 6: 155 centímetros en adelante; separación: continuidad, difuso, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: muy fuerte; plasticidad: muy fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces finas: no existe; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 6.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 25.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 25 se localiza en el Paraje Las Chabelitas, Barrio Morillos, Ejido de San Miguel Mimiapan, Xonacatlán, Parcela agrícola del Sr. Alfonso Toris Morales, llegando por la carretera que va de San Miguel Mimiapan a La Alberca de San Pedro, llegando a esta recorrer 150 metros hasta el camino que va al noreste y recorrer por este una distancia aproximada de 2.5 kilómetros hacia el área agrícola. Del camino el sitio esta a 60 metros al noroeste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma y registro de información del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 25.

PERFIL 26	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2125658	ESTE: 454067
ALTITUD: 2716 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: I (Litosol)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 994.8 mm Temperatura media anual: 11.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Excesivamente pedregoso (valor > 61%) Clase de afloramiento rocoso: Excesivamente rocoso (valor > 61%) Clase de drenaje externo: Lento Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Muy alta Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino. Principales especies: <i>Quercus sp</i> , <i>Pinus sp</i> , <i>Arbutus sp</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-40 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas, forma angular, cantidad abundantes; guijarros, forma redondeado, cantidad abundantes; piedras, forma redondeado, cantidad abundantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 40-80 centímetros; separación: continuidad difuso, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: , cantidad ; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 4/6, Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; gravas: forma angular, cantidad abundantes; guijarros: forma angular, cantidad abundantes; piedras: forma angular cantidad abundantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: >100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 80 centímetros en adelante: separación: continuidad, clara, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; guijarros: forma angular, cantidad abundantes; piedras: forma angular, cantidad dominantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: muy drenado.</p> <p>Observaciones: La capa 3 es una capa continua de roca de naturaleza basáltica en donde se puede encontrar acumulación del suelo que se ha desarrollado en las capas superficiales.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 26.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 26 se localiza en el Paraje El Pedregal, Bienes Comunales Santiago Tllapa, Municipio de Tianguistenco de Galeana, llegando por la carretera La Marquesa-Tenango del Valle, hasta la desviación a la comunidad de San Miguel Almaya, recorriendo por esta 1.2 kilómetros hasta la desviación a la comunidad de Victoria, recorrer 700 metros hasta el camino que conduce a la Laguna de Almaya y recorrer por el camino de terracería una distancia de 900 m, tomar el camino que conduce a El Pedregal y a 200 metros se localiza el sitio.

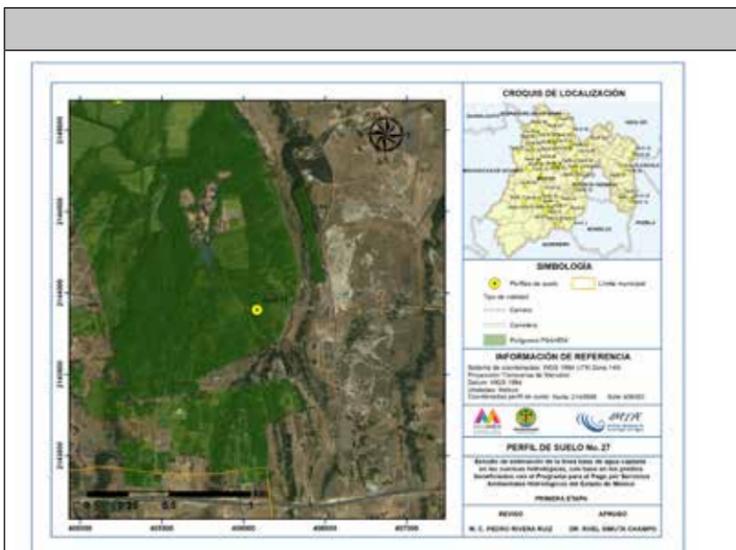
TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
	
Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.	Fotografía 2. Entorno natural del sitio.
	
	Fotografía 3. Observaciones y pruebas de campo.
	
Fotografía 4. Muestras del perfil de suelo.	

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 26.

PERFIL 27	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2143898	ESTE: 406083
ALTITUD: 2618 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 786.8 mm Temperatura media anual: 12.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque cultivado Principales especies: <i>Cupressus sp</i> , <i>Pinus patula</i> , <i>P. greggii</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-7 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR3/2. Café grisáceo muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillosa-arenosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; material en la superficie: 0; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 7centímetros en adelante; separación: continuidad claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : prismática, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros : finos, cantidad pocos; color en húmedo: 5YR 2.5/1 Negro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad 11 – 20 centímetros, distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy fuerte; pH de campo: 5.</p>	

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
	
Fotografía 1. Vista del entorno natural del sitio.	Fotografía 2. Trazo para la apertura del pozo edafológico.
	
	Fotografía 3. Vista del perfil de suelo.
	
Fotografía 4. Muestras del perfil de suelo.	

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 27.



Croquis de localización del Perfil No. 27.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL perfil de Suelo No. 27 se localiza en el Paraje La puerta del Ojo de Agua, Hacienda La Gavia, Municipio de Almoloya de Juárez, llegando al sitio es por la carretera federal Toluca-Morelia, se toma un camino pavimentado al Sur a 600 metros antes de llegar a La Colonia Gustavo Baz municipio de Villa Victoria, recorriendo por éste una distancia de aproximadamente 1.5 km hasta un camino de terracería que conduce a la Hacienda La Gavia. Una vez dentro del predio, se recorren 500 metros por el camino principal que conduce al casco de la hacienda y a 200 metros al norte se localiza el punto.

PERFIL 28	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2145197	ESTE: 405235
ALTITUD: 2593 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vp (Vertisol pélico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 786.8 mm Temperatura media anual: 12.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Lento Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Pinus sp</i></p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-4 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR3/2. Café grisáceo muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; material en la superficie: 0; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 4-24 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: columnar, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad 11 – 20 centímetros, distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 24-53 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: columnar, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 1/1 Negro; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad >20 centímetros, distanciamiento < 2 centímetros; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: ; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 53 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 7/2 Gris claro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: arenosa; sin raíces: ; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Terreno agrícola en las inmediaciones de una plantación forestal de pino.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 27.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL perfil de Suelo No. 28 se localiza en los terrenos de la Hacienda La Gavia, Municipio de Almoloya de Juárez, llegando al sitio es por la carretera federal Toluca-Morelia, se toma un camino pavimentado al Sur a 600 metros antes de llegar a La Colonia Gustavo Baz municipio de Villa Victoria, recorriendo por éste una distancia de aproximadamente 1.5 km hasta un camino de terracería que conduce a la Hacienda La Gavia. Una vez dentro del predio, se recorren 500 metros por el camino principal que conduce al casco de la hacienda y a 200 metros al norte se localiza el punto.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 2. Concertación con personal de PROBOSQUE y beneficiarios del programa PSAHEM.



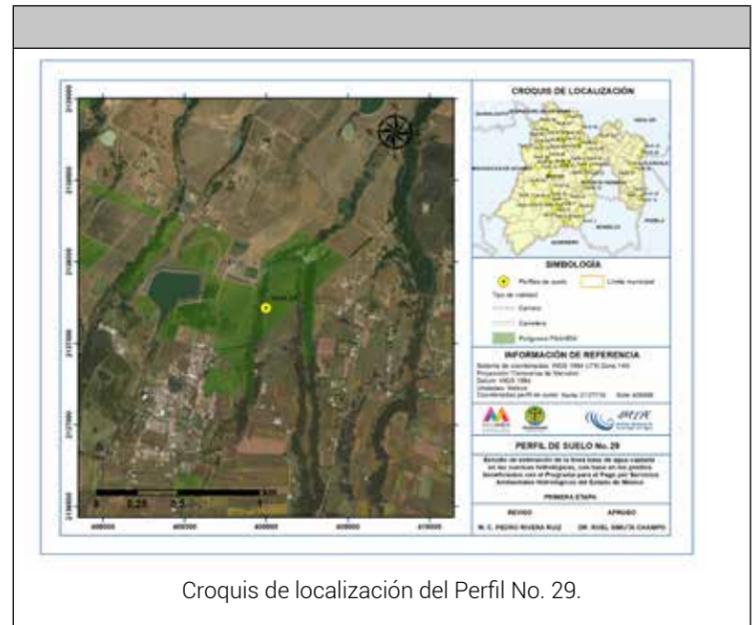
Fotografía 3. rabajo de campo con personal de PROBOSQUE.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 28.

PERFIL 29	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2137719	ESTE: 408998
ALTITUD: 2807 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hl (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 786.8 mm Temperatura media anual: 12.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Oeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque cultivado Principales especies: <i>Pinus patula</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño medio, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 25-110 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 110-110 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Observaciones: Plantación forestal establecida en 2014, anteriormente se estableció plantación en 1996 y tuvo aprovechamiento en 2014, anterior a las plantaciones eran tierras agrícolas</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 29.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 29 se localiza en el Paraje Loma Larga, Ex Hacienda de San Nicolás Amealco, Municipio de Almoloya de Juárez, llegando por la Carretera Toluca-Zitacuaro, hasta la estación de servicio El Paredón, de ahí tomando la salida a la El Paredón continuar por esta hasta la comunidad de San Nicolás Amealco. De ahí tomar el camino a el casco de la hacienda y de este tomar el camino al este por una distancia de 500 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



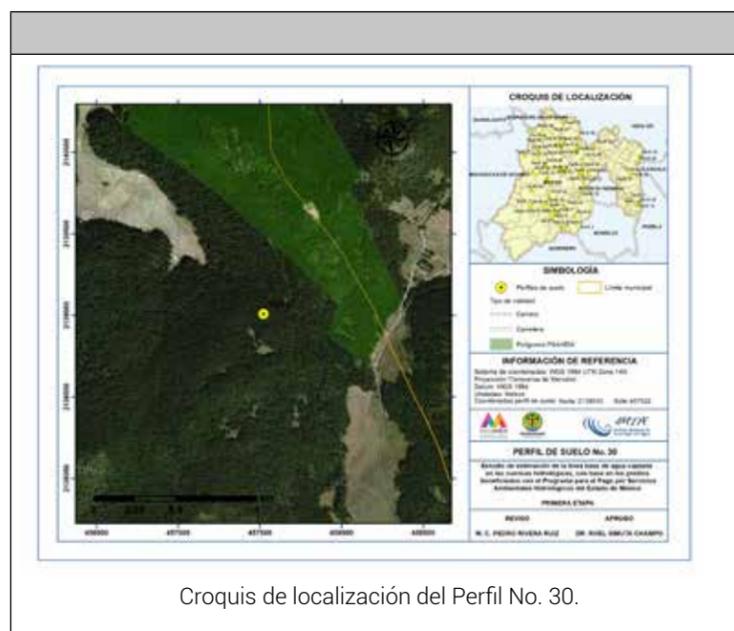
Fotografía 3. Participación del personal de PROBOSQUE y de los beneficiarios del programa en las actividades de campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 29.

PERFIL 30	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2139010	ESTE: 457522
ALTITUD: 3226 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosl húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1016.5 mm Temperatura media anual: 12.9 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Norte Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de oyamel Principales especies: Abies religiosa
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: otro; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-40 centímetros; separación: continuidad claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 40-110 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/6 Café amarillento; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; raíces finas: no existe; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 110 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 6/3 Café pálido; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arcillosa-arenosa; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fuertemente intemperizado; manchas: color 5YR 4/6 Rojo amarillento, cantidad 2 – 20% de la superficie, tamaño 0.5 – 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Sitio con aprovechamiento forestal en 2018, problemas de tala clandestina</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 30.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 30 se localiza en el Paraje La Carita, Ejido Santa María Atarasquillo, Municipio de Lerma, llegando por la carretera México-Toluca, tomando la salida a la comunidad de Salazar y continuando por la carretera a Piedra Grande por 3 kilómetros hasta un camino de terracería al oeste y siguiendo por este una distancia de 800 metros. El sitio se localiza a 150 metros al suroeste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 2. Toma de información del perfil de suelo.



Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Muestras del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 30.

PERFIL 31	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2173450	ESTE: 394278
ALTITUD: 2664 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Wh (Planosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 786.8 mm Temperatura media anual: 12.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Este Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Lento Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: Maiz (Zea mays)</p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: muy finos, cantidad comunes; color en seco, 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces: raíces finas: 1-20; raíces medias: no existe; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: residuos de cosecha; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-50 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; raíces finas: 1-20; raíces medias: ; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 50-80 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: muy finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 80-120 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: muy finos, cantidad pocos; color en húmedo: 5YR 2.5/1; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 5: 120 centímetros en adelante; separación: continuidad, clara, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad muy pocos; color en húmedo: 7.5YR 5/2 Café; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: arcillo – limosa; drenaje interno: escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.5.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 31.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 31 se localiza en la Predio Particular Rancho Carlos Chavez Vlchis, Ranchería Barrio del Calvario del Carmen, Municipio de San Felipe del Progreso, llegando por la Carretera San Felipe del Progreso-Santana Nichi, tomando la carretera a la Comunidad de Barrio del Carmen, recorriendo por este 2.9 kilómetros hasta la entrada a la Propiedad. De la entrada a la propiedad al punto se recorren 250 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Pruebas de campo y registro de observaciones.



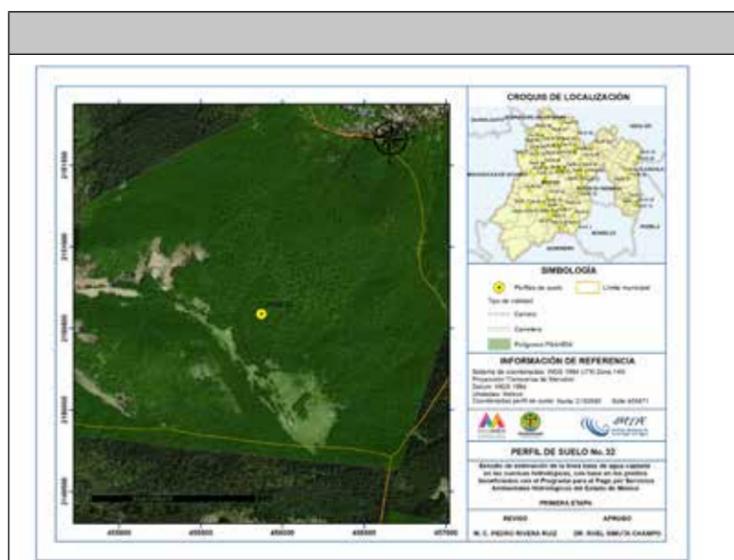
Fotografía 3. Entorno natural del sitio.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 31.

PERFIL 32	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2150590	ESTE: 455871
ALTITUD: 3178 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1079.3 mm Temperatura media anual: 13.2 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Muy alta Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de oyamel. Principales especies: Abies religiosa
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: >100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 15-80 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 80-135 centímetros: separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; piedras: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 135 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: areno - francosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fuertemente intemperizado; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Observaciones: Bosque de oyamel con evidencia de tala ilegal</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 32.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 32 se localiza en el Paraje El Pato, Ejido San Miguel Mimiapan, Municipio de Xonacatlán, llegando por la carretera que va de San Miguel Mimiapan al Barrio de San Pedro y de ahí tomando el camino que va a La Unidad Huitzililapan, recorriendo por esta 2.5 kilómetros. de aquí el sitio se localiza a 180 metros al oeste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Vista del perfil de suelo.



Figura 2. Entorno natural del sitio.



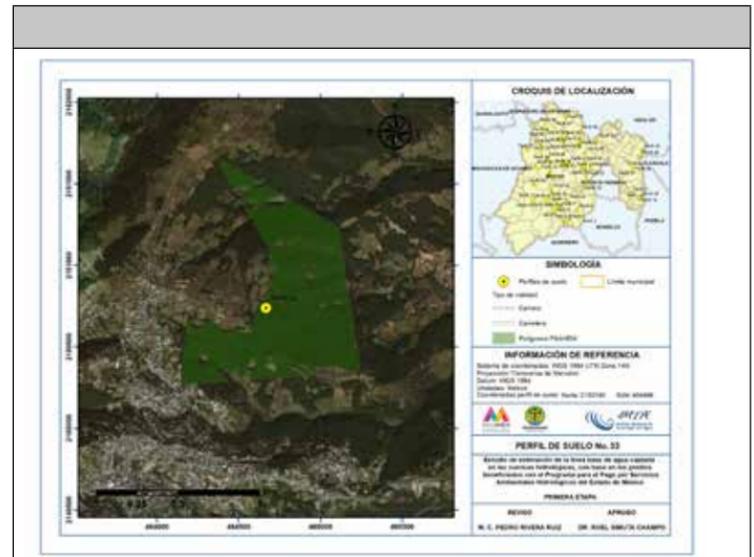
Figura 3. Pruebas y observaciones de campo.



Figura 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 32.

PERFIL 33	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2150740	ESTE: 464666
ALTITUD: 2873 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Be (Cambisol eutríco)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 984.7 mm Temperatura media anual: 15.3 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Sierra Pendiente (%): 70 Exposición perfil: Noreste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino. Principales especies: <i>Quercus rugosa</i>, <i>Arbutus sp.</i></p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas, forma angular, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 25-50 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas: forma angular, cantidad muy escasas; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 50-85 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: ; reacción al agua oxigenada: débil ; pH de campo: 5</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 85-140 centímetros; separación: continuidad, claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: limosa; gravas: forma angular, cantidad muy escasas; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 5: 140 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 7/3 Café muy claro; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad abundantes; piedras: cantidad subredondeado, forma abundantes; alteración: intemperizado; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: El sitio se utilizó para construir un horno de carbón. La capa 3 esta oscurecida por la presencia de carbon y esta no es representativa del perfil, según se apreció en otras caras del pozo, la capa 4 es material consolidado conocido como cascajo</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 33.

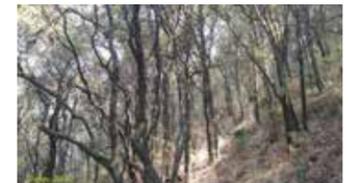
INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 33 se localiza en el Paraje Chimalpa Vlejo, Ejido de San Francisco Chimalpa, Municipio de Naucalpan de Juárez, llegando por la carretera Toluca-Naucalpan, hasta el poblado de San Francisco Chimalpa, en este poblado tomar el camino que lleva a la iglesia de San Juan en Avenida La Luna hasta terminar el camino en cementado, tomado el camino de terracería al norte y continuar por este 350 metros. El sitio se encuentra a 150 metros al sureste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Pruebas de campo en perfil de suelo



Fotografía 2. Entorno natural del sitio.



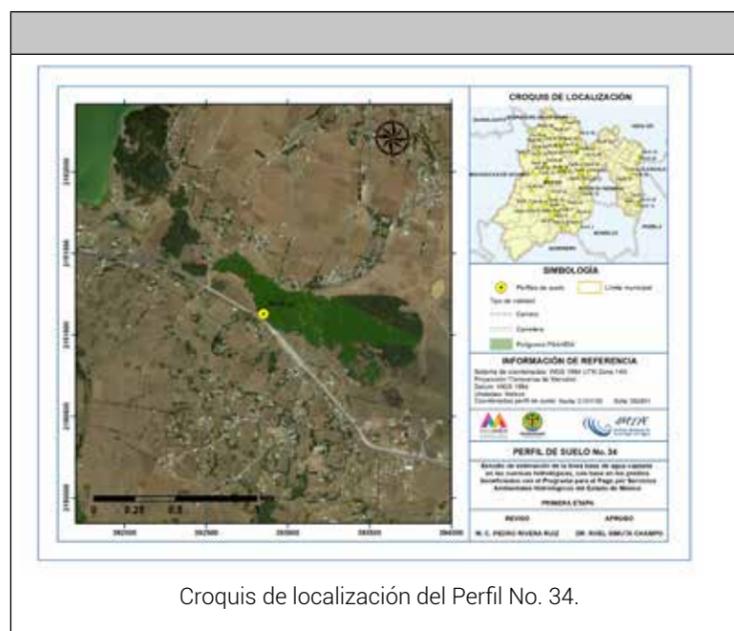
Fotografía 3. Participación de representantes de la comunidad y personal de PROBOSQUE.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 33.

PERFIL 34	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2151130	ESTE: 392851
ALTITUD: 2614 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vp (Vertisol pélico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 892.5 mm Temperatura media anual: 13.2 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Oeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Lento Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque cultivado. Principales especies: <i>Pinus patula</i>, <i>Pinus pseudostrobus</i></p>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 15-45 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 45-67 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 67 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/3 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Plantación establecida hace aproximadamente 35 años</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 34.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 34 se localiza en el Paraje La Parada del Pilar, Ejido Cerritos, Municipio de Villa Victoria, llegando por la carretera Villa Victoria-El Oro, hasta el entronque con la carretera a la comunidad de Puerta del Pilar. del entronque, el sitio se encuentra a 25 metros al noreste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



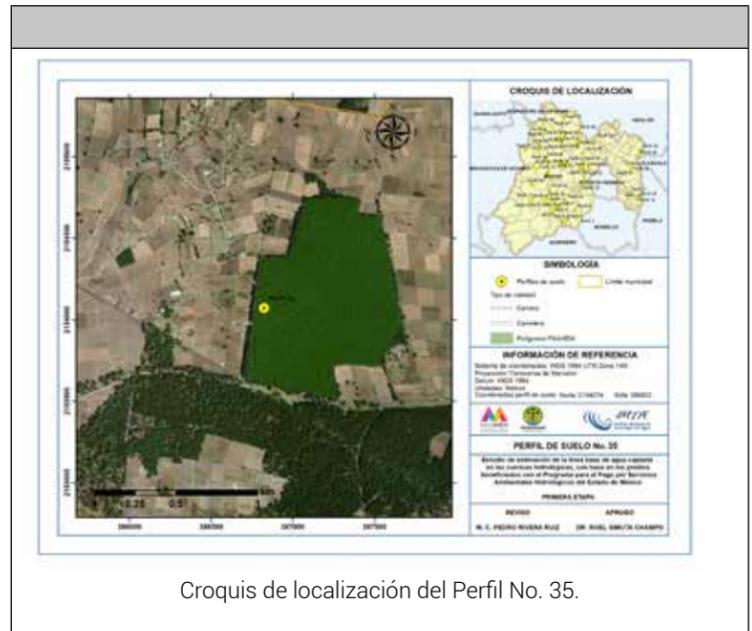
Fotografía 3. Participación de beneficiarios y personal de PROBOSQUE en los trabajos de campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 34.

PERFIL 35	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2154074	ESTE: 386823
ALTITUD: 2675 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: To (Andosl ócrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 814.8 mm Temperatura media anual: 13.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Valle Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Lento Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino. Principales especies: <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>P. patula</i>, <i>Cupressus lusitanica</i>, <i>Quercus sp.</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 10-90 centímetros; separación: continuidad claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/6, Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 90 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 6/8 Amarillo parduzco; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: arenosa; raíces finas: no existe; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Trabajos de acondicionamientos de suelo para reforestación, son notorios los bordos construidos con la maquinaria.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 35.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 35 se localiza en el Paraje El Varal, Ejido San Pedro del Rincón, Municipio de Villa Victoria, llegando por la carretera Villa Victoria – El Oro, hasta el camino que conduce a la comunidad de Potrero de San Diego, recorriendo por este 450 metros, de este punto el sitio se localiza a 90 metros al este.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Vista del perfil de suelo.



Figura 2. Vista del entorno natural del sitio.



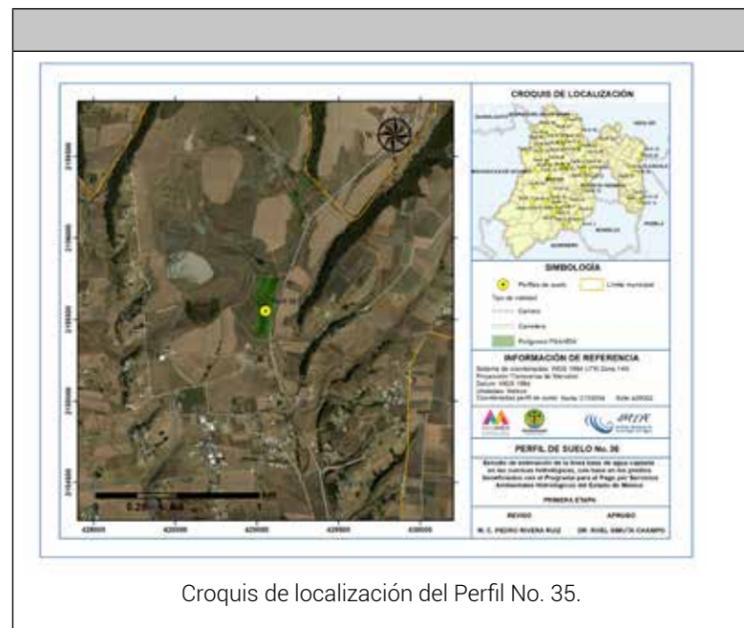
Figura 3. Registro de información del sitio y del perfil con presencia de personal de PROBOSQUE y beneficiarios del programa.



Figura 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 35.

PERFIL 36	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2155554	ESTE: 429052
ALTITUD: 2596 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Wm (Planosol mólico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 811.9 mm Temperatura media anual: 13.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Este Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Plantación forestal pino. Pinus patula, Pinus sp</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-18 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: muy finos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/2 Café grisáceo; color en húmedo: 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 18-43 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño medio, desarrollo débil; poros: muy finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fuertemente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 43-78 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; manchas: color 10YR 4/6 Café amarillento oscuro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 78-135 centímetros; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; manchas: color 10YR 7/3, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 5: 135 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco – arcillosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p>	
Observaciones: Plantacoin forestal de aproximadamente 15 años	



Croquis de localización del Perfil No. 35.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 36 se localiza en el Predio Particular Rancho san Antonio, Municipio de Jiquipilco, llegando por la carretera Toluca-Temoaya, tomando la carretera Xonacatlán-Presa Antonio Alzate, pasando las comunidades de Tlachaloya Segunda Sección, tomar el camino al norte que conduce a la comunidad de El Portezuelo y recorriendo aproximadamente 1.8 kilómetros. EL sitio se localiza a 35 metros al oeste.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



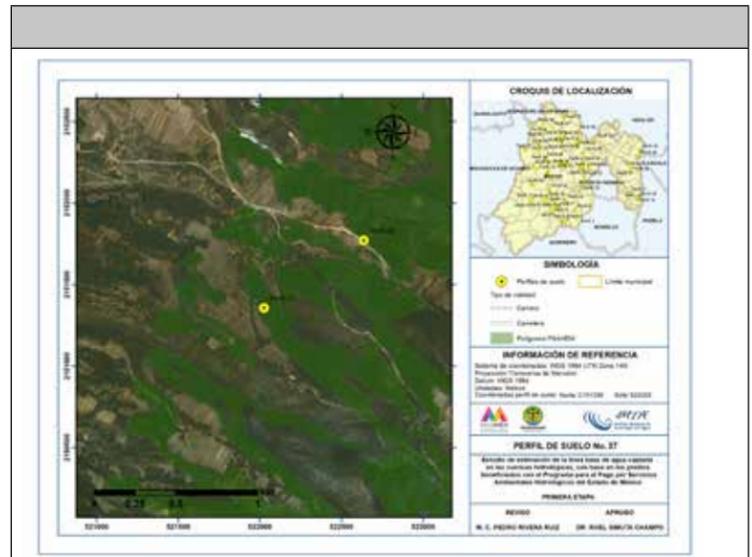
Fotografía 3. Pruebas de campo y registro de información.



Figura 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 36.

PERFIL 37	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2151358	ESTE: 522025
ALTITUD: 2731 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Bh (Cambisol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 551.2 mm Temperatura media anual: 13.7 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Noreste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento rocoso Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin evidencia de erosión Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Tala Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: Quercus sp.</p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-6 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franca; gravas, forma Plano, cantidad Muy Escasas; alteración: Fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH: 6</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 6-32 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura : Bloques Subangulares, tamaño Medio, desarrollo Fuerte; poros : Finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 7.5YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco – arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH: 5</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 32-57 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma, Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Bloques Subangulares, tamaño, Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte. pH: 5</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 57-84 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Bloques Angulares, tamaño Grueso, desarrollo Fuerte; poros: Finos, cantidad Pocos; color en húmedo: 7.5YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte. pH: 6</p>	
<p>Horizonte 5: 84-122 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Prismática, tamaño Muy grueso, desarrollo Fuerte; poros: Finos, cantidad Pocos; color en seco ; color en húmedo: 7.5YR 3/2 Café oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte. pH: 6</p>	
<p>Horizonte 6: 122 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Bloques Angulares, tamaño Medio, desarrollo Fuerte; poros: Medios, cantidad Pocos; color en húmedo: 7.5YR 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte. pH: 6.</p>	
<p>Observaciones: Sitio con reforestación con Pinus sp.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 35.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 37 se localiza en el Ejido de Santa María Nativitas, municipio de Texcoco, llegando por la carretera que conduce de Texcoco a l poblado de San Pablo Ixayoc, llegando al centro del Poblado recorrer 150 m y doblar hacia el sur y continuar hasta el camino de terracería por una distancia aproximada de 1,700 m hasta la caseta. Pasando esta recorrer aproximadamente 150 metros y tomar el camino al sur y recorrer aproximadamente 500 m y tomar el camino al suroeste, y recorrer aproximadamente 800 metros. El sitio se encuentra a aproximadamente 100 metros al este.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



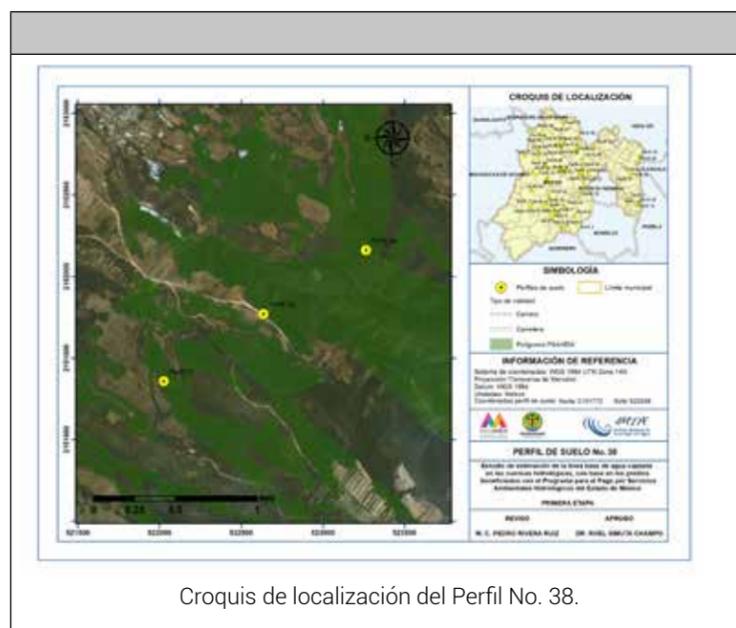
Fotografía 3. Muestras de carbono del sitio para pruebas de carbono.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 37.

PERFIL 38	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2151772	ESTE: 522636
ALTITUD: 2753 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Be (Cambisol eutricto)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 597.8 mm Temperatura media anual: 15.2 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: hídrica laminar y en cárcavas Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Tala Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino pino Principales especies: Quercus sp, Pinus sp, Arbutus jalapensis</p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; color en húmedo: 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; consistencia en seco: Muy dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franca; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-27 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Bloques Subangulares, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco – arcillo – limosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 27-45 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma, Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Areno - francosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 45-80 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Laminar, tamaño Muy fino, desarrollo Moderado; poros: Finos, cantidad Pocos; color en húmedo: 7.5YR 4/3 Café; consistencia en seco: Ligeramente dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Arenosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Excesivamente drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6</p> <p>Horizonte 5: 80-115 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Prismática, tamaño Medio, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: ; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6</p> <p>Horizonte 6: 115 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Irregular; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Prismática, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; poros: Finos, cantidad Pocos; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en seco: Extremadamente dura; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces finas: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6</p>	
Observaciones:	



Croquis de localización del Perfil No. 38.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 38 se localiza en el Ejido de San Pablo Izayoc, municipio de Texcoco, llegando por la carretera que conduce de Texcoco a l poblado de San Pablo Izayoc, llegando al centro del Poblado recorrer 150 m y doblar hacia el sur y continuar hasta el camino de terracería por una distancia aproximada de 1,700 m hasta la caseta. Pasando esta recorrer aproximadamente 800 metros. El sitio se encuentra a aproximadamente 20 metros al noreste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



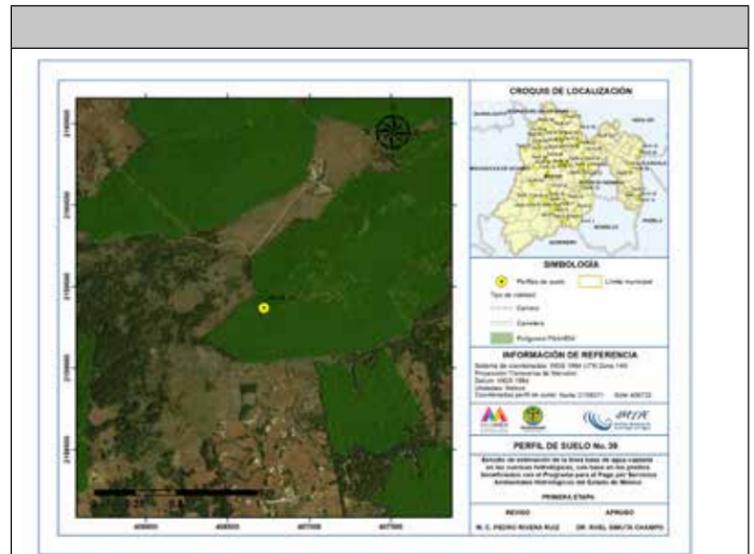
Fotografía 3. Pruebas de campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 38.

PERFIL 39	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2159371	ESTE: 406722
ALTITUD: 3272 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Tm (Andosl mólico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 788.8 mm Temperatura media anual: 12.6 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino Principales especies: <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Cupressus lusitanica</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 25-90 centímetros; separación: continuidad claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 90-120 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 3/4 Café rojizo oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillosa- arenosa; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 120-120 centímetros; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; piedras: forma subredondeado, cantidad dominantes; alteración: intemperizada.</p> <p>Observaciones: La capa 4 es una capa continua de roca altamente intemperizada. En el sitio se presentó un incendio en días recientes antes de la descripción del perfil</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 35.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 39 se localiza en el Paraje Cerro Loma Larga, Localidad Palos Amarillos, Bienes Comunales Yebucivi, Municipio de Almoloya de Juárez, llegando por la carretera Toluca-Zitacuaro, y tomando la carretera que conduce al Centro Ceremonial Mazahua, hasta la subestación eléctrica Yebucivi, aquí tomar el camino al este y recorrer por 4 kilómetros en dirección a la comunidad de Palos Amarillos, recorriendo por este una distancia de 350 metros. El sitio se localiza al este del camino a 25 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 2. Entorno natural del sitio.



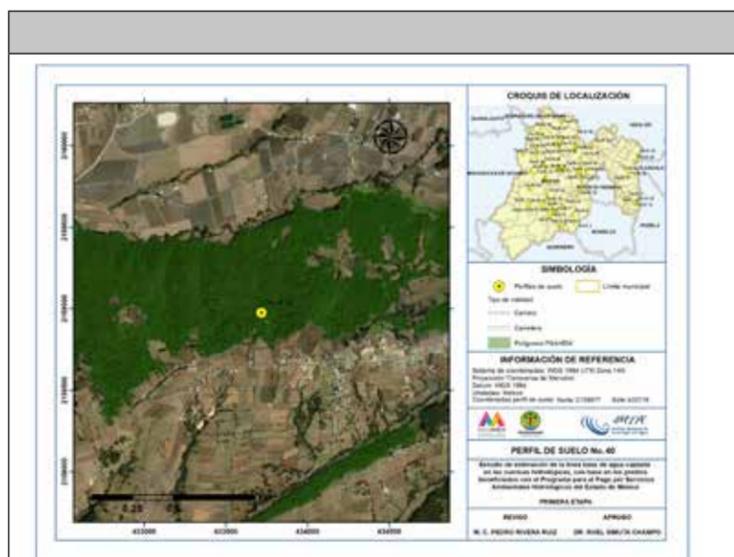
Fotografía 3. Registro de información y pruebas de campo.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 39.

PERFIL 40	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2158977	ESTE: 433718
ALTITUD: 2748 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Be (Cambisol éutrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 841.6 mm Temperatura media anual: 12.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Pinus sp</i> , <i>Arbutus sp</i> , <i>Pinus sp</i> , <i>Cupressus sp</i> (inducido)
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Horizonte 2: Profundidad de 12-30 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: ligera; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco-limoso; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Horizonte 3: Profundidad de: 30-65 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco-limoso; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.	
Horizonte 4: Profundidad de 65 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.	
Observaciones: Reforestación de <i>Pinus sp</i> y <i>Abies sp</i> de tres años, sitio con tinas ciegas como práctica de conservación de suelos de 1 años de establecimiento	



Croquis de localización del Perfil No. 40.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 40 se localiza en el Paraje La Alameda, Localidad El Jaral, Ejido San Juan Jiquipilco, Municipio de Jiquipilco, llegando por la carretera Temoaya –Jiquipilco, recorriendo por esta aproximadamente 15.5 kilómetros, hasta el entronque con el camino a El Jaral, al norte de la carretera, por este camino se recorren en dirección a El Jaral 2.2 kilómetros hasta un camino de terracería al norte, recorriendo por este una distancia de 360 metros. El sitio se localiza a 50 metros al norte de dicho camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Registro de información de muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 40.

PERFIL 41	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2159035	ESTE: 455528
ALTITUD: 3045 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 1108.4 mm Temperatura media anual: 12.7 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noreste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque cultivado. Principales especies: <i>Pinus ayacahuite</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-18 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 18-50 centímetros; separación: continuidad abrupto, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces medias: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 41.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 41 se localiza en el Paraje Peña de Lobos, Comunidad de Santa Ana Jilotzingo, Municipio de Jilotzingo, llegando por la carretera Ixtlahuaca-Naucalpan, tomando el camino al este que va a Peña de Lobos y que se encuentra entre la comunidad de Mazatla y la desviación a Tlazala, recorriendo por este 150 metros. El sitio se encuentra 50 metros al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



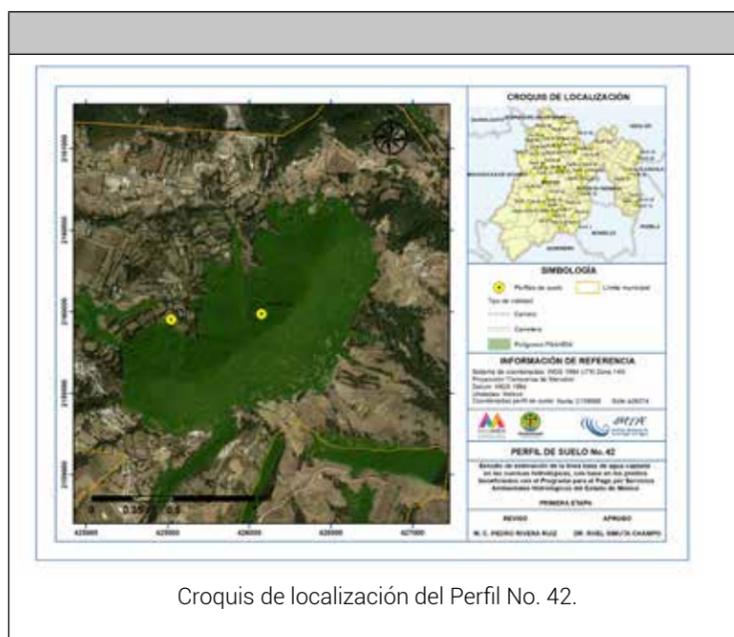
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Registro de observaciones y pruebas de campo con presencia de beneficiarios del programa PSAHEM y personal técnico e PROBOSQUE.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 41.

PERFIL 42	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2159988	ESTE: 426074
ALTITUD: 2931 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 949.9 mm
	Temperatura media anual: 14.2 °C
	Clima: C(w2)(w)b(i)g
	Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico
	Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac
	Sistema de topoformas: Lomerío
	Pendiente (%): 70
	Exposición perfil: Norte
	Relieve: Abrupto
	Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%)
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 3/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma angular, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; naturaleza: andesita; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 10-80 centímetros; separación: continuidad claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño fino, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma angular, cantidad escasas; guijarros: forma angular, cantidad abundantes; piedras: forma subredondeado cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 80 centímetros en adelante; separación: continuidad, difuso, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño, fino, desarrollo débil; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 7.5YR 7/4 Rosa; color en húmedo: 7.5YR 4/6 Café fuerte; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: areno - francosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma, cantidad frecuentes; piedras: forma, cantidad abundantes; alteración: intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 42.

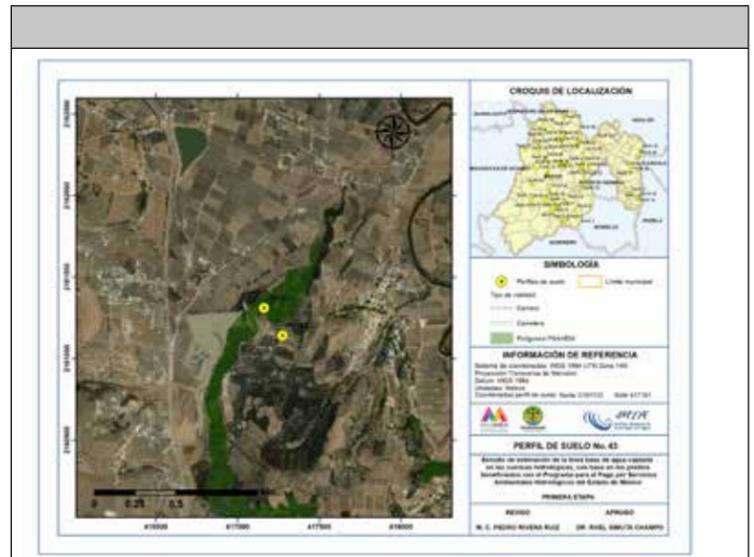
INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 42 se localiza en el Paraje Abajo de La Capilla, Localidad de San Miguel Yuxtepec, Ejido San Miguel Yuxtepec, Municipio de Jiquipilco, llegando por la carretera libre Toluca-Atlacomulco hasta el camino viejo a San Miguel, recorriendo por este 3.5 kilómetros, tomando posteriormente el camino que se encuentra al sureste y recorrer por este 750 metros. De aquí se llega al sitio a 550 metros por una vereda.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
	
Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.	Fotografía 2. Toma de muestras de suelo del perfil.
	
	Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.
	
Fotografía 4. Entorno natural del sitio.	

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 42.

PERFIL 43	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2161312	ESTE: 417161
ALTITUD: 2579 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vp (Vertisol pélico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 751.2 mm Temperatura media anual: 14.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 25 Exposición perfil: Norte Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Alta Factores nocivos: Extracción de material Formación vegetal o tipo de cultivo: Vegetación inducida Principales especies: <i>Bosque de Pinus sp con reforestación de aproximadamente 25 años con Cupressus sp. y Eucalyptus sp</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-4 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: restos de vegetación y hojarasca; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 4-20 centímetros; separación: continuidad clara, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 5/3 Café; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillosa; raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 20-78 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco – arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 78 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco – arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Observaciones: En las inmediaciones del sitio se encuentra un banco de material que dejó de aprovecharse hace aproximadamente 25 años, y se realizó una reforestación con Pinus sp hace 2 años. Se presentó lluvia el día anterior a la descripción.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 43.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 43 se localiza en el Paraje denominado Maro, Ejido San Lorenzo Tojico, Municipio de Ixtlahuaca, llegando por la Carretera Toluca-Ixtlahuaca, tomando el camino con dirección al Rancho JB 2. 7 km antes de la salida a Ixtlahuaca, se recorre por este 2 km, hasta el entronque con la carretera Ixtlahuaca –San Jerónimo, continuando derecho por una distancia de 1.2 km girando a la izquierda y recorriendo una distancia de 0.8 km hasta el entornque con el camino de terracería que va de San Jerónimo a San Ildefonso, recorriendo por este una distancia de 1.2 kilómetros, hasta encontrar un camino a la derecha que da vuelta en “u”, siguiendo por este una distancia de 1.1 km hasta un predio con reforestación reciente. EL sitio se encuentra a 200 metros llegando por una vereda al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Registro de pruebas y observaciones de campo.



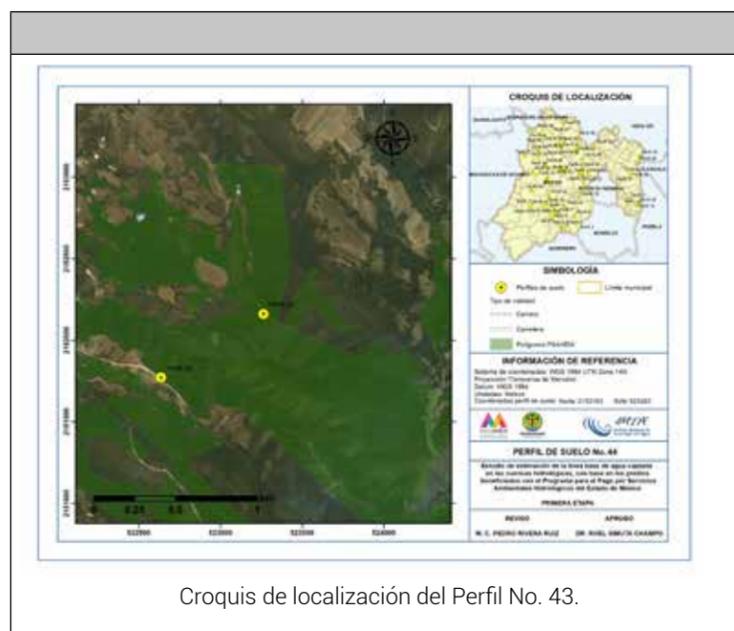
Fotografía 3. Entorno natural del sitio.



Fotografía 4. Entorno natural del sitio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 43.

PERFIL 44	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2152163	ESTE: 523263
ALTITUD: 2798 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vc (Vertisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 551.2 mm Temperatura media anual: 13.7 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Muy drenado Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nula Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: Quercus sp, Cupressus lusitanica</p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-7 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Migajosa, tamaño Muy fino, desarrollo Moderado; poros: Finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Moderada; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - arenosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 7-26 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Débil; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 6/3 Café pálido; color en húmedo: 10YR 4/3 Café; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa- arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 26-39 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma, Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa- arenosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 39-78 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 7/4 Café muy pálido; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Suelta; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco - arcillo - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Sin efervescencia; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 5: 78-113 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Medios, cantidad Comunes; color en seco: 7.5YR 6/6 Amarillo rojizo; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Arcillo - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 6: 113 centímetros en adelante; separación: continuidad, Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Prismática, tamaño Grueso, desarrollo Moderado; poros: Medios, cantidad Comunes; color en seco: 7.5YR 6/4 Café claro; color en húmedo: 5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: Muy dura; consistencia en húmedo: Muy firme; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte; pH de campo: 6.</p>	
Observaciones: Sitio con reforestación	



Croquis de localización del Perfil No. 43.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil No. 43 se localiza en el Paraje denominado Maro, Ejido San Lorenzo Tojico, Municipio de Ixtlahuaca, llegando por la Carretera Toluca-Ixtlahuaca, tomando el camino con dirección al Rancho JB 2. 7 km antes de la salida a Ixtlahuaca, se recorre por este 2 km, hasta el entronque con la carretera Ixtlahuaca -San Jerónimo, continuando derecho por una distancia de 1.2 km girando a la izquierda y recorriendo una distancia de 0.8 km hasta el entornque con el camino de terracería que va de San Jerónimo a San Ildefonso, recorriendo por este una distancia de 1.2 kilómetros, hasta encontrar un camino a la derecha que da vuelta en "u", siguiendo por este una distancia de 1.1 km hasta un predio con reforestación reciente. EL sitio se encuentra a 200 metros llegando por una vereda al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Acondicionamiento de suelos para trabajos de restauración en el sitio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 44.

PERFIL 45	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2164680	ESTE: 403710
ALTITUD: 2977 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Tm (Andosl mólico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 790.7 mm Temperatura media anual: 13.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino Principales especies: <i>Pinus sp</i> , <i>Arbutus sp</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-25 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 3/2 Café rojizo oscuro; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: moderada; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 25-60 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 4/4 Café rojizo; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 60-60 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 5YR 3/4 Café rojizo oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: Acondicionamiento de suelos para reforestación, tinas ciegas como prácticas de conservación y acomodo de material vegetal en líneas al contorno, horizonte superficial mezclado con horizonte subyacente</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 43.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 45 se localiza en el Paraje Las Mezclas, Ejido San Jerónimo Mavati, Municipio de San Felipe del Progreso, llegando por la carretera Santana Nichi-Ejido San Pedro El Alto, hasta el entronque con la carretera a San Jerónimo Mavati, siguiendo por este una distancia de 5.1 kilómetros. El sitio se encuentra a 50 metros al norte de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Vista del perfil de suelo.



Figura 2. Registro de información del sitio y del perfil



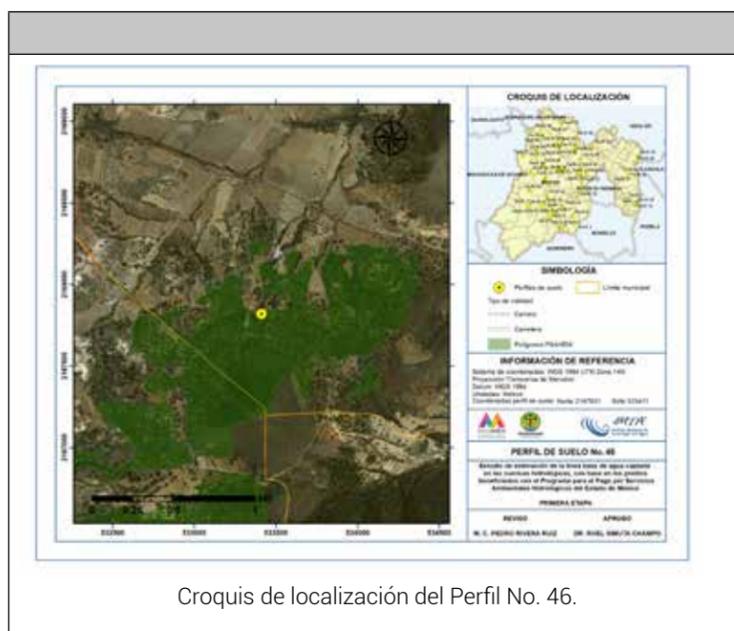
Figura 3. Muestras de suelo del perfil.



Figura 4. Entorno natural del sitio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 45.

PERFIL 46	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2167821	ESTE: 533411
ALTITUD: 2847 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Wh (Planosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
Precipitación media anual: 517.8 mm Temperatura media anual: 14.2 °C Clima: C(w0)(wb(i)g) Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Norte Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Tala Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino-encino Principales especies: <i>Pinus sp.</i> <i>Quercus sp.</i>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Arenosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 1-20; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 6.	
Horizonte 2: Profundidad de 12-24 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Bloques Subangulares, tamaño Fino, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 4/2 Café grisáceo oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco – arcillo – limosa; raíces finas: >100; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6.	
Horizonte 3: Profundidad de: 24-50 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma, Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño, Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco – arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6.	
Horizonte 4: Profundidad de 50-78 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 7/4 Café muy pálido; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6.	
Horizonte 5: 78-113 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 6/4 Café amarillento claro; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6.	
Horizonte 6: 113 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 6/4 Café amarillento claro; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Suelta; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6.	
Observaciones: Reforestación con <i>Pinus sp.</i>	



Croquis de localización del Perfil No. 46.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 46 se localiza en EL Ejido Santa Bárbara, municipio de Otumba, llegando por la cabecera municipal de Otumba, hacia el poblado de Santa Barbara, pasando esta en dirección al poblado de Santiago Cuauila, por una distancia de aproximadamente 4.5 kilómetros, hasta un camino de terracería al sur, recorriendo este en esta dirección aproximadamente 800 metros. El sitio se encuentra a aproximadamente 15 metros al oeste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Cartel alusivo al programa PSAHEM.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 46.

PERFIL 47	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2158958	ESTE: 455521
ALTITUD: 3042 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1108.4 mm Temperatura media anual: 12.7 °C Clima: C(E)(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Prácticas agrícolas inadecuadas Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: <i>Cultivo de avena. Avena sativa</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma subredondeado, cantidad muy escasas; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: residuos de cosecha; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-52 centímetros; separación: continuidad abrupto, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arcillosa- arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; manchas: color 10YR 4/4 Café muy oscuro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes abruptos; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 52 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/3 Café oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillo - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fuertemente intemperizado; manchas: color 10Y3 5/8 Café amarillento, cantidad 2 - 20% de la superficie, tamaño 0.5 - 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: no existe; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Observaciones: Parcela agrícola de mas de 35 años en las inmediaciones de plantaciones forestales de aproximadamente 15 años, la vegetación natural en las inmediaciones son <i>Abies sp. Arbutus sp. Alnus sp</i></p>	



Croquis de localización del Perfil No. 46.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 47 se localiza en el Paraje Peña de Lobos, predio particular propietario Luis Escalona San Juan Comunidad de Santa Ana Jilotzingo, Municipio de Jilotzingo, llegando por la carretera Ixtlahuaca-Naucalpan, tomando el camino al este que va a Peña de Lobos y que se encuentra entre la comunidad de Mazatla y la desviación a Tlazala, recorriendo por este 150 metros, hasta una parcela agrícola al sur del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Pruebas y observaciones de campo.



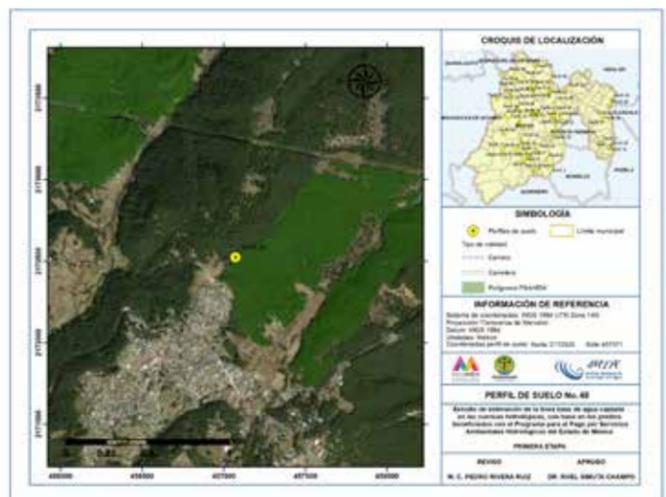
Fotografía 3. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 4. Toma de muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 47.

PERFIL 48	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2172525	ESTE: 457071
ALTITUD: 2728 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lc (Luvisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
 <p>Precipitación media anual: 1105.7 mm Temperatura media anual: 14.2 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Sureste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino. Principales especies: <i>Quercus crassipes</i>, <i>Q. rugosa</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-32 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; muy dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 32-55 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: bloques angulares, tamaño, medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillosa; raíces finas: no existe; raíces medias: no existe; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 55 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 4/4; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: En la capa 3 se aprecian fragmentos de carbón.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 48.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 48 se localiza en el Paraje La Tabiguera. Predio particular Rancho El Paradeño, Municipio de Nicolás Romero, llegando por la carretera Nicolás Romero-Villa del Carbón, y tomando en la comunidad de Cahuacán el camino a Cahuacán, recorriendo por este 800 metros. El sitio se localiza al sur del camino a 30 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 2. Toma de muestras de suelo del perfil.



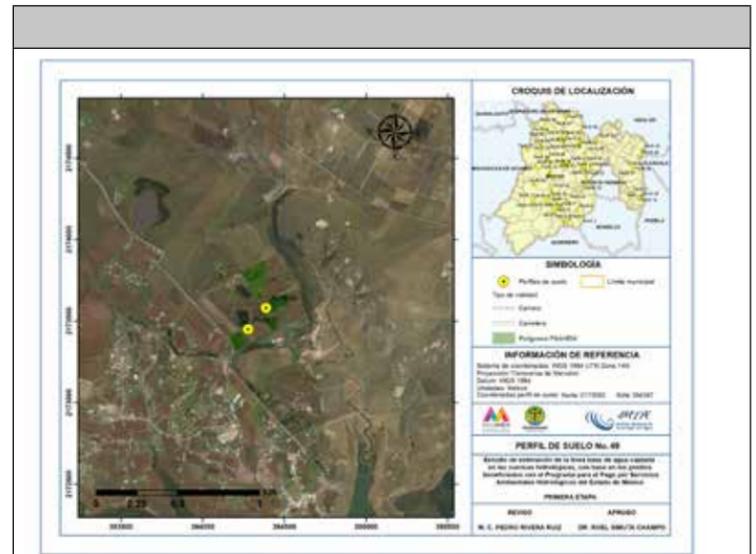
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 48.

PERFIL 49	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2173582	ESTE: 394387
ALTITUD: 2664 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Wh (Planosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 861.1 mm Temperatura media anual: 10.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Este Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Plantación forestal de pino, Pinus sp</i></p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-15 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; grietas: ancho de <1 centímetros; profundidad 11 – 20 centímetros; distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: restos ; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 15-38 centímetros; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros : finos, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 1/0 Negro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; gravas: forma angular, cantidad escasas; alteración: intemperizado; grietas: ancho de <1 centímetros, profundidad 11 – 20 centímetros, distanciamiento 6 – 20 centímetros; manchas: color 7.5YR3/0 Gris muy oscuro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 38-67 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.YR 5/2 Café; consistencia en seco: extremadamente dura; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: arcillo – arenosa; manchas: color 7.5YR3/0 Gris muy oscuro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: no existe; raíces medias: no existe; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 67 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/3 Café; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: arenosa; manchas: color 7.5YR2/0 Negro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; drenaje interno: escasamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p>	
<p>Observaciones: Plantación de pinos estalecida aproximadamente hace 7 años, anteriormente se cultivaba maíz</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 46.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 49 se localiza en la Predio Particular Rancho Carlos Chavez Vilchis, Ranchería Barrio del Calvario del Carmen, Municipio de San Felipe del Progreso, llegando por la Carretera San Felipe del Progreso-Santana Nichi, tomando la carretera a la Comunidad de Barrio del Carmen, recorriendo por este 2.9 kilómetros hasta la entrada a la Propiedad. De la entrada a la propiedad al punto se recorren 350 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Registro y toma de información del perfil.



Fotografía 3. Vista del entorno natural del sitio.



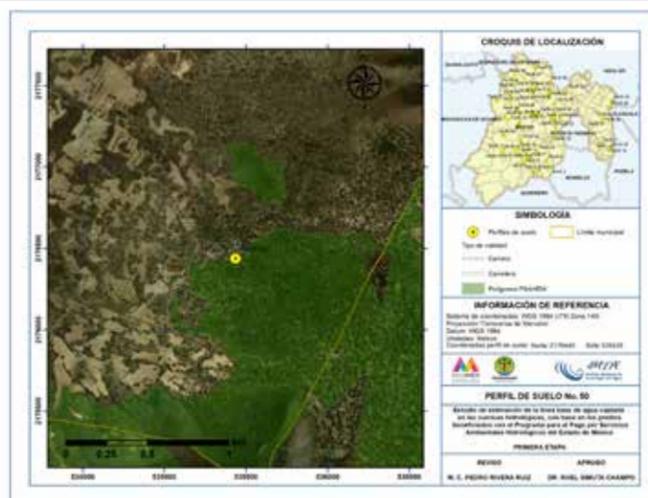
Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 49.

PERFIL 50	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2176440	ESTE: 535435
ALTITUD: 2757 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: HI (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 517.8 mm
	Temperatura media anual: 14.2 °C
	Clima: C(w0)(w)b(i)g
	Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico
	Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac
	Sistema de topoformas: Lomerío
	Pendiente (%): 5
	Exposición perfil: Norte
	Relieve: Levemente ondulado
	Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso
	Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento rocoso
	Clase de drenaje externo: Rápido
	Erosión: Sin erosión evidente
	Influencia humana: Muy alta
Factores nocivos: Incendio	
Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino	
Principales especies: Quercus sp, Cupressus sp	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
Horizonte 1: Profundidad de 0-4 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Granular, tamaño Muy fino, desarrollo Fuerte; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Dura; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - limosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 5.	
Horizonte 2: Profundidad de 4-18 centímetros; separación: continuidad Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Bloques Subangulares, tamaño Muy fino, desarrollo Moderado; poros: Muy finos, cantidad Comunes; color en seco: 10YR 5/2 Café grsaceo; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco - arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: No existe; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Débil; pH de campo: 5.	
Horizonte 3: Profundidad de: 18-32 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma, Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño, Grueso, desarrollo Débil; poros: Muy finos, cantidad Pocos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Fuerte; textura al tacto: Franco - arcillosa; grietas: ancho de 1 - 2 centímetros, profundidad 2 - 10 centímetros, distanciamiento > 50 centímetros; raíces finas: 21-100; raíces medias: No existe; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Muy débil; pH de campo: 6.	
Horizonte 4: Profundidad de 32-54 centímetros; separación: continuidad, Abrupto, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Grueso, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 6/6 Amarillo marrón; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6.	
Horizonte 5: 54-78 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco estructura: Masiva, tamaño Grueso, desarrollo Sin desarrollo; poros: 11, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 6/5 Café amarillento claro; color en húmedo: 10YR 4/3 Café; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo - limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: No existe; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 6.	

Horizonte 6: 78 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Seco; estructura: Masiva, tamaño Grueso, desarrollo Sin desarrollo; poros: Muy finos, cantidad Muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/3 Café oscuro; consistencia en seco: Blanda; consistencia en húmedo: Muy friable; adhesividad: Muy fuerte; plasticidad: Muy fuerte; textura al tacto: Arcillo - limosa; raíces finas: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: Muy drenado; reacción al agua oxigenada: Moderada; pH de campo: 6.

Observaciones: Sitio afectado por incendio de varios años, árboles secos en pie.



Croquis de localización del Perfil No. 50.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. se localiza en EL Ejido Buenavista, Municipio de Otumba, llegando por la carretera que va de la cabecera municipal de Otumba hacia el poblado de San Martín Ahuatepec y de ahí hacia el poblado de San Marcos Tlaxuchilco, y posteriormente hacia la comunidad de Buenavista, llegando a este poblado se toma el camino de terracería en dirección al Cerro de Las Obsidias y recorriendo por este aproximadamente 3.5 kilómetros. El sitio se encuentra a aproximadamente 15 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Pruebas de campo del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 50.

PERFIL 51	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2176864	ESTE: 376235
ALTITUD: 2921 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Ao (Acrisol ócrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 920.8 mm Temperatura media anual: 10.4 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 28 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Pinus sp</i> , <i>Cupressus sp</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
	Horizonte 1: Profundidad de 0-14 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño fino, desarrollo débil; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.
	Horizonte 2: Profundidad de 14-100 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces medias: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.
	Horizonte 3: Profundidad de: 100 centímetros en adelante: separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño , sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café fuerte; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.5.
	Observaciones: Sitio con prácticas de conservación de suelos, tinas ciegas, se observan ejemplares de <i>Cupressus sp</i> inducidos.



Croquis de localización del Perfil No. 51.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 51 se localiza en el Paraje Loma de Dolores, Santa Cruz del Tejocote, Municipio de San Jose del Rincón, llegando por la carretera San José del Rincón Angangueo, tomando el camino al norte que se encuentra a 1.5 kilómetros del poblado de San José del Rincón y que conduce a Santa Cruz del Tejocote, recorriendo por este 3.7 kilonetros. El sitio se localiza a 90 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Pruebas y observaciones de campo del perfil de suelo.



Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 51.

PERFIL 52	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2181243	ESTE: 448467
ALTITUD: 2637 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lc (Luvisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 1046.9 mm Temperatura media anual: 14.9 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Lomerío Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sureste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Alta Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Bosque de encino</i>, <i>Quercus sp</i>, <i>Arbutus sp</i>, <i>Pinus sp</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas, forma subredondeado, cantidad muy escasas; raíces finas: >100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-30 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/6 Café amarillento; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco – arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 30-120 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: muy fuerte; plasticidad: muy fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: >100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 120 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: moderada; textura al tacto: arcillo – arenosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.5.</p> <p>Observaciones: Sitio con aprovechamiento forestal para la producción de carbón.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 52.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 52 se localiza en la Comunidad Rancho Los Arana, Bienes Comunes San Jerónimo Zacapexco, Municipio de Villa del Carbón, llegando por la carretera Villa del Carbón Atlacomulco, tomando posteriormente el camino hacia la comunidad de Los Arana, recorriendo por este camino 1.4 kilómetros, hasta encontrar el camino de terracería al sur del camino, recorriendo por este aproximadamente 450 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Toma y registro de información de perfil de suelo.

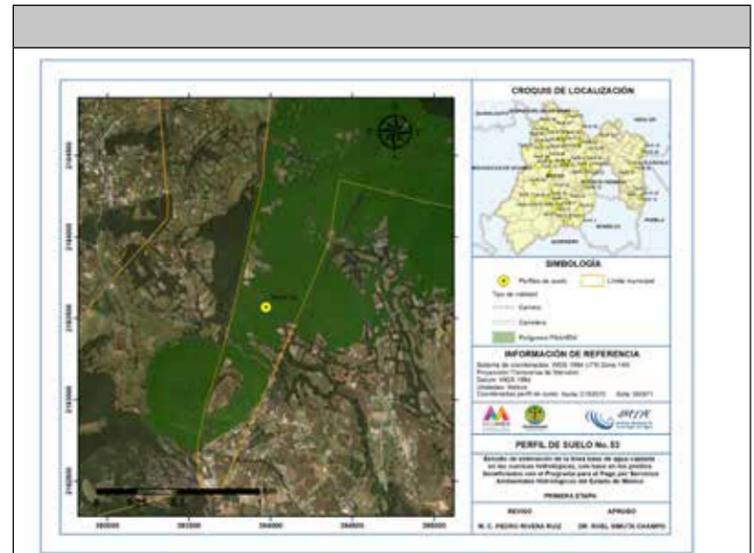
Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.

Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.

Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 52.

PERFIL 53	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2183570	ESTE: 393971
ALTITUD: 2933 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: To (Andosol ócrico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 877.4 mm Temperatura media anual: 13.8 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Meseta Pendiente (%): 50 Exposición perfil: Sureste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Escasos (1-15%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: <i>Quercus rugosa</i> , <i>Q. obtusata</i> , <i>Arbutus xalapensis</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-8 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - limosa; gravas, forma angular, cantidad escasas; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 8-35 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : granular, tamaño fino, desarrollo débil; poros : finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma angular, cantidad escasas; guijarros: forma angular, cantidad frecuentes; piedras: forma cantidad sin presencia de piedras; alteración: intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 35 centímetros en adelante; separación: continuidad, difuso, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: suelta; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - limosa; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 53.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 53 se localiza en el Paraje La Alameda, Ejido San Juan Coajomulco, Municipio de Jocotitlán, llegando por la Carretera San Felipe del Progreso-Carmona, tomando el camino a la Comunidad de Rincón de Los Pirules, que se encuentra al norte del camino, esta desviación se encuentra a aproximadamente 5.5 kilómetros de San Felipe del Progreso, recorriendo por esta carretera una distancia de 6.2 kilómetros. de este punto se llega al sitio por una vereda recorriendo una distancia de 400 metros.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo y su entorno.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



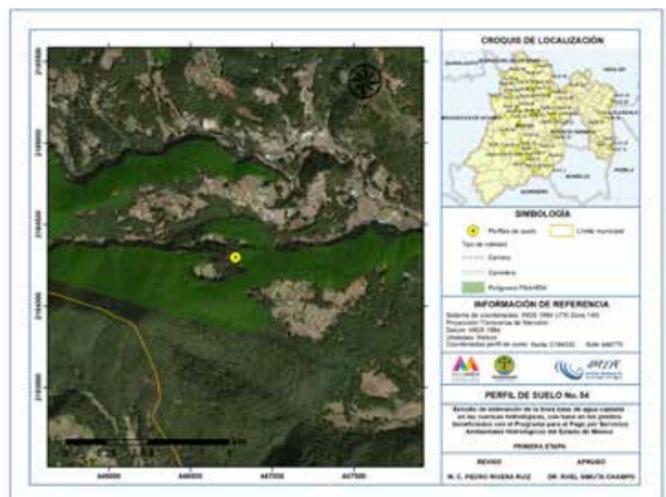
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Toma y registro de información del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 53.

PERFIL 54	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2184300	ESTE: 446775
ALTITUD: 2618 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Tm (Andosol mólico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 1053.2 mm Temperatura media anual: 14.3 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Este Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino-pino Principales especies: <i>Pinus pseudostrabus</i> , <i>Quercus sp.</i> , <i>Arbutus sp.</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
	Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: nula; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas, forma plano, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.
	Horizonte 2: Profundidad de 10-25 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 4/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas: forma plano, cantidad frecuentes; guijarros: forma plano, cantidad escasas; alteración: intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.5.
	Horizonte 3: Profundidad de: 25-65 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 4/6 Café fuerte; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; gravas: forma plano, cantidad frecuentes; guijarros: forma plano, cantidad escasas; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.
	Horizonte 4: Profundidad de 65 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: 0, cantidad ninguno; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillosa; guijarros: forma plano, cantidad abundantes; piedras: forma plano, cantidad abundantes; alteración: intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 6.



Croquis de localización del Perfil No. 54.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 54 se localiza en el Paraje Las Ánimas o La Piedra, Localidad San Francisco de Las Tablas, Barrio Las Ánimas, Bienes Comunales San Francisco de Las Tablas, Municipio Chapa de Mota, llegando por la carretera Villa del Carbón –Chapa de Mota, tomando el camino a San Francisco de las Tablas que se localiza al suroeste de la carretera a la altura del Parque Las Cascadas, recorriendo por este camino una distancia de aproximadamente 2.5 kilómetros hasta un camino de terracería que se encuentra al sur y recorriendo por este aproximadamente 1.5 kilómetros. El sitio se localiza a 10 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Toma de información y pruebas de campo del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



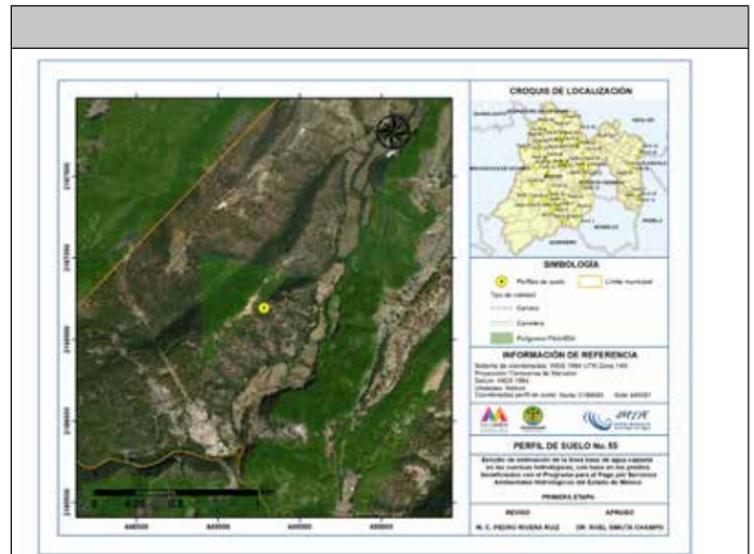
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 54.

PERFIL 55	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2186695	ESTE: 449281
ALTITUD: 2487 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lc (Luvisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 941.6 mm Temperatura media anual: 14.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topofomas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Este Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: <i>Quercus sp, Arbutis sp</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; guijarros, forma subredondeado, cantidad frecuentes; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-25 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en seco: 7.5YR 7/6 Amarillo rojizo; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco – arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; naturaleza: basalto; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 25-75 centímetros: separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad pocos; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco – arcillo – limosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; piedras: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fuertemente intemperizado; naturaleza: basalto; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 75 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 7/3 Café muy claro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillosa- arenosa; piedras: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fuertemente intemperizado; manchas: color 7.5YR 5/6 Café fuerte, cantidad > 20% de la superficie, tamaño 0.5 – 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p> <p>Observaciones: Se han realizado en el sitio reforestación con Pinus sp, en las inmediaciones del sitio hay evidencia de erosión hídrica severa, con afectación de mas del 50% de la superficie.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 55.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 55 se localiza en el Ejido La Cañada, Municipio de Villa del Carbón, llegando por la carretera Villa del Carbón-Chapa de Mota, recorriendo desde Villa del Carbón una distancia de aproximadamente 10.7 kilómetros, hasta un camino de terracería al noreste del acarretera, por donde se recorre una distancia de 450 metros. El sitio se localiza a 50 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma y registro de observaciones y pruebas de campo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 55.

PERFIL 56	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2187602	ESTE: 426636
ALTITUD: 2732 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: H1 Feozem lúvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 835.9 mm Temperatura media anual: 12.3 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 5 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Plantación forestal de Pinos. Pinus pseudostrobus</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; grietas: ancho de <1 centímetros; profundidad >20 centímetros; distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces finas: 21-100; material en la superficie: no hay; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-15 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fuertemente intemperizado; grietas: ancho de <1 centímetros, profundidad >20 centímetros, distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces finas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy fuerte; pH de campo: 6.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 15-35 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: extremadamente dura; consistencia en húmedo: extremadamente firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fuertemente intemperizado; ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad >20 centímetros; distanciamiento 6 – 20 centímetros; raíces finas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 35-35 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 5/6 Café amarillento; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; manchas: color 10YR 6/4 Café amarillento brillante, cantidad 2 – 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 6.5.</p>	
<p>Observaciones: Plantación forestal de <i>Pinus pseudostrobus</i>, 3 años de establecimiento, anteriormente se cultivaba maíz y cebada. La efervescencia de H3 posiblemente por Mn</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 54.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 54 se localiza en el Paraje Las Ánimas o La Piedra, Localidad San Francisco de Las Tablas, Barrio Las Ánimas, Bienes Comunales San Francisco de Las Tablas, Municipio Chapa de Mota, llegando por la carretera Villa del Carbón –Chapa de Mota, tomando el camino a San Francisco de las Tablas que se localiza al suroeste de la carretera a la altura del Parque Las Cascadas, recorriendo por este camino una distancia de aproximadamente 2.5 kilómetros hasta un camino de terracería que se encuentra al sur y recorriendo por este aproximadamente 1.5 kilómetros. El sitio se localiza a 10 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 2. Concertación de apertura del pozo con propietarios y personal de PROBOSQUE.



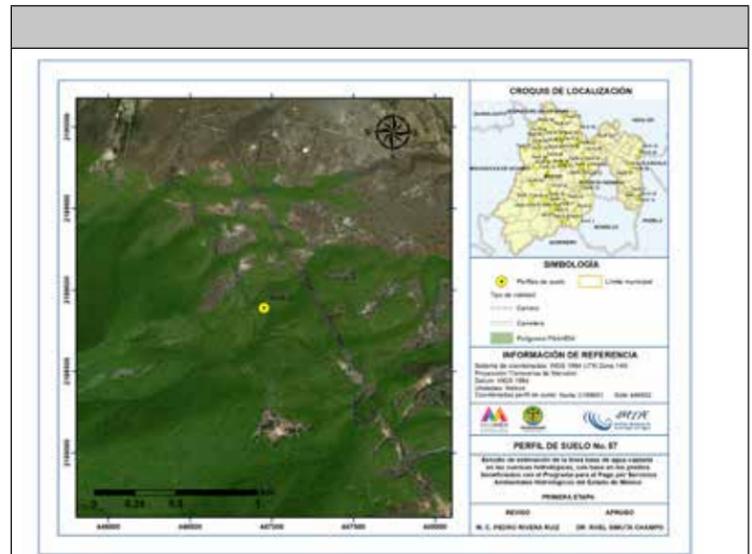
Fotografía 3. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 55.

PERFIL 57	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2188891	ESTE: 446952
ALTITUD: 2544 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lc (Luvisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 941.6 mm Temperatura media anual: 14.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Lomerío Pendiente (%): 8 Exposición perfil: Noreste Relieve: Levemente ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: <i>Quercus sp</i> , <i>Arbutus sp</i> .
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-7 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 7-20 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 7.5YR 5/4 Café; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 20-50 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fuertemente intemperizado; sin raíces; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; piedras: forma subredondeadas, cantidad dominantes; alteración: intemperizadas ;</p> <p>Observaciones: En H3 se observan manchas debidas probablemente al intemperismo del material original, el H4 es un horizonte C, en donde la roca, probablemente de naturaleza basáltica esta muy intemperizado</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 57.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 57 se localiza en el Predio Particular Rancho Santa Ana La Cañada, Municipio de Chapa de Mota, llegando por la carretera Villa del Carbón-Chapa de Mota, recorriendo desde Villa del Carbón una distancia de aproximadamente 16 kilómetros. EL sitio se localiza a 85 metros al este de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Toma y registro de información del sitio y del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 57.

PERFIL 58	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2190710	ESTE: 473236
ALTITUD: 2298 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Vp (Vertisol pélico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 768.4 mm Temperatura media anual: 15.5 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso (31-60%) Clase de afloramiento rocoso: Abundantes (31-60%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Alta Factores nocivos: Quema o Incendio Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Plantación de eucalipto. Eucalyptus globulus</i>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-35 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular; tamaño muy grueso; desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad muchos; películas: frecuentes; color en húmedo: 5YR 3/1 Gris muy oscuro; consistencia en húmedo: muy firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; gravas, forma subredondeado, cantidad frecuentes; guijarros, forma subredondeado, cantidad escasas; piedras, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros; profundidad >20 centímetros; distanciamiento 6 – 20 centímetros; concreciones; tamaño: de 2.1 a 10 mm, forma: redonda, cantidad: de 16 a 40% de la superficie, dureza: blanda, distribución: dispersa, reacción al HCl: muy fuerte; color: blanco; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; material en la superficie: restos de vegetación herbacea quemada; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 7.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 35-100 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño muy grueso, desarrollo fuerte; poros: gruesos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 5/2 Café; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; grietas: ancho de 1 – 2 centímetros, profundidad >20 centímetros, distanciamiento 6 – 20 centímetros; concreciones; tamaño: de 2.1 a 10 mm, forma: redonda, cantidad: de 16 a 40% de la superficie, dureza: blanda, distribución: dispersa, reacción al HCl: muy fuerte; color: blanco; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 7.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 100 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; películas: frecuentes; color en seco: 0; color en húmedo: 5YR 4/1 Gris oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa pesada; gravas: forma 0, cantidad sin presencia de gravas; guijarros: forma 0, cantidad sin presencia de guijarros; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: intemperizado; concreciones; tamaño: de 2.1 a 10 mm, forma: redonda, cantidad: de 16 a 40% de la superficie, dureza: blanda, distribución: dispersa, reacción al HCl: muy fuerte; color: blanco; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 7.</p>	
Observaciones: Plantación de eucalipto afectada recientemente por incendio	



Croquis de localización del Perfil No. 54.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 58 se localiza en el Paraje La Coroleña, Ejido Huehuetoca, Municipio de Huehuetoca, llegando por la carretera Tepetztlán-Los Jagüeyes, recorriendo una distancia aproximada de 15.5 kilómetros, hasta el camino que corre al sur de la presa Encinillas, tomando este camino se recorre una distancia de 1600 metros, hasta una plantación de eucaliptos. El sitio se encuentra a 40 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



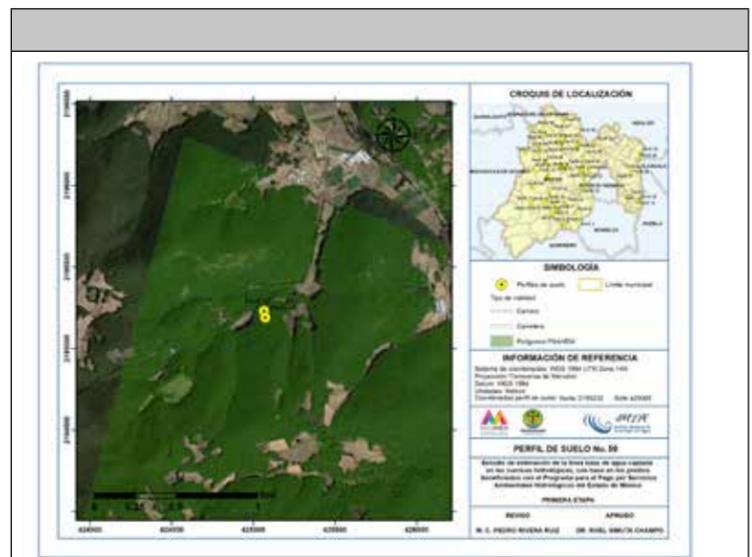
Fotografía 3. Registro de observaciones y pruebas de campo del perfil de suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 58.

PERFIL 59	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2195232	ESTE: 425065
ALTITUD: 2776 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 956.9 mm Temperatura media anual: 12.8 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Alta Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: Avena</p>	
	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: no existe; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: residuos de cosecha; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10-27 centímetros; separación: continuidad claro, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 27-50 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillo – limosa; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 50-108 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces medias: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 5: 108-130 centímetros; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muy pocos; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arenosa; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 6: 130 centímetros en adelante; separación: continuidad, abrupto, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: ; raíces finas: no existe; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p> <p>Observaciones: Parcela agrícola con cultivo de avena cosechada, entre un bosque de encino con reforestación con pino, cambio de uso de suelo de forestal a agrícola</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 54.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 59 se localiza en el Ejido San Antonio Yondejé, Municipio de Timilpan, llegando por la carretera Ixtlahuaca-Jilotepec, tomando el camino que se encuentra al oeste de la carretera a 1.7 kilómetros de la estación de servicio Estrella en dirección a Ixtlahuaca, recorriendo por este una distancia de 2 kilómetros y tomando un camino al sur, recorriendo por este 150 metros. el sitio se localiza a 20 metro al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



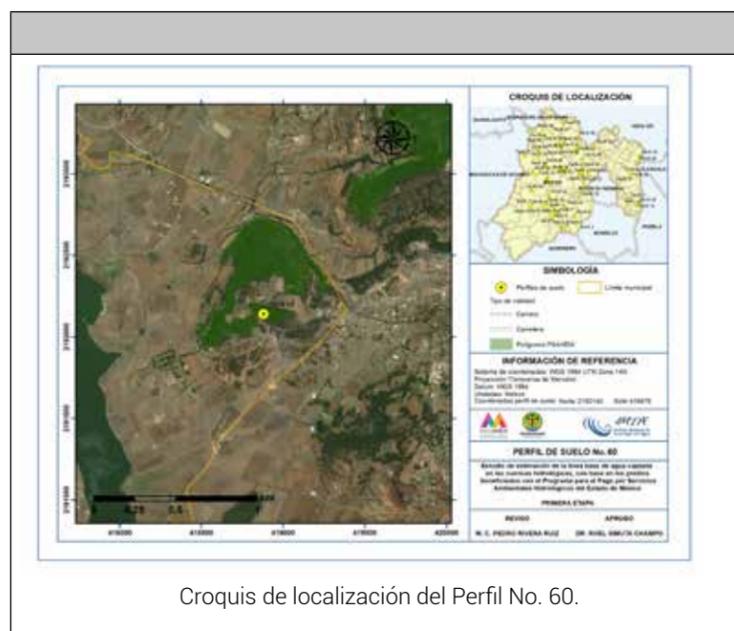
Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 59.

PERFIL 60	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2192142	ESTE: 418879
ALTITUD: 2804 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: HI (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 765.3 mm Temperatura media anual: 12.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Sur Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Bosque cultivado</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Eucalyptus globulus</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas, forma plano, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; naturaleza: ; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: poca hojarasca y pocos restos de material herbáceo; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-30 centímetros; separación: continuidad difusa, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: bloques angulares, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; gravas: forma plano, cantidad frecuentes; alteración: intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 30 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, irregular; piedras: forma plano, cantidad dominantes; alteración: ligeramente intemperizado.</p> <p>Observaciones: Reforestación de aproximadamente 20 años, con poco desarrollo de vegetación arbustiva y herbácea</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 60.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 60 se localiza en el Paraje Peminá, Localidad Barrio Sexto, Comunidad Santiaguito Maxda, Ejido Santiago Maxda, Municipio de Timilpan, llegando por la carretera Atlacomulco-Villa del Carbón, tomando la desviación a Yondeje, y en el Parque estatal El Ocotal, tomar el camino a Santiago Maxda, y continuar por este por 2.5 kilómetros, tomando la terracería que lleva a la Isla de Las Aves. El sitio se localiza a 30 metros al norte del camino.



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.

Fotografía 2. Registro de información de pruebas y observaciones en campo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 60.

PERFIL 61	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2195191	ESTE: 425073
ALTITUD: 2786 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th (Andosol húmico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 956.9 mm Temperatura media anual: 12.8 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 7 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Bosque de encino</i>, <i>reforestación con pino</i>, <i>Quercus sp</i>, <i>Pinus sp</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-12 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 12-35 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura : masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros : finos, cantidad comunes; color en seco: 0; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 35-110 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco – arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: >100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 110-130 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muy pocos; color en húmedo: 10YR 4/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 5: 130 centímetros en adelante; separación: continuidad, abrupto, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; guijarros: forma subredondeado, cantidad abundantes; piedras: cantidad subredondeado, forma abundantes; alteración: fuertemente intemperizado; manchas: color 7.5YR 5/4 Café, cantidad > 20%, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 60.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 61 se localiza en el Ejido San Antonio Yondejé, Municipio de Timilpan, llegando por la carretera Ixtlahuaca-Jilotepec, tomando el camino que se encuentra al oeste de la carretera a 1.7 kilómetros de la estación de servicio Estrella en dirección a Ixtlahuaca, recorriendo por este una distancia de 2 kilómetros y tomando un camino al sur, recorriendo por este 150 metros. el sitio se localiza a 50 metros al este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Registro de información del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



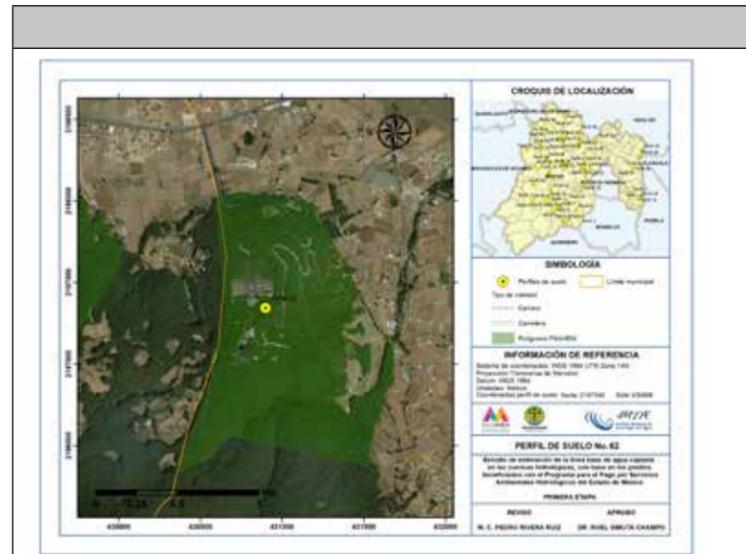
Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Vista del perfil de suelo.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 61

PERFIL 62	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2197345	ESTE: 430898
ALTITUD: 2785 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 730.2 mm
	Temperatura media anual: 14.7 °C
	Clima: C(w2)(w)b(i)g
	Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico
	Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac
	Sistema de topoformas: Lomerío
	Pendiente (%): 5
	Exposición perfil: Norte
	Relieve: Casi plano
	Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%)
Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%)	
Clase de drenaje externo: Medio	
Erosión: Sin erosión evidente	
Influencia humana: Nulo	
Factores nocivos: 0	
Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite	
Principales especies: <i>Bosque de encino</i> , <i>Quercus sp</i> , <i>Arbutus sp</i>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 3/3 Café oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 5-40 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad muchos; color en seco: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcilloso - limoso; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 40-70 centímetros; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño, muy grueso, desarrollo fuerte; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 3/4 Café rojizo; consistencia en seco: muy dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillosa; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 6.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 70 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/6 Café amarillento; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: firme; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; manchas: color 10YR 4/6 Café amarillento oscuro, cantidad > 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p>	
<p>Observaciones: Sitio turístico con afluencia importante de personas, el sitio de descripción del perfil se encuentra en área forestal.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 62.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 62 se localiza en el Bioparque Estrella en el Paraje La Fuente, Municipio Chapa de Mota, llegando por la carretera Ixtlahuaca-Jilotepec, hasta el camino de acceso al Bioparque Estrella, dentro del parque, el sitio se localiza a 90 metros al sureste de la fuente localizada en el acceso al parque.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Vista del perfil de suelo.



Figura 2. Toma de muestras de suelo del perfil.



Figura 3. Registro de observaciones y pruebas de campo del perfil.



Figura 4. Vista del entorno natural del sitio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 62

PERFIL 63	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2107077	ESTE: 399767
ALTITUD: 2308 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Bc (Cambisol cromico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 1332.8 mm Temperatura media anual: 14.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Sierra Madre del Sur Subprovincia fisiográfica: Depresión del Balsas Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Este Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Alta Factores nocivos: Prácticas agrícolas inadecuadas Formación vegetal o tipo de cultivo: Otros tipos Principales especies: <i>Huerta de durazno. Prunus persica</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-35 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; material en la superficie: ninguno; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 35-50 centímetros; separación: continuidad difusa, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 7.5YR 7/4 Rosa; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arcillosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, clara, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 7.5YR 4/6 Café fuerte; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: franco - arcillo - limosa; sin raíces; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Huerta de durazno de aproximadamente 10 años, en la que para su establecimiento se desmontó la ladera. No se tienen prácticas de conservación, no hay cobertura del suelo por vegetación herbacea, solamente se tiene la cobertura de los árboles de durazno.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 63.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 63 se localiza en el Predio particular El Pozo, propietario Ruperto Santiago, Bienes Comunes San Martín Tequesquipan, Municipio de Temascaltepec, llegando por la carretera Temascaltepec-Las Juntas, hasta la desviación a San Martín Tequesquipan, recorriendo por esta una distancia de 500 metros hasta un camino de terracería que se encuentra al norte de la carretera, por este camino se recorren 460 metros y el sitio se encuentra a 10 metros este del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



Fotografía 3. Pruebas de campo del perfil del suelo.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 63

PERFIL 64	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2199847	ESTE: 394707
ALTITUD: 2525 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: HI (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 752.4 mm Temperatura media anual: 13.6 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Mil Cumbres Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 25 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Fuertemente ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino Principales especies: <i>Quercus rugosa</i> Q. <i>laurina</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-10 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad comunes; color en seco: 10YR 6/3 Café claro; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas, forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 10 centímetros en adelante; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad comunes; color en seco: 0; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Observaciones: Sitio con tinas ciegas como práctica de conservación de suelo y agua, y reforestación con <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>P. montezumae</i>, <i>P. greggii</i>, <i>Cupressus lusitanica</i>, en el sitio hay presencia muerdago.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 64.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 64 se localiza en el Paraje Las Ramas del Campamento, Ejido de Corona, Municipio de Temascalcingo, llegando desde el pueblo de Temascalcingo por la calle A. Coronado hasta donde este se convierte en Camino a La Pedrera, en este punto tomar el camino al sur y continuar por este una distancia de 1 kilómetro. El sitio se localiza a 150 metros al oeste del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
<p>Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.</p>	<p>Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.</p>
<p>Fotografía 3. Equipo y reactivos para toma de información del perfil de suelo.</p>	



Fotografía 4. Muestras de suelo el perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 64.

PERFIL 65	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2202244	ESTE: 402832
ALTITUD: 2871 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hl (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 752.4 mm Temperatura media anual: 13.6 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Sureste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Deforestación Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Pinus montezumae</i>, <i>Arbutus jalapensis</i>, <i>Quercus rugosa</i>, <i>Cupressus lusitanica</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques subangulares, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en seco; 10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro; color en húmedo: 10YR 2/1 Negro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; raíces: raíces finas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: muy drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.5.</p>	
<p>Horizonte 2: Profundidad de 5-25 centímetros; separación: continuidad claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: prismática, tamaño fino, desarrollo débil; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 3: Profundidad de: 25-70 centímetros; separación: continuidad, difuso, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: prismática, tamaño, fino, desarrollo débil; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p>	
<p>Horizonte 4: Profundidad de 70 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño medio, desarrollo fuerte; poros: muy finos, cantidad pocos; color en húmedo: 7.5YR 4/4; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: areno - francosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; piedras: forma subredondeado, cantidad muy escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: moderada; pH de campo: 5.</p>	
<p>Observaciones: Sitio con reforestación con <i>Cupressus lusitanica</i> de aproximadamente 15 años</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 65.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 65 se localiza en el Paraje El Puerto, Bienes Comunes San Mateo El Viejo, Municipio de Temascalcingo, llegando por la carretera de San Mateo El Viejo a San Pedro El Alto, recorriendo por esta 4.5 kilómetros, hasta donde termina el camino sinuoso. El sitio se localiza a 50 metros al sur de la carretera.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.

Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.

Fotografía 3. Registro de observaciones y pruebas de campo del perfil de suelo.

Fotografía 4. Muestras de suelo en el perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 65.

PERFIL 66	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2202773	ESTE: 448911
ALTITUD: 2689 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: I (Litosol)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 771.8 mm Temperatura media anual: 18.3 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 50 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Abrupto Clase de pedregosidad: Excesivamente pedregoso (valor > 61%) Clase de afloramiento rocoso: Excesivamente rocoso (valor > 61%) Clase de drenaje externo: Muy rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Moderada Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de coníferas Bosque de encino Bosque de mezquite Principales especies: <i>Bosque de encino. Quercus sp. Arbutus sp</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad indeterminada; reacción al HCl: sin efervescencia; cantidad ; color en seco; 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; piedras, forma subredondeado, cantidad dominantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p>	
<p>Observaciones: Suelo clasificado como litosol, no hay desarrollo de horizontes, existe una acumulación importante de materia orgánica proveniente del follaje de los árboles, que se mezcla con el material mineral producto del intemperismo del material parental.</p>	

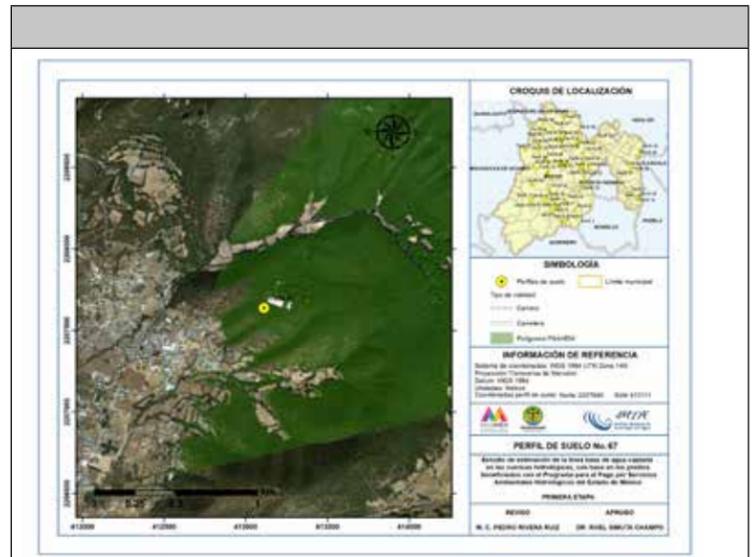


TESTIMONIO FOTOGRÁFICO	
<p>Fotografía 1. Registro de información del sitio.</p>	<p>Fotografía 2. Pruebas de campo para la capa de suelo superficial.</p>
<p>Fotografía 3. Muestra de suelo.</p>	
<p>Fotografía 4. Vista del entorno natural del sitio.</p>	

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 66.

<p>Croquis de localización del Perfil No. 66.</p>
<p>INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO</p> <p>El Perfil de Suelo No. 66 se localiza en el Parque Las Peñas, Bienes Comunales de Santa Cruz Dexcani, Municipio de Jilotepec, llegando por el poblado de Dexcani El Alto, tomando el Camino al Parque Las Peñas, llegando al estacionamiento del Parque, el sitio se localiza a 150 metros al este.</p>

PERFIL 67	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2207640	ESTE: 413111
ALTITUD: 2759 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hl (Feozem luvico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	<p>Precipitación media anual: 843.2 mm Temperatura media anual: 14.1 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 10 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Hídrica Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Otro Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de encino. Principales especies: <i>Quercus laurina</i>, <i>Q. rugosa</i>, <i>Arbutus sp.</i></p>
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño medio, desarrollo moderado; poros: finos, cantidad muchos; color en seco; 10YR 5/3 Café; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franca; gravas, forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: >100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-20 centímetros; separación: continuidad clara, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 10YR 5/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 20-50 centímetros; separación: continuidad, gradual, forma, ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: sin estructura, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 3/6 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: blanda; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: franco - limosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad frecuentes; raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 50 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: sin estructura, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: medios, cantidad comunes; color en húmedo: 10YR 5/4 Café amarillento; consistencia en seco: ligeramente dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: moderada; plasticidad: moderada; textura al tacto: limosa; piedras: forma subredondeado, cantidad abundantes; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; drenaje interno: ; reacción al agua oxigenada: ; pH de campo: #NULL!.</p>	
<p>Observaciones: Centro ecoturístico, con afluencia constante de visitantes, reforestación con <i>Cupressus lusitanica</i> de aproximadamente 22 años</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 67.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 67 se localiza en el Paraje La Mesita, Ejido san Miguel Acambay, Municipio de Acambay, llegando desde Acambay, tomando el camino que conduce al Parque Ecoturístico La Mesita. En el parque el sitio se localiza a 40 metros al suroeste del a cancha de futbol.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Registro de información del sitio.



Fotografía 2. Pruebas de campo para la capa de suelo superficial.



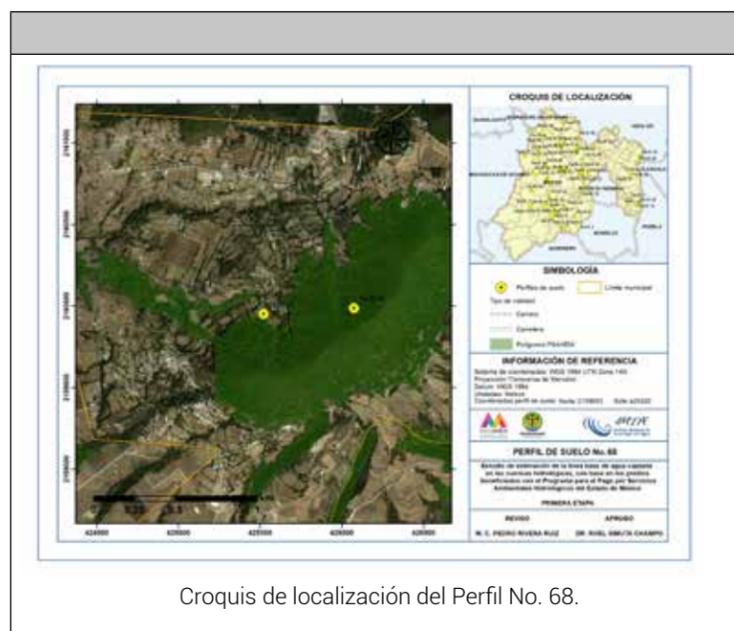
Fotografía 3. Muestra de suelo.



Fotografía 4. Vista del entorno natural del sitio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 67.

PERFIL 68	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2159953	ESTE: 425520
ALTITUD: 2787 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Hh (Feozem háplico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 841.6 mm Temperatura media anual: 12.5 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de toposformas: Lomerío Pendiente (%): 20 Exposición perfil: Noroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Pedregoso (16-30%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Muy alta Factores nocivos: Prácticas agrícolas inadecuadas Formación vegetal o tipo de cultivo: Agricultura Principales especies: Maiz, avena
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-20 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: muy finos, cantidad muchos; color en seco: 0; color en húmedo: 10YR 4/4 Café amarillento oscuro; consistencia en seco: ; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma angular, cantidad frecuentes; alteración: fuertemente intemperizado; naturaleza: andesita; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; material en la superficie: ninguno; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 5.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 20-100 centímetros; separación: continuidad difusa, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 3/4 Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: suelta; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma subredondeados, cantidad frecuentes; guijarros: forma subredondeados, cantidad muy escasas; alteración: intemperizado; naturaleza: andesítica; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 5.5.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 100 centímetros en adelante; separación: continuidad, claro, forma, plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño, sin dimensión, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad muchos; color en húmedo: 5YR 5/3 Café rojizo; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: nula; plasticidad: nula; textura al tacto: arenosa; gravas: forma subredondeadas, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeados, cantidad escasas; alteración: fuertemente intemperizado; naturaleza: andesítica; sin raíces; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: débil; pH de campo: 4.5.</p>	
<p>Observaciones: Parcela agrícola de mas de 20 años, se realiza una rotación de maíz y avena, hay presencia de tuzas y es un sitio con evidencia de erosión hídrica.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 68.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

EL Perfil de Suelo No. 68 se localiza en el Predio Particular del Sr. Facundo Balderas Pérez, en el Paraje El Pedregal, Ejido de San Miguel Yuxtepec, Municipio de Jiquipilco, llegando por la carretera libre Toluca-Atacomulco hasta el camino viejo a San Miguel, tomando el camino al oeste de la cancha de fútbol de la comunidad y recorriendo por este una distancia de 1.7 kilómetros. El sitio se localiza a 90 metros al sureste del camino.



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.

Fotografía 2. Entorno natural del sitio.

Fotografía 3. Muestras de suelo del perfil.



Fotografía 4. Concertación de los trabajos de campo con los propietarios del predio.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 68.

PERFIL 69	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2212835	ESTE: 400720
ALTITUD: 2845 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Lc (Luvisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 788.5 mm Temperatura media anual: 11.3 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Sierra Pendiente (%): 30 Exposición perfil: Suroeste Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Fuertemente pedregoso (31-60%) Clase de afloramiento rocoso: Moderados (16-30%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Escasa Factores nocivos: Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque de pino Principales especies: <i>Pinus montezumae</i>, <i>Arbutus jalapensis</i>, <i>Quercus sp</i>, <i>Cupressus lusitanica</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-30 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: granular, tamaño fino, desarrollo moderado; poros: medios, cantidad muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas, forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 21-100; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 30 centímetros en adelante; separación: continuidad gradual, forma ondulada; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: masiva, tamaño medio, desarrollo sin desarrollo; poros: finos, cantidad pocos; color en húmedo: 10YR 4/6, Café amarillento oscuro; consistencia en húmedo: muy friable; adhesividad: ligera; plasticidad: ligera; textura al tacto: franco - arenosa; gravas: forma subredondeado, cantidad escasas; guijarros: forma subredondeado, cantidad escasas; piedras: forma cantidad sin presencia de piedras; alteración: intemperizado; manchas: color 10YR 3/4 Café amarillento oscuro, cantidad 2 - 20% de la superficie, tamaño > 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: moderadamente drenado; reacción al agua oxigenada: muy débil; pH de campo: 6.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 69.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. 69 se localiza en el Paraje Las Dos Cañadas, Ejido de Saanta Maria Tixmadeje, Municipio de Acambay, llegando por la carretera Acambay-Aculco, tomando la carretera aAgostadero y posteriormente hacia Conejeras, en conejeras tomar el camino de terracería que pasa al norte de la cancha de futbol y recorrer 300 metros. El sitio se localiza a 100 metros al suroeste.



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



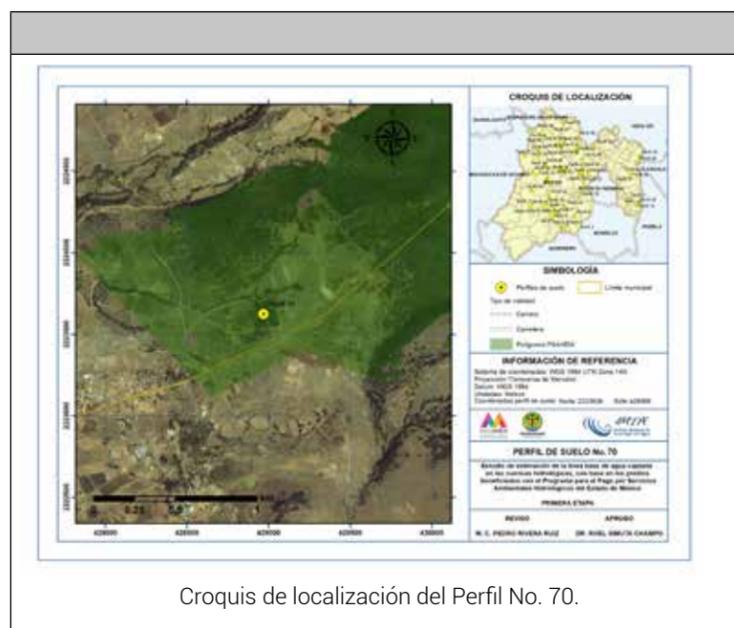
Fotografía 3. Registro de información de pruebas y observaciones de campo del perfil.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 69.

PERFIL 70	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2223626	ESTE: 428968
ALTITUD: 2686 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Be (Cambisol crómico)
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
	Precipitación media anual: 815.2 mm Temperatura media anual: 12.6 °C Clima: C(w1)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo Sistema de toposformas: Sierra Pendiente (%): 15 Exposición perfil: Sur Relieve: Ondulado Clase de pedregosidad: Ligeramente pedregoso (1-15%) Clase de afloramiento rocoso: Escasos (1-15%) Clase de drenaje externo: Rápido Erosión: Hídrica Influencia humana: Nulo Factores nocivos: 0 Formación vegetal o tipo de cultivo: Bosque cultivado Principales especies: <i>Pinus greggii</i> , <i>Cupressus lusitanica</i>
	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-18 centímetros; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; estructura: granular, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en seco: 7.5YR 4/4 Café oscuro; color en húmedo: 5YR 3/3 Café rojizo oscuro; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; guijarrros, forma subredondeado, cantidad escasas; alteración: fresco o ligeramente intemperizado; raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: no existe; material en la superficie: hojarasca; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: fuerte; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 18-40 centímetros; separación: continuidad gradual, forma plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: húmedo; estructura: bloques angulares, tamaño grueso, desarrollo fuerte; poros: finos, cantidad comunes; color en húmedo: 5YR 4/6 Rojo amarillento; consistencia en seco: dura; consistencia en húmedo: friable; adhesividad: fuerte; plasticidad: fuerte; textura al tacto: arcillo – limosa; raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: 1-20; drenaje interno: drenado; reacción al agua oxigenada: sin efervescencia; pH de campo: 6.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 40 centímetros en adelante; separación: continuidad, gradual, forma, irregular; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: seco; pedras: forma subredondeado, cantidad dominantes; alteración: intemperizado.</p>	
<p>Observaciones: Reforestación de aproximadamente 12 años con <i>Pinus greggii</i> y <i>Cupressus lusitanica</i>. La capa 3 es un horizonte C con roca intemperizada, posiblemente de naturaleza basáltica.</p>	



Croquis de localización del Perfil No. 70.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de suelo No. 70 se localiza en el Paraje Los Madroñitos, Ejido El Rosal, Municipio de Jilotepec, llegando por la carretera México-Querétaro, tomando la salida a la Comunidad de El Rosal, y en este poblado tomar el camino a la antena, de la caseta recorrer 200 metros y el sitio se localiza a 100 al norte del camino.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista del perfil de suelo.



Fotografía 2. Vista del entorno natural del sitio.



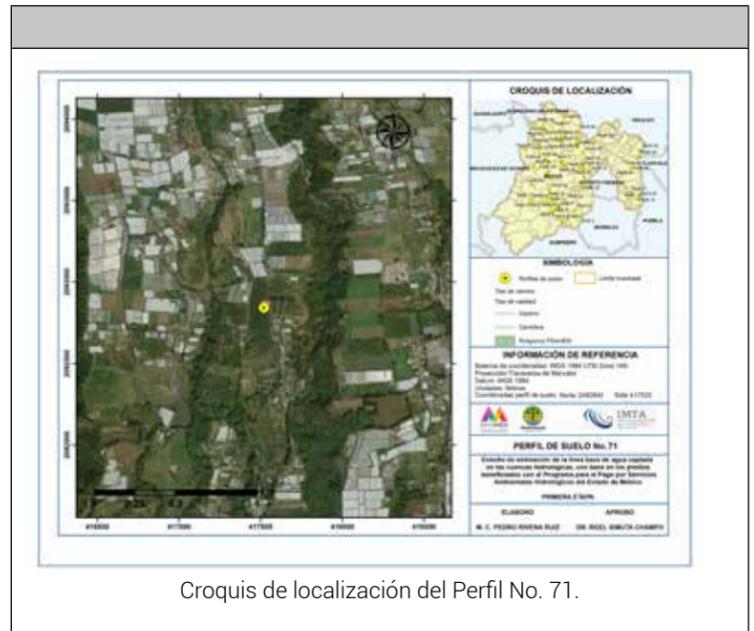
Fotografía 3. Apertura del pozo edafológico.



Fotografía 4. Muestras de suelo del perfil.

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 70.

Perfil 71	
COORDENADAS (UTM WGS84)	
NORTE 2092842	ESTE: 417520
ALTITUD: 2274 msnm	CLASIFICACIÓN FAO: Th
INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	
<p>Precipitación media anual: 869.2 mm Temperatura media anual: 15.4 °C Clima: C(w2)(w)b(i)g Provincia fisiográfica: Eje Neovolcánico Subprovincia fisiográfica: Lagos y Volcanes de Anáhuac Sistema de topoformas: Lomerío Pendiente (%): 3 Exposición perfil: Sur Relieve: Casi plano Clase de pedregosidad: Sin piedras (valor < 1%) Clase de afloramiento rocoso: Sin afloramiento (valor < 1%) Clase de drenaje externo: Medio Erosión: Sin erosión evidente Influencia humana: Muy alta Factores nocivos: Cambio de uso de suelo Formación vegetal o tipo de cultivo: Huerta de aguacate Principales especies: <i>Aguacate (Persea americana)</i></p>	
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO	
<p>Horizonte 1: Profundidad de 0-5 centímetros; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Granular, tamaño Medio, desarrollo Fuerte; poros: Medios, cantidad Muchos; color en húmedo: 10YR 2/2 Café muy oscuro; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Ligera; plasticidad: Ligera; textura al tacto: Franco - limosa; gravas: Sin presencia de gravas; guijarros: Sin presencia de guijarros; piedras: Sin presencia de piedras; grietas: No existe raíces: raíces finas: 21-100; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: No existe; material en la superficie: Hojarasca; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte; pH de campo: 5.50.</p> <p>Horizonte 2: Profundidad de 5-20 centímetros; separación: continuidad Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Limosa; gravas: Sin presencia de gravas; guijarros: Sin presencia de guijarros; piedras: Sin presencia de piedras; grietas: No existe raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 3: Profundidad de: 20-40 centímetros; separación: continuidad, Gradual, forma, Plana; reacción al HCl: sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 7.5YR 3/4 Café oscuro; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Limosa; gravas: Sin presencia de gravas; guijarros: Sin presencia de guijarros; piedras: Sin presencia de piedras; grietas: No existe raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Muy fuerte; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 4: Profundidad de 40-60 centímetros; separación: continuidad, Claro, forma Plana; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo; estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 7.5YR 4/4 Café; consistencia en húmedo: Friable; adhesividad: Moderada; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa; gravas: Sin presencia de gravas; guijarros: Sin presencia de guijarros; piedras: Sin presencia de piedras; manchas: No existe, raíces finas: 1-20; raíces medias: 21-100; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 5.00.</p> <p>Horizonte 5: 60 centímetros en adelante; separación: continuidad, Claro, forma Ondulada; reacción al HCl: Sin efervescencia; humedad aparente: Húmedo estructura: Masiva, tamaño Sin dimensión, desarrollo Sin desarrollo; poros: Finos, cantidad Comunes; color en húmedo: 7.5YR 5/6 Café fuerte; consistencia en húmedo: Firme; adhesividad: Fuerte; plasticidad: Moderada; textura al tacto: Franco - arcillosa; gravas: Sin presencia de gravas; guijarros: Sin presencia de guijarros; piedras: Sin presencia de piedras; manchas: color 7.5YR 3/4 Café oscuro, cantidad 2 - 20%, tamaño 0.5 - 1.5 centímetros, contraste destacadas, bordes claros; raíces finas: 1-20; raíces medias: 1-20; raíces gruesas: No existe; drenaje interno: Drenado; reacción al agua oxigenada: Fuerte; pH de campo: 5.00.</p>	
Observaciones: Huerta de aguacate de diez años	



Croquis de localización del Perfil No. 71.

INFORMACIÓN PARA LLEGAR AL SITIO

El Perfil de Suelo No. se localiza en La Loma de Acuitlapilco, Coatepec Harinas, Predio del Señor Manuel Rubí Delgado.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO

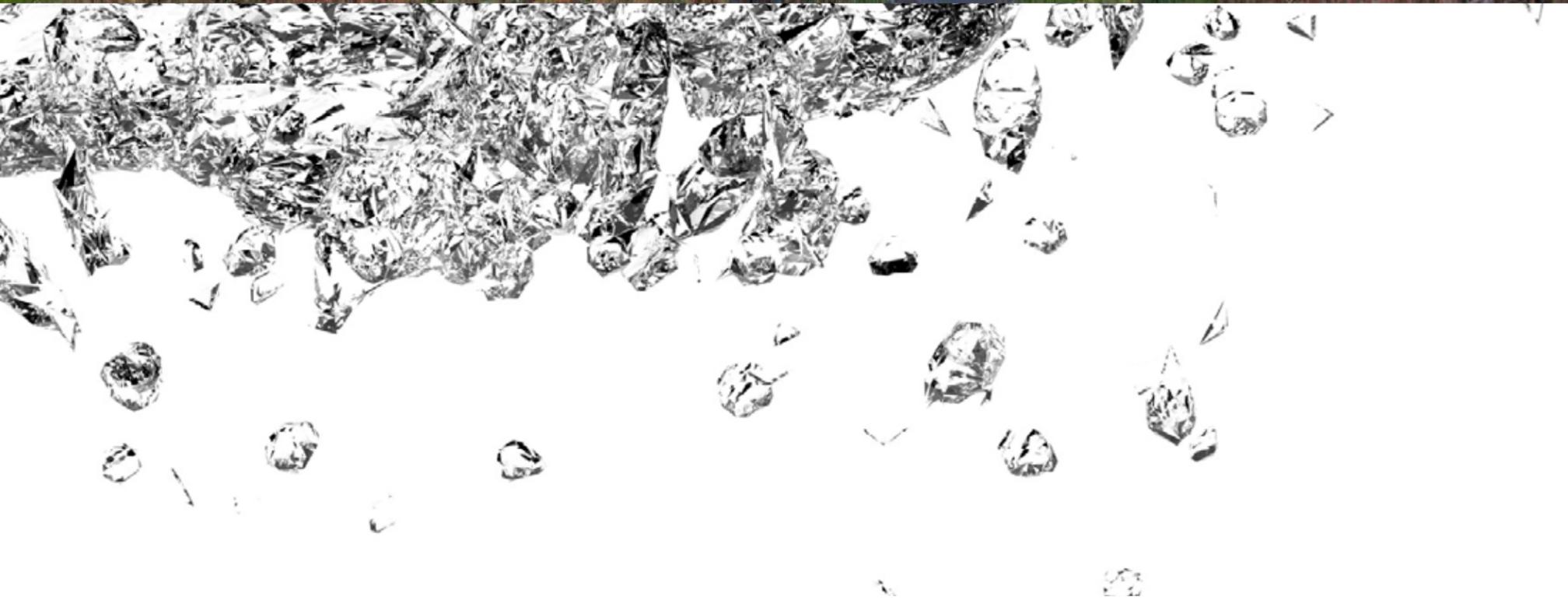
Fotografía 1. Vista del perfil del suelo.

Fotografía 2. Pruebas de campo.

Fotografía 3. Toma de muestras de suelo del perfil.

Fotografía 4. Vista del entorno natural del sitio 71 (huerta de aguacate).

Testimonios fotográficos de la descripción en campo del Perfil No. 71.



Fotografía: Probosque. Autor: César Omar Almaguer Lomas.

Anexo IV

Pruebas de permeabilidad realizadas en las áreas de pagos de servicios ambientales hidrológicos del Estado de México

Pruebas de permeabilidad realizadas en época de estiaje (secas) con la metodología del permeámetro de disco de tensión

Se realizaron 49 pruebas de permeabilidad en sitios que correspondieron a las Delegaciones Atlacomulco, Toluca, Coatepec Harinas y Valle de Bravo, y se llevaron a cabo durante los meses de marzo y abril, por lo que las el suelo estaba seco. La metodología que se utilizó fue el permeámetro de disco de tensión y la metodología se presenta a continuación, y posteriormente se presentan los resultados que se obtuvieron de las pruebas de permeabilidad.

Descripción de la metodología del permeámetro de disco de tensión (dispositivo DiPer Serie 2007)

Con respecto al método del Permeámetro de disco (dispositivo DiPer Serie 2007), la lámina infiltrada se obtiene con una prueba simple de infiltración, considerando el radio de contacto del disco y la carga hidráulica en la columna para solucionar la ecuación de infiltración unidimensional de Philip's (1957) que se muestra enseguida:

$$I = S\sqrt{t} + At$$

Basada en la ecuación de Wooding, 1968, se ha propuesto una ecuación con una fuente circular de radio R (L) para evaluar densidad de flujo en estado permanente q_{∞} (LT), conductividad hidráulica a saturación $K_{(LT-1)}$, a es un parámetro de ajuste (L-1) y suelo cuasilíneo (Vandervaere et al.,2000), y esta se presenta a continuación:

$$q_{\infty} = K + \left[1 + \frac{4}{\pi R a} \right]$$

Aunque existen diversos métodos de análisis (análisis multiradio, esto es utilizando equipos con radios diferentes, análisis multi-potencial, que incluye dos o más cargas de presión y análisis de prueba simple, que emplea un radio y una carga hidráulica), para este trabajo se considera éste último, ya que, con él, la infiltración

acumulada axisimétrica se puede describir adecuadamente con una ecuación de dos términos que propone Vandervaere et al., 2000, que es la siguiente:

$$I = C_1\sqrt{t} + C_2t$$

Donde I es la infiltración acumulada (L), t es el tiempo transcurrido (T) y los valores de C_1 y C_2 son coeficientes que fueron propuestos por Haverkamp et al, 1994, siendo $C_1=S$ el valor de la sortividad capilar (LT-1/2), y C_2 es un coeficiente que puede obtenerse con la ecuación siguiente:

$$C_2 = \frac{2-\beta}{3}K + \frac{\gamma S^2}{R(\Theta_0 - \Theta_R)}$$

Los coeficientes C_1 y C_2 pueden ser obtenidos por el método de linealización diferenciada $\frac{dI}{d\sqrt{t}} = C_1 + 2C_2\sqrt{t}$, que es aproximado con la ecuación siguiente:

$$\frac{dI}{d\sqrt{t}} = \frac{\Delta I}{\Delta\sqrt{t}} = \frac{I_{i+1} - I_i}{\sqrt{t_{i+1}} - \sqrt{t}} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

Donde n es el número de datos y el correspondiente \sqrt{t} es calculado como la media geométrica de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{dI}{d\sqrt{t}} = \frac{\Delta I}{\Delta\sqrt{t}} = \frac{I_{i+1} - I_i}{\sqrt{t_{i+1}} - \sqrt{t}} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

A partir de la obtención de los valores de los coeficientes antes mencionados, se puede obtener los valores de conductividad hidráulica mediante la ecuación que se muestra enseguida:

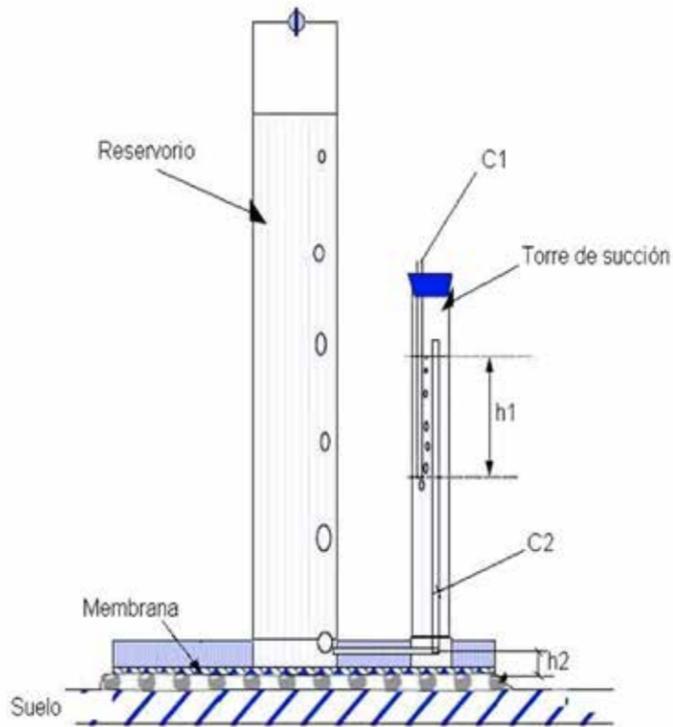
$$K = \frac{3}{2-\beta} \left[C_2 - \frac{\gamma C_1^2}{R(\Theta_0 - \Theta_n)} \right]$$

Características de permeámetro de disco

El Permeámetro de Disco (Dispositivo DiPer Serie 2007) consta de una base que en su parte inferior lleva una membrana porosa de nylon con un tamaño de malla de 60 μ m. El diámetro interno del disco es de 100 mm, el nivel del tubo de Mariotte es de 8 mm y el diámetro interno del tubo grande es de 32.31 mm.

La presión del agua ψ_0 , al nivel de la membrana para cada prueba es diferente variando en el rango $-150 \text{ mm} \leq \psi_0 \leq 0 \text{ mm}$, cabe mencionar que esta presión es regida por la posición del tubo interno y el nivel constante del agua en la torre de succión, este dispositivo constituye un vaso de Mariotte a carga constante.

En la siguiente Figura se muestra el permeámetro de disco.



Esquema de un permeámetro de disco.

Actividades que se realizaron en cada sitio para realizar la prueba de permeabilidad

En cada sitio se seleccionaba un área más o menos plana donde se pudiera colocar el permeámetro de disco, una vez seleccionada el área, ésta se acondicionaba quitando la maleza y quitando una capa superficial del suelo para eliminar raíces o pequeñas piedras que pueden afectar el desarrollo de la prueba. Posteriormente se preparaba una capa de 2-3 cm de una arena especial y encima de

ella se colocaba el tensiómetro de disco el cual previamente se había preparado para realizar la prueba. La toma de datos consistió en registrar la lámina de agua infiltrada en el tiempo, y posteriormente en gabinete se analizaron los datos de acuerdo con la metodología descrita anteriormente. En la siguiente Figura se presentan testimonios fotográficos de los trabajos que se realizan durante el desarrollo de la prueba de permeabilidad.

Resultados de las pruebas de permeabilidad con el permeámetro de disco

Se efectuaron cuarenta y nueve pruebas de infiltración, de las cuales en la Delegación I "Toluca" fueron once sitios distribuidos en siete municipios, veinticuatro sitios en la Delegación V "Atacomulco" distribuidos en quince municipios, once sitios en Delegación VI "Coatepec Harinas" repartidos en cuatro municipios y tres sitios en Delegación VI "Valle de Bravo" distribuidos en dos municipios. En la siguiente Tabla se presenta la información.

Resumen de número de municipios y de sitios de prueba de infiltración seleccionados por Delegación Regional Forestal.

Delegación Regional Forestal PROBOSQUE	No. de municipios	No. de Sitios
Delegación Regional Forestal I "Toluca"	7	11
Delegación Regional Forestal V "Atacomulco"	15	24
Delegación Regional Forestal VI "Coatepec Harinas"	4	11
Delegación Regional Forestal VII "Valle de Bravo"	2	03

Pruebas de infiltración en la Delegación I "Toluca"

En la Delegación I "Toluca" se eligieron seis municipios: Almoloya de Juárez, Atarasquillo, Jiquipilco, Tenango del Valle, Tianguis-



Actividades que se realizaron durante la prueba de permeabilidad con el permeámetro de disco.

tenco, Xonacatlán y Zinacantepec, para efectuar once pruebas de infiltración

Los sitios en estudio se mencionan a continuación: Sitio 14, El Zarzal, predio San Pedro Tlanixco, municipio de Tenango del Valle, Sitio 22, Ejido San Juan de las Huertas, municipio de Zinacantepec, Sitio 25, predio agrícola en el ejido San Miguel Mimiapan, municipio Xonacatlán, Sitio 26, Santiago Tilapa, municipio de Santiago Tianguistenco, Sitio 27, Ex hacienda la Gavia, municipio Almoloya de Juárez, Sitio 28 (zona agrícola), Ex hacienda la Gavia, municipio Almoloya de Juárez, Sitio 29 Rancho Ex – Hacienda San Nicolás Amealco, municipio Almoloya de Juárez, Sitio 30, Santa María Atarazquillo, municipio Lerma, Sitio 32, San Miguel Mimiapan, municipio Xonacatlán, Sitio 36, Rancho San Antonio, municipio Jiquipilco y Sitio 39, ejido Palos Amarillos, municipio Barrio Yebucivi, municipio de Almoloya de Juárez.

En la Delegación I "Toluca" se tienen cinco sitios en la unidad taxonómica de suelos Andosol, estando dos sitios en la subunidad húmico, uno en la subunidad mólico y dos en la subunidad ócrico",

dos sitios en la unidad Feozem lúvico, dos sitios en la unidad Leptosol, un sitio en la unidad Planosol mólico y un sitio en la unidad Vertisol pélico. En estas unidades se encuentran siete sitios con bosque de pino, dos sitios con uso agrícolas y un sitio con bosque de oyamel. En la tabla siguiente se presentan los valores que se obtuvieron de cada sitio

Los valores de conductividad hidráulica por sitio en la Delegación I "Toluca", muestran que en el sitio 14 y sitio 39 existen condiciones de repelencia de agua (hidrofobia) en el suelo (como se muestra en las fotografías que se muestran enseguida), lo cual podría deberse a su cobertura vegetal de pinos, que desprende sustancias orgánicas y revisten los pedos del suelo afectando el flujo capilar vertical y por lo tanto, afectando la infiltración del agua en el suelo al inicio de su infiltración, ya que ambos son suelos cuyo horizonte de diagnóstico superficial es mayor de 20 cm. Cabe mencionar que se buscaron sitios alternos no muy alejados a los seleccionados inicialmente, pero representativos de la zona y fue donde se efectuaron las pruebas de infiltración, que por influencia de la región presentan valores bajos.



Condiciones de repelencia del agua en el suelo en el sitio 14.



Condiciones de repelencia del agua en el suelo en el sitio 39.

Información general de los sitios y resultados de la prueba de permeabilidad en la Delegación I "Toluca"

Sitio	Coordenadas UTM		Unidad taxonómica de suelos	Tipo de vegetación	$\psi 0$ (mm)	Ks (cm/hr)
Sitio 14	431396	2105981	Leptosol	zona agrícola	105	0.0653
Sitio 22	416570	2116437	Andosol húmico	bosque de pino	111	0.5190
Sitio 25	450969	2151864	Andosol ócrico	zona agrícola	100	0.9457
Sitio 26	454059	2125663	Leptosol	bosque de pino	110	0.2799
Sitio 27	406069	2143898	Feozem lúvico	bosque de pino	116	1.6383
Sitio 28	405232	2145201	Vertisol Pélico	zona agrícola	110	0.9051
Sitio 29	409000	2137788	Feozem lúvico	bosque de pino	101	0.3412
Sitio 30	457493	2139018	Andosol ócrico	bosque de oyamel	105	0.3603
Sitio 32	455702	2150531	Andosol húmico	bosque de pino	100	0.3122
Sitio 36	429047	2155563	Planosol Mólico	bosque de pino	105	0.3931
Sitio 39	406714	2159379	Andosol Mólico	bosque de cedro y pino	111	0.0211

Nota: El sitio 14 y el sitio 39 presentan ciertas condiciones de repelencia de agua en el suelo

Mínimo	0.0211
Máximo	1.6383
Promedio	0.5256



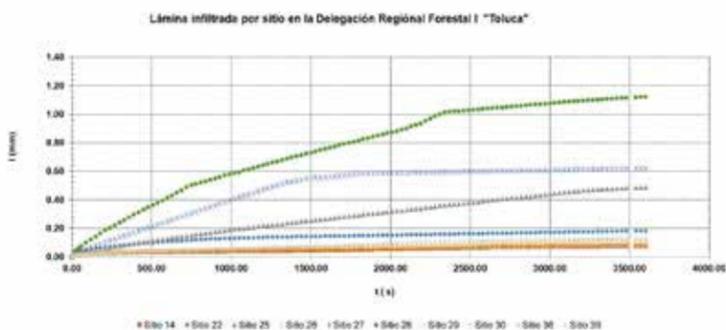
Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 27.



Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 26.

Sin considerar los suelos con problemas de hidrofobia, se observa que el valor mínimo de conductividad hidráulica es en el sitio 26, el cual se ubica en la unidad taxonómica de suelo Leptosol, que es un suelo delgado sobre roca dura caracterizado por tener una permeabilidad baja. Con respecto al valor más alto de conductividad hidráulica, el sitio 27 presentó un valor de 1.638 cm/h, este sitio se ubica en la unidad Feozem lúvico, caracterizado por presentar colores oscuros, formado sobre material parental básico de textura fina, además de ser suelos porosos, aireados con estructuras migajosas. El valor promedio de conductividad hidráulica del suelo para esta Delegación es de 0.6328 cm/h.

La evolución temporal de la lámina infiltrada por sitio en la prueba de infiltración para la Delegación I "Toluca", se muestra en la Figura siguiente:



Evolución temporal de láminas infiltradas en la Delegación I "Toluca"

Pruebas de infiltración en la Delegación V "Atacomulco"

En la Delegación Regional Forestal V "Atacomulco" se eligieron veinticinco sitios para efectuar las pruebas de infiltración localizados en los municipios Acambay, Chapa de Mota, Ixtlahuaca, Jilotepec, Jiquipilco, Jocotitlán, San Bartolo Morelos, San Felipe del Progreso, San José del Rincón, Temascalcingo, Timilpan y Villa del Carbón.

Los sitios en estudio son: Sitio 2, predio agrícola de San Lorenzo Toxico, municipio Ixtlahuaca, Sitio 31 (agrícola) Barrio del Calvario,

municipio de San Felipe del Progreso, Sitio 40, Ejido San Juan Jiquipilco, municipio Jiquipilco, Sitio 42 Debajo de la Capilla, San Miguel Yauhtepec, municipio Jiquipilco, Sitio 43 Ejido San Lorenzo Toxico, municipio Ixtlahuaca, Sitio 45, ejido San Jerónimo Mavati, municipio San Felipe del Progreso, Sitio 49, Barrio del Calvario, municipio San Felipe del Progreso, Sitio 51, Santa Cruz del Tejocote, municipio San José del Rincón, Sitio 52, ejido San Jerónimo Zacapexco, municipio Villa del Carbón, Sitio 53, paraje la alameda, ejido San Coajomulco, municipio Jocotitlán, Sitio 54, predio La Piedra del Barrio Las Animas, Bienes Comunales San Francisco de las Tablas, municipio Chapa de Mota, Sitio 55, ejido La Cañada, municipio Villa del Carbón, Sitio 56, predio El Encino, ejido San Marcos Tlaxalpan, municipio San Bartolo Morelos, Sitio 57, predio Ventei, pequeña propiedad, municipio Chapa de Mota, Sitio 59, predio agrícola en el ejido San Antonio Yondeje, municipio Timilpan, Sitio 60, paraje Pemina, ejido Santiago Maxda, predio Barrio 6 de la comunidad de Santiaguito Maxda, municipio de Timilpan, Sitio 61, zona boscosa del ejido San Antonio Yondenje, municipio Timilpan, Sitio 62, Bio-parque Estrella, poblado de Tinaguizolco, municipio Chapa de Mota, Sitio 64, predio Pasaje Las Ramas del campamento ejido Corona, municipio de Temascalcingo, Sitio 65, paraje El Puerto, del predio Bienes Comunales de San Mateo El Viejo, municipio de Temascalcingo, Sitio 66, Parque la Peñas de Bienes Comunales de Dexcani El Alto, municipio Jilotepec, Sitio 67, Ejido San Miguel Acambay, municipio Acambay, Sitio 68 San Miguel Yuxtepec, municipio Jiquipilco, Sitio 69, ejido Santa María Tixmadeje, municipio Acambay y Sitio 70, Ejido El Rosal, municipio Jilotepec.

En la Delegación V "Atacomulco" se seleccionaron 25 sitios, de los cuales en la unidad taxonómica de suelos Andosol fueron 2 sitios, uno en la subunidad mólico, y otro en la subunidad ócrico, dos sitios se presentan en la unidad Cambisol, estando uno en la subunidad éutrico y otro en la subunidad vértico, 13 sitios se encuentran en la unidad Feozem, de los cuales uno está en la subunidad cálcico, 3 sitios están en la subunidad háplico y 8 son lúvico. Asimismo, se tienen 3 sitios en la unidad Luvisol crómico, dos sitios en la unidad Planosol, uno en la subunidad mólico y otro en la subunidad húmico y dos sitios en la unidad Vertisoles pélicos. En estas unidades se

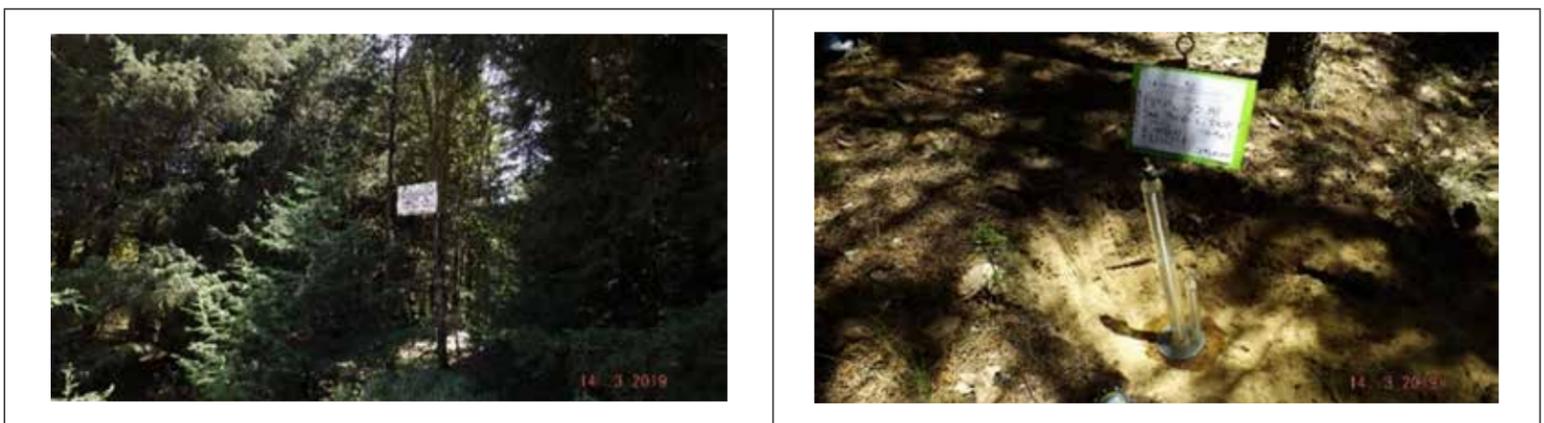
encuentran 6 sitios con bosque de pino, 8 sitios con bosque de encino, 6 sitio con vegetación pino – encino, uno con vegetación boscosa pino – cedro y 4 son sitios agrícolas. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla:

Con relación a los valores de conductividad hidráulica en la Delegación V "Atlacomulco", se observa el valor mínimo en el sitio 49 con 0.1141 cm/h, el cual se ubica en la unidad Feozem háplico,

cuyo horizonte de diagnóstico superficial es delgado y muy arcilloso, mientras que el valor más alto se presentó en el sitio 65 con valor de 2.9186 cm/h, localizándose en la unidad Feozem lúvico, que a diferencia de la unidad Feozem háplico antes mencionado, presenta una estructura granular muy suelta (podría decirse que se tiene una destrucción de la arcilla superficial), lo que lo hace muy poroso. En este orden, el valor promedio de la conductividad hidráulica para los suelos de la Delegación V "Atlacomulco" fue de 0.6246 cm/h.



Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 49.



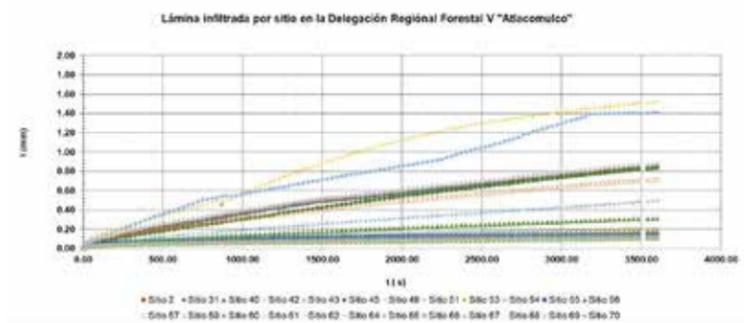
Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 65

Información general de los sitios y resultados de la prueba de permeabilidad en la Delegación V "Atlacomulco".

Sitio	Coordenadas UTM		Unidad taxonómica de suelos	tipo de vegetación	ψ_0 (mm)	Ks (cm/hr)
Sitio 2	417291	2161157	Vertisol pélico	zona agrícola	105	0.2469
Sitio 31	394275	2173452	Planosol mólico	zona agrícola	110	0.2121
Sitio 40	433720	2158967	Cambisol éutrico	bosque de pino - encino	105	1.3017
Sitio 42	426069	2160004	Feozem háplico	bosque de pino - encino	106	0.2150
Sitio 43	417166	2161308	Vertisol pélico	bosque de pino – cedro	110	0.5420
Sitio 45	403704	2164682	Andosol mólico	bosque de pino	105	0.3999
Sitio 49	394395	2173582	Planosol húmico	bosque de pino	120	0.1345
Sitio 51	376228	2176861	Andosol ócrico	bosque de pino - encino	111	0.1907
Sitio 52	448448	2181248	Luvisol crómico	bosque de encino	105	0.5770
Sitio 53	393961	2183579	Feozem lúvico	bosque de encino	110	0.3246
Sitio 54	446781	2184312	Andosol mólico	bosque de encino	105	0.5507
Sitio 55	449278	2186698	Feozem háplico	bosque de encino	101	0.4548
Sitio 56	426634	2187598	Feozem cálcico	bosque de pino	110	0.6274
Sitio 57	446924	2188883	Luvisol crómico	bosque de encino	105	0.3021
Sitio 59	425062	2195224	Feozem lúvico	zona agrícola	115	1.2186
Sitio 60	418882	2192141	Feozem lúvico	bosque de pino	110	0.4887
Sitio 61	425081	2195187	Feozem lúvico	bosque de pino - encino	95	0.3871
Sitio 62	430881	2197343	Feozem lúvico	bosque de encino	100	0.5197
Sitio 64	394702	2199839	Feozem lúvico	bosque de pino	104	0.2745
Sitio 65	402834	2202240	Feozem lúvico	bosque de pino - encino	105	2.3762
Sitio 66	448801	2202775	Luvisol crómico	bosque de encino	110	0.2187
Sitio 67	413109	2207658	Feozem lúvico	bosque de encino	102	2.9186
Sitio 68	425517	2159939	Feozem háplico	zona agrícola	120	0.3213
Sitio 69	400717	2212835	Cambisol vértico	bosque de pino - encino	110	0.5024
Sitio 70	428967	2223609	Feozem háplico	bosque de pino	100	0.3103

Mínimo 0.1345
 Máximo 2.9186
 Promedio 0.6246

De otra parte, se tiene que la evolución temporal de la lámina infiltrada por sitio en las pruebas de infiltración para la Delegación V "Atlacomulco", se muestra en la siguiente Figura:



Evolución temporal de láminas infiltradas en la Delegación V "Atlacomulco".

Pruebas de infiltración en la Delegación VI "Coatepec Harinas"

En la Delegación Regional Forestal VI "Coatepec Harinas" se eligieron diez sitios cuyos municipios elegidos fueron cuatro, los cuales son Tonatico, Malinalco, Coatepec Harinas y Villa Guerrero.

Los sitios en estudio son: Sitio 1, Cerro de Salinas, del ejido Tonatico y Anexos, del municipio Tonatico, Sitio 3, Cerro del Moral, localidad Los Amates, ejido Tonatico y Anexos, municipio Tonatico, Sitio 4, ejido san Pedro Chichicasco, municipio de Malinalco, Sitio 5, La Matonoza, Bienes Comunales Chiltepec, municipio Coatepec Harinas, Sitio 6, Delegación San Martín, municipio de Malinalco, Sitio 7, Entrada al Peñón del predio Fracción de la Ex Hacienda de

Agua Amarga, municipio Coatepec Harinas, Sitio 8, La Tirolesa, Bienes comunales Chiltepec, municipio Coatepec de Harinas, Sitio 9, San Martín El Salto, municipio Coatepec Harinas, Sitio 10, Potrero de la Sierra Número 3, municipio Villa Guerrero y Sitio 12, El Chiqui-güite del ejido Coatepec Harinas del municipio Coatepec Harinas.

En esta Delegación VI "Coatepec Harinas" se seleccionaron 10 sitios, teniendo un sitio en la unidad taxonómica de suelos Acrisol húmico, un sitio en la unidad Andosol húmico, 4 sitios en la unidad Cambisol, donde 3 sitios están en la subunidad crómico y uno en la subunidad éutrico, uno en la unidad Feozem háplico, uno en la unidad Luvisol férrico, uno en la unidad regosol éutrico y uno en la unidad Rendzina. En estas unidades se encuentran 3 sitios con bosque de pino, 2 sitios en bosque pino – encino, uno en bosque pino – oyamel y cuatro en sitios con selva baja caducifolia. La Tabla siguiente muestra los resultados que se obtuvieron.

Con respecto a los valores de conductividad hidráulica obtenidos por sitio en la Delegación VI "Coatepec Harinas", Tabla 3.4, se observa para el sitio 10 el valor mínimo de conductividad hidráulica con 0.2196 cm/h, ubicado en la unidad Cambisol crómico. El valor más alto se obtuvo en el sitio 12 con valor de 2.4177 cm/h, ubicado en la unidad Andosol húmico. Con respecto al valor promedio de conductividad hidráulica en la Delegación VI, valor fue de 0.8523 cm/h.

Por otro lado, se tiene que la evolución temporal de la lámina infiltrada por sitio en las pruebas de infiltración para la Delegación VI "Coatepec Harinas", se muestra en la Figura siguiente:

Información general de los sitios y resultados de la prueba de permeabilidad en la Delegación VI "Coatepec Harinas"

Sitio	Coordenadas UTM		Unidad taxonómica de suelos	Tipo de vegetación	ψ_0 (mm)	Ks (cm/hr)
Sitio 1	433150	2078810	Rendzina	selva baja caducifolia	106	0.51331
Sitio 3	426733	2078198	Regosol éutrico	selva baja caducifolia	123	0.312933
Sitio 4	450241	2084071	Acrisol húmico	selva baja caducifolia	100	0.301238
Sitio 5	413571	2091859	Luvisol férrico	bosque de pino	108	0.331424
Sitio 6	445558	2092935	Feozem háplico	selva baja caducifolia	110	1.186343
Sitio 7	421092	2095786	Cambisol crómico	bosque de pino	104	2.417738
Sitio 8	411807	2093196	Cambisol crómico	bosque de pino	104	1.512208
Sitio 9	415867	2094137	Cambisol éutrico	bosque de pino - encino	105	1.218914
Sitio 10	422405	2098057	Cambisol crómico	bosque de pino - encino	105	0.219555
Sitio 12	416549	2104700	Andosol húmico	bosque de pino - oyamel	108	0.509101

Mínimo 0.2196
Máximo 2.4177
Promedio 0.8523



Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 49.

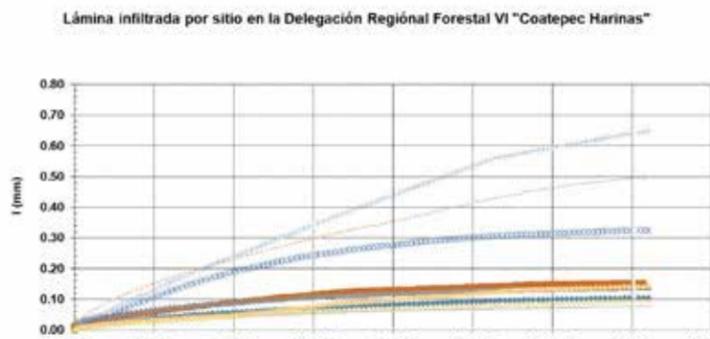


Figura 3.1. Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 10.



Panorámica y prueba de infiltración en el sitio 7.

Evolución temporal de láminas infiltradas en la Delegación VI "Coatepec Harinas".



Evolución temporal de láminas infiltradas en la Delegación VI "Coatepec Harinas".

En la Tabla que se presenta enseguida se presentan los resultados:

Información general de los sitios y resultados de la prueba de permeabilidad en la Delegación VII "Valle de Bravo"

Con relación a la conductividad hidráulica en la Delegación VII "Valle de Bravo", se observa el valor mínimo para el sitio 35 con 0.3622 cm/h, ubicado en la unidad Andosol ócrico, Figura 3.16. El valor más alto fue en el sitio 34 con 0.5944 cm/h, ubicado en la unidad Vertisol pélico, Con respecto al valor promedio de la conductividad hidráulica en esta Delegación, fue de 0.4825 cm/h.

Pruebas de infiltración en la Delegación VII "Valle de Bravo"

En la Delegación Regional Forestal VII "Valle de Bravo" se eligieron dos municipios, Donato Guerra y Villa Victoria, para efectuar tres pruebas de infiltración en los sitios Sitio 23, ejido San Francisco Mihualtepec, municipio de Donato Guerra, Sitio 34, Parada del Pilar, ejido Cerritos, municipio Villa Victoria y Sitio 35, ejido San Pedro del Rincón, municipio Villa Victoria

En la Delegación VII "Valle de Bravo" se seleccionaron 3 sitios, de los cuales un sitio se ubica en la unidad taxonómica de suelos Acrisol órtico, un sitio en la unidad Andosol húmico, un sitio en la unidad Andosol ócrico y uno en la unidad Vertisol pélico. En estas unidades los 3 sitios presentan vegetación bosque pino – encino.

Conclusiones

Con el uso permeámetro de disco, dispositivo DiPer serie 2007, se realizaron cuarenta y nueve pruebas de infiltración en cuatro Delegaciones Regionales Forestales de PROBOSQUE en el Estado de México.

En la Delegación I "Toluca", realizando once pruebas en siete municipios, en la Delegación V "Atacomulco" se consideraron veinticuatro sitios distribuidos en quince municipios, en Delegación VI "Coatepec Harinas" se realizaron las pruebas en once sitios repartidos en cuatro municipios y en la Delegación VII "Valle de Bravo" se consideraron tres sitios en dos municipios.

Los sitios donde se efectuaron las pruebas de infiltración se ubican en veinte unidades taxonómicas de suelo, las cuales fueron: Acrisol

Información general de los sitios y resultados de la prueba de permeabilidad en la Delegación I "Toluca"

Sitio	Coordenadas UTM		Unidad taxonómica de suelos	Tipo de vegetación	$\psi 0$ (mm)	Ks (cm/hr)
Sitio 23	383787	2128165	Acrisol órtico	bosque de pino - encino	111	0.490969
Sitio 34	392840	2151123	Vertisol pélico	bosque de pino - encino	105	0.59441
Sitio 35	386781	2154042	Andosol ócrico	bosque de pino - encino	110	0.362241
					Mínimo	0.3622
					Máximo	0.5944
					Promedio	0.4825

húmico, Acrisol órtico, Andosol húmico, Andosol mólico, Andosol órtico, Cambisol crómico, Cambisol éutrico, Cambisol vértico, Feozem cálcico, Feozem háplico, Feozem lúvico, Litosol, Luvisol crómico, Luvisol férrico, Planosol, Planosol húmico, Planosol mólico, Regosol éutrico, Rendzina y Vertisol pélico

Para la Delegación I "Toluca", se observó en el sitio 14 y sitio 39 la existencia de condiciones de repelencia de agua en el suelo que podría deberse a su cobertura vegetal de pinos, que desprende sustancias orgánicas y revisten los pedos del suelo afectando el flujo capilar vertical y, por lo tanto, afectando la infiltración del agua en el suelo al inicio de su infiltración, ya que ambos son suelos cuyo horizonte de diagnóstico superficial es mayor de 20 cm.

Sin considerar los suelos con problemas de hidrofobia en la Delegación I "Toluca", el valor mínimo de conductividad hidráulica fue en el sitio 26, ubicado en la unidad de suelo Leptosol, que es un suelo delgado sobre roca dura y se caracteriza por tener una permeabilidad baja, el valor más alto de conductividad hidráulica fue en el sitio 27 con 1.638 cm/h en la unidad de suelo Feozem lúvico formado sobre material parental básico de textura fina, además de ser suelos porosos, aireados con estructuras migajosas, cuyo valor promedio de conductividad hidráulica en la Delegación fue de 0.6328 cm/h.

La conductividad hidráulica obtenidos en la Delegación V "Atla-comulco" presenta valor mínimo de 0.1141 cm/h en el sitio 49 asentado en la unidad de suelo Feozem háplico, observándose al horizonte de diagnóstico superficial delgado y muy arcilloso, el valor más alto fue para el sitio 65 con 2.9186 cm/h, localizándose en una unidad de suelo Feozem lúvico, que a diferencia de la unidad de suelo Feozem háplico antes mencionado, este presenta una estructura granular muy suelta (podría decirse que se tiene una destrucción de la arcilla superficial), lo que lo hace muy poroso. El valor promedio de la conductividad hidráulica del suelo en la Delegación V fue de 0.6246 cm/h.

Con respecto a la conductividad hidráulica en la Delegación VI "Coatepec Harinas" el valor mínimo fue de 0.2196 cm/h en el sitio 10 el, situado en la unidad de suelo Cambisol crómico, el valor más alto fue para el sitio 12 con 2.4177 cm/h, localizado en la unidad de suelo Andosol húmico. El valor promedio de conductividad hidráulica del suelo para la Delegación VI fue de 0.8523 cm/h.

Para la Delegación VII "Valle de Bravo", la conductividad hidráulica presenta un valor mínimo de 0.3622 cm/h en el sitio 35, encontrado en la unidad de suelo Andosol órtico, el valor más alto se observó en el sitio 34 con 0.5944 cm/h, situado en la unidad Vertisol pélico y, el valor promedio de conductividad hidráulica del suelo para la Delegación VII fue de 0.4825 cm/h.

Pruebas de permeabilidad realizadas en época de saturación (lluvias) con la metodología de doble anillo

En este apartado del Anexo se presentan los resultados que se obtuvieron de las pruebas de permeabilidad realizadas en época de

saturación (lluvias) en cada uno de los sitios ubicados dentro de las áreas de Pagos de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México. En total fueron 71 sitios.

De cada sitio se presenta la gráfica resultante de campo de la tasa de permeabilidad en el tiempo, sin embargo, en gabinete se realizó un análisis de la información con las metodologías de Horton y de Kostiakov para determinar con cual método se modela mejor el comportamiento de la curva.

Enseguida se describe cada una de las metodologías, y en cada sitio se presenta la gráfica para cada método donde se presenta la ecuación que resulta del ajuste, así como, el r^2 después del ajuste.

Descripción de la metodología de Horton

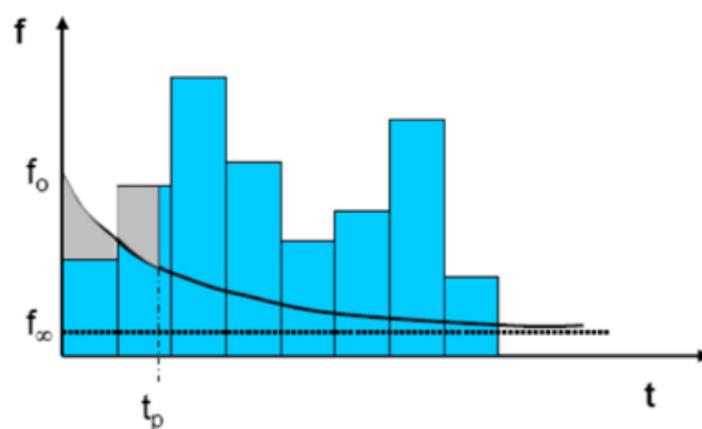
Una de las primeras ecuaciones de infiltración fue desarrollada por Horton (1933), quien observó que la infiltración empieza en alguna tasa f_0 y decrece exponencialmente hasta que alcanza una tasa constante f_c , tal y como se expresa en la siguiente ecuación:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Donde:

- $f(t)$ = capacidad de infiltración en el instante t (cm/h)
- f_c = valor constante de la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo (o infiltración mínima) (cm/h)
- f_0 = valor máximo de la capacidad de infiltración al comienzo de la lluvia (o infiltración máxima) (cm/h).
- K = constante de decaimiento.
- t = tiempo transcurrido desde el comienzo de la prueba de infiltración.

Aunque la idea expresada por el modelo de Horton sea simple, la dificultad en la determinación de la f_0 y k restringen el uso de esta ecuación. El área por debajo de la curva (Figura 1) representa la profundidad del agua infiltrada durante el intervalo considerado. Según esta ecuación la capacidad de infiltración ($f(t)$) disminuye con el tiempo transcurrido desde el inicio de la precipitación, tendiendo hacia la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo (capacidad mínima de infiltración, f) (Figura_1)



Figura_1. Representación gráfica del modelo de Horton.

Tomando el modelo de Horton de infiltración, los valores de f_0 y f_c dependen tanto del tipo de suelo como de vegetación, así como del contenido de humedad inicial en el suelo. Según esto, el valor de f_c (mm/h) (capacidad mínima de infiltración) para cuatro tipos de suelos sería:

	GRUPO	<i>f</i> c (mm/h)
	A	11.43 – 7.63
	B	7.62 – 3.82
	C	3.81 – 1.28
	D	1.27 – 0.00
Grupo A	=	suelo con potencial de escorrentía mínimo. Incluye arenas profundas con poco limo y arcilla
Grupo B	=	suelos en su mayor parte arenosos, menos profundos que los del grupo A.
Grupo C	=	suelos poco profundos, contienen mucha arcilla y coloides aunque menos que los del grupo D.
Grupo D	=	suelos con potencial de escurrimiento máximo. Se incluyen la mayor parte de arcillas y algunos suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

La generación de escurrimiento superficial propuesta por el modelo de Horton presenta una serie de restricciones de aplicabilidad:

- Para zonas concretas próximas al cauce donde las condiciones de humedad inicial sean elevadas.
- En áreas de poca superficie, donde el tiempo de tránsito se puede considerar pequeño.
- En climas áridos y semiáridos.
- En suelos relativamente poco permeables.
- Bajo precipitaciones de alta intensidad.

Con todo ello, el modelo de Horton no ha sido totalmente rechazado sino completado con una serie de procesos como son:

- a) Escurrimiento superficial producido por la intersección de la capa freática con la superficie del suelo. En respuesta a la precipitación, la infiltración supone un aporte de agua hacia los niveles freáticos, que tienden a elevarse localmente, creando así zonas saturadas. Esto tiene lugar en terrenos de cubierta vegetal delgada, en hondonadas o en zonas de convergencia de pendientes. Esta situación genera un resurgimiento superficial del agua, denominado flujo de retorno. Es decir, el flujo que proviene del subsuelo se denomina flujo de retorno. Pero además, existe una contribución debida a la precipitación que incide directamente sobre la zona saturada, la cual se denomina escorrentía superficial de saturación. Para explicar estos fenómenos es necesario considerar la topografía del terreno mientras que en el modelo de Horton las características que controlan la infiltración son las edáficas.
- b) Escorrentía de tormenta subsuperficial (Hewlett): Considera que al inicio de la precipitación parte del agua penetra en el suelo y percola hacia abajo, aumentando la humedad de las zonas que atraviesa. Si la precipitación no excede la capacidad de infiltración del suelo, esta agua de percolación no satura el suelo y no produce un flujo lateral apreciable, de manera que el movimiento de agua es hacia abajo. Al encontrarse esta corriente de agua con una zona menos permeable, genera una escorrentía lateral subsuperficial.
- c) Escurrimiento por saturación de zonas intermedias del perfil del suelo (Weyman). Es un caso particular del anterior, en la que una zona impermeable genera una capa freática suspendida, la cual llega a interceptar el cauce del río o la superficie del terreno.

Descripción de la metodología de Kostiakov (1932)

A través de la infiltración el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el interior del suelo. El fenómeno de la infiltración es un fenómeno complejo, de hecho, en la tasa de infiltración influye la intensidad de la precipitación, la pendiente de la superficie topográfica, el uso del suelo, el contenido de humedad del suelo, la porosidad, la conductividad hidráulica, el potencial de succión, etc. Además el suelo es heterogéneo, lo cual añade todavía más dificultad al fenómeno de la infiltración.

Formula de Kostiakov

Kostiakov, en 1932 (Ravi y Williams, 1998), propuso las siguientes ecuaciones de carácter empírico para estimar la tasa de infiltración y la infiltración acumulada:

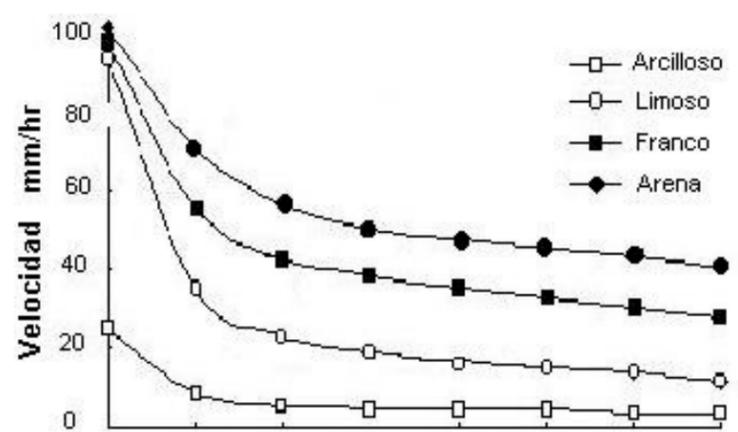
$$F(t) = k t^n$$

Donde:

- $F(t)$ = capacidad de infiltración en el instante t (cm/h)
- k = es un parámetro que depende de la estructura y la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua (Gavande et al., 1972).
- n = es un parámetro que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la humectación (Gavande et al., 1972) su valores van de 0 a -1, y corresponde a la pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.
- t = es el tiempo.

Esta fórmula no tiene un fundamento físico, no es dimensionalmente homogénea, pero se ajusta muy bien al fenómeno de infiltración, dentro de los límites agronómicos (Fernández et al., 1971).

Por otra parte, la relación matemática que existe entre la velocidad de infiltración y el tiempo está representada por una función exponencial inversa. Así también, cada cambio en las características del suelo provocará instantáneamente un comportamiento singular del proceso de infiltración, que obviamente se verá reflejado en una gráfica de estas variables. De esta manera, es posible visualizar una familia de curvas de infiltración para cada tipo de suelo (Figura_2).



Figura_2. Curvas de infiltración según la textura de suelo obtenidas mediante el método de Kostiakov.

Si analizamos la ecuación anterior es evidente que cuando $t \rightarrow$ infinito, la capacidad de infiltración tiende a cero, lo cual no representa la condición real de lo que sucede en el suelo, pues todo suelo tiene una capacidad de infiltración final distinta de cero. Asimismo, cuando el tiempo tiende a cero, la capacidad de infiltración tiende a infinito.

Esta representación nos muestra los límites de valides de la ecuación de Kostiakov. No representa el verdadero fenómeno de la capacidad de infiltración en ambos extremos de los tiempos, pero sí los representa en los tramos medios.

Ello significa que a medida que el suelo se va saturando, y la velocidad de infiltración se acerca al valor de conductividad hidráulica del suelo (o la permeabilidad), los valores dejan de representar el fenómeno de la infiltración. Es por ello que Kostiakov, aconsejó usar su ecuación en rangos de "f" superiores a "k" (conductividad hidráulica del suelo saturado).

Para un mismo suelo, de los parámetros de Kostiakov, solo se modifica K para distintas condiciones de humedad del suelo, ello significa que para distintos ensayos en un mismo suelo, K variará pero "n" se mantendrá constante.

Por otro lado "n" representa a las características propias del suelo.

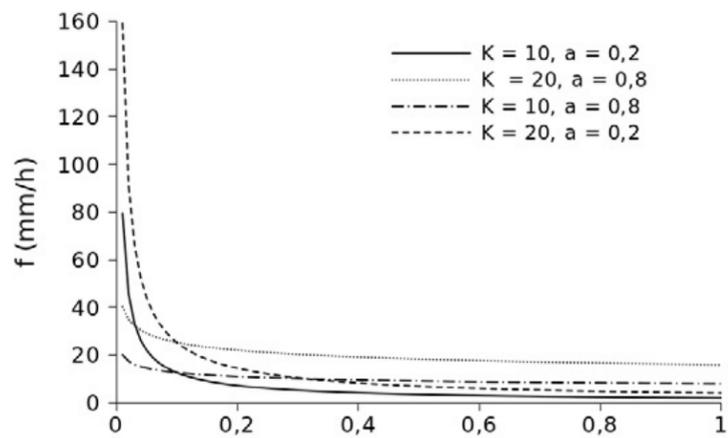
Otros autores han presentado versiones mejoradas del modelo descripto. Clemens (1981, citado por Ahuja et al, 2007) describe una mejora del modelo de Lewis-Kostiakov mediante la introducción de una función escalón sin incrementar el número de parámetros del modelo, que ha mostrado una mejora sustancial en la predicción de la capacidad de infiltración a largo plazo.

A pesar de las ventajas mencionadas de las versiones modificadas, es usual aún encontrar aplicaciones de las ecuaciones originales de Kostiakov debido principalmente a su simplicidad matemática y, a causa de ello, a que mediante la aplicación de logaritmos a ambos miembros de la expresión se obtiene una relación lineal en un papel doble logarítmico:

$$\ln f(t) = \ln k + n \ln t$$

Lo que permite encontrar gráficamente, o a través de una simple herramienta de regresión lineal, los parámetros del modelo, ya que en K es la ordenada al origen y n la pendiente de la recta de regresión en papel log-log.

A diferencia de otros modelos, como el de Horton por ejemplo, donde los parámetros tienen una correlación directa con alguna propiedad de la función $f(t)$, los parámetros K y n del modelo de Kostiakov impactan tanto en el valor de la tasa inicial de infiltración (entendida como el valor de f para un tiempo positivo suficientemente pequeño) como en la infiltración base (entendiendo como tal el valor mínimo que alcanza $f(t)$ en un intervalo de tiempo finito). En la Figura 3 se muestran diversas curvas de la función $f(t)$ para distintos valores de los parámetros K y n . Puede observarse que, a igualdad de K , si a aumenta, la tasa de infiltración inicial disminuye y la tasa base de infiltración aumenta; y que, a igualdad de n , si K aumenta tanto la tasa inicial como la final de infiltración aumentan (K representa un factor de escala). Para el modelo de Lewis-Kostiakov, el comportamiento es similar, pero al sumarse la constante fb se establece como tasa mínima absoluta ese propio valor.



Figura_3. Curvas de infiltración según el modelo de Kostiakov para distintos valores de sus parámetros.

Resultados de las pruebas de permeabilidad con el doble anillo y ajuste de las curvas con las metodologías de Horton y Kostiakov

Sitio 1 – Ejido Tonatico

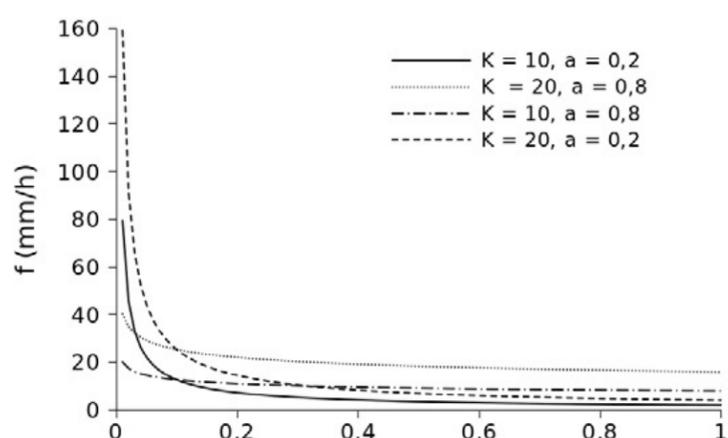
Los datos generales del Sitio 1 son los siguientes:

No. SITIO:	1
Unidad de Suelo:	E - Rendzina
Localidad:	Ejido Tonatico
Municipio:	Tonatico
Fecha:	martes 27 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Selva baja caducifolia

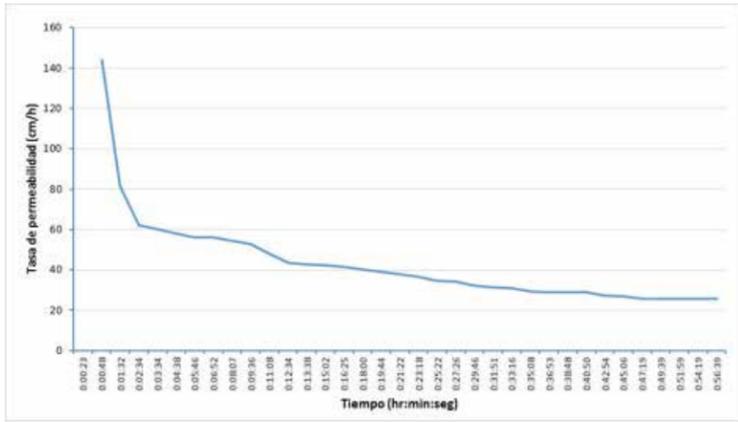
Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

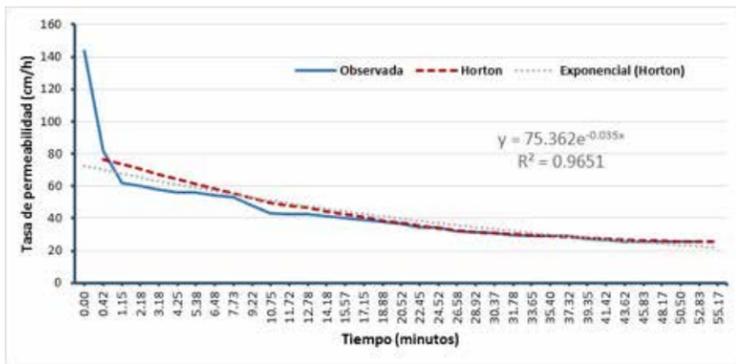


Figura_1. Curvas de infiltración según el modelo de Kostiakov para distintos valores de sus parámetros.



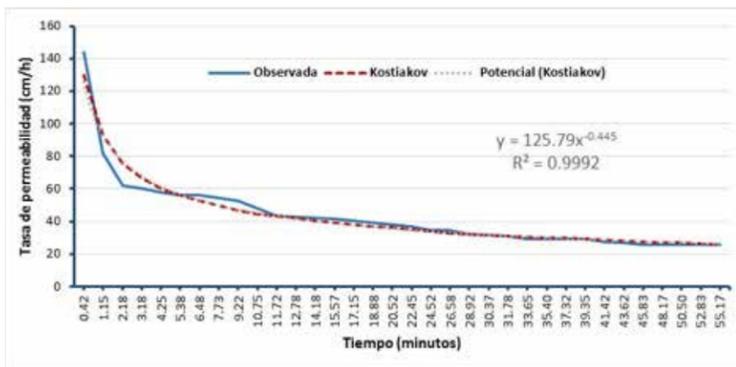
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 1.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 1 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 1 ajustada con Kostiakov.

Los datos generales del Sitio 2 son los siguientes:

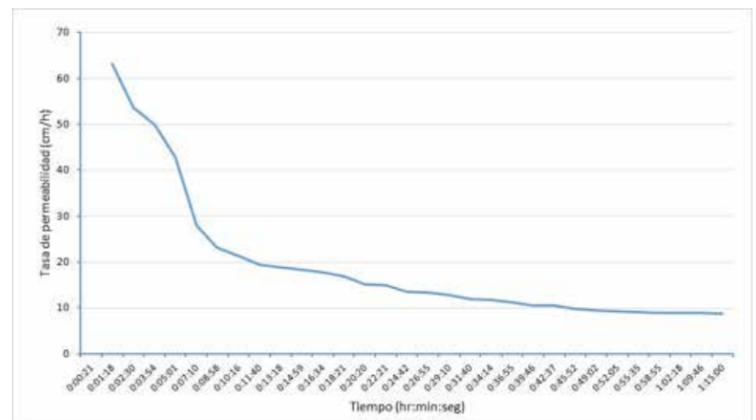
Sitio 2 – San Lorenzo Toxico

No. SITIO:	2
Unidad de Suelo:	Vp – Vertisol pélico
Localidad:	San Lorenzo Toxico
Municipio:	Ixtlahuaca
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal en descanso

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

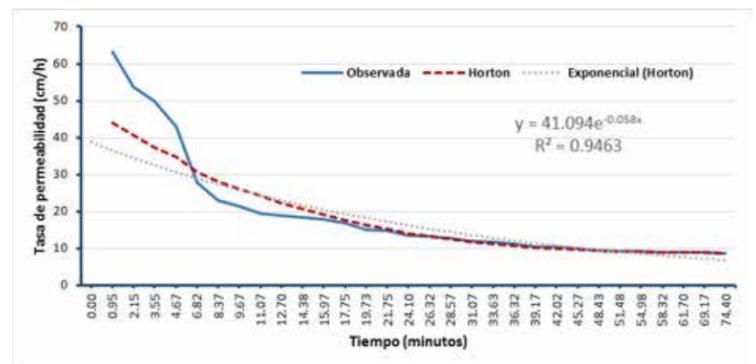


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



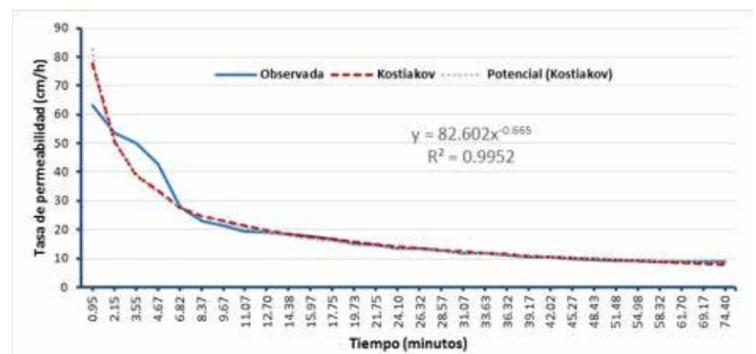
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 2.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 2 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 2 ajustada con Kostiakov.

Sitio 3 – Ejido Tonatico

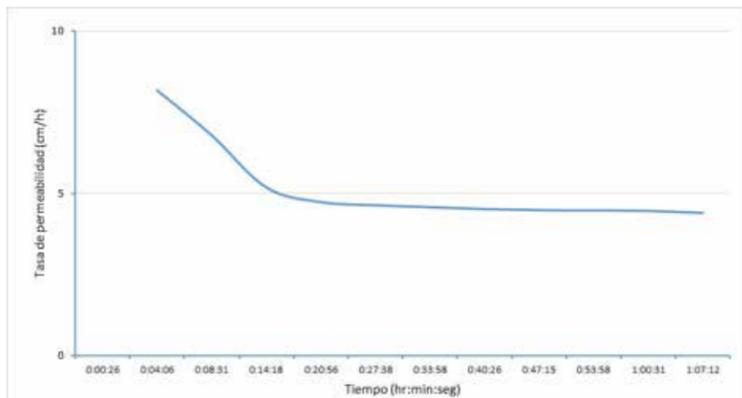
Los datos generales del Sitio 3 son los siguientes:

No. SITIO:	3
Unidad de Suelo:	Re - Regosol éútrico
Localidad:	Ejido Tonatico
Municipio:	Tonatico
Fecha:	martes 27 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de táscate

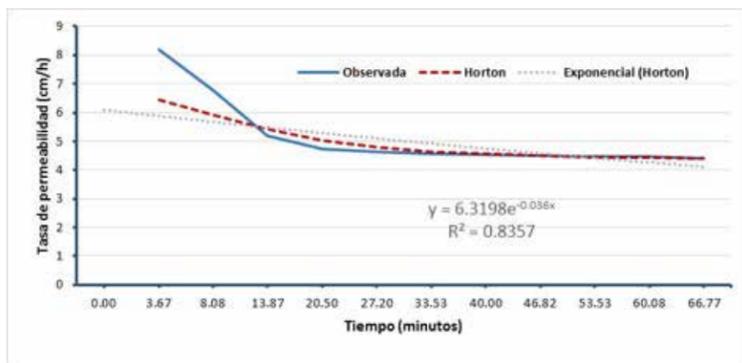
Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



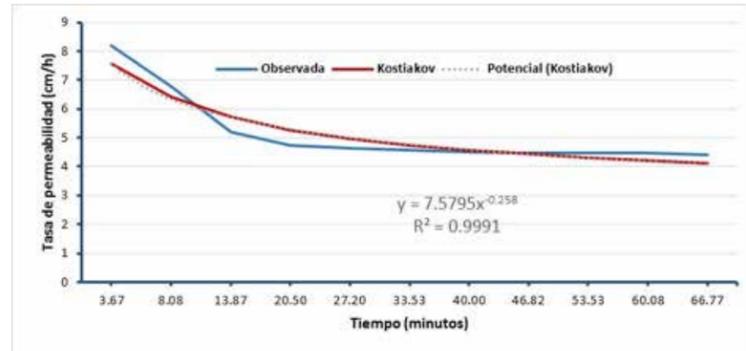
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Sitio 4 – San Pedro Chichiasco

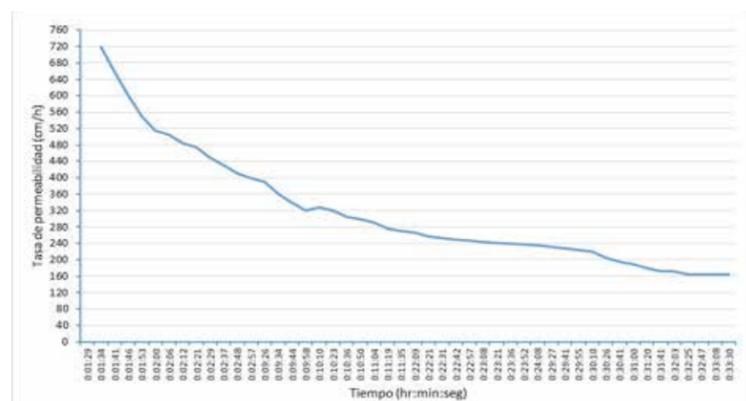
Los datos generales del Sitio 4 son los siguientes:

No. SITIO:	4
Unidad de Suelo:	E - Rendzina
Localidad:	San Pedro Chichiasco
Municipio:	Malinalco
Fecha:	martes 20 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de táscate

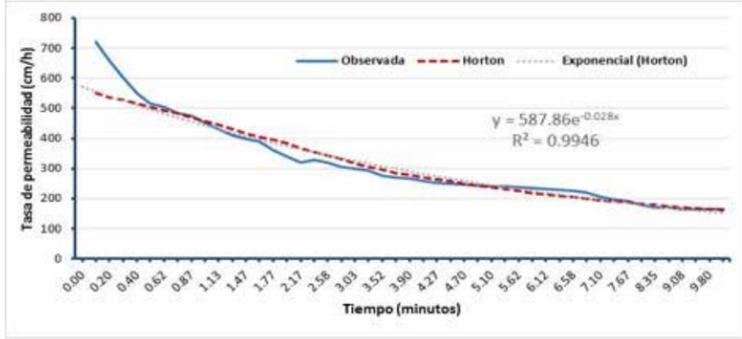
Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

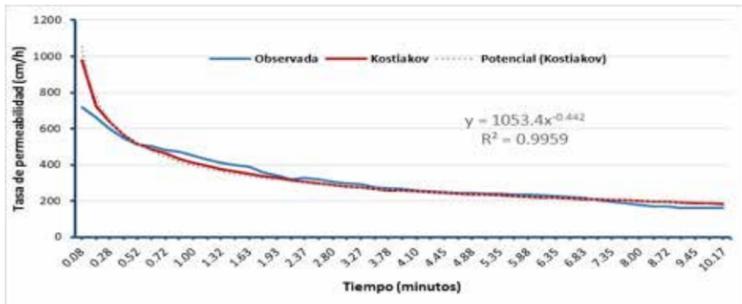


La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 4 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 4 ajustada con Kostiakov.

Sitio 5 – Chiltepec de Hidalgo

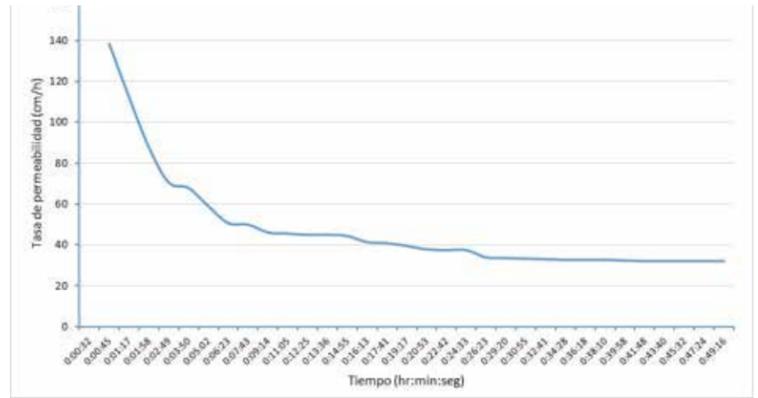
Los datos generales del Sitio 5 son los siguientes:

No. SITIO:	5
Unidad de Suelo:	Lf - Luvisol férrico
Localidad:	Chiltepec de Hidalgo
Municipio:	Coatepec Harinas
Fecha:	martes 21 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

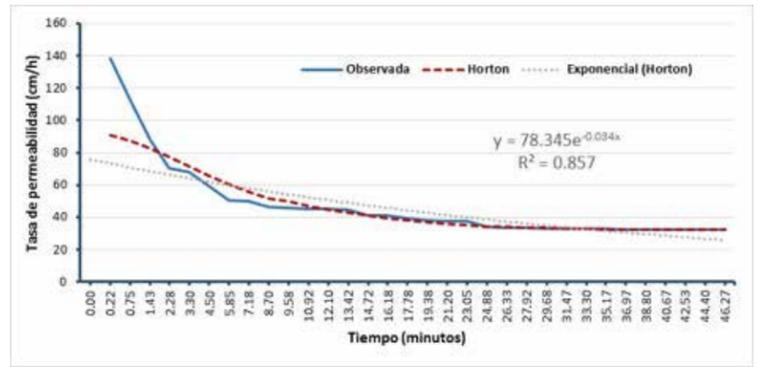


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



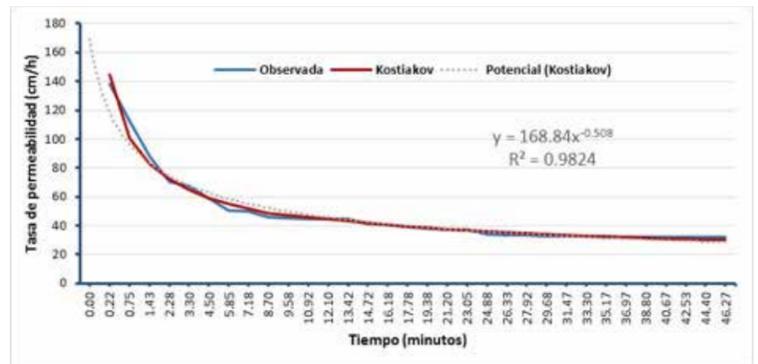
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 5.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 5 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 5 ajustada con Kostiakov.

Sitio 6 – Delegación San Martín

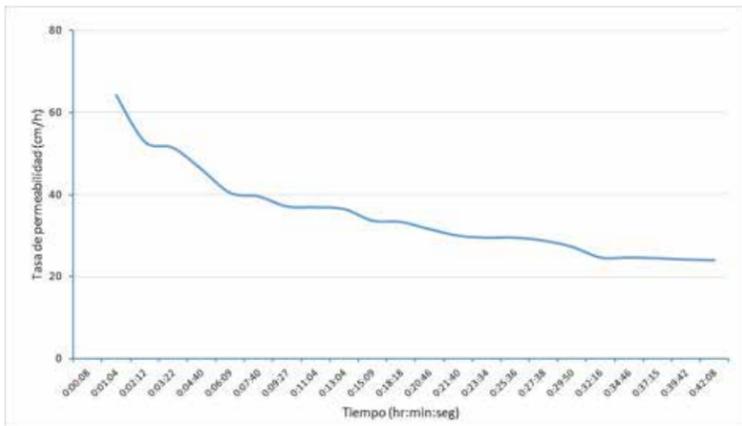
Los datos generales del Sitio 6 son los siguientes:

No. SITIO:	6
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	Delegación San Martín
Municipio:	Malinalco
Fecha:	martes 20 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Selva baja caducifolia

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

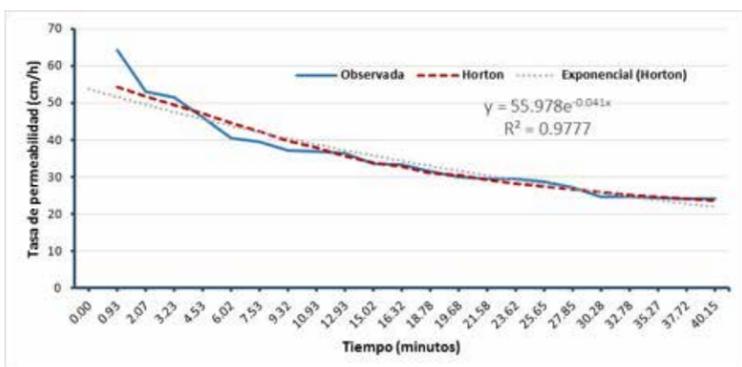


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



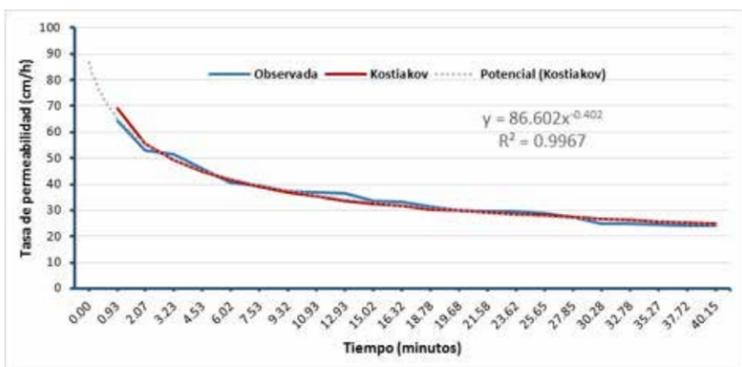
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 6.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 6 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 6 ajustada con Kostiakov.

Sitio 7 – Ex Hacienda Agua Amarga

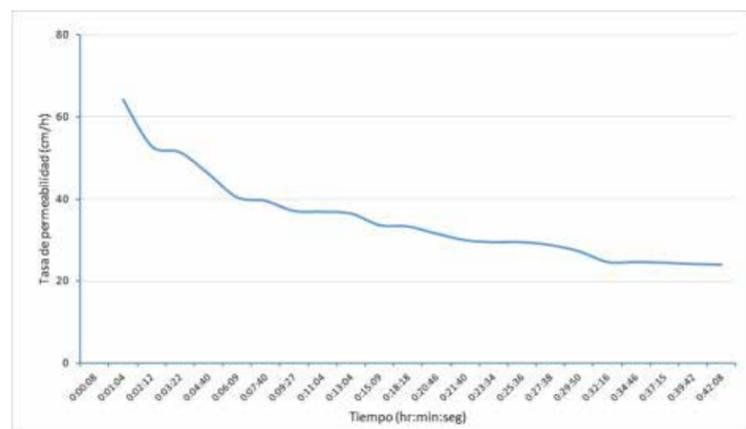
Los datos generales del Sitio 7 son los siguientes:

No. SITIO:	7
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	Ex Hacienda Agua Amarga
Municipio:	Coatepec Harinas
Fecha:	jueves 22 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

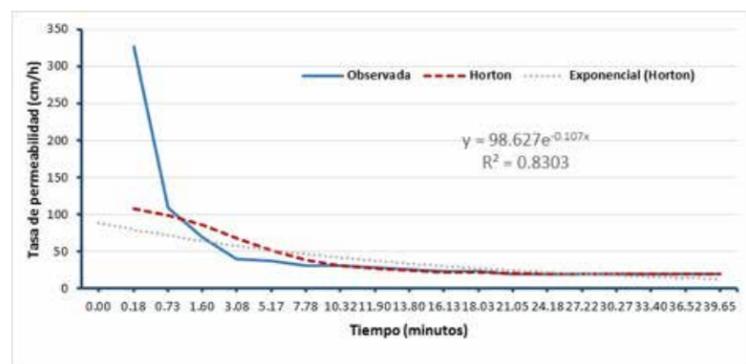


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



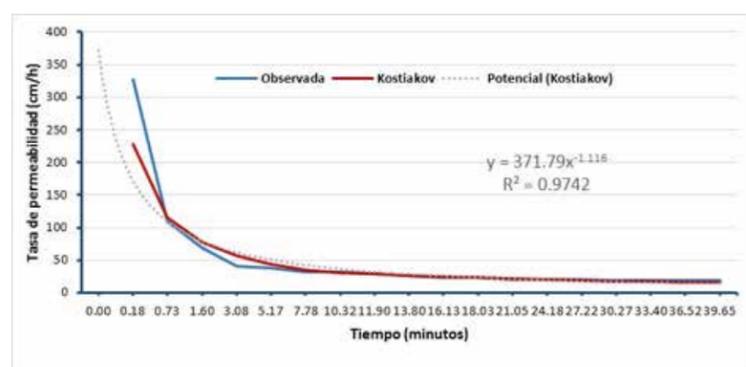
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 7.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 7 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 7 ajustada con Kostiakov.

Sitio 8 – Chiltepec de Hidalgo

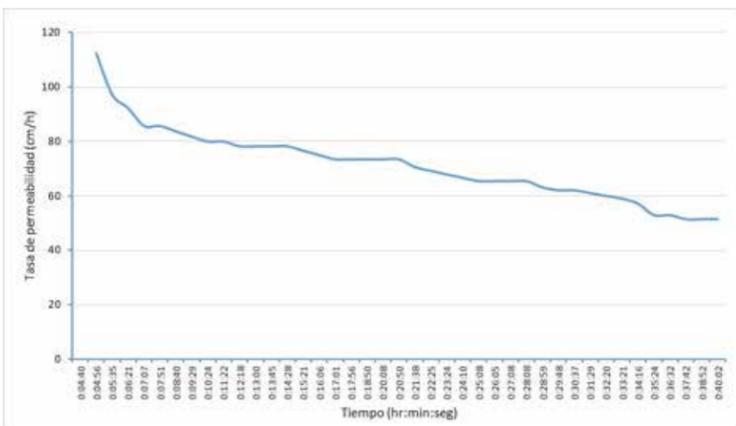
Los datos generales del Sitio 8 son los siguientes:

No. SITIO:	8
Unidad de Suelo:	Bc - Cambisol crómico
Localidad:	Chiltepec de Hidalgo
Municipio:	Coatepec Harinas
Fecha:	miércoles 21 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

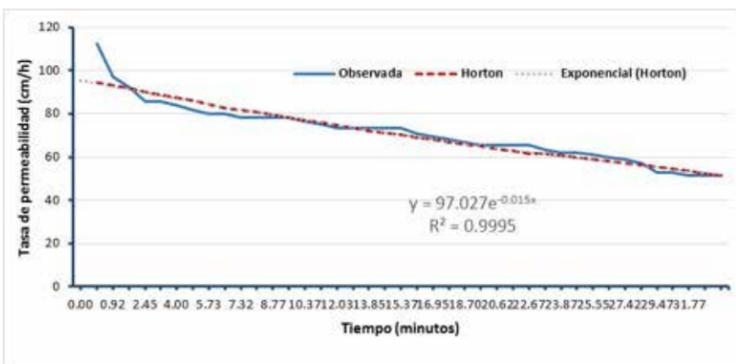


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



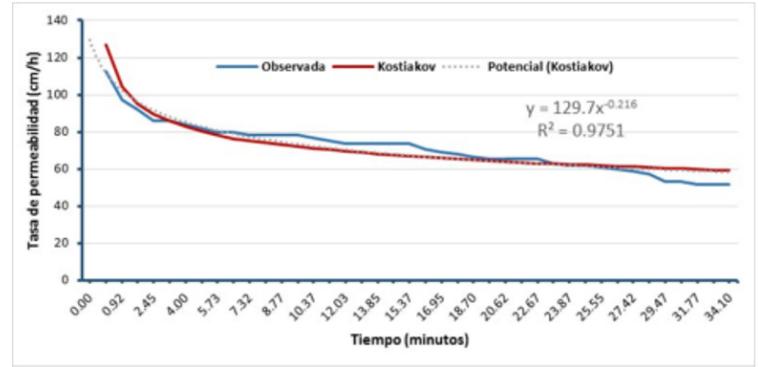
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 8.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 8 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 8 ajustada con Kostiakov.

Sitio 9 – San Martín El Salto

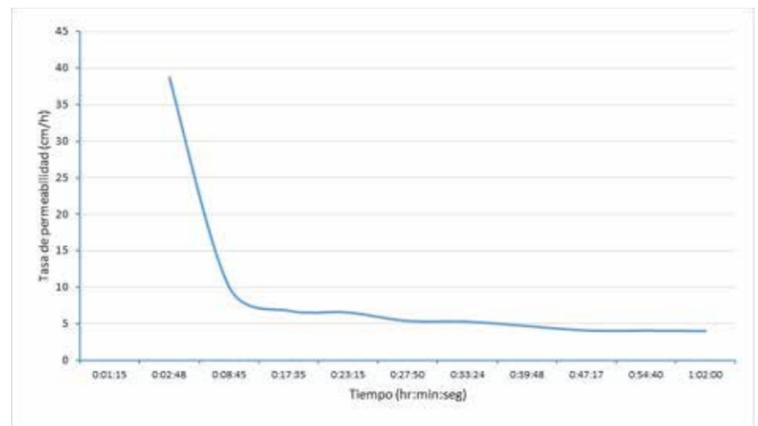
Los datos generales del Sitio 9 son los siguientes:

No. SITIO:	9
Unidad de Suelo:	Be - Cambisol éutrico
Localidad:	San Martín El Salto
Municipio:	Coatepec Harinas
Fecha:	miércoles 21 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque mesófilo de montaña

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



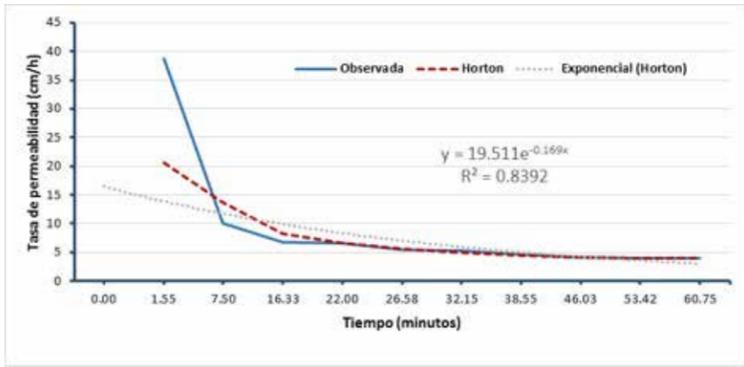
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 9.

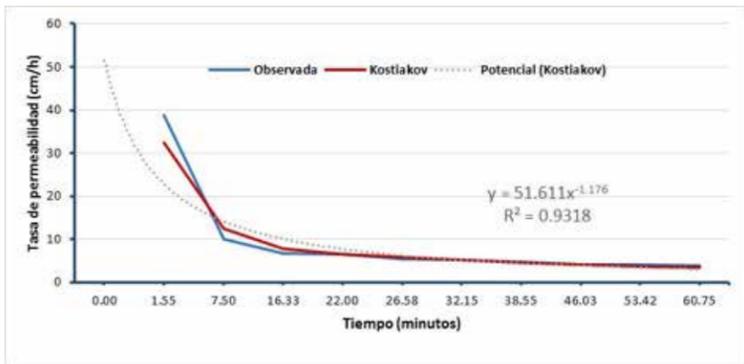
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 9 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 9 ajustada con Kostiakov.

Sitio 10 – Rancho Potrero de la Sierra

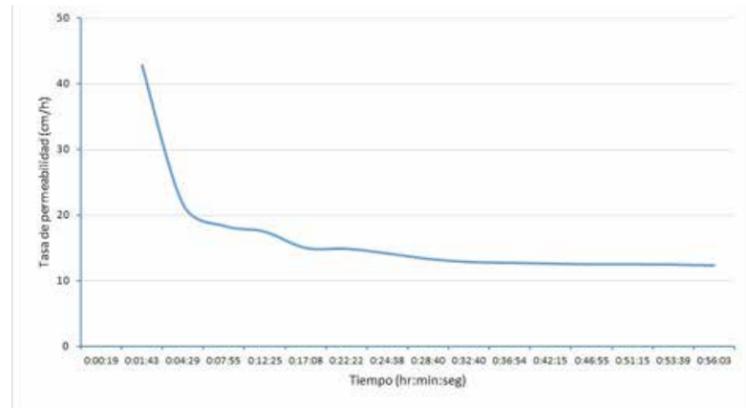
Los datos generales del Sitio 10 son los siguientes:

No. SITIO:	10
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	Rancho Potrero de la Sierra
Municipio:	Villa Guerrero
Fecha:	jueves 22 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

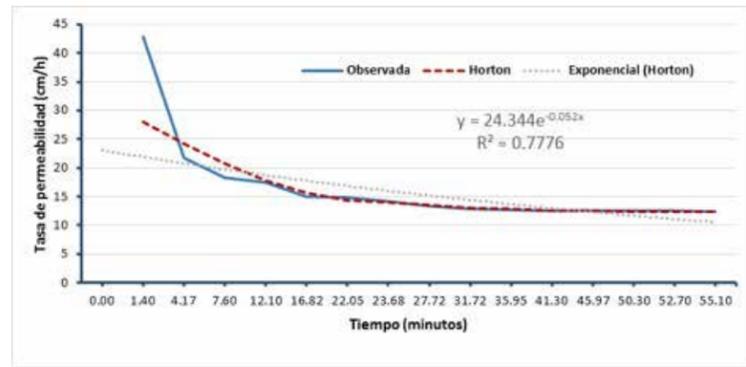


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



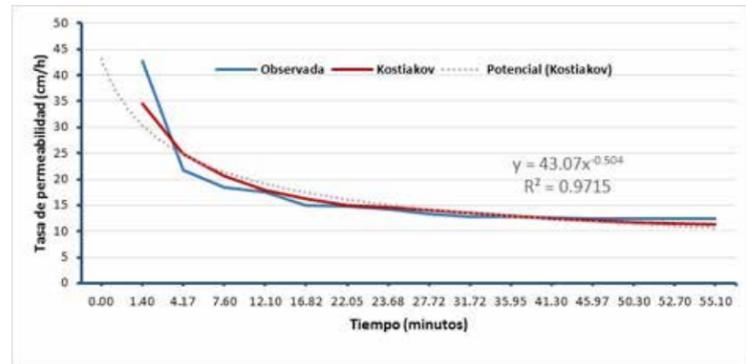
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 10.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 10 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 10 ajustada con Kostiakov.

Sitio 11 – La Guacamaya

Los datos generales del Sitio 11 son los siguientes:

No. SITIO:	11
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	La Guacamaya
Municipio:	Temascaltepec
Fecha:	miércoles 28 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de oyamel

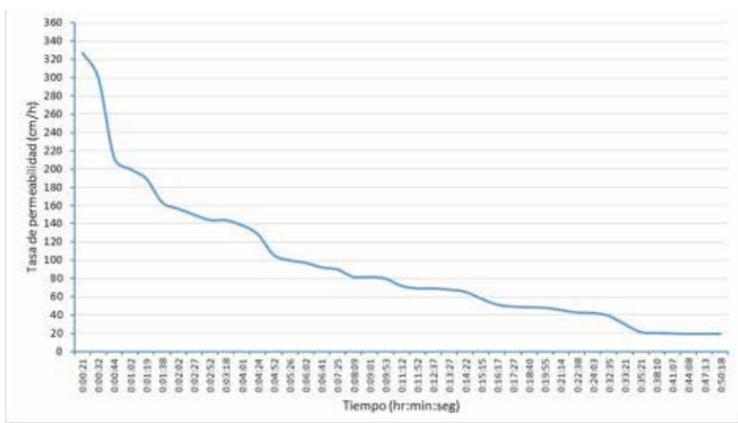
Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



No. SITIO: 12
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: Ejido Coatepec Harinas
 Municipio: Coatepec Harinas
 Fecha: jueves 22 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino

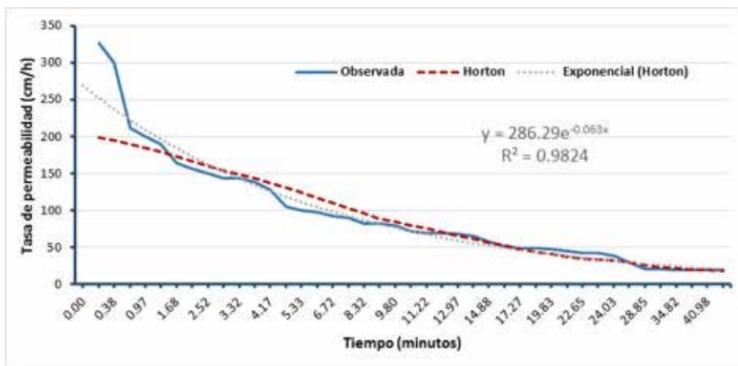
Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura



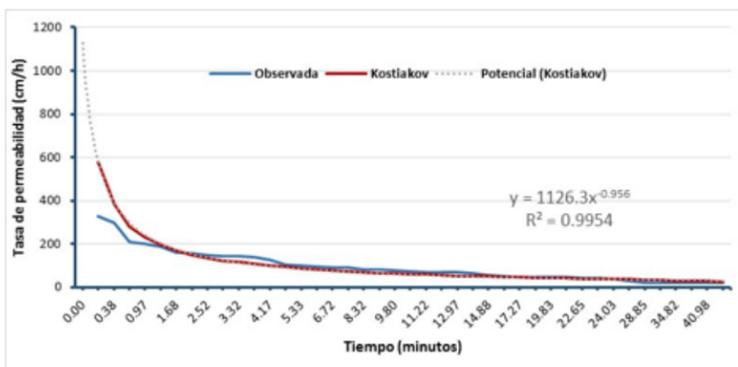
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 11.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 11 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



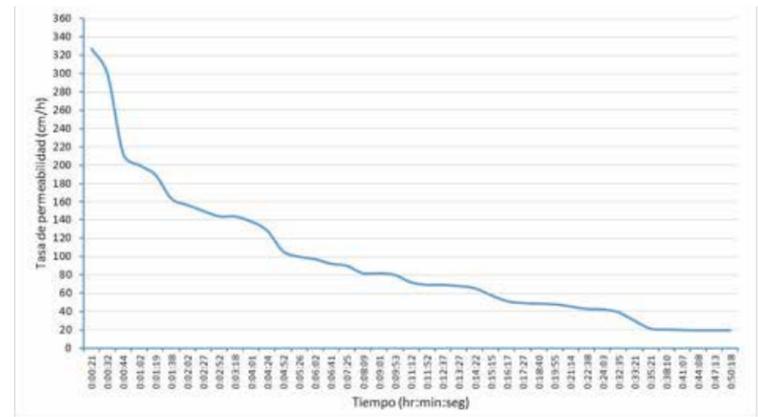
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 11 ajustada con Kostiakov.

Sitio 12 – Ejido Coatepec Harinas

Los datos generales del Sitio 12 son los siguientes:

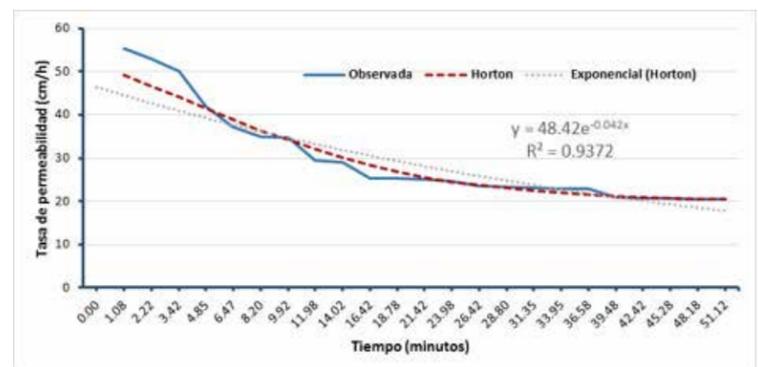


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 12.

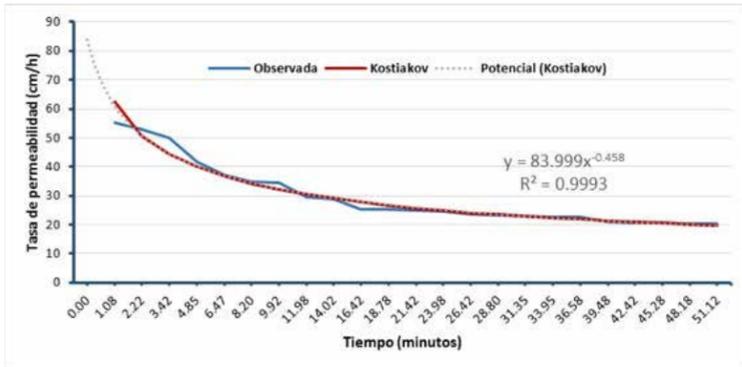
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



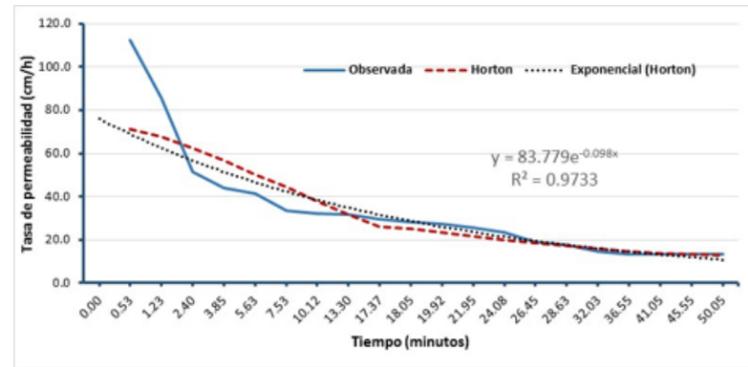
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 12 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 12 ajustada con Kostiakov.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 13 ajustada con Horton.

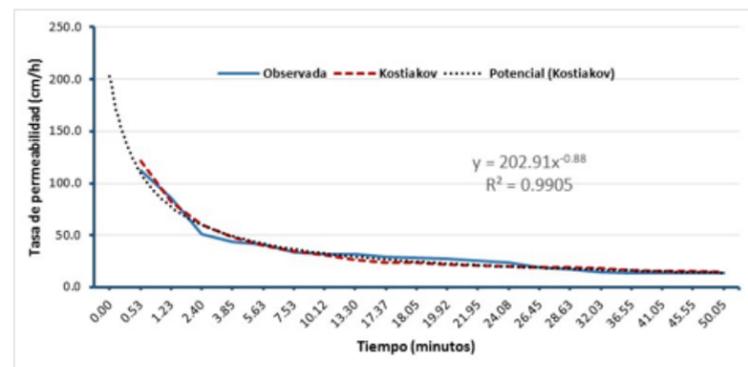
Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

Sitio 13 – Ejido El Peñón

Los datos generales del Sitio 3 son los siguientes:

No. SITIO:	13
Unidad de Suelo:	Ao - Acrisol órtico
Localidad:	Ejido El Peñón
Municipio:	Temascaltepec
Fecha:	jueves 29 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 13 ajustada con Kostiakov.



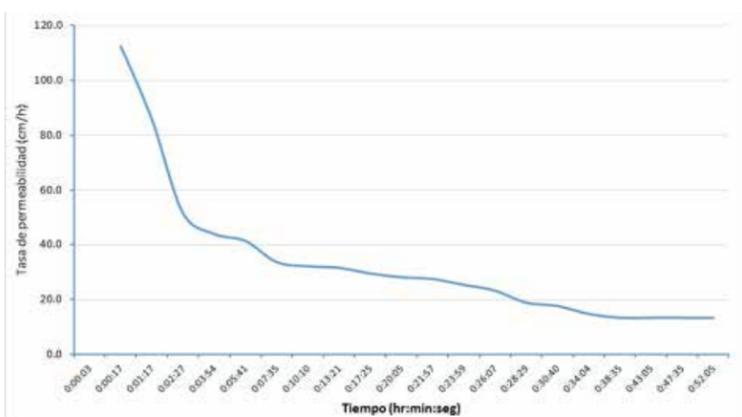
Sitio 14 – San Pedro Tlanixco

Los datos generales del Sitio 14 son los siguientes:

No. SITIO:	14
Unidad de Suelo:	I - Litosol
Localidad:	San Pedro Tlanixco
Municipio:	Tenango del Valle
Fecha:	martes 06 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

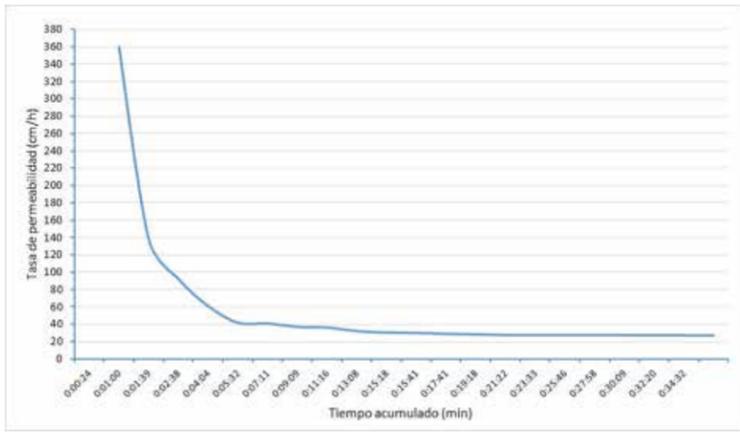


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 13.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

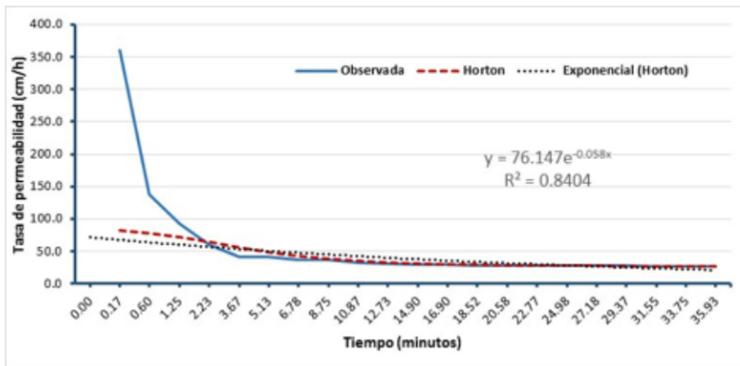


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



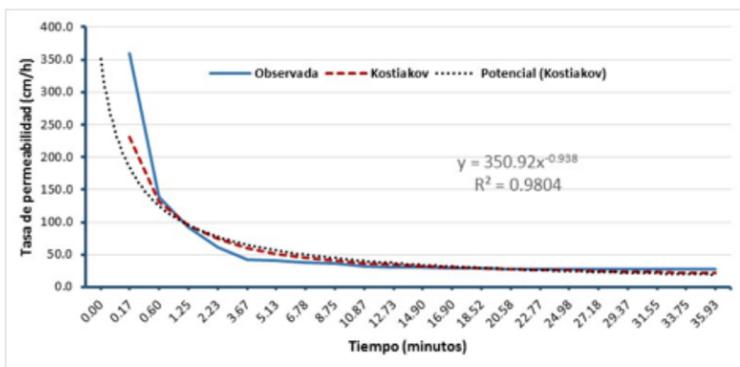
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 14.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 14 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 14 ajustada con Kostiakov.

Sitio 15 – Ejido Ozumba

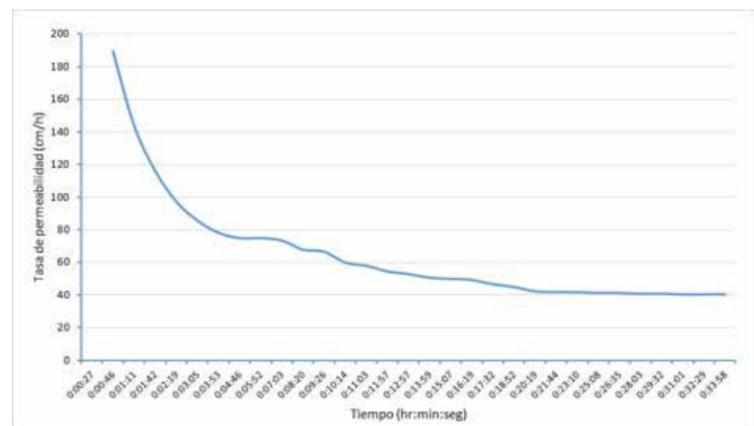
Los datos generales del Sitio 15 son los siguientes:

No. SITIO:	15
Unidad de Suelo:	Re - Regosol éútrico
Localidad:	Ejido Ozumba
Municipio:	Tenango del Valle
Fecha:	Jueves 12 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

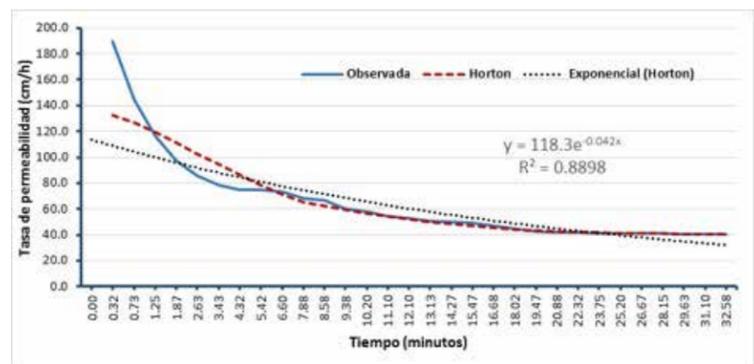


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



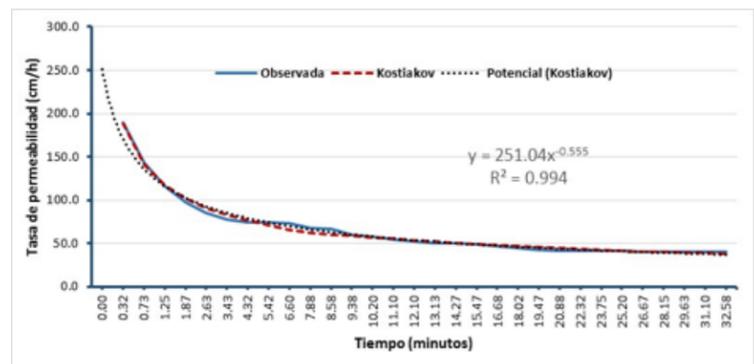
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 15.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 15 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 15 ajustada con Kostiakov.

Sitio 16 – Tequesquipan

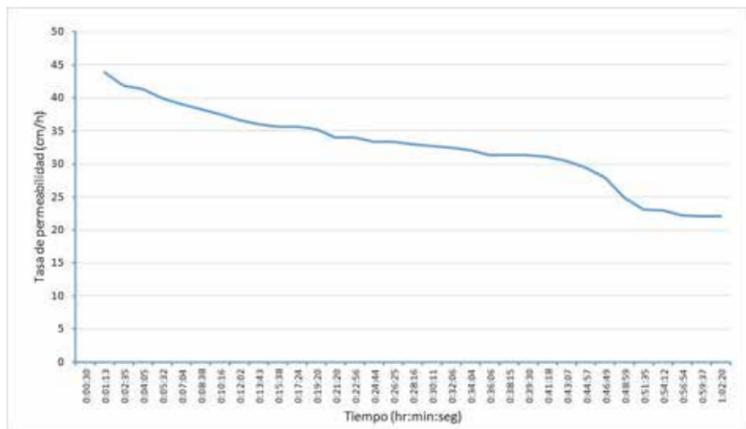
Los datos generales del Sitio 16 son los siguientes:

No. SITIO: 16
 Unidad de Suelo: Bc - Cambisol crómico
 Localidad: Tequesquipan
 Municipio: Temascaltepec
 Fecha: jueves 29 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

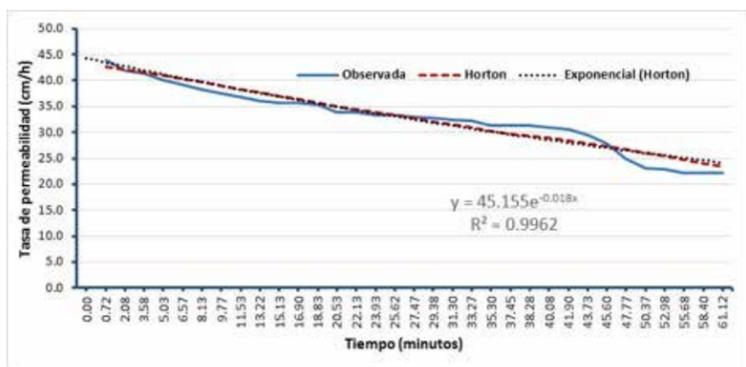


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



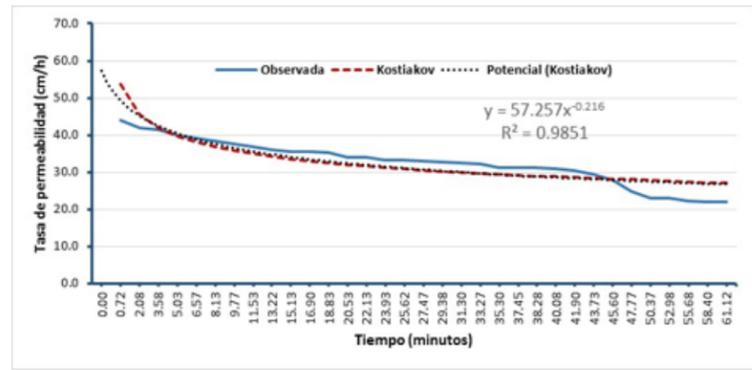
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 16.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 16 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 16 ajustada con Kostiakov.

Sitio 17 – San Francisco Albarrada

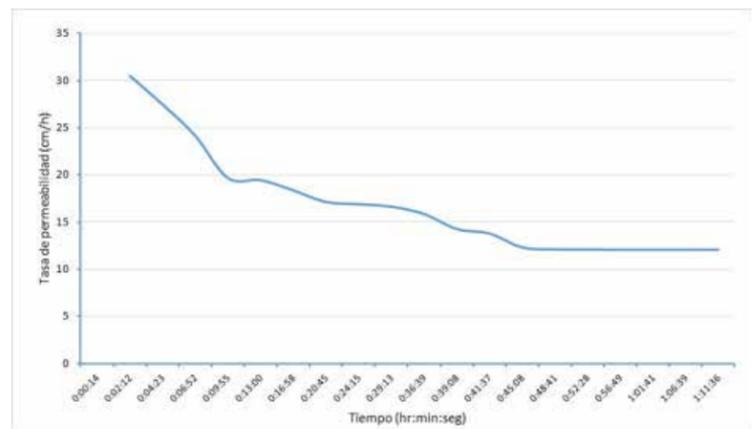
Los datos generales del Sitio 17 son los siguientes:

No. SITIO: 17
 Unidad de Suelo: Bd - Cambisol dístico
 Localidad: San Francisco Albarrada
 Municipio: Temascaltepec
 Fecha: viernes 30 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

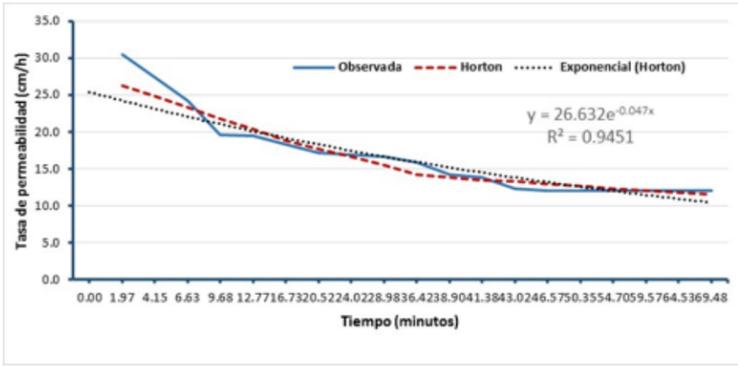


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



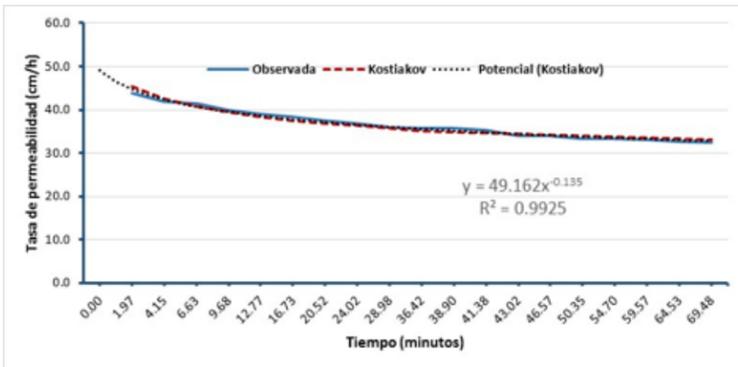
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 17.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 17 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 17 ajustada con Kostiakov.

Sitio 18 – Ejido Ozumba

Los datos generales del Sitio 18 son los siguientes:

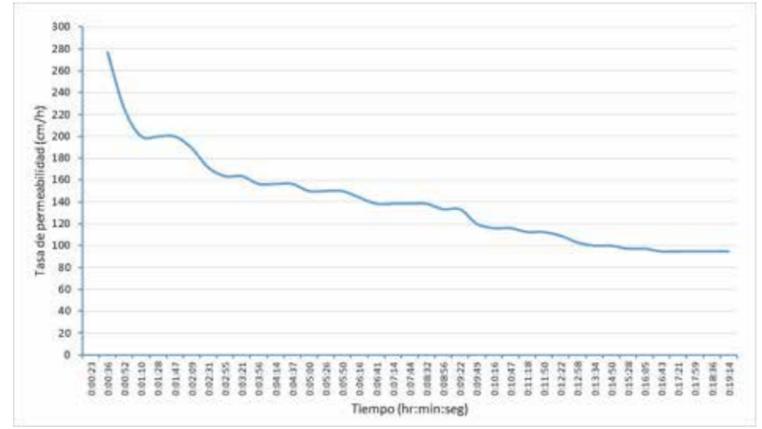
No. SITIO:	18
Unidad de Suelo:	Re - Regosol éutrico
Localidad:	Ejido Ozumba
Municipio:	Ozumba
Fecha:	Jueves 12 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de oyamel

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



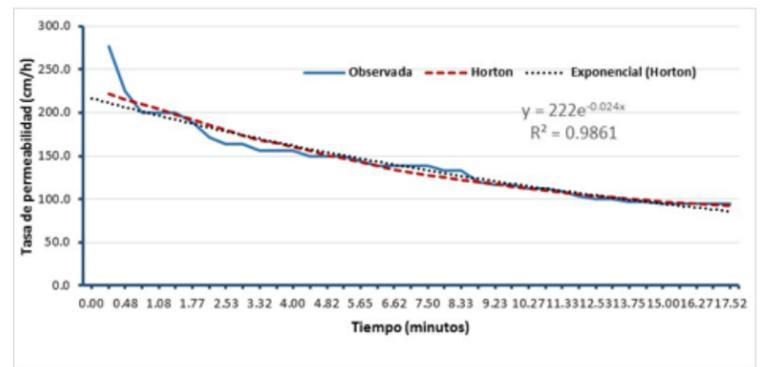
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue

hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



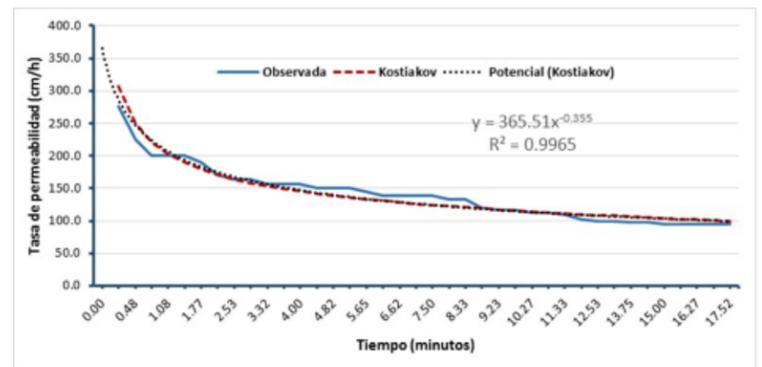
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 18.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 18 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 18 ajustada con Kostiakov.

Sitio 19 – La Estancia

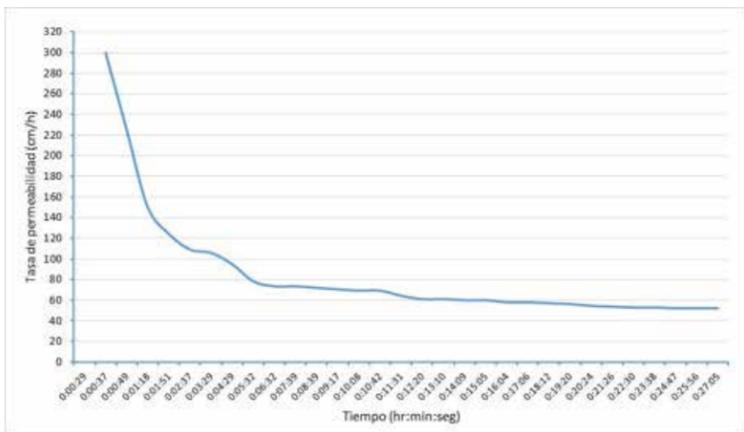
Los datos generales del Sitio 19 son los siguientes:

No. SITIO:	19
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	La Estancia
Municipio:	Temascaltepec
Fecha:	miércoles 28 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

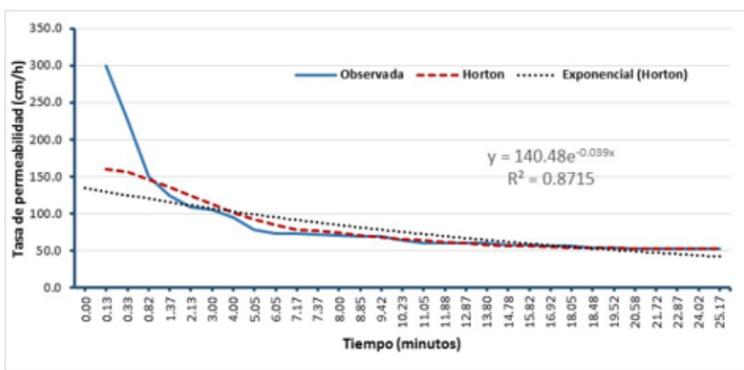


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



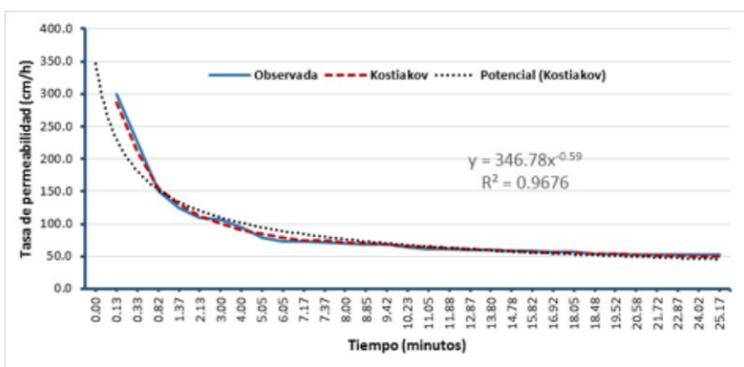
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Kostiakov.

Sitio 20 – Bienes comunales Amecameca

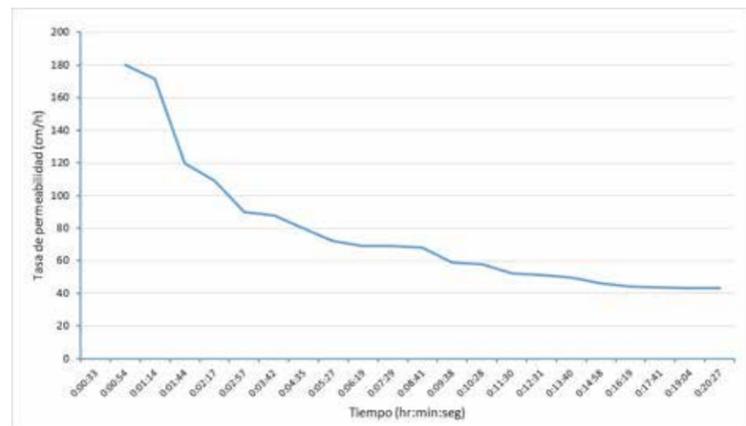
Los datos generales del Sitio 20 son los siguientes:

No. SITIO:	20
Unidad de Suelo:	Re - Regosol éutrico
Localidad:	Bienes Comunales Amecameca
Municipio:	Jueves 12 de septiembre de 2019
Fecha:	miércoles 28 de agosto de 2019
Ubicación geográfica (UTM):	Longitud (X): 533536 Latitud (Y): 2110300
Tipo de vegetación:	Bosque de oyamel

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

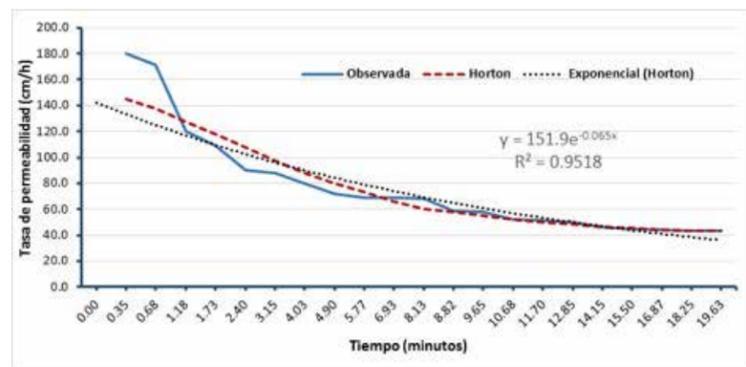


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



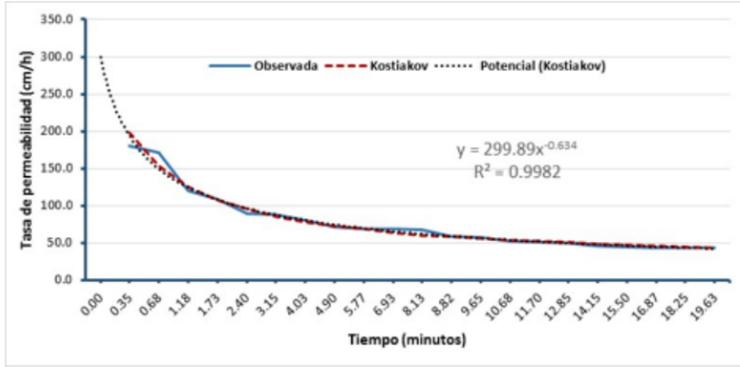
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 20.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 20 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 20 ajustada con Kostiakov.

Sitio 21 – San Francisco Zentlalpan

Los datos generales del Sitio 21 son los siguientes:

No. SITIO:	21
Unidad de Suelo:	Re - Regosol éutrico
Localidad:	San Francisco Zentlalpan
Municipio:	Amecameca
Fecha:	viernes 13 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

Sitio 22 – San Juan de las Huertas

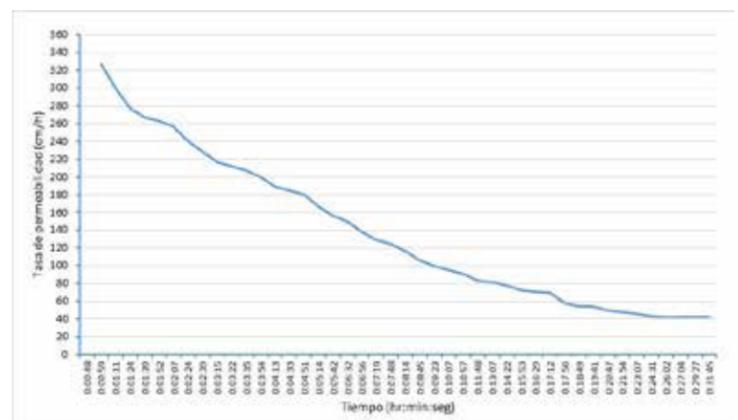
Los datos generales del Sitio 22 son los siguientes:

No. SITIO:	22
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	San Juan de las Huertas
Municipio:	Zinacantepec
Fecha:	martes 06 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

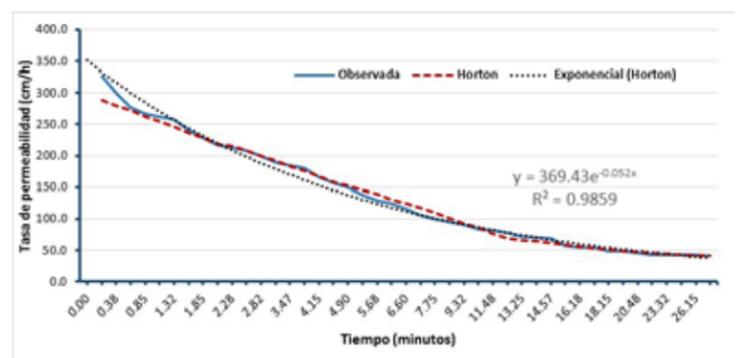


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



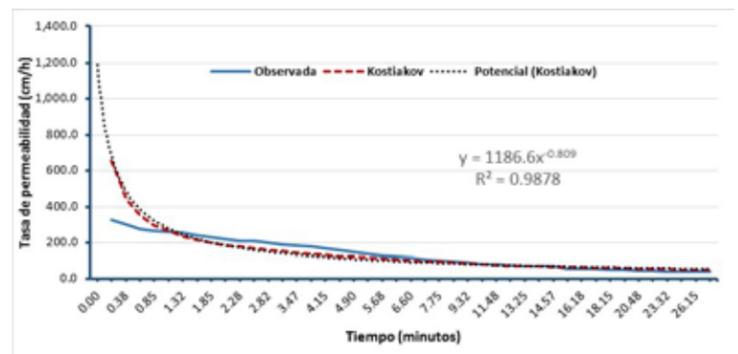
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 22.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 22 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 22 ajustada con Kostiakov.

Sitio 23 – San Francisco Mihualtepec

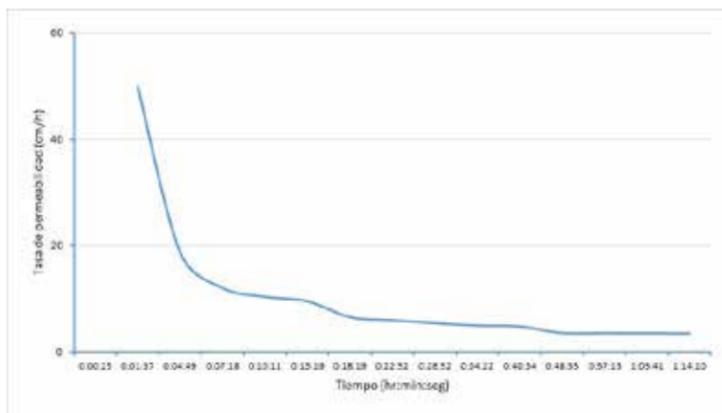
Los datos generales del Sitio 23 son los siguientes:

No. SITIO: 23
 Unidad de Suelo: Ao - Acrisol órtico
 Localidad: San Francisco Mihualtepec
 Municipio: Valle de Bravo
 Fecha: martes 03 de septiembre de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

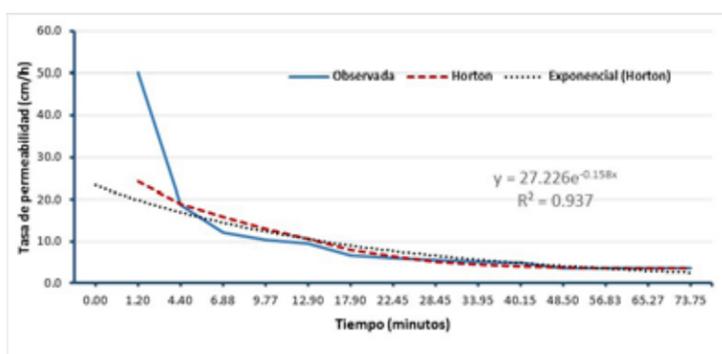


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 23.

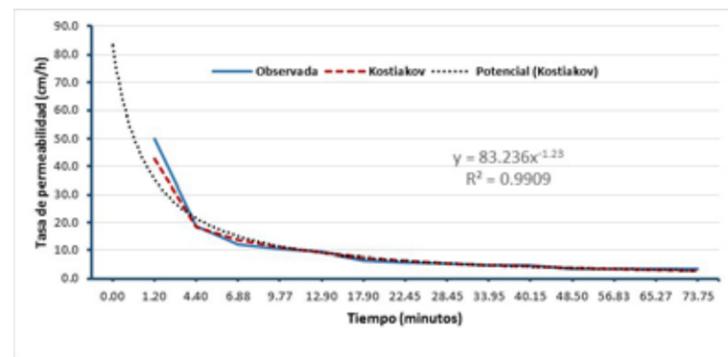
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 23 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la

gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 23 ajustada con Kostiakov.

Sitio 24 – Ejido Mesón Viejo

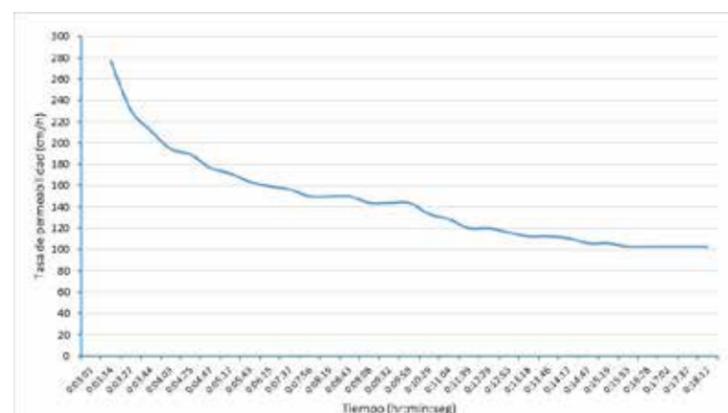
Los datos generales del Sitio 24 son los siguientes:

No. SITIO: 24
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: Ejido Mesón Viejo
 Municipio: Temascaltepec
 Fecha: miércoles 28 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

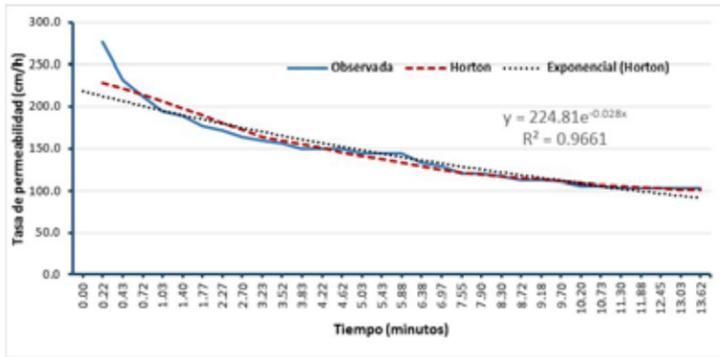


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



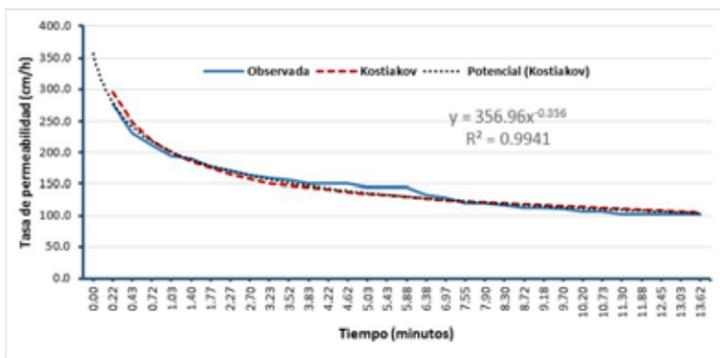
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 24.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 24 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 24 ajustada con Kostiakov.

Sitio 25 – San Miguel Mimiapan

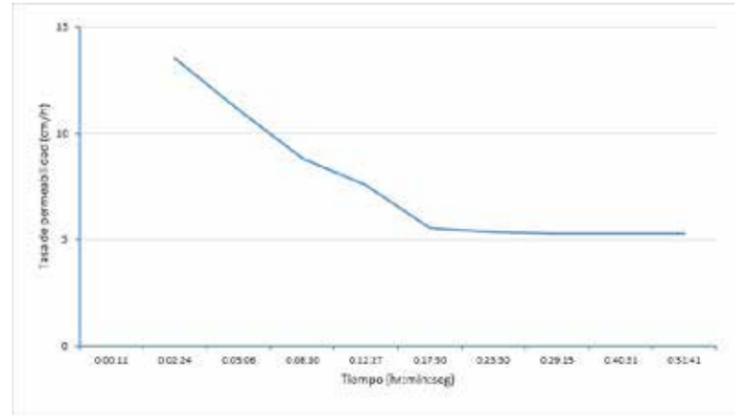
Los datos generales del Sitio 25 son los siguientes:

No. SITIO:	25
Unidad de Suelo:	Be - Cambisol éutrico
Localidad:	San Miguel Mimiapan
Municipio:	Xonacatlán
Fecha:	jueves 08 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal (maíz en descanso)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

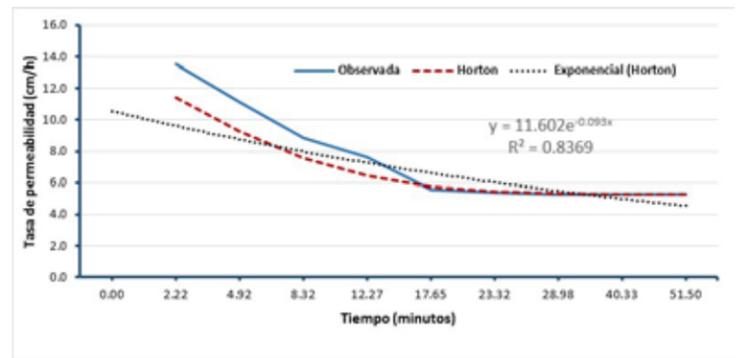


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendría a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



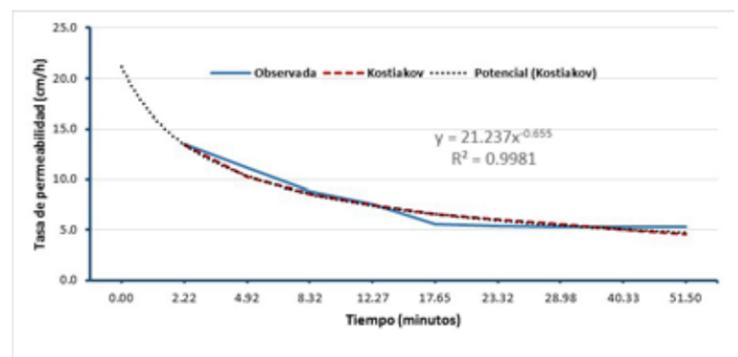
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 25.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 25 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 25 ajustada con Kostiakov.

Sitio 26 – Santiago Tilapa

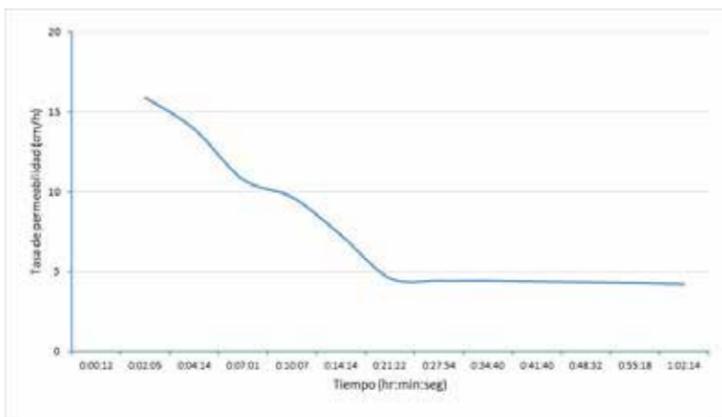
Los datos generales del Sitio 26 son los siguientes:

No. SITIO:	26
Unidad de Suelo:	I - Litosol
Localidad:	Santiago Tilapa
Municipio:	Santiago Tianguistenco
Fecha:	viernes 09 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

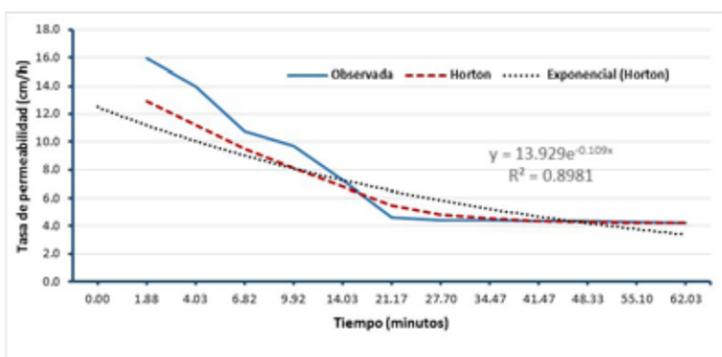


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



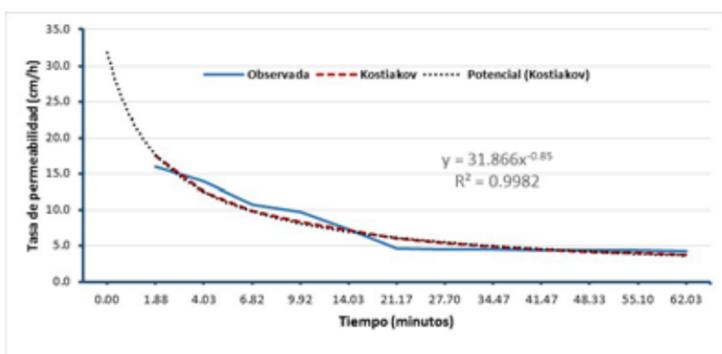
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 26.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 26 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 26 ajustada con Kostiakov.

Sitio 27 – Hacienda La Gavia

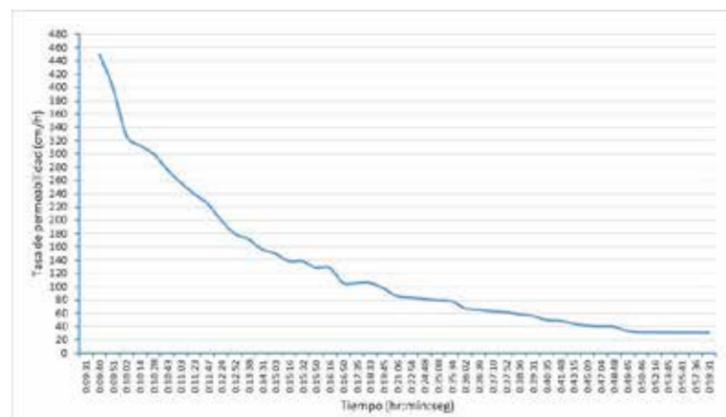
Los datos generales del Sitio 27 son los siguientes:

No. SITIO:	27
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	Hacienda La Gavia
Municipio:	Almoloya de Juárez
Fecha:	miércoles 07 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

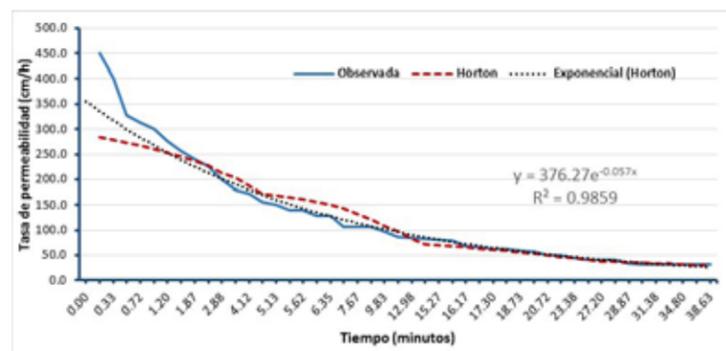


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



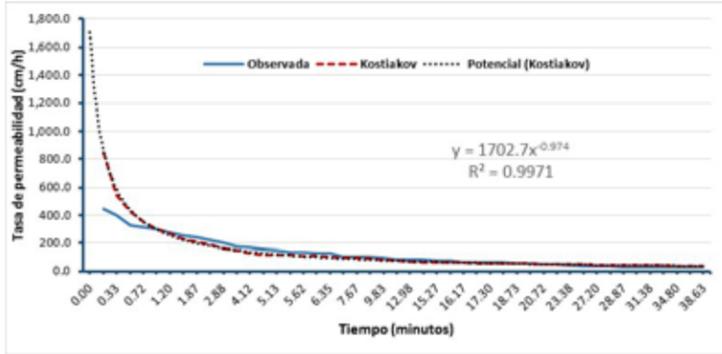
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 27.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



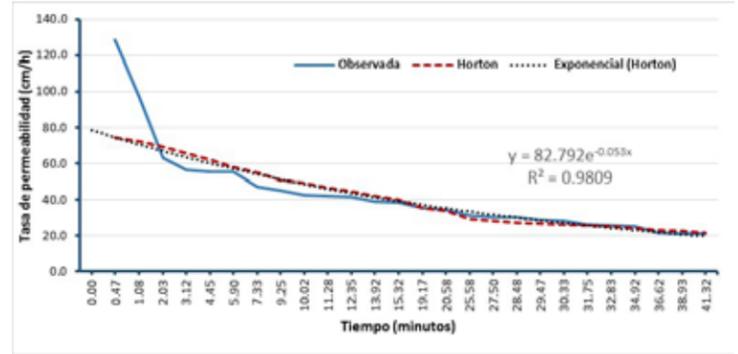
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 27 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 27 ajustada con Kostiakov.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 28 ajustada con Horton.

Sitio 28 – Hacienda La Gavia

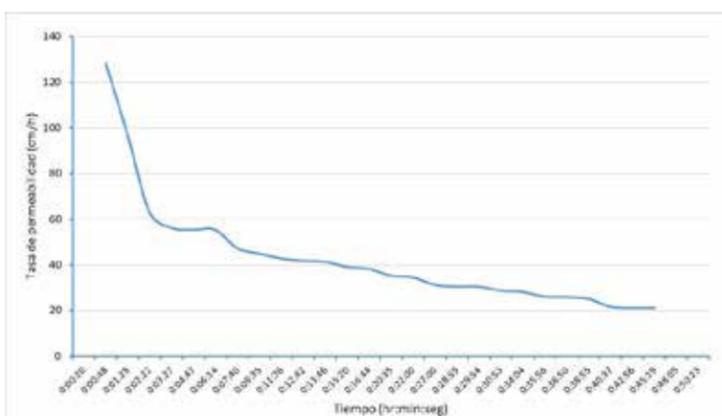
Los datos generales del Sitio 28 son los siguientes:

No. SITIO:	28
Unidad de Suelo:	Vp - Vertisol pélico
Localidad:	Hacienda La Gavia
Municipio:	Almoloya de Juárez
Fecha:	miércoles 07 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

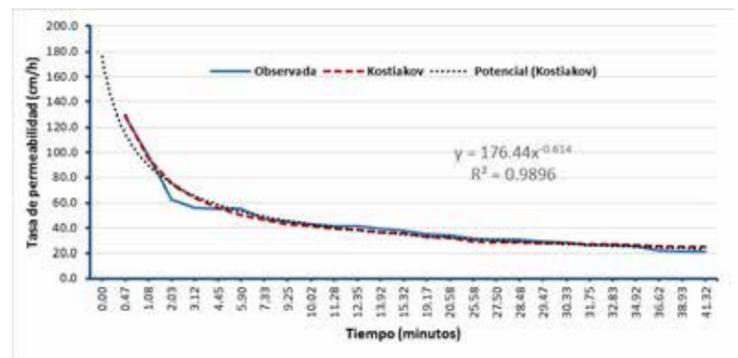


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 28.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 28 ajustada con Kostiakov.

Sitio 29 – Ex Hacienda San Nicolás

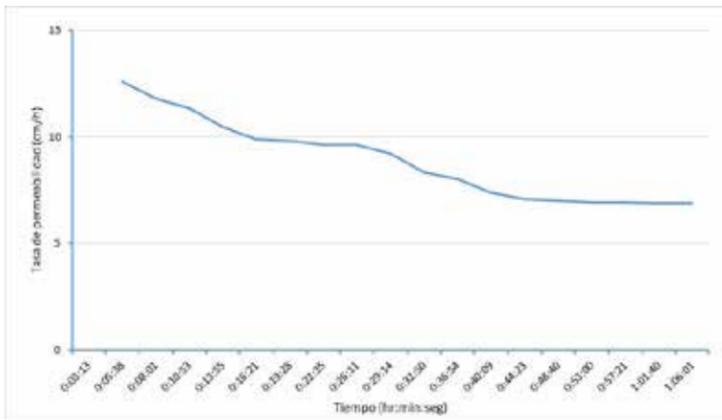
Los datos generales del Sitio 29 son los siguientes:

No. SITIO:	29
Unidad de Suelo:	HI - Feozem lúvico
Localidad:	Ex Hacienda San Nicolás
Municipio:	Almoloya de Juárez
Fecha:	miércoles 07 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

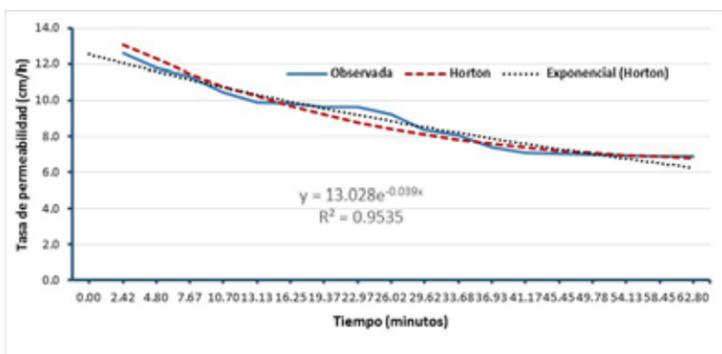


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



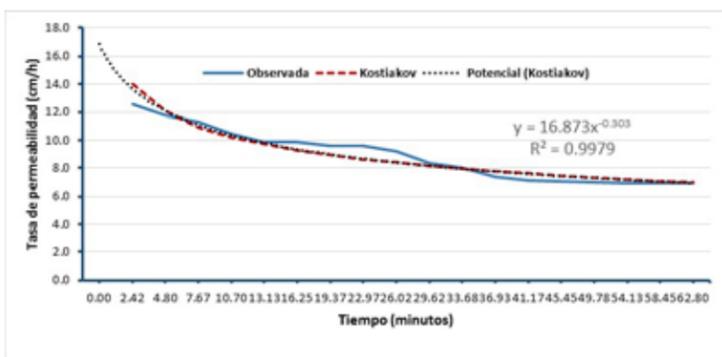
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 29.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 29 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 29 ajustada con Kostiakov.

Sitio 30 – Santa María Atarasquillo

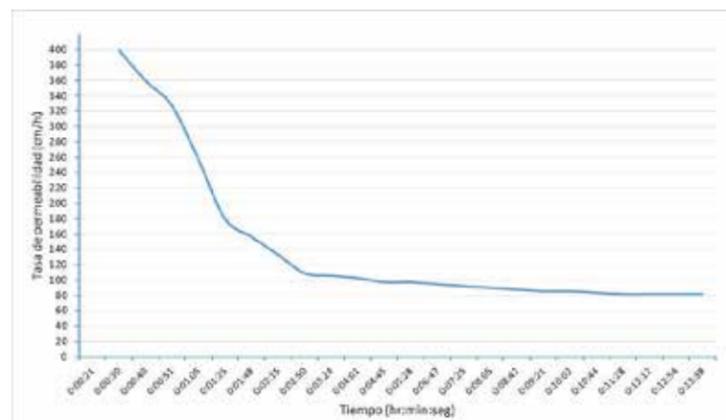
Los datos generales del Sitio 30 son los siguientes:

No. SITIO: 30
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: Santa María Atarasquillo
 Municipio: Lerma
 Fecha: jueves 08 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de oyamel

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

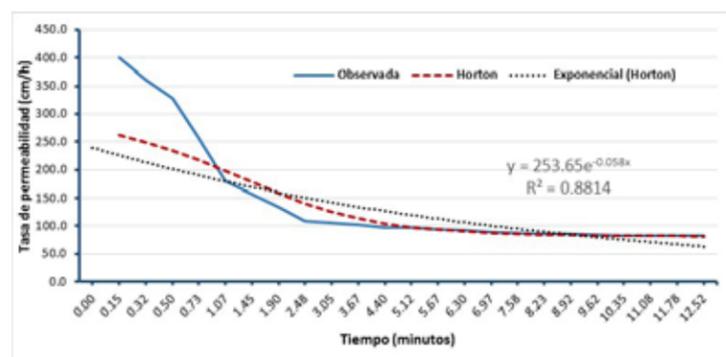


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



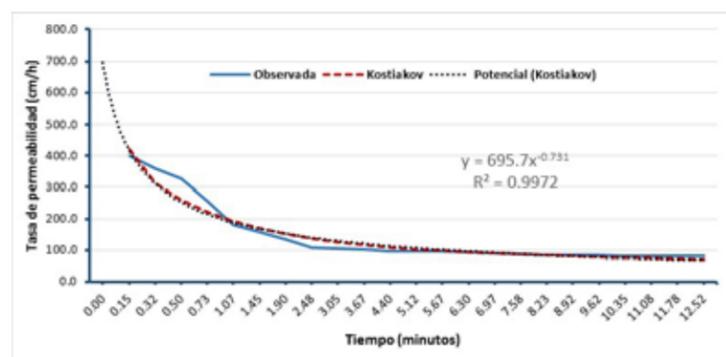
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 30.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 30 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 30 ajustada con Kostiakov.

Sitio 31 – El Calvario del Carmen

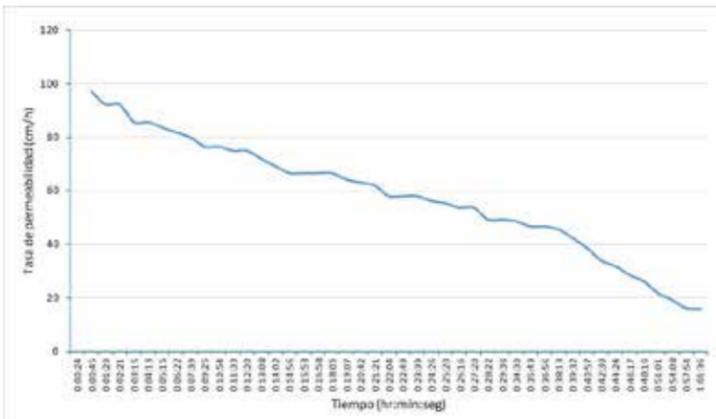
Los datos generales del Sitio 31 son los siguientes:

Tipo de vegetación: Agricultura de temporal (maíz)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

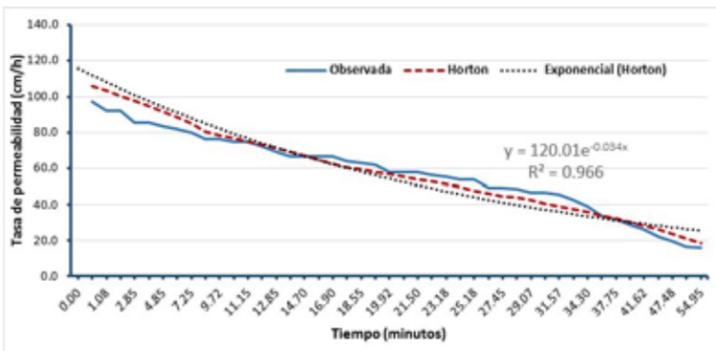


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



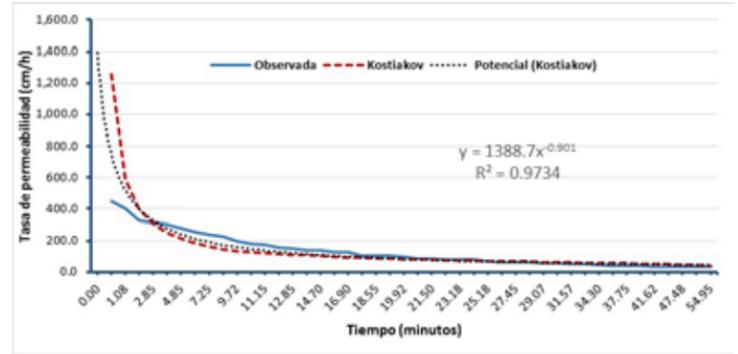
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 31.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 31 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 31 ajustada con Kostiakov.

Sitio 32 – San Miguel Mimiapan

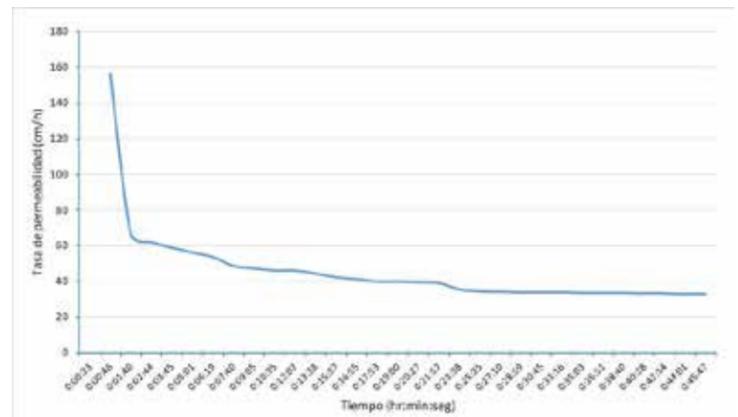
Los datos generales del Sitio 32 son los siguientes:

No. SITIO: 32
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: San Miguel Mimiapan
 Municipio: Xonacatlán
 Fecha: jueves 08 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de oyamel

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



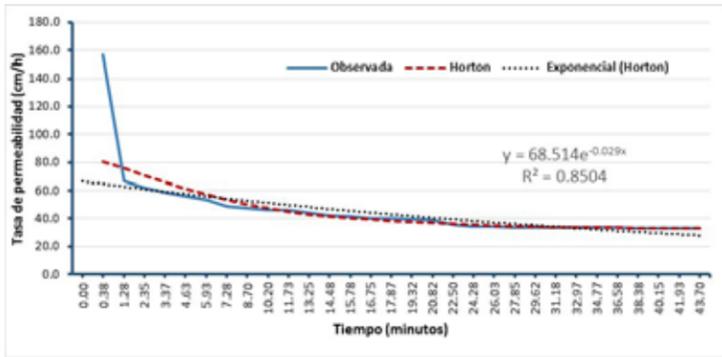
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 32.

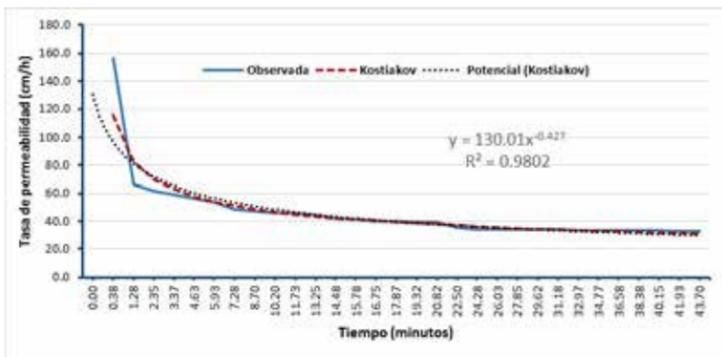
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 32 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 32 ajustada con Kostiakov.

Sitio 33 – San Francisco Chimalpa

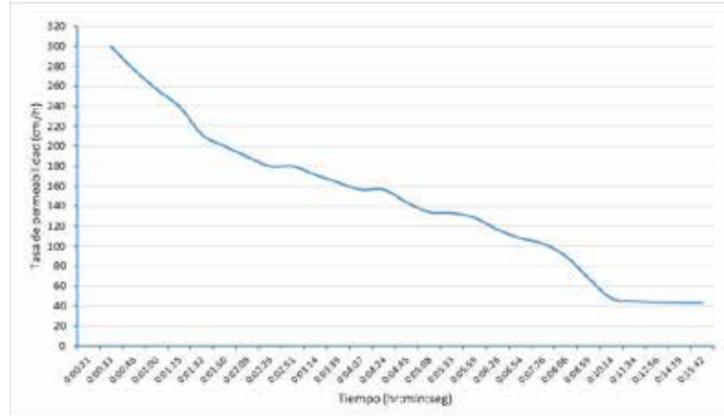
Los datos generales del Sitio 33 son los siguientes:

No. SITIO:	33
Unidad de Suelo:	Be - Cambisol éutrico
Localidad:	San Francisco Chimalpa
Municipio:	Naucalpan de Juárez
Fecha:	miércoles 04 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

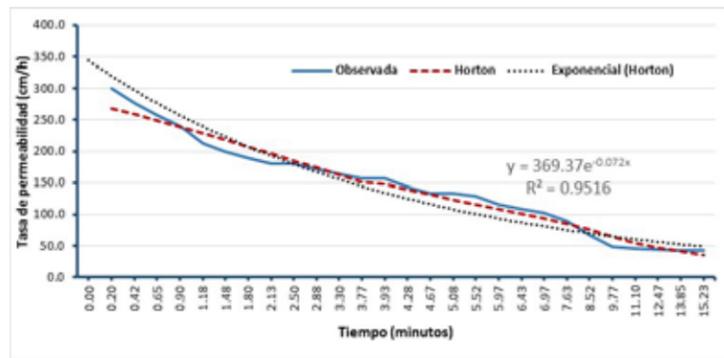


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



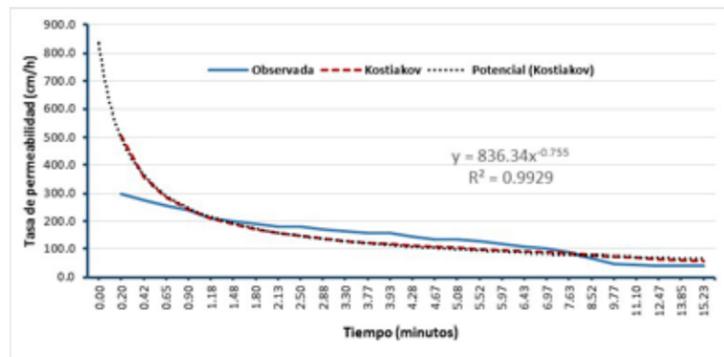
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 33.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 33 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 33 ajustada con Kostiakov.

Sitio 34 – Ejido Cerritos del Pilar

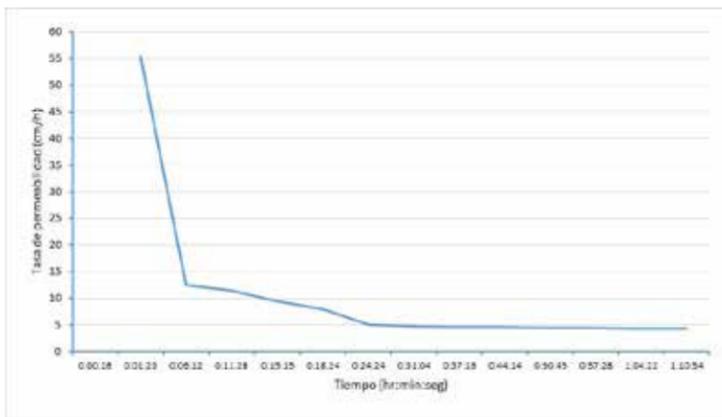
Los datos generales del Sitio 34 son los siguientes:

No. SITIO:	34
Unidad de Suelo:	Vp - Vertisol pélico
Localidad:	Ejido Cerritos del Pilar
Municipio:	Villa Victoria
Fecha:	martes 03 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

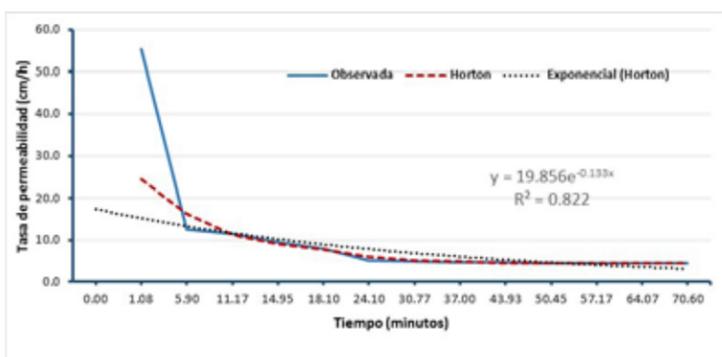


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



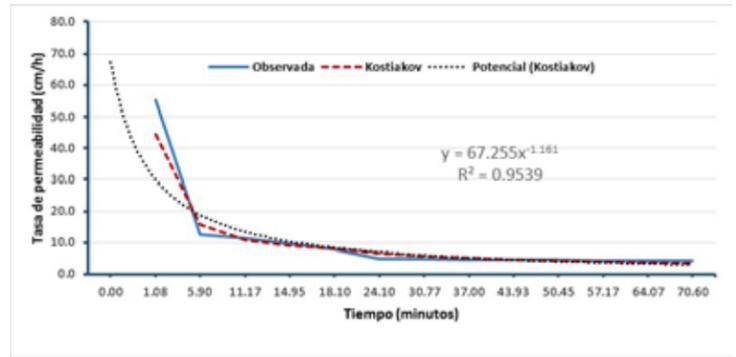
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 34.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 34 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 34 ajustada con Kostiakov.

Sitio 35 – San Pedro del Rincón

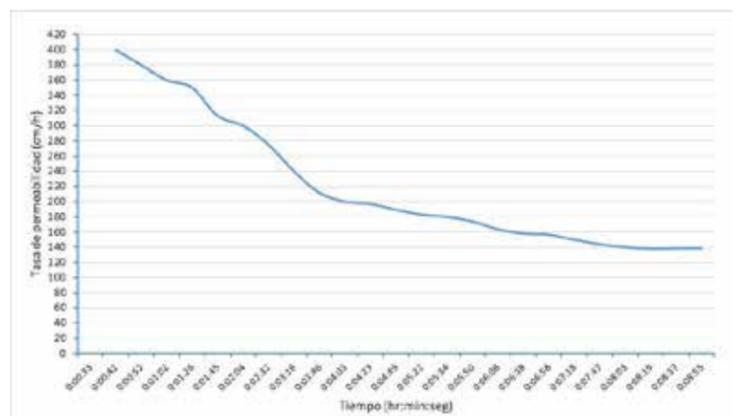
Los datos generales del Sitio 35 son los siguientes:

No. SITIO:	35
Unidad de Suelo:	To - Andosol ócrico
Localidad:	San Pedro del Rincón
Municipio:	Villa Victoria
Fecha:	martes 03 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



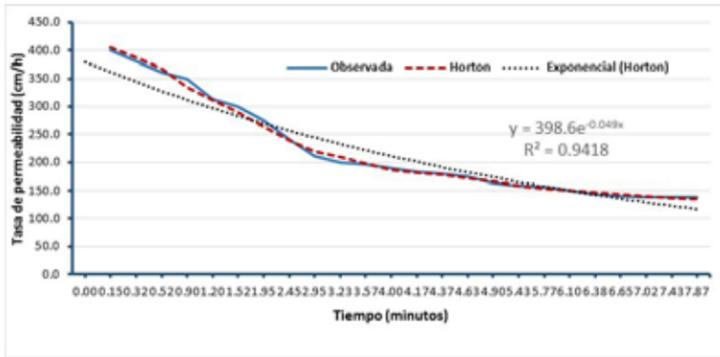
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 35.

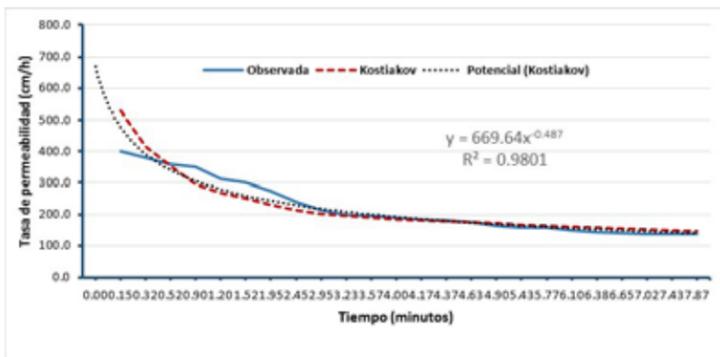
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 35 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 35 ajustada con Kostiakov.

Sitio 36 – Rancho San Antonio

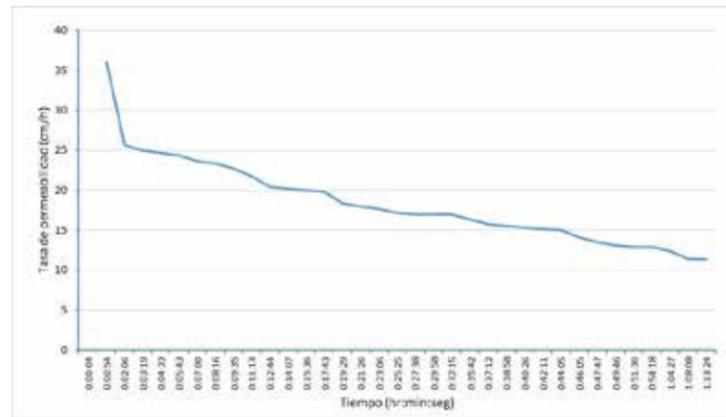
Los datos generales del Sitio 36 son los siguientes:

No. SITIO:	36
Unidad de Suelo:	Wm - Planosol mólico
Localidad:	Rancho San Antonio
Municipio:	Jiquipilco
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

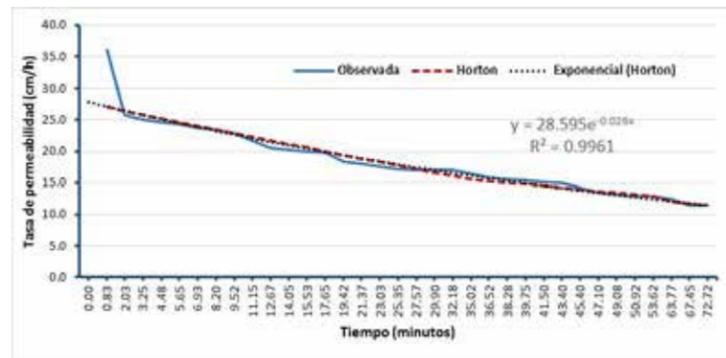


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



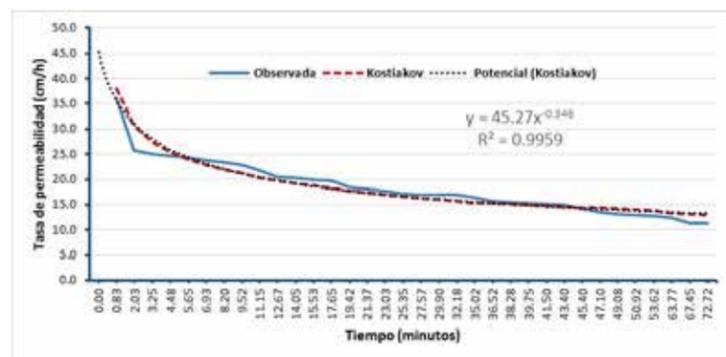
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 36.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 36 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 36 ajustada con Kostiakov.

Sitio 37 – Ejido Nativitas

Los datos generales del Sitio 37 son los siguientes:

No. SITIO:	37
Unidad de Suelo:	Bd - Cambisol dístico
Localidad:	Ejido Nativitas
Municipio:	Texcoco
Fecha:	martes 10 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



Sitio 38 – San Pablo Ixayoc

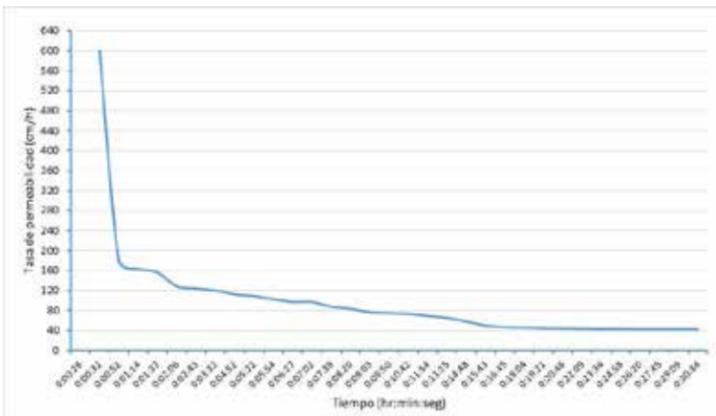
Los datos generales del Sitio 38 son los siguientes:

No. SITIO:	38
Unidad de Suelo:	Bd - Cambisol déstrico
Localidad:	San Pablo Ixayoc
Municipio:	Texcoco
Fecha:	martes 10 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

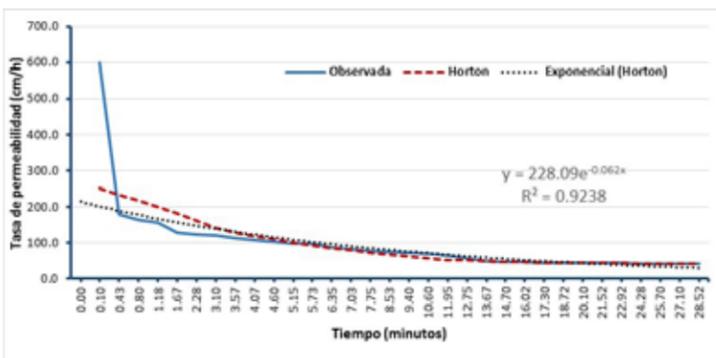


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



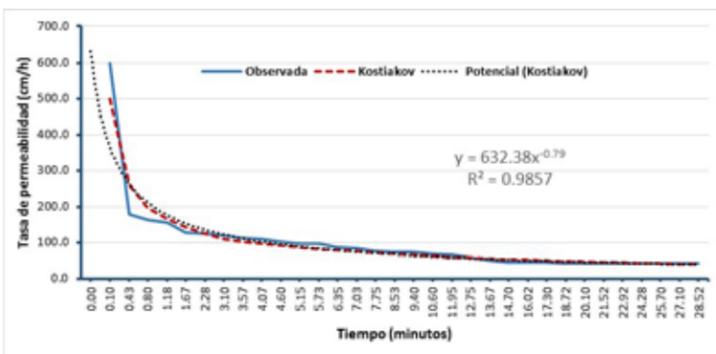
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 37.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



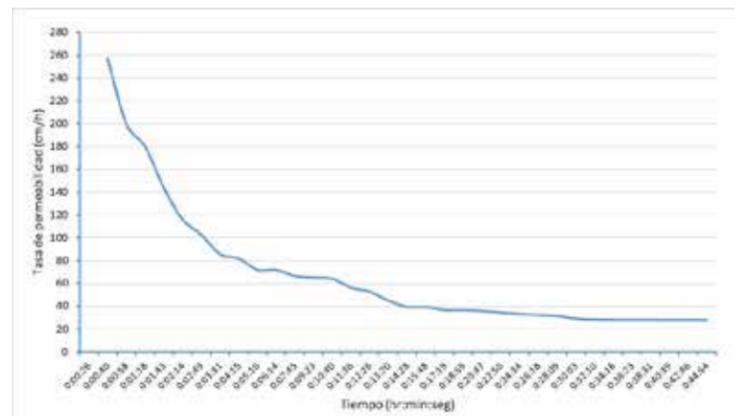
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 37 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 37 ajustada con Kostiakov.

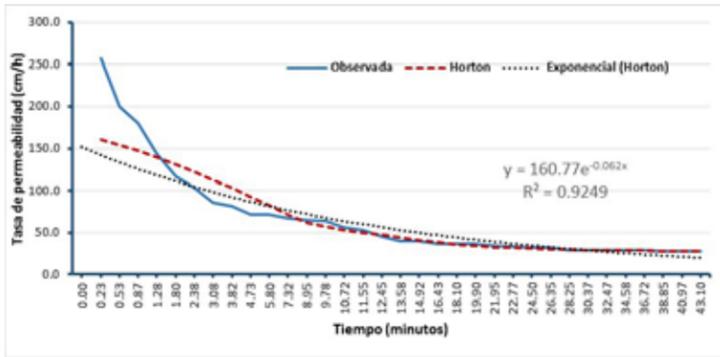
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



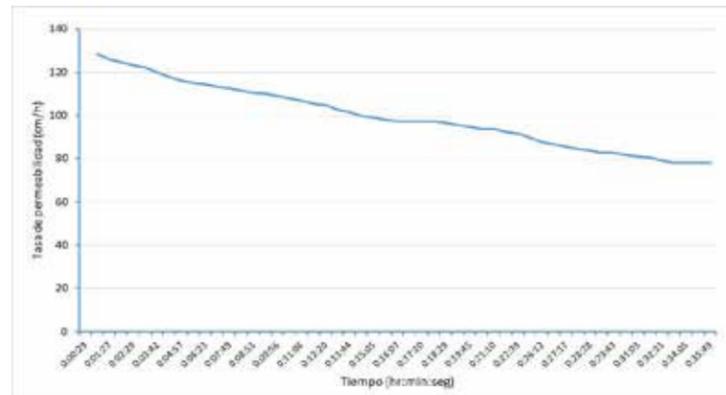
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 38.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

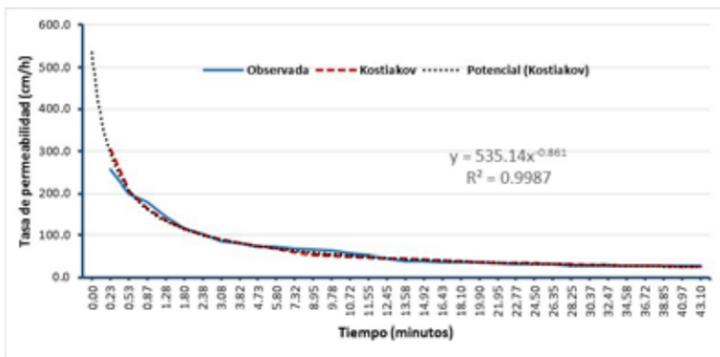


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 38 ajustada con Horton.



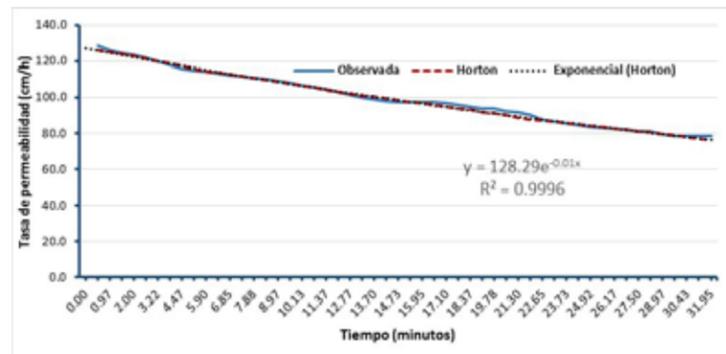
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 39.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 38 ajustada con Kostiakov.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 39 ajustada con Horton.

Sitio 39 – Palos Amarillos, Yebucivi

Los datos generales del Sitio 39 son los siguientes:

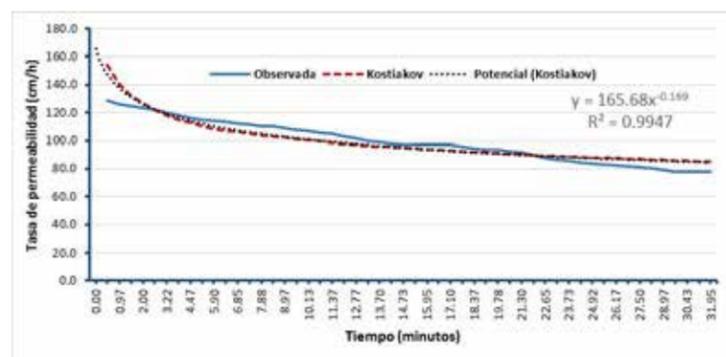
No. SITIO:	39
Unidad de Suelo:	Tm - Andosol mólico
Localidad:	Palos Amarillos, Yebucivi
Municipio:	Almoloya de Juárez
Fecha:	miércoles 07 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 39 ajustada con Kostiakov.

Sitio 40 – San Juan Jiquipilco

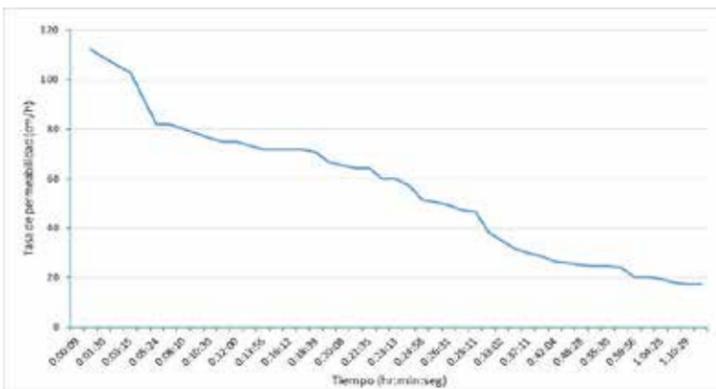
Los datos generales del Sitio 40 son los siguientes:

No. SITIO:	40
Unidad de Suelo:	Be - Cambisol éutrico
Localidad:	San Juan Jiquipilco
Municipio:	Jiquipilco
Fecha:	viernes 26 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

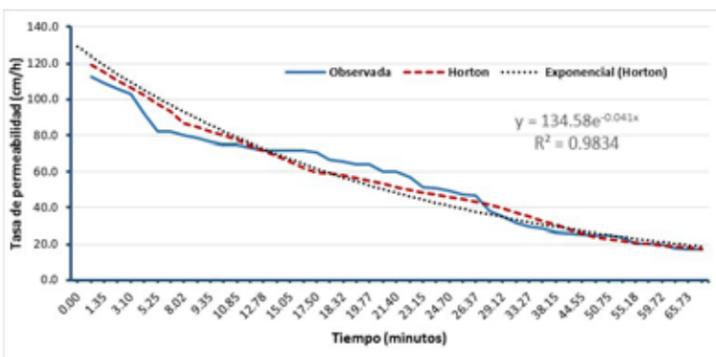


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



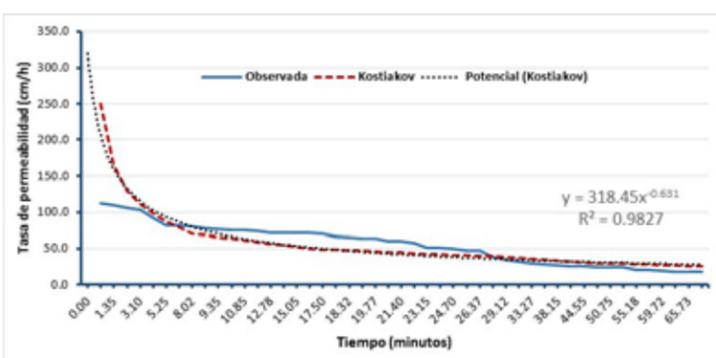
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 40.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 40 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 40 ajustada con Kostiakov.

Sitio 41 – Santa Ana Jilotzingo

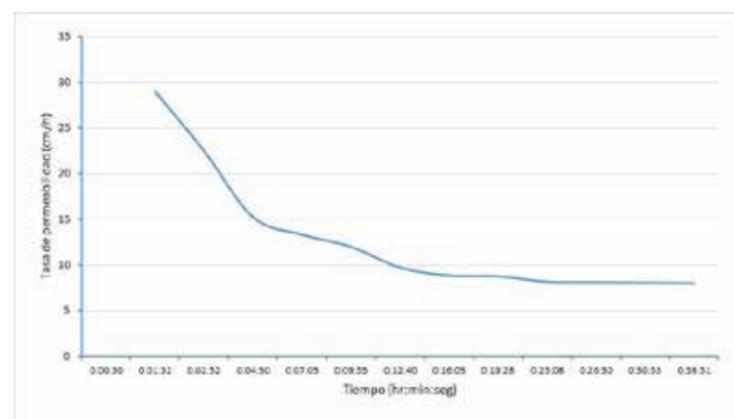
Los datos generales del Sitio 41 son los siguientes:

No. SITIO:	41
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	Th - Andosol húmico
Municipio:	Jilotzingo
Fecha:	miércoles 04 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

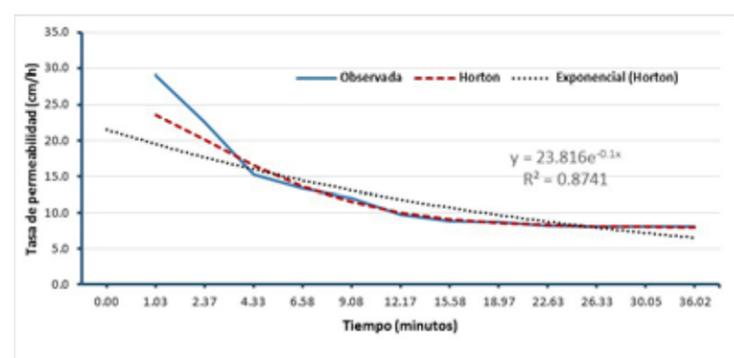


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 41.

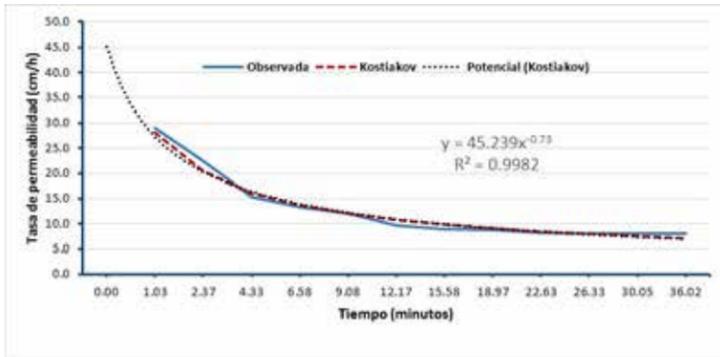
La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



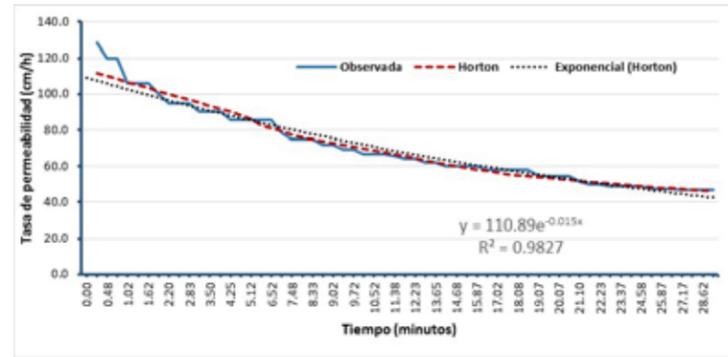
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 41 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 41 ajustada con Kostiakov.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 42 ajustada con Horton.

Sitio 42 – San Miguel Yuxtepec

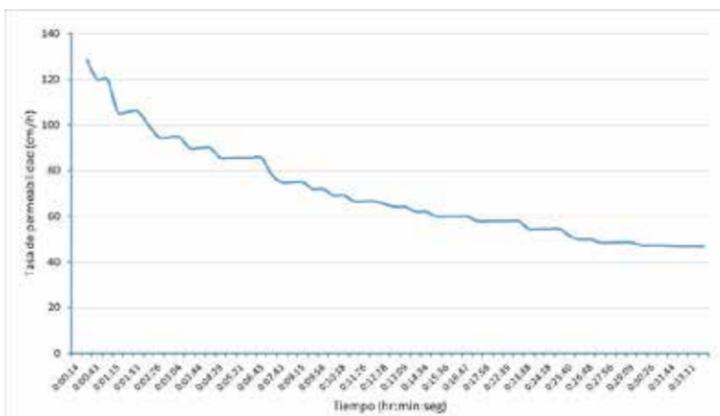
Los datos generales del Sitio 42 son los siguientes:

No. SITIO:	42
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	San Miguel Yuxtepec
Municipio:	Ixtlahuaca
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



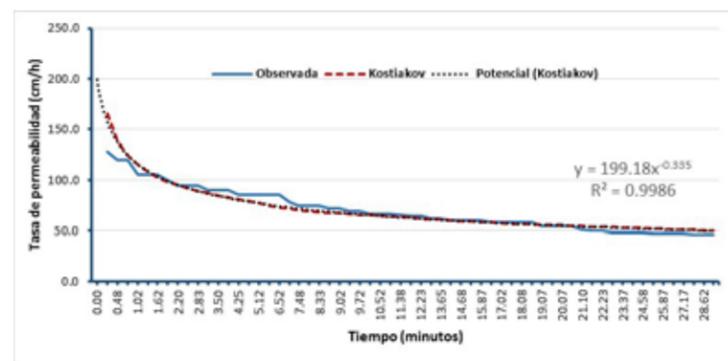
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 42.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 42 ajustada con Kostiakov.

Sitio 43 – San Lorenzo Toxico

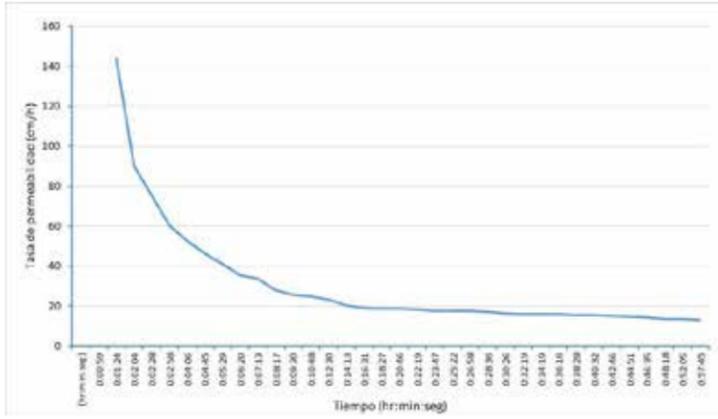
Los datos generales del Sitio 43 son los siguientes:

No. SITIO:	43
Unidad de Suelo:	Vp - Vertisol pélico
Localidad:	San Lorenzo Toxico
Municipio:	Ixtlahuaca
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

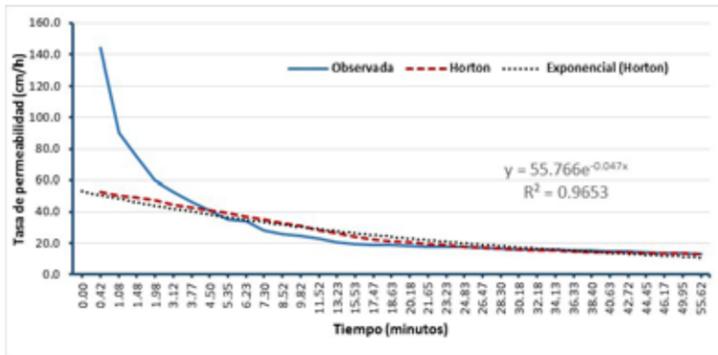


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



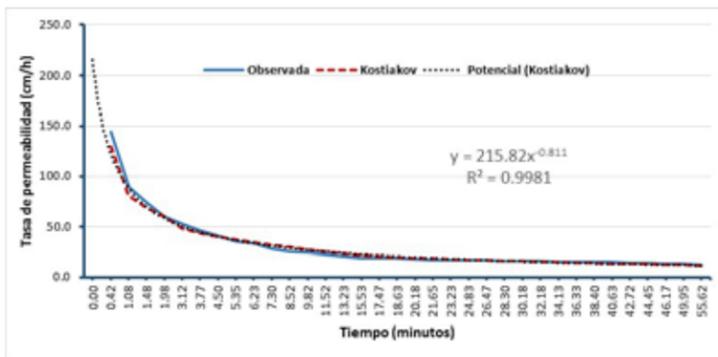
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 43.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 43 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 43 ajustada con Kostiakov.

Sitio 44 – San Miguel Tlaixpan

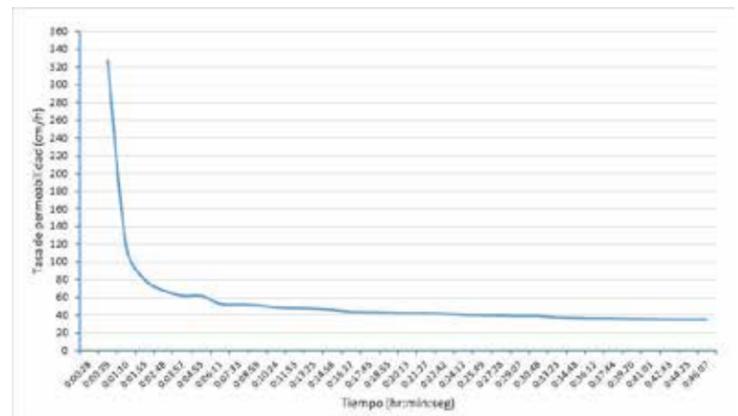
Los datos generales del Sitio 44 son los siguientes:

No. SITIO:	44
Unidad de Suelo:	Bh - Cambisol húmico
Localidad:	San Miguel Tlaixpan
Municipio:	Texcoco
Fecha:	martes 10 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

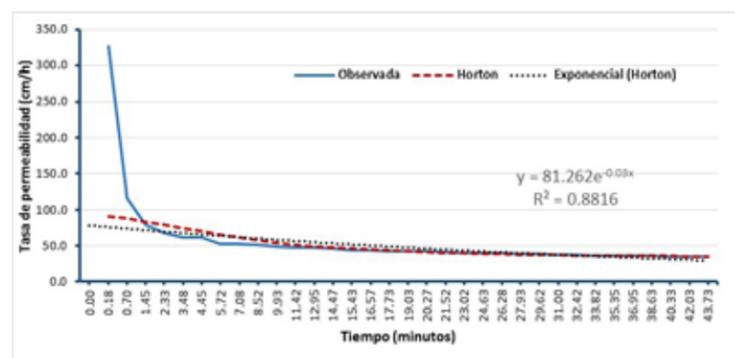


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



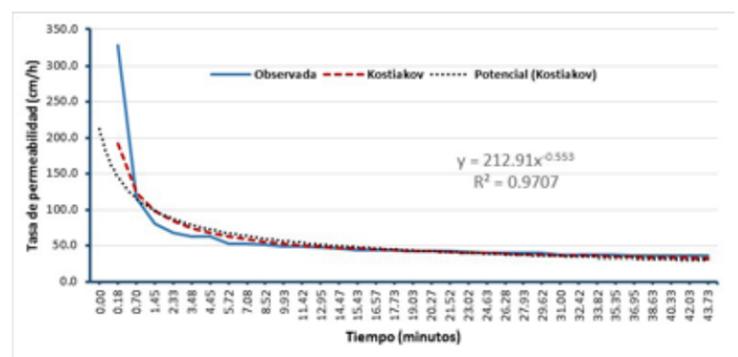
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 44.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 44 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

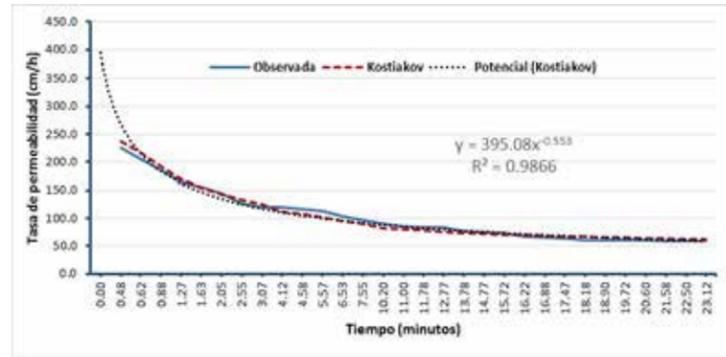


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 44 ajustada con Kostiakov.

Sitio 45 – San Jerónimo Mavati

Los datos generales del Sitio 45 son los siguientes:

No. SITIO: 45
 Unidad de Suelo: Tm - Andosol mólico
 Localidad: San Jerónimo Mavati
 Municipio: San Felipe del Progreso
 Fecha: miércoles 17 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino

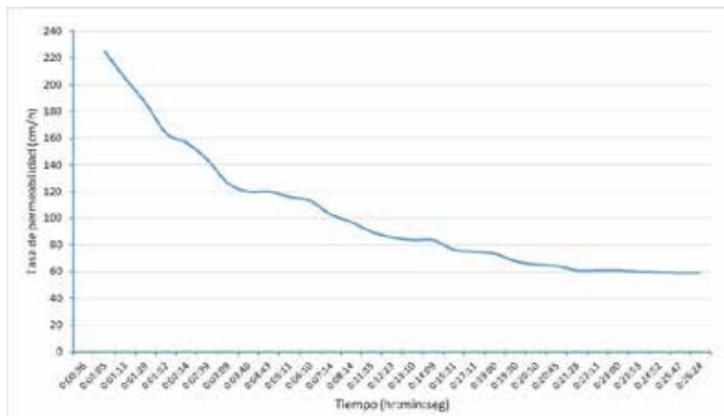


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 45 ajustada con Kostiakov.

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

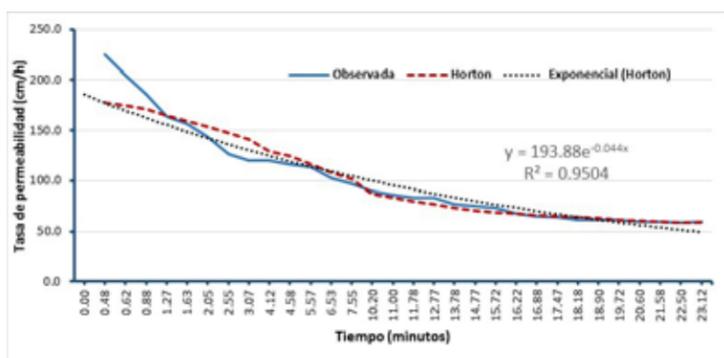


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 45.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 45 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

Sitio 46 – Santa Bárbara

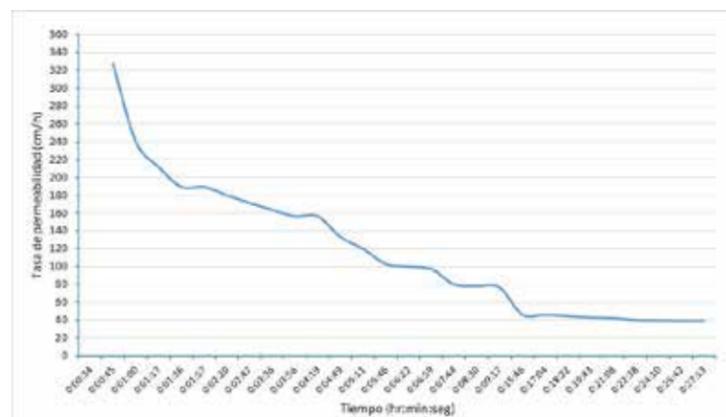
Los datos generales del Sitio 46 son los siguientes:

No. SITIO: 46
 Unidad de Suelo: Be - Cambisol éútrico
 Localidad: Santa Bárbara
 Municipio: Otumba
 Fecha: miércoles 11 de septiembre de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

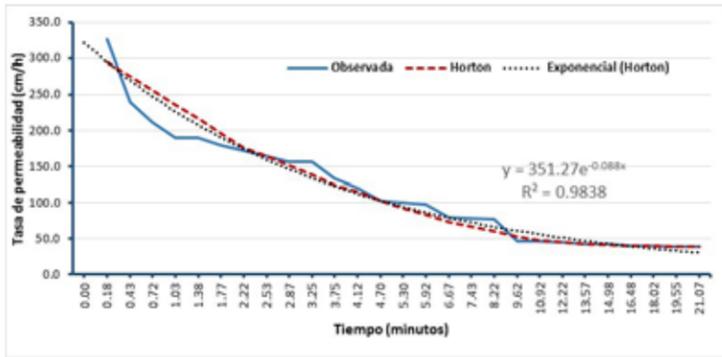


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



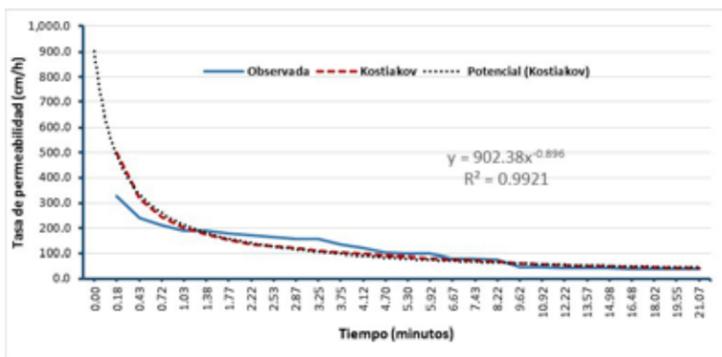
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 46.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 46 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 46 ajustada con Kostiakov.

Sitio 47 – Santa Ana Jilotzingo

Los datos generales del Sitio 47 son los siguientes:

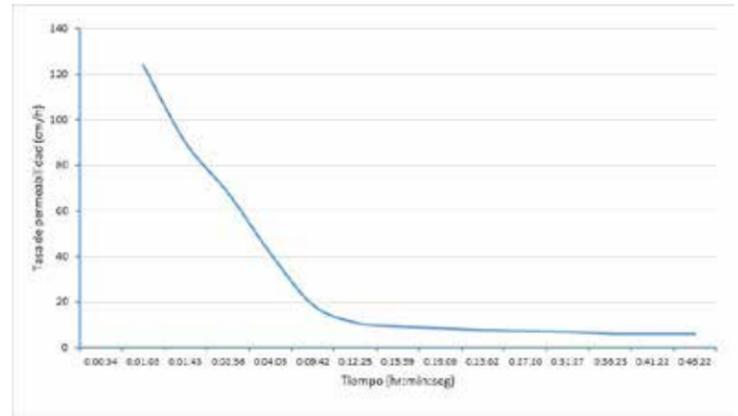
- No. SITIO: 47
- Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
- Localidad: Santa Ana Jilotzingo
- Municipio: Jilotzingo
- Fecha: miércoles 11 de septiembre de 2019
- Tipo de vegetación: Agricultura de temporal (avena)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



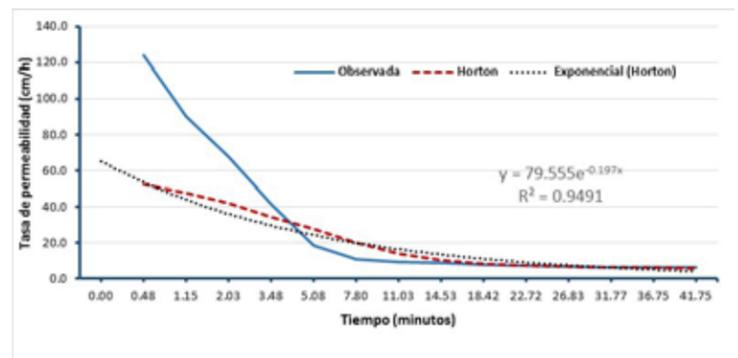
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se

presenta en la siguiente Figura.



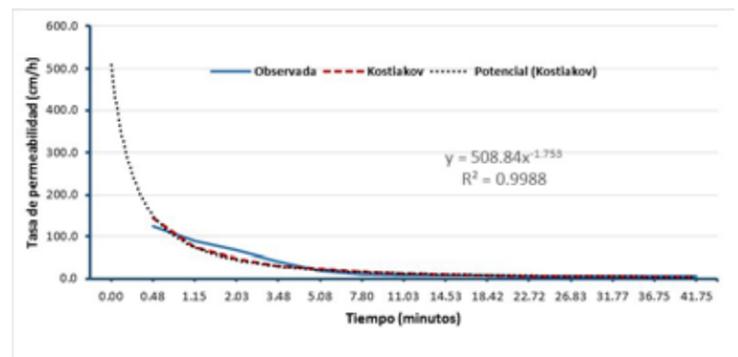
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 47.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 47 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 47 ajustada con Kostiakov.

Sitio 48 – Rancho El Paradeño

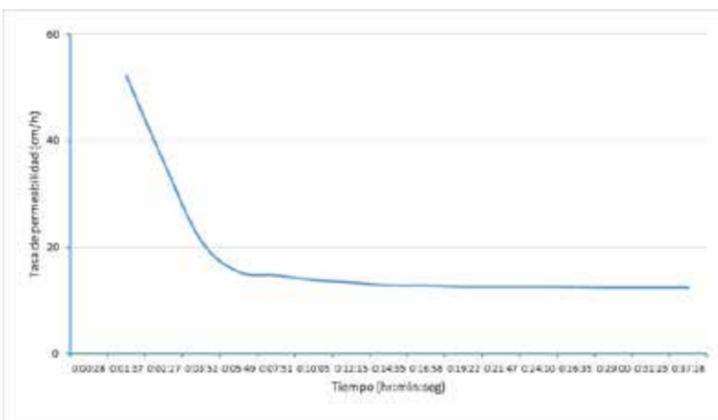
Los datos generales del Sitio 48 son los siguientes:

- No. SITIO: 48
- Unidad de Suelo: Lc - Luvisol crómico
- Localidad: Rancho El Paradeño
- Municipio: Nicolás Romero
- Fecha: jueves 05 de septiembre de 2019
- Tipo de vegetación: Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

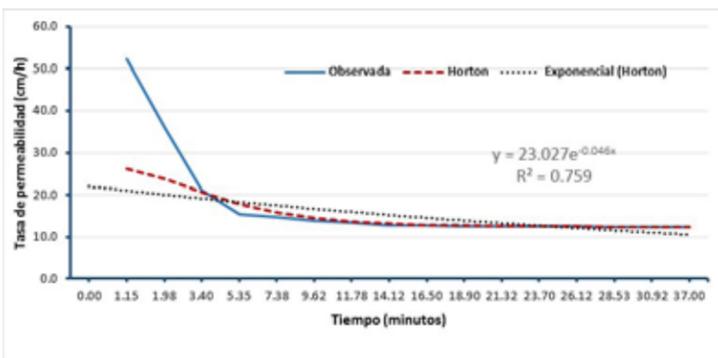


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



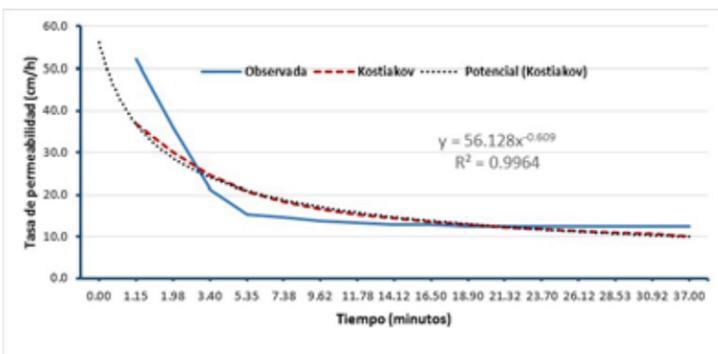
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 48.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 48 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 48 ajustada con Kostiakov.

Sitio 49 – El Calvario del Carmen

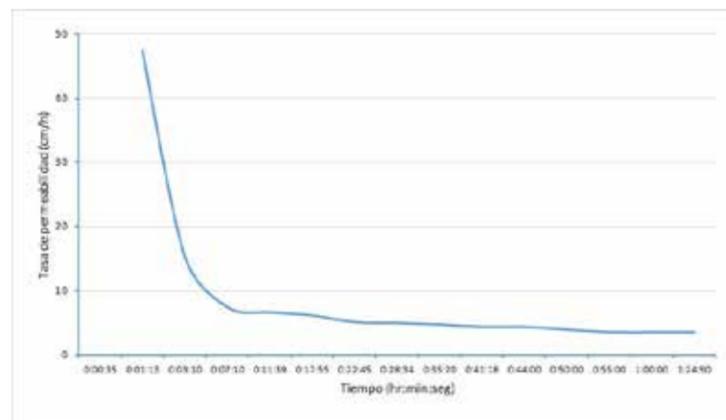
Los datos generales del Sitio 49 son los siguientes:

No. SITIO:	49
Unidad de Suelo:	Wh - Planosol húmico
Localidad:	El Calvario del Carmen
Municipio:	San Felipe del Progreso
Fecha:	miércoles 17 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

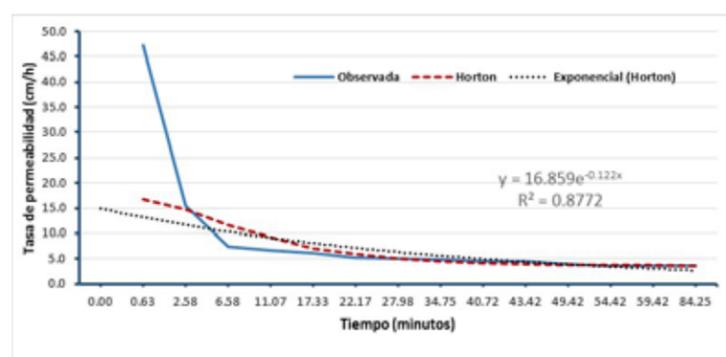


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



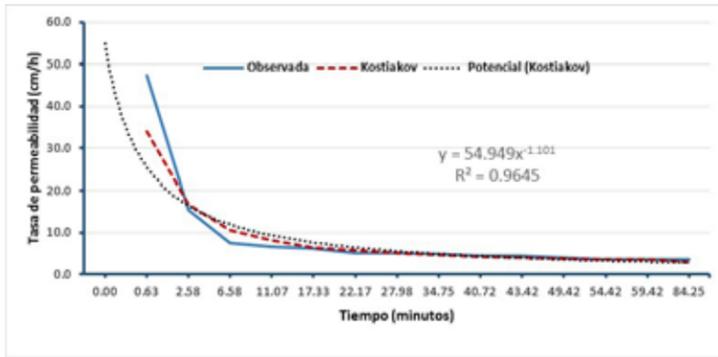
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 49.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

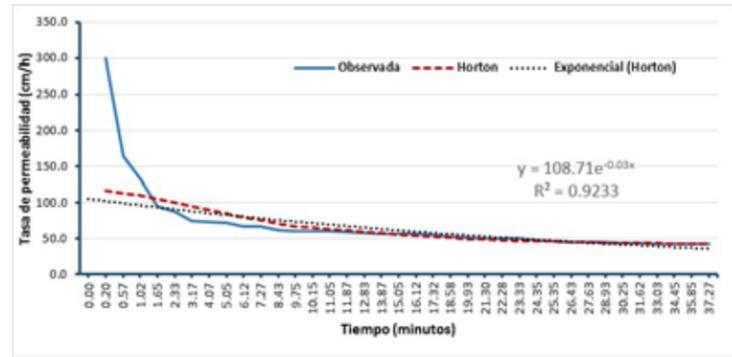


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 49 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 49 ajustada con Kostiakov.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 50 ajustada con Horton.

Sitio 50 – Ejido Buenavista

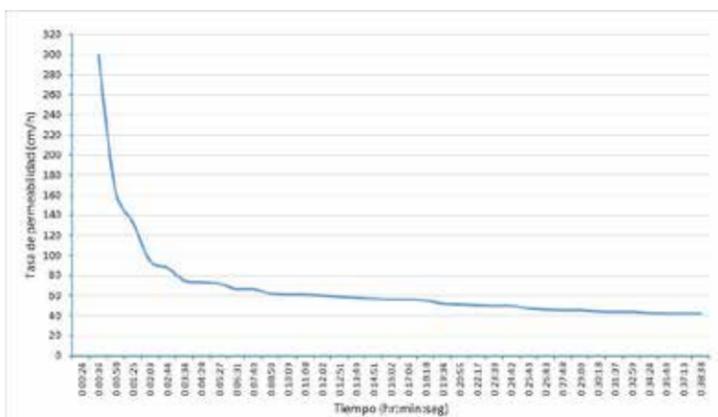
Los datos generales del Sitio 50 son los siguientes:

No. SITIO:	50
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	Ejido Buenavista
Municipio:	Otumba
Fecha:	miércoles 11 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Matorral crasiucale

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



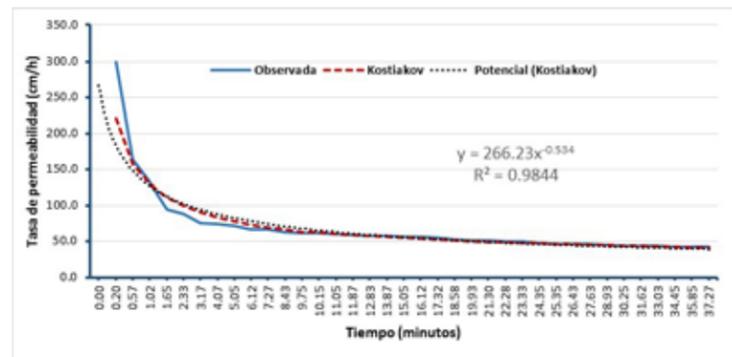
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 50.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 50 ajustada con Kostiakov.

Sitio 51 – Santa Cruz del Tejocote

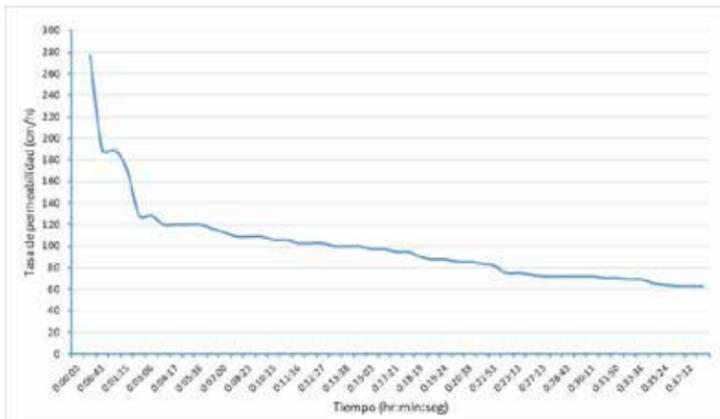
Los datos generales del Sitio 51 son los siguientes:

No. SITIO:	51
Unidad de Suelo:	To - Andosol ócrico
Localidad:	Santa Cruz del Tejocote
Municipio:	San José del rincón
Fecha:	martes 16 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de oyamel

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

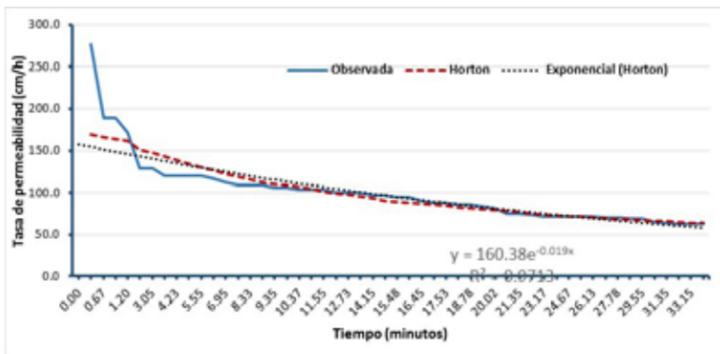


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



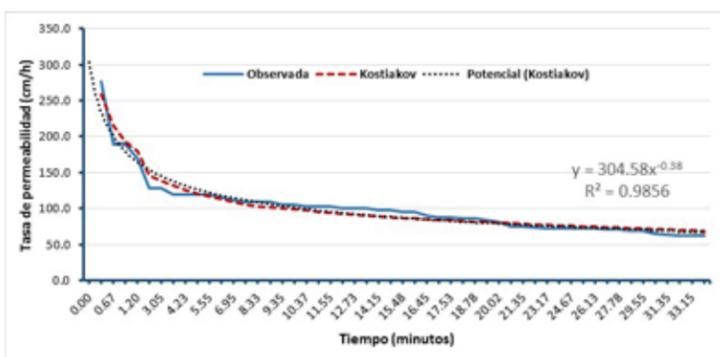
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 51.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 51 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 51 ajustada con Kostiakov.

Sitio 52 – San Jerónimo Zacapexco

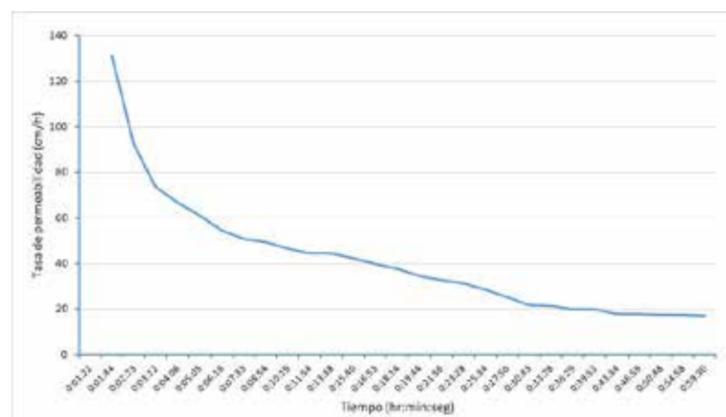
Los datos generales del Sitio 52 son los siguientes:

No. SITIO:	52
Unidad de Suelo:	Lc - Luvisol crómico
Localidad:	San Jerónimo Zacapexco
Municipio:	Villa del Carbón
Fecha:	miércoles 31 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

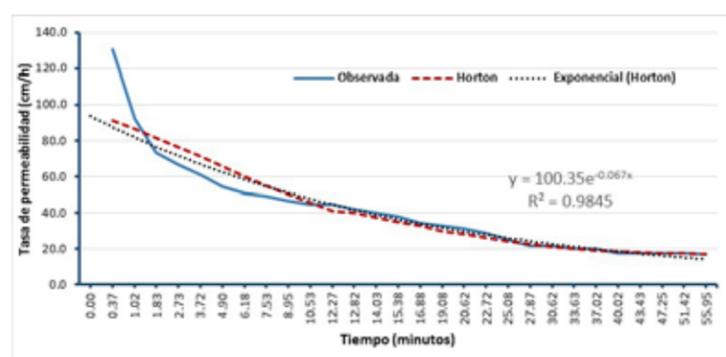


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



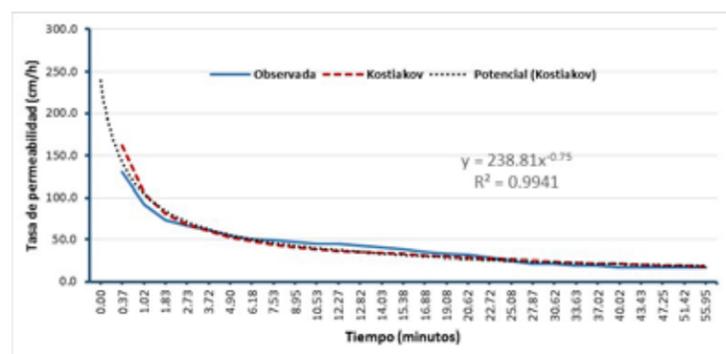
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 52.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 52 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

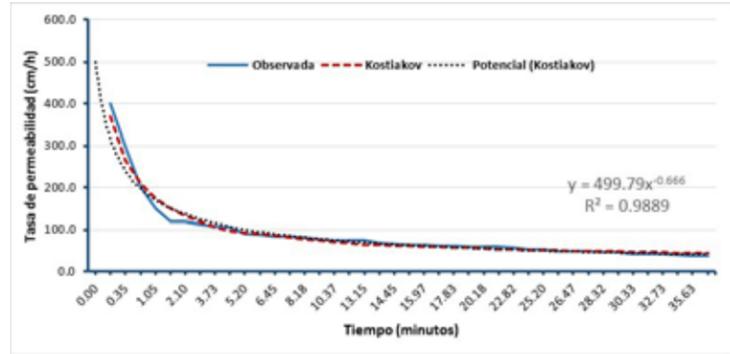


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 52 ajustada con Kostiakov.

Sitio 53 – San Juan Coajomulco

Los datos generales del Sitio 53 son los siguientes:

No. SITIO: 53
 Unidad de Suelo: To - Andosol ócrico
 Localidad: San Juan Coajomulco
 Municipio: Jocotitlán
 Fecha: martes 16 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino encino

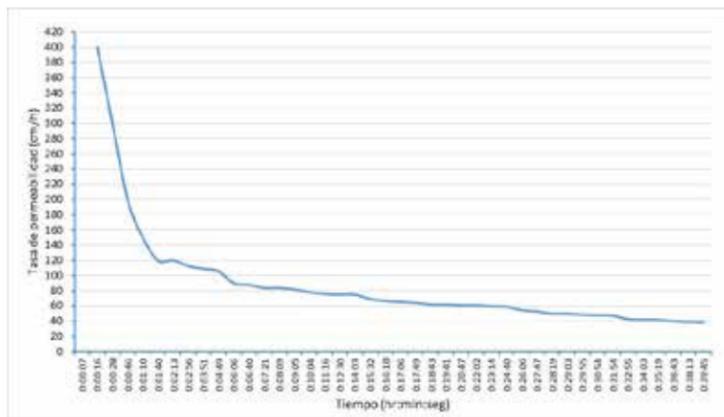


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 53 ajustada con Kostiakov.

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

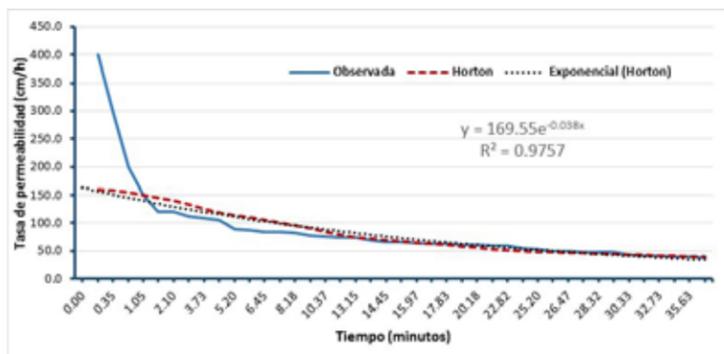


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 53.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 53 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:

Sitio 54 – San Francisco de las Tablas

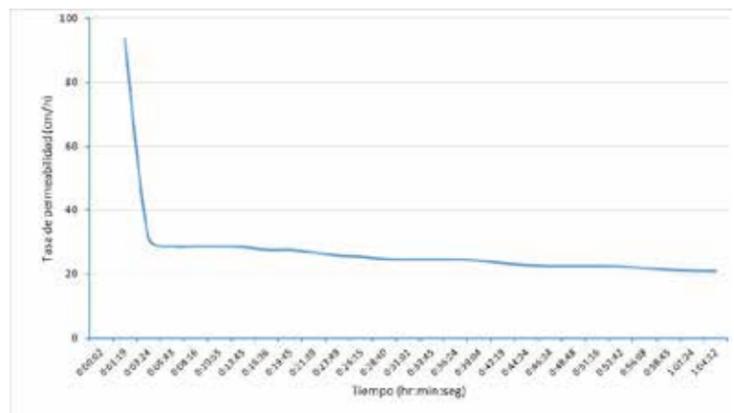
Los datos generales del Sitio 54 son los siguientes:

No. SITIO: 54
 Unidad de Suelo: Tm - Andosol mólico
 Localidad: San Francisco de las Tablas
 Municipio: Chapa de Mota
 Fecha: miércoles 31 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



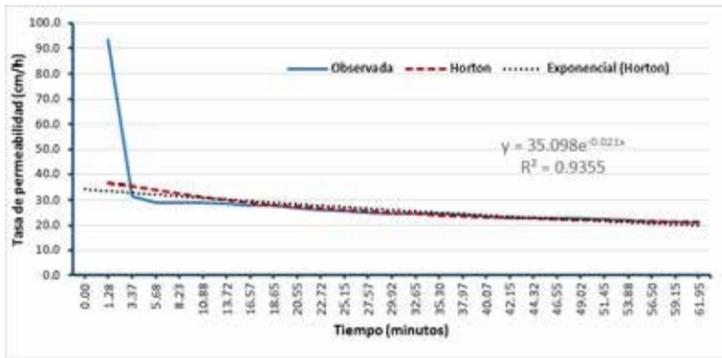
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



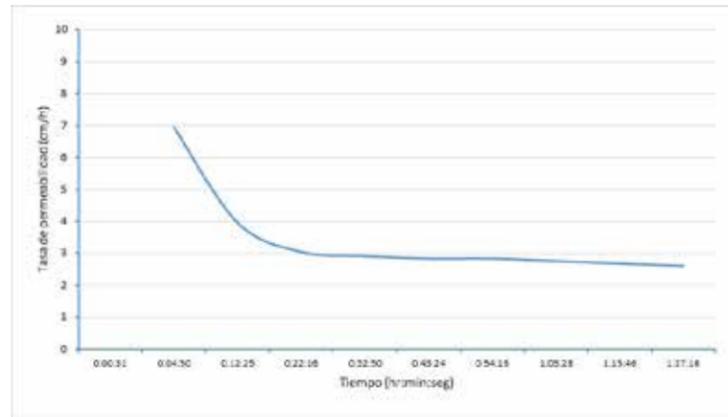
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 54.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

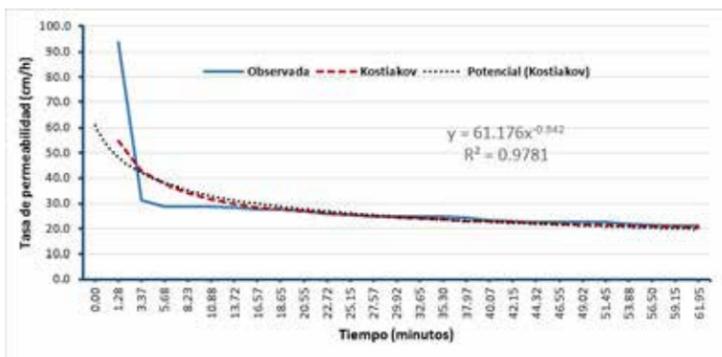


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 54 ajustada con Horton.



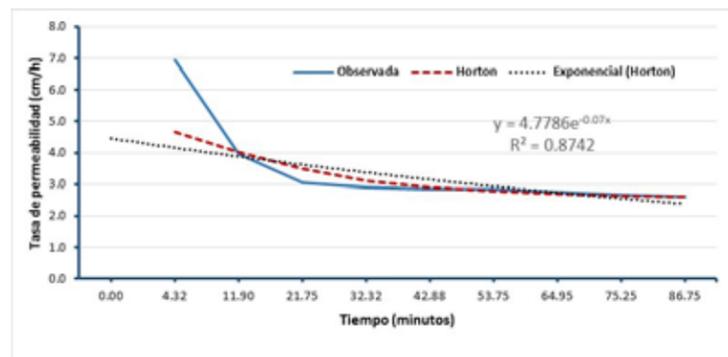
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 55.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 54 ajustada con Kostiakov.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 55 ajustada con Horton.

Sitio 55 – Ejido La Cañada

Los datos generales del Sitio 55 son los siguientes:

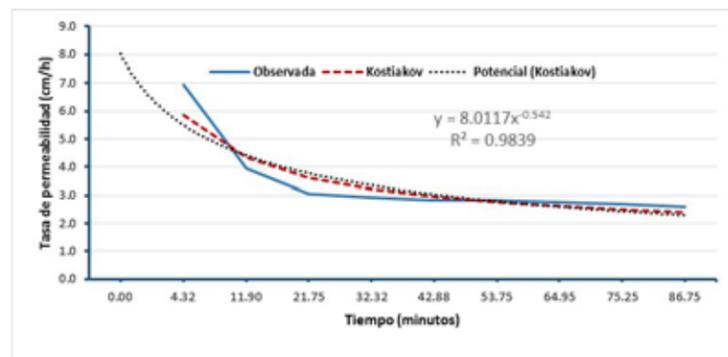
No. SITIO:	55
Unidad de Suelo:	Lc- Luvisol crómico
Localidad:	Ejido La Cañada
Municipio:	Chapa de Mota
Fecha:	miércoles 31 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 55 ajustada con Kostiakov.

Sitio 56 – San Marcos Tlaxalpan

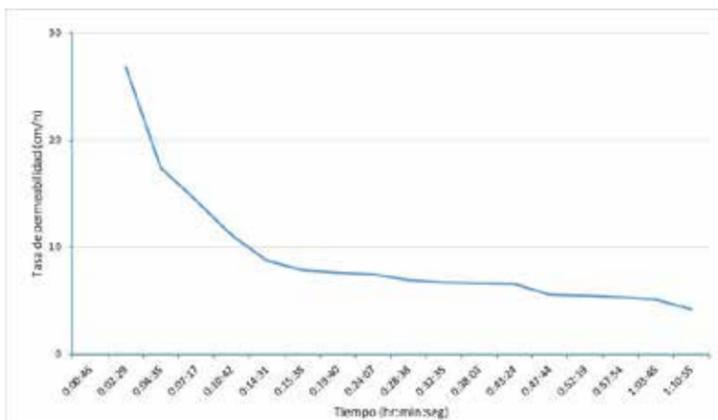
Los datos generales del Sitio 56 son los siguientes:

No. SITIO:	56
Unidad de Suelo:	HI - Feozem lúvico
Localidad:	San Marcos Tlaxalpan
Municipio:	Morelos
Fecha:	jueves 25 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado (de 2 años, antes agrícola)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

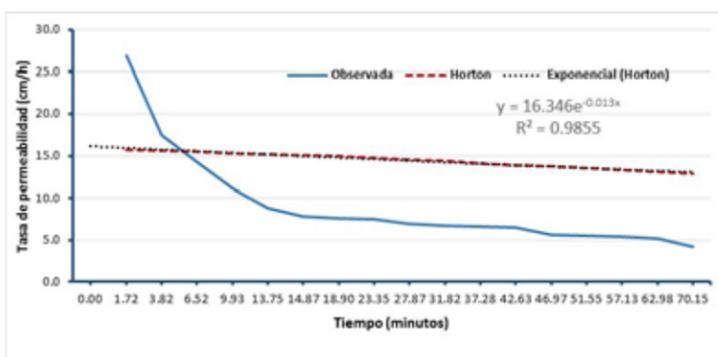


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



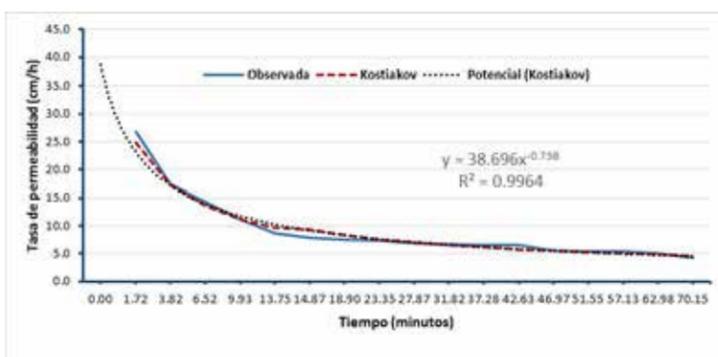
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 56.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 56 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 56 ajustada con Kostiakov.

Sitio 57 – Rancho Ventei

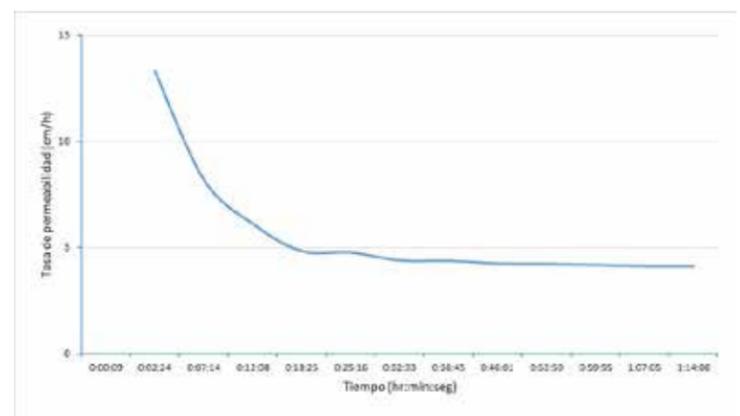
Los datos generales del Sitio 57 son los siguientes:

No. SITIO:	57
Unidad de Suelo:	Lc- Luvisol crómico
Localidad:	Rancho Ventei
Municipio:	Chapa de Mota
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

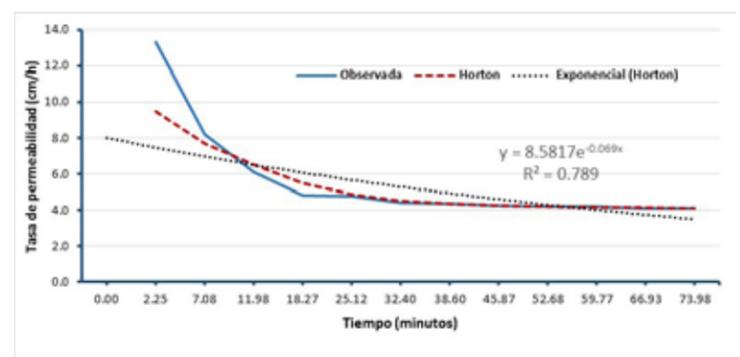


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



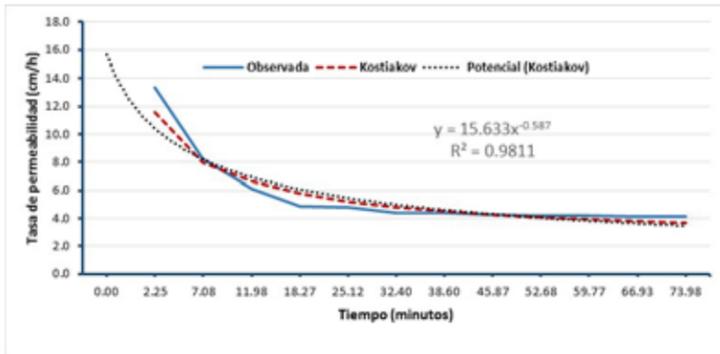
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 57.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 57 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 57 ajustada con Kostiakov.

Sitio 58 – Ejido Huehuetoca

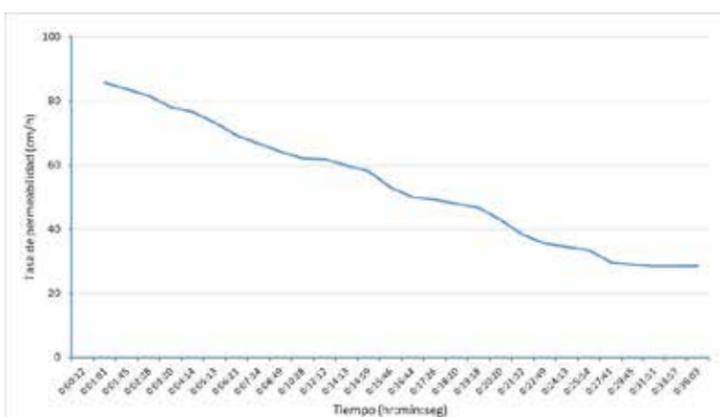
Los datos generales del Sitio 58 son los siguientes:

No. SITIO:	58
Unidad de Suelo:	Vp -Vertisol pélico
Localidad:	Ejido Huehuetoca
Municipio:	Huehuetoca
Fecha:	jueves 05 de septiembre de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado (eucalipto)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

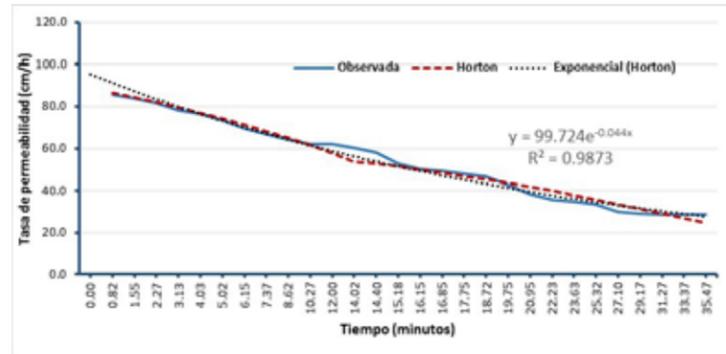


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



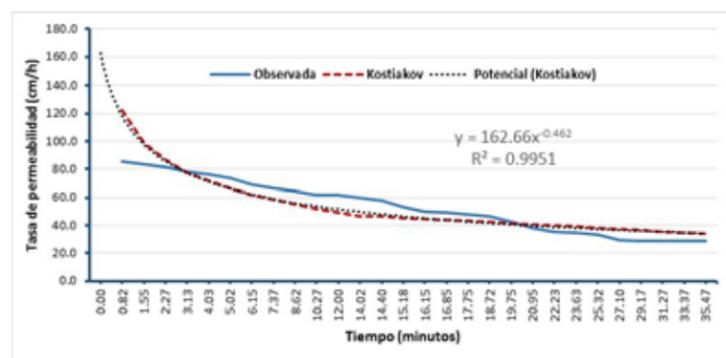
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 58.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 58 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 58 ajustada con Kostiakov.

Sitio 59 – San Antonio Yondeje

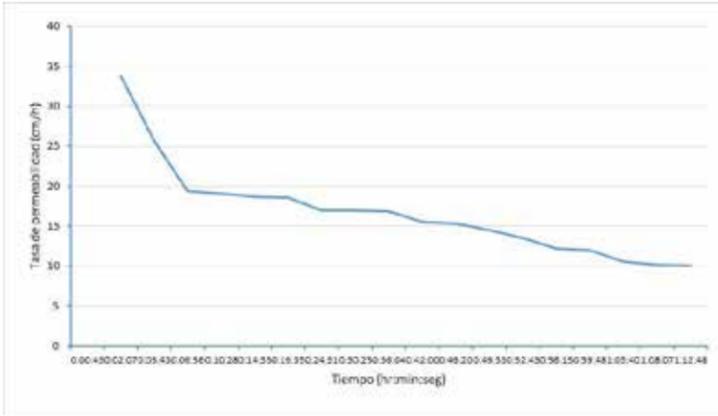
Los datos generales del Sitio 59 son los siguientes:

No. SITIO:	59
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	San Antonio Yondeje
Municipio:	Timilpan
Fecha:	jueves 25 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal (avena)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

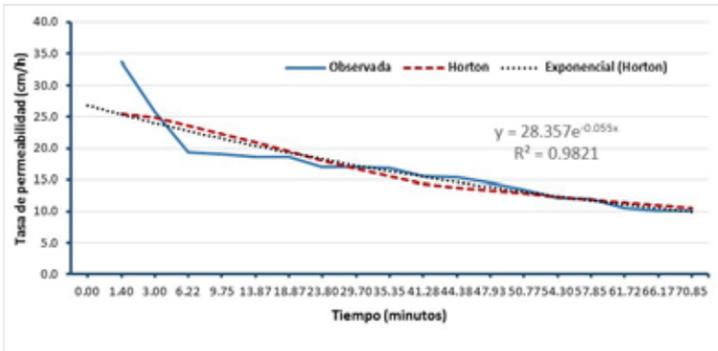


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



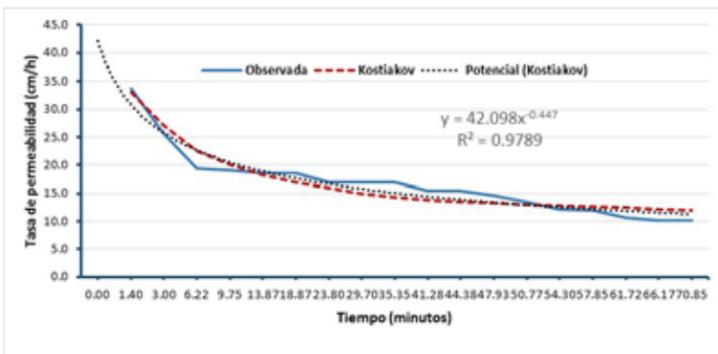
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 59.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 59 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 59 ajustada con Kostiakov.

Sitio 60 – Ejido Santiago Maxda

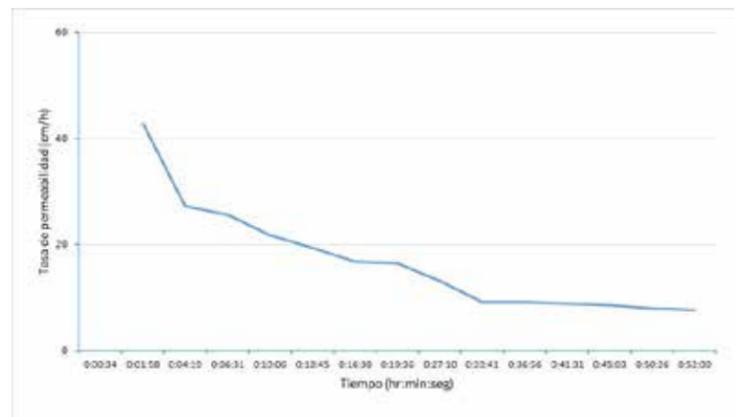
Los datos generales del Sitio 60 son los siguientes:

No. SITIO:	60
Unidad de Suelo:	HI - Feozem lúvico
Localidad:	Ejido Santiago Maxda
Municipio:	Timilpan
Fecha:	miércoles 24 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

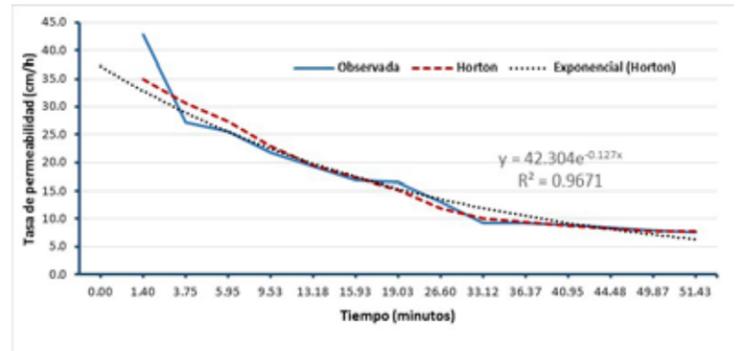


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



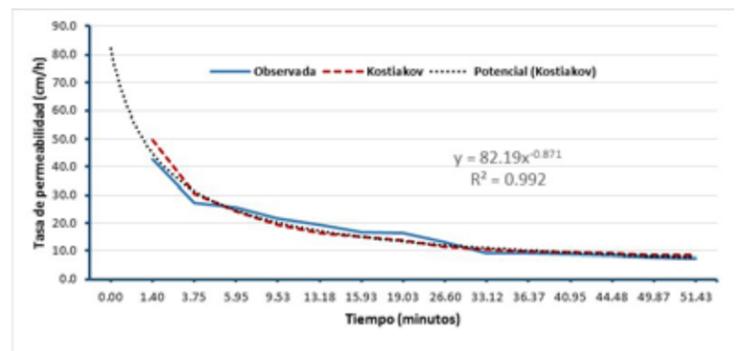
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 60.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 60 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



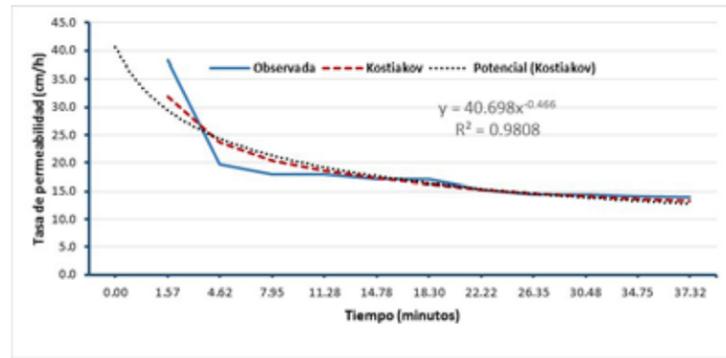
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 60 ajustada con Kostiakov.

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

Sitio 61 – San Antonio Yondeje

Los datos generales del Sitio 61 son los siguientes:

No. SITIO: 61
 Unidad de Suelo: Th - Andosol húmico
 Localidad: San Antonio Yondeje
 Municipio: Timilpan
 Fecha: jueves 25 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque cultivado

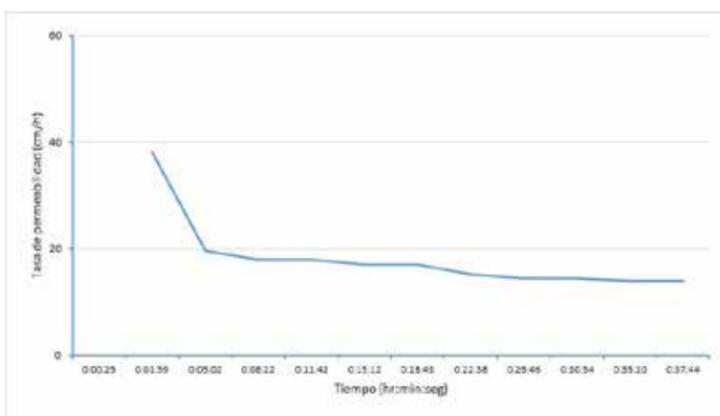


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 61 ajustada con Kostiakov.

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

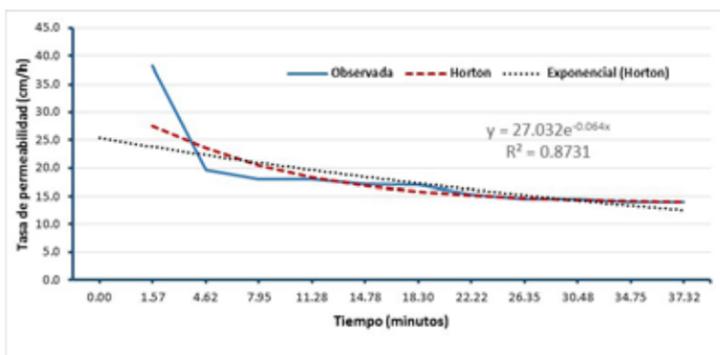


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 61.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 61 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

Sitio 62 – Tinaguizolco Bioparque Estrella

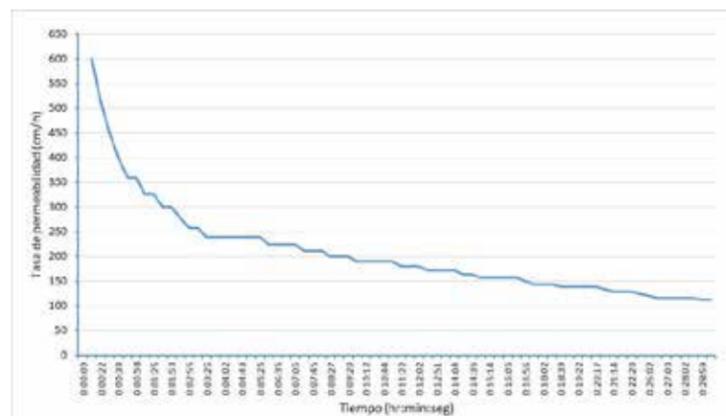
Los datos generales del Sitio 62 son los siguientes:

No. SITIO: 62
 Unidad de Suelo: Hh - Feozem háplico
 Localidad: Tinaguizolco Bioparque Estrella
 Municipio: Chapa de Mota
 Fecha: jueves 25 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

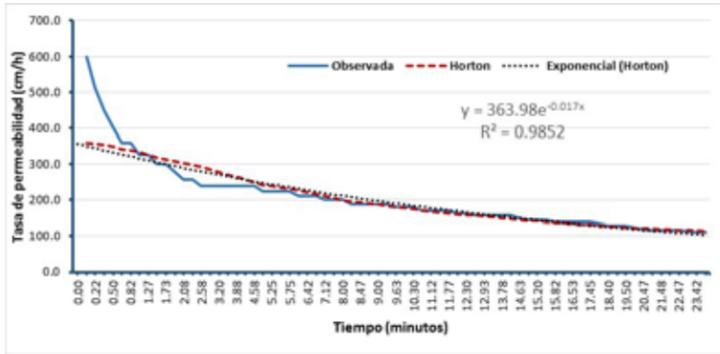


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



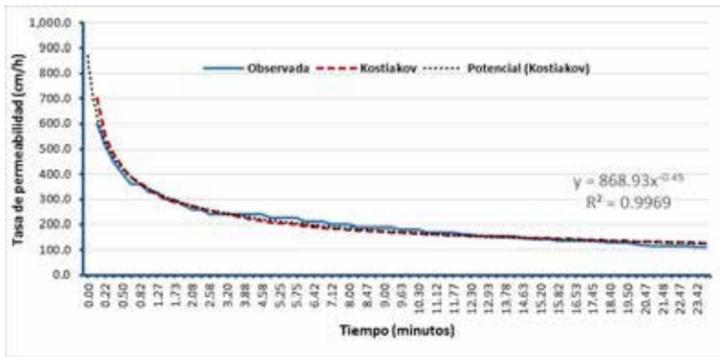
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 62.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 62 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 62 ajustada con Kostiakov.

Sitio 63 – Tequesquipan

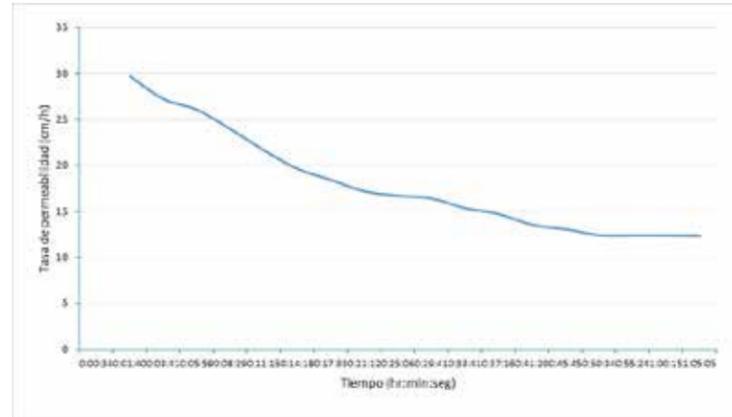
Los datos generales del Sitio 63 son los siguientes:

No. SITIO:	63
Unidad de Suelo:	Tequesquipan
Localidad:	Tinaguiolco Bioparque Estrella
Municipio:	Temascaltepec
Fecha:	jueves 29 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal (frutícola con durazno)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

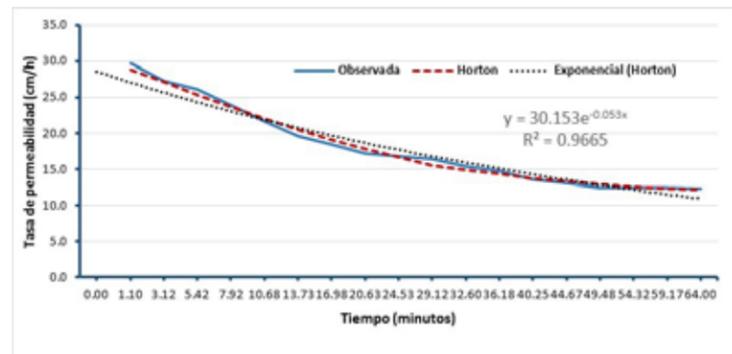


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



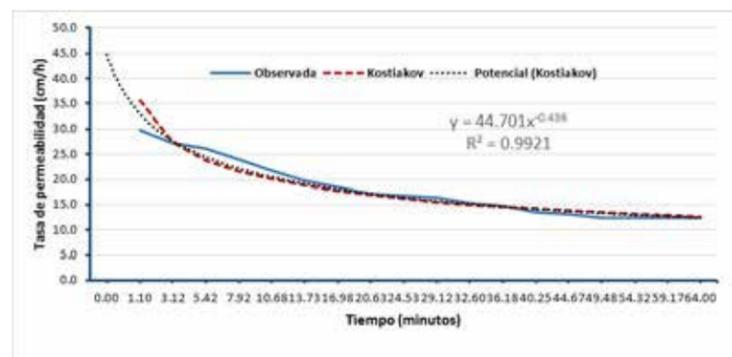
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 63.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 63 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 63 ajustada con Kostiakov.

Sitio 64 – Ejido La Corona

Los datos generales del Sitio 64 son los siguientes:

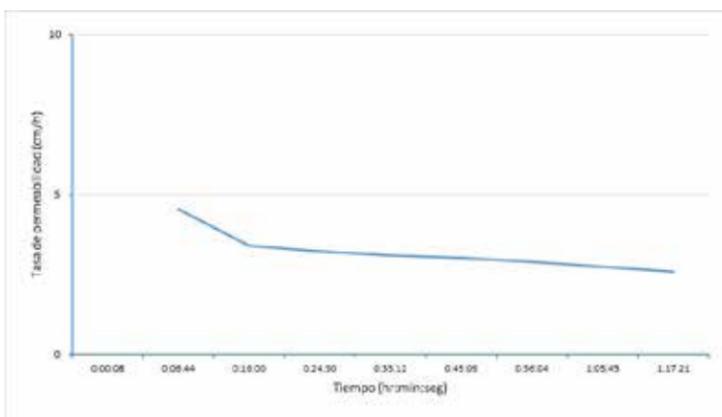
No. SITIO:	64
Unidad de Suelo:	HI - Feozem lúvico
Localidad:	Ejido La Corona
Municipio:	Temascalcingo
Fecha:	martes 23 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

Estudio de estimación de la línea base de agua captada en las cuencas hidrológicas, con base en los predios beneficiados con el programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México
(Primera etapa)

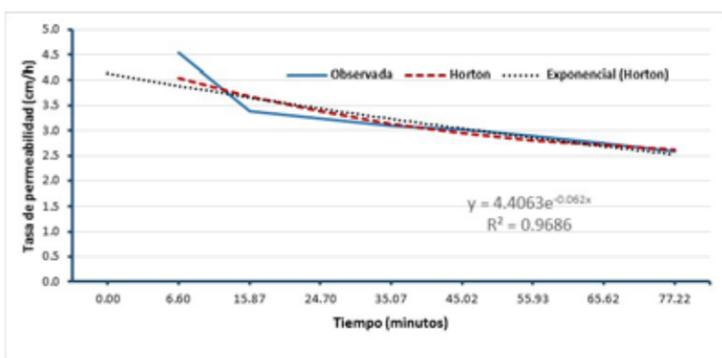


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



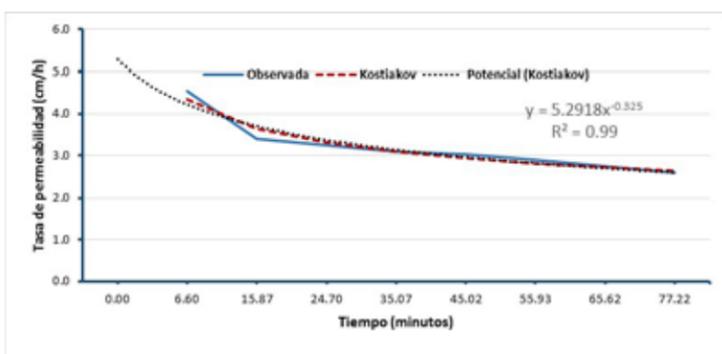
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 64.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 64 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 64 ajustada con Kostiakov.

Sitio 65 – San Mateo El Viejo

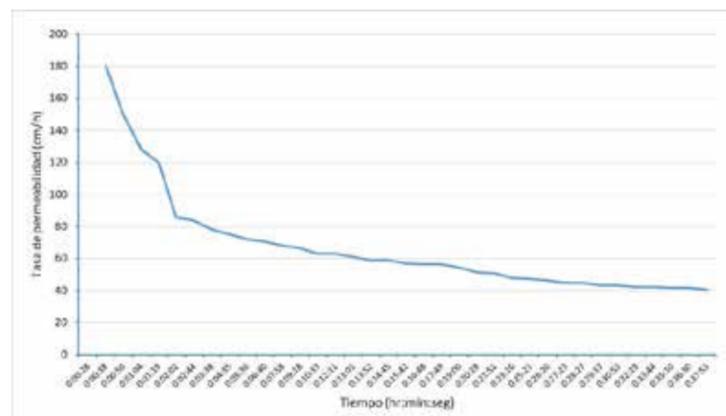
Los datos generales del Sitio 65 son los siguientes:

No. SITIO:	65
Unidad de Suelo:	HI - Feozem lúvico
Localidad:	San Mateo El Viejo
Municipio:	Ixtlahuaca
Fecha:	martes 23 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Bosque de pino encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

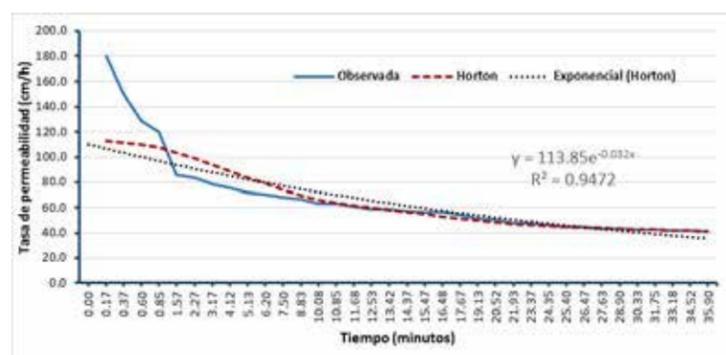


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



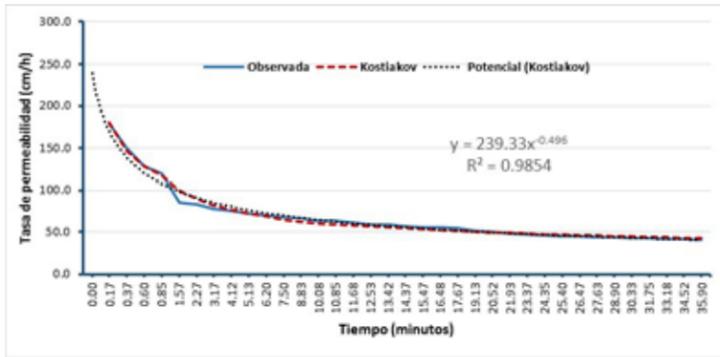
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 65.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

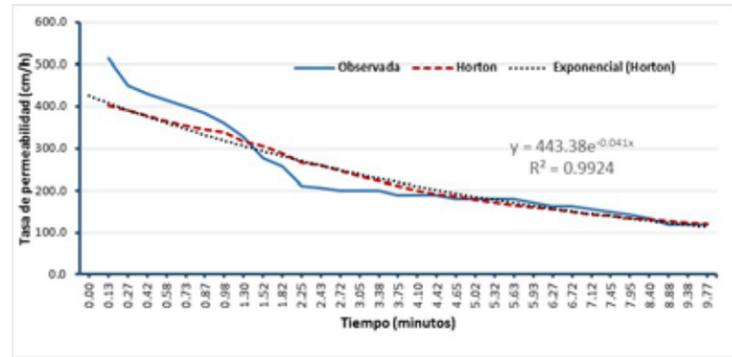


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 65 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 65 ajustada con Kostiakov.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 66 ajustada con Horton.

Sitio 66 – Dexcani El Alto

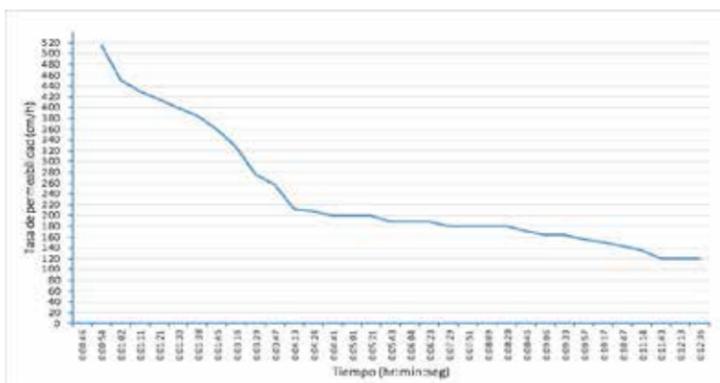
Los datos generales del Sitio 66 son los siguientes:

No. SITIO: 66
 Unidad de Suelo: I - Litosol
 Localidad: Dexcani El Alto
 Municipio: Jilotepec
 Fecha: jueves 01 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



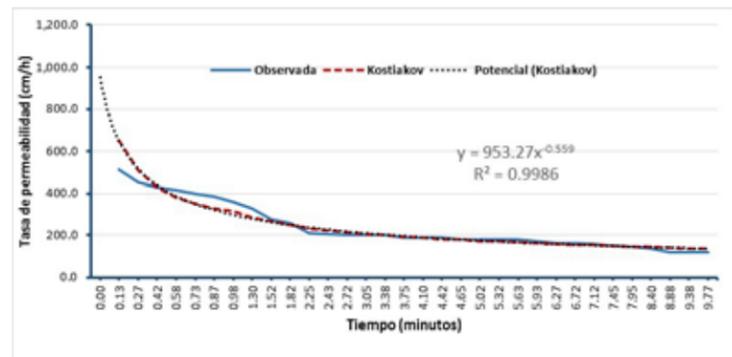
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 66.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestra en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 66 ajustada con Kostiakov.

Sitio 67 – Ejido San Miguel Acambay

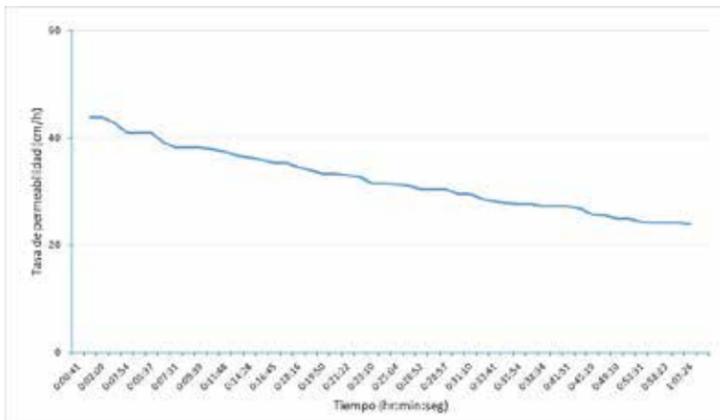
Los datos generales del Sitio 67 son los siguientes:

No. SITIO: 67
 Unidad de Suelo: HI - Feozem lúvico
 Localidad: Ejido San Miguel Acambay
 Municipio: Acambay
 Fecha: miércoles 24 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

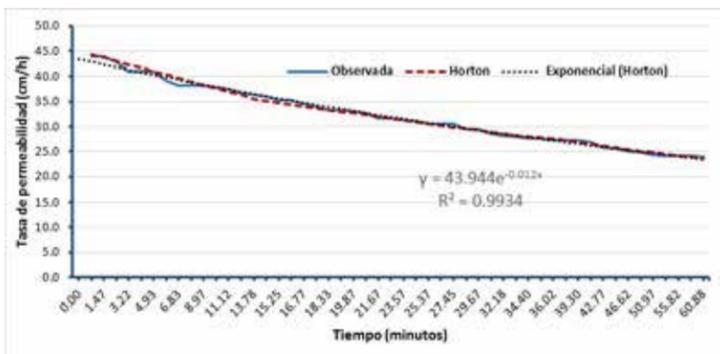


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



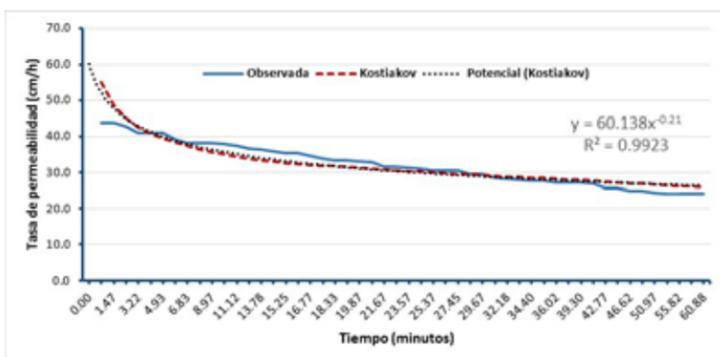
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 67.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 67 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 67 ajustada con Kostiakov.

Sitio 68 – San Miguel Tuxtepec

Los datos generales del Sitio 68 son los siguientes:

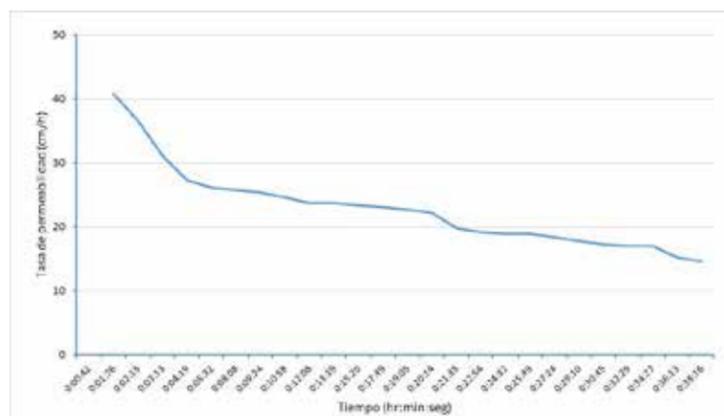
No. SITIO:	68
Unidad de Suelo:	Hh - Feozem háplico
Localidad:	San Miguel Yuxtepec
Municipio:	Ixtlahuaca
Fecha:	jueves 18 de julio de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal (maíz)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

TESTIMONIO FOTOGRÁFICO

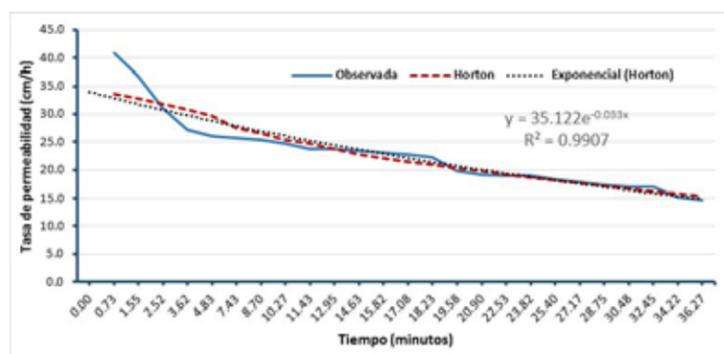


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



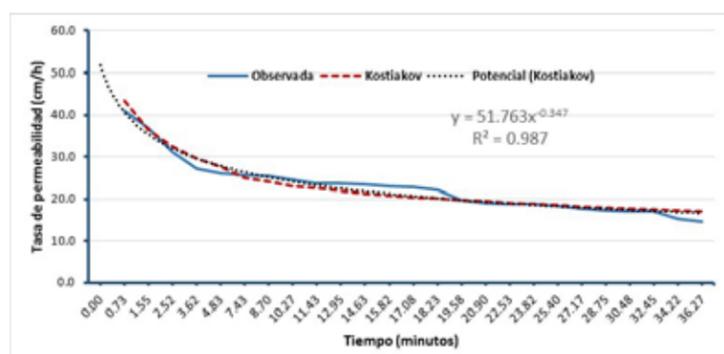
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 68.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 68 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



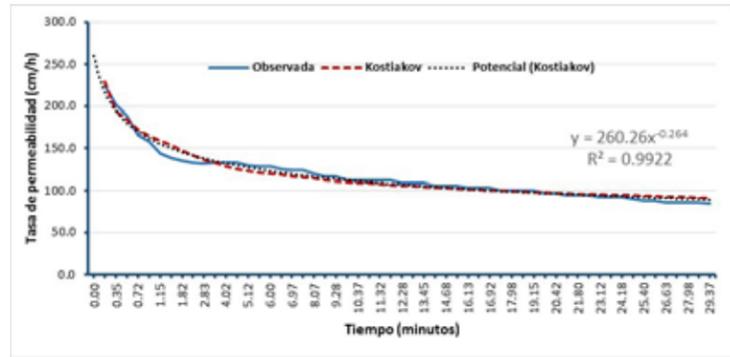
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 68 ajustada con Kostiakov.

Sitio 69 – Santa María Tismadeje

Los datos generales del Sitio 69 son los siguientes:

No. SITIO: 69
 Unidad de Suelo: Lc - Luvisol crómico
 Localidad: Santa María Tismadeje
 Municipio: Ixtlahuaca
 Fecha: miércoles 24 de julio de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque de encino pino

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 69 ajustada con Kostiakov.

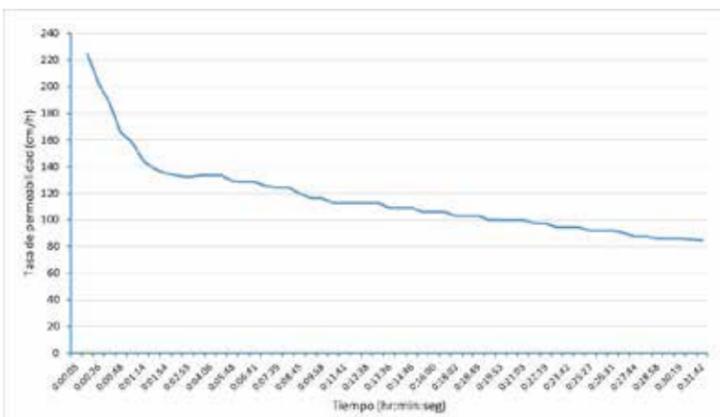
Sitio 70 – Ejido El Rosal

Los datos generales del Sitio 70 son los siguientes:

No. SITIO: 70
 Unidad de Suelo: Be - Cambisol éutrico
 Localidad: Ejido El Rosal
 Municipio: Jilotepec
 Fecha: jueves 01 de agosto de 2019
 Tipo de vegetación: Bosque cultivado

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.

La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

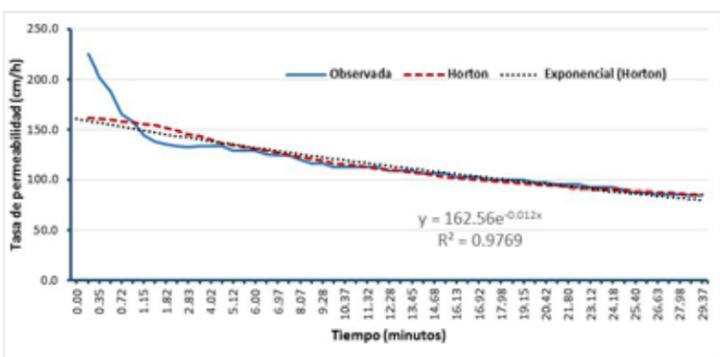


Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 69.

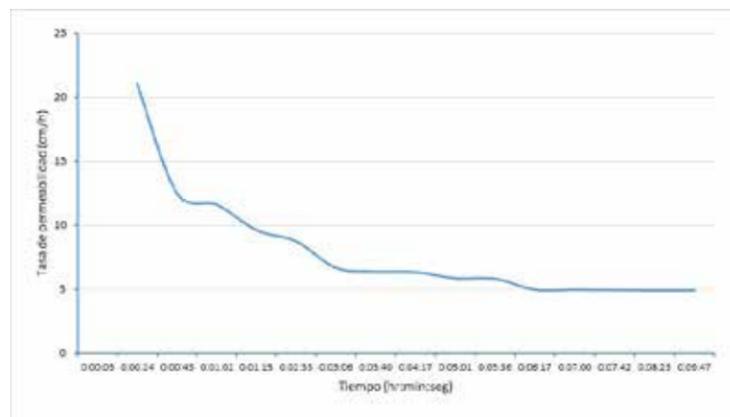


La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infiltrada con respecto el tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



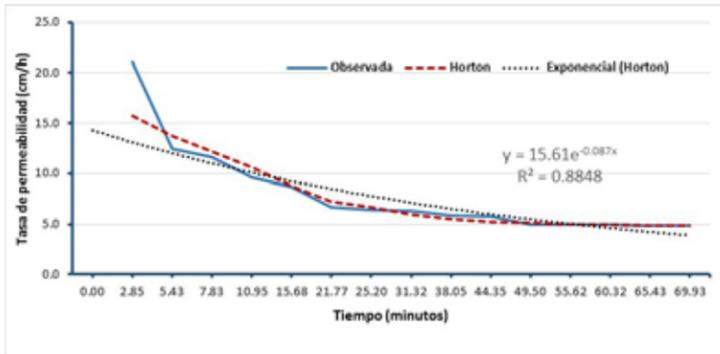
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 69 ajustada con Horton.



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 70.

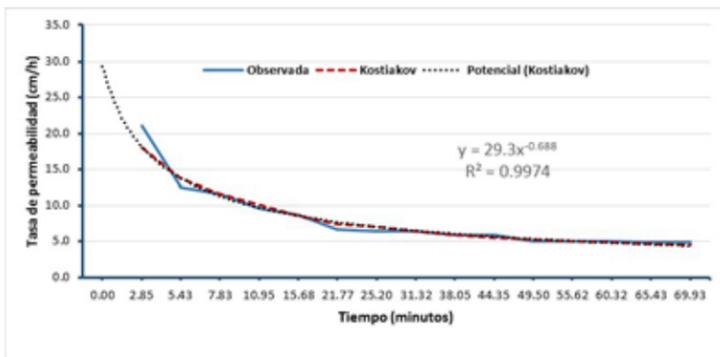
Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 70 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 70 ajustada con Kostiakov.

Sitio 71 – Acuitlapilco

Los datos generales del Sitio 71 son los siguientes:

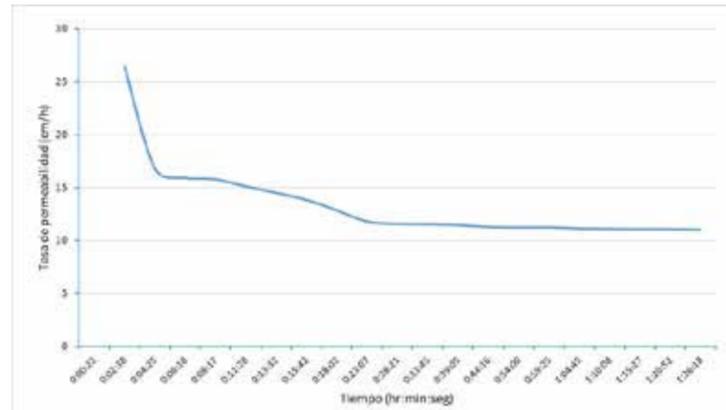
No. SITIO:	71
Unidad de Suelo:	Th - Andosol húmico
Localidad:	Acuitlapilco
Municipio:	Coatepec Harinas
Fecha:	viernes 23 de agosto de 2019
Tipo de vegetación:	Agricultura de temporal (huerta de aguacate)

Las actividades que se realizaron en el sitio durante el desarrollo de la prueba se presentan en el siguiente testimonio fotográfico.



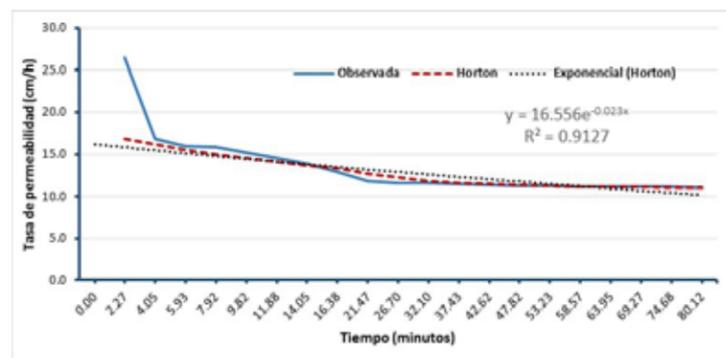
La gráfica resultante de la permeabilidad (cm/h) de la lámina infil-

trada con respecto al tiempo en que se realizó la prueba que fue hasta que se observó que tendía a ser constante la infiltración, se presenta en la siguiente Figura.



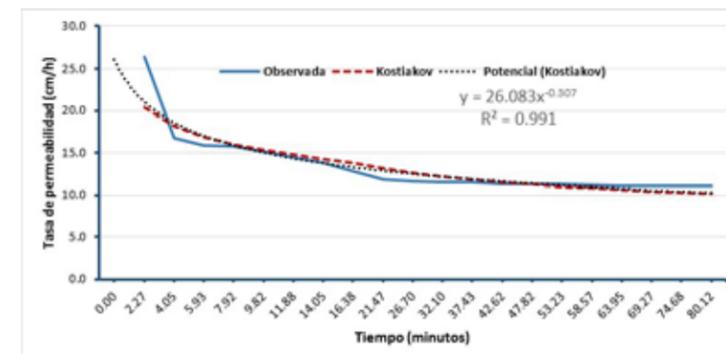
Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 71.

La gráfica que se obtiene al aplicar la metodología de Horton se presenta en la Figura siguiente:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 71 ajustada con Horton.

Por su parte, al aplicar la metodología de Kostiakov se obtiene la gráfica como se muestran en la siguiente Figura:



Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 71 ajustada con Kostiakov.

Anexo V

Metodologías que se utilizaron para realizar los análisis físicos de las muestras de suelo

Textura (método de Day modificado)

La textura del suelo es una de las características físicas más importantes, pues a través de ella, se puede predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes. La textura indica la proporción de partículas fundamentales en el suelo: arcilla, limo y arena, que se agrupan en suelos de textura fina, media y gruesa. Con la proporción relativa de estas fracciones minerales se puede obtener un gran número de combinaciones que dan origen a las clases texturales. Su fraccionamiento sigue una función logarítmica con límites entre 0.002 y 2.0 mm. La fracción arcillosa es menor a 0.002 mm, el limo entre 0.002 y 0.05 mm, y la arena entre 0.05 y 2.0 mm. Para estudios de tipo mineralógico la fracción arena se puede cuantificar en sus diferentes tamaños: a) arena muy fina, con diámetro de 0.05 a 0.1 mm; b) arena fina, con diámetro de 0.1 a 0.25 mm; c) arena media, con diámetro de 0.25 a 0.5 mm; d) arena gruesa, con diámetro de 0.5 a 1.0 mm; y e) arena muy gruesa, con diámetro de 1.0 a 2.0 mm. La determinación de la textura del suelo o análisis granulométrico consiste en la separación y cuantificación de las partículas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo, y en la consulta del triángulo de texturas para obtener la clase textural del mismo.

Existen varios métodos para hacer un análisis mecánico, pero solamente dos han sido los más comúnmente aceptados; el método de la pipeta y el método del hidrómetro (de Bouyoucos y el modificado por Day, 1965). Ambos métodos se basan en la proporción diferencial de asentamiento de las partículas del suelo en el agua.

Las partículas suspendidas en el agua se asientan diferencialmente dependiendo de la cantidad de superficie por unidad volumen. Las partículas de arcilla tienen una gran área superficial por unidad volumen y se asientan lentamente, mientras que las partículas de arena se asientan rápidamente debido a su baja superficie específica.

Después de que los agregados del suelo han sido dispersados se efectúa la separación de las partículas de arena, limo y arcilla. La proporción con la cual las partículas se asientan puede ser calculada usando la Ley de Stokes.

En el método de Bouyoucos y el de Day la cantidad de partículas en suspensión es determinada usando un hidrómetro para medir la densidad de la suspensión la diferencia entre métodos, son el tiempo de las lecturas del hidrómetro; el de Bouyoucos toma dos lecturas a los 40 sg y a las 2 horas y el de Day toma unas 9 lecturas a diferentes intervalos en un tiempo de 12 horas. Cabe aclarar que el método de Bouyoucos es un método calibrado y no sigue la Ley de Stokes, a diferencia del de Day que sí la considera siendo esto una explicación de los distintos números y tiempos de lecturas.

La Ley de Stokes en general considera entre otros parámetros la velocidad de caída de una partícula (expresada en cm sg^{-1}), radio de la partícula (cm), densidad de la partícula (g/cm^3), densidad del líquido (g cm^{-3}), coeficiente de viscosidad del agua ($\text{g cm}^{-1} \text{seg}^{-1}$) y aceleración de la gravedad (cm sg^{-2}).

Reactivos

Agua oxigenada al 30%.

- Oxalato de sodio saturado. Disolver 30 g de oxalato de sodio en 1 litro de agua.
- Metasilicato de sodio con 36 g L-1 de lectura con el hidrómetro. Disolver 50 g de metasilicato de sodio en 1 litro de agua ajustar la solución hasta que se obtenga una lectura de 36 con el hidrómetro.
- Hexametáfosfato de sodio. Disolver 50 g de $(\text{Na}_3\text{PO}_3)_6$ en agua destilada y aforar a un litro.

Material y equipo

Hidrómetro de Bouyoucos con escala de 0-60.

- Probetas de 1000 cc.
- Cilindro de Bouyoucos.
- Agitador con motor para dispersión.
- Agitador de mano.
- Termómetro de -10 a 110°C.

Procedimiento

- 1.- Pesar 60 g de suelo de textura fina o 120 g de suelo de textura gruesa en un vaso de precipitados de 500 ml

agregar 40 ml de agua oxigenada y poner a evaporar hasta sequedad, agregar otros 40 ml y observar la reacción. Evaporar nuevamente a sequedad. Repetir hasta que no haya efervescencia al agua oxigenada.

En general dos eventos son suficientes para la mayoría de suelos. Después de eliminar la materia orgánica y llevar a sequedad el suelo, pesar 50 g de suelo de textura arcillosa o 100 g de suelo de textura arenosa y ponerlos en un vaso de precipitados de 250 ml. Adicionar agua hasta cubrir la superficie con una lámina de 2 cm. Agregar 5 ml de oxalato de sodio y 5 ml de metasilicato de sodio y dejar reposar durante 15 minutos. Si el suelo tiene mucha arcilla puede prolongarse el tiempo hasta media hora.

Pasar las muestras de los vasos de precipitado a las copas del agitador mecánico, pasando todo el material con la ayuda de una piceta. Activar los agitadores y proceder a dispersar cinco minutos. Al finalizar el tiempo de agitación, bajar la copa del dispersor y pasar el contenido a una probeta de 1000 ml o al cilindro de Bouyoucos enjuagando la copa con ayuda de una piceta.

Agregar agua destilada hasta completar un litro con el hidrómetro dentro de la suspensión en el caso de la probeta y si utiliza el cilindro de Bouyoucos llevar a la marca inferior (1113 ml) con el hidrómetro dentro de la suspensión. Sacar el hidrómetro y suspender el suelo con un agitador de mano operando durante un minuto.

Tomar las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y después de 2 horas de terminada la dispersión con el agitador de mano.

Para hacer una lectura, colocar el hidrómetro dentro de la probeta 20 segundos antes del momento de la determinación, cuidando de alterar lo menos posible la suspensión. Después de hacer la lectura se seca el hidrómetro, se lava, se seca y se toma la temperatura. Si por alguna razón al hacer la lectura se acumula espuma alrededor del hidrómetro, agregar unas gotas de alcohol etílico.

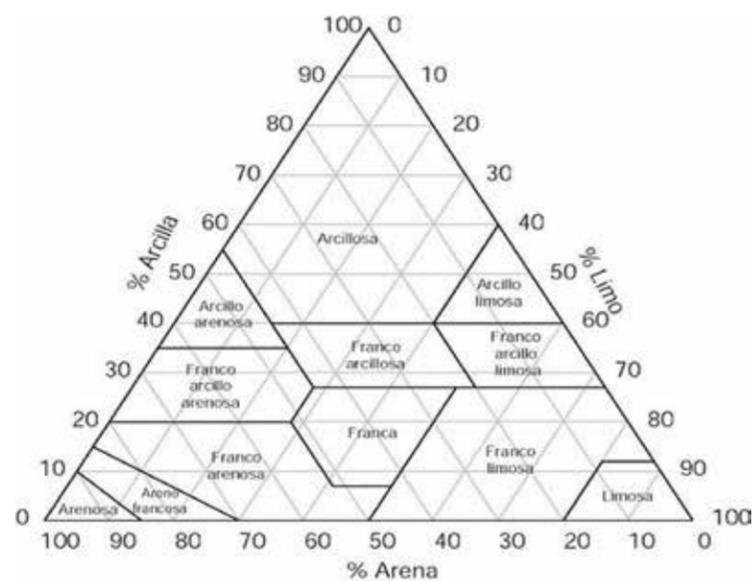
Cálculos

Corregir las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5°C restando la misma cantidad por cada grado abajo de dicha temperatura de acuerdo con la Tabla siguiente:

Datos para corrección por temperatura.

Temp. °C	Corrección	Temp. °C	Corrección
15.0	- 1.62	21.5	+ 0.18
15.5	- 1.44	22.0	+ 0.90
16.0	- 1.26	22.5	+ 1.08
16.5	- 1.08	23.0	+ 1.26
17.0	- 0.90	23.5	+ 1.44
17.5	- 0.72	24.0	+ 1.62
18.0	- 0.54	24.5	+ 1.80
18.5	- 0.36	25.0	+ 1.98
19.0	- 0.18	25.5	+ 2.15
19.5	0	26.0	+ 2.34
20.0	+ 0.18	26.5	+ 2.52
20.5	+ 0.36	27.0	+ 2.70
21.0	+ 0.54	27.5	+ 2.858
		28.0	+ 3.06

La lectura a los 40 segundos multiplicada por 2 es igual al porcentaje de arcilla más limo. Restando de 100 se obtiene el porcentaje de arena. La lectura obtenida a 2 horas multiplicadas por 2 es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtiene por diferencia. Cuando se usan 100 g no debe multiplicarse por 2 ya que el hidrómetro está calibrado en porcentajes considerando 100 g de suelo. Con los porcentajes de limo, arena y arcilla se determina la textura correspondiente con el triángulo de texturas que se presenta en la Figura siguiente:



Triángulo para determinar la textura del suelo.

Fuente: <https://www.datuopinion.com/textura-del-suelo>

Densidad aparente (método del terrón de parafina)

La densidad aparente es la masa por unidad de volumen de un suelo que se ha secado a un peso constante a 105°C, incluye el volumen ocupado por los poros. Comúnmente se expresa en gr/cm³.

Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente, calcular la lámina de agua en el suelo. Además, permite calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas, y estimar la masa de la capa arable. En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad, es decir, la reducción del espacio poroso con radio equivalente mayor, llamado también espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; resultando ser la densidad aparente, un buen indicador de la calidad del suelo.

Equipos y materiales especiales

- Agregados de suelo secos al aire (optativo: equilibrados a una tensión mátrica conocida; agregados con tamaños especiales).
- Balanza de precisión de 0,01 g y con posibilidad de colgar una masa.

- Parafina sólida (optativo: Saran, que permite la aplicación en terreno. Alternativa: mucho más económico es usar vela común, cuya determinación de densidad es fácil y permite obtener los mismos resultados que con parafina analítica).
- Manto calefactor o baño María.
- Vaso precipitado y termómetro.
- Hilo fino de masa conocida (trozos de 20 a 30 cm).
- vCápsula de aluminio para secado en estufa.
- Estufa de secado a 105°C.

Procedimiento

- 1.- Tomar un agregado de entre dos y cuatro centímetros de diámetro y amarrarlo cuidadosamente a un hilo fino de masa conocida.
- 2.- Pesar el agregado (Pt). Como este posee un cierto contenido de agua, es necesario calcular la humedad con un agregado de similares características, secándolo a 105°C.
- 3.- En un vaso precipitado calentar la parafina sólida a baño María o en manto calefactor hasta lograr el estado líquido, controlando una temperatura de entre 55 y 65°C.

Nota: La condición ideal se logra en el momento en que desaparece el último vestigio de parafina sólida; temperaturas muy bajas dificultan el adecuado cubrimiento del agregado y provocan grietas en la parafina; mayor temperatura puede provocar una mayor fluidez, con entrada de parafina al interior del agregado.

- 4.- Sumergir el agregado cuidadosamente en la parafina durante aproximadamente un segundo y sacarlo. Dejar solidificar y evaluar la continuidad de la cubierta. Si es necesario, sumergir una segunda vez. Dejar enfriar y pesar (Ptp).
- 5.- Con la balanza adaptada para colgar una masa, se cuelga el hilo y se pesa el agregado sumergido dentro de un recipiente con agua (Ptpa). Colocar especial cuidado que el agregado no toque las paredes ni el fondo del recipiente. No debe existir burbujeo de aire o aumento gradual de masa, ya que esto denota una cubierta de parafina no continua; en este caso desechar la muestra y repetir desde el punto 1.
- 6.- Retirar el agregado del agua. Si no se realizó en paralelo la determinación de contenido de agua con agregados de similares características, proceder como sigue:
 - Secar la cubierta de parafina con papel absorbente.
 - Romper cuidadosamente la cubierta de parafina.
 - Con una sub muestra del agregado, realizar la determinación de contenido de agua.
- 7.- Desechar el agregado o los restos de éste en un contenedor especial en el que se pueda disponer restos de parafina sólida.
- 8.- Para el caso de suelos Andosoles e Histosoles, la densidad aparente de los agregados puede ser menor a 1,0 t m⁻³, por lo que estos flotan en el agua una vez sellados con parafina. En este caso proceder como sigue:
 - Amarrar una masa (por ejemplo, una golilla) a un hilo y pesarla sumergida en agua (Pe).
 - Colgar la masa al hilo del agregado, sumergirlos en agua y pesar (Ptpea), colocando especial atención a los aspectos señalados en el punto 5.
 - Si no se realizó la determinación de contenido de agua

con otro agregado, proceder según lo indicado en el punto 6.

Cálculos

Calcular la densidad aparente por el método del terrón (Da) según:

$$Da = \frac{Dw Pts}{Pt - Ptpa + Pp - (Pp \frac{Dw}{Dp})}$$

Donde:

- Dw = Densidad del agua (g cm³ = t m³).
- Pts = Masa del terrón seco, corregido por su contenido de agua (g).
- Pt = Masa del terrón (g).
- Ptpa = Masa del terrón con cubierta de parafina y sumergido en agua (g).
- Pp = Masa de la cubierta de parafina (Ptp - Pt) (g).
- Dp = Densidad de la parafina (0,8 g cm³ = 0,8 Mg m³).
- Ptp = Masa del terrón con cubierta de parafina (g).

Para el caso de suelos con densidad aparente menor a 1 Mg m⁻³, en cuyo caso se debió proceder de acuerdo a 4.8, agregando una masa extra (Pe) a la medición sumergida en agua, se debe corregir la masa del terrón con cubierta de parafina y sumergido en agua (Ptpa) según:

$$Ptpa = Ptp - Ptea - Pe$$

Donde:

- Ptp = Masa del terrón con cubierta de parafina (g).
- Ptpea = Masa del terrón con cubierta de parafina y masa extra sumergidos en agua (g).
- Pe = Masa de la masa extra sumergida en agua (g).

Densidad real (método del picnómetro)

La densidad real es la densidad de las partículas sólidas del suelo. Se determina dividiendo el peso del suelo secado a la estufa por el volumen que ocupan los sólidos, y no incluye el volumen ocupado por los poros. Comúnmente se expresa en gr/cm³.

La densidad real se determina obteniendo el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos de la muestra. Eso último se realiza con un aparato denominado picnómetro, y el procedimiento significa la aplicación del principio de Arquímedes. Es decir, determina que volumen de agua desplazan los sólidos al ser sumergidos.

Equipos y materiales especiales

- Picnómetro (25 a 50 mL) o matraz volumétrico con tapa cónica (100 a 1000 mL).
- balanza de precisión con una exactitud de 0,01 g.
- Agua destilada hervida y enfriada a temperatura ambiente.

- Termómetro.
- Bomba de vacío (alternativo: manto calefactor).

Insertar el tapón, desplazando el exceso de agua, secar completamente por fuera y pesar (Pa).

Procedimiento

1.- Pesar un picnómetro (matraz) con su respectivo tapón (Pai), asegurándose que esté limpio, seco y previamente identificado.

Nota: Si el picnómetro (matraz) viene de estufa a 105°C, asegurarse que no exista condensación de agua en su interior.

2.- Agregar aproximadamente 10 g de suelo seco al aire (y tamizado a 2mm si se requiere determinar la densidad real de las partículas finas). Si se usa un matraz volumétrico de 100 cm³, agregar más o menos 50 g de suelo.

Nota: Como criterio, llenar 1/3 del volumen del picnómetro (matraz) con el material a medir.

3.- Limpiar por fuera el picnómetro (matraz) para eliminar residuos de suelo que hayan quedado durante el llenado de éste.

4.- Pesar el picnómetro (matraz), incluido el tapón y su contenido (Ps). En una contra muestra, determinar el contenido de agua del suelo.

5.- Añadir agua destilada hasta aproximadamente la mitad de la capacidad del picnómetro (matraz), haciéndola escurrir por el cuello para arrastrar el suelo adherido internamente a éste.

6.- Remover el aire atrapado colocando el picnómetro (matraz) en una cámara de vacío, o bien conectándolo directamente a la bomba de vacío, agitando suavemente hasta que no existan salidas de burbujas de aire.

Nota: Generar el vacío en forma gradual para prevenir la pérdida de material, hasta alcanzar valores de entre -0,6 y -1,0 atmósfera. El tiempo aproximado de aplicación de vacío es de 5 a 10 minutos, dependiendo del material.

Nota: Como alternativa se puede usar un manto calefactor, con el que se aplica una ebullición suave (5 a 10 minutos), con agitaciones permanentes para prevenir pérdidas de suelo junto con la espuma. Evitar usar ebullición en llama directa, pues se podría eliminar parte de la materia orgánica del suelo o bien se podría depositar sedimentos en el picnómetro (matraz) que impidan su adecuada limpieza posterior.

7.- Aforar el picnómetro (o llenar el matraz) con agua destilada previamente hervida y a temperatura ambiente. Insertar el tapón y asentarlo cuidadosamente, permitiendo que el exceso de agua salga por el capilar de la tapa del picnómetro o por el borde cónico de la tapa del matraz.

Nota: En caso de haber extraído el aire por ebullición, esperar previamente el tiempo necesario hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Nota: Si se usó un matraz y éste no posee una tapa cónica, se puede enrasar a un volumen conocido, pero aumentará el error en la determinación de la densidad real.

8.- Secar cuidadosamente el exterior del picnómetro (matraz) y limpiar con un paño seco, poniendo cuidado que no queden burbujas de aire ni que drene agua desde el capilar de la tapa del picnómetro.

9.- Pesar el picnómetro (matraz) y su contenido (Psa) y determinar la temperatura de la suspensión.

10.- Remover el suelo del picnómetro (matraz), lavándolo en forma enérgica y llenándolo completamente con agua destilada (hervida y a temperatura ambiente).

Cálculos

Calcular la densidad real por el método del picnómetro (*Dr*) según:

$$Dr = \frac{Dw(Ps - Pai)}{(Ps - Pai) - Psa - Pa}$$

Donde:

Dw = Densidad del agua (g cm⁻³) a la temperatura observada.

Ps = Masa del picnómetro con la muestra de suelo corregida por el contenido de agua (g) según Método 2.1.

Pai = Masa del picnómetro lleno de aire (g).

Psa = Masa del picnómetro lleno con suelo y agua (g).

Pa = Masa del picnómetro lleno con agua (g).

La densidad del agua (*Dw*) puede ser obtenida de cualquier libro de variables físicas, sin embargo su valor varía entre 1,000 g cm⁻³ a 5°C hasta 0,997 g cm⁻³ a 25°C, por lo que la determinación de *Dr* en condiciones estándares de laboratorio y el uso de *Dw* = 1,0 g cm⁻³ no generará errores de importancia.

Curva de retención de humedad (método de la membrana y olla de presión)

La curva característica o curva de retención de humedad se define como la relación entre el potencial matricial y el contenido de agua en un suelo. Esta relación expresa, indirectamente, la distribución de los diámetros de los poros en un suelo, ya que la retención capilar depende de su tamaño. El agua en el suelo está retenida por distintas fuerzas que determinan su potencial hídrico, expresado en unidades de presión. Este potencial hídrico, en un suelo insaturado, se compone de:

- Potencial matricial (retención por capilaridad)
- Potencial osmótico (retención por los iones en solución)
- Potencial gravitacional (ejercido por la fuerza de la gravedad)

Debido a que los poros del suelo retienen el agua impidiendo su drenaje, el potencial matricial es negativo. El rango de potenciales matriciales en el que se determina la curva característica va desde 0 kPa (saturación) hasta aproximadamente -106 kPa (suelo seco en estufa). La curva se determina equilibrando una muestra de suelo saturado con una serie de potenciales matriciales conocidos, y midiendo el contenido de agua retenida en cada uno de ellos. Se recomienda utilizar los siguientes potenciales matriciales: -6, -10, -33, -100, -200, -400, -800, -1200, y -1500 kPa.

La curva característica de humedad se utiliza para: 1) determinar la capacidad de retención de agua disponible para las plantas, 2) evaluar cambios en la estructura del suelo, ya sea por compactación, laboreo, adición de materia orgánica, etc.; 3) estimar la distribución del tamaño de poros, y 4) conocer la relación entre el potencial matricial y otras propiedades físicas del suelo.

Materiales

- Olla y membrana de presión (Figura de abajo)
- Platos de cerámica de 100, 300, 500 y 1500 kPa
- Anillos de hule de 1 cm de alto y 5 cm de diámetro
- Anillos de acero inoxidable de 4 cm de alto y 5 cm de diámetro
- Balanza granataria con aproximación de 0.01 gr
- Estufa para secar suelos a 110° C
- Recipientes de aluminio o pesafiltros
- Compresor de aire de 1 a 20 kg cm⁻² con regulador de presión



Membrana y olla de presión de laboratorio para obtener la curva de retención de humedad. Fuente: <https://www.hydrogeophysicsndt.com/laboratorio-de-hidrologia/>

Reactivos

- Alcohol etílico al 95% grado técnico
- Ácido clorhídrico (HCl) 1N. Diluir 83.3 ml de HCl concentrado en 1 L de agua desionizada.
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 10%. Diluir 333 ml de peróxido en 1 L de agua desionizada.

Procedimiento

1. Se colocan por duplicado, anillos de hule en el plato de cerámica, y se llenan con suelo secado al aire y tamizado (2 mm), emparejando la superficie. Es necesario utilizar muestras inalteradas de suelo para los valores de 0 a 100 kPa, debido a que la estructura tiene una función importante en la retención del agua, para lo cual se utilizan anillos de acero inoxidable de 5 cm de Ø y 4 cm de alto. A potenciales menores o más negativos, se utiliza muestra perturbada (secada al aire y tamizada < 2 mm). Se recomienda utilizar una muestra estándar y analizarla por duplicado al mismo tiempo que las muestras problema, con el objetivo de tener un mayor control en la calidad de los resultados.
2. Se coloca el plato poroso en una bandeja de plástico y adicione agua para cubrir el plato de cerámica, teniendo cuidado de no cubrir los anillos con la muestra de suelo. Continúe agregando lentamente agua hasta la completa saturación del suelo (16 a 18 horas). Si las muestras no se humedecen (cuando haya mucha materia orgánica), aplique alcohol etílico a la superficie de la muestra.
3. Se coloca el plato poroso en la olla o membrana de presión, y se aplica aire con incrementos de presión cada 15 minutos hasta llegar a la presión requerida. Cheque la descarga de

agua del tubo de salida. Periódicamente, sumerja el tubo de salida en agua para asegurar que no haya burbujas de aire que indiquen alguna fuga. Las muestras de suelo estarán en equilibrio cuando deje de salir agua por el tubo de salida.

4. Cuando las muestras estén en equilibrio, transfíralas rápidamente a los recipientes de aluminio previamente tarados (M_c), y pese. Anote este peso como M_{s+w}. Antes de quitar la presión de la olla, conviene poner una pinza de presión en el tubo de salida de cada plato, para evitar movimiento del agua hacia las muestras al quitar la presión.
5. Lleve las muestras en los recipientes de aluminio a la estufa y seque a 110° C durante toda la noche. Pese y anote este peso como M_s.

Cálculos

$$H_2O (\%) = 100 (M_{s+w} - M_s) / (M_s - M_c)$$

Donde:

- H₂O % = Contenido de agua gravimétrica
- M_{s+w} = Peso del suelo + agua + recipiente de aluminio
- M_s = Peso del suelo + recipiente de aluminio
- M_c = Peso del recipiente de aluminio

Con los datos de humedad para diferentes potenciales matriciales se puede hacer un gráfico que representa la curva característica de humedad del suelo. Generalmente, el eje de las abscisas corresponde al potencial matricial negativo y, el eje de ordenadas, a los contenidos de humedad.

Capacidad de campo (CC)

Se denomina Capacidad de Campo a la cantidad de agua humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas luego de la lluvia o riego). Buena parte del agua retenida a capacidad de campo puede ser utilizada por las plantas y se encuentra retenida por las partículas del suelo a 0.33 atmósferas (-0.33 bares).

Instrumental:

- 1) Platos o placas de cerámica porosa de 1 bar
- 2) Compresor de 20 bar
- 3) Extractor u olla de bajas presiones.
- 4) Cilindros de 4,7 cm x 3,0 cm de aluminio
- 5) Manómetro
- 6) Reguladores de presión
- 7) Balanza
- 8) estufa de secado (105°C)

Preparación de la muestra:

Enrasar los cilindros, quitando el material sobrante del borde inferior, obteniendo una superficie de apoyo homogénea con el plato poroso.

Procedimiento

- 1) Saturar la placa porosa durante 24 horas en un recipiente con agua destilada.
- 2) Colocar cada muestra sobre papel de filtro. Saturar la muestra con agua destilada para humedecer por capilaridad durante 24 horas como mínimo o hasta que se observe una lámina de agua en la superficie de la muestra.
- 3) Se coloca la placa porosa saturada dentro de la olla.
- 4) Se colocan las muestras saturadas sobre la placa porosa y se cierra la olla.
- 5) Se le aplica una presión de 0.33 bar (correspondientes a capacidad de campo).
- 6) Por la salida de la olla conectada al plato comenzará a drenar el excedente de agua.
- 7) Una vez que finaliza la salida de agua (alrededor de 48 horas), se retiran las muestras y se pesan.
- 8) Se secan las muestras en estufa (105 °C) hasta alcanzar un peso constante y luego se pesan.

Cálculo de CC:

$$\% \text{ Humedad CC} = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Tara}) - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitamiento permanente es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica aunque la humedad ambiental sea saturada. Al llegar a este punto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede *revivir* cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua.

Este punto se estima como el contenido de agua retenida en el suelo tras ser sometido a una tensión de 15 atmósferas (-15 bares).

Instrumental:

- 1) Membrana de Richards (de acetato de celulosa) o plato poroso para 15 bares.
- 2) Extractor de membrana u olla de altas presiones.
- 3) Aros de goma (1 cm de alto x 3 cm de diámetro).
- 4) Compresor de 20 bar
- 5) Manómetro
- 6) Reguladores de presión
- 7) Balanza
- 8) Estufa de secado (105°C)

Procedimiento

- 1) Secar y tamizar las muestras por 2 mm.
- 2) Se coloca la membrana dentro del extractor.
- 3) Se colocan los aros de goma sobre la membrana, se llenan con el suelo y se enrasan.
- 4) Se saturan por 24 horas las muestras sobre la membrana.
- 5) Se cierra y se ajusta con llave de torque.

- 6) Se le aplica una presión de 15 bar, hasta que se detiene el drenaje del extractor (aproximadamente 48 horas).
- 7) Se retiran las muestras de los aros, se coloca el suelo en un recipiente y se pesa.
- 8) Se secan las muestras en estufa (105 °C) hasta alcanzar un peso constante y luego se pesan.

Cálculo de PMP:

$$\% \text{ Humedad PMP} = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Tara}) - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Materia orgánica (método de Walkley y Black)

La materia orgánica (o material orgánico, material orgánico natural o MO) es materia elaborada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural. La materia orgánica está formada por materia inerte y energía. Las estructuras básicas están formadas de celulosa, tanino, cutina, y lignina, junto con varias otras proteínas, lípidos, y azúcares. Es muy importante en el movimiento de nutrientes en el medio ambiente y juega un rol en la retención del agua en la superficie del suelo.

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe³⁺ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa.

1. Dicromato de potasio 0.166 M o 1N.- Disolver 48.82 g de K₂Cr₂O₇ en agua destilada aforar a 1000 ml en un matraz volumétrico.
2. Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄).
3. Ácido fosfórico concentrado (H₃PO₄).
4. Indicador de difenilamina. Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 ml de agua y añadir 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
5. Sulfato ferroso 1.0 M (aproximadamente). Disolver 278 g de FeSO₄ agua a la que previamente se le añadieron 80 ml de H₂SO₄ concentrado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución debe ser valorada con K₂Cr₂O₇ 1 N antes de realizar la determinación.

Material

- Matraces Erlenmeyer de 500 ml.

- Bureta para $K_2Cr_2O_7$ (50 ml).
- Bureta para $FeSO_4$ (50 ml).
- Pipeta volumétrica (10 ml).
- Probeta de vidrio (25 ml).

Procedimiento

- Pesar 0.5 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Procesar un blanco con reactivos por triplicado.
- Adicionar exactamente 10 ml de dicromato de potasio girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo.
- Agregar cuidadosamente con una bureta 20 ml de H_2SO_4 concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto.
- Dejar reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento.
- Añadir 200 ml de agua destilada.
- Añadir 5 ml de H_3PO_4 concentrado.
- Adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina.
- Titular con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

Cálculos

El porcentaje de materia orgánica de una muestra de suelo se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = \left(\frac{B-T}{g} \right) (N) (0.39) mcf$$

Donde:

- B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).
 T = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).
 N = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).
 g = Peso de la muestra empleada (g).
 mcf = factor de corrección de humedad.

% Materia orgánica = % C Orgánico x 1.724

Observaciones

Si al añadir el dicromato de potasio al suelo la solución se torna verdosa o si se gastan menos de dos ml de sulfato ferroso al titular la muestra, se debe reducir el peso de la muestra a la mitad.

El factor 0.39 resulta de multiplicar:

$$\frac{12}{4000} \times \frac{1}{0.77} \times 100 = 0.39$$

Donde:

- $\frac{12}{4000}$ = es el peso miliequivalente del C.
 $\frac{1}{0.77}$ = es un factor de corrección debido a que se supone que el método sólo oxida 77% del C.
 100 = es la conversión a porcentaje.

En la mayoría de los laboratorios se sigue usando el factor de Van Benmelen de 1.724 para estimar la M.O. a partir de C orgánico, el cual resulta de la suposición de que la M.O. contiene un 58% de C, es decir: $\frac{1}{0.58} = 1.724$

Alternativamente puede emplearse una solución de sulfato ferroso amónico 0.5N pesar 196.1 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 2.6H_2O$, disolverlos en 800 ml de agua destilada con 20 ml de H_2SO_4 concentrado y diluir a 1 L.

Se ha reportado que los cloruros reaccionan con el dicromato en este método. Se ha propuesto que su efecto sea corregido mediante:

$$C_c = C - \frac{CL}{12}$$

Donde:

- C_c = Contenido de C orgánico en el suelo en porcentaje.
 C = Contenido de C orgánico determinado por el método en porcentaje.
 CL^- = Contenido de cloruros en el suelo en porcentaje
 alternativamente, también se ha recomendado separar los cloruros por lavado o eliminar su efecto mediante la adición de 25 g de sulfato de plata por cada litro de ácido sulfúrico concentrado.

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos se presenta en la Tabla __.

Tabla. Clases de valores de materia orgánica para suelos minerales y volcánicos.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16.0	3.6 – 6.0
Muy alto	>16.1	> 6.0

pH (método del potenciómetro)

El pH del suelo es una medida de la **acidez o alcalinidad** en los **suelos**. El pH se define como el **logaritmo** (base 10) negativo de la **actividad** de los iones hidronio (H^+ o, más precisamente, $H_3O^+_{aq}$) en una **solución**. El índice varía de 1 a 14, siendo 7 neutro. Un pH por debajo de 7 es **ácido** y por encima de 7 es **básico (alcalino)**.

El pH del suelo es considerado como una de las principales variables en los suelos, ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los **nutrientes de las plantas**, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes. El rango de pH óptimo para la mayoría de las **plantas** oscila entre 5,5 y 7,0,¹ sin embargo muchas plantas se han adaptado para crecer a valores de pH fuera de este rango.

Para medir el pH, se mezclan muestras de suelo seco con agua destilada hasta que el suelo y el líquido estén en equilibrio para poder medir el pH con precisión. Para este protocolo se utiliza una

solución de suelo/agua en relación 1:1, porque esto sería lo más similar a un método estándar para mediciones profesionales de pH.

Si se utiliza un pH-metro para medir el pH, hay que asegurarse de que el aparato está funcionando correctamente.

Mezclar en un vaso de precipitados 40 g de suelo seco tamizado, con 40 ml de agua destilada (u otra cantidad en proporción de suelo y agua 1:1). Para manipular el suelo utilizar una cuchara u otro utensilio.

Remover bien la mezcla suelo/agua con una cuchara u otro utensilio. Remover la mezcla durante 30 segundos y dejar reposar tres minutos. Repetir este proceso cinco veces. Después dejar que la muestra vaya decantando hasta que se forme un sobrena-

dante (líquido claro sobre el suelo depositado), alrededor de cinco minutos.

Medir el pH del sobrenadante utilizando un pH-metro o potenciómetro. Introducir el pH-metro calibrado en el sobrenadante. Registrar el valor de pH en la Hoja de Datos de pH del Suelo. Para calibrar el pH-metro se deberán utilizar guantes.

En algunas muestras de suelo, especialmente en aquellas ricas en arcilla, el suelo en el agua no se decantará después de mezclarlo y no se formará un sobrenadante. En estos casos, después de mezclarlo rigurosamente siguiendo el protocolo, hay que colocar el pH-metro en la parte superior de la suspensión suelo/líquido y tomar la lectura de la medición.

Índice Tablas

Tabla 4.1.	Principales cuencas hidrológicas del Estado de México y Disponibilidad de agua (DOF, 2016)	11
Tabla 4.2.	Presas más importantes en el Estado de México.	16
Tabla 4.3.	Disponibilidad de agua subterránea en el Estado de México (DOF, 2018)	17
Tabla 4.4.	Diferentes coberturas forestales en el Estado de México.	17
Tabla 4.5.	Definición de las condiciones de escurrimiento antecedente usados por el código SWB.	18
Tabla 4.6.	Datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB	20
Tabla 5.1.	Caracterización de usos de suelo para el modelo SWB.	25
Tabla 5.2.	Caracterización de usos de suelo en zonas escarpadas para el modelo SWB.	26
Tabla 5.3.	Información general de cada sitio del perfil de suelo.	30
Tabla 5.4.	Información general de los perfiles de suelo del Continuo Nacional Serie II de INEGI.	31
Tabla 5.5.	Datos finales de conductividad hidráulica no saturada (Martínez, 2015).	36
Tabla 5.6.	Resultados obtenidos de conductividad hidráulica no saturada con permeámetro de disco en la Delegación Atlacomulco, Estado de México.	36
Tabla 5.7.	Clasificación de la permeabilidad y la conductividad hidráulica (KS) de acuerdo a la tasa de infiltración (cm/h).	39
Tabla 5.8.	Información general y tasas de permeabilidad inicial y final de cada sitio.	42
Tabla 5.9.	Resultados de Ks (conductividad hidráulica, cm/h) obtenidos en laboratorio a partir de muestras de suelo obtenidas de los sitios ubicados en áreas de PSAHEM.	46
Tabla 5.10.	Valores medios de Ks (conductividad hidráulica, cm/h) y de permeabilidad (cm/h) por tipo de uso de suelo y vegetación de las áreas de PSAHEM.	48
Tabla 5.11.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de los perfiles de suelo de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	49
Tabla 5.12.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Andosoles húmicos (Th) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	57
Tabla 5.13.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Andosoles mólicos (Tm) y ócricos (To) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	59
Tabla 5.14.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Cambisoles crómico (Bc), dístrico (Bd), éutrico (Be) y húmico (Bh) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	61
Tabla 5.15.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Feozem háplico (Hh) y lúvico (Hl) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	63
Tabla 5.16.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Litosoles (l) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	64
Tabla 5.17.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Luvisoles crómico (Lc) y férrico (Lf) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	65
Tabla 5.18.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Luvisoles crómico (Lc) y férrico (Lf) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	67
Tabla 5.19.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Regosoles éutrico (Re) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	68
Tabla 5.20.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Rendzinas (E) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	69
Tabla 5.21.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Vertisoles pélico (Vp) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	70
Tabla 5.22.	Resultados de los análisis físicos de las muestras de suelo, de las pruebas de permeabilidad e información general de los perfiles de suelo realizados en Acrisol órtico (Ao) de las áreas de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM).	71
Tabla 5.23.	Unidades de suelo y superficie (ha) del Estado de México.	74
Tabla 5.24.	Unidad de suelo principal y superficie (ha) del Estado de México.	74
Tabla 5.25.	Grupos de suelo (WRB, 2015) del Estado de México.	74
Tabla 5.26.	Grupos de suelo (WRB, 2015) presentes en las áreas de PSAHEM del Estado de México.	75
Tabla 5.27.	Unidades de suelo y superficie que ocupan en la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE.	76
Tabla 5.28.	Capacidad de agua disponible para varios grupos texturales de suelo.	76
Tabla 5.29.	Porcentaje de pertenencia de los acuíferos del Estado de México	77
Tabla 5.30.	Cuencas Hidrológica	77
Tabla 5.31.	Volumen de escurrimiento para la Cuenca Balsas utilizado para la calibración.	82
Tabla 5.32.	Ejemplo del archivo de control de diseño del modelo SWB para la cuenca Balsas del Estado de México.	83
Tabla 5.33.	Número de curva asociada a las diferentes coberturas vegetales y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.	83
Tabla 5.34.	Recarga máxima asociada a las diferentes coberturas vegetales y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.	84
Tabla 5.35.	Espesores efectivo de raíces asociados a tipo de cobertura vegetal y grupo de suelo hidrológico del modelo SWB.	84
Tabla 5.36.	Volumen de recarga potencial estimada para las poligonales con PSAHEM ubicadas en las cuencas Lerma y Balsas del Estado de México.	84
Tabla 5.37.	Volumen estimado de la recarga potencial en las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México para los años 2008, 2015 y 2018.	89

Índice Figuras

Figura 1.1.	Elementos de Seguridad del Agua https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441 .	5
Figura 4.1.	Ubicación de la zona de estudio	11
Figura 4.2.	División municipal de la zona de estudio.	11
Figura 4.3.	Provincias fisiográficas en la zona de estudio Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de la Base de Datos Geográficos de INEGI	12
Figura 4.4.	Topoformas presentes en la zona de estudio Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de la Base de Datos Geográficos de INEGI	12
Figura 4.5.	Climas en la zona de estudio. Fuente: Elaborado por el IMTA, con información del IGCEM (1993)	12
Figura 4.6.	Precipitación normal (1981-2010) en la zona de estudio Fuente: Elaborado por el IMTA, con información de Conagua	13
Figura 4.7.	Temperatura media anual en la zona de estudio Fuente: Cuervo-Robayo, A. P., et al., (2014). 'Temperatura media anual en México (1910-2009)', modificado por CONABIO (2015)	13
Figura 4.8.	Temperaturas Mínimas promedio en la zona de estudio Fuente: García, E. - CONABIO, (1998). 'Temperatura mínima promedio'. Escala 1:1000000.México	13
Figura 4.9.	Temperaturas Mínimas promedio en la zona de estudio Fuente: García, E. - CONABIO, (1998). 'Temperatura mínima promedio'. Escala 1:1000000.México	14
Figura 4.10.	Unidades Hidrogeológicas en la zona de estudio Fuente: Marín-C, S y Torres- Ruata, C. (1990), 'Hidrogeología'. IV. 6. 3. Atlas Nacional de México. Vol. II Instituto de Geografía, UNAM	14
Figura 4.11.	Clases de Rocas en la zona de estudio. Fuente: Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI	14
Figura 4.12.	Ubicación de fallas, fracturas y Volcanes en la zona de estudio. Fuente: Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI	15
Figura 4.13.	Regiones y Subregiones hidrológicas en la zona de estudio	15
Figura 4.14.	Figura 4.14 Regiones hidrológico –Administrativas de Conagua en la zona de estudio. Fuente: Geodatabase de Conagua (2015).	16
Figura 4.15.	Cuencas hidrológicas en la zona de estudio y su disponibilidad. Fuente: Conagua, Subdirección General Técnica (2017)	16
Figura 4.16.	Principales presas, cuerpos de agua naturales y red hidrográfica estatal Fuente: Conagua, Subdirección General Técnica	17
Figura 4.17.	Acuíferos en la zona de estudio y disponibilidad de agua subterránea. Fuente: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas (2018).	18
Figura 4.18.	Distribución de las superficies con PSAHEM en el Estado de México. Fuente: PROBOSQUE	18
Figura 4.19.	Esquema de la relación entre cada uno de los datos que se requieren para la aplicación del modelo SWB (USGS, 2010).	21
Figura 5.1.	Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2010 (PROBOSQUE)	23
Figura 5.2.	Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014 (PROBOSQUE)	23
Figura 5.3.	Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2010 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI, 2013.	24
Figura 5.4.	Inventario de usos de suelo del Estado de México para el año 2014 complementado con los usos de suelo publicados por el INEGI, 2016.	24
Figura 5.5.	Datos de usos de suelo del año 2010 de la cuenca Balsas en el Estado de México para entrada del modelo SWB.	24
Figura 5.6.	Datos de usos de suelo del año 2010 de la cuenca Lerma en el Estado de México para entrada del modelo SWB.	24
Figura 5.7.	Datos de usos de suelo del año 2014 de la cuenca Balsas en el Estado de México para entrada del modelo SWB.	25
Figura 5.8.	Datos de usos de suelo del año 2014 de la cuenca Lerma en el Estado de México para entrada del modelo SWB.	25
Figura 5.9.	Definición de las direcciones de flujo.	26
Figura 5.10.	Ráster obtenido de direcciones de flujo, Región Lerma, Estado México. Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.	26
Figura 5.11.	Modelo Digital de Elevación para la zona del Estado de México, ALOS PALSAR. Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.	27
Figura 5.12.	Ráster obtenido de direcciones de flujo, Región Balsas, Estado México. Fuente: elaborado por IMTA con material de © JAXA/METI 2019.	27
Figura 5.13.	Ubicación de estaciones climáticas convencionales (CLICOM).	27
Figura 5.14.	Lámina de precipitación media anual en el Estado de México.	28
Figura 5.15.	Superposición de información en formato NetCDF.	28
Figura 5.16.	Ubicación de sitios donde se realizaron perfiles de suelo en áreas de PSAHEM. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	29
Figura 5.17.	Ubicación de sitios de perfiles de suelo de INEGI. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	30
Figura 5.18.	Ubicación de todos los sitios de perfiles de suelo. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	30
Figura 5.19.	Recorridos de campo para verificación de unidad de suelo y uso de suelo y vegetación para la ubicación final de sitios para perfiles de suelo.	32
Figura 5.20.	Tipos de pozos edafológicos excavados donde se realizaron perfiles de suelo.	32
Figura 5.21.	Formato de campo que se utilizó para el registro de información de la descripción del perfil del suelo.	33
Figura 5.22.	Registro de información general y de las condiciones ambientales del sitio y finamiento de la cara del perfil del suelo que se describirá.	33
Figura 5.23.	Determinación de la estructura del suelo y pruebas reactivas al HCl y H2O2.	33
Figura 5.24.	Determinación de la textura al tacto y toma de muestras de suelo de cada capa u horizonte.	34
Figura 5.25.	Gráfico de tasa de infiltración para el bosque de ribera (Martínez, 2015).	36
Figura 5.26.	Gráfico de la tasa de infiltración que se obtuvo para el sitio 14 del Estado de México.	36
Figura 5.27.	Esquema de la prueba de infiltración con doble anillo (Alvarado y Barahona, 2017).	36
Figura 5.28.	Curvas tipo de infiltración que se obtendrán en campo de acuerdo con la condición del suelo seco o húmedo que se obtienen con el método del doble anillo. Fuente: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf	37
Figura 5.29.	Trabajos de campo durante la realización de una prueba de permeabilidad.	37
Figura 5.30.	Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19.	38
Figura 5.31.	Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Horton.	39
Figura 5.32.	Tasa de permeabilidad (cm/h) del Sitio 19 ajustada con Kostiaikov.	39
Figura 5.33.	Permeámetro de carga constante para determinar la conductividad hidráulica a saturación en laboratorio.	45

Figura 5.34.	Esquema del funcionamiento de un permeámetro de carga contante para determinar la permeabilidad (conductividad hidráulica) de los suelos Fuente: http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-8/	45
Figura 5.35.	Determinación de la textura al tacto y toma de muestras de suelo de cada capa u horizonte.	46
Figura 5.36.	Toma de muestras de suelo para determinar permeabilidad en laboratorio.	46
Figura 5.37.	Toma de muestras de los perfiles de suelo para realizar análisis físico en laboratorio.	48
Figura 5.38.	Actividades que se realizaron en el laboratorio para los análisis físicos a las muestras de suelo.	49
Figura 5.39.	Actividades que se realizaron en el laboratorio para los análisis físicos a las muestras de suelo.	56
Figura 5.40.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.	58
Figura 5.41.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.	58
Figura 5.42.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.	58
Figura 5.43.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol húmico.	58
Figura 5.44.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.	60
Figura 5.45.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.	60
Figura 5.46.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.	60
Figura 5.47.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelo Andosol mólico y ócrico.	60
Figura 5.48.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Cambisoles.	61
Figura 5.49.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Cambisoles.	61
Figura 5.50.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Cambisoles.	62
Figura 5.51.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Cambisoles.	62
Figura 5.52.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.	63
Figura 5.53.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.	63
Figura 5.54.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.	63
Figura 5.55.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Feozem.	64
Figura 5.56.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Litosol.	64
Figura 5.57.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Litosol.	65
Figura 5.58.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Litosol.	65
Figura 5.59.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Litosol.	65
Figura 5.60.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Luvisol.	66
Figura 5.61.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Luvisol.	66
Figura 5.62.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Luvisol.	66
Figura 5.63.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Luvisol.	66
Figura 5.64.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Planosol.	67
Figura 5.65.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Planosol.	67
Figura 5.66.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Planosol.	67
Figura 5.67.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Planosol.	67
Figura 5.68.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.	68
Figura 5.69.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.	68
Figura 5.70.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Regosol.	68
Figura 5.71.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Regosol.	69
Figura 5.72.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.	69
Figura 5.73.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.	69
Figura 5.74.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Rendzina.	70
Figura 5.75.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Rendzina.	70
Figura 5.76.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.	70
Figura 5.77.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.	71
Figura 5.78.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Vertisoles.	71
Figura 5.79.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Vertisoles.	71
Figura 5.80.	Valores de densidad aparente (t/m ³) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.	72
Figura 5.81.	Valores de materia orgánica (%) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.	72
Figura 5.82.	Valores de tasa de infiltración final (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelos Acrisoles.	72
Figura 5.83.	Valores de conductividad hidráulica (cm/h) de diversos tipos de vegetación y uso de suelo para suelos Acrisoles.	72
Figura 5.84.	Relación de cartas edafológicas en escala 1:50,000 que se obtuvieron del portal de INEGI que cubren el Estado de México. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	73
Figura 5.85.	Mosaico de cartas edafológicas de INEGI que cubren el Estado de México. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	73
Figura 5.86.	Muestra del proceso de digitalización de los polígonos que conforman las diferentes unidades de suelo de una carta edafológica. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	73
Figura 5.87.	Tabla de atributos de información que se integró a cada polígono de las unidades de suelo que se digitalizaron.	74
Figura 5.88.	Mapa de unidades de suelo escala 1:50,000 del Estado de México. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	75
Figura 5.89.	Mapa de unidades de suelo (WRB, 2015) escala 1:250,000 del Estado de México. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	75
Figura 5.90.	Mapa de unidades de suelo de la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	76
Figura 5.91.	Unidades de suelo que se ubican en predios beneficiados con el Programa de PSAHEM de la Delegación VII Valle de Bravo de PROBOSQUE. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	76
Figura 5.92.	Composición volumétrica del suelo.	77
Figura 5.93.	Mapa de capacidad de agua disponible en los suelos del Estado de México. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de INEGI.	78
Figura 5.94.	Acuíferos correspondientes administrativamente en el Estado de México	79
Figura 5.95.	Esquema de un sistema de flujo. (Tóth, 1999).	79
Figura 5.96.	Sistemas de flujo en las inmediaciones de la Sierra de Zoquiapan (Edo. de México y Tlaxcala).	79
Figura 5.97.	Elevación del nivel estático del Acuífero Tenancingo (Conagua, 2015)	80
Figura 5.98.	Sección hidrogeológica regional Tlaxcala-Michoacán. Elaboración propia.	80
Figura 5.99.	Pozos de extracción de agua subterránea del Estado de México (Conagua, REPGA 2016).	81
Figura 5.100.	Localización de las zonas de almacenamiento/descarga de los acuíferos del Edo de México y estados circundantes.	81
Figura 5.101.	Localización de las principales zonas de recarga de los acuíferos del Edo de México y estados circundantes.	82
Figura 5.102.	Principales direcciones de la recarga hacia estados circundantes.	82
Figura 5.103.	Zonas de influencia de la recarga de agua subterránea en el Estado de México.	82
Figura 5.104.	Localización de las subcuencas hidrológicas de la cuenca Balsas en el Estado de México.	83
Figura 5.105.	Precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.	85
Figura 5.106.	Precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.	85
Figura 5.107.	Precipitación acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.	85
Figura 5.108.	Precipitación acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.	86
Figura 5.109.	Precipitación acumulada anual del año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.	86
Figura 5.110.	Precipitación acumulada anual del año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.	86
Figura 5.111.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.	87
Figura 5.112.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.	87
Figura 5.113.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.	87
Figura 5.114.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.	88
Figura 5.115.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.	88
Figura 5.116.	Lámina de recarga potencial acumulada anual del año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.	88
Figura 5.117.	Gráfico representativo de los volúmenes de recarga potencial estimados para las cuencas Balsas y Lerma del Estado de México.	89

Figura 5.118.	Lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.	90
Figura 5.119.	Lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.	90
Figura 5.120.	Lámina de escurrimiento para el año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.	90
Figura 5.121.	Lámina de escurrimiento para el año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.	91
Figura 5.122.	Lámina de escurrimiento para el año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.	91
Figura 5.123.	Lámina de escurrimiento para el año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.	91
Figura 5.124.	Lámina de evapotranspiración para el año 2008 en la cuenca Balsas, Estado de México.	92
Figura 5.125.	Lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Balsas, Estado de México.	92
Figura 5.126.	Lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Balsas, Estado de México.	92
Figura 5.127.	Lámina de evapotranspiración para el año 2008 en la cuenca Lerma, Estado de México.	92
Figura 5.128.	Lámina de evapotranspiración para el año 2015 en la cuenca Lerma, Estado de México.	93
Figura 5.129.	Lámina de evapotranspiración para el año 2018 en la cuenca Lerma, Estado de México.	93