



**UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

**Escuela de Ingeniería Civil**

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA  
SUPERFICIAL DE LA CIUDAD DE  
URUAPAN, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Salvador Solorio Godoy.**

**Paúl Roberto Vásquez García.**

Asesor:

Ing. Anastacio Blanco Simiano.

Uruapan, Michoacán, a 13 de enero del 2017.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# ÍNDICE

## **Introducción**

Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo.....	3
Pregunta de investigación.....	4
Justificación. ....	4
Marco de referencia.....	5

## **Capítulo 1.- Propiedades físicas y mecánicas de minerales, rocas y suelos**

1.1 Minerales y rocas.....	6
1.1.1 Tipos principales de minerales.....	7
1.1.2 Tipos principales de rocas.....	9
1.2 Ciclo de las rocas.....	11
1.3 Intemperismo.....	12
1.3.1 Efectos del transporte.....	17
1.3.2 Acción geológica del agua.....	19
1.3.3 Erosión.....	19
1.3.4 Alteración de los ríos con el tiempo.....	20
1.3.5 Acción geológica con el viento.....	20

1.3.6 Aguas subterráneas.....	20
1.4 Suelos.....	21
1.5 Naturaleza y origen de los suelos.....	25
1.6 Propiedades de los suelos.....	25

## **Capítulo 2.- Contexto geológico geotécnico de los suelos**

2.1 Clasificación e identificación de los suelos.....	32
2.1.1 Identificación de los suelos.....	34
2.1.2 Granulometría en suelos.....	37
2.1.3 S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).....	41
2.2 Importancia del laboratorio de mecánica de suelos en la formación del ingeniero civil.....	48
2.3 Diferentes tipos de muestreo.....	49
2.4 Tipos de sondeos.....	51
2.4.1 Sondeos exploratorios.....	52
2.5 Concepto de geología superficial.....	59
2.5.1 Uso de los conocimientos de la geología por el ingeniero.....	60
2.5.2 Mapas geológicos.....	62
2.6 Geotecnia.....	64

### **Capítulo 3.- Resumen de micro y macrolocalización**

3.1 Generalidades.....	65
3.2 Objetivo y alcance del proyecto.....	65
3.3 Resumen ejecutivo.....	66
3.4 Entorno Geográfico.....	67
3.5 Macro y Micro localización.....	68
3.5.1 Macro localización.....	68
3.5.2 Micro localización.....	69
3.6 Características del suelo en la zona de estudio.....	70
3.6.1 Topografía.....	71
3.6.2. Hidrografía.....	72
3.6.3. Geotecnia.....	73
3.6.4. Clima.....	74
3.7. Reporte Fotográfico.....	75
3.8. Estado Físico actual.....	80
3.9. Alternativas de solución.....	80

## **Capítulo 4.- Metodología de la investigación**

4.1 Método empleado.....	81
4.1.1 Método matemático.....	82
4.2 Enfoque de la investigación.....	82
4.2.1 Alcance de la investigación.....	85
4.3 Diseño de la investigación.....	88
4.4 Instrumentos de recopilación de datos.....	89
4.5 Descripción del proceso de investigación.....	90

## **Capítulo 5.- Proceso del trabajo de investigación**

5.1 Recopilación de información.....	92
5.2.- Vaciado de la información.....	93
5.3 Proceso de la información.....	95
5.4 ArcView GIS 3.2.....	96

<b>Conclusiones.....</b>	<b>123</b>
--------------------------	------------

<b>Bibliografía.....</b>	<b>127</b>
--------------------------	------------

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

En la presente investigación se pretende elaborar un mapa para determinar una zonificación superficial geotécnica de la ciudad de Uruapan ubicada en el estado de Michoacán, con el cual se podrá saber el tipo de suelo y sus características en determinadas zonas geográficas de la ciudad.

En la construcción de cualquier obra civil, sin importar de qué tipo sea, es importante conocer las características de los suelos para un buen diseño de las cimentaciones de las estructuras civiles, ya que existen diferentes tipos de suelo y cada uno de estos se comporta de manera muy distinta.

La mecánica de suelos ayuda a la clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y así se puede determinar con qué tipo de material se trabajará y sus características.

Mediante una investigación realizada en la biblioteca de la Universidad Don Vasco no se encontró ninguna tesis con una relación directa a la actual elaborada, sin embargo, existen algunos trabajos de investigación con una temática similar, a continuación presentadas:

“Propiedades índice y mecánicas en suelos de Uruapan, Mich.” Realizada en el año 1999 por Miranda Domínguez C. Betzabe y Rodríguez Corona María Isabel, el objetivo general fue elaborar un catálogo en el que se identifique las propiedades índice y mecánicas de los suelos en la ciudad de Uruapan.

Así mismo, está la tesis titulada “Propiedades Índice y mecánicas de los suelos, en la comunidad de San Lorenzo, municipio de Uruapan, Mich.” Realizada en el año 2011 por Moisés Nico Ramón, el objetivo general de la publicación es determinar la capacidad de carga del suelo de la comunidad de San Lorenzo, Mich., así como definir la propiedad que sirva de referencia de la citada capacidad de carga.

### **Planteamiento del problema.**

Gran parte de la sociedad en Uruapan tiende a construir sus viviendas, a falta de recursos no le dan gran importancia a los estudios previos necesarios, como los de mecánica de suelos. Esto es de gran preocupación para la seguridad de la sociedad, ya que no se sigue ningún esquema o reglamento, esto ocasiona problemas de inseguridad estructural y falta de la calidad de vida ya que no se tiene en cuenta el tipo de suelo sobre el cual se está construyendo, teniendo así grandes riesgos en el futuro, por ejemplo un deslave, desplazamiento de tierras, hundimientos diferenciales y uniformes, además de encarecer las obras por falta de estudios ya que la cimentación no está construida de acuerdo a la capacidad portante del suelo que seguramente proporcionará cimientos más esbeltos.



## **Objetivo.**

### **Objetivo general:**

Generar un mapa de zonificación geotécnica superficial de la ciudad de Uruapan, Mich; con el cual la sociedad será capaz de tener una mayor amplitud de conocimiento del tipo de suelo en el cual estará apoyada la cimentación y tendrá que ser capaz de soportar la carga total del proyecto estructural.

### **Objetivos particulares:**

- 1) Señalar el origen de los suelos.
- 2) Explicar la clasificación de los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- 3) Realizar un análisis del suelo en diferentes zonas de la comunidad de estudio y a sus alrededores para determinar sus características.
- 4) Señalar la importancia de realizar una obra civil considerando el estudio del suelo y sus propiedades.

## **Pregunta de investigación.**

Como se mencionó anteriormente, la sociedad no le da importancia a los estudios previos que se tienen que realizar para un buen desempeño estructural en cualquier obra civil lo cual dio origen a la siguiente pregunta de investigación por la cual se decidió elaborar la presente investigación:

¿Cuál es la zonificación geotécnica en la ciudad de Uruapan, Mich.?

Por consecuencia se formuló otra interrogante mencionada a continuación:

¿Qué propiedades tienen los diferentes tipos de suelos que existen en la ciudad de Uruapan, Mich.?

## **Justificación.**

El cambio drástico y las necesidades de la población de Uruapan han proliferado al crecimiento de la mancha urbana sin un carácter totalmente uniforme y con desarrollo urbano sustentable, a pesar de que ya se tiene un programa de desarrollo urbano municipal y centro de población, la aplicación de la normatividad no ha sido 100% aplicada; la existencia de una primera etapa de un mapa de riesgos formula la necesidad de incrementar la investigación en el subsuelo y poder ofrecer a la sociedad información verídica estadística para el mejor desarrollo urbano y de ingeniería de las actuales y futuras generaciones que necesiten desarrollar proyectos de ingeniería en la ciudad.

## **Marco de referencia.**

La ciudad de Uruapan está ubicada en el estado de Michoacán a 1620 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), su nombre oficial es Uruapan del Progreso. Cabe mencionar que es la segunda ciudad más importante y poblada del estado, cuenta con una extensión total de 954.17km<sup>2</sup> limitada con el municipio de Paracho al lado norte, con Peribán y Tancítaro por el lado oeste y con Ziracuaretiro y Taretan por el lado Este.

Su clima es templado con una gran diversidad de flora y fauna, cuenta con uno de los más hermosos parques nacionales, donde nace el río Cupatitzio siendo este de gran importancia para la ciudad, ya que es la principal fuente de agua potable para la región, teniendo también el río Santa Barbara que nace en la presa de Caltzontzin.

Su principal actividad económica es el comercio abarcando casi el 62.7% de la población, otro gran factor para la economía es la agricultura teniendo como principal producto el aguacate por el cual la ciudad de Uruapan se considera la capital a nivel mundial del aguacate. Sin dejar de sumar importancia la producción de caña de azúcar, maíz, durazno, café, guayaba y hortalizas como jitomate y calabaza.

También se tiene una gran actividad artesanal siendo pioneros en la actividad del maque que abarca la fabricación de lacas, jícaras, bateas y máscaras.

# CAPÍTULO 1

## PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MINERALES, ROCAS Y SUELOS

En el presente capítulo se abordará lo relativo a las propiedades físicas y químicas de los minerales, rocas y suelos, así como para el uso que se le vaya a dar, ya que es importante para el lector una visión más amplia de lo importante que es tener en cuenta los estudios previos para la ejecución de obra civil, como lo son los estudios de mecánica de suelos.

### 1.1 Minerales y rocas.

De acuerdo con Farndon (2008), las rocas y los minerales son la materia prima de la superficie terrestre. Las rocas están hechas con incontables granos de minerales: unos grandes, otros visibles únicamente con microscopio. Algunas rocas son de un único mineral, otras de docenas o más. Los minerales son productos químicos naturales y se clasifican según su composición química y su estructura. Las rocas se clasifican dependiendo su formación y pueden ser ígneas (de roca fundida), metamórficas (modificadas por presión y calor extremos), y sedimentarias (creadas por varias capas de sedimentos: materia suelta asentada). Las rocas y los minerales son extraídos o son excavados del subsuelo. Casi todas las rocas pueden cortarse o romperse para usarse como materiales de construcción en cualquier tipo de

infraestructura. Los mapas geológicos muestran donde hay diferentes formaciones de roca.

### **1.1.1. Tipos principales de minerales**

Los tipos principales de minerales se refieren a los metales, los no metales y los minerales compuestos, los cuales serán mencionados a continuación dando claros ejemplos para adquirir un mayor conocimiento de estos y una tabla para tener una mejor comprensión acerca del tema mencionando sus características:

- Metales.- Los metales naturales como el oro, plata, cobre platino y plomo son elementos metálicos que se encuentran en forma pura y pueden extraerse de las rocas o de lechos de los ríos. Pero la mayoría de los minerales, como el hierro, aluminio y estaño están combinados con otros elementos químicos. Estas minas deben procesarse para extraer el metal.
- No metales.- El azufre, grafito y diamante son los únicos minerales no metales encontrados en forma pura. El azufre natural tiende a cristalizarse a orillas de una fuente termal y de un cráter volcánico. No obstante, se encuentra comúnmente en compuestos minerales de sulfuros y sulfatos.
- Compuestos: La mayoría de los minerales aparecen en forma mixta como compuestos de elementos, usualmente cuando uno o más metales se combinan con un no metal. Estos minerales compuestos se dividen en nueve grupos según la combinación no metálica que contienen. El yeso es un sulfato hecho de calcio, azufre y oxígeno.

**MINERALES**

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	DUREZA	GRAVEDAD ESPECÍFICA		CLIVAJE	FRACTURA
			DUREZA	ESPECÍFICA		
<b>ELEMENTOS NATURALES</b>						
Oro	Au	2 1/2 <sup>-3</sup>	19.3		Ninguno	Mellada (bordes burdos)
Plata	Ag	2 1/2 <sup>-3</sup>	10.5		Ninguno	Mellada
Cobre	Cu	2 1/2 <sup>-3</sup>	8.9		Ninguno	Mellada
Azufre	S	1 1/2 <sup>-2</sup>	2.0 - 2.1		Basal imperfecto	Desigual a concoidal
Diamante	C	10	3.52		Octaedro perfecto	Concoidal
Grafito	C	1~2	2.1 - 2.3		Basal perfecto	Desigual
<b>SULFUROS</b>						
Galeana	PbS	2 1/2	7.58		Cúbico perfecto	Subconcoidal
Pirita	FeS <sub>2</sub>	6 - 6 1/2	5		Indistinto	Concoidal a desigual
<b>SULFATOS</b>						
Yeso	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	2	2.32		Perfecto	Astiloso
Barita	BaSO <sub>4</sub>	3 - 3 1/2	4.5		Perfecto	Desigual
Wolframita	(Fe,Mn)WO <sub>4</sub>	4 - 4 1/2	7.1 - 7.5		Perfecto	Desigual
<b>HALUROS</b>						
Halita	NaCl	2	2.1 - 2.2		Cúbico perfecto	Desigual a concoidal
Fluorita	CaF <sub>2</sub>	4	3.18		Octaedro Perfecto	Concoidal
<b>ÓXIDOS</b>						
Espinel	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7 1/2 - 8	3.5 - 4.1		Ninguno	Concoidal a desigual
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.0 - 6	5.26		Ninguno	Desigual a subconcoidal
Corindón	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	4.0 - 4.1		Ninguno	Concoidal a desigual
Perovskita	CaTiO <sub>3</sub>	5.0 1/2	4.01		Imperfecto	Subconcoidal a desigual
<b>CARBONATOS, NITRATOS Y BORATOS</b>						
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	3	2.71		Perfecto	Subconcoidal
Malaquita	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	3 1/2 <sup>-4</sup>	4		Perfecto	Subcon. A desigual
Nitratina	NaNO <sub>3</sub>	1.0 1/2 <sup>-2</sup>	2.27		Perf. Romboédrico	Concoidal
Ulexita	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> .5H <sub>2</sub> O	2.0 1/2	1.96		Perfecto	Desigual
<b>FOSFATOS</b>						
Turquesa	CuAl <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> . <sup>4</sup> H <sub>2</sub> O	5.0 - 6	2.6 - 2.8		Bueno	Concoidal
Apatita	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	5	3.1 - 3.2		Deficiente	Concoidal a desigual
<b>SILICATOS</b>						
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	7	2.65		Ninguno	Concoidal a desigual
Ópalo	SiO <sub>2</sub> .NH <sub>2</sub> O	5 1/2 - 8 1/2	1.9 - 2.3		Ninguno	Concoidal
Olivino	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> -Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	3 1/2 <sup>-4</sup>	3.27 - 4.32		Imperfecto	Concoidal
Granate	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	6 1/2 - 7 1/2	3.4 - 4.3		Ninguno	Desigual a concoidal
Berilo	Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>	7.0 - 8	2.6 - 2.9		Indistinto	Desigual a concoidal
Hornablenda	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe) <sub>4</sub> Al(Si <sub>7</sub> Al)O <sub>22</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	5.0 - 6	3 - 3.41		Perfecto	Desigual
Diópsido	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	5 1/2 - 6 1/2	3.22 - 3.38		Bueno	Desigual
Moscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	2.0 1/2 <sup>-3</sup>	2.77 - 2.88		Basal perfecto	Desigual
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2.0 1/2 <sup>-3</sup>	2.6 - 2.63		Basal perfecto	Desigual
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	6 - 6 1/2	2.55 - 2.63		Perfecto	Desigual a concoidal
<b>ORGÁNICA</b>						
Ámbar	Resina orgánica de plantas	2.0 1/2	1.08		Ninguno	Concoidal

Tabla 1.1 Propiedades químicas y físicas de los minerales.

Fuente: Rocas y Minerales (Farndon; 2008: 91).

### **1.1.2. Tipos principales de rocas.**

A continuación se mencionarán los tipos de roca según su origen y composición cabe mencionar que las condiciones en las que se forma cada una de ellas son fundamentales para la formación y su clasificación.

**Ígnea:** La roca ígnea nace como magma (roca calentada en el interior de la tierra hasta fundirse). Al subir por la corteza terrestre, el magma se enfría y se cristaliza. Puede solidificarse bajo tierra y formar rocas ígneas intrusivas, como el granito, o salir a la superficie como lava y formar rocas ígneas extrusivas, como el basalto, andesita, dacitas y riolitas.

**Metamórficas:** La roca metamórfica se forma cuando otras rocas se transforman por calor o presión extremos, como calor volcánico intenso o las tensiones de la formación de montañas. A veces los cambios ocurren localmente; otras suceden a gran escala. Algunos ejemplos de estas son: la pizarra, el mármol, el cuarzo, la mica entre otras.

**Sedimentarias:** La roca sedimentaria, se forma de sedimentos (fragmentos de roca o materia viva depositados en capas por el viento o el agua). Las capas más viejas y más profundas son apretadas por el peso sobre ellas y se compactan en rocas sólidas tras millones de años, en un proceso llamado litificación. Algunos ejemplos de estas son: el yeso, la turba, antracita, dolomía entre otras.

A continuación se presentara una tabla con la cual se puede apreciar el tipo de roca y los minerales que la conforman, así como su origen y sus características.

<b>ROCAS</b>						
<b>NOMBRE</b>	<b>ORIGEN</b>	<b>GRANO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>DÓNDE SE FORMO</b>	<b>COLOR</b>	
<b>ÍGNEAS</b>						
Granito	Intrusivo	Grueso	Ácido	Plutónico	Claro, medio	
Diorita	Intrusivo	Grueso	Intermedio	Plutónico, dique	Medio, oscuro	
Sienita	Intrusivo	Grueso	Intermedio	Plutónico, dique	Claro, oscuro	
Gabro	Intrusivo	Grueso	Básico	Plutónico	Medio	
Dolerita	Intrusivo	Medio	Básico	Dique, travesaño	Oscuro	
Riolita	Extrusiva	Fino	Ácido	Volcánico	Claro	
Obsidiana	Extrusiva	Muy fino	Ácido	Volcánico	Oscuro	
Peridotita	Intrusivo	Grueso	Ultrabásico	Plutónico, dique, travesaño	Oscuro	
Andesita	Extrusiva	Fino	Intermedio	Volcánico	Medio	
Basalto	Extrusiva	Fino	Básico	Volcánico	Oscuro	
Toba	Piroclástico	Fino	Ácido a básico	Volcánico	Medio	
Piedra pómez	Extrusiva	Fino	Ácido a básico	Volcánico	Medio	
<b>NOMBRE</b>	<b>ORÍGEN</b>	<b>GRANO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PRESIÓN</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>ESTRUCTURA</b>
<b>METAMÓRFICA</b>						
Pizarra	Cordilleras	Fino	Regional	Baja	Baja	Foliada
Esquistito	Cordilleras	Medio	Regional	Moderada	Baja a moderada	Foliada
Gneis	Cordilleras	Grueso	Regional	Alta	Alta	Foliada, cristalina
Anfibolita	Cordilleras	Grueso	Regional	Alta	Alta	Foliada, cristalina
Mármol	Aureolas	Fino, grueso	Contacto	Baja	Alta	Cristalina
Corneana	Aureolas	Fino	Contacto	Baja a alta	Alta	Cristalina
Metacuarcita	Aureolas	Medio	Contacto	Baja	Alta	Cristalina
<b>NOMBRE</b>	<b>ORÍGEN</b>	<b>GRANO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>FÓSILES</b>	<b>FORMA DE GRANO</b>	
<b>SEDIMENTARIA</b>						
Conglomerado	Marino, agua dulce	Muy grueso	Clástica	Muy raros		Redondo
Arsénica	Marino, agua dulce, Continental	Medio	Clástica	Invertebrados, vertebrados, plantas		Angular, redondo
Lutita	Marino, agua dulce	Fino	Clástica	Invertebrados, vertebrados, plantas		Angular
Roca de lodo	Marino, agua dulce	Fino	Clástica	Invertebrados, plantas		Angular
Arcilla	Marino, agua dulce, Continental	Fino	Clástica	Invertebrados, vertebrados, plantas		Angular
Caliza	Marino	Medio, grueso	Química	Invertebrados		Redondo
Tiza	Marino	Fino	Orgánica	Invertebrados, vertebrados		Redondo, angular
Dolomita	Marino	Medio, fino	Química	Invertebrados		Cristalino
Travertino	Continental	Cristalino	Química	Raros		Cristalino
Antracita	Continental	Medio, fino	Orgánica	Plantas		Amorfo

Tabla 1.3 Propiedades de las rocas y tipos.

Fuente: Rocas y Minerales (Farndon; 2008: 90).



## 1.2 Ciclo de las rocas.

La erosión destruye sin cesar la roca expuesta en la superficie de la tierra, pero rocas nuevas se forman hechas con lo que queda de las anteriores; este reciclado es llamado ciclo de las rocas. Sin embargo, gran parte del ciclo está oculto en la Tierra y sucede a lo largo de millones de años; Los movimientos de placas tectónicas convierten las rocas sedimentarias e ígneas en metamórficas.

A continuación en la imagen 1.1 se muestra el ciclo de la roca para tener una mayor comprensión del origen de los suelos y del proceso de formación e intemperismo de la roca.

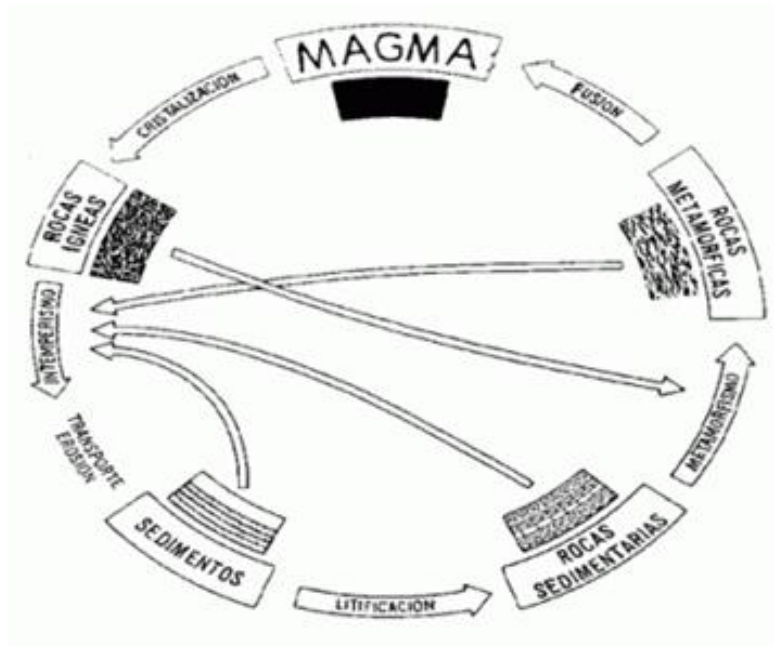


Imagen 1.1 El ciclo de las rocas

Fuente: Fundamentos de geología física (Leet y Judson; 1992:17)

### **1.3 Intemperismo.**

Como mencionan Leet y Judson (1992) las rocas se encuentran sujetas a una destrucción constante, todo tiende a destruir las rocas; la humedad del suelo, los cambios constantes de la temperatura del entorno y la incesante actividad de los seres vivos. Este proceso de destrucción o desintegración de la roca se le conoce como intemperismo y se le define como los cambios que tienen lugar en los minerales y rocas en o cerca de la superficie de la tierra por efectos de la atmósfera, del agua, de las plantas y de la vida animal.

El intemperismo es un proceso muy común en la naturaleza, deja sus huellas en cualquier lugar, alrededor de cada ser viviente en este mundo. Cumple con un rol de vital importancia en el ciclo de las rocas, ya que mediante el ataque del material superficial de la superficie terrestre, tanto en la roca sólida como en los depósitos sin consolidar, produce la materia prima para la formación de las rocas.

De acuerdo con Withlow (1994), el intemperismo es la acción individual o en conjunto de diversos procesos naturales, tales como, la temperatura, acción del viento, del agua o por acción de la gravedad. Las rocas se encuentran sobre la superficie de la tierra, o cerca de ella, están expuestas a desintegración y descomposición dando lugar así a la formación de los suelos. El proceso por el que se obtienen los suelos, es llamado "meteorización". Dicha formación la conforman dos grupos, desintegración mecánica o física y descomposición química. Según el autor mencionado anteriormente la desintegración mecánica es la intemperización de la roca por agentes físicos tales como los cambios bruscos de temperatura, congelación del agua en las grietas y poros de la roca, efectos de organismos

plantas etc. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas o cuando mucho limos y solo en casos particulares arcillas. La descomposición mecánica destroza las rocas sin alterar su composición.

La descomposición química está comprendida por la modificación de su constitución mineralógica o química, siendo el principal causante de este fenómeno el agua y los mecanismos de ataque principales son la oxidación, la hidratación y la carbonatación. Los efectos químicos de la vegetación juegan un papel importante el cual no se debe despreciar. Estos mecanismos químicos tienen como producto principal arcillas.

Sin embargo, Tricart, Jean (1981), considera un tercer tipo de proceso de formación del suelo, esta es llamada meteorización biológica. A continuación se explicará cada uno de los tipos de meteorización considerados por este autor:

a) Meteorización física:

1. Descompresión: Es la expansión y el agrietamiento que se producen en rocas que se han formado a gran profundidad, al encontrarse en la superficie donde la presión es mucho menor. A causa de esta dilatación comienzan a experimentar la formación de grietas con lo que se forman losas horizontales.
2. Termoclastia: Es la fisura de las rocas aflorantes como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el interior y la superficie. La diferencia térmica día-noche es la causa: durante el día, al calentarse, la roca se

dilata; sin embargo, por la noche, al enfriarse, se contrae. Al cabo de un tiempo acaba rompiéndose.

3. Gelifracción: es la rotura de las rocas aflorantes a causa de la presión que ejercen sobre ellas los cristales de hielo. El agua, al congelarse, aumenta su volumen en un 9%. Si se encuentra en el interior de las rocas, ejerce una gran presión sobre las paredes internas que acaba, tras la repetición, por fragmentarlas.
4. Haloclastia: Es la rotura de las rocas por la acción de la sal. La sal, se incrusta en los poros y fisuras de las rocas, y, al recrystalizar y aumentar de volumen, aumenta la presión que ejercen sobre las paredes internas (similar a la gelifracción) con lo que se puede ocasionar la ruptura.

b) Meteorización química:

1. Oxidación. Se produce al reaccionar algunos minerales con el oxígeno atmosférico.
2. Disolución. Es muy importante en minerales solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas y en el modelado kárstico. Es la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como lo es el agua.
3. Carbonatación. Se produce al combinarse el dióxido de carbono con el agua formando ácido carbónico, el cual se combina con ciertos minerales como el carbonato de calcio que se transforma en bicarbonato: el primero es insoluble en el agua pero el segundo no lo es, por lo que es arrastrado por ella.

4. Hidratación. En esta reacción, el agua es incorporada a la estructura de algunos minerales aumentando de volumen, (en ocasiones puede llegar al 50%) como como sucede con el yeso o sulfato de calcio hidratado. Al secarse estos materiales, se produce el efecto contrario, generando contracción y agrietamiento.
5. Hidrólisis. Es la descomposición por acción del agua, que a su vez también se descompone. Se presenta una rotura en la estructura de algunos minerales por la acción de los iones de  $H^+$  y  $OH^-$  de agua, fundamentalmente en la meteorización del feldespato, que se transforma en arcillas y del granito que puede llegar a la caolinización (transformarse en arcillas, especialmente en caolín).
6. Bioquímica. La acción de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de materiales biológicos en el suelo o por la acción física - química de los propios vegetales vivos.

Los tipos de meteorización mencionados anteriormente se pueden observar de una manera gráfica en la siguiente imagen (Imagen 1.2)

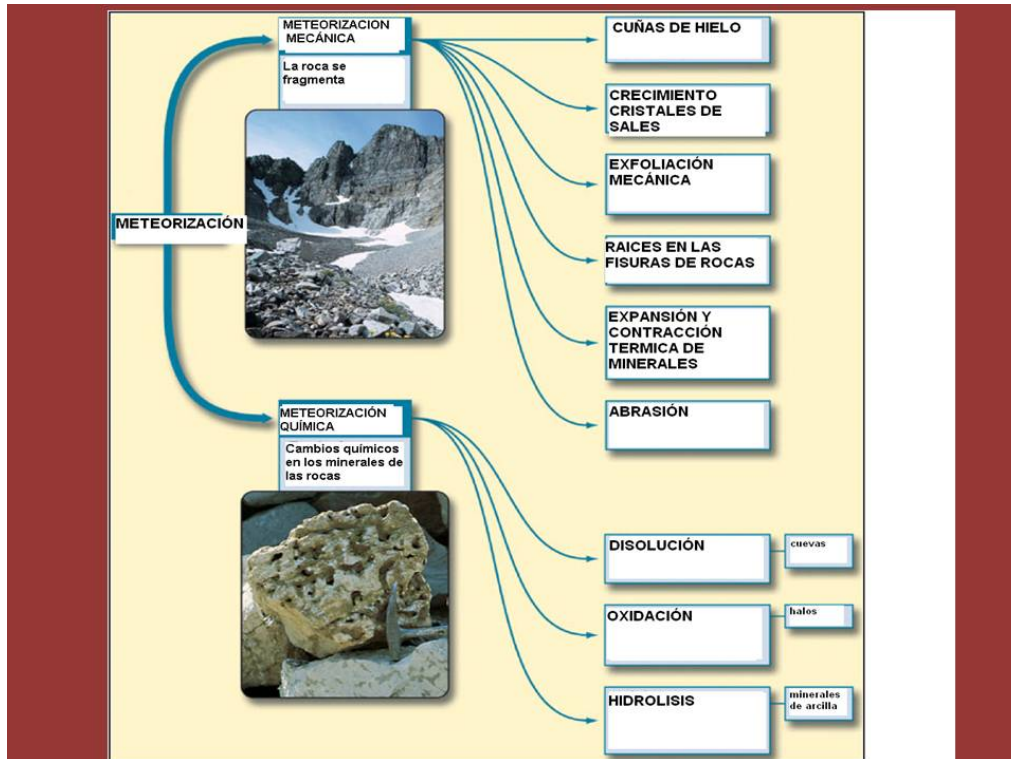


Imagen 1.2 Tipo de meteorización

Fuente: <http://tavitauap.blogspot.mx> (2014)

c) Meteorización biológica: Algunos seres vivos contribuyen a transformar las rocas. Así, las raíces de las plantas se introducen entre las grietas actuando de cuñas. Al mismo tiempo segregan sustancias que alteran químicamente las rocas. También algunos animales, como las lombrices de tierra, las hormigas, las termitas, los topos, etc., favorecen la alteración in situ de las rocas en la superficie.

Según Juárez y Rico (2014) la formación de los suelos es gracias a una gran cantidad de causas bajo ciertas circunstancias particulares, las cuales exceden todo poder de descripción detallada. Dando como resultado una inmensa variedad de tipos de suelo, los cuales tienen su origen en todas y cada una de las eras geológicas hasta hoy en día.

### **1.3.1. Efectos del transporte.**

Como señala Leet y Judson (1992), se conocen como suelos residuales a aquellos suelos que permanecen en el sitio donde fueron formados y los suelos transportados son aquellos formados por los productos de alteración de la roca ya mencionados anteriormente, posteriormente removidos y depositados en un sitio diferente al de su origen. Los elementos (agentes geológicos transportadores) que conducen el material de la roca al suelo, son el producto de la acción múltiple y alargada de factores naturales como: clima, vegetación fauna, relieve, tiempo y la dinámica interna. A ello se suman varios elementos con un carácter más limitado regionalmente: el nivel de aguas freáticas y la influencia del hombre.

Dentro del factor clima está considerada la temperatura, precipitación, viento, etc. La precipitación tiene un papel de suma importancia en el desarrollo de alteración en la ciudad de Uruapan, interviniendo en la distribución sobre el perfil de los diferentes constituyentes del suelo. La vegetación juega un papel importante en la conservación del clima ya que puede modificar la humedad que hay en el ambiente, la temperatura, aumenta la humedad en el suelo y reduce la erosión.

El hombre dependiendo de sus necesidades e intereses, modifica el relieve debido a la construcción de diversas obras de infraestructura tales como: carreteras, puentes, ciudades, etc. Haciendo modificaciones en los procesos naturales. El factor relieve estimula la formación y evolución de los suelos, dependiendo de la topografía del terreno como son las pendientes, si estas son elevadas cuando llegue la época de lluvias o por la acción del viento, habrá desprendimientos de cuerpos rocosos y se depositarán en la base de las montañas creando depósitos de rocas.

Los mismos autores mencionan que el paso del tiempo es un factor que es también determinante en la formación de los suelo, un suelo que apenas comienza su proceso de formación difiere de aquel otro que lleva formándose miles de años atrás aun cuando el clima, y la topografía sean exactamente las mismas. En cuanto a la dinámica interna, los movimientos tectónicos son determinantes de un relieve montañoso y accidentado, al originar la apertura para que agentes externos actúen sobre las rocas y las transformen.

De acuerdo con Manual de C.F.E. (1985), en el caso particular de Uruapan, se trata de suelos producto de materiales acarreados que han sido desplazados de su lugar de origen y vueltos a depositar por alguno de los diversos agentes geológicos (suelos transportados). El agente geológico principal, en este caso, es fluvial. El material procede de deslaves y escurrimiento de tierras. El tipo de sedimento es principalmente clástico (formado por el arrastre del agua y del viento), como gravas, gravilla, arena, limo y arcilla.



### **1.3.2. Acción geológica del agua.**

Las corrientes de agua son las fuerzas geológicas más importantes que actúan en la superficie terrestre. Aún con escasas precipitaciones anuales, las avenidas que son producto de tormentas súbitas trasladan cantidades considerables de materiales. El material es transportado en forma de partículas o compuestos disueltos por acción de las aguas de escorrentía, es decir, por los ríos. Las clases de transportes por el agua son: (1) tracción: gravas, arenas; (2) suspensión: arcillas, arenas finas, coloides y; (3) solución.

### **1.3.3 Erosión.**

Al desprendimiento y al transporte de sedimentos rocosos por los agentes en movimiento que operan en la superficie terrestre, es el efecto comúnmente conocido como erosión. La erosión debida a la corriente del agua es un proceso geológico normal, que desgasta el terreno durante durante largos periodos geológicos y transporta los sedimentos al mar. El tipo y uso de suelos han cambiado debido a factores relacionados con las acciones del hombre, tales como la tala de árboles que se ha realizado durante periodos extensos de tiempo, ya los incendios forestales no controlados. Uruapan está ubicado en una depresión topográfica ocupada por cursos de agua. Dicho de otra forma, es un valle formado por depósitos aluviales constituidos en su mayoría de limos, arenas y gravas.

#### **1.3.4 Alteraciones de los ríos con el tiempo.**

Los ríos no sólo recortan los valles por los que fluyen, sino que el trabajo geológico de las corrientes de agua es capaz de cambiar totalmente la fisiografía de la región, son capaces de reducir el relieve del terreno a una fisiografía de menos relieve, hasta una plana o senil, donde los ríos adquieren un carácter meándrico.

#### **1.3.5. Acción geológica del viento.**

Como agente de transporte y por consiguiente de erosión y sedimentación, la acción del viento es muy conocida donde quiera que los materiales sueltos no se hayan protegidos por una cubierta de vegetación. En regiones húmedas, como es en el caso de Uruapan, la erosión del viento se encuentra limitada por la cubierta formada predominantemente de hierbas y árboles.

#### **1.3.6 Aguas subterráneas.**

Su origen es la precipitación atmosférica (lluvia), se desliza superficialmente en forma continua por los ríos hacia los océanos, penetra al subsuelo y alimenta a los acuíferos formados debido a la permeabilidad de los diversos estratos de suelo. En los terrenos con una consolidación baja, se forman capas de aguas freáticas, sin presión y con condiciones de aguas ascendentes por efecto del fenómeno conocido como capilaridad, cuya profundidad varía de acuerdo al relieve topográfico. Los manantiales o fuentes es donde brota el agua del depósito subterráneo y se incorpora al sistema del drenaje superficial.

## **1.4 Suelos.**

“El término suelo puede tener diferentes matices de significados dependiendo del contexto en el que se use. Para el geólogo, la palabra suelo describe las capas de material suelto sin consolidar que se extienden desde la superficie hasta la roca sólida, y que se ha formado por el intemperismo y la desintegración de las propias rocas. Por otra parte, para el ingeniero, el concepto de suelo está relacionado con la obra que puede hacerse sobre él. Por consiguiente, para la ingeniería el término suelo se refiere al material que se puede utilizar sin necesidad de perforaciones o voladura”. (Withlow; 1994: 1)

Como mencionan Leet y Judson (1992), el suelo es el material natural, que sostiene la vida vegetal. El clima y los organismos vivientes son factores determinantes que combinados simultáneamente por periodos de tiempo sobre los materiales de la tierra y sobre el paisaje del relieve generan un número ilimitado de posibles tipos de suelos. Se sabe que la composición y por consiguiente las características o propiedades del suelo varía dependiendo de la profundidad. El afloramiento natural o artificial de un suelo revela una serie de zonas diferentes entre sí. Cada una de estas zonas constituye un horizonte de suelos, o simplemente un horizonte como se muestra en la Imagen 1.3.

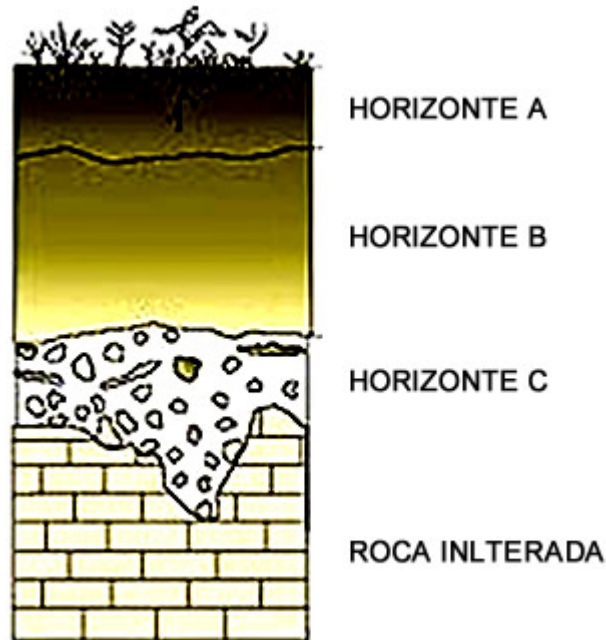


Imagen 1.3 Estratificación de los suelos

Fuente: Fundamentos de geología física (Leet y Judson; 1992:98)

- Horizonte C: Es un horizonte en donde los niveles de descomposición y desintegración que actúan en la roca madre son casi nulos, solamente un pequeño porcentaje de minerales se han transformado en materiales completamente nuevos con nuevas propiedades y características. Debajo de este horizonte se encuentra la roca inalterada.

- Horizonte B: Es comúnmente conocido como zona de acumulación ya que allí se almacenan los materiales arrastrados productos de la percolación y de la evaporación cuando el agua se desplaza hacia arriba. En suelos húmedos se pueden encontrar una gran variedad de arcillas y óxidos de hierro y en suelos secos además de la arcilla y óxidos de hierro, se encuentra la calcita.

- Horizonte A: Es el horizonte más superficial de los tres mencionados anteriormente, debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en este horizonte el color varía de un gris a negro. En este horizonte la velocidad con la que se presenta el intemperismo es extremadamente alta.

Los mismos autores señalan que el primer horizonte (A) se genera debido al intemperismo intenso de la roca madre cuando se encuentra en contacto directo con los agentes atmosféricos, los cuales descomponen y desintegran la roca rápidamente. El intemperismo debido a la acción de la infiltración y percolación comienza a lixiviar los horizontes inferiores, conforme aumenta la profundidad de los horizontes la velocidad del intemperismo va decreciendo cada vez más. Con el paso del tiempo el espesor de cada uno de los horizontes va aumentando y desintegrando a la roca inalterada. Finalmente queda constituido un suelo maduro. El tiempo es un factor clave para la formación de los suelos.

Dicho por Withlow (1994) el suelo tiene su origen ya sea directa o indirectamente en los diferentes tipos de rocas. De acuerdo con su proceso de formación, las rocas se clasifican de la siguiente manera:

- Rocas ígneas: Formadas por el enfriamiento del magma, sobre la superficie terrestre o en su interior.
- Rocas sedimentarias: este tipo de rocas son formadas por la acumulación de sedimentos producto de la fragmentación y erosión de la roca, los sedimentos se acumulan generalmente en cuerpos de agua, como ríos y mares.

- Rocas metamórficas: cuando la roca es sometida a procesos morfológicos, como son las temperaturas presiones extremas. Por lo general estos procesos se realizan a altas profundidades de la corteza terrestre, las rocas afloran a la superficie terrestre por efecto de los procesos de subducción de las placas tectónicas.

En el estudio de los orígenes del suelo se empleará la geotecnia para su estudio, para determinar el uso y clasificación de los suelos se empleará el punto de vista del ingeniero civil.

“La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo”. (Juárez y Rico; 2014: 11)

Según Juárez y Rico (2012) la compacidad en un suelo es un factor muy importante en el comportamiento del mismo ya que mientras sea más compacto sea mayor será su densidad y más útil será para la construcción.

## **1.5 Naturaleza y origen de los suelos.**

De acuerdo a la ingeniería civil, la corteza terrestre está formada por dos tipos de materiales, los cuales se clasifican como suelo y roca. El primero se conoce como el agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de baja intensidad como es el agua. El segundo define que la roca es un agregado constituido por minerales los cuales se encuentran unidos fuertemente.

El origen del suelo se remonta a la solidificación de grandes mantos de magma en el nacimiento del planeta tierra, ya que el suelo es el producto de la meteorización de la roca. Según Juárez y Rico (2014), el suelo es todo aquel material terroso, incluyendo todo relleno de desperdicio, también considerando areniscas parcialmente cementadas y lutitas suaves, dejando fuera del concepto las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablandan o se desintegran rápidamente por la intemperie. El suelo tiene una organización definida, con partículas orgánicas e inorgánicas cuyas propiedades varían tanto en forma vertical como horizontal, siendo más brusco el cambio en forma vertical. Es decir que presenta un perfil.

## **1.6 Propiedades de los suelos.**

De acuerdo con Farndon (2008), rocas y minerales pueden organizarse e identificarse por una gama de propiedades diferentes. A continuación se mencionarán las propiedades más importantes de un grupo de rocas y minerales comunes. Las rocas se agrupan por origen (donde se formaron) y los minerales por

su composición química. A veces, una sola propiedad puede identificar un espécimen; con frecuencia se necesita una combinación de propiedades. La roca basalto, por ejemplo, se clasifica como roca ígnea básica, extrusiva y se identifica por su color oscuro y grano fino.

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1994), los suelos son una acumulación heterogénea de partículas minerales no cementadas, producto de la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas lo que da como resultado una inmensa variedad de tipos de suelos, cuyo comportamiento será diferente en cada una de las solicitaciones a que se someta.

Debido a que las propiedades del suelo pueden ser variables en el tiempo y el espacio, la única manera que tienen el ingeniero Civil de determinar el posible comportamiento del suelo, es mediante la realización de Pruebas de laboratorio que reproduzcan de la manera más real las condiciones a que estará sujeto el suelo. Por lo que es obvio la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra que se trate con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo en estudio, lo que da al proyectista una concepción razonable y exacta de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en su análisis.

“Las propiedades básicas de los suelos y sus parámetros pueden subdividirse en categorías físicas, índices y mecánicas.” (Merrit, Loftin y Ricketts; 2008, 7.9).



Según [www.fao.org](http://www.fao.org) las propiedades físicas del suelo comprenden

- a) Consistencia del suelo: La consistencia es la propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que pueden aplicar sobre él. Según su contenido de humedad la consistencia del suelo puede ser dura, muy dura y suave. Se mide mediante tres niveles de humedad; aire-seco, húmedo y mojado. Para la construcción sobre él se requiere medidas más precisas de resistencia del suelo antes de la obra.
  
- b) Color del suelo: El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.
  
- c) Porosidad del suelo: El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y

constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

d) Densidad del suelo: Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.

e) Movimiento del agua en el suelo: El agua fluye en el suelo debido a varios tipos de fuerzas como de gravedad, ascenso capilar y osmosis. Entre fuerzas de succión 0 y 1/3 bar, el agua fluye en el suelo por las fuerzas de gravedad, este fenómeno se nombra por flujo saturado. Fuerzas de succión más elevadas se nombran flujos no saturados. Los flujos de agua se pueden medir en campo mediante la Conductividad Hidráulica. Se puede obtener información fundamental en la circulación del agua en el suelo mediante la descripción de suelos de las clases de drenaje y sus características asociadas.

Según <http://www.utecv.esiaz.ipn.mx/> las propiedades índice de los suelos se describen de la siguiente manera:

- a) Granulometría: Es la distribución según el tamaño de las partículas que forman un estrato de suelo.
  
- b) Humedad natural: El contenido de agua es la relación entre las masas del agua, que contiene el suelo y la del suelo seco.
  
- c) Limite líquido: humedad del suelo en el límite entre el estado semilíquido y plástico.
  
- d) Limite plástico humedad del suelo en el límite entre plástico y semisólido.
  
- e) Índice plástico: Rango de humedad en que el suelo se encuentra en el estado plástico.
  
- f) Contracción lineal: Esta característica del suelo es una prueba ideada por los ingenieros de la entonces SOP y consiste en determinar la contracción que sufre el suelo saturado cuando se seca, en un molde rectangular de 1 cm<sup>2</sup> de sección transversal por 10 cm de longitud.

- g) Densidad de sólidos: En esta propiedad se relacionan el peso volumétrico de los sólidos con el peso volumétrico del agua a 4°C de temperatura y a una atmósfera de presión.

Según <http://www.utecv.esiaz.ipn.mx/> las propiedades mecánicas de los suelos son las siguientes:

- a) Resistencia al corte: La resistencia al corte se refiere al nivel de fuerzas cortantes que un material puede resistir sin fracturarse. La resistencia al corte se mide en Newtons por metro cuadrado. Las fuerzas cortantes son fuerzas que se aplican tangencialmente a lo largo de una cara de la tierra. La resistencia al corte es difícil de medir ya que depende de una amplia variedad de factores, incluyendo la naturaleza del suelo, la historia de la muestra de suelo particular que es medida, y la velocidad a la que las fuerzas de corte se aplican.
- b) Presión lateral del suelo: La presión lateral del suelo es la presión que ejerce la tierra horizontalmente. Si tienes una masa cúbica de tierra en un recipiente cúbico, entonces la presión lateral del suelo es la presión ejercida sobre las paredes del recipiente. El empuje lateral se mide en Pascales o Newtons por metro cuadrado.

- c) Consolidación: La consolidación es el proceso mediante el cual el volumen del suelo disminuye bajo la aplicación de una carga. La consolidación es causada por las cargas que se aplican al suelo y los granos de suelo que son empaçados juntos más estrechamente como resultado.
  
- d) Capacidad de carga: La capacidad de carga es la capacidad de la tierra en torno a una estructura para soportar las cargas aplicadas. La capacidad de carga se mide en Pascales o Newtons por metro cuadrado.
  
- e) Permeabilidad y filtración: La permeabilidad se refiere a la facilidad con la cual el fluido puede fluir a través de los poros en el suelo. La permeabilidad se mide en metros cuadrados. La filtración se refiere a la tasa a la cual el fluido se mueve a través de una masa de tierra. La filtración se mide en metros por segundo.
  
- f) Estabilidad de taludes: La estabilidad de taludes se refiere a la resistencia de una pendiente con respecto a su falla o colapso. La estabilidad de una pendiente abarca una amplia gama de consideraciones y no tiene una sola unidad universal de medición.

## **CAPÍTULO 2**

### **CONTEXTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS.**

En el presente capítulo se abordará lo relativo a los aspectos geológicos y geotécnicos básicos que todo ingeniero civil debe tener en cuenta para poder realizar e interpretar alguna zonificación, tales como: Clasificación de suelos y rocas, intemperismo, propiedades físicas de los minerales, medio ambiente, ataque químico. Las rocas y el suelo son la base de la estructura de una construcción, el ingeniero no puede iniciar su proyecto sin antes haber realizado cuidadosos estudios generales de la zona, y puntuales del suelo de desplante para así determinar el tipo de material que se encuentra en el terreno, para después conocer su comportamiento y obtener los parámetros de seguridad que se deberán de incluir en el diseño para garantizar un correcto funcionamiento de toda la estructura. De la misma manera se señalarán aspectos clave que contribuyen a la formación de los suelos, tales como roca madre, intemperismo, medio ambiente, ataque químico, etc. Para comprender el contexto geológico-geotécnico de los suelos.

#### **2.1 Clasificación e identificación de los suelos.**

De acuerdo con Bañón y García (2001), el suelo se puede clasificar según su textura: fina o gruesa, y por su estructura: floclulada, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que termine una mayor o menor circulación del agua, por lo tanto

la existencia de especies vegetales que necesiten concentraciones más o menos elevadas de agua o de gases.

Se sabe que el suelo también se puede clasificar tanto por sus características químicas, por su poder de absorción de coloides y su grado de acidez (pH) que permite la existencia de una vegetación más o menos necesitada de ciertos compuestos. Los suelos se clasifican en tres partes: los no evolucionados, poco evolucionados y evolucionados, los cuales se describen a continuación:

- a) Suelos no evolucionados: Son suelos brutos, muy cerca de la roca madre y apenas tienen aporte de materia orgánica. Son resultados de los fenómenos erosivos o de la acumulación reciente de aportes aluviales. Como ejemplo son los suelos polares y desiertos.
- b) Suelos poco evolucionados: Son los que dependen de la roca madre. Este tipo de suelos tienen una clasificación básica la cual se menciona a continuación:
  - Suelos Ránker: son más o menos ácidos, como por ejemplo los suelos de la tundra.
  - Suelos Rendzina: estos suelos se forman sobre la roca madre carbonatada, como por ejemplo la roca caliza. Proviene del fruto de la erosión nombrándolos así como suelos básicos.
  - Suelos de Estepa: este tipo de suelos se desarrolla en el clima del mediterráneo y según sea la aridez del clima pueden variar el color, siendo desde castaños hasta llegar a los rojos. Su aporte de materia orgánica es extremadamente alto.

- c) Suelos evolucionados: este tipo de suelos tiene indiscutible independencia de la roca madre. Existe una gran variedad de suelos entre ellos los bosques templados, los de regiones con una gran abundancia de precipitaciones, los de climas templados y los de suelo rojo mediterráneo. En general la mayoría de estos suelos están explotados agrícolamente.

El autor señalado con anterioridad menciona, que los suelos se clasifican de una manera específica, pero se pueden diferenciar en una aproximación, en diversos tipos de suelo en función de la naturaleza de la roca madre y por último en el tamaño de las partículas que lo componen.

### **2.1.1 Identificación de suelos.**

La identificación de suelos es ahora es ahora en día un problema de gran importancia y fundamental en la ingeniería. El identificar un suelo es encasillarlo en un sistema previo hacia la clasificación de un suelo. Nos da permiso de conocer en forma cualitativa tanto sus propiedades mecánicas como las hidráulicas, dándoles un grupo. Cuenta con los siguientes criterios:

- a) Identificación de suelos gruesos: “Los materiales constitutivos por partículas gruesas se identifican en el campo sobre una base prácticamente visual.” (Juárez Badillo; 2011: 158). En la actualidad para distinguir las gravas de las arenas se utiliza la malla N° 4 (4.76 mm) y para



dividir los finos de las arenas la malla N° 200 (0.074 mm), esta actividad se realizó en laboratorio.

Para realizar la actividad de identificación de suelos en campo se necesita tener una gran experiencia visual para diferenciar los suelos bien graduados a los mal graduados.

b) Identificación de suelos finos: de la misma forma que el método anterior, la clasificación de este tipo de suelos, es la experiencia. Para adquirir esa experiencia según Juárez Badillo (2011); es el aprendizaje al lado de alguien que ya la posea; en falta de tal apoyo, es aconsejable el comparar sistemáticamente los resultados de la identificación de campo realizada, con los de laboratorio, cuando se presente o exista la oportunidad. Para identificar este tipo de suelos en campo, existen las siguientes pruebas:

- Dilatancia: en esta prueba se hace una pastilla con la muestra de suelo previamente cribado por la malla N° 40 (0.42mm) y con el contenido de agua necesario para que el material alcance una consistencia suave, no viscosa, ésta se agita de manera horizontal, agitándolo fuertemente contra la otra mano varias veces, manteniendo los dedos fuertemente unidos. Se debe observar que el agua salga a la superficie de la muestra, debiéndose esto a la compactación de los suelos limosos, y aún en mayor grado de los arenosos, bajo la acción dinámica de los golpes contra la mano. Los suelos arcillosos no originan efectos bajo cargas dinámicas.

- Tenacidad: esta prueba se hace en una muestra de consistencia suave. También se hace con material previamente cribado por la malla N° 40 (0.42 mm), haciendo rollito de aproximadamente 3 mm de diámetro apretándose cada vez más, aumentándose la rigidez y acercándose al límite plástico y “en cuanto más alta sea la posición del suelo a la línea A (CL, CH), es más rígido y tenaz el rollito cerca del límite plástico y más rígida también se nota la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico. En suelos ligeramente sobre la línea A, tales como arcillas glaciales (CL, CH), los rollos son de media tenacidad cerca de su límite plástico y la muestra comienza pronto a desmoronarse en el amasado, al bajar su contenido de agua. Los suelos que caen bajo la línea A (ML, MH, OL y OH) producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico, casi sin excepción; en el caso de los suelos orgánicos y micáceos, que caigan muy debajo de la línea A, los rollitos se muestran muy débiles y esponjosos. También en todos los suelos bajo la línea A, excepto los OH próximos a ella, la masa producto de la manipulación entre los dedos posterior al rolado, se muestra suelta y se desmorona fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.” (Juárez Badillo; 2011: 160).
- Resistencia en estado seco: se define cuando la resistencia del suelo, con un secado previo, rompiéndose bajo las presiones que

ejercen los dedos, nombrándole así como índice del carácter de su fracción coloidal.

- Color: este es un dato demasiado importante al realizar las exploraciones en campo, sirviendo para comparar los diferentes estratos y si se tiene experiencia hasta identificar los tipos de suelos existentes en el terreno.
- Olor: sirve para diferenciar los suelos orgánicos de los inorgánicos, los inorgánicos (OH y OL) tienen un olor distintivo, siendo éste intenso si el suelo se encuentra húmedo y va disminuyendo a la exposición del sol.

### **2.1.2 Granulometría en suelos.**

En cualquier tipo de suelos la distribución de las partículas varía enormemente; por esa razón, se buscó de una manera especial para lograr una adecuada distribución. Para efectuar la distribución de todas las partículas de un suelo respecto a su masa retenida en cada malla, se realiza la granulometría por medio de mallas o tamices, siendo esta la herramienta fundamental; el tamiz es un elemento compuesto de un marco rígido en el que se encuentra una malla con espaciamientos uniformes entre hilos de acero nombrados aberturas. Se calcula su porcentaje respecto al total y se clasifica mediante la determinación de la curva granulométrica.

Procedimiento.

a) Suelos gruesos:

1. Del material que se trae de campo, se cuartea y se toman de 5 a 10 kilogramos de la muestra de suelo.
2. Se hace pasar la muestra de material a través de las mallas para suelos gruesos colocadas en orden decreciente [3" (76.2 mm), 2" (50.8 mm), 1 1/2 " (36.1 mm), 1" (25.4 mm), 3/4" (19.05 mm), 1/2 " (12.7 mm), 3/8" (9.52 mm), No. 4 (4.76 mm) y charola].
3. Se pesa el material retenido en cada malla y se anota en la hoja del registro.

b) Suelos finos:

1. Del material que pasa la malla No. 4 (4.75 mm), se toman 500 gramos.
2. La muestra de suelo se coloca en el juego de mallas para suelos finos ordenada de forma decreciente. [No. 10 (2 mm), 20 (0.84 mm), 40 (0.42 mm), 60 (0.25 mm), 100 (0.149 mm), 200 (0.074 mm) y charola].
3. Una vez colocada la muestra en el juego de mallas, se hace vibrar el conjunto durante un tiempo mínimo de 10 min. en forma manual o en un agitador mecánico (Roll – Tap).
4. Se pesa toda la fracción retenida en cada malla y también se anota en la hoja de registro.

c) Análisis por lavado:

1. De la fracción de material que pasa por la malla No.4 (4.75 mm), se toma una muestra representativa con un peso aproximado de 300 gramos de suelo seco, el cual se coloca en un vaso de aluminio, con la

finalidad de saturarlo con agua hasta quedar totalmente cubierto por un tiempo aproximado de 24 horas.

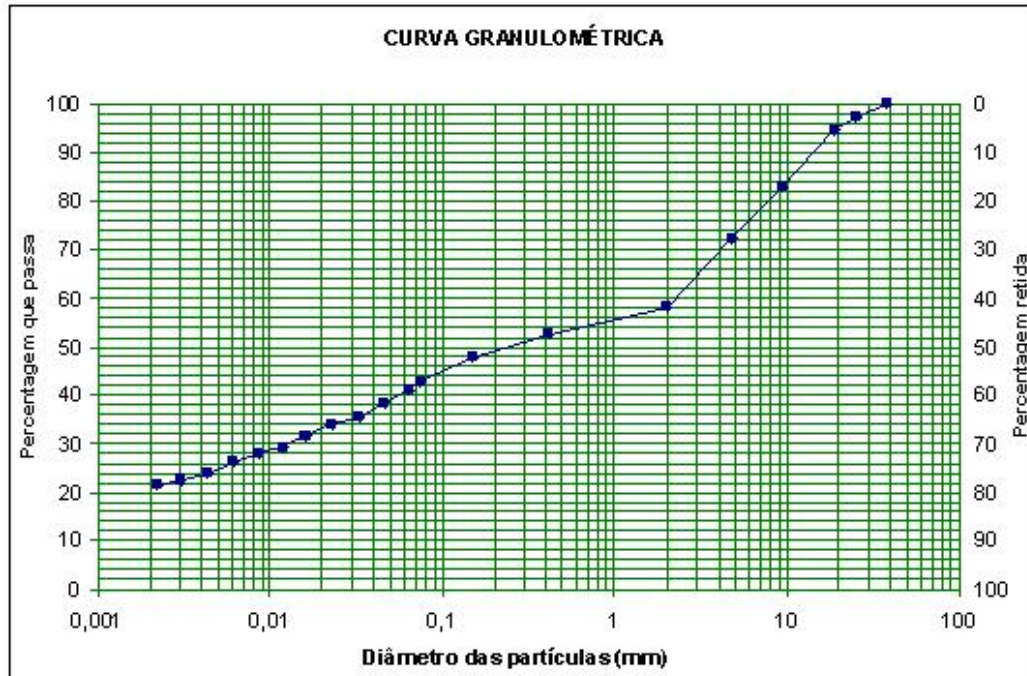
2. Pasado el tiempo de saturación, se procede al lavado de la siguiente forma:

- Se toma una muestra de material saturado y con mucho cuidado, para no perder el material, se coloca en la malla No. 200 (0.074 mm), misma que se coloca debajo del agua y se procede al lavado de este material, procurando disgregar en lo más posible las partículas que lo permitan mediante la aplicación de presión con los dedos, el material se considera lavado cuando el agua pasa por la malla No. 200, sale con una tonalidad clara, se repita esta operación hasta terminar con el material saturado de la muestra. Se recupera el suelo retenido en la malla y se coloca en el vaso dejándolo sedimentar eliminando el agua excedente y se pone a secar:

3. Al encontrarse el material totalmente seco, se procede a pasarlo por las mallas para suelos finos en el orden como ya se mencionó anteriormente.
4. Se anota el peso del material retenido en cada una de las mallas.
5. Se procede a calcular, tomando en cuenta el material eliminado por el lavado a través de la malla No. 200 (0.074 mm) por diferencias de pesos.

Los resultados del análisis granulométrico como ya se dijo expresa por medio de una gráfica semilogarítmica, siendo ésta la comparación del diámetro de las

partículas en el lado de las abscisas con el porcentaje que pasa (%) en las ordenadas. (Gráfica 2.1).



Gráfica 2.1 Gráfica granulométrica

Fuente: [www.wikiwand.com/pt/Granulometria](http://www.wikiwand.com/pt/Granulometria). (2007)

Lo anteriormente citado se rige por la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) en su apartado **M- MMP- 1- 02- 03 “Suelos y Materiales para Terracerías” 02 Clasificación de fragmentos de Roca y Suelo.**

### **2.1.3 S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).**

Este sistema fue propuesto por Arthur Casagrande como modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación en el año de 1942 basado en el de aeropuertos. Cubre los materiales gruesos y finos distinguiéndose mediante el tamiz No. 200 (0.074 mm). Se considera un suelo grueso si más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz No. 200 (0.074 mm) y fino si más del 50% es menor que dicho tamiz.

Los suelos se eligen por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo está conformado por un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en el idioma inglés de los 6 tipos principales de suelos, que son grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos y turbas, mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

La clasificación de los suelos es como se explica a continuación, mencionando en primer lugar a los suelos gruesos:

- a) Suelos gruesos: se dividen en gravas y arenas, separándose con el tamiz No. 4 (4.75 mm), nombrando gravas si el 50% de las partículas se retienen en el tamiz mencionado y arenas si el 50% son menores a éste.

El símbolo del grupo está formado por dos letras mayúsculas como a continuación se especifica:

- Gravas: teniendo como nombre genérico G (gravel).
- Arenas: el símbolo genérico de éste es S (sand).

Cabe mencionar que este tipo de suelo se clasifica en 4 tipos:

1. W (well graded): se caracteriza por ser un material limpio de finos y bien graduado. Puede tener la combinación con las arenas y gravas, llamándolo GW y SW.
2. P (poorly graded): en diferencia con la W, este tiene que ser mal graduado. La combinación con las arenas y gravas da lugar a GP y SP.
3. M (mo y mjala): es la cantidad de finos no plásticos. Su combinación con los símbolos genéricos con GM y SM.
4. C (Clay): es la cantidad de finos plásticos. La combinación con los símbolos genéricos es GC y SC.

Los grupos anteriormente mencionados se describen uno a uno a continuación:

- Grupos GW y SW: como ya se mencionó, estos suelos se identifican por ser bien graduados y con muy poco material fino, teniendo en cuenta que la presencia de éstos no deben producir cambios en sus características conforme su resistencia y capacidad de drenaje. Este grupo se caracteriza en su contenido de partículas finas siendo estas menor al 5% del peso total, la graduación está relacionado con los coeficientes de uniformidad y curvatura; requiriendo así que su coeficiente de uniformidad será mayor que 6 y el de curvatura debe estar en los límites anteriores.

- Grupos GP y SP: A estos suelos se les denomina mal graduados, teniendo como característica principal una apariencia uniforme, es decir, un tamaño



de partículas casi iguales. Deben de cumplir con los requisitos anteriormente mencionados respecto a su contenido de partículas, pero no cumpliendo con el requisito de la graduación.

- Grupos GM y SM: en estos suelos el contenido de partículas sobresalta las características de la resistencia, esfuerzo – deformación y capacidad de drenaje de la parte gruesa, siendo esto el 12% del peso total, por lo que este porcentaje se toma como frontera inferior del contenido de partículas finas. La plasticidad de finos puede denominarse “nula” y “media”.

- Grupos GC y SC: es parecido al grupo anterior, solo con la diferencia de que los finos son de media a alta plasticidad, condicionando además el índice plástico sea mayor a 7.

b) Suelos finos: estos se dividen en un criterio parecido al usado para los suelos gruesos, clasificándolos en 3 tipos como se menciona a continuación:

1. M (mo y mjala): estos suelos se denominan Limos orgánicos.
2. C (clay): se entiende a éstas con el nombre de arcillas inorgánicas.
3. O (organic): son los limos y arcillas orgánicas.

Cabe decir que cada uno de estos 3 tipos de suelos descritos anteriormente se subdividen en 2 grupos, tomando en cuenta su límite líquido, teniendo entonces que si este es menor que el 50%, se agrega el símbolo genérico L (low compressibility) denominándose de baja compresibilidad, teniéndose como resultado los grupos ML, CL y OL. Ahora si los suelos finos son mayores al 50%, se llaman de

alta compresibilidad, se le coloca el símbolo genérico H (high compresibility), formándose así los grupos MH, CH y OH.

Es preciso tener en cuenta que los suelos altamente orgánicos, como los son las turbas y los suelos pantanosos, que son altamente compresibles, forman un grupo aparte denominado con el símbolo Pt (del inglés peat; turba).

Como se hizo anteriormente con los suelos gruesos, se describen a continuación de manera más explicada los distintos grupos de suelos finos:

- Grupos CL y CH: el grupo CL es la zona arriba de la línea A, clasificándola como  $LL < 50\%$  e  $I_p > 7\%$ . Mientras que el grupo CH, se describe como  $LL > 50\%$ , son las arcillas conformadas por cenizas volcánicas, por ejemplo la bentonita.

- Grupos ML y MH: estos grupos se encasillan debajo de la línea A, definiendo al grupo ML como  $LL < 50\%$  y una porción sobre la línea A con  $I_p < 4$  y al grupo MH se define solamente como  $LL > 50\%$ .

Es interesante mencionar que a los suelos finos se les puede asignar un símbolo doble como CL – ML, si esos caen sobre la línea A y con  $4\% < I_p < 7\%$  considerándose “casos de frontera”.

- Grupos OL y OH: son parecidos con los grupos ML y MH, teniendo solo una pequeña diferencia, que se presenta en una adición de materia orgánica, que es la que hace que el límite líquido inorgánico aumente pero sin afectar al índice plástico, pasando así a ocupar una posición más retirada de la línea A (figura 1.3).

- Grupos Pt: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no ubica el material dentro de algunos grupos mencionados anteriormente. Para tener la clasificación en los suelos gruesos, se debe proporcionar el nombre típico, los porcentajes de la grava y arena, así como el tamaño máximo de agregados, su dureza y angulosidad de las ya mencionadas, las características de su superficie como lo son el nombre local y geológico.

Para identificar cual material es el encontrado, y así obtener sus siglas y características, las cuales fueron citadas anteriormente, se debe realizar la prueba como lo marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en su libro M – MMP – 1 – 07/07 “Suelos y materiales para terracerías” 02 límites de consistencia.

En los suelos finos solamente se indican los datos siguientes: nombre típico, el grado y carácter de su plasticidad, la cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, el olor y color del suelo húmedo, nombre local y geológico (tabla 2.1).

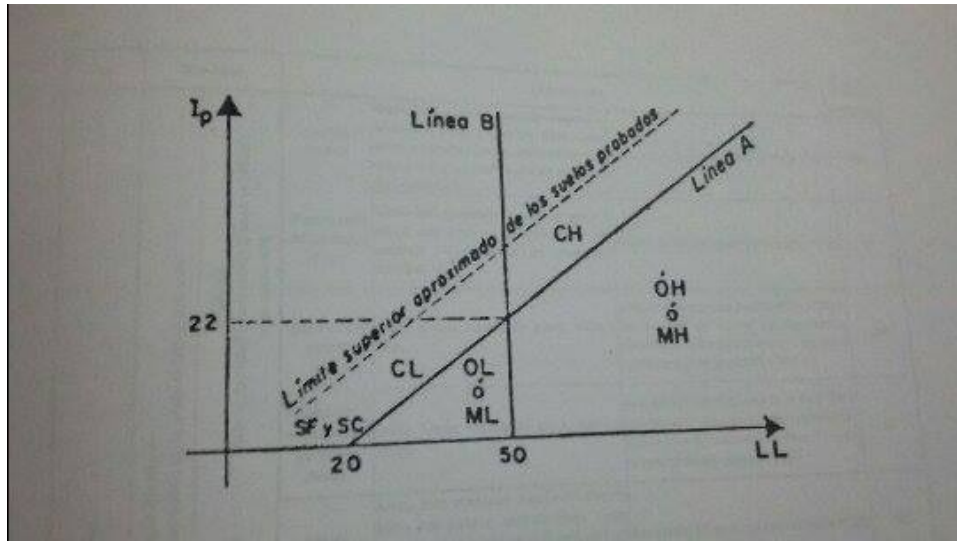


Imagen 2.1 Carta de Plasticidad

Fuente: Mecánica de suelos tomo 1 (Juarez y Rico; 2014:152)

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

		PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (Excluyendo partículas mayores de 7.6 cms (3") y basando las fracciones en pesos estimados)			SÍMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO.		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenida en la malla No. 200 (@)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios			GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos.	Dése el nombre típico, indiquese los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas; nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.  Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compactación, condiciones de humedad y características de drenaje.  EJEMPLO Arena limosa con grava, como un 20% de grava de partículas duras, angulosas y de 15 cm de tamaño máximo; arena gruesa a fina de partículas redondas o subangulosas; alrededor de 15% de finas no plásticas de baja resistencia en estado seco; compacta y húmeda en el lugar; arena aluvial; (SM).	<p>Determine los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica. Dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla N°200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5% GW, GP, SW, SP. Más de 12% GM, GC, SM, SC. 5% a 12% Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p>	
			Predominio de un tamaño o de un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios.			GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos.			
		GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina poco o nada plástica ( para identificar véase grupo ML abajo)			GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.			
			Fracción fina plástica (Para identificar véase grupo CL abajo)			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No.4 (para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla No.4)	ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios			SW			Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.
				Predominio de un tamaño o de un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios.			SP			Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.
	ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)		Fracción fina poco o nada plástica ( para identificar véase grupo ML abajo)			SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.			
			Fracción fina plástica (Para identificar véase grupo CL abajo)			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N°200  (Las partículas de 0.074mm de diámetro (malla N° 200) son aproximadamente los más pequeños visibles a simple vista)	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40								
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento)	DILATANCIA (Reacción al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)					
Nula a ligera			Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	Dése el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad; cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo; nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.  Para los suelos inalterados agréguese información sobre estructura, estratificación, consistencia tanto en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limo arcilloso, café, ligeramente plástico; porcentaje reducido de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces; firme y seco en el lugar loess; (ML)	<p>Usee la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo anotadas en la columna de identificación en el campo.</p>		
Media a alta			Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres				
Ligera a media			Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
Ligera a media			Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos				
Alta a muy alta			Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas				
Media a alta		Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos				
<p>PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN PARA SUELOS FINOS O FRACCIONES FINAS DE SUELO EN EL CAMINO</p> <p>Estos procedimientos se ejecutan con la fracción que pasa la malla N° 40 (aproximadamente 0.5mm) Para fines de clasificación en el campo si no se usa la malla simplemente se quitan a mano las partículas gruesas que interfieren con las pruebas.</p> <p>DILATANCIA (Reacción al agitado) Después de quitar las partículas mayores que la malla N° 40, prepárese una pastilla de suelo húmedo aproximadamente igual a 10cm3; si es necesario añádase suficiente agua para dejar el suelo suave pero no pegajoso. Colóquese la pastilla en la palma de la mano y agítese horizontalmente golpeando vigorosamente contra la otra mano varias veces. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una consistencia de hígado y se vuelve lustrosa. Cuando la pastilla se aprieta entre los dedos el agua y el lustre desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve tiesa y finalmente se aprieta o se desmorona. La rapidez de la aparición del agua durante el agitado y de su desaparición durante el apretado sirve para identificar el carácter de los finos en el suelo. Las arenas limpias muy finas dan la reacción fina más rápida y distintiva, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Los limos inorgánicos, tales como el típico polvo de roca, dan una reacción rápida moderada.</p> <p>RESISTENCIA EN EL ESTADO SECO (Características de rompimiento) Después de eliminar las partículas mayores que la malla N° 40, moldéese una pastilla de suelo hasta alcanzar una consistencia de masilla añadiendo agua si es necesario. Déjese secar la pastilla completamente en un horno, al sol o al aire y pruébese su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y cantidad de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad. Una alta resistencia en seco es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico típico posee solamente muy ligera resistencia. Las arenas finas limosas y los limos tienen aproximadamente la misma ligera resistencia, pero pueden distinguirse por el tacto al pulverizar el espécimen seco. La arena fina se siente granular, mientras que el limo típico da la sensación suave de la harina.</p> <p>TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico) Después de eliminar las partículas mayores que la malla N° 40, moldéese un espécimen de aproximadamente 10cm3 hasta alcanzar la consistencia de masilla. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, pero si está pegajoso debe extenderse el espécimen formando una capa delgada que permita algo de pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente el espécimen se rola a mano sobre una superficie lisa o entre las palmas hasta hacer un rollo de 3mm de diámetro aproximadamente, se amasa y se vuelve a rolar varias veces. Durante estas operaciones el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen llega a ponerse tieso, pierde finalmente su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el rollo se ha desmoronado, los pedazos deben juntarse continuando el amasado ligeramente entre los dedos hasta que la masa se desmorona nuevamente. La potencialidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollo al acercarse al límite plástico y por la rigidez de la muestra al romperse finalmente entre los dedos. La debilidad del rollo en el límite plástico y la pérdida rápida de coherencia de la muestra al rebosar este límite, indican la presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad o de materiales tales como arcilla del tipo caolin y arcillas orgánicas que caen abajo de la "línea A". Las arcillas totalmente orgánicas se sienten muy débiles y esponjosas al tacto en el límite plástico.</p>										
<p>EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS</p> <p>G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduados L-Baja compresibilidad S-Arena C-Arcilla Pt-Turba P-Mal graduada H-Alta compresibilidad</p>										
<p>COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO</p> <p>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO</p>										

(\*) Clasificaciones de frontera - Los suelos que posean las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de grava y arena bien graduada con cementante arcilloso

(@) Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los US Standard

## **2.2 Importancia del laboratorio de mecánica de suelos en la formación del ingeniero Civil.**

Según Crespo (2002), el laboratorio de mecánica de suelos es donde el estudiante de ingeniería civil, pone en práctica la teoría que se le dio en el aula de clases, el estudiante puede realizar prácticas e interpretar los resultados para posteriormente realizar el cálculo de la capacidad de carga, así como de la clasificación de los suelos en estudio por medio de las propiedades índices y mecánicas.

El laboratorio es el pilar de la información geotécnico de todo ingeniero civil ya que si este no sabe de las pruebas o ensayos por realizar difícilmente tendrá la capacidad de interpretar resultados, y ofrecer la mejor solución a un problema dado; además de que si el ingeniero no hace caso a las pruebas de laboratorio le causarán muchos problemas económicos, funcionales y posiblemente hasta problemas con las autoridades en caso de que la obra resulte inestable o de peligro para la sociedad.

Como señala Crespo (2002), el autor antes mencionado, el laboratorio es utilizado en toda obra civil, como puede ser el caso de control de calidad en diversos materiales, así como el estudio de los materiales pétreos para una buena dosificación y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas en los suelos o el estudio mismo del suelo en donde se va a cimentar la estructura entre muchos otros usos que se le puede dar a los estudios realizados en el laboratorio de mecánica de suelos.

Las pruebas que se realizan en el laboratorio de Mecánica de suelos ayudan al futuro ingeniero a formarse una idea del comportamiento de los materiales que tratará. El ingeniero al realizar las pruebas que se mencionan en el presente trabajo de investigación se amplía el conocimiento de la importancia que tiene el laboratorio para la formación de todo ingeniero civil, para la ejecución de cualquier obra civil que este a su cargo ya sea un edificio, una carretera, un puerto, un desarrollo habitacional, una presa, etc.

La responsabilidad que tiene todo ingeniero con el país y la sociedad es de suma importancia ya que de acuerdo a las obras que realice el ingeniero se valúa el avance cultural de un país además de su economía siendo así que cada una de ellas debe ser planeada para cumplir con el termino de sustentabilidad. Ya que también estas mismas se usan como para parámetro al medir la riqueza de una nación.

### **2.3 Diferentes tipos de muestreo.**

De acuerdo con Crespo (2002), es de manera obvia la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como la ejecución de la obra que se trate, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo que se está tratando. El conjunto de estos datos debe de llevar al proyectista a adquirir una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en su análisis. En realidad es en el laboratorio de Mecánica de suelos en donde el proyectista ha de adquirir los datos definitivos para su trabajo, las pruebas más adecuadas que requieren su problema en particular, para definir sus

características de deformación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que haya de trabajar.

Pero para llegar en el laboratorio a unos resultados razonablemente dignos de crédito es preciso cubrir en forma adecuada una etapa previa e imprescindible: la optación de las muestras apropiadas para la realización de las correspondientes pruebas.

Resultan así estrechamente ligados las dos importantes actividades, el muestreo de los suelos y la realización de las pruebas necesarias de laboratorio. El muestreo debe de estar regido ya anticipadamente por los requerimientos impuestos a las muestras obtenidas por el programa de las muestras de laboratorio y, a su vez, el programa de pruebas debe de estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en cada obra, el cual no puede conocerse sin efectuar previamente el correspondiente muestreo.

Así pues, en general, se tendrán dos tipos de sondeos: preliminares y definitivos, cada uno con sus métodos propios de muestreo.

Uno de los aspectos más importantes de esta última categoría es una correcta evaluación de la importancia de la obra por ejecutar, en relación con el costo de su correspondiente programa de exploración y muestreo. Una obra de importancia grande ameritará un programa de una envergadura totalmente inadecuada para una obra menor. Y no sólo la importancia de la obra juega papel como norma de criterio del proyectista, sino también el tipo de obra, en relación, por ejemplo, con las consecuencias de su falla respecto a pérdidas en bienes o vidas; puede haber obras



de poco costo cuyos requerimientos de seguridad y, por lo tanto, de previsión en el proyecto, sean mucho mayores que en otras obras de mayor inversión presupuesta. Un aspecto importante será siempre que la magnitud, tanto en tiempo como en costo, del programa de exploración y muestreo esté con el tipo de obra por ejecutar.

Otro aspecto de importancia fundamental en los problemas aquí tratados es el buscar la colaboración de ciencias que, como la **GEOLOGÍA**, puedan dar en ocasiones información de carácter general muy importante. Puede decirse que, sobre todo en obras de importancia, un reconocimiento serio y eficaz, desde un punto de vista geológico, resulta imprescindible. Este reconocimiento será, naturalmente, previo a cualquier otra actividad realizada por el especialista de mecánica de suelos. Del tipo de sedimentos, existencia de fallas, plegamientos, configuración geológica, tipos y carácter de rocas y demás datos de la zona, resultan, por lo general, informaciones vitales para el ingeniero civil, que norman su criterio de antemano en forma útil.

## **2.4 Tipos de sondeos.**

Como señala el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (2005), los tipos principales de sondeos que se usan en mecánica de suelos para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general, son los siguientes:

. Métodos de exploración de carácter preliminar:

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- b) Perforación con posteador, barrenos helicoidales o métodos similares.

- c) Métodos de lavado.
- d) Métodos de penetración estándar.
- e) Métodos de penetración cónica.
- f) Perforación en boleos y gravas (con barrenos, etc.)

. Métodos de sondeo definitivo:

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubo de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

. Métodos geofísicos.

- a) Sísmico.
- b) De resistencia eléctrica.
- c) Magnéticos y gravimétricos.

A continuación se describen brevemente los diferentes métodos mencionados a excepción de los geofísicos donde por lo general son de alto costo y no tan prácticos como los anteriores.

#### **2.4.1 Sondeos exploratorios.**

A continuación se presentarán los tipos de pozos para realizar los sondeos necesarios, cada uno de ellos cambia según las necesidades del sitio en donde se efectuará el estudio ya que nunca se tendrán exactamente las mismas circunstancias en cada estudio.

a) Pozos a cielo abierto.

De acuerdo con Peck, Honson y Thornburn (1993), cuando éste método sea practicable debe considerarse como el más satisfactorio para reconocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo.

Desgraciadamente este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

Deben cuidarse especialmente los criterios para distinguir la naturaleza del suelo "in situ" y la misma, modificada por la excavación realizada. En efecto, una arcilla dura puede, con el tiempo, aparecer como suave y esponjosa a causa del flujo del agua hacia la trinchera de excavación; análogamente, una arena compacta puede presentarse como semifluida y suelta por el mismo motivo. Se recomienda que siempre que se haga un pozo a cielo abierto se lleve un registro completo de las condiciones del subsuelo durante la excavación, hecho por un técnico conocedor.

Si se requiere ademe en el pozo puede usarse madera o acero; por lo regular, el ademe se hace con tablones horizontales, pero deberán ser verticales y bien hincado si se tuviesen suelos friccionantes bajo el nivel freático.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente proporciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas. Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrado de muestras en una oquedad que se practique al efecto de la pared del pozo. La muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.

b) Perforación con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.

En estos sondeos exploratorios la muestra de suelo obtenida es completamente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente a contenido de agua, por lo menos en suelos muy plásticos. La muestra se extrae con herramientas del tipo mostradas en la imagen 2.2.

Los barrenos helicoidales pueden ser de muy diferentes tipos no sólo dependiendo del suelo por atacar, sino también de acuerdo con la preferencia particular de cada perforista. El principio de operación resulta evidente al ver la imagen 2.2. Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abiertos para muestreo en suelos plásticos.

Posiblemente más usados en México que los barrenos son las posteadoras (Imagen 2.2) a las que se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre el manaral adaptado al extremo superior de la tubería de perforación.

Las herramientas al extremo superior de la tubería de perforación, formada por secciones de igual longitud, que se van añadiendo según aumenta la profundidad del sondeo.

En arenas colocadas bajo el nivel de aguas freáticas estas herramientas no suelen poder extraer muestras y en esos casos es preferible recurrir a uso de cucharas especiales, de las que también hay gran variedad. (Imagen 2.3).

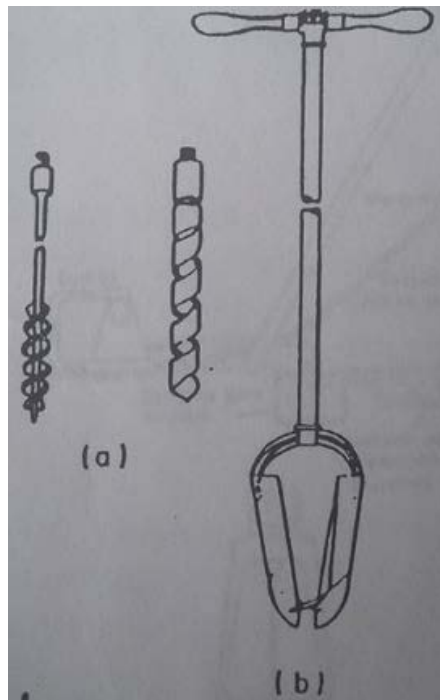


Imagen 2.2 Herramientas para sondeos exploratorios por rotación.

Fuente: Ingeniería de cimentaciones (Peck, Honson y Thornburn;

1993:105)

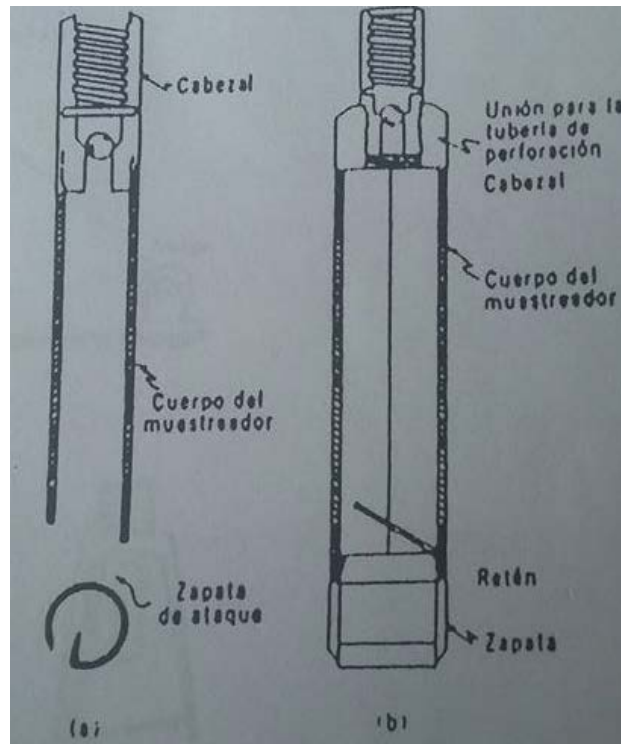


Imagen 2.3 Tipo de cucharas muestreadoras

Fuente: Ingeniería de cimentaciones (Peck, Honson y Thornburn;  
 1993:105)

De acuerdo con los autores antes mencionados, las muestras de cucharas son generalmente más alteradas que las anteriores, ya que el efecto del agua que entra en la cuchara junto con el suelo, en el interior una mezcla del mismo. Por lo cual estas mezclas se utilizan sólo para clasificación y, en general, para aquellas pruebas que no requieran de muestras inalteradas.

Un inconveniente serio de la perforación con barrenos se tiene cuando la secuencia estratigráfica del suelo es tal que a un estrato firme sigue uno blando. En estos casos es muy frecuente que se pierda la frontera entre ambos o aun la misma

presencia del blando. El error anterior tiende a atenuarse accionando el barreno helicoidal tan adelantado respecto al ademe como lo permita el suelo explorado.

c) Método de lavado.

Este método constituye un procedimiento económico y rápido para conocer aproximadamente la estratigrafía del subsuelo (aun cuando la experiencia ha comprobado que pueden llegar a tenerse errores hasta de 1 m al marcar la frontera entre los diferentes estratos). El método se usa también en ocasiones como auxiliar de avance rápido en otros métodos de exploración. Las muestras obtenidas en lavado son tan alteradas que prácticamente no deben de ser consideradas como representación, para hacer pruebas en laboratorio.

El equipo necesario para realizar la perforación requiere un trípode con polea y martinete suspendido, de 80 a 150 kg de peso, cuya función es hincar en el suelo a golpes el ademe necesario para la operación. Este ademe debe de ser de mayor diámetro que la tubería que vaya a usarse para la inyección del agua. En el extremo inferior de la tubería de inyección debe de ir un trépano de acero, perforado, para permitir el paso del agua a presión. El agua se impulsa dentro de la tubería por medio de una bomba.

La operación consiste en inyectar agua en la perforación, una vez hincado el ademe, la cual forma una suspensión con el suelo en el fondo del pozo y sale al exterior a través del espacio comprendido entre el ademe y la tubería de inyección; una vez fuera es recogido en un recipiente en el cual se pueda analizar el sedimento.

El procedimiento debe de ir complementado en todos sus casos por un muestreo con una cuchara saca muestras apropiada, colocada al extremo de la tubería en lugar del trépano; mientras las características del suelo no cambien será suficiente oponer una muestra cada 1.50 m aproximadamente, pero al notar un cambio en el agua eyectada debe procederse de inmediato a un nuevo muestreo. Al detenerse las operaciones para un muestreo debe permitirse que el agua alcance en el pozo un nivel de equilibrio, que corresponde al nivel freático (que debe registrarse). Cualquier alteración de dicho nivel que sea observada en los diferentes muestreos debe reportarse especialmente. En la figura 2.4 aparece un esquema del equipo de perforación y algunos modelos de trépanos perforadores.

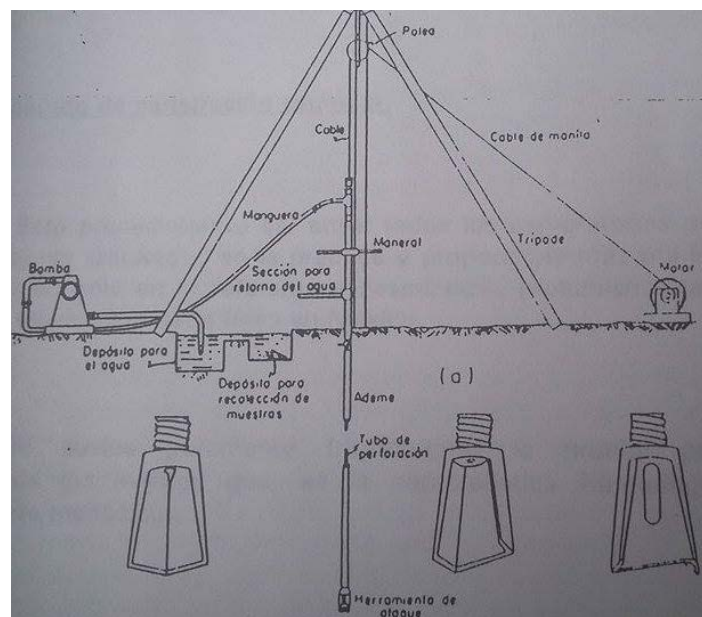


Imagen 2.4 Dispositivos para el sondeo por lavado.

Fuente: Ingeniería de cimentaciones (Peck, Honson y Thornburn;  
1993:107)



## **2.5 Concepto de geología superficial.**

“La geología es la ciencia encargada del estudio de la tierra, o sea que trata del origen, la historia de las estructuras de la tierra, de acuerdo con sus registros en las rocas”. (Puig; 1970:11)

En la presente investigación se considerará geología superficial a los estudios realizados para determinar la composición y estructura interna de los suelos a una profundidad no mayor de los 7m.

De acuerdo con Puig (1970) la geología en la actualidad tiene un papel fundamental en la construcción de grandes obras civiles ya que es de vital importancia adaptar a la estructura al terreno en cual se planea construir. Dependiendo del tipo de estructura y su altura, se realizarán excavaciones o perforaciones a diferentes profundidades, para extraer muestras de suelo, las cuales serán llevadas al laboratorio de mecánica de suelos.

Como menciona Krynine (1961) diseñar cuidadosamente cualquier proyecto ingenieril no es suficiente para garantizar una seguridad confiable, es de vital importancia que se tenga en consideración los estudios preliminares, es decir, una exploración de la zona circundante como son un estudio cuidadoso del ambiente o entorno y aún más importante del tipo de materiales sobre los cuales se asentará el proyecto. Los estudios geológicos consisten en la exploración directa del subsuelo mediante perforaciones del terreno o bien, en la práctica de excavaciones. Las muestras recopiladas se analizan en el laboratorio y de acuerdo con los resultados obtenidos se redactan los informes geológicos correspondientes. Lo que al ingeniero

civil le interesa conocer, es si dicha zona cumple o no con los requisitos del proyecto y en qué medida, para ver si así se hacen modificaciones en el programa constructivo.

Realizar estudios preliminares geológicos es fundamental para garantizar el éxito y la economía de las obras civiles ya que es de vital importancia adaptar la estructura al terreno en el cual se planea construir. Dependiendo del tipo de estructura y su altura, se realizarán excavaciones o perforaciones a diferentes profundidades, para extraer muestras de suelo, las cuales serán llevadas a laboratorio con el objetivo de realizar pruebas índice y mecánicas a la roca o suelo; dependiendo de los resultados arrojados por las pruebas se realizarán los cálculos y se redactarán informes geotécnicos para que muestren sus características cualitativas y cuantitativas así como capacidad de carga. Las fotografías aéreas son fundamentales para realizar estudios de geología de campo la eficiencia del ingeniero civil dependerá de la buena o mala interpretación de las mismas. La experiencia de campo es también decisiva a la interpretación geológica de la zona de estudio.

### **2.5.1 Uso de los conocimientos de la geología por el ingeniero.**

De acuerdo con Puig (1970) la geología en la actualidad tiene un papel fundamental en la construcción de grandes obras civiles. El conocimiento geológico brinda al ingeniero civil la capacidad para leer e interpretar informes mapas y planos geológicos, y topográficos lo cual es de gran utilidad para la planeación de obras.

Realizar estudios preliminares geológicos es fundamental para garantizar el éxito y la economía de las obras civiles ya que es de vital importancia adaptar la estructura al terreno en el cual se planea construir. Dependiendo del tipo de estructura se realizarán excavaciones a diferentes profundidades, tomando muestras de suelo, las cuales serán llevadas a laboratorio con el objetivo de realizar diferentes tipos de ensayos o pruebas, dependiendo de los resultados arrojados por las pruebas se redactarán informes geológicos para determinar sus características cualitativas y cuantitativas.

“La geología es la ciencia encargada del estudio de la Tierra, o sea que trata del origen, la historia y las estructuras de la Tierra, de acuerdo con sus registros en las rocas”. (Puig; 1970: 11)

El suelo y las formaciones rocosas forman parte de la estructura de una construcción, el ingeniero no puede iniciar su proyecto sin antes haber realizado cuidadosos estudios de la zona, para así determinar el tipo de materiales que se encuentran en el terreno, su comportamiento y los parámetros de seguridad que se deberán de seguir para garantizar un correcto funcionamiento de todo tipo de estructuras. Igualmente se señalarán aspectos clave que contribuyen a la formación de los suelos, tales como la roca madre, el tiempo, el clima, las plantas y los animales.

### **2.5.2 Mapas geológicos.**

Como señala Harvey (1993), los mapas geológicos registran la información acerca de las clases de roca de una zona, existen dos tipos de mapas geológicos el de la superficie de la tierra y el mapa del subsuelo, el primero se forma a partir de la geología superficial y el segundo a partir de perforaciones, registros eléctricos, sondeos geofísicos, y por extrapolación de los datos superficiales realizados a diferentes profundidades de los diversos estratos del subsuelo.

Los mapas de la geología superficial son de gran importancia para el ingeniero civil, ya que muestran las características de los materiales más superficiales encontrados a profundidades no mayores de 7 metros, tales como afloramientos de rocas y suelos que generalmente se identifican de acuerdo a su origen. Muestran también las imperfecciones que existen en el suelo tales como son fallas, deslizamientos, contactos, fracturas y formación todo ello representado con diferentes símbolos.

A continuación se muestran unos ejemplos de las características de un mapa geológico (Imagen 2.5) y de un mapa geotécnico (Imagen 2.6) para que el lector tenga una breve noción de que partes y que tipo de información lo compone cada uno de ellos.



Imagen 2.5 Mapa geológico

Fuente: <http://www.geologia.unam.mx> (2015)

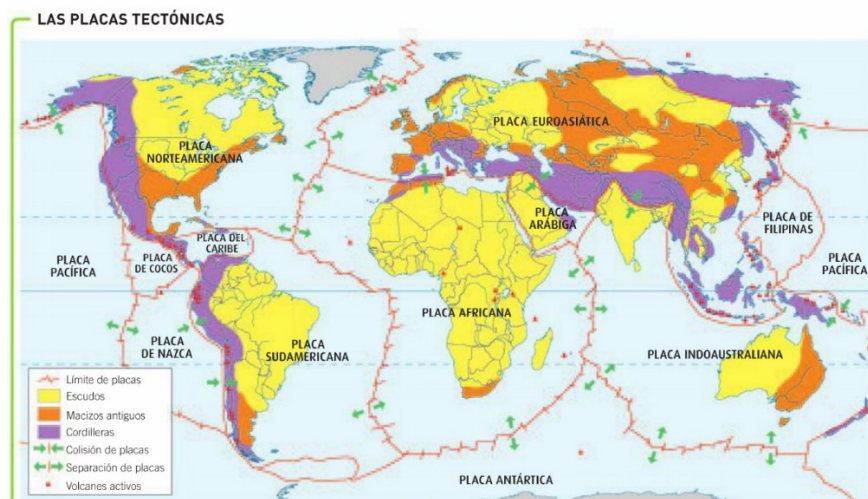


Imagen 2.6 Mapa geotécnico

Fuente: <http://cmapspublic3.ihmc.us/> (2015)

## **2.6 Geotecnia.**

De acuerdo con Merrit, Loftin, Rickets (2008) es la rama de la ingeniería civil que utiliza métodos científicos para determinar, evaluar y aplicar las relaciones entre el entorno geológico y las diferentes obras de ingeniería se conoce como ingeniería geotécnica. La cual comprende la evaluación, diseño y construcción en donde se emplean materiales de tierra, utilizando como ayuda la mecánica de suelos y de rocas. Los ingenieros geotécnicos deben de manejar a la perfección temas de mecánica de suelos, así como la correcta interpretación de los resultados arrojados por los ensayos de laboratorio de las pruebas de campo realizadas aplicadas a las muestras extraídas de campo. La geotecnia relaciona de manera directa la mecánica de suelos y la geología en las obras civiles.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN DE MICRO Y MACROLOCALIZACIÓN.**

En el presente capítulo se conocerá todo lo referente al sitio donde se ubica el proyecto, partiendo de su entorno geográfico el cual describe su localización geográfica, indicando características físicas del lugar, geológicas, hidrología regional de la zona de proyecto, así como un reporte fotográfico, sin dejar atrás la conveniente solución a las interrogantes en estudio.

#### **3.1.- Generalidades.**

La zona de estudio es la mancha urbana de la ciudad de Uruapan, la cual se describe en diferentes zonas; Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste Noroeste y la zona Centro. Teniendo en consideración un crecimiento Urbano, es importante para el ingeniero civil conocer las variantes que existen en las diferentes partes de la ciudad en cuanto a la vegetación, humedad, tipo de suelo, nivel de aguas freáticas, como muchas otras características para la ejecución de cualquier obra.

#### **3.2.- Objetivo y alcance del proyecto.**

El objetivo de la investigación es la elaboración de dos mapas virtuales, en los cuales en uno de ellos se obtendrá la clasificación de los diferentes tipos de suelos y en el segundo se podrá obtener la capacidad de carga correspondiente a la

zonificación obtenida como resultado de este trabajo de investigación. El diseño de la investigación es experimental, teniendo un alcance exploratorio y descriptivo en cuanto a un método matemático, los beneficiados con la elaboración de este proyecto de investigación serán todos los profesionistas y/o constructores así como la sociedad de Uruapan que tomen en cuenta estos dos parámetros para la ejecución de cualquier obra realizada y así obtener obras en zonas estables con un margen de seguridad mayor en comparación de elaborarlo sin los estudios previos a la ejecución de la obra.

### **3.3.- Resumen ejecutivo.**

La información que se requiere en la parte teórica, es extraída de diferentes fuentes de información, principalmente de libros, manuales, normas de las dependencias gubernamentales y algunas páginas de internet cuya credibilidad es avalada por fuentes de suma importancia, algunas de estas son: CFE, INEGI, UNAM, entre otras.

En la parte de ejecución del presente proyecto de investigación se realizó una recopilación de información de los estudios de mecánica de suelos realizados en la ciudad por los profesionistas con mayor reconocimiento de la región, así como los principales laboratorios de mecánica de suelos, también solicitando apoyo a las constructoras de la ciudad, de la misma forma con el colegio de arquitectos y de ingenieros civiles y a la Universidad Don Vasco.



### **3.4.- Entorno Geográfico.**

El entorno geográfico se refiere a las características ecosistema o sub - ecosistema en donde interactúa el ser humano o cualquier otra especie tomando en cuenta su climatología, flora, fauna, topografía, geología, hidrología, y otros factores. Es lo que hace a la especie desenvolverse en su entorno de una forma distinta a sus semejantes en otras condiciones ya que muchos de estos factores no serán iguales en diferentes zonas dando así un individualismo entre sociedades.

La ciudad de Uruapan del Progreso está conformada principalmente de viviendas y comercio, así como la parte industrial y el sector salud, siendo esta urbanizada casi en su totalidad.

La ciudad de Uruapan tiene un gran crecimiento en el campo de la agroindustria ya que es potencia mundial de la cosecha de aguacate y nuez de macadamia también uno de los principales exportadores de aguacate, es también reconocida por su cultura y tradiciones regionales como lo son las fiestas de los distintos barrios de la ciudad, es una región que aporta de manera significativa con las diferentes industrias potenciales que hay en la ciudad mencionando algunas tenemos SCA, Marves, Artifibras, Charanda Uruapan, Chocolatera, entre otras.

La ciudad de Uruapan cuenta con una gran diversidad de flora y fauna teniendo en el centro de la ciudad uno de los más importantes parques nacionales de la republica llamado "Parque Nacional Barranca del Cupatizio".

### 3.5.- Macro y Micro localización.

#### 3.5.1.- Macro localización.

La investigación del trabajo tiene lugar en la ciudad de Uruapan del Progreso, el municipio se localiza al Oeste del estado, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste, a una altura de 1,620 metros sobre el nivel del ma. Limita al norte con Charapan, Paracho y Nahuatzen, al este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al sur con Gabriel Zamora, y al oeste con nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reye. Su distancia a la capital de estado es de 120 kilómetros. Cuenta con una superficie de 954.17 kilómetros cuadrados y representa 1.62 por ciento del total del estado. En el siguiente mapa se aprecia una mejor ubicación del estado de Michoacán con respecto a la república Mexicana para así mismo poder tener una mejor vista de la zona de estudio.



Imagen 3.1. Ubicación de Michoacán dentro de la República Mexicana.

Fuente: [www.travelbymexico.com](http://www.travelbymexico.com) (2015).

Ya que se ubicó el estado de Michoacán dentro de la República Mexicana se procederá a ubicar geográficamente la ciudad de Uruapan del Progreso, que a través de la imagen 3.2 se dará a conocer su ubicación y colindancia con los diferentes municipios.



Imagen 3.2 Ubicación de Uruapan dentro del estado de Michoacán.

Fuente: Google Earth (2015).

### 3.5.2.- Micro localización.

Como ya se mencionó anteriormente, la zona de estudio es la mancha urbana de la ciudad de Uruapan, la cual se describe en diferentes zonas; Norte, Noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste noroeste y la zona centro, en las cuales se realizaron diversos sondeos para el presente trabajo de investigación.

La imagen 3.3 muestra la división de la ciudad de Uruapan en sus diferentes zonas teniendo en el medio el centro de la ciudad.

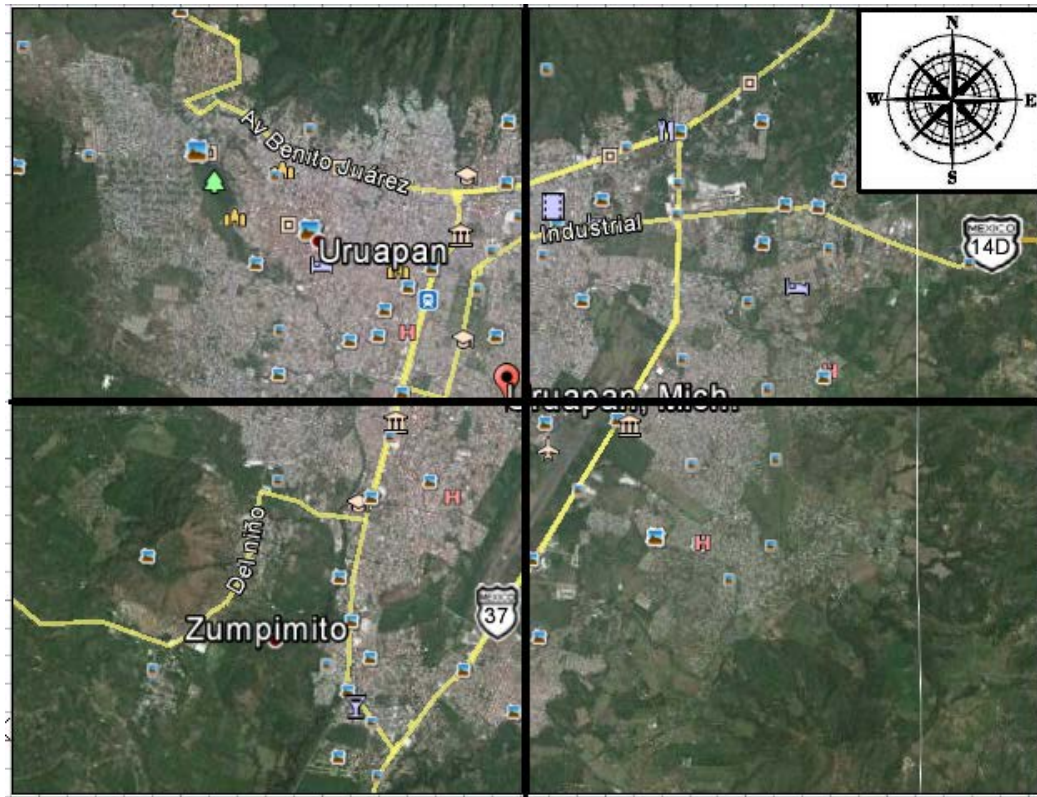


Imagen 3.3 Micro localización de la ciudad de Uruapan del Progreso.

Fuente: Google Earth (2015).

### 3.6. Características del suelo en la zona de estudio.

Los suelos del municipio datan principalmente del periodo cuaternario, aunque en algunas zonas pequeñas sobresalen del periodo cenozoico, terciario y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo Podzólico. Su uso primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero.



### 3.6.1 Topografía.

La topografía de la ciudad de Uruapan es muy irregular, al norte de la ciudad se tienen unas pendientes muy pronunciadas. El municipio se encuentra totalmente inmerso en el Eje Neovolcánico Transversal, por lo que su territorio es accidentado y montañoso, destacando los cerros Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena, hacia el oeste, y ya fuera del municipio se encuentra el volcán Pico de Tancítaro, la mayor elevación del estado. A continuación se verá una imagen de la carta topográfica de la ciudad de Uruapan.

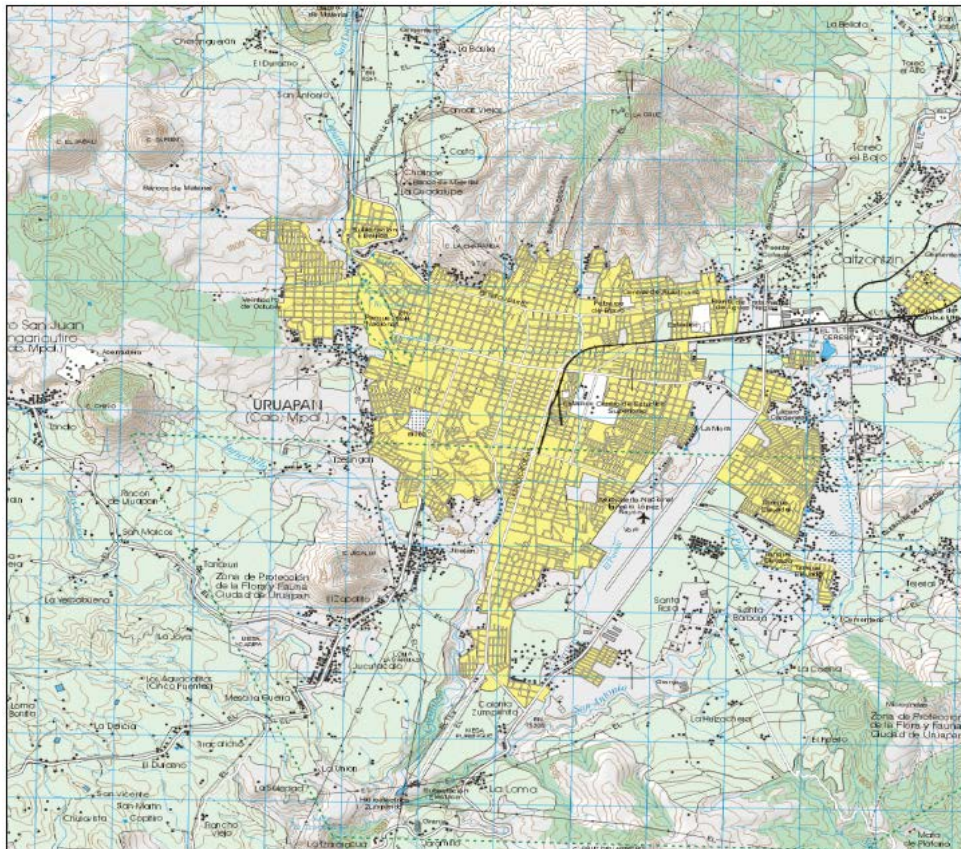


Imagen 3.4 Carta topográfica de la ciudad de Uruapan esc. 1:50 000

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

### 3.6.2. Hidrografía.

De acuerdo con la página de internet [www.infaed.gob.mx](http://www.infaed.gob.mx) la hidrografía de la ciudad de Uruapan se constituye principalmente por el río Cupatitzio (río más importante del occidente de Michoacán) que nace dentro del interior de la ciudad, dentro del parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, se considera una de las principales arterias ya que abastece a la mayoría de la población, además se cuenta con la presa Caltzontzin, Salto Escondido y la cascada conocida como La Tzaráracua.

En la imagen 3.5. Se muestra la región hidrológica a la cual pertenece el estado de Michoacán, que es la número 18 “Balsas” la cual se localiza entre los paralelos 17°13' y 20°04' de latitud Norte y los meridianos 97°25' y 103°20' de longitud Oeste. Cuenta con una superficie hidrológica de 117,405 kilómetros cuadrados equivalente al 6% del territorio nacional.

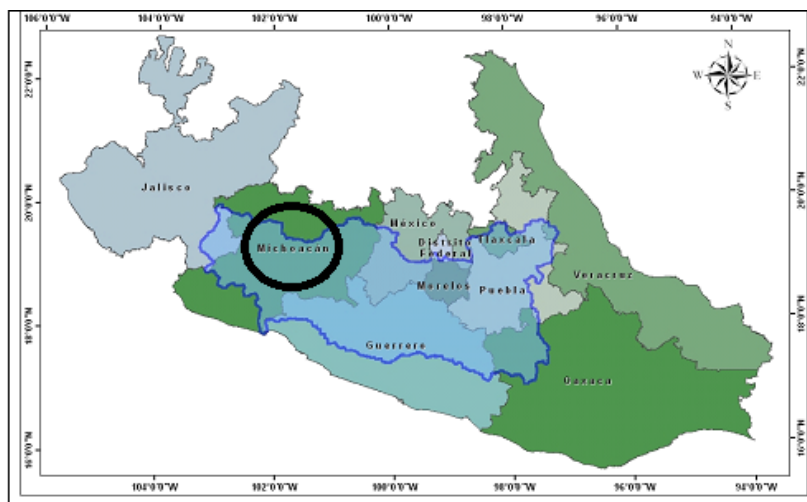


Imagen 3.5 Localización de la región hidrológica número 18 Balsas.

Fuente: [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (2014).

En la imagen 3.6. Se muestra las quince cuencas hidrológicas que integran la Región Hidrológica número 18 “Balsas”, de las cuales, entre ellas se encuentra el río Cupatitzio.



Imagen 3.6 Subregiones y cuencas hidrológicas de la región hidrológica número 18 “Balsas”.

Fuente: [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (2014).

### 3.6.3. Geotecnia.

Como ya se mencionó anteriormente, citando a Merrit, Loftin, Ricketts (2008), la geotecnia es la rama de la ingeniería civil la cual comprende la evaluación, diseño y construcción de varias obras, tales como: autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos edificios en general, etc. en donde se emplean materiales de tierra, utilizando como ayuda la mecánica de suelos y de rocas.

La ciudad de Uruapan Michoacán, está conformada por una cobertura volcánica, teniendo Andesita – Basalto de la época cuaternaria, teniendo como símbolo TplQtp – A – B como se muestra en la imagen 3.7.

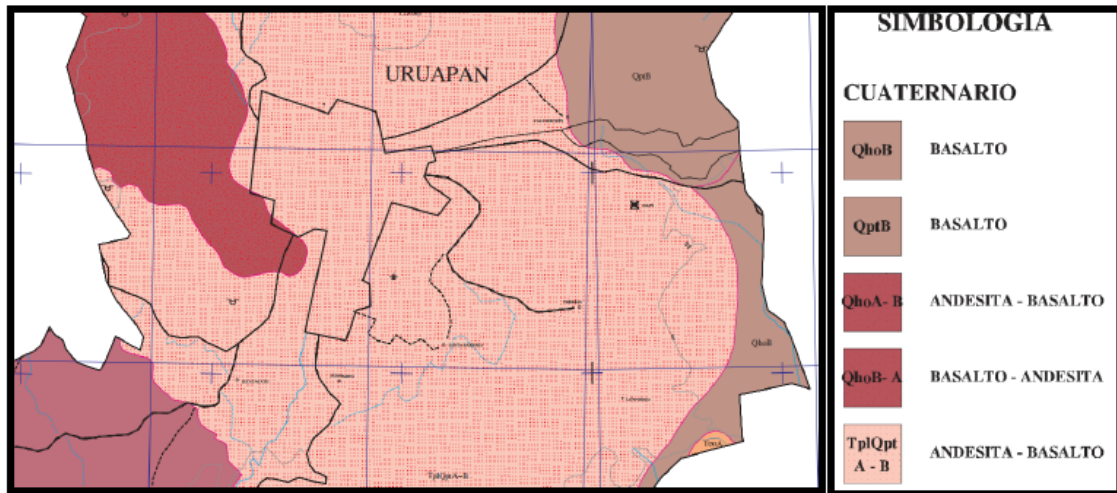


Imagen 3.7 Carta geológica del municipio de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Servicio Geológico Mexicano (SGM).

#### 3.6.4. Clima.

Tal y como se muestra en el sitio web [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) se describe el clima de la ciudad de Uruapan del Progreso como templado y tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 759. 3, milímetros y temperaturas que oscilan entre 8. 0 a 37. 5 grados centígrados. En la imagen 3.8. se aprecia con más claridad lo antes mencionado.



### 3.7. Reporte Fotográfico.

En la imagen 3.8 se muestra los diferentes sondeos realizados en las diferentes zonas de la ciudad de Uruapan.

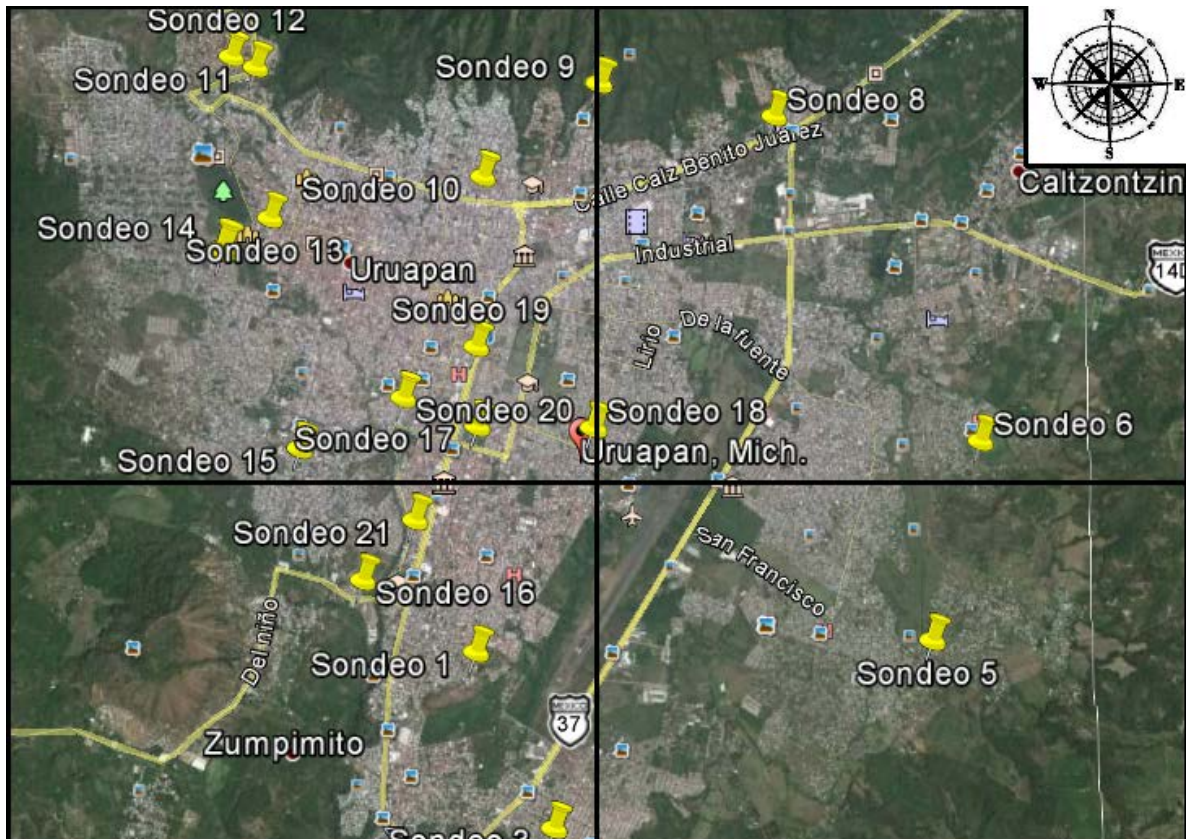


Imagen 3.8. Sondeos realizados en Uruapan, Michoacán.

Fuente: Google Earth (2015).

A continuación se mostrará un reporte fotográfico de los sondeos que se realizaron en las diferentes zonas de la ciudad, de tal manera que esto sirva para tener una idea de las características y propiedades de los suelos en las diversas zonas del municipio.

En la imagen 3.9 se incluyen varios sondeos correspondientes a la zona suroeste de la ciudad de Uruapan. Los sondeos realizados en dicha zona poseen suelos altamente saturados, es decir con un alto contenido de humedad, un suelo con esas características se presume que posee poca capacidad de carga.

### Zona Sur – Oeste



### Sondeo 3



### Sondeo 4

Imagen 3.9. Sondeos de la zona Sur – Oeste

Fuente: propia.

En la imagen 3.10 se incluyen varios sondeos correspondientes a la zona sur - este de la ciudad de Uruapan. Los sondeos realizados en dicha zona poseen suelos granulares, con cierto porcentaje de humedad, de color café de textura frágil, ya que son suelos de origen transportado, su capacidad de carga no es muy grande .



Imagen 3.10. Sondeos de la zona Sur – Este de la ciudad de Uruapan.

Fuente: Propia.

En la imagen 3.11. Se incluyen varios sondeos correspondientes a la zona Noreste de la ciudad de Uruapan. En los sondeos realizados en dicha zona se percibe un cambio drástico en el color de los suelos, un color café claro, y se tiene un contenido de humedad menor al de las zonas antes mencionadas.



Zona Noreste.



Sondeo 6



Sondeo 8

Imagen 3.11 Sondeos de la zona Noreste de la ciudad de Uruapan.

Fuente: Propia.

En la imagen 3.12. Se incluyen varios sondeos correspondientes a la zona Noroeste de la ciudad de Uruapan. En los sondeos realizados en dicha zona la

naturaleza de los suelos es de tipo residual, son macizos rocosos con una alta capacidad de carga.

Zona Noroeste.



Sondeo 12



Sondeo 16

Imagen 3.12. Sondeos de la zona Noroeste de la ciudad de Uruapan.

Fuente: Propia.

### **3.8. Estado Físico actual.**

Como ya se sabe es de suma importancia conocer las características de los suelos en los que se pretende desplantar cualquier obra. La ciudad de Uruapan en la actualidad no cuenta con un mapa de zonificación geotécnica, en el cual podamos apreciar a detalle las propiedades de cada uno de los diferentes suelos que existen en la región. El objetivo de este presente trabajo de investigación es la creación de dicho mapa virtual para así poder auxiliar a los constructores y realizar obras más seguras.

### **3.9. Alternativas de solución.**

La alternativa más viable a realizar para el presente trabajo de investigación, fue la creación de un mapa virtual en el programa arcview, en el cual se tenga la ciudad de Uruapan delimitada por sus diferentes zonas y gracias a la información de los estudios de mecánica de suelos que fueron donados por las diferentes instituciones gubernamentales y laboratorios de la región poder realizar el objetivo de esta tesis.

## **CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.**

En este capítulo se explicará la organización que se empleó para realizar la presente investigación, así como también se definirán los pasos que se emplearán, por lo que es fundamental para poder cumplir con los alcances y así expresar lo que se quiere lograr, investigando el método más apropiado para lograr el objetivo esperado.

### **4.1.- Método empleado.**

El método empleado en la presente investigación es el método científico. “El método científico se fundamenta estrictamente en las técnicas experimentales, las operaciones lógicas y la imaginación racional, para servir como instrumentos de la adquisición del conocimiento científico.” (Tamayo; 2005: 38). El método científico consta de las siguientes fases:

- a) La observación: Consiste en examinar a detalle y con mucha atención todos los hechos y fenómenos que tienen lugar en la naturaleza. La observación científica exige, a su vez, un orden
- b) La hipótesis: Después de la observación, el científico se plantea el cómo y por qué han ocurrido los fenómenos y se formula una hipótesis.
- c) La experimentación: Es la provocación del fenómeno, hecha a voluntad del investigador.

#### **4.1.1.- Método matemático.**

Uno de los objetivos primarios de las matemáticas es dar pruebas correctas de teoremas verdaderos. Esta investigación se basa en el método matemático, ya que en dicha investigación se comparan cantidades en todos los casos, los cuales se hacen comúnmente para darse cuenta del valor de todos los fenómenos involucrados en la investigación. Se utilizará para darse cuenta de las propiedades de cada tipo de suelo existe en cada una de las zonas de estudio y con ello realizar un mapa geológico virtual de la mancha urbana de la ciudad de Uruapan, Mich. Para cumplir con el objetivo principal que se planteó al principio de la tesis es de vital importancia realizar los experimentos necesarios.

#### **4.2.- Enfoque de la investigación.**

El enfoque de la presente investigación de acuerdo con Hernández y Cols (2010), es de carácter cuantitativo, ya que usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, así como las teorías, teniendo en cuenta un proceso secuencial y probatorio, por lo que cada etapa precede a la siguiente y no se pueden brincar pasos, cumpliendo con el orden riguroso como se muestra en la figura 4.1.



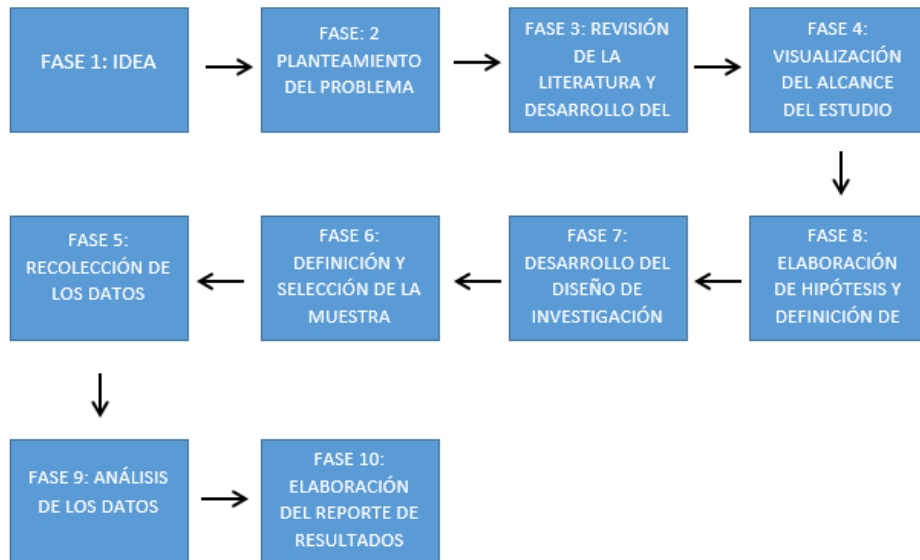


Imagen 4.1 El proceso cuantitativo.

Fuente: Hernández y Cols, (2010)

Como señalan los autores mencionados anteriormente, el enfoque cuantitativo tiene las siguientes características:

1. El investigador plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
2. Una vez ya planteado el problema de estudio, el investigador revisa lo que se ha investigado con anterioridad, posteriormente se elabora un marco teórico, del cual se construye una o varias hipótesis las cuales son sometidas a diversas pruebas o ensayos correspondientes. Si con los resultados se reafirma la hipótesis, se aporta evidencias a su favor. Si es al contrario, se plantean nuevas hipótesis.

3. Las hipótesis se deben de generar antes de recolectar y analizar los datos.
4. Se deben de cuantificar los datos recolectados del fenómeno en estudio, utilizando procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica.
5. Las mediciones se representan a través de métodos estadísticos mediante números y cantidades.
6. Se busca ir eliminando o desechando hipótesis mediante la experimentación y/o pruebas de causa y efecto.
7. La interpretación de los análisis cuantitativos constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente.
8. La investigación cuantitativa debe ser lo más objetiva posible. Los fenómenos no deben de ser afectados por el investigador en absoluto.
9. Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurado y se debe de tener presente que las decisiones críticas se efectúen antes de recolectar los datos.
10. Se busca que los estudios efectuados puedan replicarse.
11. Con los estudios cuantitativos se intenta explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando irregularidades y relaciones causales entre elementos.
12. Si se sigue rigurosamente el procedimiento, los datos generados deben de poseer altos niveles de validez y confiabilidad, y las conclusiones derivadas contribuirán a la generación de conocimiento.
13. Se utiliza el razonamiento deductivo lo que significa que el procedimiento es lógico.

14. Según Bergman (2008), la investigación cuantitativa pretende identificar las leyes universales y causales.

15. La búsqueda cuantitativa ocurre en la realidad externa del individuo.

#### **4.2.1.- Alcance de la investigación.**

Una vez decidida la realización del trabajo de investigación, se deben visualizar el objetivo tanto general como secundario que se pretende alcanzar con este estudio.

De acuerdo con Hernández y Cols (2010), al comienzo de cualquier investigación surge necesariamente la pregunta ¿de qué depende que el estudio se inicie como exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo? La respuesta depende fundamentalmente de dos factores: el primero es el estado del conocimiento sobre el problema de investigación, mostrado por la revisión de la literatura, y el segundo es la perspectiva que se pretende a estudiar.

Por lo que para esta investigación se realizan estudios exploratorios y descriptivos; los exploratorios, estos esencialmente se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación muy poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o definitivamente no se ha abordado con anterioridad. Los estudios exploratorios son como realizar un viaje a un sitio desconocido, donde no se ha visto ni se conoce nada, simplemente alguien hizo un breve comentario sobre dicho lugar, por otro lado los descriptivos solo buscan especificar tanto las características, las propiedades y los perfiles de grupos, procesos o cualquier otro

fenómeno que tenga que ser sometido a un análisis, seleccionando así una serie de preguntas, recabando la información necesaria para poder describir lo que se investiga.

“Los estudios exploratorios sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener la información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados” (Hernández y Cols: 2006 ; 79).

Ahora, “los estudios descriptivos únicamente pretenden medir o recoger la información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren”. (Hernández y Cols: 2010; 80).

Como señalan los autores mencionados anteriormente, el enfoque cuantitativo tiene las siguientes características:

1. El investigador plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
2. Una vez ya planteado el problema de estudio, el investigador revisa lo que se ha investigado con anterioridad, posteriormente se elabora un marco teórico, del cual se construye una o varias hipótesis las cuales son sometidas a diversas pruebas o ensayos correspondientes. Si con los resultados se reafirma la hipótesis, se aporta evidencias a su favor. Si es al contrario, se plantean nuevas hipótesis.
3. Las hipótesis se deben de generar antes de recolectar y analizar los datos.

4. Se deben de cuantificar los datos recolectados del fenómeno en estudio, utilizando procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica.
5. Las mediciones se representan a través de métodos estadísticos mediante números y cantidades.
6. Se busca ir eliminando o desechando hipótesis mediante la experimentación y/o pruebas de causa y efecto
7. La interpretación de los análisis cuantitativos constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente.
8. La investigación cuantitativa debe ser lo más objetiva posible. Los fenómenos no deben de ser afectados por el investigador en absoluto.
9. Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurado y se debe de tener presente que las decisiones críticas se efectúen antes de recolectar los datos.
10. Se busca que los estudios efectuados puedan replicarse.
11. Con los estudios cuantitativos se intenta explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando irregularidades y relaciones causales entre elementos.
12. Si se sigue rigurosamente el procedimiento, los datos generados deben de poseer altos niveles de validez y confiabilidad, y las conclusiones derivadas contribuirán a la generación de conocimiento.
13. Se utiliza el razonamiento deductivo lo que significa que el procedimiento es lógico.

14. Según Bergman (2008), la investigación cuantitativa pretende identificar las leyes universales y causales.

15. La búsqueda cuantitativa ocurre en la realidad externa del individuo.

### **4.3 Diseño de la investigación.**

Existen tres tipos de diseño de investigación, según Hernández y Cols. (2010); los cuales se describirán a continuación:

- a) Experimental: En el diseño experimental se crean grupos de sujetos que serán sometidos a pruebas manipulando las variables del estudio para corroborar alguna hipótesis.
- b) Cuasiexperimental: En el diseño cuasiexperimental de igual manera se crean grupos para someterlos a diversas pruebas según sea el objetivo, pero de una manera más práctica no haciendo el proceso demasiado metódico.
- c) No experimental: En el diseño no experimental no se pueden manipular las variables a estudiar, se valoran tal y como están en su entorno determinando o corroborando alguna hipótesis propuesta.

En la presente investigación se usó el diseño no experimental ya que las variables que estudiaremos en la presente investigación siendo estas los estudios de mecánica existentes fueron elaborados en condiciones naturales del terreno y para elaborar la investigación no se vieron afectados para su interpretación.

En el diseño no experimental se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para luego analizarlos, explicado con otras palabras los estudios se realizan sin algún tipo de manipulación deliberada de las variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos, siendo así que las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, sin tener control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

A su vez esta será de un carácter transeccional de tipo exploratorio ya que el conjunto de variables a analizar están enfocadas a una cierta comunidad en un momento específico.

#### **4.4 Instrumentos de recopilación de datos.**

Para la presente investigación se usará una gran cantidad de herramientas ya sean softwares o herramienta física.

Los softwares que se utilizaran para la presente investigación son los siguientes:

- a) Word: Este software se usó para redactar y dar formato al trabajo presente
- b) Excel: Se utilizó para crear algunas tablas propias y también para crear bases de datos de los estudios de mecánica de suelos
- c) ArcView: Se usó para crear el mapa de la zonificación siendo este uno de los más importantes ya que es el propósito de este trabajo de tesis

- d) Google Chrome: Se buscó parte de la información teniendo en cuenta la importancia de la fuente de la cual se extraía la información, también para encontrar imágenes ilustrativas de cada uno de los temas de la investigación.
- e) Google Earth: En este mapa virtual se ubicaron los estudios de mecánica existentes para tener en cuenta que parte de la ciudad tiene estudios de mecánica de suelos y valorar el trabajo previamente.

De manera importante también se necesitó de herramienta para crear la presente investigación, que a continuación se mencionará:

- a) Libros: Fue la fuente principal de toda la información extraída para el trabajo presente.
- b) Estudios de mecánica de suelos: Parte fundamental del proyecto ya que son los datos con los cuales se creó el mapa de zonificación
- c) Computadora: Herramienta con la cual se redactó el trabajo presente, se buscó información e imágenes necesarias.

#### **4.5 Descripción del proceso de investigación.**

Esta investigación es el producto de un gran esfuerzo como equipo entre los autores y de dos grandes ingenieros como lo son el Ingeniero Anastasio Blanco Simiano y el Ingeniero Esteban Brito Chávez, personas de las cuales se recibió una



fuerte orientación sobre la línea que se debía seguir para elaborar este trabajo de investigación.

En primer lugar se tuvo que analizar gran cantidad de información para darse cuenta de cómo se iba a estructurar la zonificación que se deseaba generar, después de tener hecha la estructuración se comenzó elaborando un índice tentativo para darnos cuenta de cómo se deseaba estructurar el trabajo presente, luego se continuó por la parte teórica del trabajo de tesis, sin embargo, se comenzó por recopilar estudios de mecánica de suelos localizando y georreferenciando en un mapa virtual para tener en cuenta de que extensión territorial existe con estudios ya realizados y depositándolos en una tabla de datos para llevar un mejor control de la información.

Posteriormente toda la información recopilada se analizó y se clasificó de forma minuciosa para darse cuenta de que realmente fuese útil para el trabajo de investigación. Y se comenzó a trabajar en el proyecto actual.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se da a conocer la forma en que se ejecutó el trabajo de investigación, así como las herramientas que se necesitaron para concretarlo, la forma en que se recopilaron los estudios de mecánica de suelos, cómo se capturó la información, cómo se procesó, entre otras características de la investigación, para así saber el cómo se obtuvo el resultado de la zonificación.

#### **5.1.- Recopilación de información.**

Para poder obtener la información y así poder hacer esta investigación con un grado de exactitud mayor, se tuvo que acudir con las distintas dependencias de la administración del ayuntamiento, grandes empresas dedicadas al ramo de la construcción de la ciudad, así como ingenieros particulares con una alta reputación en la construcción, a los laboratorios de mecánica de suelos más reconocidos de la ciudad y a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco. Con los cuales gracias a su ayuda se obtuvieron una cantidad de 175 estudios de mecánica de suelo que fueron los recopilados en los lugares anteriormente mencionados, a lo largo y ancho de la ciudad de Uruapan, cabe mencionar que este proyecto se pudiera extender de forma importante dándole así una mayor exactitud si se hubiera tenido una mayor disposición de ayuda, también actualizando día a día.

## **5.2.- Vaciado de la información.**

Para comenzar a procesar la información primero se tuvo que tener ésta misma de forma digital para lo cual se hizo un vaciado de datos en el Software Microsoft Excel con el cual se hizo el listado de cada uno de los estudios de mecánica de suelos con su ubicación escrita en coordenadas en el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) así como cada una de las características con las que cuenta cada uno de los estudios como lo son: su granulometría, límites de Atterberg, su clasificación SUCS, la densidad de sólidos, compresión triaxial, consolidación unidimensional. También se mencionará a cada uno de los colaboradores que otorgaron de forma importante su ayuda a este proyecto para darles su crédito evitando así el plagio de información, también esto servirá para dar una mayor credibilidad a cada uno de los estudios.

A continuación se muestra un ejemplo de algunos estudios en el vaciado de información que se hizo en Excel para que el público en general sepa cómo se formó este trabajo de investigación. (Ver tabla 5.1)

El Formato del vaciado de datos se hizo de forma horizontal ya que posteriormente para procesarlo en el software ArcView se necesita de este modo, ya una vez procesado en ArcView esta tabla quedará verticalmente para cada uno de los sondeos.

"ESTUDIO"		"X"	"Y"	"De opción de estratos"					
Colegio Hidalgo		81674.19	214942.39	1er estrato de 0002 m Cpa vegetal					
Conjuntor habitacional bakones		80000.68	215138.61	1er estrato de 0010 m Limn orgánico					
Conjuntor habitacional ISSITE		80394.66	214742.81	1er estrato de 0030 m limn poco arenoso					
Conjuntor habitacional ISSITE		80298	214749.1	1er estrato de 0030 m limn poco arenoso					
Conjuntor habitacional ISSITE		80264	214761.5	1er estrato de 0030 m limn poco arenoso					
Conjuntor habitacional ISSITE		80383	214762.2	1er estrato de 0030 m limn poco arenoso					
Calle Miras entrealcalmayvilla		80368	214982.1	1er estrato de 0003 m limn artil oso arenoso					
"Nivel de aguas freáticas"	"Profundidad"	"Tipo de muestra"	"%Q.e.pasamalla#1"	"%Q.e.pasamalla#2"	"%Q.e.pasamalla#3"	"%Humedad natural"	"%Límite líquido"	"%Límite plástico"	"%Intreplástico"
Si se detectó	02	1er estrato							
No se detectó	1	1er estrato	100	88	61	77.1	74	57	37
Si se detectó	1	1er estrato				101	141	120	21
Si se detectó	1	1er estrato				66	118	55	63
Si se detectó	1	1er estrato				74	126	64	62
Si se detectó	1	1er estrato				80	129	59	70
No se detectó	03	1er estrato							
"%Contracción lineal"	"%Límite de contracción"	"Clasificación SUCS"	Redificación	"Consistencia natural"	"Consistencia con penetrómetro"	"Peso Volumétrico (Ton/m³)"	"Densidad de sólidos"	"Relación de vaídos"	"Porosidad%"
72		MH	1	Banda		0.548	65		
		MH	1			0.82	2.42	4.92	
		MH	1						
		MH	1			0.77	2.44	4.5	
		MH	1						
"Grado de saturación%"	"Resistencia (Ton/m²)"	"Cohesión (Ton/m²)"	"Figura"	"Cohesión (Ton/m²)"	"Ángulo de fricción"	"Figura"	"Carga de Preconsolidación (Ton/m²)"		
	692	2.05			9				
50	73								
40	36								

Tabla 5.1 Vacío de datos

Fuente: Excel 2013

### 5.3 Proceso de la información.

Para comenzar a procesar la información, ya teniendo el vaciado de forma digital este mismo se tiene que grabar como archivo digital en formato “texto de formato (delimitado por tabulaciones)” (Ver imagen 5.1). Para que de este modo se pueda procesar el archivo en el software ArcView, ya que sólo en este formato el software ya mencionado puede procesar de forma eficaz el archivo. También se recomienda que este archivo se guarde en el Disco local (C:) para que el programa funcione eficazmente.

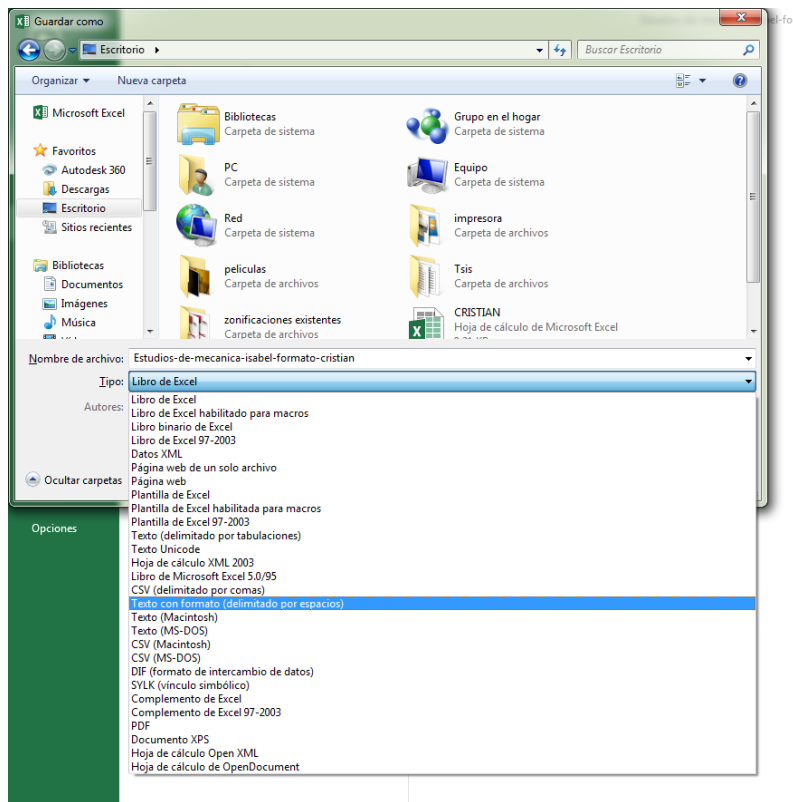


Imagen 5.1 Formato del archivo.

Fuente: Microsoft Excel 2010.

#### **5.4 ArcView GIS 3.2.**

El software llamado ArcView es un programa el cual le permite al usuario la creación de mapas estando georreferenciado, para lo cual se necesita tener cartas topográficas de las zonas que se desea estudiar o modelos digitales de elevación, todo esto dependiendo del tipo de mapas que se tienen que crear. Para lo cual se requiere algún sistema u organización que cuente con dicha información, en nuestro país la organización que cuenta con dicha información es INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Del cual se pueden solicitar y descargar las cartas topográficas de todo el país en la página de internet oficial de INEGI. Siguiendo los siguientes pasos:

- Geografía
  - Topografía
  - Cartas Topográficas

Ya en esta página en la opción de buscar se solicita la carta topográfica de Uruapan, en el cual se arrojarán distintas cartas topografías de la región con distinta información, como “Cartografía geoestadística, Topografía, Información general, Relieve, Recursos naturales”, para lo cual en el presente trabajo de investigación se requiere el tema de topografía como se muestra en la imagen 5.2, ya delimitada la búsqueda se prosigue a descargar la carta topográfica más actual.

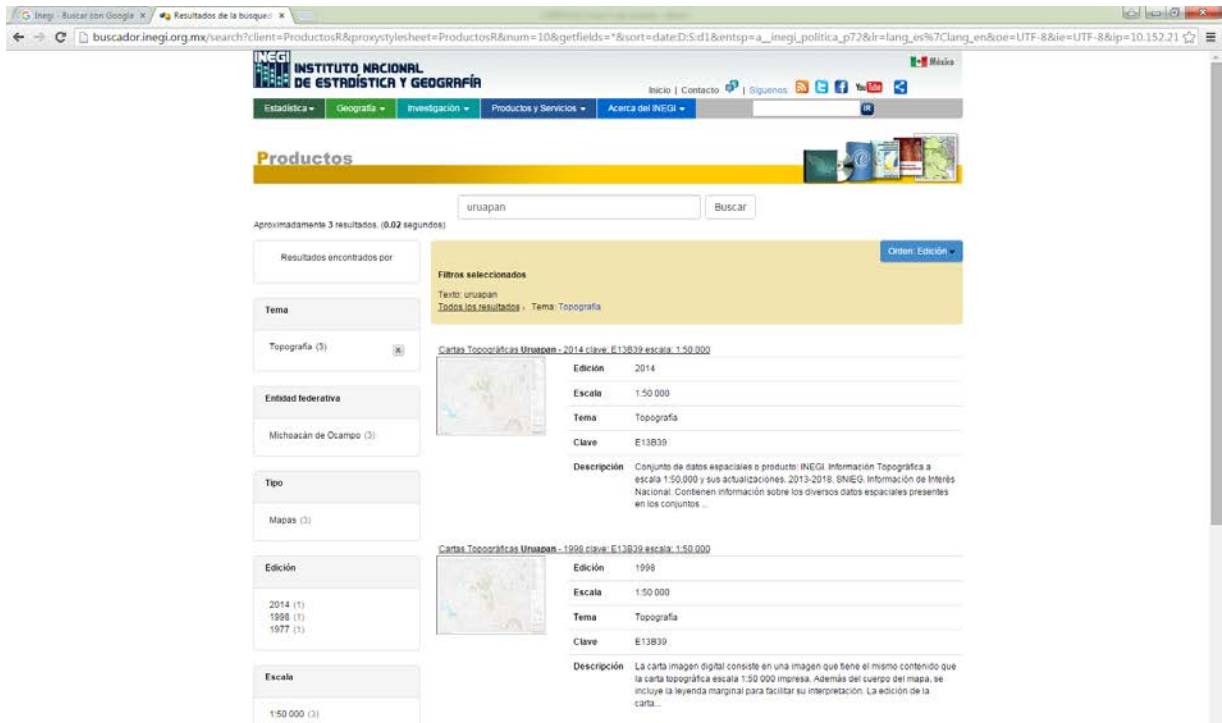
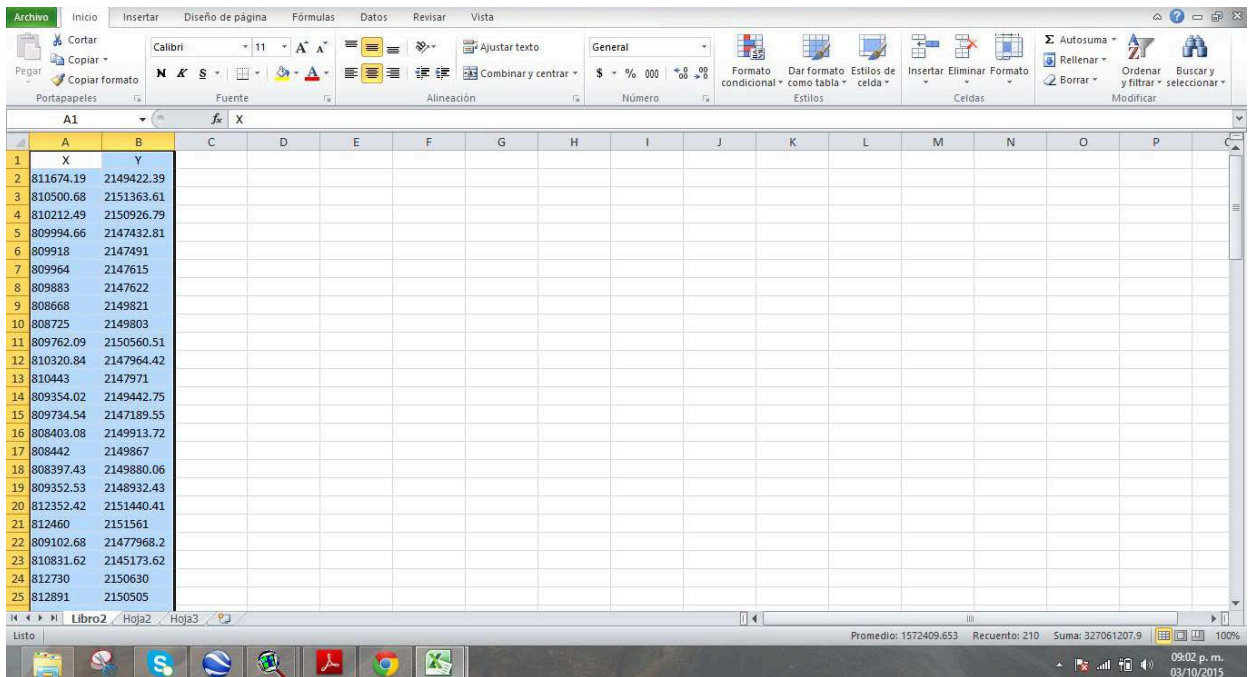


Imagen 5.2 Descarga de la carta topográfica.

Fuente: [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx).

Ya teniendo la carta topográfica descargada se procede a extraer toda la información de la misma, se crean 3 carpetas llamadas “Conjunto de datos, Diccionario de datos y Metadatos”, las cuales se recomienda meterlas en una misma carpeta en el disco duro (C:) para tener un mejor rendimiento en el programa ArcView.

Ya que se cuenta con esta información se procede a ejecutar el programa para comenzar con el proyecto, para esto se tiene que tener un listado de las coordenadas de cada uno de los sondeos para crear cada uno de los puntos en el mapa como se muestra en la figura 5.3, para el actual proyecto se creó también en Excel y posteriormente se convirtió en “Texto con formato (delimitado por espacios)” y se guardó en Disco local (C:).



The image shows a screenshot of the Microsoft Excel 2010 interface. The spreadsheet has two columns, X and Y, with 25 rows of data. The data is as follows:

	X	Y
1	811674.19	2149422.39
2	810500.68	2151363.61
3	810212.49	2150926.79
4	809994.66	2147432.81
5	809918	2147491
6	809964	2147615
7	809883	2147622
8	808668	2149821
9	808725	2149803
10	809762.09	2150560.51
11	810320.84	2147964.42
12	810443	2147971
13	809354.02	2149442.75
14	809734.54	2147189.55
15	808403.08	2149913.72
16	808442	2149867
17	808397.43	2149880.06
18	809352.53	2148932.43
19	812352.42	2151440.41
20	812460	2151561
21	809102.68	21477968.2
22	810831.62	2145173.62
23	812730	2150630
24	812891	2150505
25		

Imagen 5.3 Coordenadas de los sondeos

Fuente: Microsoft Excel 2010.



Se ejecuta el programa en el cual desde un inicio se selecciona la opción “with a new View” y se presiona el botón “OK” para comenzar con el proyecto como se puede apreciar en la imagen 5.4

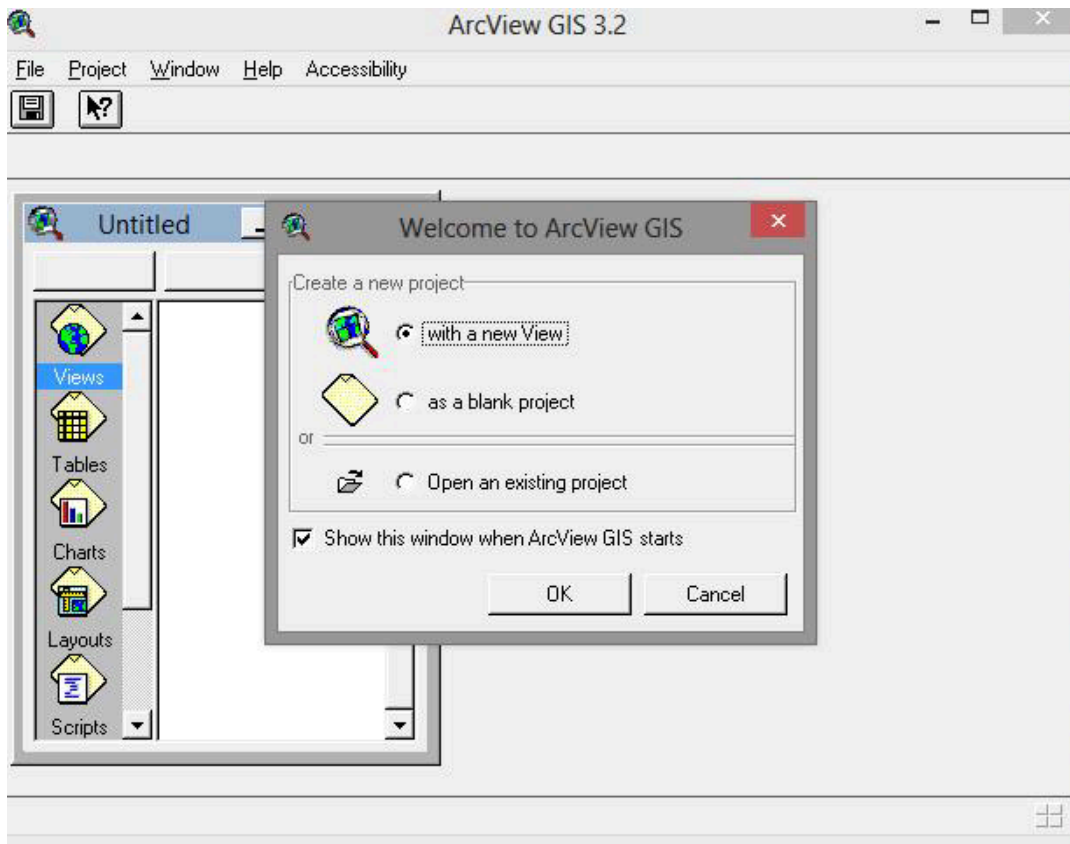


Imagen 5.4 Ventana de inicio ArcView

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Se procede a agregar un tema en el documento el cual será el modelo digital de elevación que se guardó anteriormente en el disco duro local (C:) el cual está en formato “.bil” seleccionando “Image Data Source” como filtro de búsqueda para el archivo, como se muestra en la imagen 5.5. Es importante tener un orden de todos los archivos y no moverlos posteriormente del proyecto ya que se puede dañar el archivo Generado por el ArcView si estos no están o son movidos de su ubicación posteriormente.

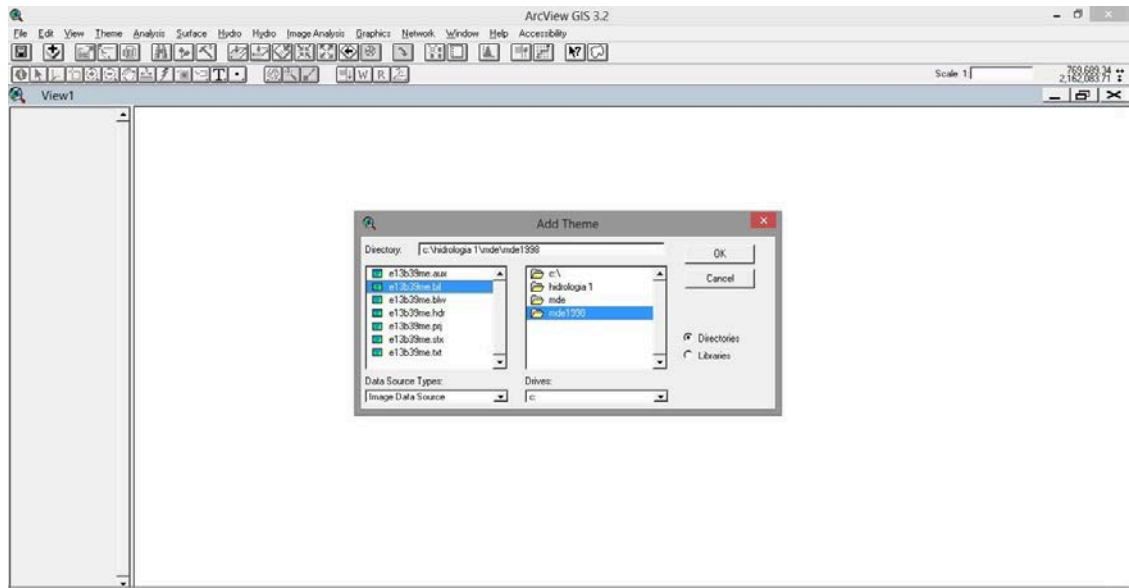


Imagen 5.5 Agregar tema

Fuente: Fuente: ArcVeiw GIS 3.2.

Agregado ya el tema se procede a convertirlo en otro formato para poder trabajar en el, para lo cual se selecciona el menú “Theme” y se le da clic en la opción “Convert to Grid” como se muestra en la imagen 5.6, con esto se creará un nuevo archivo el cual se debe de guardar en la carpeta donde se esta recopilando toda la información del proyecto.

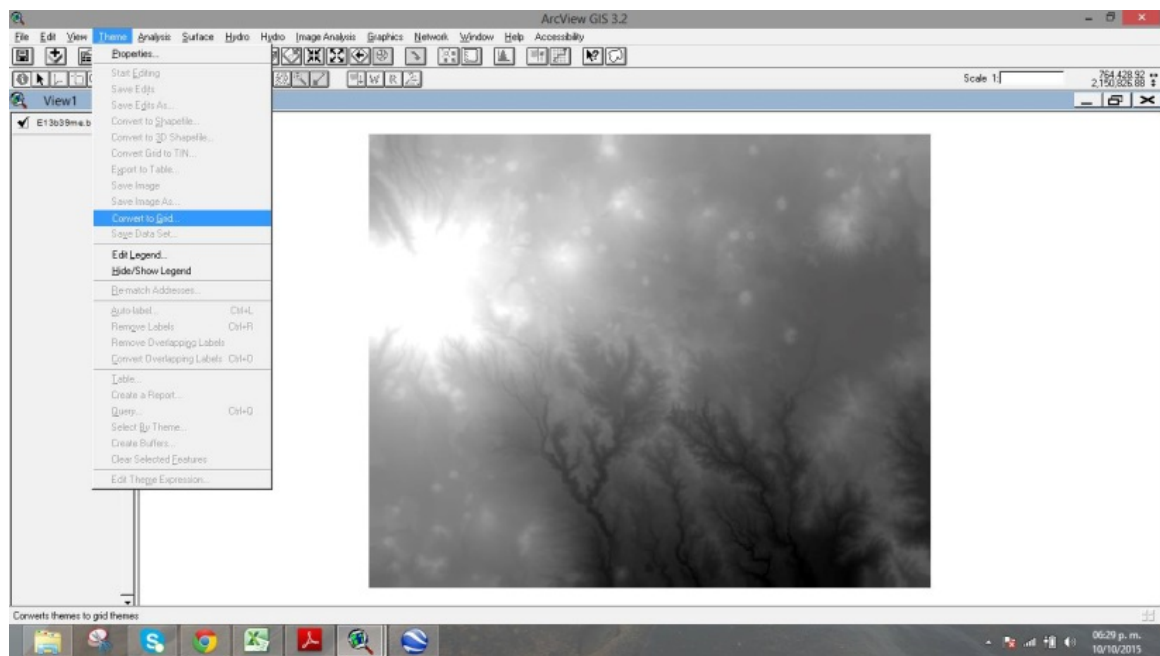


Imagen 5.6 Convertir a formato “.grid”

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ahora este archivo en formato “.grid” se convertirá a formato shapefile “.shp” siguiendo los mismo pasos en el menú Theme y luego seleccionando la opción “Convert to Shapefile”, de igual manera se creará un archivo nuevo el cual debe de guardarse en misma ruta del proyecto como se mencionó anteriormente (Ver imagen 5.7).

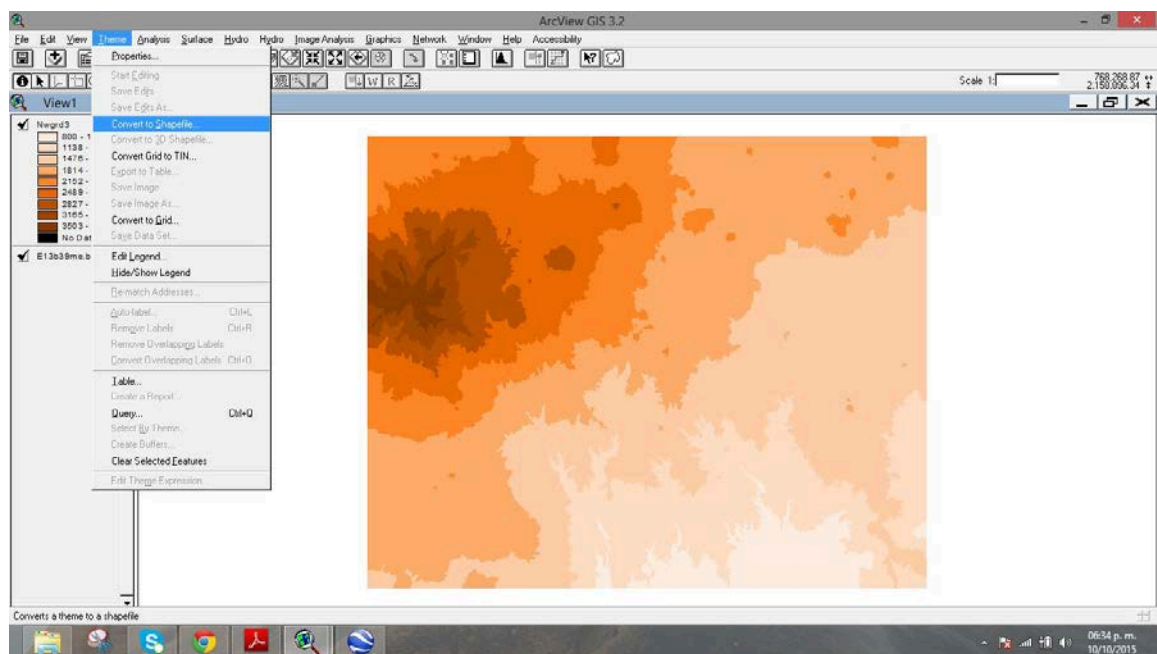



Imagen 5.7 Convertir a “shp”

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ahora se continua con el proyecto agregando un nuevo tema como anteriormente se hizo, para esto se le da clic al botón “” y se busca la ruta en la cual se guardó la carta topográfica de la zona y se busca el archivo de la carta topográfica ya que con esto se va a poder delimitar la zona de estudio, la cual se podrá encontrar en formato “.tif” (Ver figura 5.8).

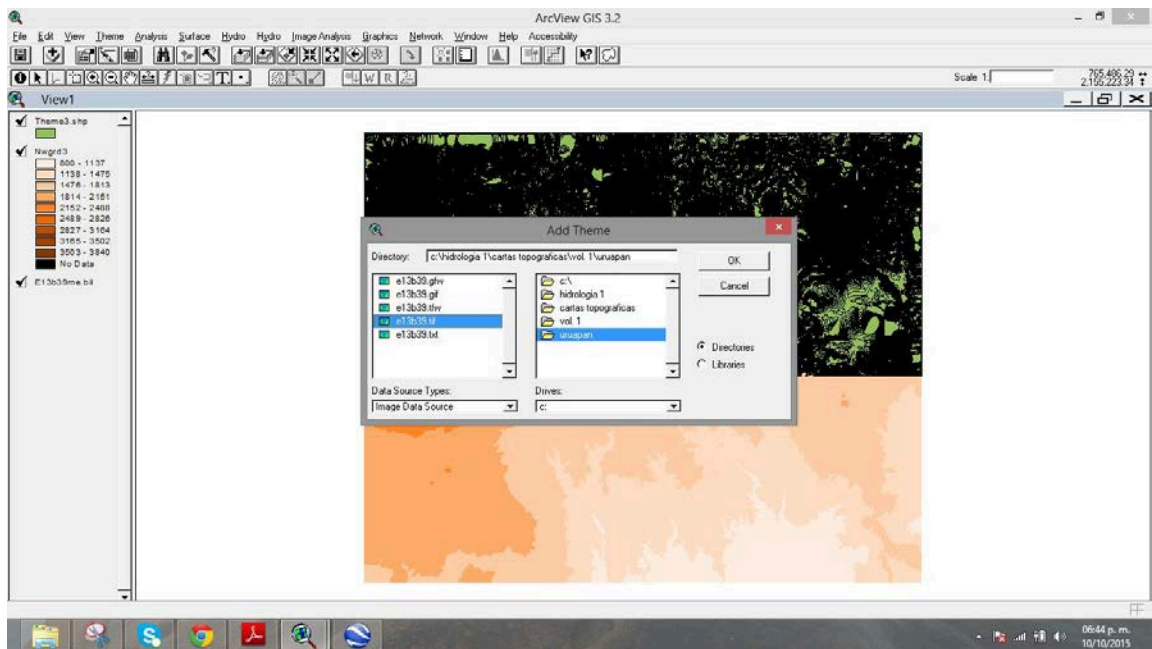


Imagen 5.8 Tema de Carta topográfica

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Una vez convertido el archivo se procede a agregar la tabla con los datos de los estudios de mecánica de suelos para lo cual minimizaremos el área de trabajo, aparecerá una ventana de atributos en la cual entraremos en la opción “Tables” y agregaremos el archivo que contiene los estudios (Ver imagen 5.9).

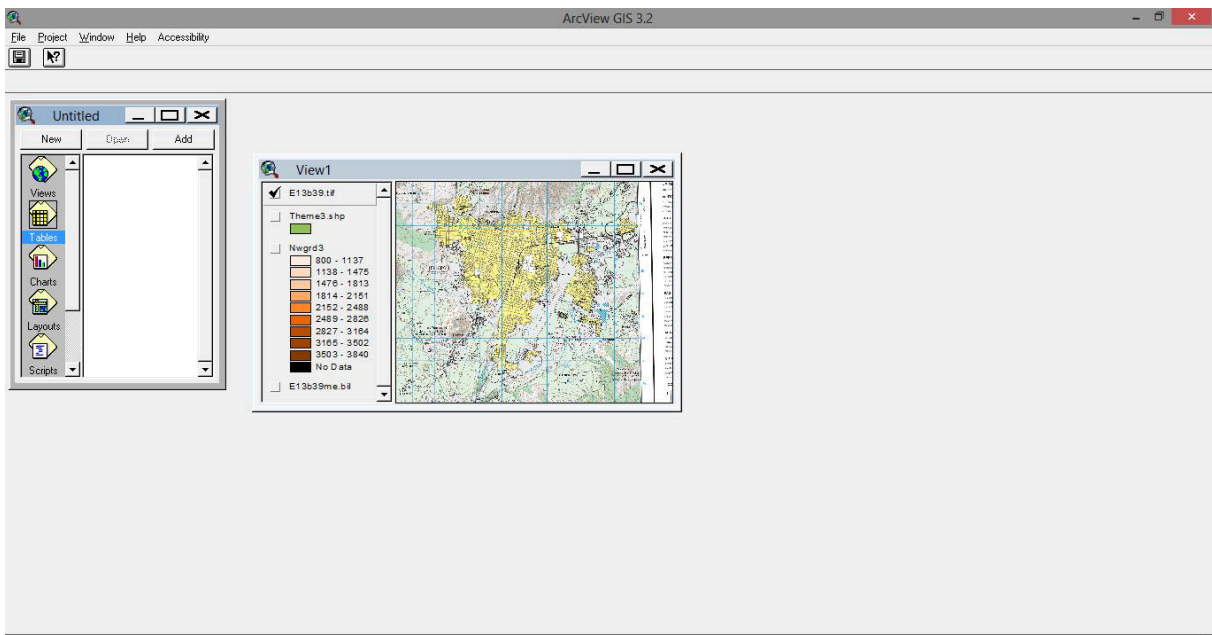


Imagen 5.9 Agregar tabla de estudios.

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Para agregar los puntos de las coordenadas georreferenciados en la carta topográfica del estudio, se regresa al atributo de View se entrará al menú View y se seleccionará la opción “Add Event Theme...” a continuación se abrirá una nueva ventana en la cual se tendrá que seleccionar la columnas de las tablas correspondientes a las coordenadas en X y Y, como se muestra en la imagen 5.10.

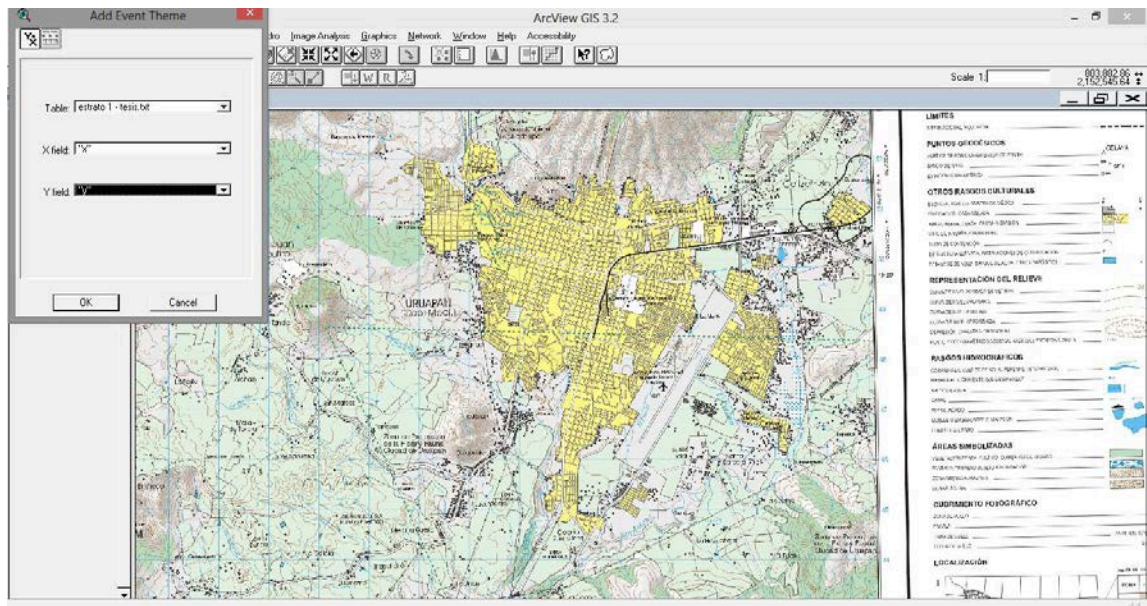


Imagen 5.10 Puntos Georeferenciados

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.



En la siguiente imagen se puede apreciar cómo se muestran en el programa ArcView los puntos de los estudios de mecánica de suelos recopilados, lo que nos permite apreciar con mayor exactitud el área que se tiene estudiada, para así mismo poder delimitar el área con la cual se determinará la zonificación (Ver imagen 5.11).

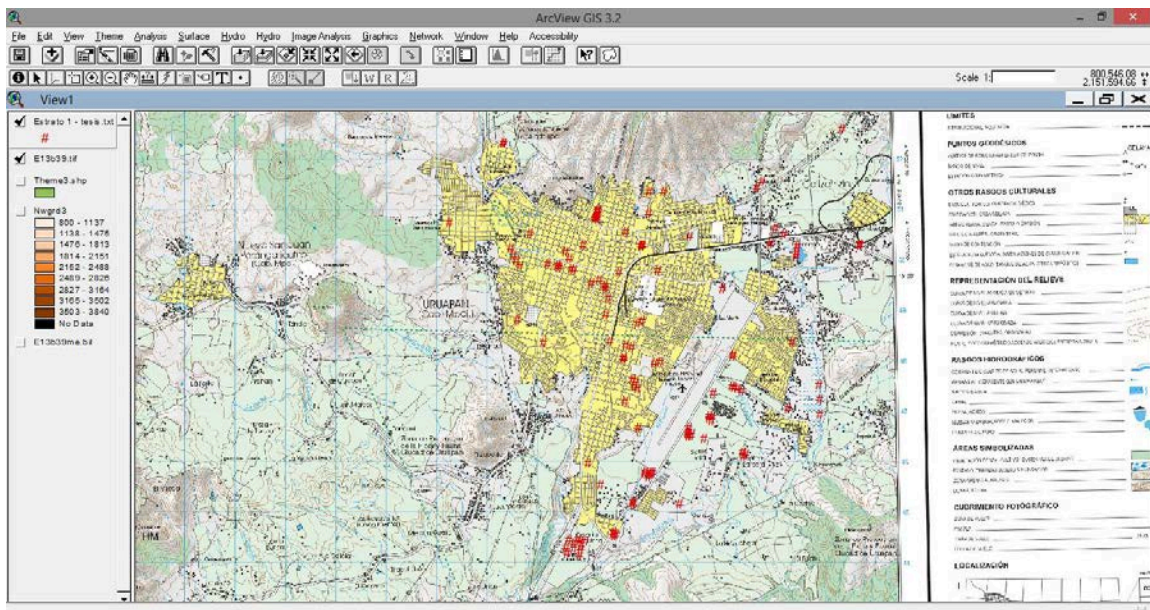



Imagen 5.11 Puntos de los estudios de mecánica

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.



Para delimitar el área de la zonificación se creará un polígono para hacer el corte del mapa de la carta topográfica de la ciudad de Uruapan para lo cual se crea un nuevo tema en el menú “View” y se seleccionará la opción “New Theme”, ahora aparecerá una nueva ventana en la cual seleccionaremos la opción “Polygon” como se muestra en la imagen 5.12, ahora el archivo se convertirá en formato “.shp” con lo cual se utilizará la herramienta “” y empezaremos a trazar el polígono alrededor del área que se pretende delimitar, al terminar se da doble clic al punto de unión para terminar el trazo, automáticamente al área de cortará (Ver imagen 5.13).

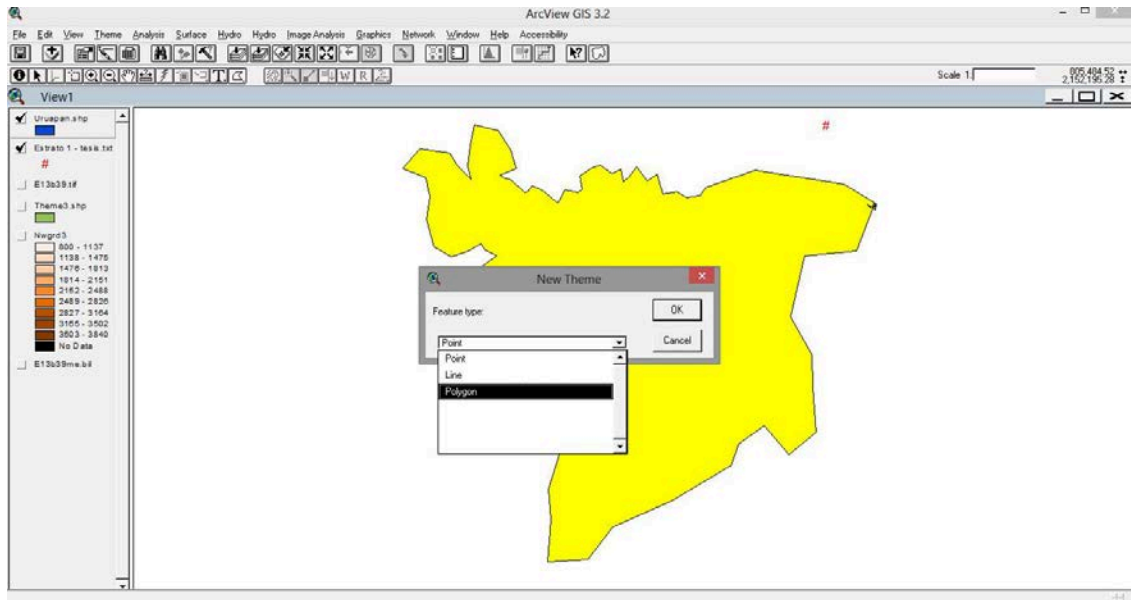


Imagen 5.12 Nuevo Tema de polígono

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

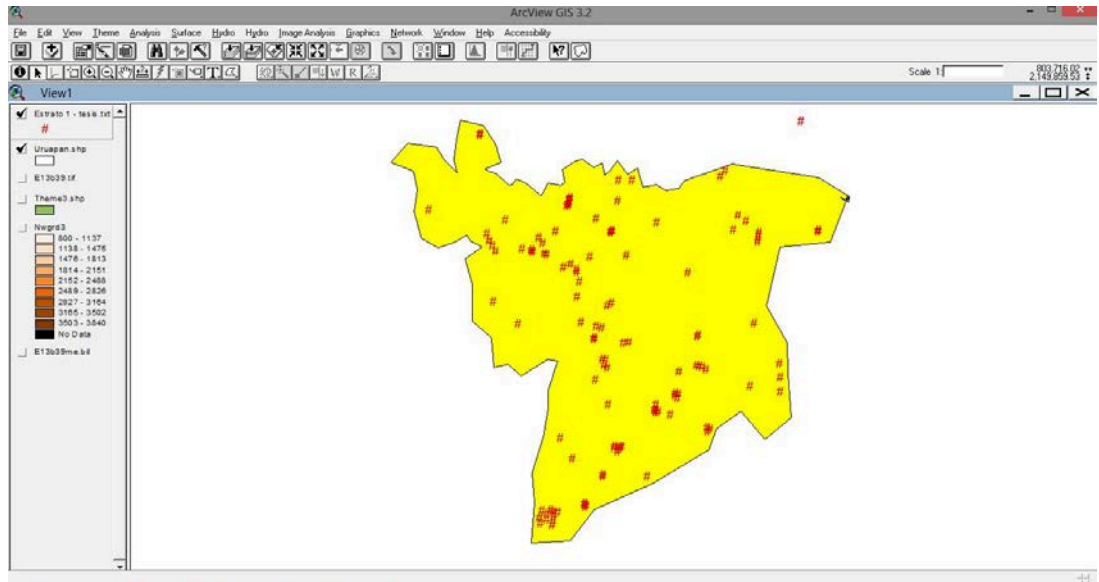


Imagen 5.13 Mapa delimitado para la zonificación.

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ahora este mismo mapa ésta en formato de texto ".txt", para poder seguir trabajando en él, se debe de convertir en formato ".shp" para lo cual se va al menú "theme" y ya teniendo seleccionados los temas de las coordenadas y el polígono creado se selecciona la opción "Convert to Shapefile..." y guardarlo en la misma ruta del proyecto, ya en este mapa se puede ver las características de la información en cada uno de los puntos dándole clic al botón de las herramientas "i" y dándole doble clic a cada uno de los puntos, en seguida aparecerá una ventana como se puede apreciar en la imagen 5.14. Con lo que se puede apreciar las características del suelo en cada uno de los sondeos y presenciar de igual manera quien o cual dependencia o particular otorgó dicha información.

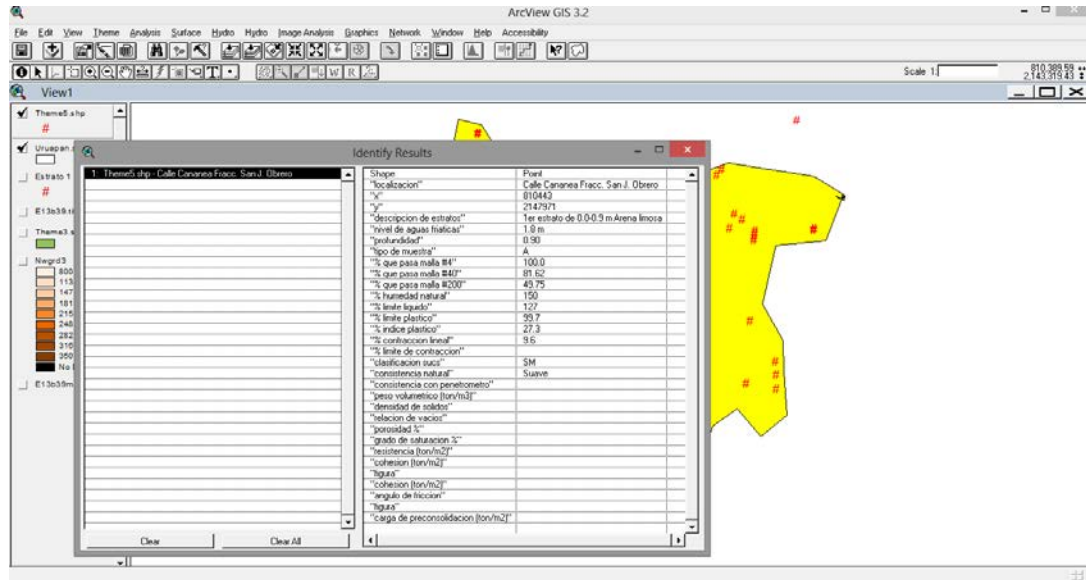


Imagen 5.14 Características de los sondeos

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ahora para empezar con el proyecto y crear los mapas de la zonificación se regresa a la vista de los mapas se selecciona el menú “Analysis” y en la opción “Assign Proximity”, aparecerá una ventana en la cual podemos modificar las propiedades de la apariencia de la zonificación, por ejemplo CellSize servirá para modificar los pixeles de la imagen lo que genera una mayor fidelidad, entre otras, por el momento se dejaran las propiedades como las da el software por default, al momento de dar clic en “OK” aparecerá una nueva ventana con los encabezados de la tabla de los estudios de mecánica de suelos con los cuales se puede manejar el tipo de mapa que se desea generar, en este caso utilizaremos las capacidades de carga y los tipos de suelo por estrato, cada uno de los mapas se tiene que hacer de manera individual para tener un mejor orden de la información, entonces se

seleccionará “Resistencia” para el ejemplo siguiente. Terminado el proceso el software generará una imagen de colores como se puede apreciar en la imagen 5.15. la cual es la representación gráfica de un proceso estadístico llamado “polígonos de Thiessen” el cual es una aproximación estadística de la influencia de los datos en una determinada zona estudiada, todos estos colores dependen de la reincidencia de cada uno de los datos de la variable estudiada.

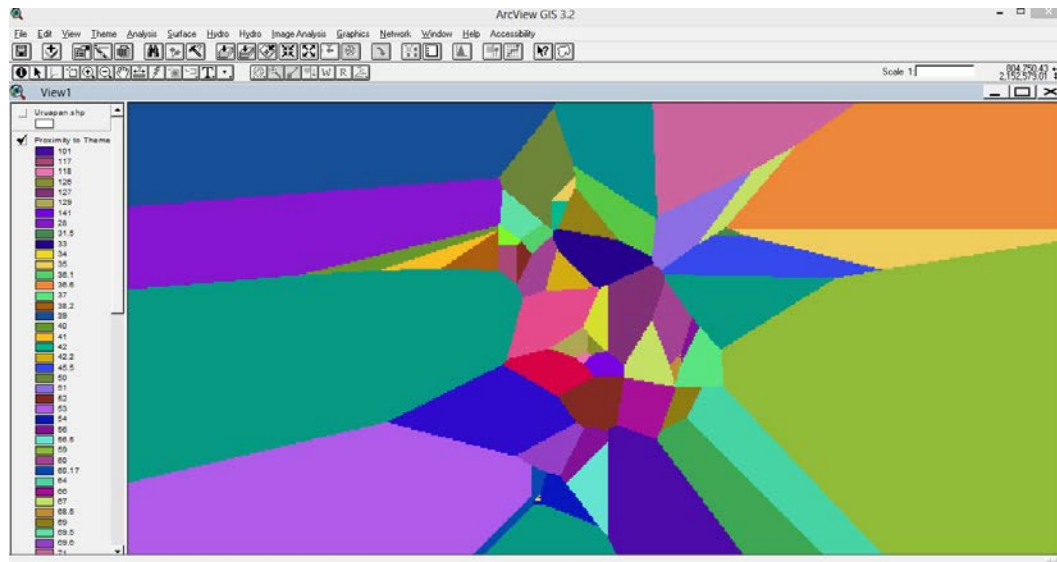


Imagen 5.15 Polígonos de Thiessen

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Para empezar a combinar el polígono de la ciudad de Uruapan con los polígonos de Thiessen se necesita crear el mapa de colores en formato “.shp” como se ha señalado anteriormente guardándolo en la misma ruta del proyecto. Para continuar entramos al menú “View” se seleccionará la opción “GeoProcessingWizard...” y se seleccionará la opción “Clip one theme base on another” damos clic en “next” y se necesitara seleccionar que mapa se desea transponer con el otro, para este caso en el inciso “1) Select input theme to clip” seleccionando el mapa creado en formato “.shp” de los polígonos de Thiessen y en el inciso “2) Select a polygon overlay theme:” el polígono de la ciudad de Uruapan creado, como se muestra en la figura 5.16. Terminando con el botón Finish.

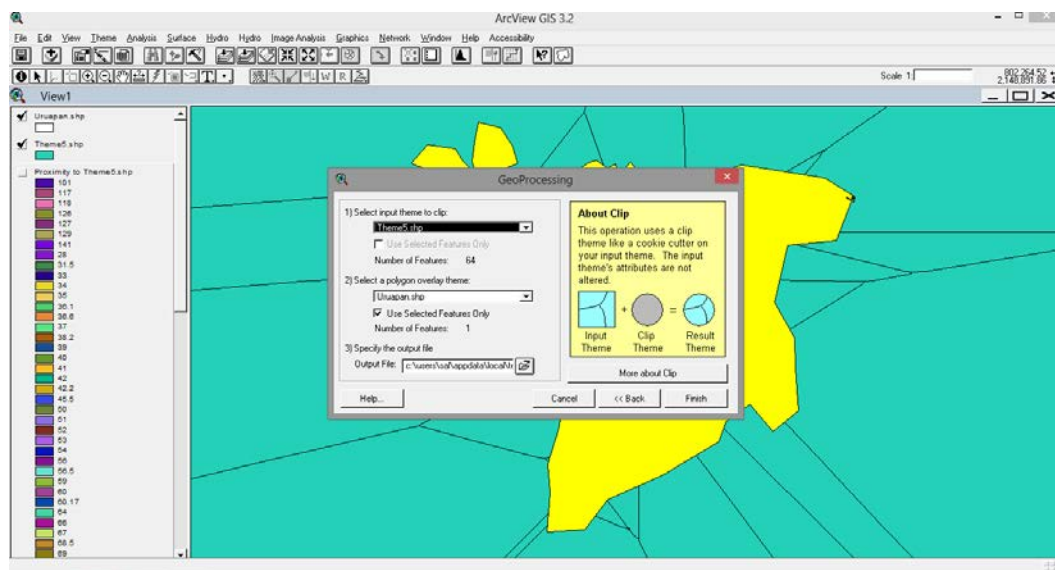



Imagen 5.16 GeoProcessingWizard...

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ahora ya creado el mapa es importante saber cómo solicitar la información de cada uno de los polígonos generados para lo cual necesitamos el botón de información “” y se selecciona el polígono del cual se requiere la información, al momento de solicitar la información se abrirá una venta con un formato que da por default el programa el cual en la fila llamada “GridCode” es el valor de cada uno de los polígonos como se aprecia en la imagen 5.17.

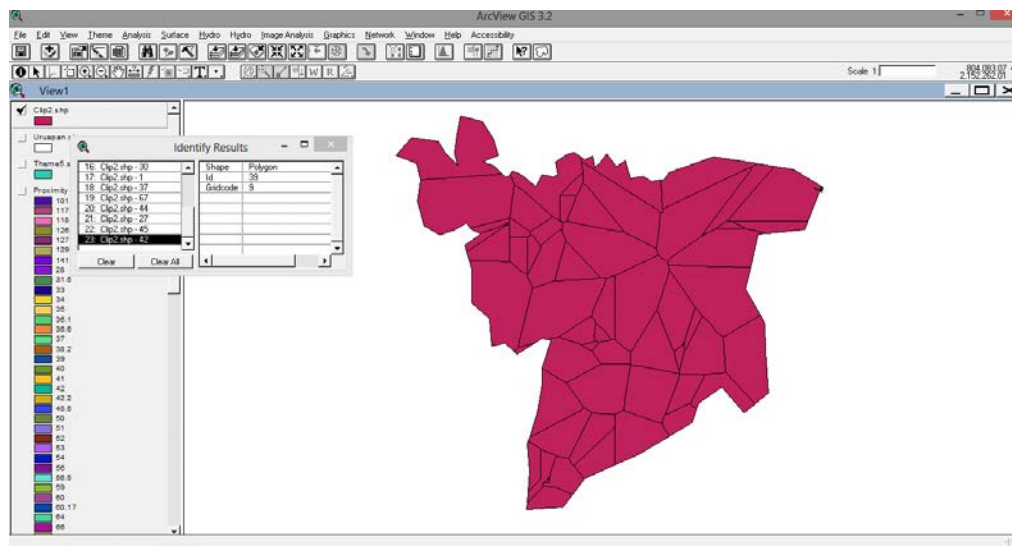


Imagen 5.17 Características por polígono

Fuente: Fuente: ArcView GIS 3.2.

Ya sólo es cuestión de darle formato para diferenciar por colores cada uno de los valores de las variables que se estudiaron para tener una mayor amplitud de visualización y estética como se muestra en la figura 5.18

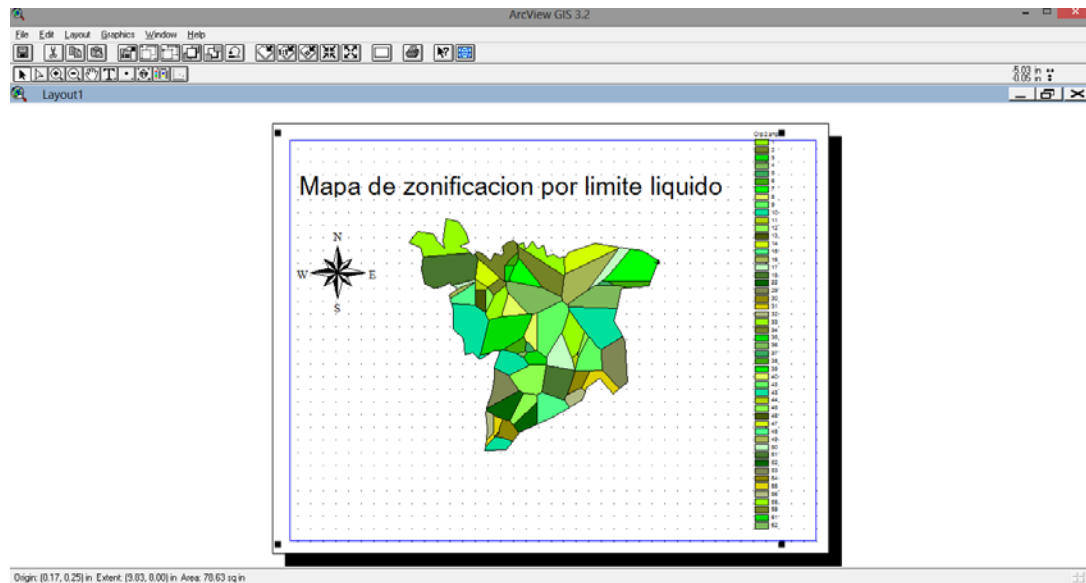
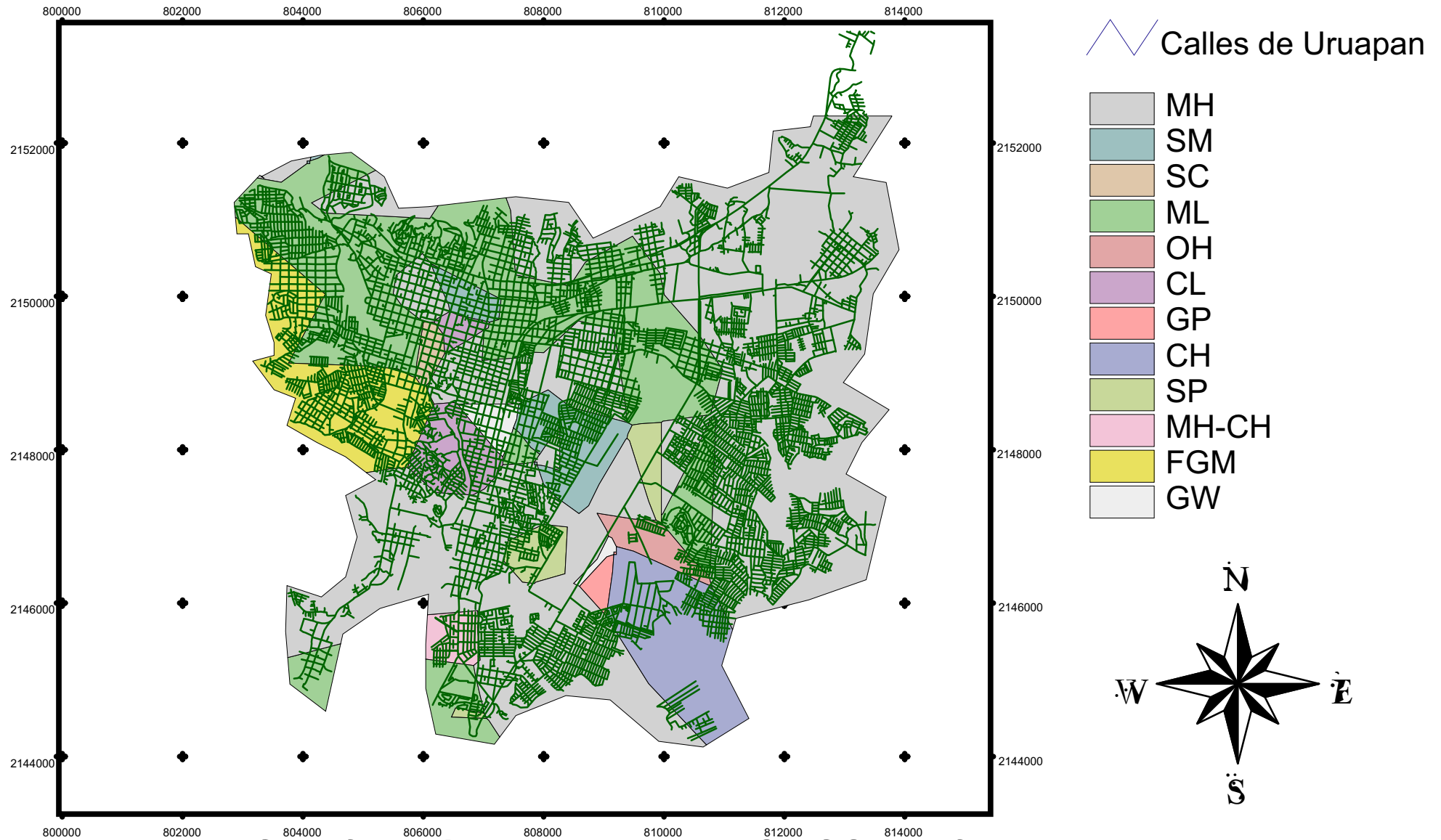


Imagen 5.18 Zonificación según el Límite líquido regional.

Fuente: ArcVeiw GIS 3.2.

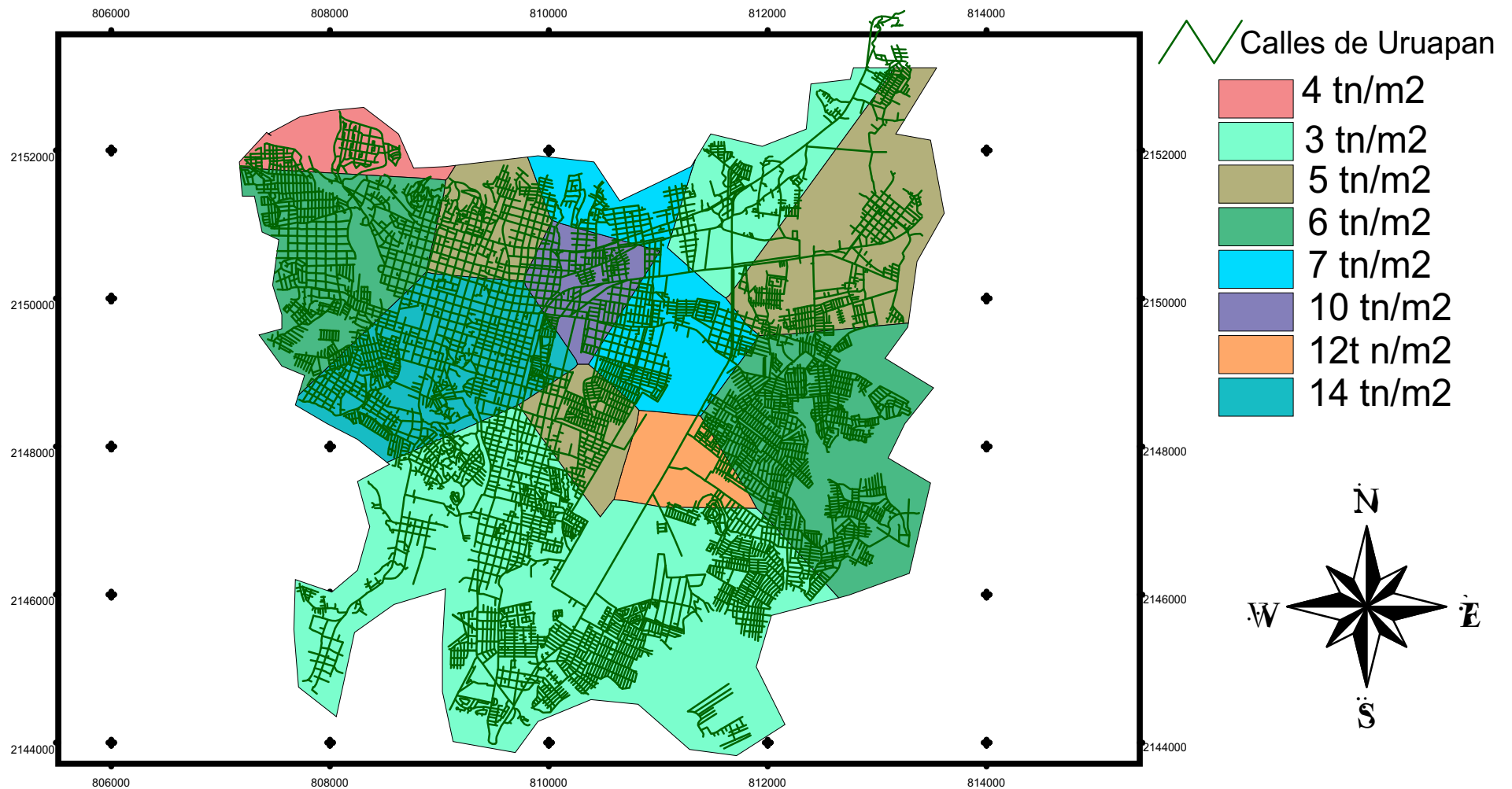
A continuación se aprecian los mapas de la zonificación generados con el programa ArcVeiw GIS 3.2 concluyendo con el objetivo deseado por parte del presente trabajo de investigación en los cuales se puede apreciar las distintas características del suelo según las diferentes zonas de la ciudad teniendo así en cuenta la importancia de los estudios de mecánica de suelos para cada edificación según la zona en que se encuentre.

# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



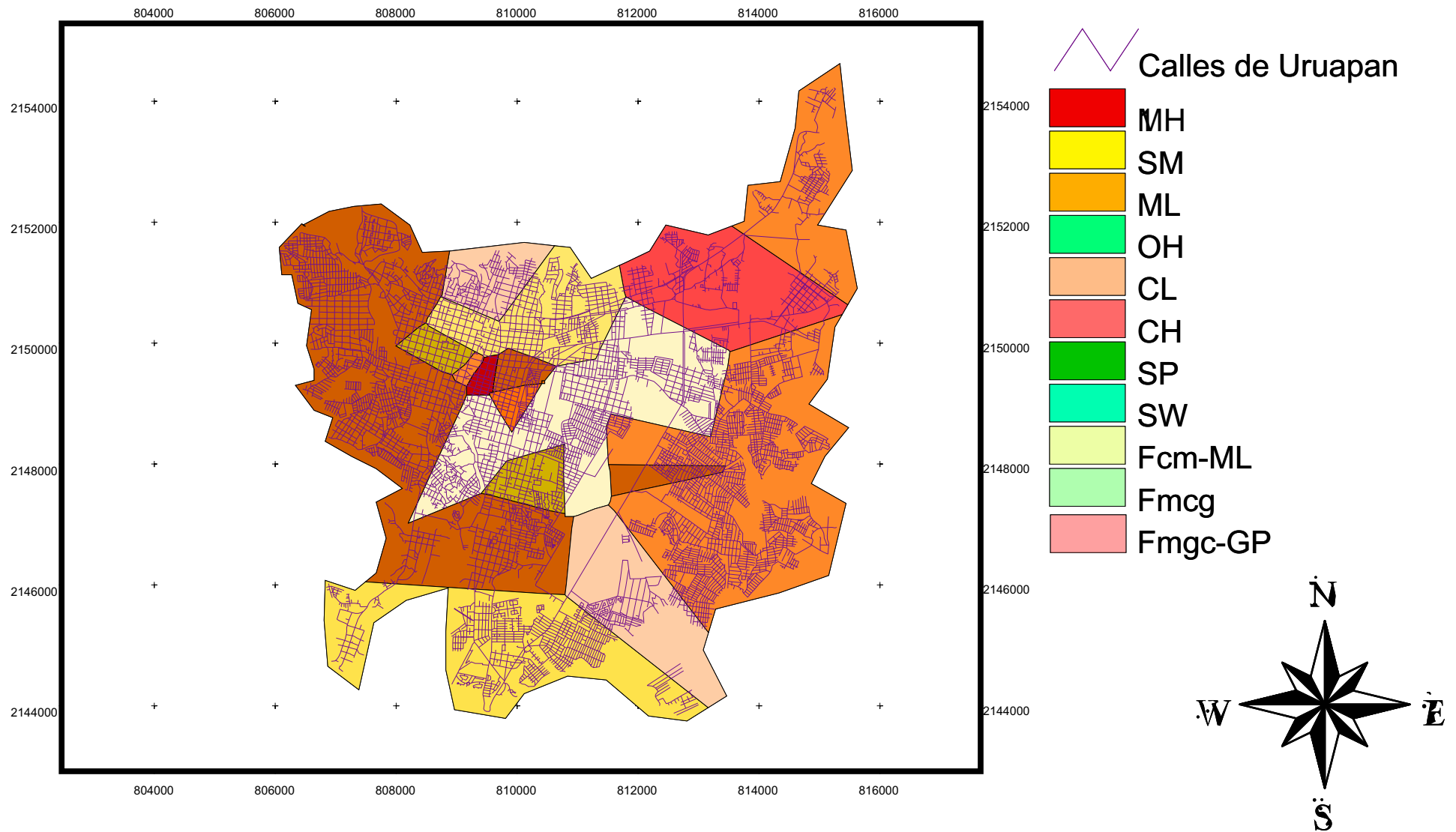


# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



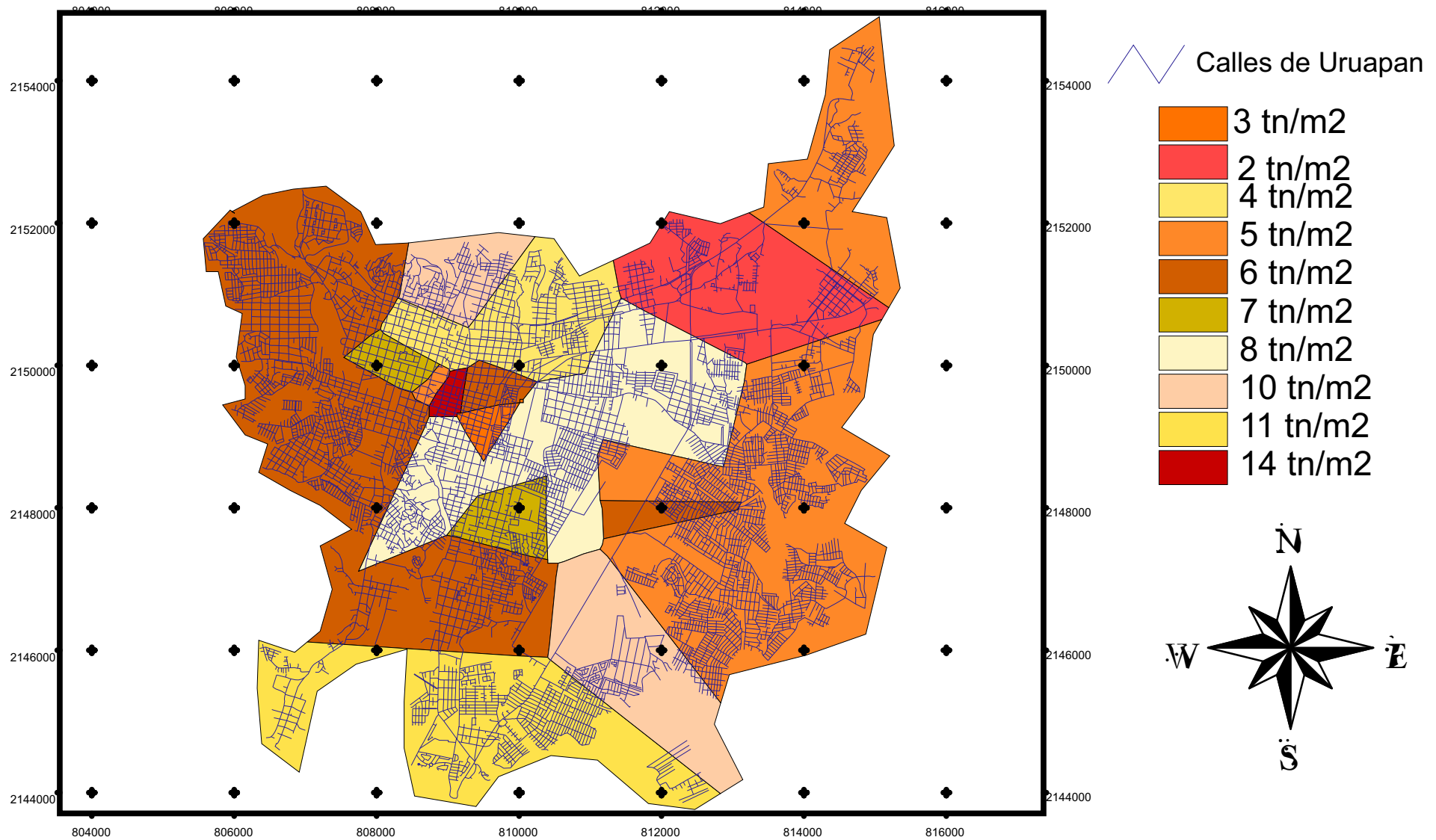
Mapa 5.2. Clasificación de acuerdo a la capacidad de carga, profundidad de 0 a 1 mts.

# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



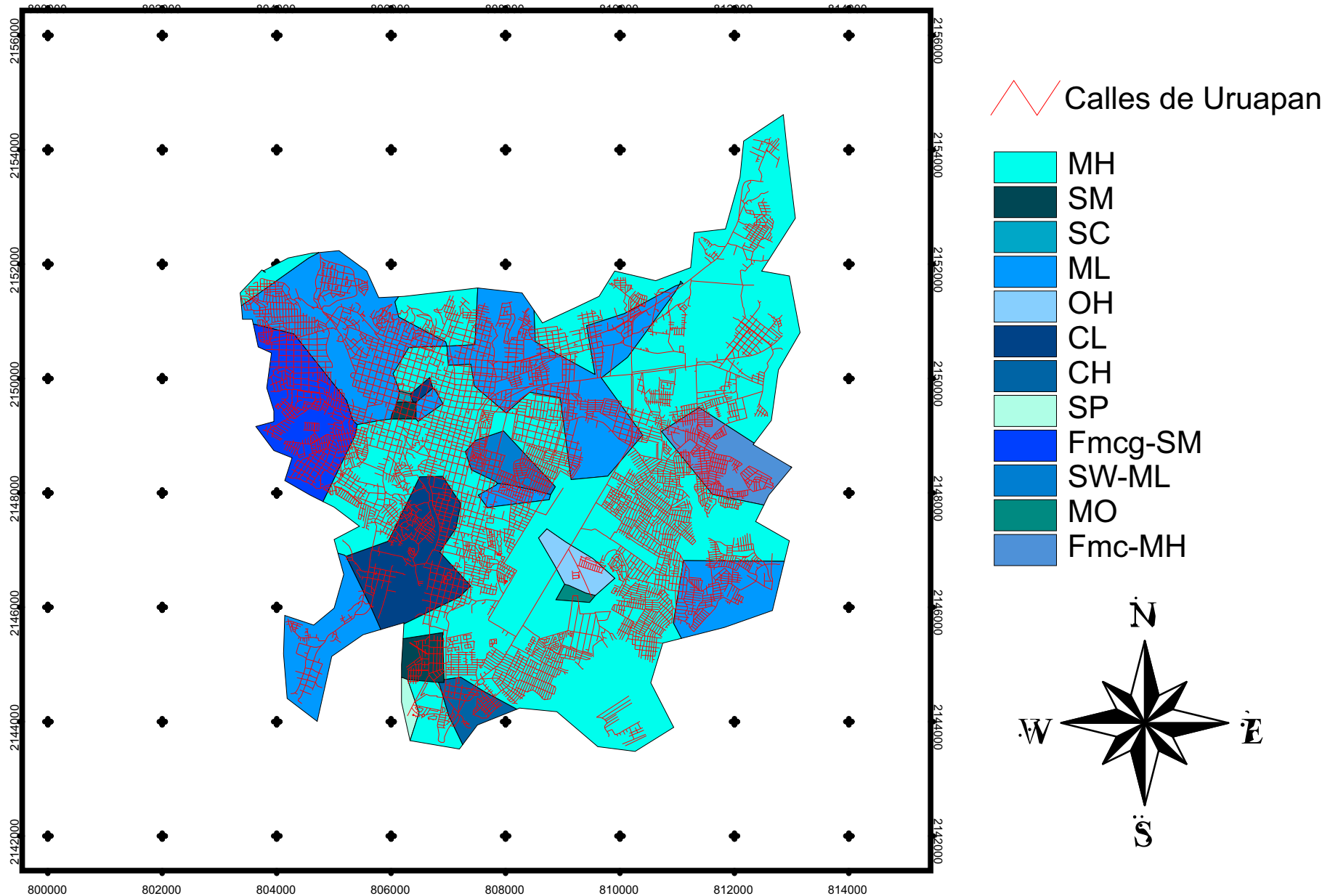
Mapa 5.3. Clasificación de acuerdo al SUCS, profundidad de 1 a 2 mts.

# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



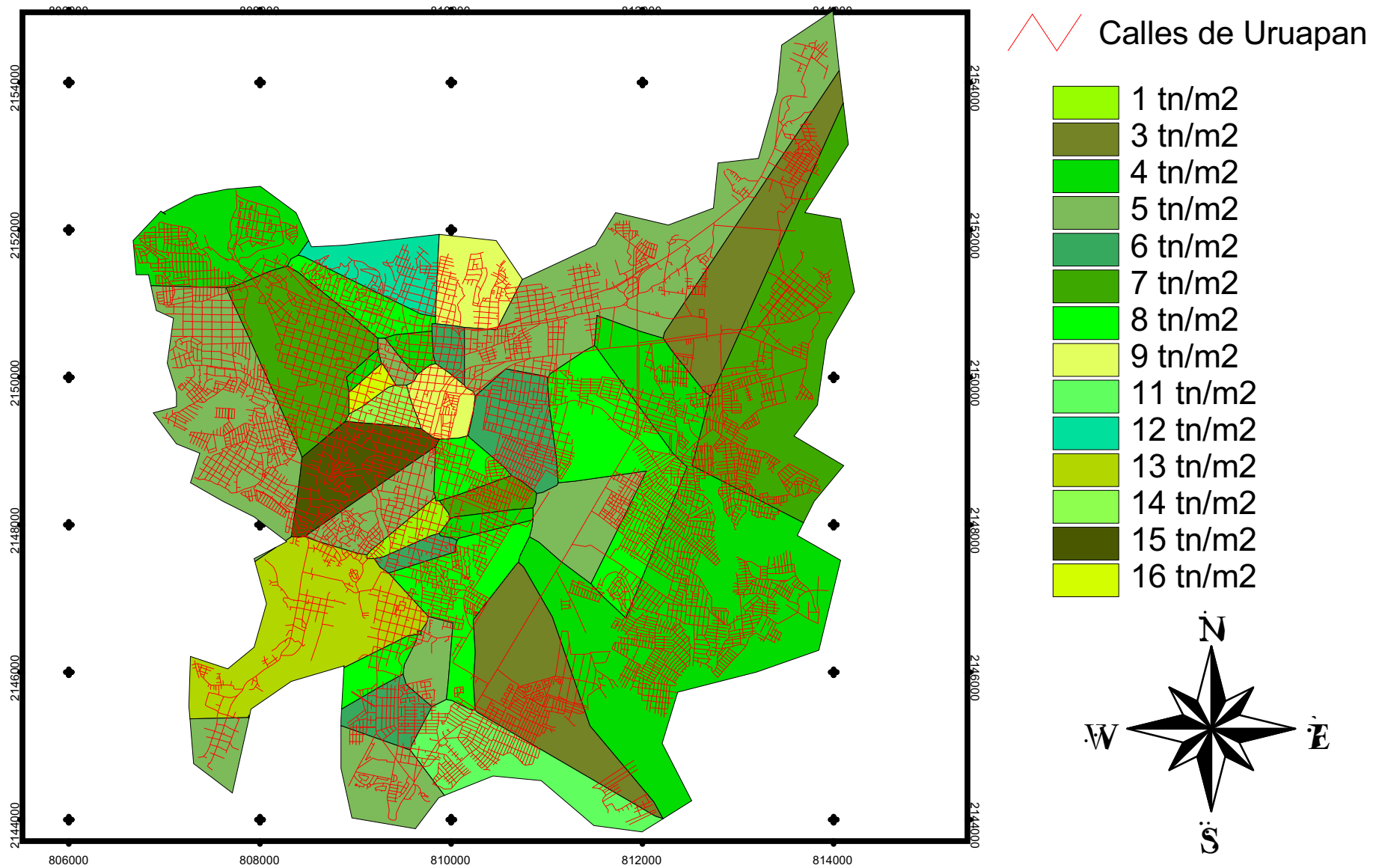
Mapa 5.4. Clasificación de acuerdo a la capacidad de carga, profundidad de 1 a 2 mts.

# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



Mapa 5.5. Clasificación de acuerdo al SUCS, profundidad de 2 a 3 mts.

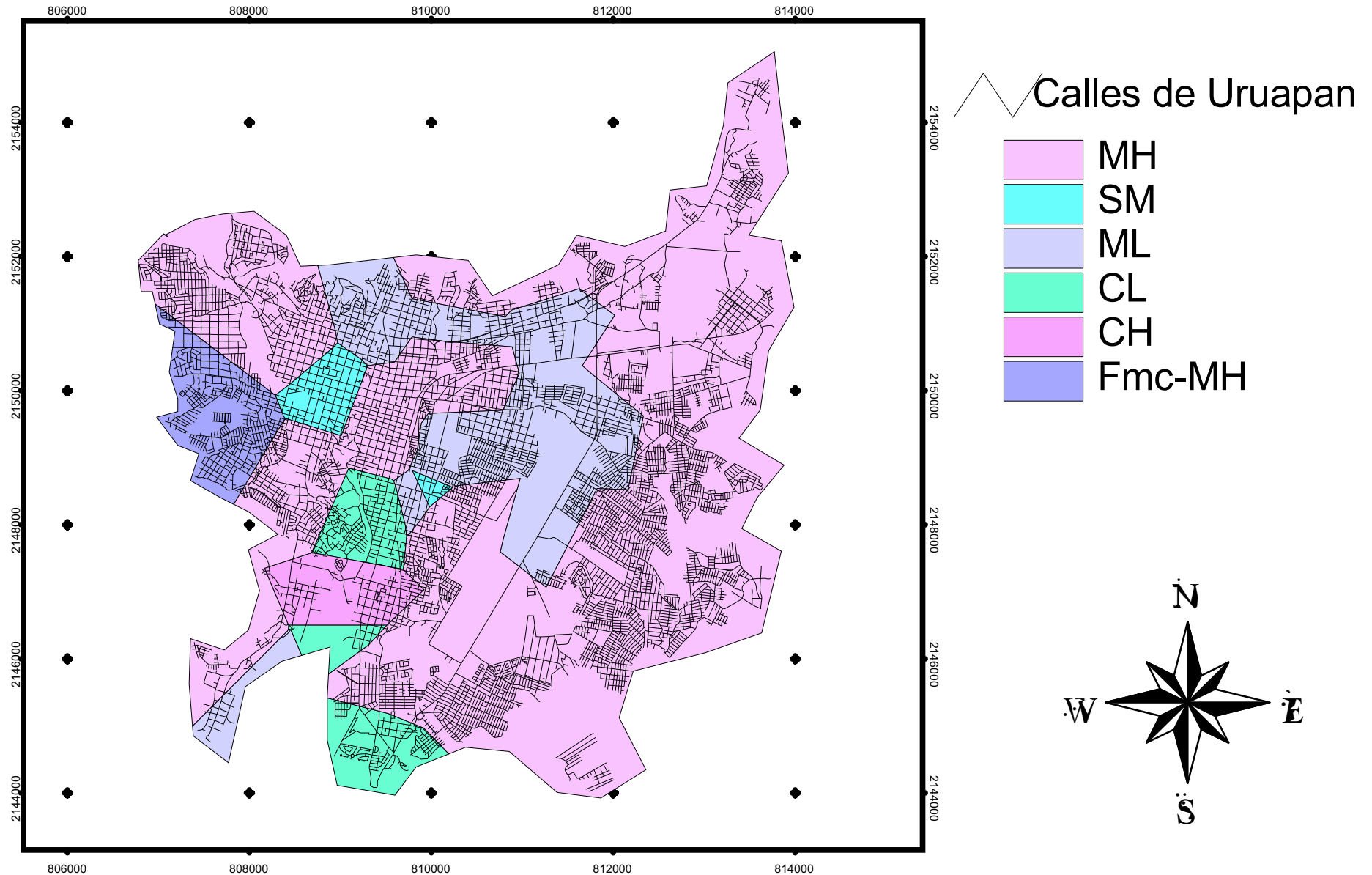
# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



Mapa 5.6 Clasificación de acuerdo a la capacidad de carga, profundidad de 2 a 3 mts.

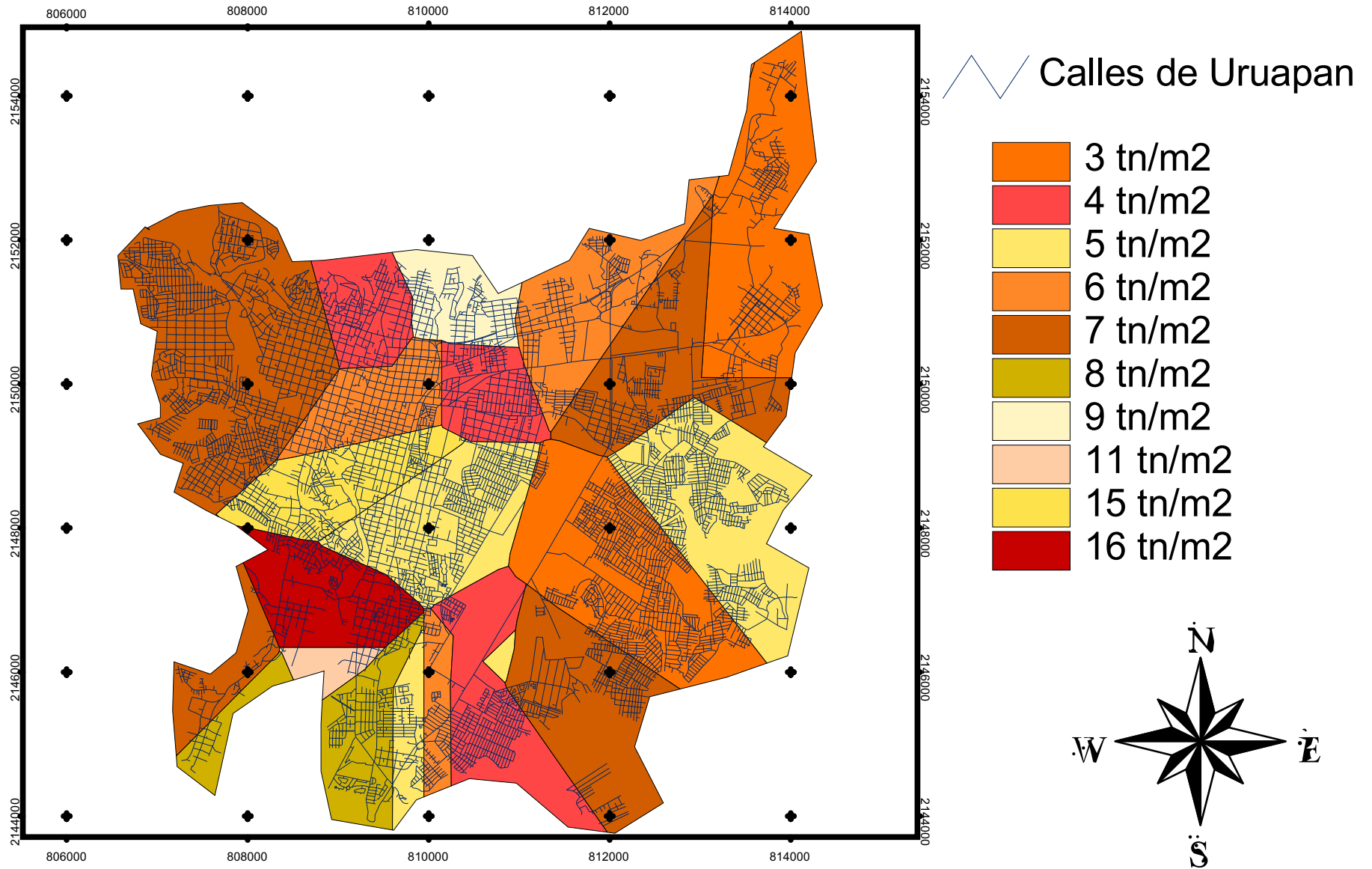


# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



Mapa 5.7 Clasificación de acuerdo al SUCS, profundidad de 3 a 4 mts.

# ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SUPERFICIAL.



Mapa 5.8 Clasificación de acuerdo a la capacidad de carga, profundidad de 3 a 4 mts.

Con ayuda de las zonificaciones generadas se puede visualizar de manera rápida como el suelo puede cambiar teniendo características muy distintas en algunos casos en zonas muy cercanas, características como la granulometría, la cohesión, límite líquido, límite plástico, índice plástico, la capacidad de carga y el tipo de suelo como ya se pudo apreciar, características que sin duda alguna pueden determinar la necesidad de cimentar una misma estructura de forma distinta entre zona y zona, teniendo también que tomar en cuenta factores de seguridad distintos para estas mismas. Saber de igual manera que zonas son estables para la edificación y hacia donde es más factible el crecimiento de la ciudad, también esto puede tener un impacto muy grande en el costo de la obra de igual manera ya que se puede evitar el estabilizar algún tipo de terreno mientras se sepa que zona es más estable o evitando también hacer cimentaciones costosas en terrenos poco estables.

Es importante tener en cuenta y saber apreciar este tipo de información ya que reduciendo riesgos, costos y gastos en cualquier obra civil el ingeniero se acercará a la generación de obras sustentables, siendo estas el objetivo de cada una de ellas, teniendo buenos resultados en cada una de ellas y teniendo la garantía de la integridad del constructor y el cliente.



## CONCLUSIÓN

En este apartado se menciona cuáles son desenlaces finales de los objetivos que se plantearon al inicio de este proyecto de investigación comenzando por mencionar el objetivo general: *“Generar un mapa de zonificación geotécnica superficial de la ciudad de Uruapan Mich. Con el cual la sociedad será capaz de tener una mayor amplitud de conocimiento del tipo de suelo en el cual estará apoyada la cimentación y tendrá que ser capaz de soportar la carga total del proyecto estructural”*, Logrando dar una clara respuesta a éste, obteniendo como resultado el mapa de zonificación deseado, con el cual se puede apreciar cómo está dividida en distintas zonas la ciudad con propiedades totalmente distintas, sin embargo, cabe mencionar que son valores recomendados para tenerlos en cuenta según métodos estadísticos, que pueden variar a los valores exactos.

También se menciona cada uno de los objetivos particulares dándole una explicación de cómo es que se abordó cada uno de ellos para enriquecer el conocimiento del lector acerca del proyecto realizado.

El primer objetivo particular de este trabajo de investigación fue: *“Señalar el origen de los suelos”* el cual se abordó a lo largo del capítulo 1 en el presente trabajo de tesis explicando cómo es que se origina el suelo a partir de la desfragmentación de la roca, el ciclo de la roca y los tipos de intemperismo que sufre la roca para dar origen a los distintos tipos de suelo dependiendo estos directamente del proceso de

origen de cada una de las rocas y los diversos elementos que la formaron a lo largo del tiempo así como el enfriamiento de la roca a lo largo de su vida y a qué tipo de presiones y temperaturas ha sido sometida, como el tipo de nutrientes y minerales de los que está compuesta, todo esto influye ya que es lo que nos da tantas diversidades de suelo, suelos fértiles que cuentan con un alta cantidad de nutrientes o suelos infértiles totalmente por su composición, suelos con una mayor capacidad de carga a comparación de otros, suelos que tienen un comportamiento bueno sometido a diferentes condiciones y suelos que al momento de ser sometidos a presiones u otros factores como lo pueden ser humedad, temperatura entre otras pierden totalmente su estabilidad.

Otro de los objetivos particulares mencionados para este trabajo de investigación fue: *“Explicar la clasificación de los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).”* El cual de igual manera fue cumplido a lo largo del capítulo primero del presente, como fue la breve explicación de los distintos tipos de suelo y sus propiedades, con lo cual se puede tener un vasto conocimiento para utilizar la tabla del SUCS pudiendo así determinar la clasificación del suelo teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos con el presente trabajo de investigación y sabiendo también algunas de las propiedades de cada uno de ellos las cuales pueden ser tangibles o visuales como lo son el color del suelo, su textura, el olor, se pueden realizar breves pruebas en campo para poder determinarlas como son el saturar un poco el suelo con agua y hacer pruebas tangibles con el suelo.

Como tercer objetivo particular se mencionó anteriormente, *“Recopilación de uno o más análisis del suelo en diferentes zonas del área de estudio y a sus*

*alrededores para determinar sus características.”* Para el cual tuvo que darse a la tarea de recabar una gran cantidad de estudios de mecánica de suelos con las distintas fuentes de información de la región como lo son los laboratorios de suelos de la ciudad, grandes constructores locales y fuentes de información académicas, cumpliendo así de igual manera este objetivo planteado para la ejecución del proyecto a realizar, con el cual se determinaron valores estadísticos a cada una de las zonas determinando así parámetros para cada una de estas con lo cual el usuario puede tener una mayor amplitud de conocimiento para cada uno de los proyectos que se pretenda realizar en cada una de las distintas zonas, y poder tener algún tipo de precauciones constructivas dependiendo de donde se ubiquen y que tipo de suelo y que capacidad de carga se cuente.

Por último, en los objetivos particulares se mencionó: *“Señalar la importancia de realizar una obra civil considerando el estudio del suelo y sus propiedades.”* El cual se abordó claramente a lo largo de todo este proyecto ya que sin mencionarlo el lector se puede dar cuenta de la verdadera importancia del saber en qué se está apoyando cada una de las obras civiles de la ciudad ya que hay distintos tipos de suelo y cada uno de estos con estabilidad totalmente desigual a los demás, para lo cual cada uno de estos necesita un tipo de cimentación diferente para poder tener una estabilidad estructural óptima, evitando así fallas en la estructura o en el suelo, como pueden ser asentamientos diferenciales los cuales tienen como resultado un agrietamiento en la estructura lo que provoca un deficiente funcionamiento de ella o también algún tipo de falla como puede ser en su caso el colapso, también saber qué tipo de riesgos existen en cada una de las zonas y la estabilidad con la que cuenta

cada una de ellas, pensando en algún tipo de movimiento de tierras por falta de estabilidad del suelo.

Como elemento relevante que se obtuvo del trabajo de investigación por parte de los autores de éste, es el generar la primera zonificación digital de la ciudad, ya que no se tiene registrado ningún tipo de proyecto como este generado nunca para la ciudad de Uruapan, Michoacán, con lo cual se puede dar a la sociedad información totalmente nueva y confiable ya que todo este proyecto fue realizado con una alta supervisión profesional de parte de muchos ingenieros profesionales. También se pudo documentar las zonas rocosas de la ciudad, las zonas menos estables, enriqueciendo así a la sociedad que se deseaba impactar desde un principio con la ejecución del proyecto, cabe mencionar que este proyecto realizado puede ser de súbita importancia para los ingenieros de la ciudad.

Se debe tener en cuenta que los estudios de mecánica de suelos se hicieron en puntos específicos y la zonificación generada es un modelos estadístico para lo cual los resultados son una aproximación a los valores reales, si se requiere saber el valor exacto de la capacidad de carga o el tipo de suelo de un lugar es necesario hacer un estudio de mecánica de suelos para la estructura que se desea elaborar.

## BIBLIOGRAFÍA

Bañon, Luis. Y García, José Francisco (2001)

Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento

Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.

CFE. (1985)

Manual de diseño de obras civiles de la CFE.

CFE. México.

Crespo Villaláz, Carlos. (2002)

Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Ed. Limusa-Noriega. México.

Farndon, Jhon. (2008)

Rocas y Minerales.

Ed. Cordillera-Google. México.

Frederick S. Merrit, M. Kent Loftin, Jonathan T. Ricketts (2008)

Manual del ingeniero civil.

McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A de C.V.

Harvey, J.C. (1993)

Geología para ingenieros geotécnicos.

Ed. Limusa-Noriega. México.

Hernández Sampieri, Roberto y colaboradores. (2006)

Metodología de la investigación.

Ed. Mc. Graw Hill, México.

Juárez, Eulalio. Y Rico, Alfonso. (2014)

Mecánica de suelos, Tomo I.

Ed. Limusa, México.

Juárez, Eulalio. Y Rico, Alfonso. (2014)

Mecánica de suelos, Tomo II.

Ed. Limusa, México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005)

Técnicas de investigación documental.

Ed. Thompson, México.

Krynine, Dimitri P.; Judd, William R. (1961)

Principios de geología y geotecnia para ingenieros

Omega. Barcelona.

Leet, L Don; Judson, Sheldon, Coaut (1992)

Fundamentos de geología física.

Ed. Limusa. México.

Peck, Ralph B; Hanson, Walter E, Coaut y Thornburn, Thomas (1993)

Ingeniería de cimentaciones.

Ed. Limusa. México.

Puig de la Parra, Juan B. (1970)

Geología aplicada a la ingeniería civil y fotointerpretación.

Ed. Lito juventud. México.

Rico, Alfonso. y Del Castillo, Hermilo. (1994)

La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas.

Ed. Limusa. México.

Tricart, Jean. (1981)

La tierra, planeta viviente.

Akal, Barcelona.

Withlow, Roy. (1994)

Fundamentos de mecánica de suelos.

Ed. Continental. México.

## **OTRAS FUENTES.**

Bañón Blazquez, Luis (2001)

Manual de carreteras.

<http://www.ua.es/personal/banon/docs/mc2.pdf>

Diario Oficial de la Federación.

[www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx)



eHow en español

[http://www.ehowenespanol.com/propiedades-mecanicas-suelos-lista\\_106875/](http://www.ehowenespanol.com/propiedades-mecanicas-suelos-lista_106875/)

Enciclopedia general.

<http://www.wikiwand.com/pt/Granulometria>

Escuela superior de ingeniería y arquitectura unidad zacatenco del i.p.n.

<http://www.utecv.esiaz.ipn.mx/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations

<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e informática (INEGI).

<http://www.inegi.org.mx/default.aspx>

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal

[www.inafed.com.mx](http://www.inafed.com.mx)

Secretaria de Comunicaciones y Transporte

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-02-03.pdf>

Secretaria de Economía

<http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/rocas/rocas-metamorficas>

Wikipedia Meteorización

<http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorizaci%C3%B3n>