

---

# **CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y CONTROL ESPACIAL POR MEDIO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA; CASO VALLE DE QUERÉTARO**

Alfonso Alvarez-Manilla Aceves  
Guadalupe E. Itandehui Martínez Peña  
Alfonso Pérez Salazar  
Juan Carlos Vázquez Paulino

**Publicación Técnica No. 203  
Sanfandila, Qro, 2002**



---

---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Caracterización de suelos y control espacial por medio de los  
Sistemas de Información Geográfica; Caso Valle de Querétaro.**

**Publicación Técnica No. 203**  
**Sanfandila, Qro, 2002**



# Presentación

---

Invariablemente cuando se hace el trazo de cualquier vía terrestre, los materiales geológicos a remover y cortar son de una gran variedad; pueden ser naturales en los promontorios, o suelos producto de la alteración química o degradación mecánica. De acuerdo a las características de estos materiales geológicos, las vías terrestres tendrán que ser rehabilitadas.

Reflexionado acerca de estos tópicos, el Documento Técnico que se presenta a continuación fue una ardua labor para poder establecer una metodología en la caracterización de los suelos de una región desde el punto de vista ingenieril, empleando como control espacial los sistemas de información geográfica.

La investigación aplicada fue desarrollada por los Investigadores Alfonso Alvarez Manilla Aceves y Guadalupe Evangelina Itandehui Martínez Peña; los ensayos de laboratorio fueron coordinados por Alfonso Pérez Salazar y el laboratorista Miguel Ángel Cervantes Nieto; la asesoría y enseñanza de los sistemas de información geográfica fue impartida por Juan Carlos Vázquez Paulino, mientras que Miguel Ángel Backhoff Pohls y María Gabriela García Ortega del área de Unidad de Sistemas de Información Espacial brindaron importantes comentarios.

---



# Índice

---

|                                                                     |              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| Índice de figuras.                                                  | IV           |
| Índice de tablas.                                                   | VIII         |
| Resumen.                                                            | XI           |
| Abstract.                                                           | XIII         |
| Resumen ejecutivo.                                                  | XV           |
| <br>Introducción.                                                   | <br>1        |
| <br><b>CAPÍTULO 1      Geología General del Valle de Querétaro.</b> | <br><b>3</b> |
| 1.1      Geología general del Valle de Querétaro.                   | 3            |
| 1.2      Columna estratigráfica.                                    | 4            |
| 1.3      Secciones estructurales.                                   | 6            |
| <br><b>CAPÍTULO 2      Geomorfología.</b>                           | <br><b>9</b> |
| 2.1      Características geomorfológicas principales.               | 9            |
| 2.1.1 Paisaje tectónico.                                            | 9            |
| 2.1.2 Mesetas.                                                      | 10           |
| 2.1.3 Laderas, Pendientes.                                          | 11           |
| 2.1.4 Retrocesos.                                                   | 12           |
| 2.1.5 Fluviales.                                                    | 13           |
| 2.1.6 Ambientes de Lago.                                            | 14           |

|                   |                                                                                                                                                                              |           |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 3</b> | <b>Los suelos del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, algunas características mecánicas y clasificación.</b>                                                            | <b>19</b> |
| 3.1               | Sectores de Mesetas.                                                                                                                                                         | 19        |
| 3.2               | Sectores de Laderas.                                                                                                                                                         | 24        |
| 3.3               | Sector del Valle o Peniplana.                                                                                                                                                | 32        |
| 3.3.1             | Sector Peniplano.                                                                                                                                                            | 36        |
| 3.4               | Zona de los Arroyos.                                                                                                                                                         | 39        |
| 3.5               | Zonas con suelos especiales.                                                                                                                                                 | 40        |
| <br>              |                                                                                                                                                                              |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> | <b>Metodología para la Carta de Suelos del Valle de Querétaro desde el punto de vista ingeniería civil, control espacial mediante los sistemas de Información Geográfica</b> | <b>45</b> |
| 4.1               | Selección de los sitios de muestreo.                                                                                                                                         | 45        |
| 4.2               | Medición de las coordenadas geográficas.                                                                                                                                     | 46        |
| 4.3               | Toma de muestras.                                                                                                                                                            | 46        |
| 4.4               | Análisis físicos y químicos.                                                                                                                                                 | 46        |
| 4.5               | Atributos de los sitios de interés.                                                                                                                                          | 47        |
| 4.6               | Construcción de Mapas mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG).                                                                                                 | 47        |
| 4.6.1             | Suelos Residuales en partes altas (Ira).                                                                                                                                     | 47        |
| 4.6.2             | Suelos Residuales en las Laderas (Irl).                                                                                                                                      | 47        |
| 4.6.3             | Suelos del tipo Coluvión (IrCo).                                                                                                                                             | 48        |
| 4.6.4             | Suelos en la Zona Peniplana (Ipp).                                                                                                                                           | 48        |
| 4.6.5             | Suelos del tipo Fluvial en Ladera (Illla).                                                                                                                                   | 48        |
| 4.6.6             | Suelos del tipo Fluvial en Arroyos (Illary).                                                                                                                                 | 48        |
| 4.6.7             | Suelos del tipo Aluvial y Lacustre (IV).                                                                                                                                     | 48        |
| 4.6.8             | Suelos del tipo Antropogénico (V).                                                                                                                                           | 48        |



Conclusiones y recomendaciones. 51

Bibliografía. 53



## Índice de figuras

---

|                   |                                                                                                               |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1</b> | Mapa geológico, después de Salas C., J.L., Alvarez Manilla A., Fernández H. F., García B. J. Y Yáñez C., 1986 | 4  |
| <b>Figura 1.2</b> | Columna estratigráfica.                                                                                       | 5  |
| <b>Figura 1.3</b> | Sección estructural N-S.                                                                                      | 6  |
| <b>Figura 1.4</b> | Sección estructural E-W.                                                                                      | 6  |
| <b>Figura 2.1</b> | Imagen de satélite y lineamientos tectónicos.                                                                 | 10 |
| <b>Figura 2.2</b> | Monoclinal Este, Aeropuerto.                                                                                  | 10 |
| <b>Figura 2.3</b> | Monoclinal Oeste, Huertas La Joya.                                                                            | 11 |
| <b>Figura 2.4</b> | Vertiente Oriente, Valle y Zona Metropolitana de Querétaro.                                                   | 11 |
| <b>Figura 2.5</b> | Evolución de una vertiente.                                                                                   | 12 |
| <b>Figura 2.6</b> | Estadios del ciclo erosivo. Ladera Centro, San Pablo.                                                         | 12 |
| <b>Figura 2.7</b> | Estadios del sector San Pablo.                                                                                | 12 |
| <b>Figura 2.8</b> | Estadios del escarpe Oriente del Valle de Querétaro.                                                          | 13 |
| <b>Figura 2.9</b> | Terracillas.                                                                                                  | 13 |

|                    |                                                                          |    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.10</b> | Terracillas en la “Microfosa Menchaca”.                                  | 14 |
| <b>Figura 2.11</b> | Esquema de una Penillanura.                                              | 14 |
| <b>Figura 2.12</b> | Penillanuras de la Zona Metropolitana Antigua y del Valle de Querétaro.  | 15 |
| <b>Figura 2.13</b> | Tipos de drenaje: dentrítico, enrejado, rectangular, radial y mixto.     | 16 |
| <b>Figura 2.14</b> | Ríos, arroyos y cuerpos de agua del Valle de Querétaro.                  | 17 |
| <b>Figura 2.15</b> | Depósitos tipo lacustre Zona Poniente del Valle de Querétaro.            | 18 |
| <b>Figura 3.1</b>  | Estratigrafía de la Meseta Centro-Nororiente.                            | 20 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Estratigrafía de la Meseta Centro-Norte.                                 | 20 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Estratigrafía de la Meseta Norponiente.                                  | 21 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Meseta Oriente, el cuerpo de intrusión.                                  | 21 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Suelos residuales, estratigrafía en la Meseta Poniente (Huertas La Joya) | 22 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Meseta de Arbor Acres, región Centro-Norte.                              | 23 |
| <b>Figura 3.7</b>  | Meseta Sur, colonia Reforma Agraria.                                     | 24 |
| <b>Figura 3.8</b>  | Ladera de Huertas La Joya y su estratigrafía.                            | 25 |
| <b>Figura 3.9</b>  | Ladera Sur del Valle, Luis Vega y Monroy.                                | 26 |

|                    |                                                                                                                         |    |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 3.10</b> | Colonia Candiles y suelo potencialmente colapsable                                                                      | 27 |
| <b>Figura 3.11</b> | Estratigrafía en Cerrito Colorado.                                                                                      | 28 |
| <b>Figura 3.12</b> | Estratigrafía de la vertiente Norte del Volcán Cimatario.                                                               | 29 |
| <b>Figura 3.13</b> | San Pedrito Peñuelas, estratigrafía en suelos colapsables.                                                              | 29 |
| <b>Figura 3.14</b> | Colapso en una prueba de compresibilidad, suelos de San Pedrito Peñuelas.                                               | 30 |
| <b>Figura 3.15</b> | Estratigrafía de la Ladera Norte entrada a la “Microfosa Menchaca”.                                                     | 30 |
| <b>Figura 3.16</b> | Corte para alojar la cimentación de una casa en la Ladera Oriente, Arboledas.                                           | 31 |
| <b>Figura 3.17</b> | Ladera al Norte de la colonia Los Olivos, contacto vertical entre dos materiales geológicos diferentes.                 | 32 |
| <b>Figura 3.18</b> | Estratigrafía y curvas granulométricas para suelos del Valle de Querétaro.                                              | 33 |
| <b>Figura 3.19</b> | Deformación por hundimiento debido a la sobreexplotación del acuífero en los suelos del valle, carretera a Tlacote km 6 | 31 |
| <b>Figura 3.20</b> | Grieta de tensión “Tlacote-Las Adjuntas-La Negreta” en los suelos del Valle de Querétaro.                               | 34 |
| <b>Figura 3.21</b> | Estratigrafía y curva granulométrica Sector Centro-Norte del Valle de Querétaro.                                        | 35 |
| <b>Figura 3.22</b> | Promontorio y estratigrafía en la Zona Peniplana de Santiago de Querétaro.                                              | 36 |

|                    |                                                                              |    |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 3.23</b> | Estratigrafía en el sector de Plaza de las Américas, Zona Peniplana.         | 37 |
| <b>Figura 3.24</b> | Límite Norte de la Zona Peniplana y su estratigrafía.                        | 38 |
| <b>Figura 3.25</b> | Estratigrafía del paso deprimido al Nororiente de la Zona Peniplana.         | 38 |
| <b>Figura 3.26</b> | Estratigrafía en un arroyo cercano al poblado de Tlacote.                    | 39 |
| <b>Figura 3.27</b> | Arroyo Pedro de Mendoza en la “Microfosa Menchaca”.                          | 40 |
| <b>Figura 3.28</b> | Suelos residual cuya roca madre es de precipitación química                  | 40 |
| <b>Figura 3.29</b> | Antiguo banco de material relleno de suelos antropogénicos.                  | 41 |
| <b>Figura 3.30</b> | Banco de relleno con suelos antropogénicos y la construcción de un inmueble. | 41 |
| <b>Figura 3.31</b> | Fotografía aérea del banco “El Paraíso”, en la Zona Geotécnica Rocosa.       | 42 |
| <b>Figura 3.32</b> | Perfil mostrando el relleno y las casas erigidas.                            | 42 |
| <b>Figura 3.33</b> | Gráfica tiempo distancia obtenidas sobre suelos antropogénicos.              | 43 |
| <b>Figura 4.1</b>  | Expresión para la transformación Coordenadas Geográficas a la Proyección.    | 46 |
| <b>Figura 4.2</b>  | Mapa de Suelos del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro.                  | 49 |

## Índice de tablas

---

|                  |                              |    |
|------------------|------------------------------|----|
| <b>Tabla 3.1</b> | Módulos elásticos dinámicos. | 43 |
|------------------|------------------------------|----|





## Resumen

---

Las Carreteras y vías de ferrocarril atraviesan diversas provincias fisiográficas, cada una de ellas se caracteriza por un determinado tipo de materiales geológicos, que generan los suelos, ya sea por desintegración mecánica o degradación química y algunos de ellos constituyen un reto para el diseño de las cimentaciones.

Mediante el muestreo de los sitios de interés y el control espacial utilizando los sistemas de información geográfica es posible prevenir de las zonas a considerar riesgosas al constructor, así como programar trabajos de conservación de los tramos que necesitan trato especial.

A pesar de que el trabajo de campo es intenso, principalmente para la recolección de datos, suelos, geología, etc., los sistemas de información geográfica permiten identificar de manera rápida las zonas con alguna característica de particular interés.



## Abstract

---

Highways and railroads go across a great variety of soils which, some times, have strangers mechanical properties that produce fault the infrastructure. The soils becomes in a challenge for the engineering foundation owing to these characteristics.

In a project, a staff could go in advance taking some data in geology, soil type, rocks characteristics, and the geography coordinates using the Global Positioning. Depending the scale, these data are changed to UTM projection and added to some software like Arcview, allowing the user knows the stratification, potency of each layer, distribution of the geologically unit, proper index, gradation, mechanical characteristics, etc.,

The use of GIS let the engineer map difficult soils, stream lines, water superficial bodies, measuring soils extension, talus slopes, etc., and know how to treat them in foundation or like a construction material.



## Resumen ejecutivo

---

Se ha desarrollado una sencilla metodología para identificar suelos difíciles a lo largo de la red carretera y vías de ferrocarril en la infraestructura del transporte; primeramente se hace un recorrido donde se identifican los tipos de roca, su posición en la columna estratigráfica y la lectura de las coordenadas geográficas utilizando los Global Positioning System (GPS).

En las notas de campo se establecen las condiciones geomorfológicas que, asociadas a las características geológicas de los materiales en campo, permiten reconocer de manera inmediata el tipo de suelo que se ha de considerar; ya sea residual, transportado, del tipo lacustre, fluvial, o identificar algún riesgo geológico o geotécnico potencial.

Con toda la información recopilada en campo se forman tablas georreferenciadas que permitirán a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) conformar mapas de algún tópico de interés.

El área de estudio fue el Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, en la que los suelos fueron caracterizados desde el punto de vista ingenieril, conformando la “Carta de Suelos desde el punto de vista ingenieril del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro”, encontrando los suelos del tipo residual, fluvial, lacustre y transportados.

El objetivo de este trabajo fue encaminado a descubrir la relación que guardan los suelos con las rocas del lugar, sus comportamiento mecánico para fines de uso en la ingeniería civil y el químico para visualizar los diferentes procesos de transporte de contaminantes y procesos de recarga natural y artificial.

La exploración y muestreo se ha dividido en dos partes, la primera corresponde a la toma de muestras en puntos esparcidos en las Zonas Geotécnica Alta o Rocosa y la de Ladera; la segunda parte corresponde al muestreo en las Zonas Geotécnicas de Valle o ex Lago y la de acarreos.

La segunda parte es un poco más difícil, puesto que hay que demarcar la extensión de los abanicos aluviales, los depósitos fluviales, los del tipo lacustre y por supuesto los transportados. Se tiene que estar atento a la apertura de zanjas para albergar tubería y aprovecharlas para el muestreo.

Para los suelos considerados por tipo y por zonas, se les ha practicado una serie de pruebas que hasta ahora han sido “propiedades índice”.

Para los transportados se les determinará los pesos volumétricos y pruebas de expansión y colapso.

# Introducción

---

Los suelos junto con las rocas y el agua son los recursos naturales más utilizados desde que apreció el hombre en la Tierra; los suelos han sido utilizados con fines curativos, en la alfarería y actualmente es donde se desplantan las estructuras construidas por el hombre.

Las carreteras, las aeropistas, las vías de ferrocarril, las escolleras y algunos túneles están en contacto con los suelos; así también, cuando sucede un accidente y se derraman sustancias peligrosas, su primer contacto es con los suelos; por ello, se planeó utilizar un laboratorio real como es el Valle de Querétaro para el estudio y la caracterización de los suelos desde el punto de vista ingenieril, teniendo el control espacial mediante los Sistemas de Información Geográfica.

En el Valle de Querétaro se encuentran toda la gama de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) por lo que en campo se puede observar una gran diversidad de suelos. Entre ellos destacan los residuales y transportados (del tipo lacustre, fluvial) y de precipitación química.

Sus orígenes y propiedades les dan comportamientos tan peculiares como el caso de las arcillas de alta plasticidad, potencialmente expansivas y los limos, potencialmente colapsables.

Como trabajo a futuro, se deja el explorar los drenajes y paleocauces, ya que en la Zona Geotécnica de Acarreos han aparecido suelos del tipo colapsable que han ocasionado severos daños, tanto a las estructuras erigidas ahí como a las carreteras existentes, y en las partes altas de la Zona Geotécnica Rocosa se observa una gran cantidad de materiales del tipo fluvial.

En función del análisis de las fotografías aéreas se han estado seleccionando áreas donde, a falta de perforaciones que permitan distinguir los tipos de suelo se realizaron sondeos sísmicos, estableciendo la potencia y módulos elásticos dinámicos de los mismos.

También se realizaron diversas pruebas de laboratorio para caracterizar a los suelos, finalmente, mediante el uso de los SIG se elaboraron mapas donde se muestra cada tipo de suelo.





# Geología general del Valle de Querétaro.

En las estructuras y estratos geológicos de una región está contenida la historia de esfuerzos a la que ha sido sometida, a la vez, el relieve topográfico expresa la acción del tiempo mediante los agentes, como: el agua, el viento y el tectonismo. Los factores geológicos e hidrológicos tal vez sean las causas principales para la conformación de la morfología de una región, ya que de acuerdo a los procesos de fragmentación y degradación en una provincia fisiográfica se producirán diferentes tipos de suelos.

## 1.1 Geología General del Valle de Querétaro.

El Valle de Querétaro corresponde a una fosa de forma cuadrangular alineada NNW-SSE, está situada en el límite oriente de la Subprovincia Fisiográfica de la Depresión del Bajío y se relaciona al Fracturamiento San Miguel de Allende-Taxco, Ramal Querétaro.

En el mapa geológico de la figura 1.1 se presenta la distribución de las Unidades Geológicas descritas originalmente por Salas C. J. L., Alvarez Manilla A., A. y Fernández H. F., García B. J., y Yáñez C., en 1989 y 1992.

Se distinguen un total de nueve Unidades Geológicas que son: depósitos del tipo lacustre, (Qla); depósitos fluviales (Qfl); , basalto Unidad Cimatarío (TQbc); ignimbritas riolíticas Unidad Hércules (Tsth); tobas de caída libre Unidad Cuesta China (Tstcc); andesita y basalto de la Unidad Menchaca (Tmbm); tobas arcillosas, arenosas y vítreas de la Unidad Mompaní (Titm); basalto y andesita Unidad San Pedrito (Tibsp) e intrusivos de la Unidad Juriquilla (Tij).

En la figura 1.1 aparecen las cinco fallas tectónicas que limitan la “Fosa Querétaro”, ellas son: Oriente (Tángano-San Pedrito El Alto), Centro (Campestre-Santa Rosa de Jáuregui), Poniente( Balbanera-Mompaní), Norte (Mompaní-San Pedrito El Alto) y Sur (Balbanera-Tángano).

Con la observación en campo de la posición relativa de cada una de estas unidades se formó la columna estratigráfica

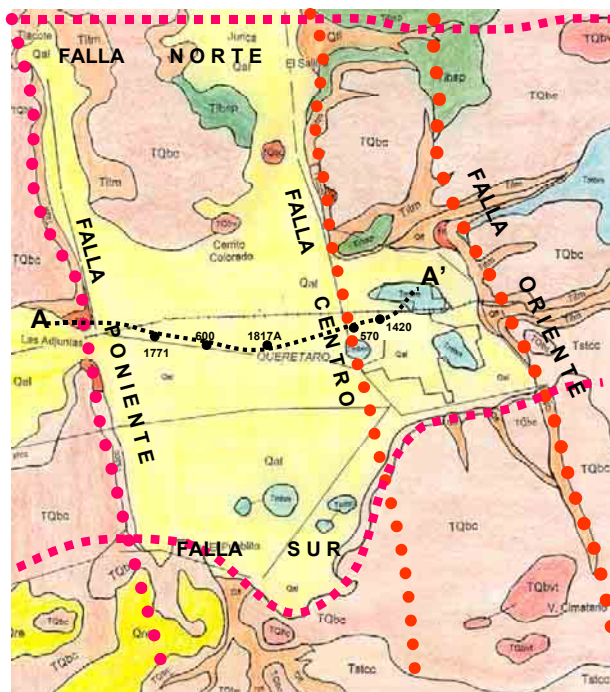


Figura 1.1 Mapa Geológico, después de Salas C., J.L., Alvarez Manilla A., Fernández H. F., García B. J. y Yáñez C.,1986.

## 1.2 Columna Estratigráfica.

De acuerdo a la relación determinada en campo referente a la posición de las Unidades Geológicas, la figura 1.2 muestra la columna geológica. A continuación se hace una breve descripción de la más antigua a la más joven solamente de las que afloran, ya que son las que dan origen a los suelos.

*Unidad San Pedrito* (Tibsp); son andesitas y basaltos constitutivas del basamento geológico y geohidrológico, los basaltos contienen gran cantidad de zeolitas y olivino.

*Unidad Mompaní* (Titm); está formada por tobas arcillosas, arenosas y vítreas, afloran al norte, oriente y poniente del Valle de Querétaro, constituyen la formación acuífera actual.

*Unidad Menchaca* (Tmbm); corresponde a una lava intermedia intensamente fracturada en superficie, conforme se interna a la masa del estrato las fracturas y juntas disminuyen. Presenta precipitaciones de soluciones hidrotermales.

*Unidad Cuesta China* (Tstch); son tobas de caída libre depositadas en un ambiente acuoso, se llegan a encontrar estratos delgados de una toba vítrea, constituyó la formación del acuífero libre hoy extinto. afloran al sur, oriente o noroeste del valle.

*Unidad Hércules* (Tsth); son ignimbritas riolíticas y solamente afloran en las microfosas de La Cañada y Pathé.

*Unidad Cimatario* (TQbc); son andesitas basálticas producto de la eyección del Volcán Cimatario, su espesor promedio es de 6 metros.

*Depósitos del tipo lacustre* (Qla) y *fluviales* (Qfl); se encuentran en la planicie, zonas de inundación y arroyos.

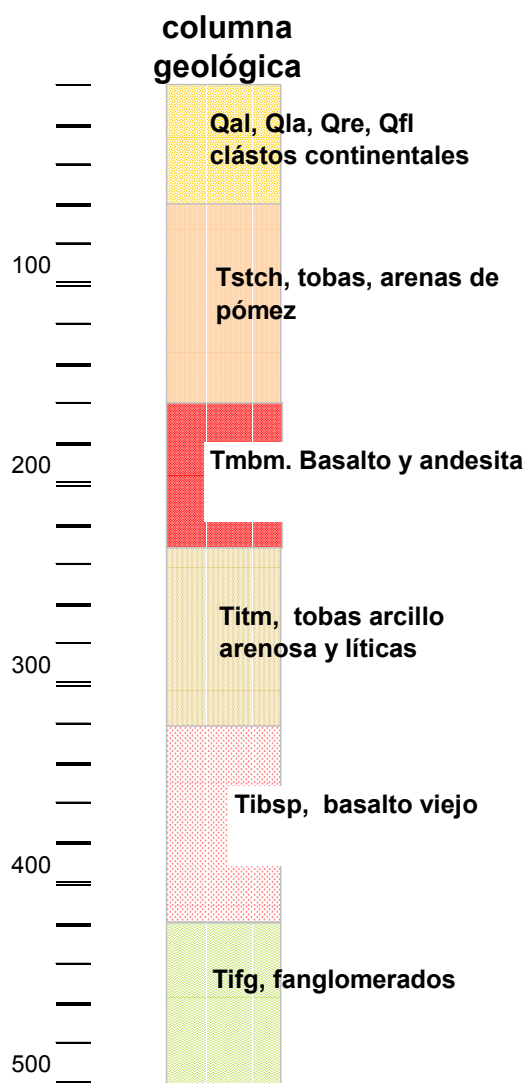


Figura 1.2 Columna estratigráfica.

### 1.3 Secciones estructurales.

Con los datos litológicos de diferentes pozos profundos dispersos, tanto en el Valle como en la zona metropolitana, se formaron las dos secciones estructurales que aparecen en las figuras 1.3 y 1.4.

La sección estructural NNW-SSE mostrada en la figura 1.3 tiene una longitud de 15 kilómetros, en la porción noroeste aparecen rocas de la Unidad Menchaca en las partes altas y bajo un espesor de aproximadamente 20 metros de materiales del tipo lacustre y aluviales, se encuentran las tobas de la Unidad Mompaní.

Hacia la zona sureste se aprecian rocas de la Unidad San Pedrito, Cuesta China e Intrusivos de la Unidad Juriquilla.

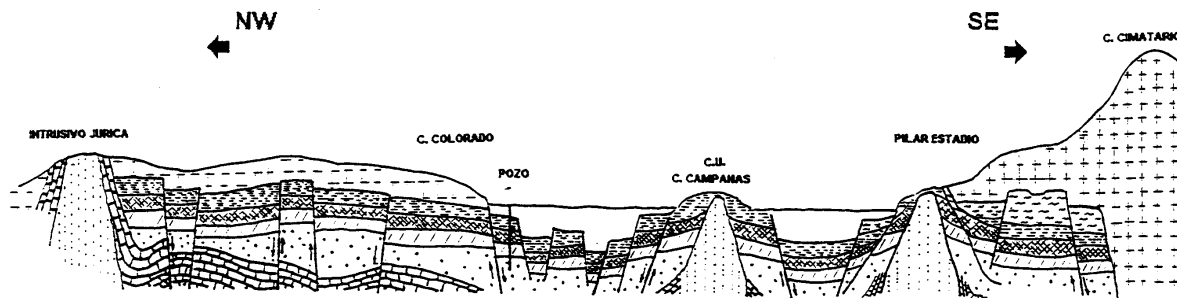


Figura 1.3 Sección estructural N-S

La sección estructural Este Oeste va desde Las Adjuntas hasta San Gregorio. En superficie, aparece la lava de la Unidad Cimatario; en la porción central, donde se erige el Cerro de Las Campanas, se aprecia el cuerpo de una roca de intrusión, las laderas pueden estar formadas de manera indistinta por tobas o lavas.

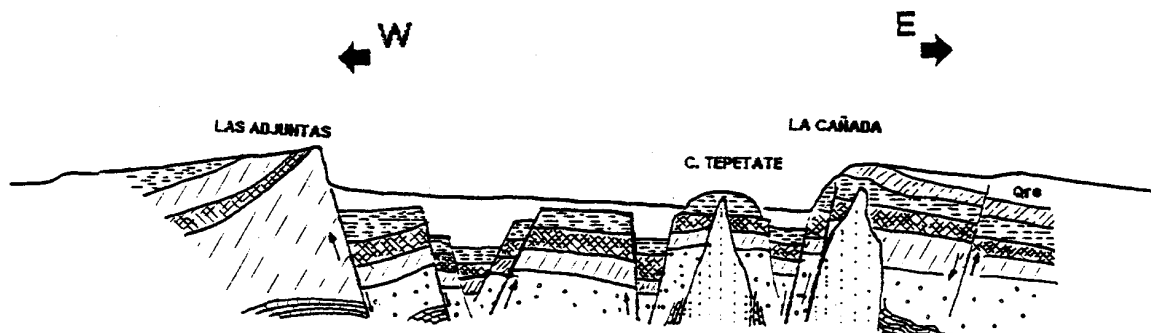


Figura 1.4 Sección estructural E-W.

Dado que en la superficie de las mesetas afloran lavas de las Unidades San Pedrito, Menchaca y Cimatario, los suelos que aparecerán en esa porción pueden ser residuales de granulometría gruesa.

Hacia las partes de las laderas, la degradación de los materiales suaves como las tobas arcillosas producen básicamente suelos arcillosos; en tanto que hacia la planicie llegan a encontrarse una gran cantidad de suelos transportados, e inclusive, frente al Salitre, arroyo Pachonal, se aprecia una gran cantidad de zeolitas.



# Geomorfología.

La morfología (forma y características) de la superficie del terreno observado en una región dada, es el producto de la actividad de las fuerzas internas, del campo gravimétrico, la acción el agua, el aire y el hielo que ejercen sobre las rocas y las someten a cambios constantes, en la superficie del terreno siempre estarán, como evidencia de ello, los suelos.

### 2.1 Características geomorfológicas principales.

Dependiendo de la dureza y tipo de roca, del tectonismo y sedimentación y de las condiciones en que se mueva superficialmente tanto el agua como el hielo, aparecerán en una zona diferentes estadios con características geomorfológicas peculiares.

#### 2.1.1 Paisaje tectónico.

En la imagen de satélite de la figura 2.1 se muestran los lineamientos tectónicos en la vecindad del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, que como ya se mencionó tiene un origen tectónico y ha dado lugar a geoformas tales como mesetas, laderas, planicies, zonas de retroceso y rejuvenecimiento.



**Figura 2.1 Imagen de satélite y lineamientos tectónicos.**

### **2.1.2 Mesetas.**

El estilo tectónico de las formas elevadas, que circundan el Valle de Querétaro, separa bloques por fallas normales; algunos de los bloques se encuentran basculados resultando en relieves como el que se aprecia en las figuras 2.2 y 2.3.

Otros elementos del estilo tectónico del Valle de Querétaro consisten en que las líneas de falla poseen formas geométricas bien definidas, en este caso “rectilíneas”, tal y como se aprecia en la figura 1.1. Los bloques en su parte superior presentan “mesetas” en las que se generan suelos residuales que pueden ser granulares gruesos si la roca madre es una lava o arcillo limosos en el caso de una toba.



**Figura 2.2 Monoclinal Este, Aeropuerto.**





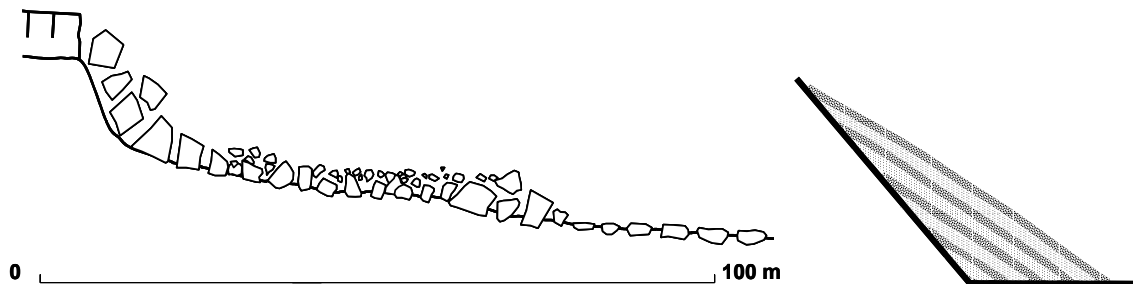
**Figura 2.3 Monoclinal Oeste, Huertas La Joya.**

### 2.1.3 Laderas, Pendientes.

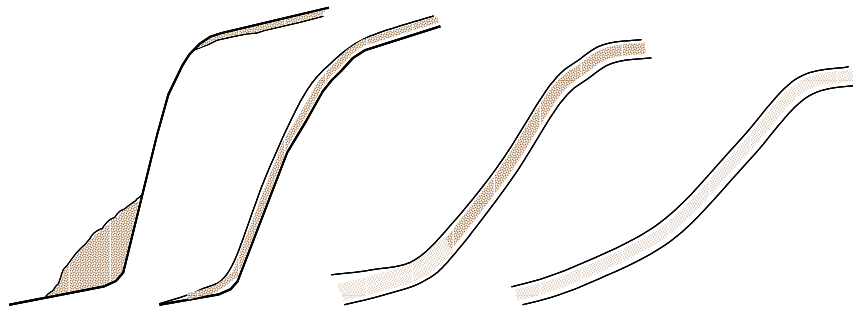
Toda porción de superficie presenta un declive, no existe la pendiente nula, ni siquiera en un lago colmatado. La pendiente o ladera puede estar o no en equilibrio. Se dice que está en equilibrio cuando no tiende a aumentar o disminuir, o bien, cuando los agentes de acumulación o erosión equilibran su actividad.

Cuando una pendiente no corresponde a la de equilibrio, se debe explicar el porqué de la situación. Las variaciones bruscas de las laderas o pendiente se les denomina “roturas de pendiente” y se hace necesario encontrar la naturaleza de ellas.

En la figura 2.4 se presenta la pendiente característica de un levantamiento en domo y el tipo de drenaje que presenta; mientras que en la figura 2.5 se presenta el proceso de evolución de una vertiente y los tipos de suelos que genera; los cuales dependen directamente de la inclinación y pueden ser desde coluvión hasta suelos residuales.



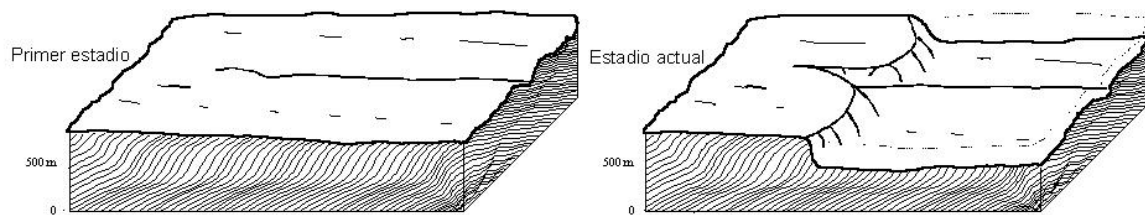
**Figura 2.4 Vertiente Oriente, Valle y Zona Metropolitana de Querétaro.**



**Figura 2.5 Evolución de una vertiente.**

#### **2.1.4 Retrocesos.**

En los relieves pronunciados los ríos se hunden en él y como éste trabaja sobre las vertientes, el relieve se convierte en insignificante. Tal es el caso del “estadio” que aparece en la parte central norte del Valle de Querétaro, por arriba de San Pedro Mártir (figuras 2.6 y 2.7). En esta parte del valle, el proceso de erosión a trabajado en la zona de Juríca y de Tlacote de manera interrumpida conformando la ladera mostrada.



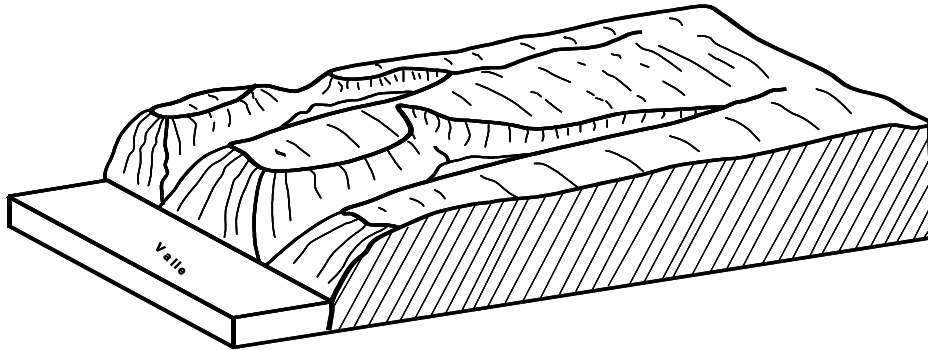
**Figura 2.6 Estadios del ciclo erosivo. Ladera Centro, San Pablo.**



**Figura 2.7 Estadio del sector San Pablo.**

En esta zona, los suelos generados corresponden a suelos residuales que van desde arcillas hasta limos, en algunas ocasiones se llega a encontrar bloques de variadas dimensiones.

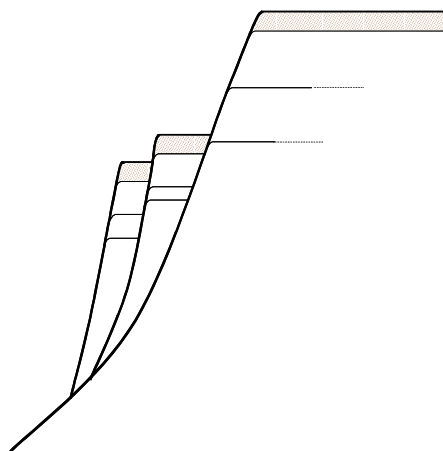
Se asume que en la zona oriente del Valle de Querétaro los procesos tectónicos generaron un pequeño escarpe como el que aparece en la figura 2.8, dejando a la Zona Metropolitana antigua como una zona de lomeríos.



**Figura 2.8 Estadios del escarpe Oriente del Valle de Querétaro.**

#### 2.1.5 Fluviales.

Cuando la pendiente de una vertiente aumenta en la base por cualquier proceso de erosión, como puede ser el fluvial, y en ausencia de una imbibición de la roca por el agua, se llegan a formar las “terracillas” (figura 2.9). Se crea una fuerza (peso de la formación) que provoca el cizallamiento generando peldaños desde unos cuantos centímetros hasta varios metros, dependiendo de la competencia de los materiales geológicos envueltos. En la figura 2.10 se presentan las terracillas de la “Microfosa Menchaca”.



**Figura 2.9 Terracillas.**

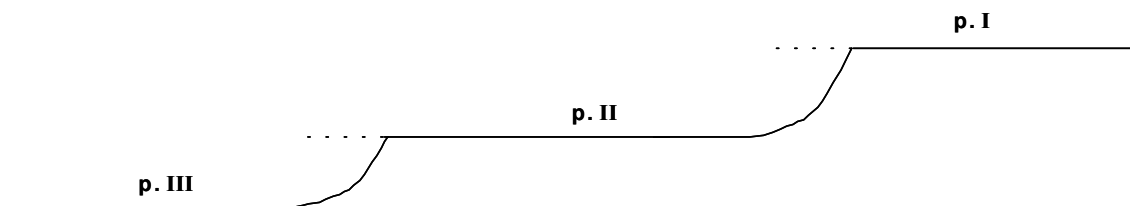


**Figura 2.10 Terracillas en la “Microfosa Menchaca”.**

En estas zonas aparece una gran cantidad de cantos redondeados con su eje mayor alineado en la dirección del flujo, de acuerdo a la energía del transporte y períodos de calma, se encuentran limos y arcillas.

#### **2.1.6 Ambientes de Lago.**

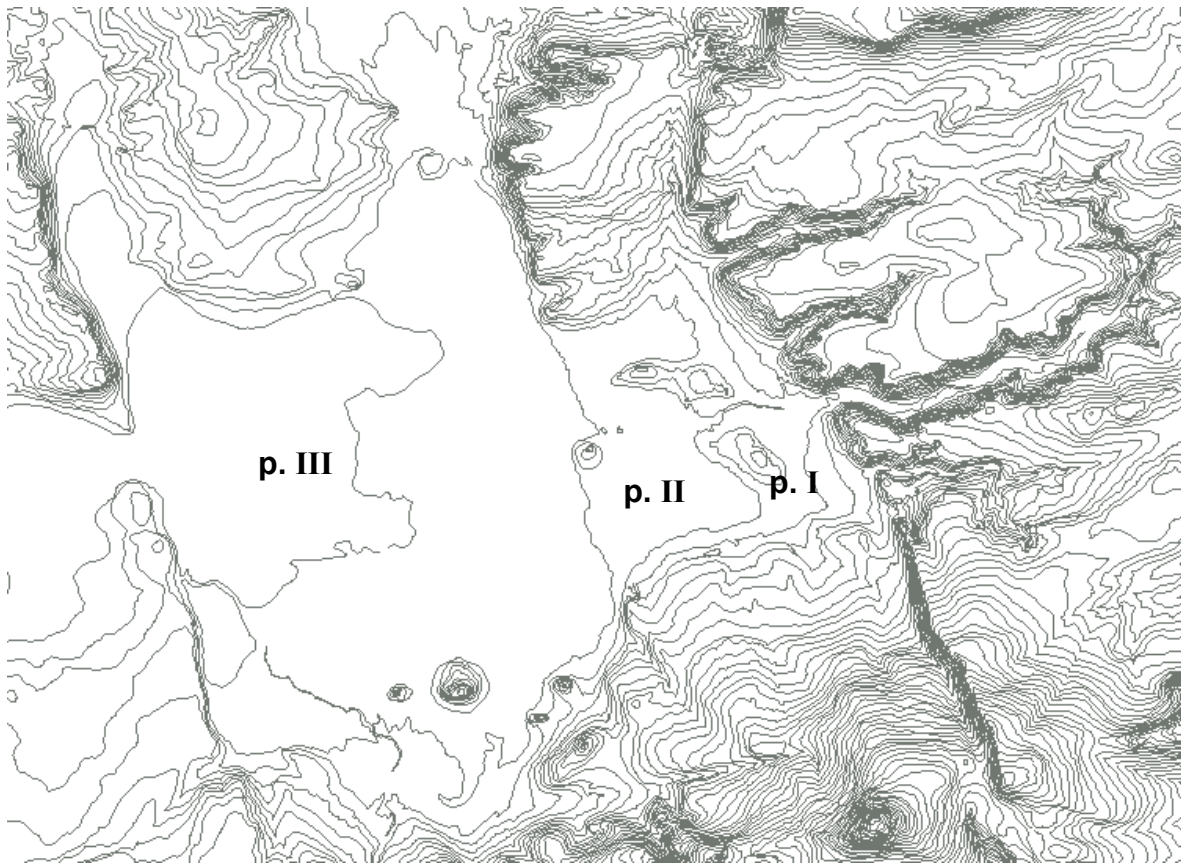
Considerando la imagen de la figura 2.6, si ningún accidente geológico estorba la evolución de un ciclo erosivo, el relieve pasa a ser una superficie sin grandes desniveles, que a grosso modo se les denomina “penillanuras” o “peniplanos”, tal y como se presenta entre la Zona Metropolitana antigua de Querétaro y propiamente el Valle (figuras 2.11 y 2.12).



**Figura 2.11 Esquema de una Penillanura.**

En un mapa topográfico, la penillanura se manifiesta como se muestra en la figura 2.12, la línea topográfica donde se da el cambio de nivel entre las penillanuras coincide con la Avenida 5 de Febrero.

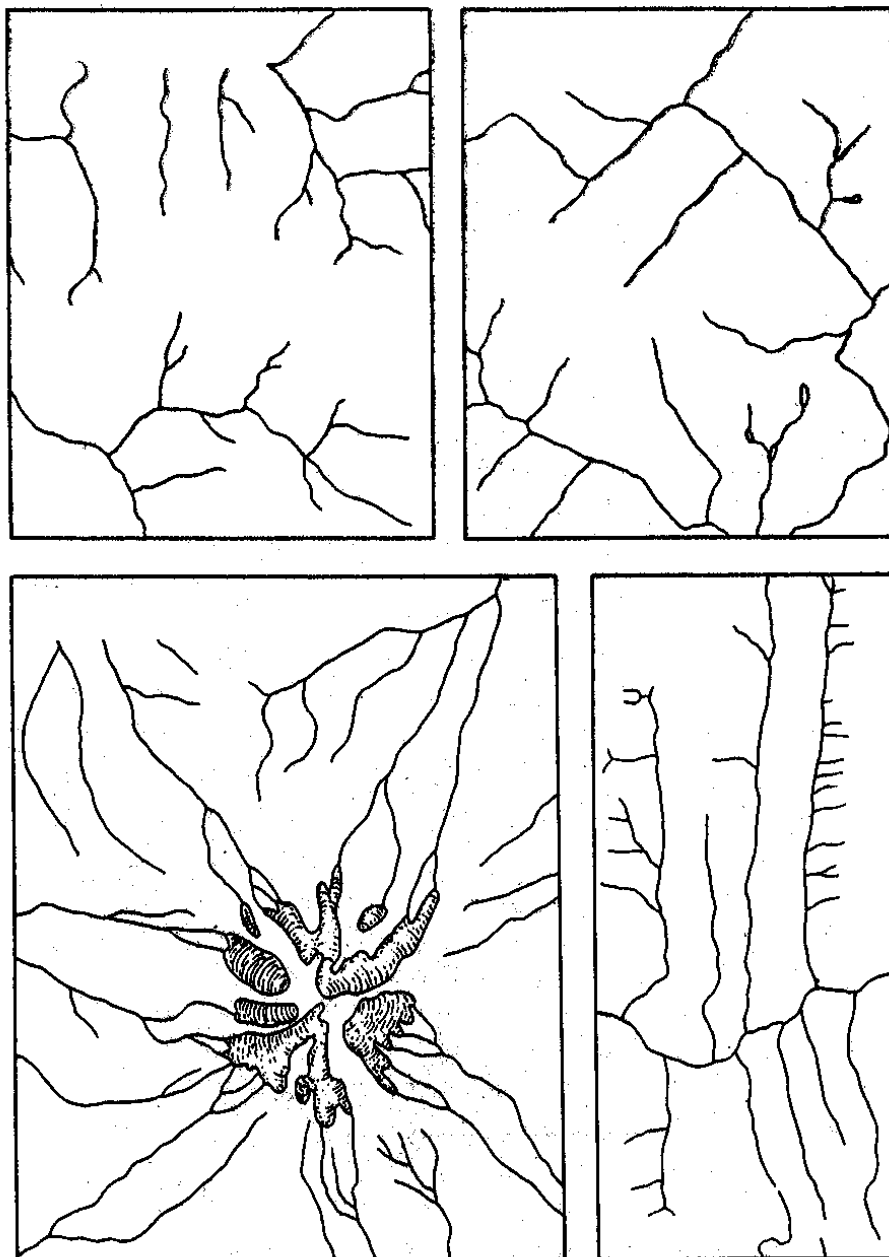




**Figura 2.12 Penillanuras de la Zona Metropolitana Antigua y del Valle de Querétaro.**

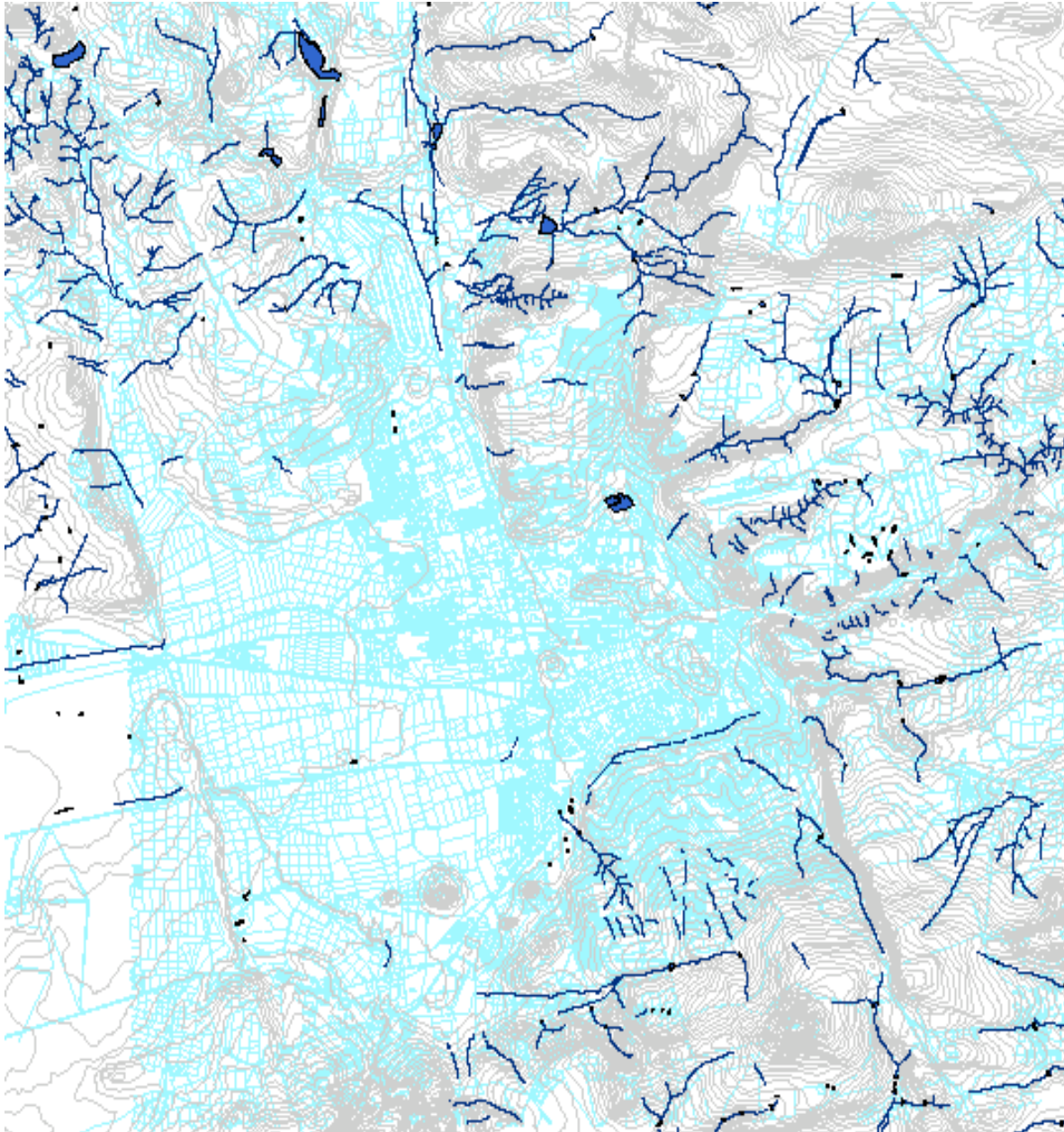
Los procesos de erosión jamás consiguen una piniplanización completa, por lo que aparecen, de acuerdo al tipo de materiales geológicos combinados con las pendientes, diferentes drenajes, entre los que se encuentran: dendrítico, enrejado, rectangular, radial (figura 2.13).

Los suelos característicos en este tipo de ambientes corresponden a los transportados y pasan a formar los depósitos del tipo lacustre y abanicos aluviales.



**Figura 2.13 Tipos de drenaje: dendrítico, enrejado, rectangular, radial y mixto.**

En la figura 2.14 se presenta una imagen elaborada con los sistemas de información geográfica de los cuerpos de agua superficiales en el Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, los cuerpos de agua son desde lagos, bordos, arroyos y ríos.



**Figura 2.14 Ríos, arroyos y cuerpos de agua del Valle de Querétaro.**

El drenaje corresponde al del tipo dendrítico en la porción noroeste de la zona estudiada, mientras que hacia el oriente éste se puede considerar rectangular y en los promontorios de los cerros Gordo, Cerro de las Campanas, Tepetate, San Gremal y el Volcán del Cimatario, es del tipo radial.

La figura 2.15 muestra los depósitos del tipo lacustre ubicados al oriente del Valle de Querétaro, en las inmediaciones del Rancho La Colmena.



**Figura 2.15 Depósitos del tipo Lacustre Zona Poniente del Valle de Querétaro.**



# Los suelos del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, algunas características mecánicas y clasificación.

Los procesos del medio físico descritos en el capítulo anterior, aparte de formar el paisaje actual del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro, dieron origen a los suelos que se observan en la superficie.

Para lograr hacer la carta de suelos, se realizó una intensa actividad de campo, programándose con diversas Empresas dedicadas a la mecánica de suelos en la ciudad de Santiago de Querétaro y los integrantes del área de Geotécnia Ambiental del Instituto Mexicano del Transporte, que cada vez que se realizara un pozo a cielo abierto, sondeo de penetración estándar, trinchera o cualquier excavación acudir al sitio para realizar la toma de coordenadas geográficas (mediante GPS), el perfil estratigráfico, medición de los espesores y el muestreo en los sitios que lo permitiera.

En los incisos siguientes serán descritos varios perfiles, mostrando las imágenes respectivas y algunas de sus características mecánicas (granulometría, propiedades índice) y en otras las geofísicas.

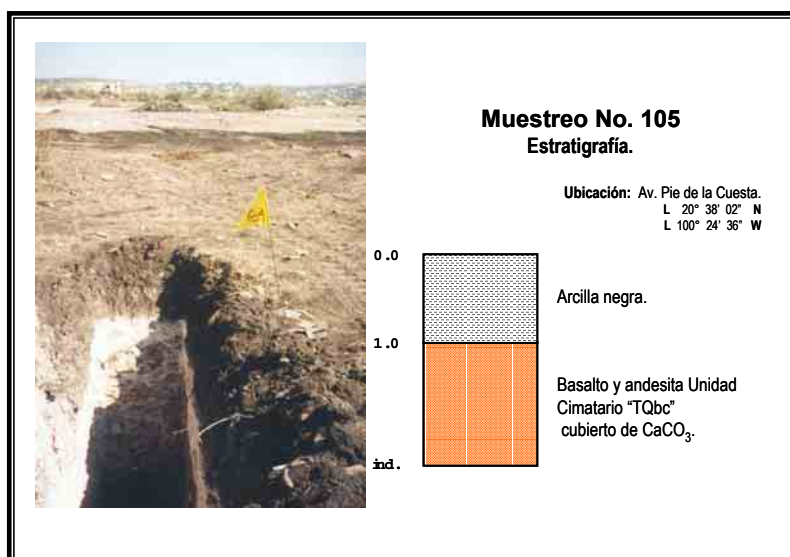
### 3.1 Sectores de Mesetas.

Como se observa en el mapa geológico de la figura 1.1, con excepción del Volcán del Cimatario, las partes altas corresponden a mesetas que de manera indistinta están constituidas de lavas, tobas o depósitos fluviales. Estos dieron origen a los distintos tipos de suelos residuales que se describen a continuación.

En la prolongación de la avenida Pie de la Cuesta se llega a la Meseta Centro-Nororiental, donde el perfil estratigráfico de la figura 3.1 exhibe un metro de arcilla negra que cubre a una roca de basalto, la cual presenta abundante precipitación de carbonatos de calcio.

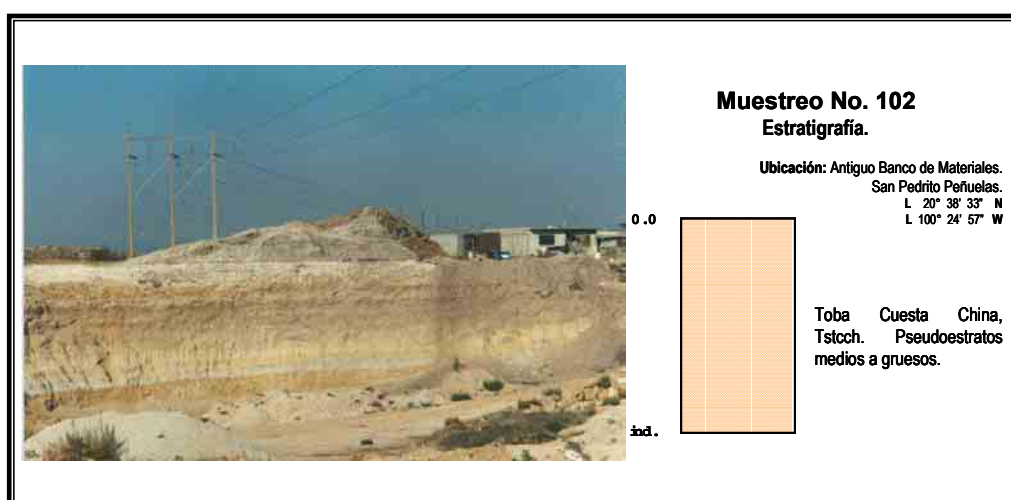
Se asume que la presencia de carbonato de calcio es el producto de diversos procesos de evaporación de un ambiente acuoso existente en un pasado

geológico, posteriormente, cuando los procesos tectónicos formaron el Valle, en las mesetas quedaron como vestigios de un antiguo lago.



**Figura 3.1 Estratigrafía de la Meseta Centro-Nororiente.**

En la figura 3.2 aparece el corte realizado en un banco de material en la Meseta Centro-Norte. El banco corresponde a tobas de caída libre depositadas en un ambiente acuoso, según lo demuestran los pseudoestratos en la imagen. En este perfil no se alcanza a desarrollar suelo, comenzando inmediatamente las intercalaciones de tobas.



**Figura 3.2 Estratigrafía de la Meseta Centro-Norte.**

En la figura 3.3 se presenta la imagen de la estratigrafía en la meseta Norponiente, cerca del poblado de Mompaní; en ella aparecen una gran cantidad de depósitos fluviales con sus ejes mayores orientados en la dirección del flujo,

sobre ellos se encuentra una capa de tierra arcillosa que da vida a la vegetación local.

La imagen también muestra que los materiales fluviales están sobre unas tobas depositadas en ambiente acuoso por lo que presentan una gran cantidad de carbonato de calcio y ocasionalmente aparecen estructuras heredadas.

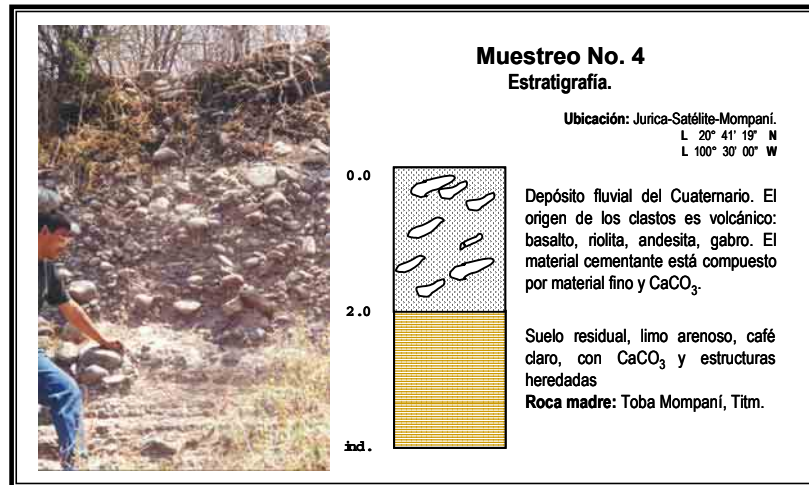


Figura 3.3 Estratigrafía de la Meseta Norponiente.

En la Meseta Oriente, donde se encuentran las Colonias Lomas del Marqués, Aeropuerto, etc., se encuentran rocas de composición andesitas basálticas, tal y como se aprecia en la figura 3.4; en algunas zonas de debilidad aparecen rocas intrusivas, como el promontorio observado en la misma figura de color negro y morado, estos cuerpos ha sido posible observarlos en los cortes de las vialidades.

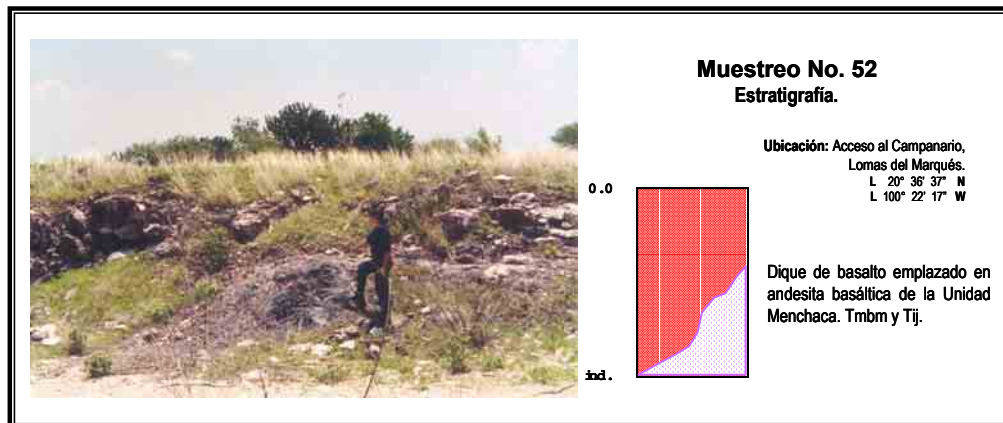
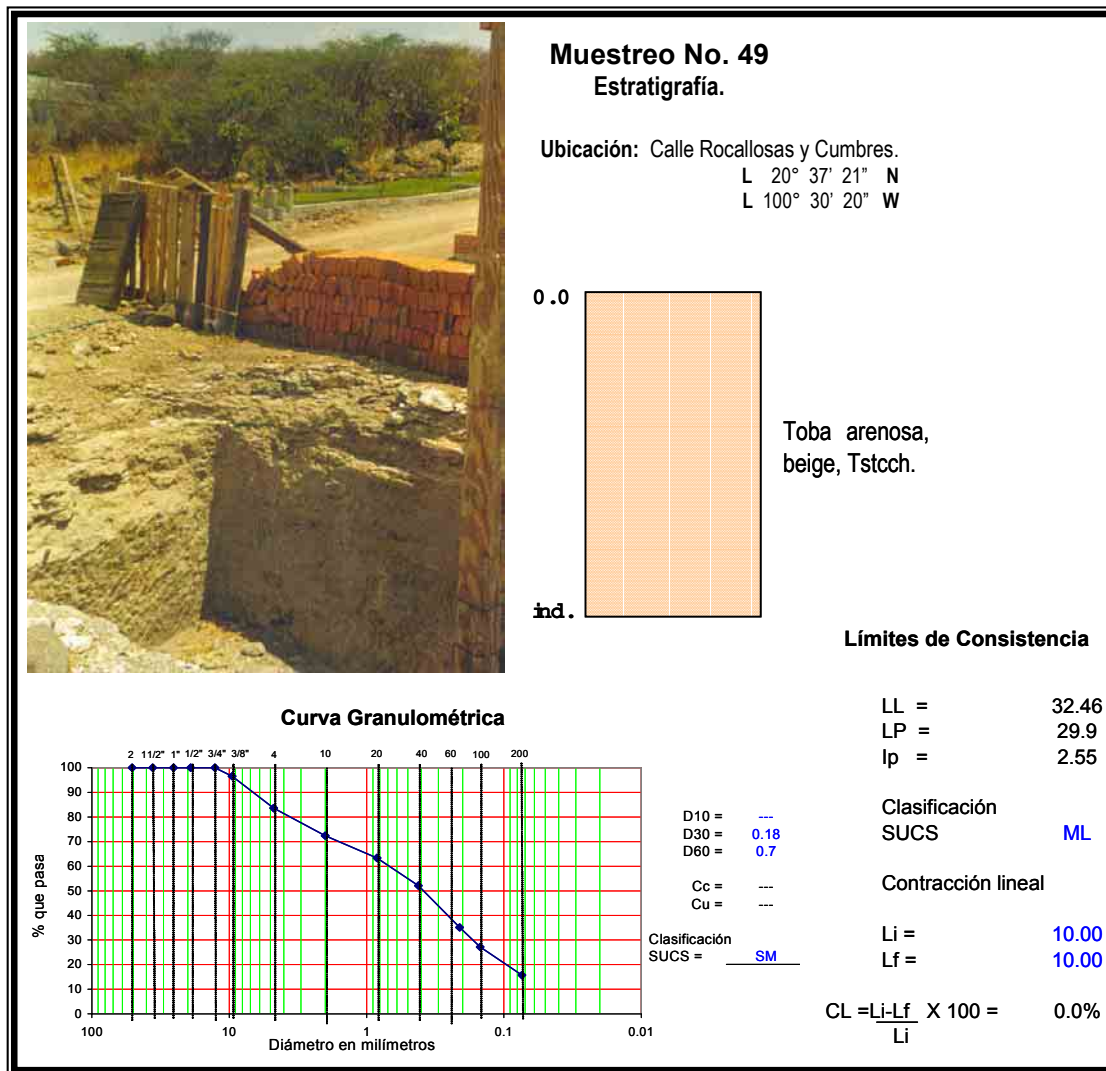


Figura 3.4 Meseta Oriente, el cuerpo de intrusión.

La estratigrafía corresponde a una delgada capa de suelo menor a 5 centímetros, sobre las rocas; los suelos son gruesos desde arenas hasta gravas.

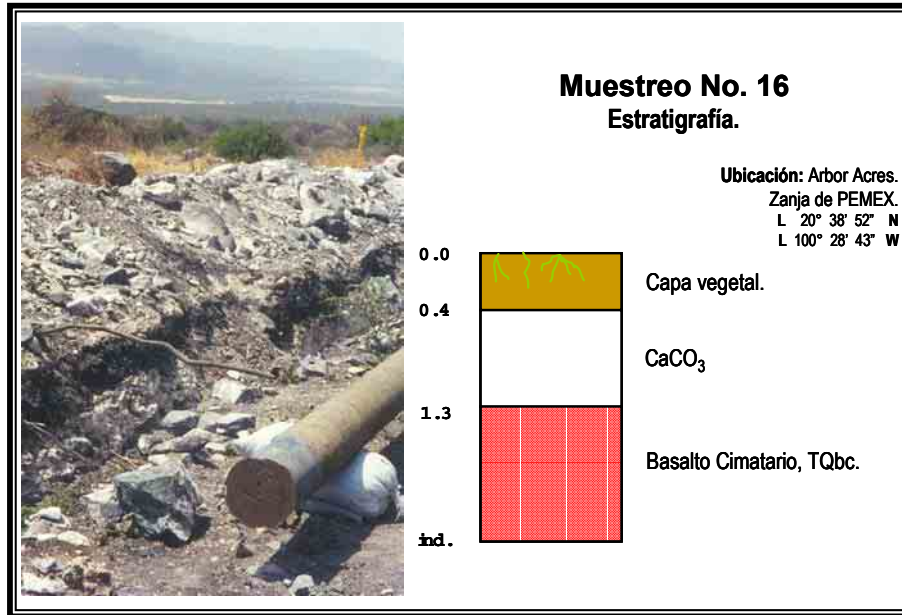
En la Meseta Poniente aparece un potente estrato de tobas de caída libre, compuesta principalmente por arenas de pómez; para poder determinar su granulometría el material se disgregó, resultando, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), un limo de baja plasticidad (ML).

En la figura 3.5 se aprecia la estratigrafía correspondiente a un suelo residual con estructuras heredadas seguido de un potente espesor de tobas depositadas en un ambiente acuoso.



**Figura 3.5 Suelos residuales, estratigrafía en la Meseta Poniente (Huertas La Joya).**

La meseta en la zona de Arbor Acres en la región Norte, presenta una estratigrafía correspondiente a unos cuantos centímetros de arcilla negra, descansando sobre un capa aproximada de 1.2 metros de espesor de carbonatos y finalmente basalto con una gran cantidad de familia de juntas, tal y como se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.6 Meseta de Arbor Acres, región Centro-Norte.**

Una de las maneras de comprobar que la altura original del valle era precisamente la altitud de Huertas La Joya, Aeropuerto, Arbor Acres y la zona de Los Olivos, es que en la Meseta Sur, donde se ubica la colonia Reforma Agraria, en un pozo a cielo abierto (PCA) existe exactamente la misma estratigrafía.

Esta es: medio metro de arcilla negra descansando sobre carbonato de calcio, el cual está asociado a las evaporitas; por debajo de estos materiales se encuentra las lavas de andesita basáltica del la Unidad "Menchaca, Tmbm".

La figura 3.7 muestra la estratigrafía y la curva granulométrica obtenida de los materiales finos muestreados. La clasificación SUCS corresponde una arcilla de alta plasticidad (CH).

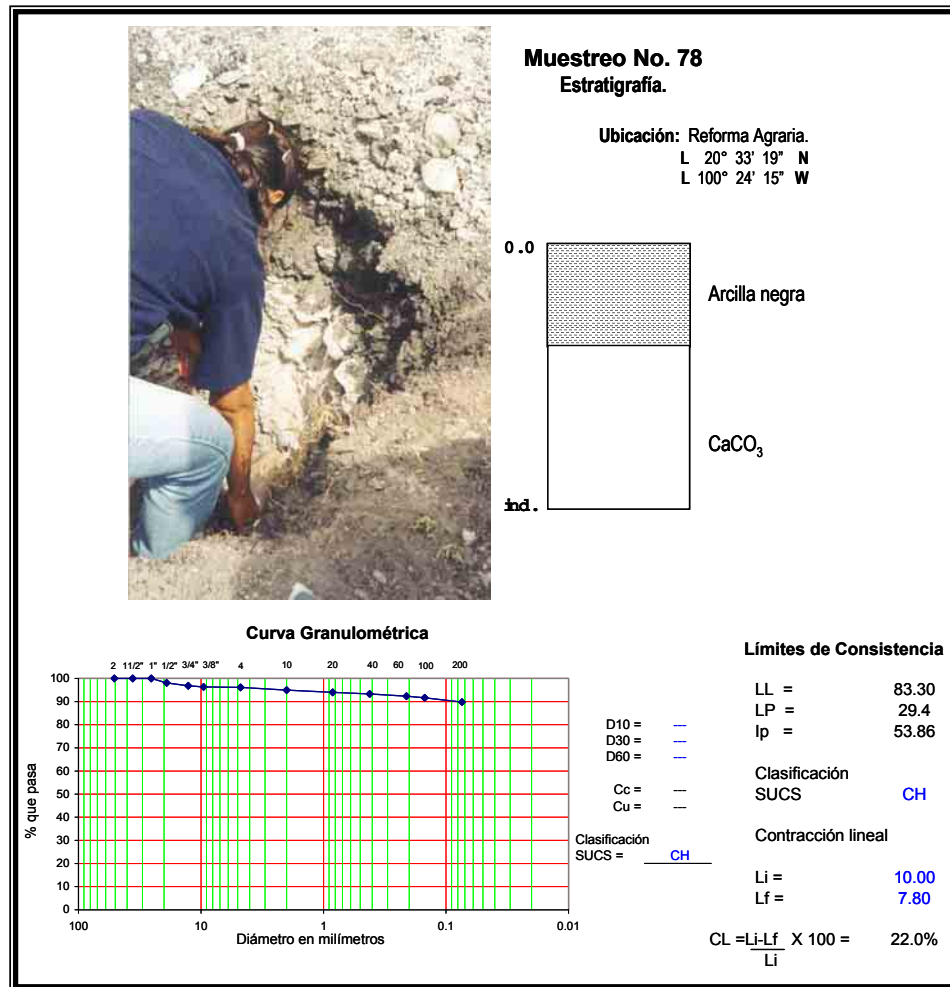


Figura 3.7 Meseta Sur, colonia Reforma Agraria.

### 3.2 Sectores de Laderas.

El origen tectónico del valle permitió la formación de las zonas de laderas o taludes, en los cuales debido a la roca madre del lugar dio origen a diferentes tipos de suelos, los que se describen a continuación.

La figura 3.8 muestra la estratigrafía de la ladera de Huertas la Joya, al poniente del Valle de Querétaro; en el suelo residual, cuya roca madre son las tobas de caída libre depositadas en ambiente acuoso, se ha desarrollado la vegetación; al disgregar el material y determinar su granulometría y los límites de consistencia en la parte fina, resulta una arena limosa (SM).



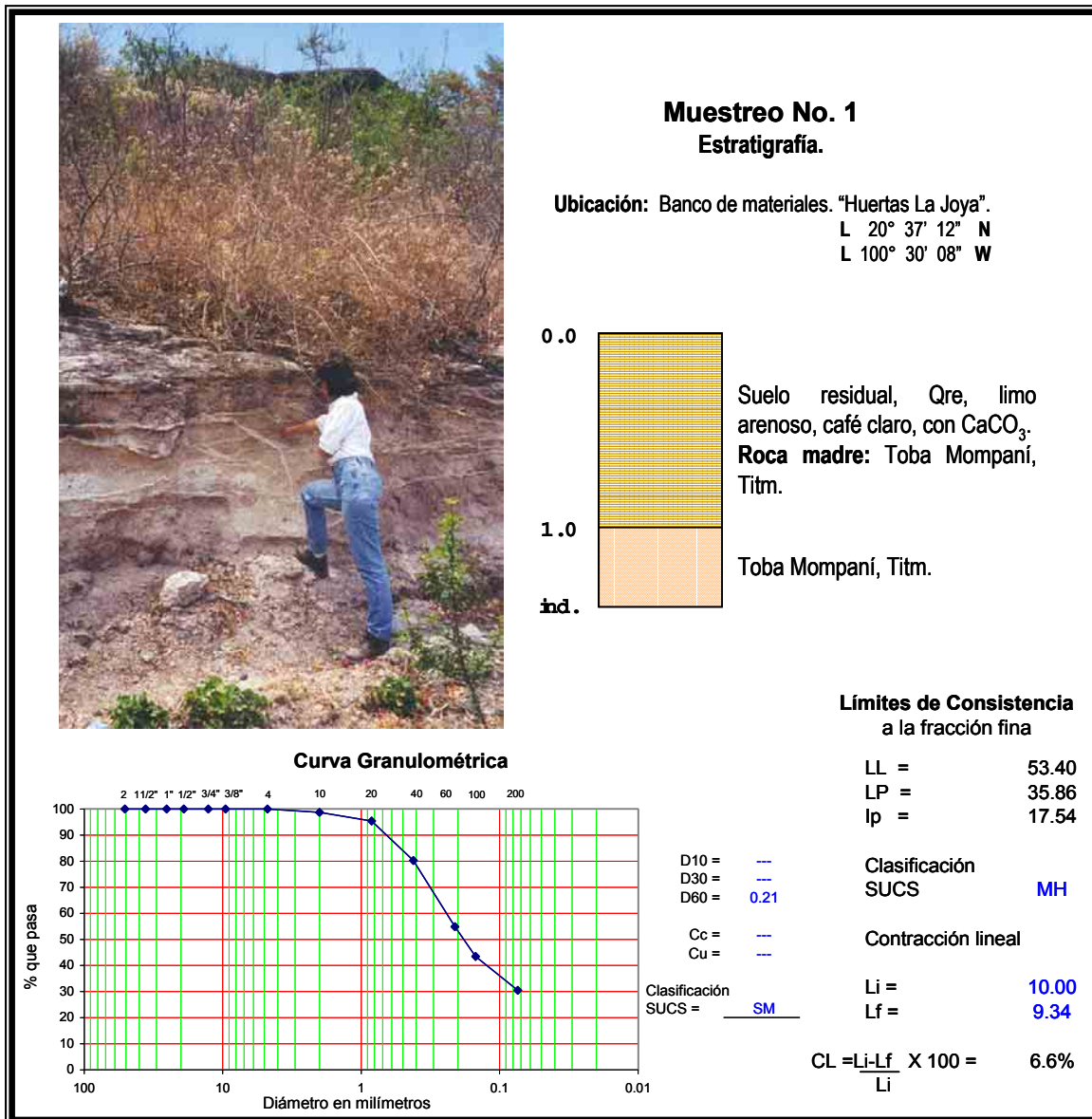
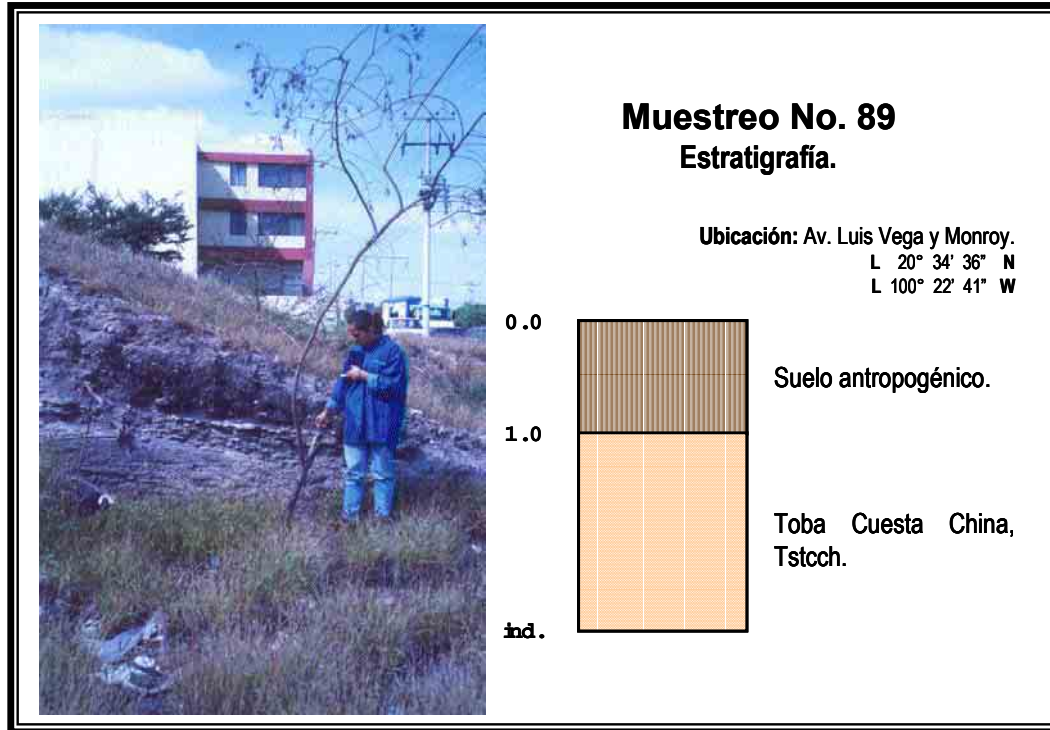


Figura 3.8 Ladera de Huertas la Joya y su estratigrafía.

En la ladera sur, sitio del Centro Expositor antiguo, se encuentra la misma toba de caída libre depositada en un ambiente acuoso, la capa de suelo es muy delgada y solamente se ha desarrollado algo de pasto, la estratigrafía del corte se aprecia en la figura 3.9.



**Figura 3.9 Ladera Sur del Valle, Luis Vega y Monroy.**

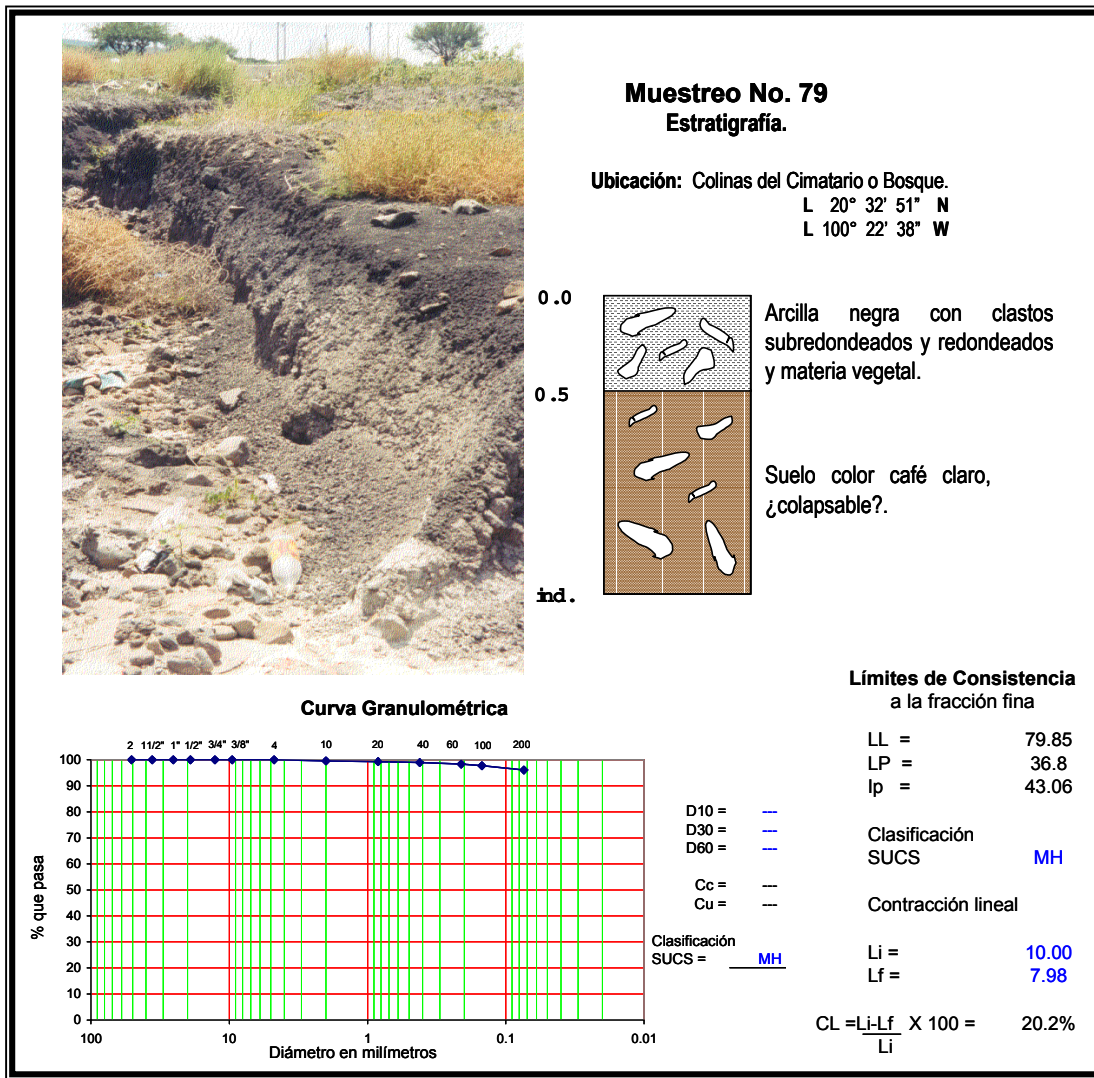
En la vertiente Norte del Volcán El Cimatario, donde se ubica la Colonia Candiles, en la zanja del dren Cimatario, se encuentra un espesor de 0.5 metros de un suelo blancuzco rosa que descansa sobre otro suelo del mismo color, solamente que en éste se encuentran cantos redondeados con sus ejes mayores orientados en la dirección del flujo, lo que evidencia su arrastre.

La figura 3.10 muestra la estratigrafía y la curva granulométrica, con ella se determinó que el suelo corresponde a un limo de alta plasticidad (MH).

Otro aspecto importante de notar, es el bajo peso específico de éste y además de que hierve al contacto de agua con cloro o ácido de la batería.

En la zona de Cerrito Colorado, ladera Sur, se encuentra, en un corte hecho para la vialidad; una capa de 20 centímetros de arcilla donde crece la vegetación; esta capa, descansa sobre un potente espesor de coluvión de aproximadamente 4 metros.

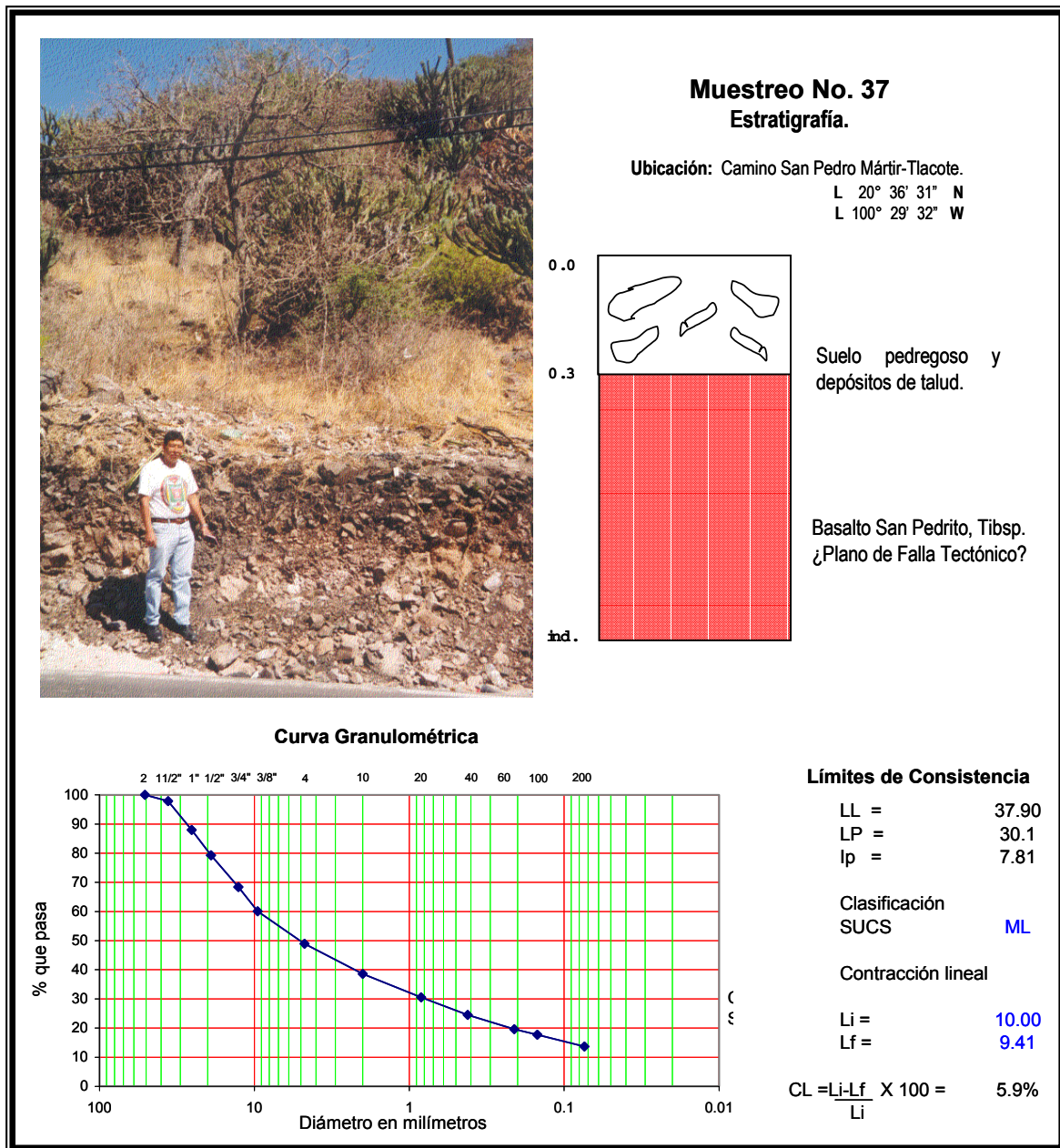




**Figura 3.10 Colonia Candiles y suelo potencialmente colapsable.**

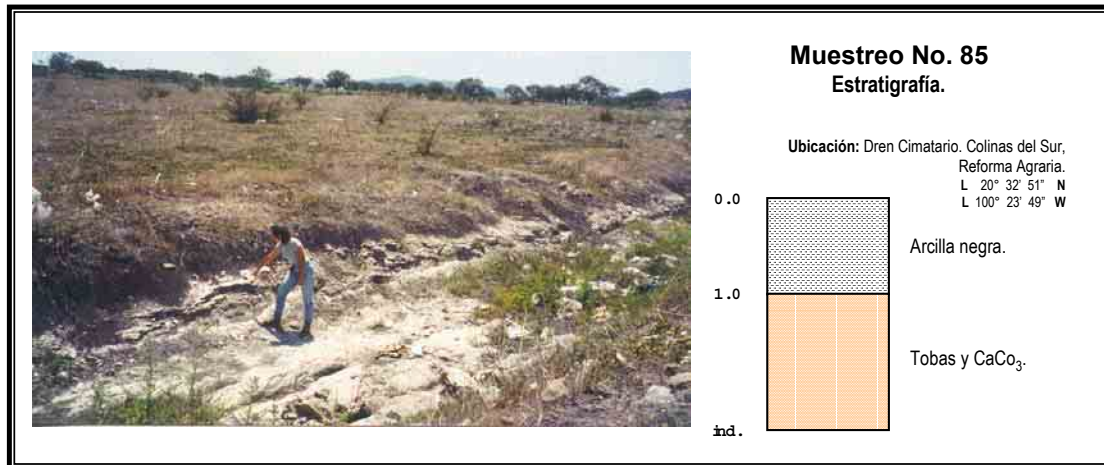
En la parte alta de Cerrito Colorado aparece una lava de andesita basáltica masiva, tal y como lo muestra la figura 3.10.

Se tomó una muestra del coluvión, se quitaron los fragmentos gruesos y a la parte restante se le determinó su granulometría y límites de consistencia a la parte fina y su clasificación SUCS corresponde a un limo de baja plasticidad, ML (figura 3.11).



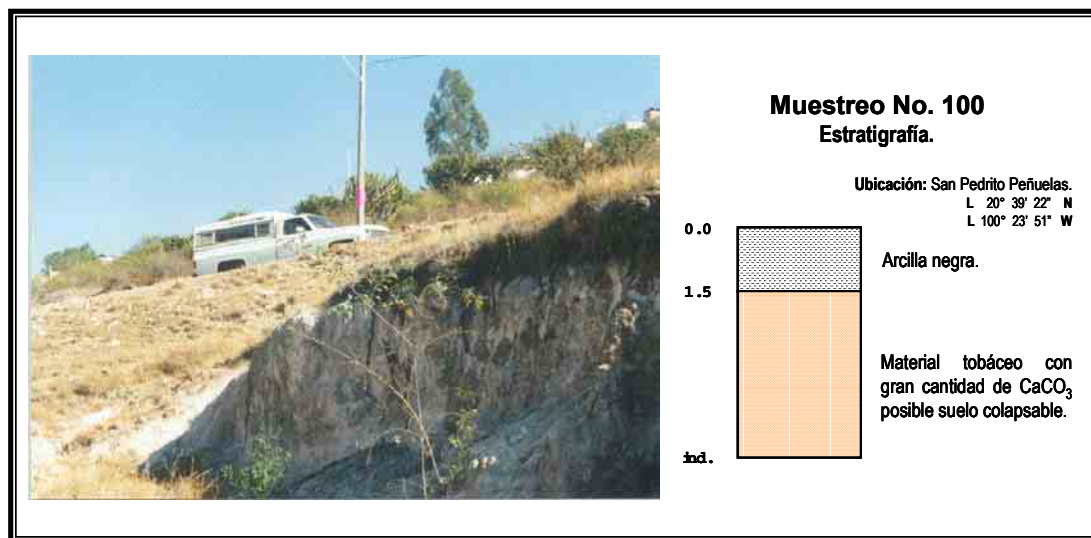
**Figura 3.11 Estratigrafía en Cerrito Colorado.**

En la vertiente norte del Volcán El Cimatario, se forma una ladera de pendiente suave; donde los materiales depositados corresponden a tobas pseudoestratificadas y aparecen intercalaciones de carbonato de calcio. Sobre éstas aparece una delgada capa de arcilla negra, tal y como lo muestra la figura 3.12.



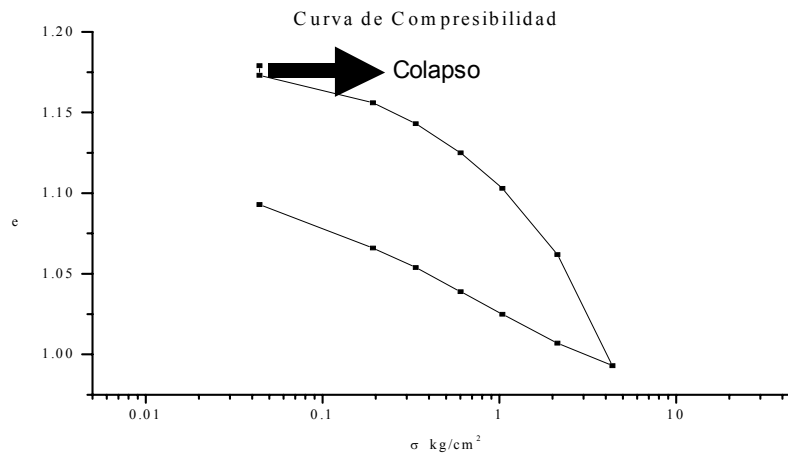
**Figura 3.12 Estratigrafía de la vertiente Norte del Volcán El Cimatario.**

Hacia la región nororiente, camino a Chichimequillas, se encuentran diversos cortes, tanto en la carretera como en bancos de material (figura 3.13), donde la columna estratigráfica de la región está compuesta de una capa de aproximadamente 1.5 metros de arcilla negra que alberga la vegetación y que descansa sobre un material tobáceo pseudoestratificado con intercalaciones y precipitaciones de carbonato de calcio.



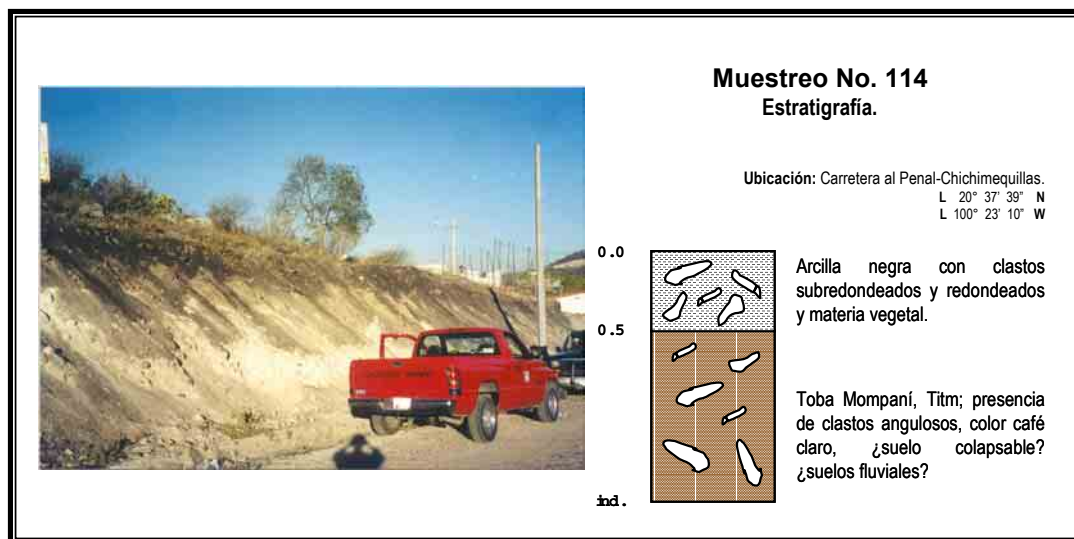
**Figura 3.13 San Pedrito Peñuelas, estratigrafía en suelos colapsables.**

Esta última capa corresponde a un suelo del tipo colapsable; una curva característica de compresibilidad de este material, donde se muestra el colapso, aparece en la figura 3.14.



**Figura 3.14 Colapso en una prueba de compresibilidad, suelos de San Pedrito Peñuelas.**

En la ladera norte de la entrada a la “Microfosa Menchaca” se aprecia medio metro de arcilla negra, descansando sobre limos de color blanco; su espesor no se determinó, pero existe mucha similitud con los suelos tipo colapsable: bajo peso específico, efervescencia con ácido de batería, color claro, etc. (figura 3.15).

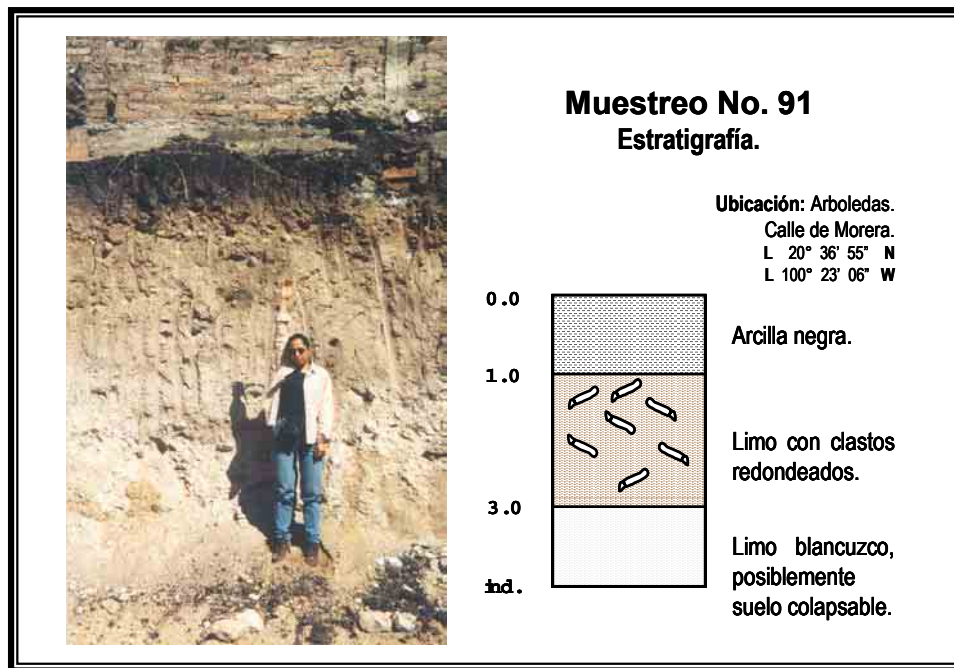


**Figura 3.15 Estratigrafía de la Ladera Norte entrada a la “Microfosa Menchaca”.**



La ladera oriente, sitio de la colonia Arboledas, presenta la estratigrafía que aparece en la figura 3.16; que corresponde a un promedio de un metro de arcilla, le sigue 2 metros de suelos con intercalaciones de cantos redondeados y carbonato de calcio y, finalmente, limos de bajo peso específico, de color claro y abundante carbonato de calcio.

Algunas bardas son inseguras, ya que como se aprecia en la figura 3.16 no tienen cimientos y están desplantadas sobre la arcilla negra.



**Figura 3.16 Corte para alojar la cimentación de una casa en Ladera Oriente, Arboledas.**

La figura 3.17 enseña la estratigrafía al sur de la colonia Los Olivos, donde se aprecia el contacto entre rocas andesitas basálticas y materiales fluviales, en el sitio aparece parte del Dren Cimatario que permite desalojar las aguas pluviales rápidamente.

El contacto se debe posiblemente a la Falla Tectónica Sur, de las que dieron origen a la fosa Querétaro.



**Figura 3.17 Ladera al Norte de la Colonia Los Olivos, contacto vertical entre dos materiales geológicos diferentes.**

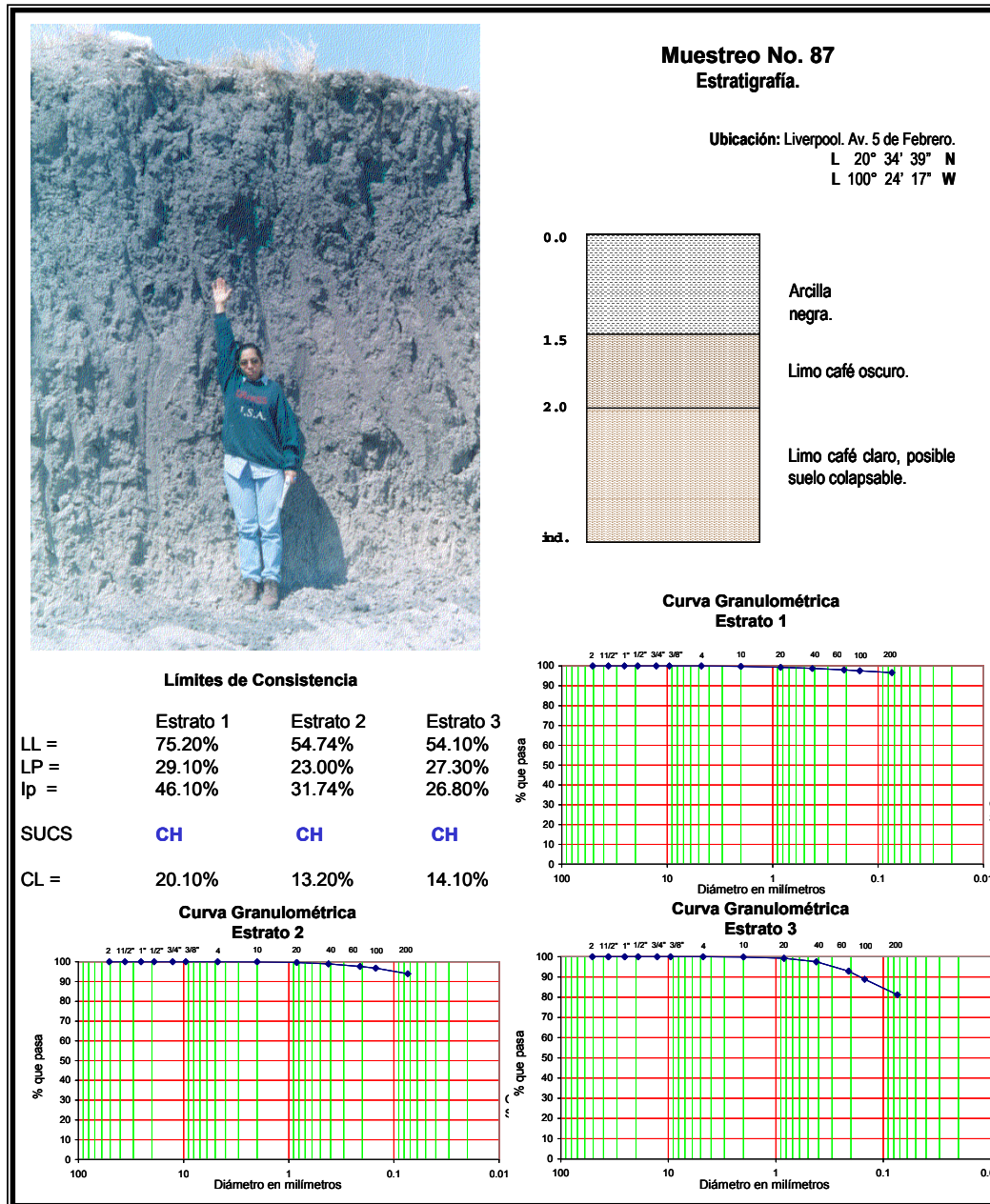
### **3.3 Sector del Valle o Peniplana.**

La “Fosa Querétaro” se rellenó de manera indistinta con una gran cantidad de materiales granulares, tobas y lavas. De acuerdo a la ubicación, dentro del mismo, se pueden encontrar suelos transportados o promontorios de lavas producto de la acción de cuerpos de intrusión, tal y como sucede en los cerros de La Cruz, Cerro de las Campanas, Tepetate, San Gregorio, Gordo, etc.

Aprovechando la excavación (figura 3.18) realizada para la construcción de un centro comercial en la intersección de la autopista a Irapuato y la avenida 5 de Febrero, se estableció la estratigrafía que consta de 1.5 m de arcilla negra potencialmente expansiva, 0.5 metros de un suelo café oscuro y por último, un suelo café claro.

Los suelos finos son constitutivos de los tres estratos; los contenidos son del orden de: 95%, 91% y 80% para los estratos superior, medio e inferior respectivamente.

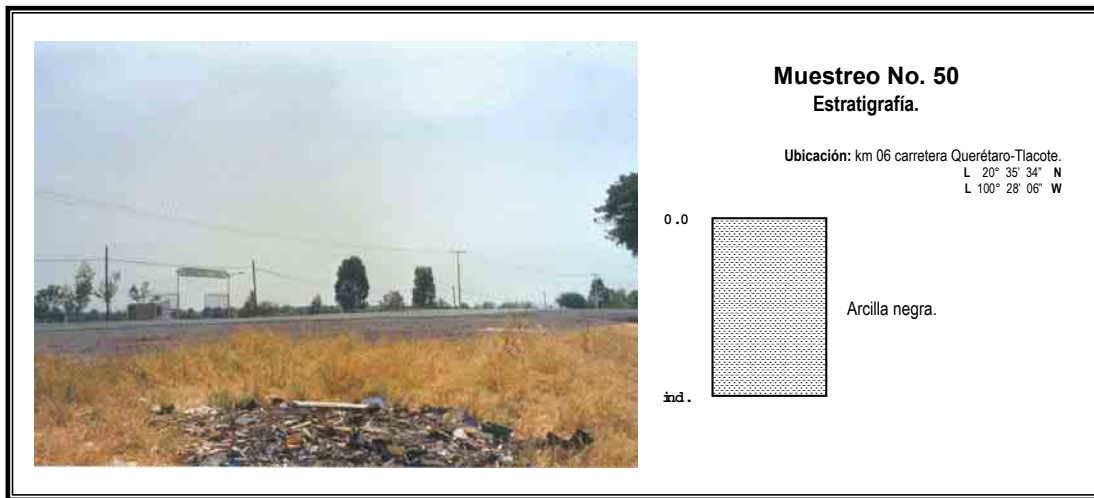
En lo que respecta a su plasticidad se observa una disminución con la profundidad, sin embargo, los tres estratos se clasifican como arcillas de alta compresibilidad (CH), por lo tanto, el estrato superior presenta mayor contracción lineal que los dos inferiores.



**Figura 3.18 Estratigrafía y curvas granulométricas para suelos del Valle de Querétaro.**

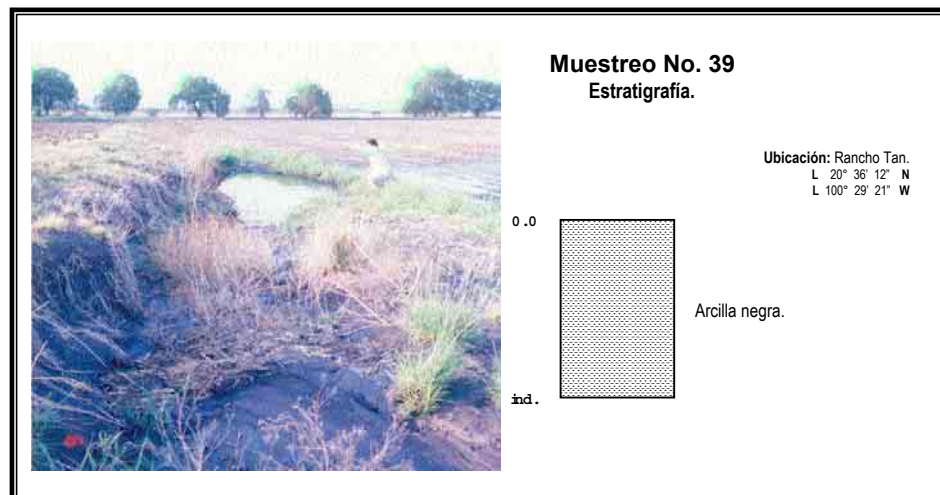
El acuífero alojado en los materiales granulares del Valle de Querétaro está extinto, las deformaciones continúan como fenómenos transitorios y en la superficie se presentan las tres fases de la deformación (Hunt E R., 1975, Alvarez Manilla A. A., 1998): Fase 1, Hundimiento por abatimiento del nivel de agua; Fase 2, Generación de Grietas de Tensión y Fase 3, Crecimiento de Fallas, ambas por la sobreexplotación del acuífero.

En la parte central del valle, kilómetro seis de la carretera a Tlacote, se observa el estado de la superficie del terreno con una deformación entre las Fases 2 y 3 (figura 3.19); en una excavación se encontró exclusivamente arcilla



**Figura 3.19 Deformación por hundimiento debido a la sobreexplotación del acuífero en los suelos del valle, carretera a Tlacote km 6.**

La grieta y falla de tensión “Tlacote-Las Adjuntas-Balbanera La Negreta” que aparece en la figura 3.20 se ubica en la zona del Rancho La Colmena, sector centro poniente del Valle de Querétaro, la estratigrafía mostrada corresponde a la arcilla exclusivamente.



**Figura 3.20 Grieta de tensión “Tlacote-Las Adjuntas-La Negreta” en los suelos del Valle de Querétaro.**



El sector centro norte del Valle, cercano a Cerrito Colorado, muestra un importante espesor de arcilla potencialmente expansiva (figura 3.21).

La zanja para alojar el ducto de gas de Petróleos Mexicanos exhibe arcilla; de los análisis tanto granulométricos como límites de consistencia resulta un suelo con un 95% de suelo fino y la clasificación SUCS es una arcilla de alta plasticidad (CH).

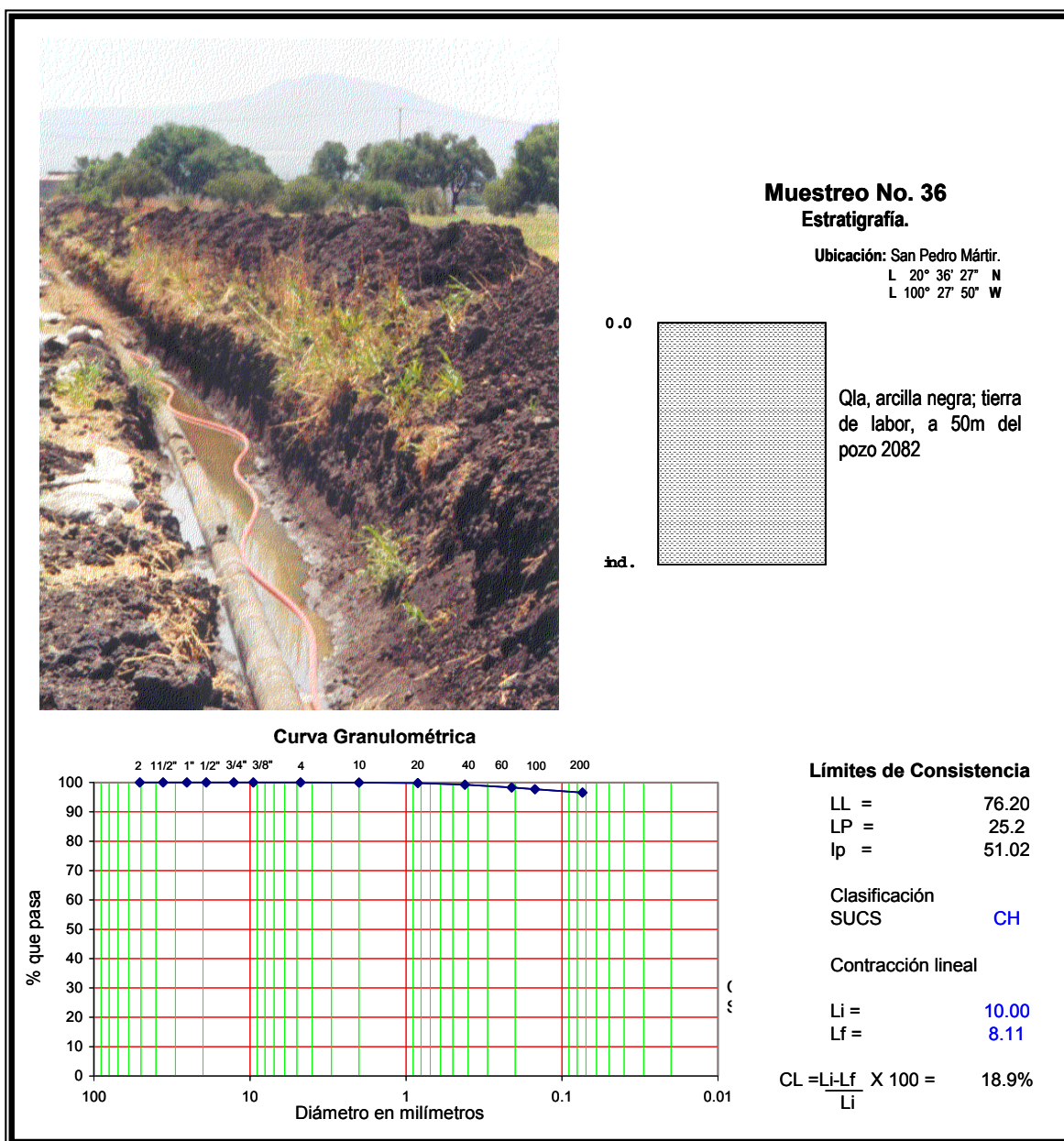
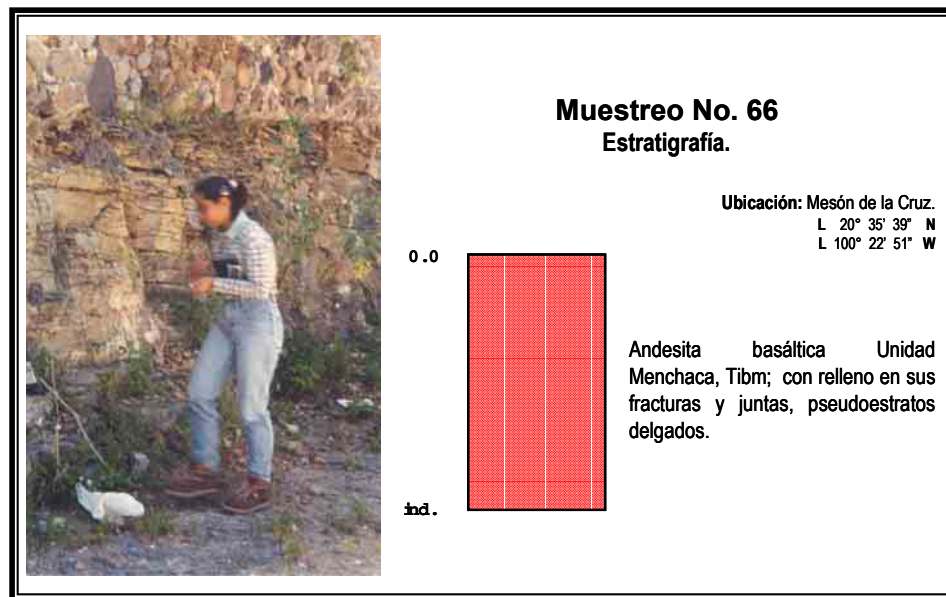


Figura 3.21 Estratigrafía y curva granulométrica Sector Centro-Norte del Valle de Querétaro.

### 3.3.1 Sector Peniplano.

Se le ha denominado así a la Zona Metropolitana Antigua de Santiago de Querétaro; es el área dentro del boulevard Bernardo Quintana y la avenida 5 de Febrero (figura 2.12).

Además, en esta zona se presentan promontorios, sobresaliendo drásticamente del la zona peniplana; los más representativos son los cerros: Las Cruz, Cerro de las Campanas, San Roque, Gordo, El Cerrito, entre otros. Como se verá en los incisos siguientes, la estratigrafía y tipos de suelos es variada.

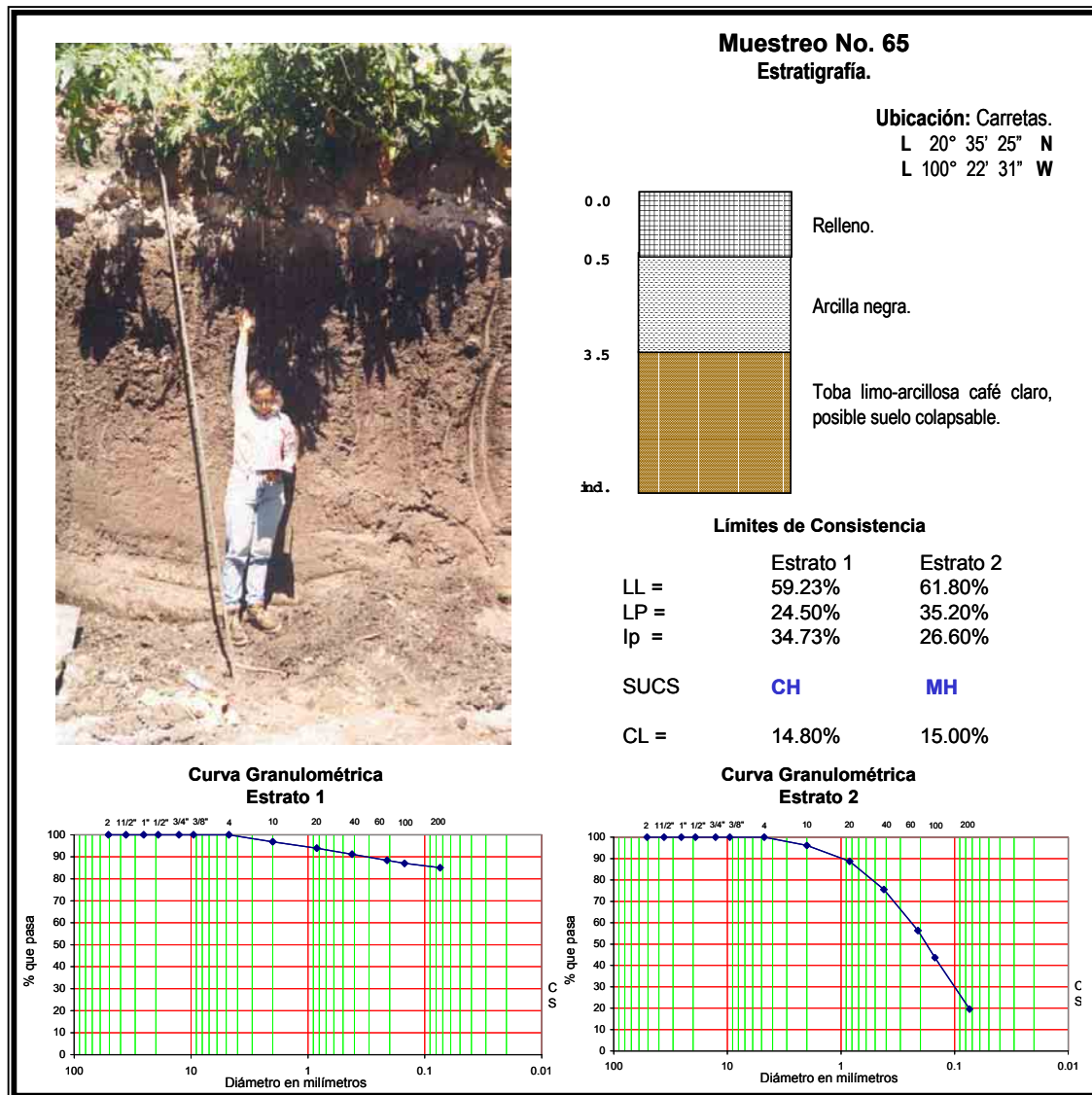


**Figura 3.22 Promontorio y estratigrafía en la Zona Peniplana de Santiago de Querétaro.**

La figura 3.22 muestra un corte realizado para alojar un estacionamiento al oriente del Templo de La Cruz, los materiales geológicos corresponden a las andesitas basálticas de la Unidad Menchaca (Tmbm). La capa de suelos es de un par de centímetros y corresponde principalmente a grava y arena.

En la zona donde está la plaza de Las Américas, se observó que en una excavación para un estacionamiento subterráneo de un edificio nuevo existen estratos (figura 3.23).

El primer estrato corresponde a una arcilla de color negro, cuyo espesor es de 0.5 metros, según la clasificación SUCS corresponde a una arcilla de alta plasticidad (CH). El segundo dos, de color café claro, presenta materiales limosos y según su clasificación SUCS es un limo de alta plasticidad (MH). Las curvas granulométricas aparecen en la misma gráfica.



**Figura 3.23 Estratigrafía en el sector de Plaza de Las Américas,  
Zona Peniplana.**

Hacia el límite norte de la zona peniplana, aparece el afloramiento de un contacto vertical, debido a una de las fallas normales de la “Microfosa Menchaca”, las Formaciones corresponden al basalto antiguo San Pedrito (Tibsp) y tobas de la Unidad Mompaní (Titm); el suelo desarrollado es del tipo residual y corresponde a arenas y gravas de diferentes tamaños de grano, como se puede ver en la figura 3.24, casi no tiene vegetación.

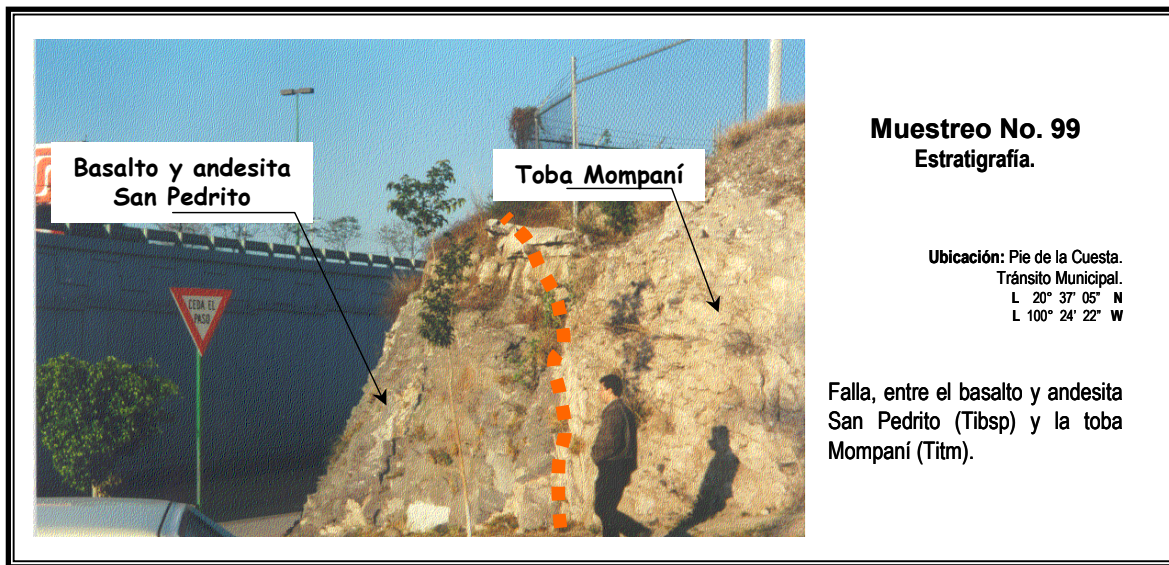


Figura 3.24 Límite Norte de la Zona Peniplana y su estratigrafía.

En el paso deprimido hacia la Zona Industrial Benito Juárez estratigrafía del sitio de muestreo No. 92 (figura 3.25) presenta el basalto viejo San Pedrito, un estrato índice de tobas y la capa de suelo residual, que es muy delgada y sin vegetación.

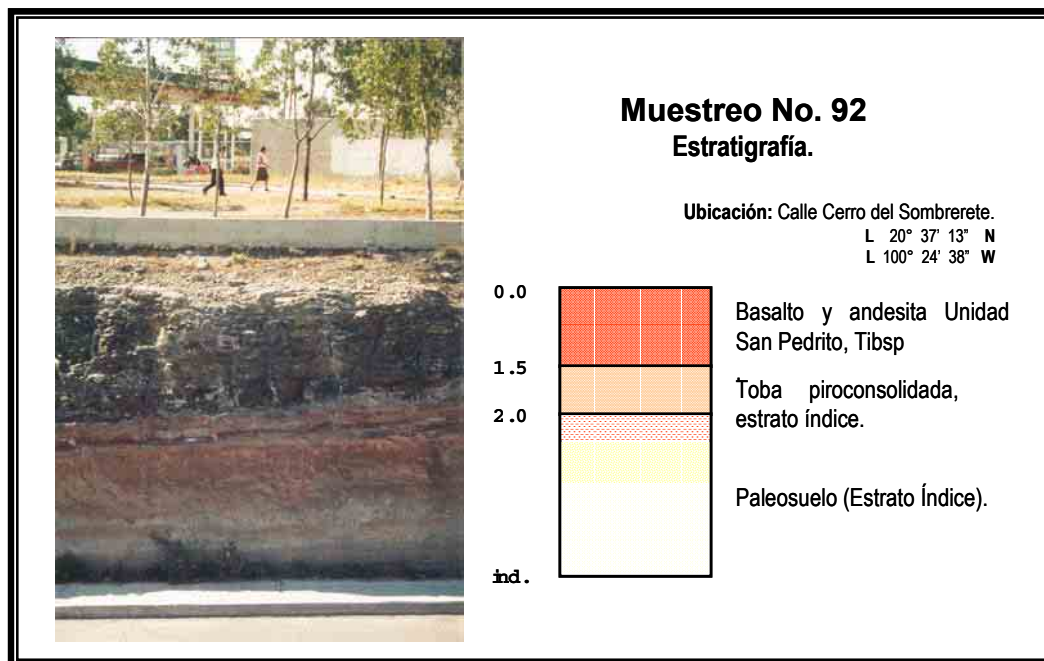


Figura 3.25 Estratigrafía del paso deprimido al Nororiente de la Zona Peniplana.



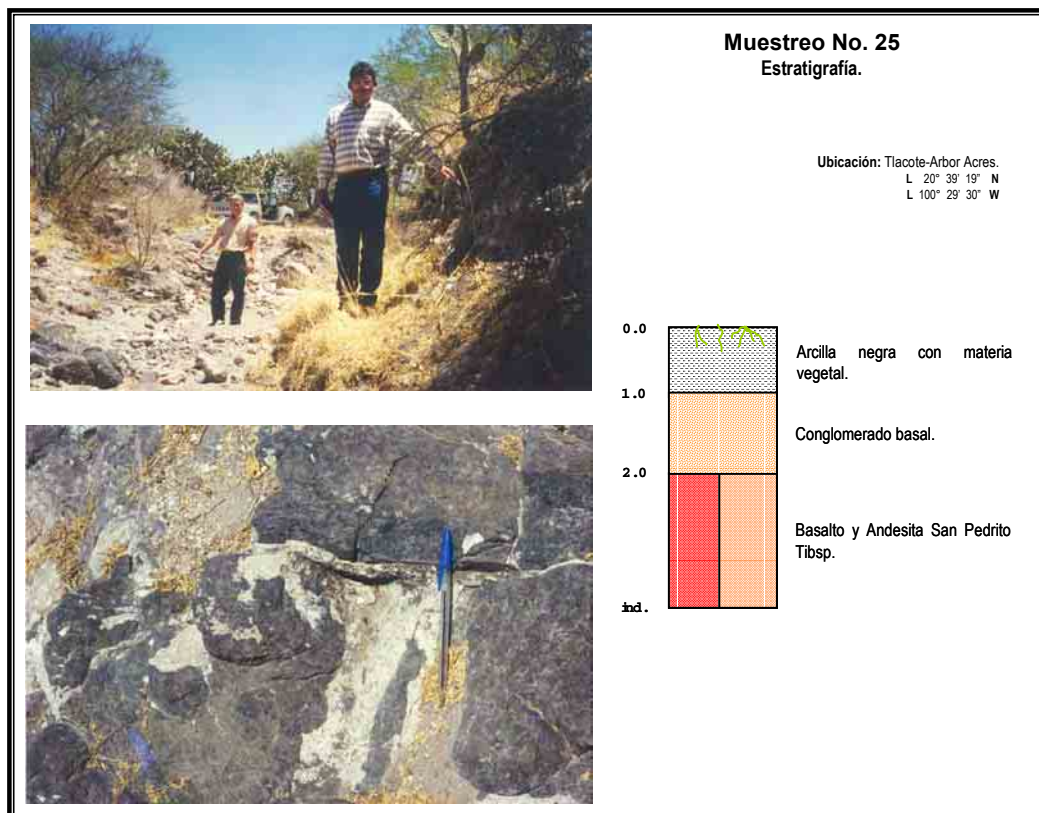
### 3.4 Zonas de los Arroyos.

En todas las Microfosas tales como: Cuesta China, Tángano, Pathé, Menchaca, Bolaños, etc., (Salas C. J. L. y Alvarez Manilla A. A., 1986) se han desarrollado arroyos y ríos, los cuales van erosionando las rocas que los limitan y producen diferentes tipos de dipósitos.

Uno de los arroyos al noroeste del valle, cercano al poblado de Tlacote, formó su cauce en materiales suaves hasta que llegó a la masa de roca del basalto antiguo, según, lo muestra la figura 3.26.

En el cauce no aparece un espesor regular ni potente de los depósitos fluviales, inclusive muchos de los cantos están semiangulosos y semiredondeados. La superficie del basalto mostrada en el recuadro de la figura 3.26 , muestra que las juntas de la roca están rellenas de sílice y en otras, de zeolitas.

La estratigrafía a los lados corresponde a las arcillas de un metro de espesor, medio metro de conglomerado, ambos descansando sobre el basalto viejo de la Unidad San Pedrito (Tibsp)



**Figura 3.26 Estratigrafía en un arroyo cercano al poblado de Tlacote.**

En el arroyo Pedro de Mendoza ubicado en la “Microfosa Menchaca” (figura 3.27), se aprecian los cantos dejados, no se determinó su espesor y a los lados se encuentran tobas de la Unidad Mompaní (Titm) o basaltos de la Unidad San Pedrito (Tibsp)

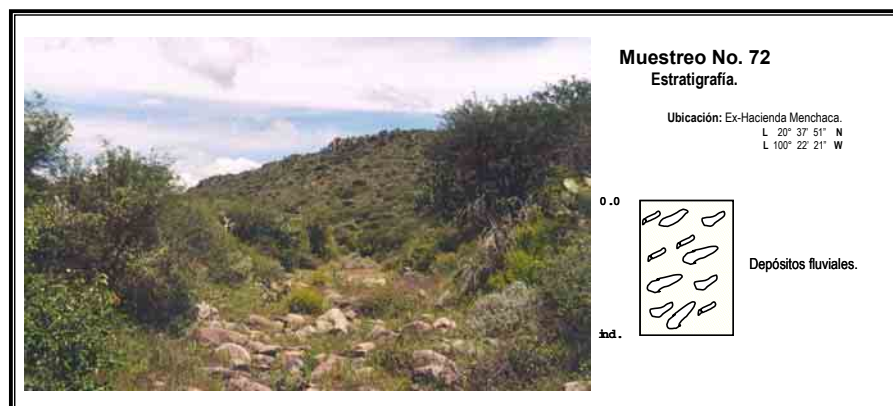


Figura 3.27 Arroyo Pedro de Mendoza en la “Microfosa Menchaca”

### 3.5 Zonas con suelos especiales.

Se ha definido como zonas de suelos especiales aquellas regiones donde aparecen suelos naturales “extraños” y a los suelos “antropogénicos”, o desarrollados por el hombre.

Se muestreo un suelo residual producido por una roca de precipitación química, ubicado al norte del Valle; corresponde básicamente a una sal de 10 centímetros de espesor, se encuentra en estado masivo (figura 3.28) y tiene una importante extensión

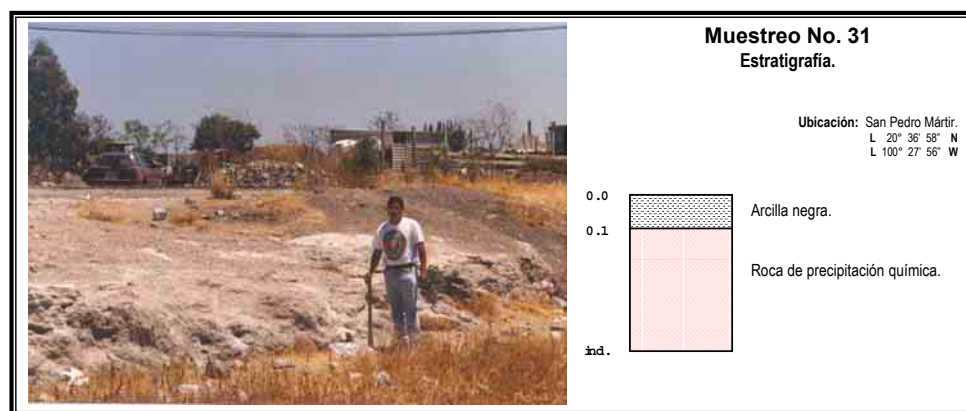
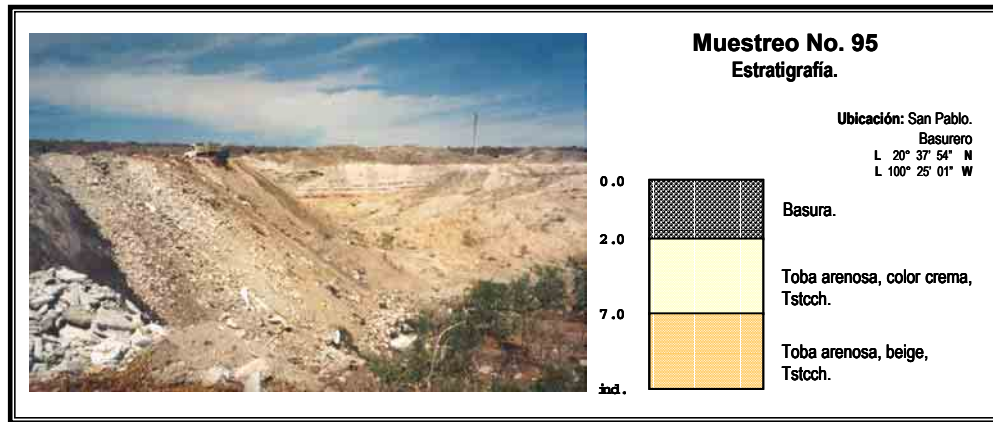


Figura 3.28 Suelo residual cuya roca madre es de precipitación química.

En el sector centro norte, salida a San Luis Potosí, existe una gran cantidad de bancos de material como el que aparece en la figura 3.29.

Estos bancos antiguos han sido rellenos con escombros, arcillas, basura, etc., no controlados y pasan a formar suelos del tipo “**antropogénico**”, después de que llegan al nivel deseado se aplana y muchas ocasiones venden el área para construir fraccionamientos de interés social.



**Figura 3.29** Antiguo banco de material relleno de suelos antropogénicos.

En un lugar cercano al Estadio Corregidora existe un antiguo banco que fue relleno con suelos antropogénicos (figura 3.30). en este sitio, se pretendía construir un inmueble que, después de analizar la relación de los costos de remoción/cimentación especial, se optó que le inmueble se construyera sobre una parte del banco relleno.



**Figura 3.30** Banco relleno con suelos antropogénicos y la construcción de un inmueble.

En la Delegación Villa Cayetano Rubio, existe un antiguo banco de material que fue rellenado, ver la fotografía aérea de la figura 3.31, y ahora alberga más de cuarenta casas.



**Figura 3.31 Fotografía aérea del banco “El Paraíso”, en la Zona Geotécnica Rocosa**

En la figura 3.32 aparece un perfil donde se observa el relleno no controlado y algunas casas al fondo construidas



**Figura 3.32 Perfil mostrando el relleno y las casas erigidas.**



Las propiedades geofísicas fueron evaluadas posteriormente mediante la sismología de refracción, determinando: la relación de Poisson ( $\nu$ ), los módulos de: rigidez ( $G$ ), Young ( $E$ ), Bulk ( $K$ ) y la compresibilidad ( $m_{vEdo}$ ); las gráficas tiempo distancia aparecen la figura 3.33 y los datos en la tabla 3.1

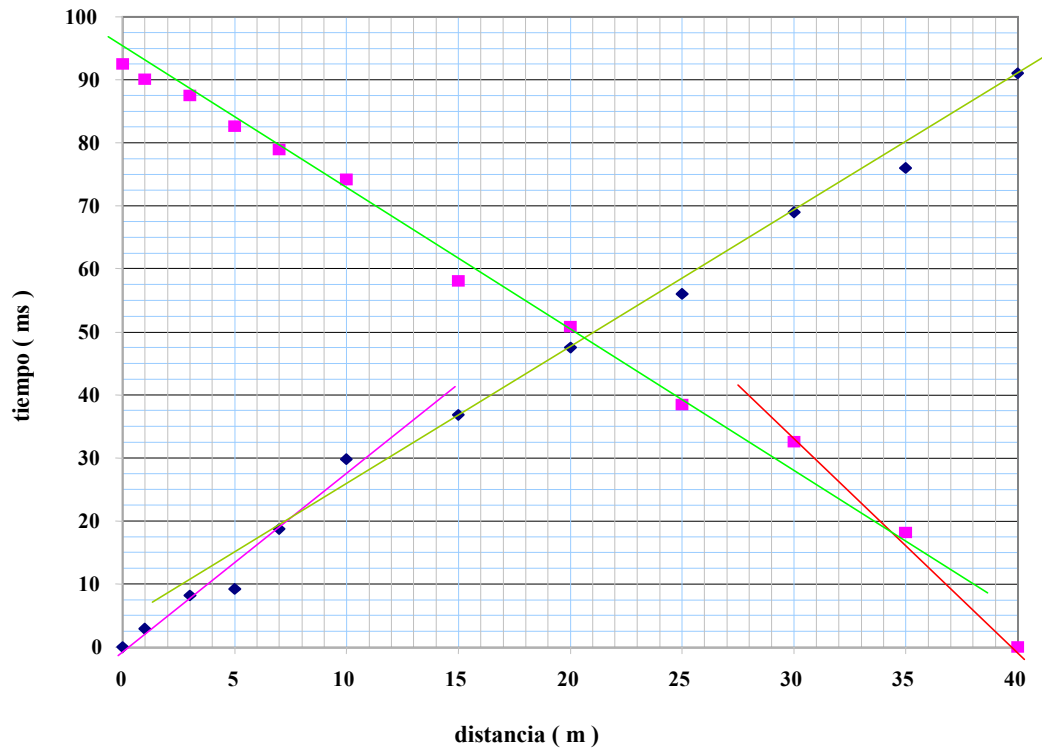


Figura 3.33 Gráfica tiempo distancia obtenidas sobre suelos antropogénicos

Tabla 3.1 Módulos elásticos dinámicos.

| SONDEO     | Vp    | Vs    | v     | G                 | E                 | K                 |
|------------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
| GEOSÍSMICO | m/seg | m/seg | adim  | tn/m <sup>3</sup> | tn/m <sup>3</sup> | tn/m <sup>3</sup> |
| Qreant     | 320   | 119   | 0.421 | 2004              | 56948             | 1184812           |
| Qreant     | 466   | 186   | 0.405 | 5139              | 144384            | 2501457           |



# **Metodología para la Carta de Suelos del Valle de Querétaro desde el punto de vista ingeniería civil, control espacial mediante los sistemas de Información Geográfica.**

Con la experiencia adquirida para el mapeo de suelos, rocas, estructuras, el uso del GPS y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se desarrolló la metodología para la realización de cartas que muestren rasgos de interés y medidas cuantitativas de alguna propiedad física y química.

La metodología consiste en:

1. Selección del sitio de muestreo.
2. Medición de las coordenadas geográficas.
3. Toma de muestras.
4. Análisis físicos y químicos.
5. Atributos de los sitios de interés.
6. Construcción de las cartas mediante los SIG.

### **4.1 Selección de los sitios de muestreo.**

Según el detalle requerido, ya sea un predio de varias hectáreas, un Valle, una zona metropolitana, una carretera, un campo de pozos de petróleo o agua, una vía de ferrocarril, una cordillera, etc., son seleccionados los sitios de interés para muestrear los suelos, agua, rocas, estructuras, etc.

## 4.2 Medición de las coordenadas geográficas.

En cada sitio seleccionado se miden mediante los aparatos de posicionamiento global satelital (GPS) las coordenadas geográficas en grados (°), minutos (') y segundos ("); las cuales son transformadas a la Proyección Universal Transversa de Mercator para ser trabajados fácilmente en un plano. La figura 4.1 muestra una tabla desarrollada en formato de Excel para hacer la transformación de las coordenadas e introducirlas a los SIG (ArcView).

|                         |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
|-------------------------|---|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|
| J5 = ((F5/60)+E5)/60+D5 |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
|                         | A | C            | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J     | K       |
| 1                       |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
| 2                       |   | Sitio        | LN  | LW  | Y   | X   |     |     |       |         |
| 4                       |   |              | (°) | (') | (") | (°) | (') | (") | UTM   | UTM     |
| 5                       |   | La Carambada | 20  | 45  | 0   | 100 | 31  | 0   | 20.75 | -100.52 |

|                              |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
|------------------------------|---|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|
| K5 = (((I5/60)+H5)/60+G5)*-1 |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
|                              | A | C            | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J     | K       |
| 1                            |   |              |     |     |     |     |     |     |       |         |
| 2                            |   | Sitio        | LN  | LW  | Y   | X   |     |     |       |         |
| 4                            |   |              | (°) | (') | (") | (°) | (') | (") | UTM   | UTM     |
| 5                            |   | La Carambada | 20  | 45  | 0   | 100 | 31  | 0   | 20.75 | -100.52 |

**Figura 4.1 Expresión para la transformación Coordenadas Geográficas a la proyección**

## 4.3 Toma de Muestras.

Para poder determinar los sitios de muestreo, se acudió primeramente a observar el plano geológico del Valle, se hizo una malla de dimensiones variables y fueron seleccionados los sitios de interés. El número de puntos visitados fue de doscientos cuarenta, de ellos en la carta solamente se presentan aproximadamente ciento catorce.

Los datos tomados corresponden al número de estratos en el corte, los espesores de ellos, breve descripción geológica, tipo de ambiente, color, tamaño de grano y extensión aproximada.

## 4.4 Análisis Físicos y Químicos.

Las muestras recolectadas en campo fueron reclasificadas en el laboratorio para poder determinar las pruebas de laboratorio a realizar; a los materiales gruesos se les practicó el ensaye de granulometría, mientras que a los finos se les determinó los límites de consistencia.

Las gráficas obtenidas fueron utilizadas como atributos para que aparecieran como imágenes cuando se estuviera utilizando el programa ArcView.

#### **4.5 Atributos de los sitios de interés.**

En las muestras de interés a diferentes profundidades fueron obtenidas sus propiedades índice, estructuras y lineamientos geológicos, y en las zonas de los rellenos antropogénicos fueron realizados sondeos sísmicos de refracción.

Las imágenes y gráficas finales fueron introducidas al ArcView como atributos para poder, en una sola observación, caracterizar el suelo desde el punto de vista ingenieril.

#### **4.6 Construcción de Mapas mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG):**

Con la integración de la información, estableciendo límites, correlacionando las propiedades índice y geofísicas, analizando las fotografías aéreas, etc., se elaboró la “Carta de Suelos del Valle de Querétaro” que aparece en la figura 4.2 y en el disco anexo.

##### **4.6.1 Suelos Residuales partes altas (Ira).**

Los suelos residuales en las partes altas corresponden a los que se formaron en las mesetas, la roca madre corresponde a las andesitas basálticas de la Unidad San Pedrito (Tibsp), Menchaca (Tmbm) y hacia el SE a las tobas de la Unidad Cuesta China (Tstcch). Están constituidos principalmente de limos, arenas y gravas. Se identifican como “Ira”

##### **4.6.2 Suelos Residuales en las laderas (Irl).**

Son suelos producto de la alteración química de los materiales geológicos en las laderas, se identifican como “Irl”; aparecen en las laderas de Huertas La Joya, Arboledas, Las “Microfosas de Menchaca, Pathé, Bolaños, Cuesta China y Balbanera.

#### **4.6.3 Suelos del tipo Coluvión (IrCo).**

Son suelos formados por clastos, arcillas, limos, sueltos y mal clasificados, aparecen en la Microfosa Tángano, La Cañada, Hércules y Zona de Tlacote.

#### **4.6.4 Suelos en la Zona Peniplana (Iipp).**

Son suelos que se encuentran en la Zona Metropolitana Antigua de Santiago de Querétaro, están constituidos de arcillas, principalmente en las partes planas y en la vecindad de los promontorios de arenas, limos y gravas.

#### **4.6.5 Suelos del tipo Fluvial en Ladera (Illla).**

Son suelos que se formaron en las laderas como producto de corrientes de lodo y cantos que bajaron a gran velocidad de partes más elevadas.

#### **4.6.6 Suelos del tipo Fluvial en Arroyos (Illary).**

En las Microfosas se desarrollaron una serie de arroyos, los cuales en la época de lluvias siempre dejan un espesor considerable de los suelos del tipo fluvial

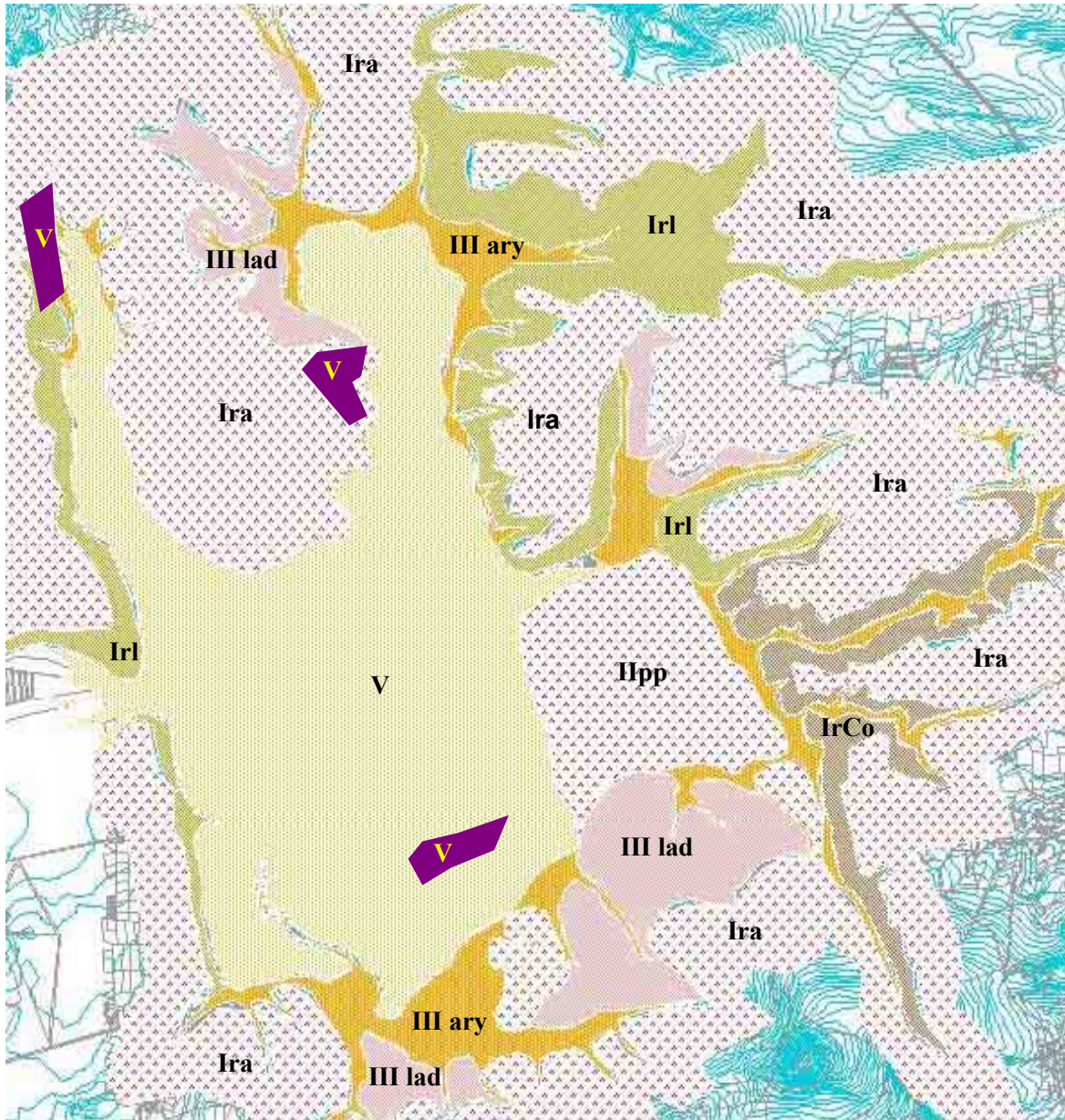
#### **4.6.7 Suelos del tipo Aluvial y Lacustre (IV).**

En la parte peniplana del Valle, se fueron acumulando los suelos del tipo aluvial y lacustre; los primeros son un poco más gruesos que los otros y pasan forman un importante espesor de aproximadamente 70 metros, en el centro del Valle de Querétaro.

#### **4.6.8 Suelos del tipo Antropogénico (V).**

Son suelos producto de los procesos finales de actividades del hombre. Generalmente los hoyancos de bancos de material abandonados.

En el disco anexo aparecen las imágenes del plano indicando los sitios de muestreo, las estratigrafías más importantes de cada zona y el mapa de suelos.



|                                   |      |                                     |         |
|-----------------------------------|------|-------------------------------------|---------|
| Suelos Residuales partes altas.   | Ira  | Suelos del tipo fluvial en ladera.  | III lad |
| Suelos Residuales en las laderas. | Irl  | Suelos del tipo fluvial en arroyos. | III ary |
| Suelos del tipo Coluvión.         | IrCo | Suelos del tipo Aluvial y Lacustre. | IV      |
| Suelos en la zona Peniplana.      | Ipp  | Suelos del tipo Antropogénico.      | v       |

**Figura 4.2 Mapa de Suelos del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro.**





## Conclusiones y recomendaciones

---

Conforme a las actividades realizadas para establecer la metodología de la caracterización de suelos mediante los sistemas de información geográfica, se concluye y recomienda lo siguiente:

### **Respecto a la aplicación del GPS y los SIG:**

- El empleo de los sistemas de posicionamiento global y los sistemas de información geográfica permiten tener al instante el tipo de suelo, espesor, propiedades mecánicas, lineamientos geológicos, características del drenaje, etc.
- La metodología se puede enumerar como sigue:
  1. Selección del sitio de muestreo.
  2. Medición de las coordenadas geográficas.
  3. Toma de muestras.
  4. Análisis físico y químicos.
  5. Atributos de los sitios de interés.
  6. Construcción de las cartas mediante los SIG.

### **Respecto a los suelos del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro:**

- Se diferenciaron nueve tipos de suelos: residuales en las partes altas; residuales en las laderas; coluvión; suelos de la zona peniplana; suelos del tipo fluvial en laderas; suelos del tipo fluvial en arroyos; suelos del tipo lacustre; suelos antropogénicos y aquellos, producto de la degradación de rocas de precipitación química.
- El espesor de suelos residuales en las laderas y partes altas es de medio metro en promedio, el coluvión varía entre uno y diez metros; los fluviales en arroyos alcanzan los 3 metros; los fluviales en laderas llegan a ser hasta de 20 metros y los rellenos antropogénicos se calculan en aproximadamente un promedio de 30 metros.



## Bibliografía

---

1. Alvarez Manilla A. A. (1996). "*Similitud entre las ecuaciones de Consolidación y Flujo Hidrodinámico, Una forma para explicar el agrietamiento en los suelos del Valle de Querétaro*". V Congreso de ingeniería Civil en el estado de Querétaro. CICEQ y FI de la UAQ.
2. Alvarez Manilla A. A., Garnica A. P. y Martínez P. E. I. G. (2001). "*Metodología para determinar la influencia de la extracción de agua subterránea en la infraestructura del transporte*". Publicación Técnica No 172. Instituto Mexicano del Transporte.
3. Alvarez Manilla A. A. (1998). "*La Geotecnia Ambiental, base de la planeación y crecimiento de Santiago de Querétaro, Qro.*". Conferencia organizada por la Cámara Nacional de las Empresas de la Consultoría y la Facultad de Ingeniería de la Universidad autónoma de Querétaro.
4. Alvarez Manilla A. A. (1999). "*Modelo de agrietamiento por sobreexplotación del acuífero, Casos Históricos: Querétaro, Salamanca y Aguascalientes*". 2do Congreso Nacional de Aguas Subterráneas, Aguascalientes, Ags. 1999. Asociación Geohidrológica Mexicana y Comisión Nacional del Agua.
5. Alvarez Manilla A. A. y Pérez R. M de la L. (1996) "*Subsidencia y fallamiento en el Valle de Querétaro*". XVIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Morelia, Mich.
6. Alvarez Manilla A. A., Fernández H. F. y Salas C. J. L. (1997). "*Relaciones entre las Zonificaciones Geohidrológica, Geotécnica y su impacto en el Valle de Querétaro*". Primer Congreso Nacional de Aguas Subterráneas. Mérida, Yuc. Asociación Geohidrológica Mexicana, AC.
7. Alvarez Manilla A. A., Nisino S O., Poot L. R. M., Ramírez C. M. S., y Martín del Campo T., R., (1998). "*Zonificación geotécnica del Valle de Tesislán-Atemajac-Colimilla; Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.*", XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Puebla, Pue.
8. Billings M. P., (1963). "*Geología Estructural*". EUDBA.
9. Bowles E. J. (1982). "*Propiedades geofísicas de los suelos*". McGraw Hill.
10. Canal de la., J. (1988). "*Diccionario de sinónimos e ideas afines*". SECSA.

11. Celanese Mexicana, SA de CV (1990). "*Estudio Geohidrológico y Balance Preliminar de Agua Subterránea en la vecindad del Complejo Industrial Benito Juárez, Querétaro*". Contrato RC45489-1. Geo Ingeniería Alfven, SA de CV.
12. Collie M. J. (1978). "*Geothermal Energy, Recent Developments*". Noyes Data Corporation.
13. Das M., B. (1990). "*Principles of geotechnical engineering*". PWS-Kent.
14. Derbyshire E., Dijkstra T., and Smalley J., (1995). "*Genesis and properties of collapsible soils*". NATO ASI Series.
15. Derrau M., y Solé S., (1965). "*Geomorfología*". Ediciones Ariel, SA.
16. Domenico P. A. and Schwartz F. W. (1990). "*Physical and Chemical Hydrology*". Jhon Willey and Sons.
17. Gabler R. E., Brazier S., Sager R. J. and Wise D. L., (1982). "*Essentials of Physical Geography*". Saunders College Publishing.
18. Geofísica de Exploraciones GUYSA, SA de CV., (1997). "*Plan de apoyo integral del agua subterránea para los principales valles del Estado de Querétaro*". Comisión Estatal del Agua, Gobierno del Estado de Querétaro.
19. Geo Ingeniería Alfven, SA de CV; 1996. Construcción del mapa de isoperíodos para la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal., mediante la valuación de la onda de corte ( $\beta$ ) con sismología de refracción. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente.
20. Geo Ingeniería Alfven, SA de CV; 1999. Mapa de fallas y zonas de riesgos geotécnico y geológico de la Zona Metropolitana y Valle de Querétaro. Secretaría de Desarrollo, Obras Públicas y Ecología del Municipio de Querétaro.
21. Gobierno del Estado de Querétaro. CEA. (1997). "*Plan de apoyo integral del agua subterránea para los principales valles del Estado de Querétaro*". Geofísica de Exploraciones GUYSA, SA de CV.
22. Huang T. W., (1968). "*Petrología*". UTEHA.
23. Hunt E. R. (1984). "*Geotechnical engineering investigation manual*". McGraw Hill Book Co.
24. Juárez B. E. y Rico R. A. (1995). "*Mecánica de suelos (Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Tomo I)*". Limusa.
25. Krumbein W. C. y Sloss L. L. (1969). "*Estratigrafía y sedimentación*". Uteha.
26. Lapedes D. N. (1977). "*Geological Sciens*". McGraw Hill.

27. López L. T. (1995). "*Resistencia al esfuerzo cortante en arcillas expansivas de Juríca, Querétaro*". Tesis de Maestría en Ingeniería. DEPI de la Universidad Autónoma de Querétaro.
28. Malory B. F., and Cargo D. N., (1979). "*Physical geology*". Mc Graw Hill.
29. Mingarro M. F., y Ordóñez D. S., (1982). "*Petrología Exógena I*", Editorial Rueda.
30. Mooser F., Taméz E., Santoyo E., Holguín E. y Gutiérrez C. E. (1990). "*Características Geológicas y geotécnicas del Valle de México*". Construcción del Metro, Ciudad de México; Secretaría General de Obras, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. DDF.
31. Ortega A. G. (1996). "*Variability of the coefficient of consolidation of the Mexico City clayey sediments on spatial and time scales*". Bulletin of International Association of Engineering Geology. París-No 54-October 1996.
32. Pasquare G., Ferrari L., Perazzoli V., Tiberi M. Y Turchetti F., 1987. Morphological and structural análisis of central sector of the Transmexican Volcanic Belt. Geofísica Internacional, Vol 26, No 2. IG de la UNAM.
33. Personal del Laboratorio de Salinidad de los EUA., (1974). "*Suelos Salinos y Sódicos*". Editorial LIMUSA.
34. Pettijhon F. J., (1963). "*Rocas Sedimentarias*". EUDEBA.
35. Poot L. M. R., (1999). "*Modelo constitutivo para suelos no saturados expansivos*". Tesis de Maestría en Ciencias de Ingeniería. DEPI de la Universidad Autónoma de Querétaro.
36. Preciado C. H. F. (1998). "*Estudio de la influencia de las variables de compactación en las características expansivas de un suelo de Jurica, Querétaro*". Tesis de Maestría en Ingeniería. DEPI de la Universidad Autónoma de Querétaro.
37. Secretaria de Desarrollo Urbano, obras Públicas y Ecología Municipal de Santiago de Querétaro. (1998). "*Mapa de Fallas y Zonas de Riesgos Geotécnico y Geológico del Valle y Zona Metropolitana de Querétaro*". Geo Ingeniería Alfven, SA de CV.
38. Touloukian Y. S. and Ho C. Y. (1981). "*Physical properties of rocks and minerals*". McGraw Hill.
39. Trejo M. A. (1989). "*Estratigrafía y propiedades mecánicas del subsuelo del Valle de la Zona Urbana de Querétaro*". Universidad Autónoma de Querétaro.
40. Universidad Autónoma de Querétaro. Laboratorio de Mecánica de Suelos. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. (1994-1999). "*Diversos trabajos y estudios de mecánica de suelos aplicada en el Valle y Zona Metropolitana de Querétaro*". DEPI de la Universidad Autónoma de Querétaro.

41. Universidad Autónoma de Querétaro. Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Licenciatura en Ingeniería Civil. (1994-1999). *"Diversos trabajos y estudios de mecánica de suelos aplicada en el Valle y Zona Metropolitana de Querétaro"*. FI de la Universidad Autónoma de Querétaro.
42. Zeevaert W. L. (1995). *"Esfuerzo-deformación-tiempo en suelos finos no saturados"* Revista de la SMMS, Número 9, Enero-Junio 1995.
43. Zepeda G. J. A. (1989) *"Expansión y compresibilidad de arcillas parcialmente saturadas"*. Curso Internacional de mecánica de suelos arcillosos. Universidad Autónoma de Querétaro (México) y Universidad de Laval (Canadá).
44. Zepeda G. J. A. (1989) *"Permeabilidad y flujo de agua en suelos parcialmente saturados"*. Curso Internacional de mecánica de suelos arcillosos. Universidad Autónoma de Querétaro (México) y Universidad de Laval (Canadá).
45. Zepeda G. J. A. (1995) *"Notas del curso de Comportamiento de Suelos I"* DEPFI de la UAQ.

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683  
Col. Mixcoac  
03730, México, D. F.  
Tel. (55) 56 15 35 75  
55 98 52 18  
Fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

Km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro.  
Tel. (442) 2 16 97 77  
2 16 96 46  
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)