

**ING. ELISEO  
VEGA MORENO**

**ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE VÍAS TERRESTRES POR EL  
FENÓMENO DE SUBSIDENCIA EN EL VALLE DE QUERÉTARO**

**2014**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE VÍAS  
TERRESTRES POR EL FENÓMENO DE  
SUBSIDENCIA EN EL VALLE DE QUERÉTARO**

**TESIS**

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE VÍAS  
TERRESTRES**

**PRESENTA:**

**ING. ELISEO VEGA MORENO**

**DIRIGIDO POR:**

**DR. OMAR CHÁVEZ ALEGRÍA**

**C.U. QUERÉTARO, QRO. SEPTIEMBRE 2014**



Universidad Autónoma de Querétaro  
 Facultad de Ingeniería  
 Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres

"ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE VÍAS TERRESTRES POR EL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA EN EL VALLE DE QUERÉTARO"

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES**

**Presenta:**

ING. ELISEO VEGA MORENO

**Dirigido por:**

DR. OMAR CHÁVEZ ALEGRÍA

SINODALES

Dr. Omar Chávez Alegría  
 Presidente

Firma

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos  
 Secretario

Firma

M.I. Aldo Alfaro González  
 Vocal

Firma

M.I. Rubén Ramírez Jiménez  
 Suplente

Firma

M.C. Cesar Augusto Granada-Isaza  
 Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González

Dr. Irineo Torres Pacheco

Director de la Facultad

Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
 Querétaro, Qro.  
 Junio 2014 **AGOSTO**  
 México

## RESUMEN

El fenómeno de subsidencia es uno de los principales problemas en la actualidad para las vías terrestres, ya que presenta una gran afectación y por lo tanto pérdidas económicas. Este fenómeno que se presenta en la ciudad de Querétaro se debe a la extracción excesiva de los mantos acuíferos, provocando movimientos verticales de poca a gran magnitud. La afectación presentada en las vías terrestres por causa de la subsidencia va desde inclinaciones de puentes, cambio de topografía y su consecuente estancamiento de agua; cambio del régimen hidrológico, alteraciones en avenidas pluviales, hasta diversas afectaciones en obra civil en general. En la presente investigación de monitoreara toda la ciudad de Querétaro midiendo los niveles en asentamiento actuales y compararlos con las mediciones históricas, se analizaran las zonas de afectación para tratar de proponer un método correctivo para las vías terrestres.

**Palabras Clave:** Subsidencia; Asentamientos; Obra Civil; Extracción de Agua.

## SUMMARY

The phenomenon of subsidence is a major challenge today for the roads, as it has a great affection and therefore economic losses. This phenomenon occurs in the city of Queretaro is due to over-extraction of groundwater, causing little vertical movements of large magnitude. Involvement presented in the roads because of subsidence inclinations ranging from bridges, changing topography and consequent stagnation of water, changing the water regime, changes in storm avenues, to various damages in civil works in general. In the present research will monitor the entire city of Queretaro settlement measuring current levels and compared with historical measurements, analyzing the affected areas to try to propose a method for correcting the roads.

**Keywords:** Land Subsidence, Settlements, Civil Infrastructure, Groundwater Extraction.

## DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A DIOS que me dio la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

Los quiero con todo mi corazón y este trabajo que me llevó años hacerlo es para ustedes, aquí está lo que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

A mis hermanas Andrea y Sari gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

A mi novia Yesenia, que te puedo decir, muchas gracias por estos años de conocernos y en los cuales hemos compartido tantas cosas, hemos pasado tanto que ahora estás conmigo en este día tan importante para mí. Solo quiero darte las gracias por todo el apoyo que me has dado para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo y recuerda que eres muy importante para mí.

Por último tengo que decir que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantos momentos de lucha sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber estado en cada momento de mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho.

*“Cuanto más alto estemos situados, más humildes debemos ser”*

*Marco Tulio Cicerón*

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mis estudios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Eliseo y Luisa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A Andrea y Sari por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mi novia Yesenia, por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Al Dr. Omar Chávez le agradezco la confianza, apoyo, dedicación al dirigir mi tesis y por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Al M.I. Aldo Alfaro por el gran apoyo desde el inicio de este sueño de preparación y por su guía como sinodal durante la realización de esta investigación.

A mis sinodales el Dr. Eusebio Ventura, el M.I. Rubén Ramírez y al M.C. Cesar Granada por sus aportaciones a la investigación haciendo un buen equipo y aprovechando la información para hacer un bien a la ciudad de Querétaro.

# INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 Antecedentes. ....	3
1.2 Justificación. ....	6
1.3 Hipótesis. ....	7
1.4 Objetivo General. ....	7
1.5 Objetivo Particular. ....	7
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Ley de Hooke. ....	8
2.2 Método de Sustentación Hidráulica Corregido. ....	10
2.3 Método Semiempírico. ....	11
2.4 Reglamento de Construcción del Distrito Federal. ....	12
2.5 Esfuerzos efectivos debidos al incremento Aparente en el peso volumétrico. ....	14

2.6 Condiciones de frontera y generación de fallamientos de suelo. . .	15
2.7 Inclinaciones típicas. . . . .	16
2.8 Los SIG y ArcGIS 10. . . . .	17
2.9 GPS STONEX S9 GNSS. . . . .	28
<b>CAPITULO 3. METODOLOGÍA. . . . .</b>	<b>33</b>
3.1 Identificación y Planeación de la zona de estudio. . . . .	34
3.2 Creación de un Modelo Digital de Elevaciones. . . . .	36
3.3 Incorporación de datos geológicos, edafológicos y vialidades. . . . .	37
3.4 Creación de cuadrícula para medición. . . . .	37
3.5 Toma de puntos con GPS STONEX S9 GNSS. . . . .	38
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. . . . .</b>	<b>40</b>
4.1 Curvas de nivel del valle de Querétaro. . . . .	41
4.2 Modelo Digital de Elevaciones. . . . .	42
4.3 Fallas geológicas del valle de Querétaro. . . . .	43
4.4 Límites Municipales. . . . .	44
4.5 Calles y Avenidas del valle de Querétaro. . . . .	45
4.6 Carreteras Federales, Estatales y Municipales. . . . .	46
4.7 Puntos de control para levantamiento con GPS. . . . .	47
4.8 Geología del valle de Querétaro. . . . .	48
4.9 Edafología del valle de Querétaro. . . . .	49
4.10 Curvas de asentamientos del mes de Agosto. . . . .	50
4.11 Formato para levantamiento de campo. . . . .	51



**CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....54**

**CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 56**

**ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>Página</b>
TABLA 1	Inclinaciones tolerables. ....	12
TABLA 2	Tipos de estructuras. ....	12
TABLA 3	Tipos de estructuras 2. ....	12
TABLA 4	Factores de desplome. ....	13
TABLA 5	Ventajas Raster y Vectorial. ....	22

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Página</b>
FIGURA 1	Grafica Esfuerzo – Deformación. . . . .	10
FIGURA 2	Deformación en zonas drenadas. . . . .	12
FIGURA 3	Edificio de 3 niveles. . . . .	20
FIGURA 4	Edificio inclinado. . . . .	20
FIGURA 5	Mecanismo simplificado de corrección. . . . .	21
FIGURA 6	Identificación Vectorial y Raster. . . . .	23
FIGURA 7	Fotografía, ortoimágenes. . . . .	24
FIGURA 8	Puntos, líneas, polígonos, texto. . . . .	25
FIGURA 9	Diferencia Raster. . . . .	25
FIGURA 10	Tipos de Shapefile. . . . .	28
FIGURA 11	Pestaña “Preview”. . . . .	30
FIGURA 12	Interfaz “A new empty map”. . . . .	31
FIGURA 13	Add data. . . . .	32
FIGURA 14	Vista de todas las capas. . . . .	32
FIGURA 15	Layout view. . . . .	33
FIGURA 16	Mapa completo. . . . .	34
FIGURA 17	Receptor S9. . . . .	39



## **CAPITULO 1. INTRODUCCION**

Uno de los principales problemas que presentan las vías terrestres en la actualidad son deformaciones, estos problemas se deben a los asentamientos diferenciales que presenta el suelo a causa del llamado fenómeno de subsidencia, el cual se presenta actualmente en las ciudades que su principal medio de obtención de agua es la extracción de agua del subsuelo.

La excesiva demanda del vital líquido ha provocado que no se tomen las precauciones necesarias sobre consecuencias que provoca la extracción excesiva, siendo las ciudades de tamaño medio a grande las que son con mayor frecuencia afectadas, una de ellas, la ciudad de Querétaro.

Las fallas que se encuentran a lo largo y ancho de los municipios de Querétaro, el marqués y corregidora, aunado a la extracción excesiva de agua del subsuelo y la geología de la zona, hace que presenten una problemática importante en las afectaciones a las vías terrestres.

Por lo cual, esta investigación que enfoca a llevar a cabo un monitoreo y actualización de los niveles que asentamientos en parte del valle de Querétaro y el grado de afectación que presentan las vías terrestres, monitoreando las fallas que se encuentran dentro de la ciudad, en especial la falla de 5 febrero que es la que presenta una mayor afectación a las vías terrestres y a zonas habitacionales.

En el presente trabajo de investigación se pretende realizar un análisis puntual de los hundimientos generados en el valle de Querétaro, con la finalidad de establecer estrategias de desarrollo de obras de infraestructura que contemplen el cambio en el régimen hidrológico.

## 1.1 Antecedentes.

De un tiempo a la fecha, se ha visto la necesidad del crecimiento de las ciudades en todo el país, se han producido cambios en todos los aspectos que rodean a las personas, cambios económicos, cambios sociales, nuevas tecnologías, diferente tipo de vida, por lo cual se tiene que dar los servicios necesarios como agua potable, drenaje, a todas las personas de las diferentes poblaciones, *Hernández (1996)* menciona que el crecimiento poblacional rebasando cierto límite llega a presionar a una sociedad en tres ámbitos muy importantes que son los siguientes: aprovechamiento de los recursos, organización del sistema productivo y vigencia histórica del sistema social, por lo cual nos enfocaremos en el primero que se refiere al aprovechamiento de los recursos.

*Alfaro (2008)* nos habla sobre la importancia del estudio de los suelos no saturados, menciona la influencia de los países donde se inició la mecánica de suelos para adentrarse solamente a los suelos saturados, sin embargo, con el cambio de los tiempos y el incremento en la población mundial, el tipo de suelo está cambiando por la sobre explotación de los acuíferos, aunque también se le atribuyen otros factores. Menciona la importancia del estudio de las succiones y el estado tensional de los suelos no saturados.

*Pacheco et al (2007)* habla del problema de subsidencia que presenta el valle de Querétaro por la sobreexplotación del agua de los acuíferos, él se enfoca

a los acuíferos de suelos granulares compuesto por depósitos aluviales y lacustres ya que este tipo de suelo es de los que está formado todo el valle de Querétaro y por lo tanto es el área que nos interesa investigar.

El fenómeno de subsidencia básicamente se puede explicar cómo una serie de hundimientos y fracturamientos superficiales ocasionados por los vacíos que se generan al momento de extraer el agua del subsuelo, ocasionando que la estructura de ese suelo se debilite e influenciado por la carga que soporta de las estructuras que están en la parte superior lo que provoca que colapse de dos maneras lentamente o súbitamente. La subsidencia es un problema muy importante por estudiar de manera puntual por todos los problemas que ocasiona este fenómeno, *Pacheco et al (2007)* menciona también la afectación tanto económica como de seguridad para las personas, estos problemas se refieren a que las estructuras que son afectadas por este fenómeno, se tiene que reparar de manera casi inmediata teniendo costos elevados para las personas afectadas, también en la cuestión de la seguridad ya que las estructuras que se dañan por el fenómeno de subsidencia, comienzan a agrietarse y siendo esto uno de los mayores problemas ya que se debilita la estructura y puede colapsarse de un momento a otro.

Por otro lado el *Código Técnico de la Edificación- España (CTE,2007)* Explica la importancia de la distorsión angular en las estructuras, ya que esta es la diferencia de asentamiento que presenta una cimentación de la misma estructura con respecto a la otra, por lo cual esta ocasiona los agrietamientos, las



inclinaciones en las estructuras, esta distorsión tiene un rango con el cual la estructura puede sufrir pequeños asentamientos sin que presente ningún daño, para esto existen tablas para saber cuál es el rango de servicio adecuado.

Existen varias técnicas para llevar a cabo la nivelación de una estructura, pero se empleara a una técnica específica, *el método de subexcavación* es uno de los métodos más prácticos para realizar las nivelaciones. *Chávez (2006)* divide este método en dos, en método analítico y el método semiempírico, siendo este método la realización de orificios para la extracción de material debajo de la estructura a nivelar para poder llevarla a un nivel de servicio adecuado, este último se propone como el posible método para evitar la distorsión angular que perjudique la infraestructura, y poder así mejorar la calidad que las obras que se localicen en la zona de falla.

*Chávez et al (2008)* muestra la problemática actual que se presenta en asentamientos y fracturas que ocasionan este fenómeno, ya que daña la estructura de edificios, carreteras, etc.; hace énfasis en los valles del centro del país, en especial el valle de Querétaro

*Santoyo (2005)* también menciona este método, el cual fue el primero que se utilizó para nivelar toda la estructura de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México, extrayendo pequeños volúmenes de material para provocar pequeños asentamientos en las partes altas de la estructura inclinada, hace mención que este método se ha utilizado en suelos blandos como es el caso de la ciudad de

México pero no se ha implementado en suelos granulares y sobre todo en suelos no saturados, como es el caso de la ciudad de Querétaro.

*Gutiérrez (2009)*, indirectamente comprueba el método de subexcavación ya que menciona que la construcción de un túnel automáticamente genera la disminución de esfuerzos, por lo cual se provocan asentamientos en la escala que se construya y depende de las dimensiones del túnel, esta definición corrobora el método aunque en la subexcavación son túneles en pequeña escala, situación que se revisará en la presente investigación con una modelación numérica de estructura tipo.

## **1.2 Justificación.**

En el área de la geotecnia, todos los proyectos que se realicen deben de ser lo más actualizados posibles en cuestión de las técnicas por emplear, ya que estar actualizado en las técnicas, garantiza el éxito al llevar a cabo los trabajo en cada una de las situaciones que se presenten.

Cuando se tiene identificado el problema que afecta a la estructura, es cuando se deben emplear las técnicas más adecuadas para garantizar que el trabajo que se realizará será de buena calidad y funcionará en un cien por ciento. Tomando en consideración lo anterior puedes garantizar un nivel de servicio óptimo en la nivelación de servicio adecuado, el cual fue el principal objetivo y satisface a la persona beneficiada.

La revisión del fenómeno de subsidencia es fundamental, ya que las afectaciones a las vías terrestres son importantes en el valle de Querétaro y no se tiene evidencia de que estos problemas vayan a disminuir en el futuro.

Para posteriormente, llevar a cabo una propuesta para “renivelación de estructuras en suelos no saturados por el método de subexcavación” es dar una solución práctica y económica a la problemática de inclinación en las estructuras ya que si se refiere a algún puente de una carretera los beneficiados de esa obra serán una gran cantidad de personas y así mismo se evitaría tener

accidentes por la inclinación abrupta con que se encuentren los usuarios de esa misma vía.

Al finalizar la implementación de este método en suelos no saturados, quedará un precedente de la aplicación del mismo y así pudiera emplearse en situaciones que se presenten similares a las de la investigación, siendo así, se podría proponer como implementación obligatoria en las autoridades federales, estatales y municipales e incluso podría quedar como requisito en el reglamento de construcción.

### **1.3 Hipótesis.**

Es posible obtener los asentamientos máximos que afectan a las vías terrestres del valle de Querétaro debido al fenómeno de subsidencia, realizando una evaluación del cambio en el nivel estático y determinando los movimientos verticales que se han generado en los últimos años con apoyo de las mediciones relativas y totales con base en sistemas de información geográfica.

### **1.4 Objetivo General.**

Revisar el proceso de subsidencia en el valle de Querétaro y estimar los asentamientos para llevar a cabo la aplicación del método de subexcavación en las vías terrestres que presenten afectación.

### **1.5 Objetivos Particulares.**

- Caracterizar física y mecánicamente el material de la zona de riesgo.
- Identificar las zonas susceptibles a presentar fallas en las estructuras por distorsión angular.
- Generar un mapa actualizado de riesgos de la zona estudiada.
- Proponer el sistema de deformación inducido para conservar la distorsión angular de servicio de los edificios a nivelar gradualmente.

## CAPITULO 2. REVISIÓN LITERARIA.

### 2.1 Ley de Hooke

La relación que existe entre tres tipos de esfuerzos los cuales son (tensor-normal-tangencial) y las deformaciones que presentan estas son la principal función de la elasticidad o resistencia de materiales como comúnmente se le conoce en el área de la ingeniería. Sanger (2005)

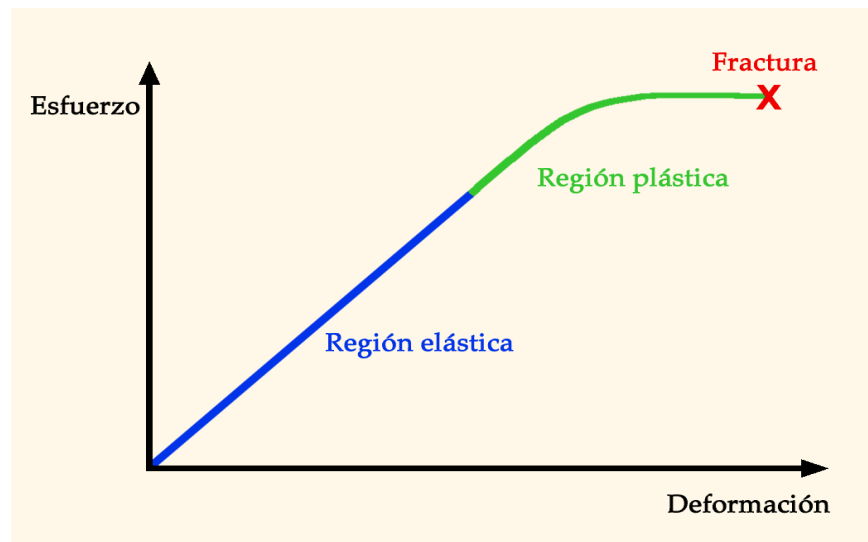


Figura 1. Gráfica Esfuerzo – Deformación.

La mayoría de las estructuras son diseñadas para soportar pequeñas deformaciones que son esperadas por el estructurista y que involucran la parte lineal (línea azul) de la gráfica esfuerzo-deformación, donde es esfuerzo " $\sigma$ " es directamente proporcional a la deformación unitaria " $\epsilon$ " y puede escribirse como:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (1.0)$$

Donde “E” es el modulo de elasticidad o modulo de Young, que cambia su valor dependiendo de al material que se estudie.

Y “ $\varepsilon$ ” es la deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \quad (1.1)$$

Por lo cual, es posible determinar un esfuerzo combinando las ecuaciones antes mencionadas.

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta H}{H_0} E \quad (1.2)$$

Despejando  $\Delta H$  se obtiene:

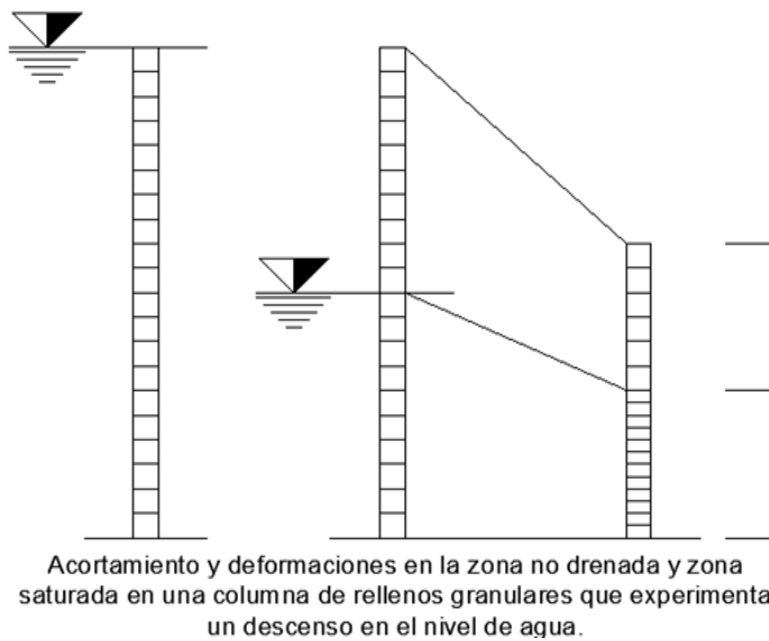
$$\Delta H = \frac{\Delta \sigma}{E} H_0 \quad (1.3)$$

Esta ecuación es la que se utilizará para calcular los asentamientos relativos considerando un medio elástico.

## 2.2 Método de Sustentación Hidráulica Corregido.

Tomando en cuenta que la teoría de Terzaghi (1956) modificado por Estrella (2012), se sabe que el suelo no se consolida a menos que exista drenaje, se deduce que el asentamiento solo para material no saturado, de esta manera el asentamiento se limita a la siguiente ecuación:

$$\Delta H = \frac{(1 + \omega)\gamma_s + \gamma'_s}{2E} H^2 \quad (2.0)$$



$$\Delta H' = \frac{[(1 + w)\gamma_s - \gamma'_s]}{2E} H^2$$

$$\Delta H = \frac{[(1 + w)\gamma_s - \gamma'_s]}{E} H$$

Figura 2. Deformaciones en zonas drenadas.



### 2.3 Método Semiempírico.

Este método plantea desplazamientos horizontales superficiales de acuerdo a los resultados observados en la construcción de túneles en la ciudad de México, relacionados principalmente con la construcción del metro de la misma ciudad. Chávez (2006).

La idea es retirar de forma controlada pequeños volúmenes material de cimentación de las zonas de menor deformación, a fin de igualar la velocidad de asiento de las diferentes zonas de la estructura civil.

De esta forma se evita la distorsión angular estructurales que pudiera causar el hundimiento de la estructura.

El volumen desplazado por los asentamientos superficiales es:

$$V_s = \frac{1}{4} (2H + D)(2L - 4.2D - 0.4H)\lambda_m \quad (3.0)$$

Y el volumen del suelo desplazado en la periferia de la excavación:

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 L \quad (3.1)$$

Igualando y despejando para  $\lambda_m$ :

$$\lambda_m = \pi D_2 L / [(2H + D)(2L - 4.2D + 0.4H)] \quad (3.2)$$

## 2.4 Inclinaciones Tolerables Reglamento de Construcción del Distrito Federal

Sobre la magnitud de las inclinaciones tolerables el Reglamento de Construcción del Distrito Federal carece de precisión; sin embargo, se puede recomendar el siguiente criterio. RCDF (2004):

<b>Inclinación en por ciento</b>	<b>Desplome en 4 pisos (10m)</b>	<b>Comentario estructural y reacción de las personas que habitan edificios inclinados</b>
< de 0.5 %	Menos de 5cm	Sin importancia, pasa desapercibido para muchas personas
0.50%	5 cm	Tolerable, lo advierten las personas
0.75%	7.5 cm	Admisible pero empieza a ser incómodo para las personas
1%	10 cm	Limite admisible y molesto para las personas
1.50%	15 cm	Inadmisible y profundamente incómodo para las personas
> de 1.5 %	Más de 15 cm	Riesgo para las personas y la estructura

**Tabla 1. Inclinaciones tolerables. (RCDF, 2004)**

Valores límite basados en la distorsión angular.

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Limite</b>
Estructuras isostáticas y muros de contención	1/300
Estructuras reticuladas con tabiquería de separación	1/500
Estructuras de paneles prefabricados	1/700
Muros de carga sin armar con flexion cóncava hacia arriba	1/1000
Muros de carga sin armar con flexion cóncava hacia abajo	1/2000

**Tabla 2. Tipos de estructuras. (RCDF, 2004)**

Valores límite basados en la distorsión horizontal.

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Limite</b>
Muros de carga	1/2000

**Tabla 2. Tipos de estructuras 2. (RCDF, 2004)**

El desplome de un edificio es un problema complejo, consecuente de alguno de los factores que se mencionan a continuación y con frecuencia de la suma de varios de ellos.

<b>Origen</b>	<b>Factores de influencia</b>
Errores de diseño	1. Arquitectónicos, Geotécnicos y/o Estructurales
Errores de construcción	2. Descuido en la medición vertical 3. Alteración del suelo de apoyo de la cimentación.
Cambios en los edificios	4. Incremento de las cargas e inundación de cajones. 5. Alteración de la estructura.
Efectos de un sismo	6. Desplome brusco por cargas o grietas.
Instalaciones municipales	7. Rotura de drenajes y fugas en las redes de abastecimiento.
Discontinuidades inducidas	8. Erosión por flujos de agua 9. Huecos de roedores
Heterogeneidad del sitio	10. Existencia de estructuras enterradas 11. Compresibilidad errática del subsuelo
Secado del suelo	12. Calentamiento solar 13. Áreas arboladas
Extracción de agua de suelo	14. Achique de sótanos 15. Influencia local de los pozos de bombeo 16. Falla local de las grietas superficiales 17. Hundimiento regional

Tabla 4. Factores de desplome.

- Los factores 1 a 3 influyen principalmente en los primeros años de vida del edificio.
- Los factores 4 y 5 son abusos a la estructura que no deberían ser admitidos.
- Los factores 6 ocurre por errores de diseño o de construcción y por grietas en el subsuelo.
- Los factores 7 a 9 en general ocurren por descuido en el mantenimiento del edificio.
- Los factores 10 y 11 deberían haber sido detectados con un estudio del subsuelo.
- Los factores 12 y 13 son un fenómeno natural que casi siempre se soslaya.
- Los factores 14 a 17 son consecuentes del bombeo somero y profundo.
- Los factores 11 a 17 suelen ser los más importantes porque se mantienen siempre activos.

## **2.5 Esfuerzos efectivos debidos al incremento aparente en el peso volumétrico.**

Los conceptos de incremento aparente en el peso volumétrico y densidad anómala permiten calcular deformaciones y esfuerzos cuando se presentan abatimientos parciales de los niveles piezométricos y cuando el sistema acuífero está formado por estratos de sedimentos con diferentes propiedades. Arzate (2006)

En el proceso de drenado de un acuífero existen dos estados en la masa de suelo: uno de ellos consiste en un suelo saturado localizado del espejo del agua hacia abajo y el otro consiste en un suelo parcialmente saturado que se ubica entre el nivel piezométrico y la superficie del suelo. Arzate (2006)

El sistema acuífero que se considera en este trabajo se encuentra inicialmente confinado y en equilibrio hidrostático. Se asume que cuando el acuífero se drena lo suficiente su comportamiento cambia de confinado a libre. Se cree que el cuerpo del acuífero es granular y con porosidad aproximadamente constante. Bajo este esquema, las fuerzas que actúan sobre el sistema son a) la gravitacional, b) la producida por la presión mayor a la hidrostática y c) la generada por el efecto de flotación de las partículas sólidas. El análisis de esfuerzos para las diferentes fases de éste sistema acuífero se pueden encontrar con detalle en Pacheco (2006). Arzate (2006).

## **2.6 Condiciones de frontera y generación de fallamientos de suelo.**

Las condiciones de frontera son los límites impuestos a la masa de suelo que está bajo la influencia de esfuerzos y cuya principal característica es que no son deformables. Para el caso del Valle de Querétaro las condiciones de frontera del relleno sedimentario están siendo estudiadas a partir de mediciones litológicas de los pozos. Arzate (2006)

En el caso general de una cuenca sedimentaria de origen tectónico que forma estructuras de graben, el tipo de frontera física consiste normalmente de un basamento rocoso cuya morfología modifica el campo de esfuerzos de la masa de suelo drenada. Las deformaciones de éste basamento o lecho rocoso se consideran nulas comparadas con la deformación que sufre el relleno sedimentario que alberga al sistema acuífero que se encuentra bajo un intenso régimen de extracción. Arzate (2006)

A partir de observaciones de campo se ha determinado que los agrietamientos se desarrollan frecuentemente sobre estructuras geológicas sepultadas por capas de sedimentos. Por ejemplo Jachens y Holzer (1979) concluyen que los agrietamientos observados en la región de Picacho en el centro sur de Arizona se encuentran sobre irregularidades del lecho rocoso. Por su parte Rojas et al. (2002) encuentran que una de las condiciones para que se presenten agrietamientos en la superficie es que exista una topografía irregular en el lecho rocoso. La definición y ubicación de las irregularidades del lecho rocoso son por lo tanto clave para construir los modelos matemáticos que emulen adecuadamente el fenómeno de subsidencia. Arzate (2006).

## 2.7 Inclinaciones típicas.

**Como cuerpo rígido.** Los edificios altos por su rigidez se inclinan sin que experimenten deformaciones de importancia en su estructura, Fig. 3; en cambio, los ligeros se deforman en función de la rigidez de su cimentación. Así, los que están sobre cajones estructurales bien construidos logran que los edificios se comporten como cuerpos rígidos. La Fig. 4 Es un esquema de un edificio de cinco niveles cimentado sobre un cajón de 2.2 m de altura, ubicado en una zona con hundimiento regional que tuvo la influencia de árboles que fueron cortados, como consecuencia acumuló un desplomo diagonal; las mediciones topográficas en las esquinas permiten deducir la inclinación promedio, que en este caso fue de 1.0 %, congruente con un asentamiento diferencial máximo de 19 cm. Las curvas de igual hundimiento de este edificio están igualmente separadas y se le debe hacer girar en una dirección diagonal. Santoyo (2005).



Fig. 3 Edificio 16 niveles, 412 m<sup>2</sup> y 5,679 ton. (Santoyo, 2005)

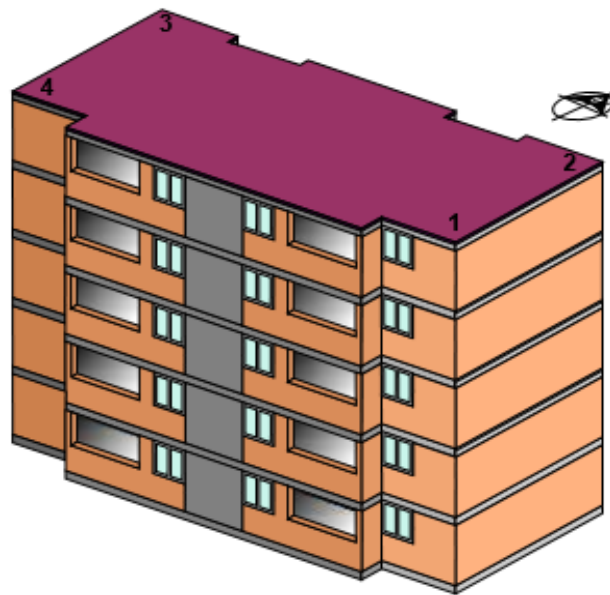


Fig. 4 Edificio inclinado. (Santoyo, 2005)



**Como cuerpo deformable.** Los edificios grandes se pueden comportar como cuerpos flexibles si su cimentación carece de la rigidez suficiente. Como consecuencia, el asentamiento diferencial se manifiesta como una superficie compleja en la que las curvas de igual nivel tienen una separación variable. Estos casos son muy complejos, un ejemplo extremo es el de la Catedral. Santoyo (2005).

**Hundimiento correctivo de cuerpo rígido.** Casi todos los edificios que sufren la pérdida de verticalidad manifiestan también en la superficie de cimentación un cierto alabeo que se define como superficie inicial en la Fig. 5. El mecanismo de deformación correctiva requiere abatir en esa superficie alabeada el ángulo  $\theta$  de esa figura, según un eje de giro ortogonal a la dirección del desplome. Si el movimiento correctivo impuesto al edificio es de cuerpo rígido implica que la superficie final o meta tenga la misma curvatura que la inicial. Santoyo (2005).

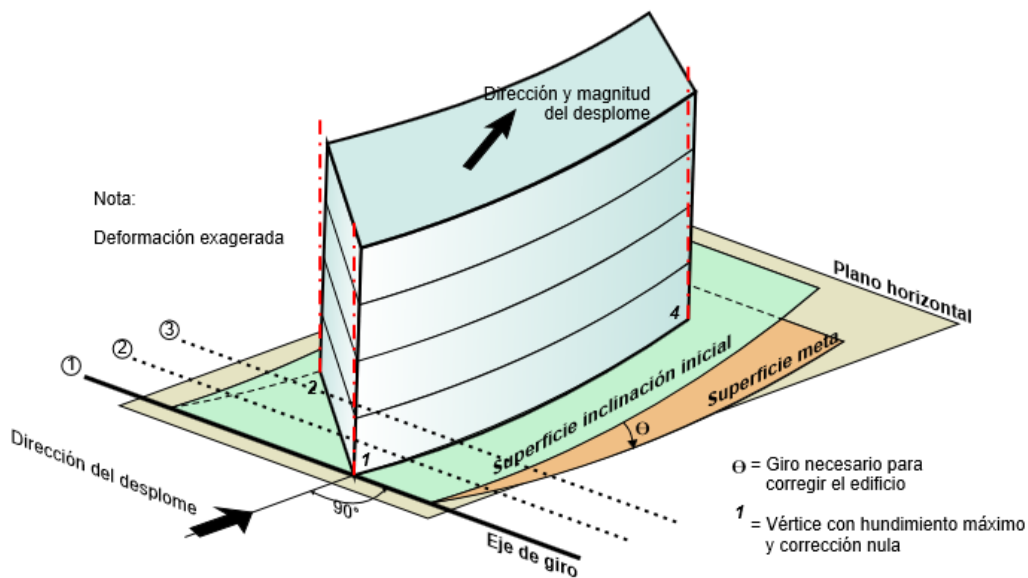


Fig. 5 Mecanismo simplificado de la corrección. (Santoyo,2005)

## **2.8 Los SIG y ArcGis 10.**

Los SIG (Sistemas de Información Geográfica)

¿Qué es un SIG? (SIG: Sistema de Información Geográfica/GIS: Geographic Information System)

Es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

### **Algunos conceptos básicos**

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial.

El sistema permite separar la información en diferentes CAPAS ( Layers ) temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

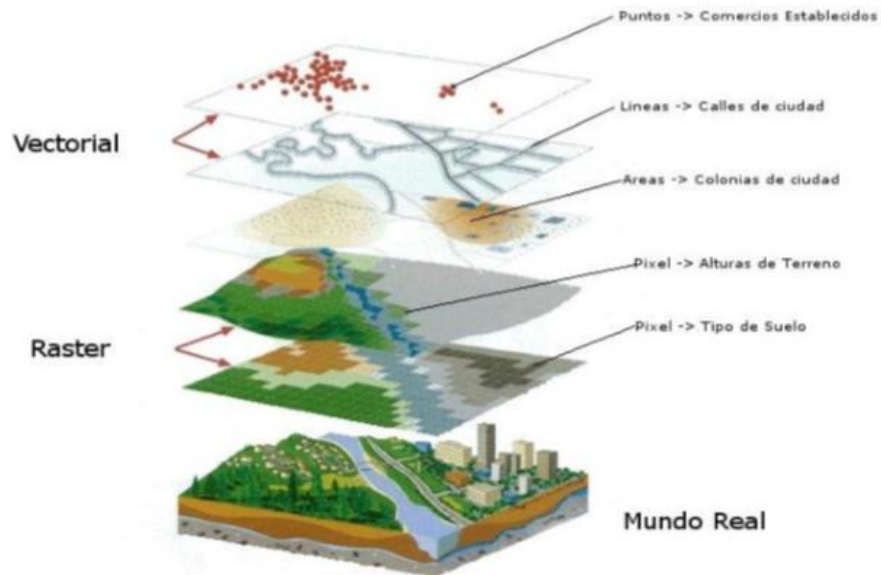


Figura 6. Identificación Vectorial y Raster.

Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

**RASTER:** Cualquier tipo de imagen digital representada en mallas (PIXELS). Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

Algunos formatos muy utilizados: jpeg, png, tiff..

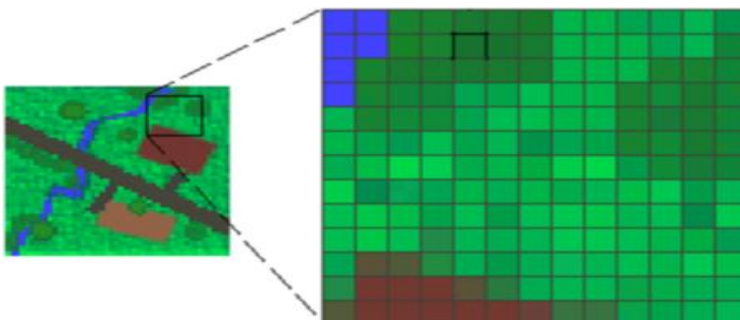




Figura 7. Fotografías, ortoimágenes.

**VECTORIAL:** Aquí los datos están basados en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Esta forma de expresión espacial implica la utilización de los tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, en que pueden ser interpretados los objetos geográficos: puntos, líneas y polígonos. Los atributos temáticos, que corresponden a las unidades espaciales, se manejan, habitualmente, desde tablas de datos.

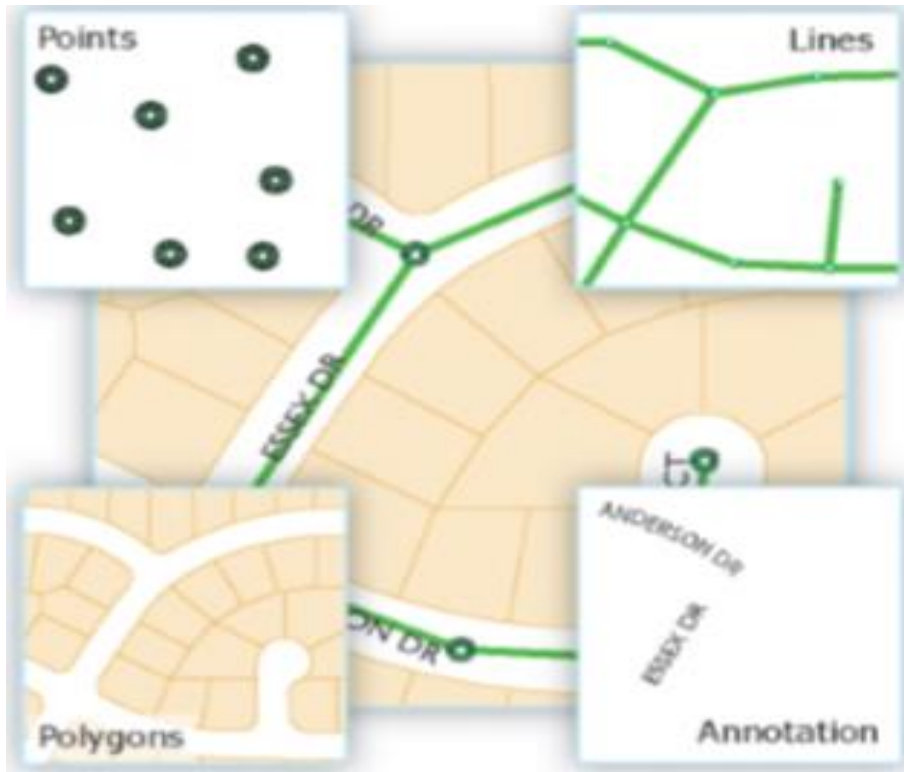


Figura 8. Puntos, líneas, polígono, texto.

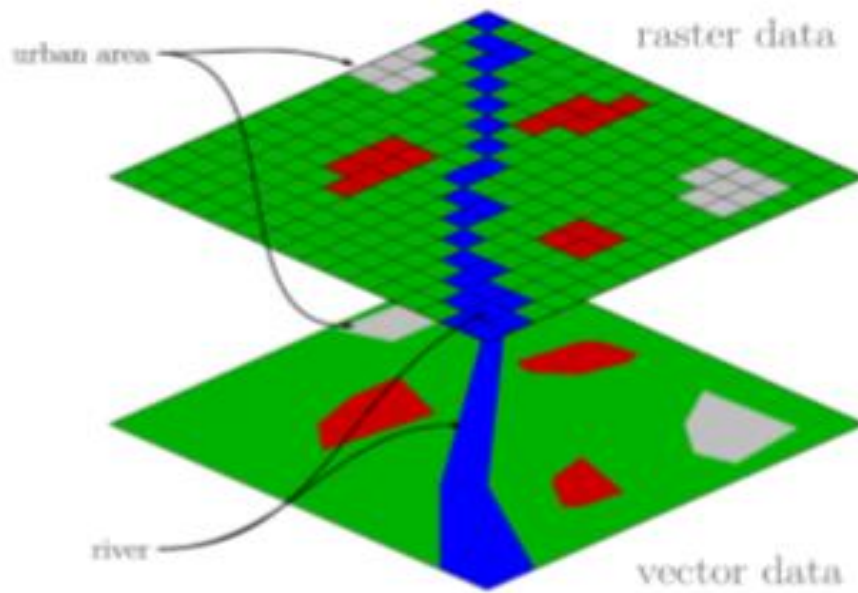


Figura 9. Diferencia Raster (arriba)/Vectorial (abajo)

## Ventajas de información raster y vectorial.

VENTAJAS RASTER	VENTAJAS VECTORIAL
Estructura de datos muy simple.	Elevada precisión
Facilidad para la representación de entidades espaciales continuas.	Facilidad de integración con CAD vectoriales.
Elevada capacidad para la superposición y combinación de capas.	Mapas de elevada calidad.
Capacidad para la realización de análisis geoestadístico.	Capacidad para analizar análisis de redes.
Capacidad para integrar datos de satélite.	Estructuras de datos con topología.
Capacidad para incorporación de imágenes.	Ficheros de poco tamaño.

**Tabla 5. Ventajas Raster y Vectorial.**

## ArcGIS

- Programa informático producido y comercializado por ESRI, que agrupa varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.
- ArcGIS Desktop, la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe, además de diversas extensiones. ArcGIS Desktop se distribuye comercialmente bajo tres niveles de licencias que son, en orden creciente de funcionalidades (y coste): ArcView, ArcEditor y ArcInfo.

## Módulos de ArcGIS

- ArcMap: Es la aplicación central para visualización y manipulación de datos geográficos
- ArcCatalog: Es la aplicación que se utiliza para gestionar los archivos a utilizar: mapas, bases de datos etc. Ayuda a organizar la información geográfica y es imprescindible para mantener nuestros datos en orden.
- ArcToolBox: Sirve para realizar operaciones de procesamiento de información geográfica: análisis de datos espaciales, conversión de formatos, gestión de datos y muchas más operaciones.
- ArcScene: Permite visualizar datos en 3D

## Shapefiles

En ArcGIS el formato de archivo vectorial más usado es el .SHP (Shapefile).

Un Shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos.

Además de estos tres archivos requeridos, opcionalmente se pueden utilizar otros para mejorar el funcionamiento en las operaciones de consulta a la base de datos, información sobre la proyección cartográfica, o almacenamiento de metadatos. Estos archivos son:

**.sbn** y **.sbx** - Almacena el índice espacial de las entidades

**.fbn** y **.fbx** - Almacena el índice espacial de las entidades para los shapefiles que son inalterables (solo lectura)

**.ain** y **.aih** - Almacena el índice de atributo de los campos activos en una tabla o el tema de la tabla de atributos.

**.prj** - Es el archivo que guarda la información referida a sistema de coordenadas.

**.shp.xml** - Almacena los metadatos del shapefile.

Los ficheros que componen un shapefile (.shp) pueden ser de distintos tipos:

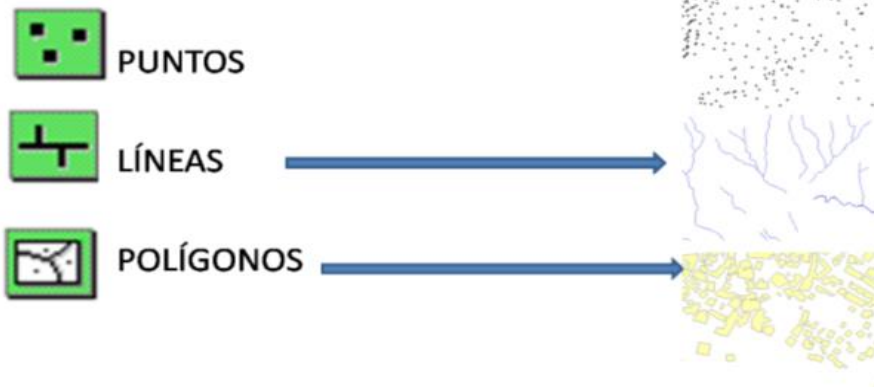


Figura 10. Tipos de Shapefile.



## **ArcCatalog**

¿Para qué utilizar el ArcCatalog?

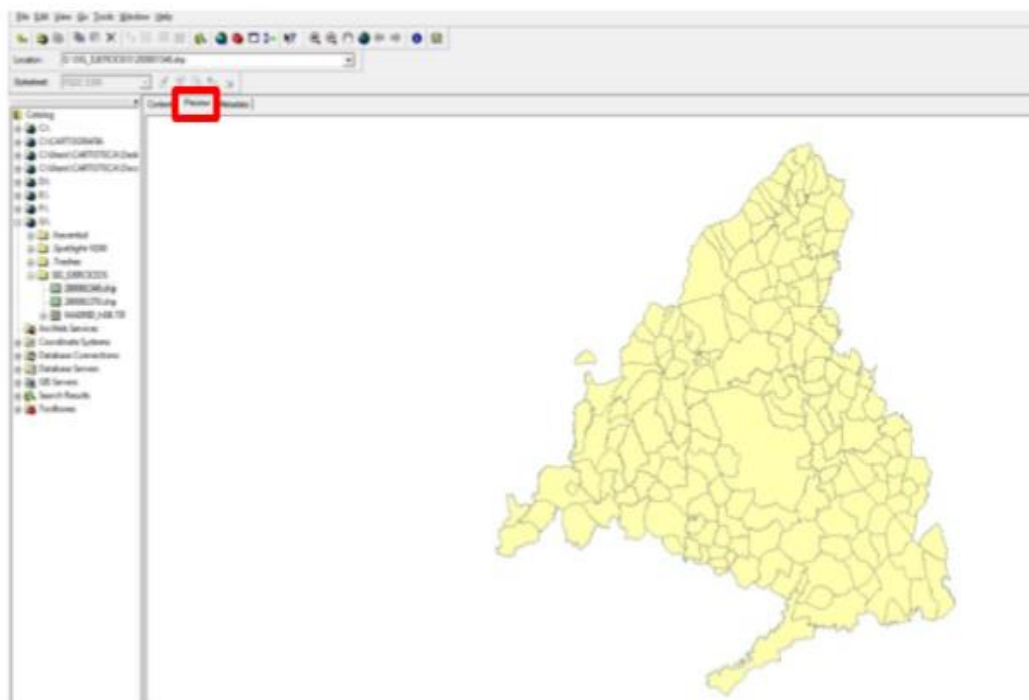
Antes de empezar a elaborar nuestros mapas con ArcMap es conveniente que maneemos el módulo ArcCatalog, que sirve para organizar, administrar y visualizar la información que vamos a utilizar.

ArcCatalog permite organizar carpetas, ficheros, bases de datos y servidores, y por tanto es una herramienta fundamental para trabajar ordenadamente con nuestros datos geográficos.

### **Modificación de archivos con ArcCatalog y visualización previa**

Dentro de ArcCatalog aparecen tres pestañas. Hemos utilizado la llamada “Contents” que muestra los archivos existentes.

Seleccionamos uno de los archivos y pinchamos en “Preview”.



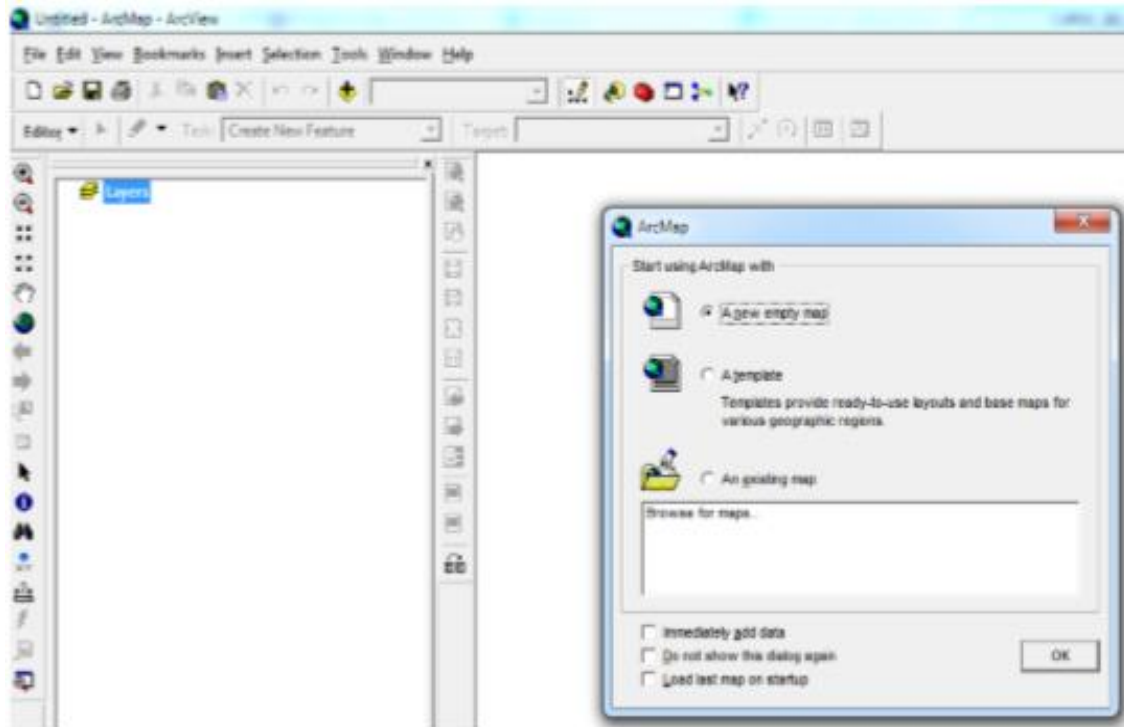
**Figura 11. Pestaña “Preview” del ArcCatalog en la que se muestra la capa seleccionada.**

Ahora tenemos los archivos bien nombrados para que resulte más sencillo trabajar con ellos. Si queremos cambiarlos de ubicación es recomendable también hacerlo con ArcCatalog, moviéndolos de una carpeta a otra.

## ArcMap

Cargar capas de información geográfica

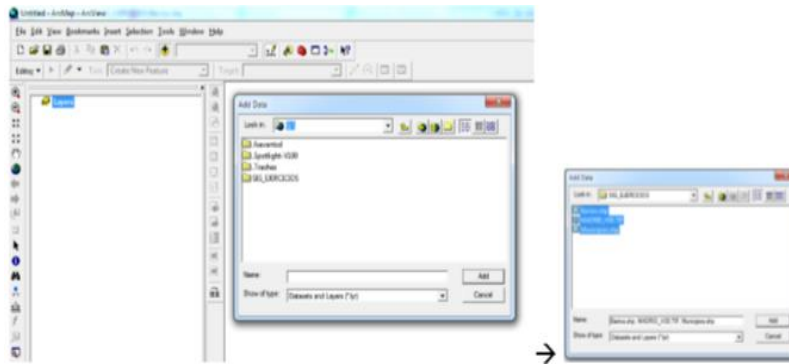
Vamos a abrir el ArcMap (Inicio, Programas, ArcGIS, ArcMap) y una vez abierto aceptamos la opción “ A new empty map ”, OK



**Figura 12. Interfaz de “A new empty map”**

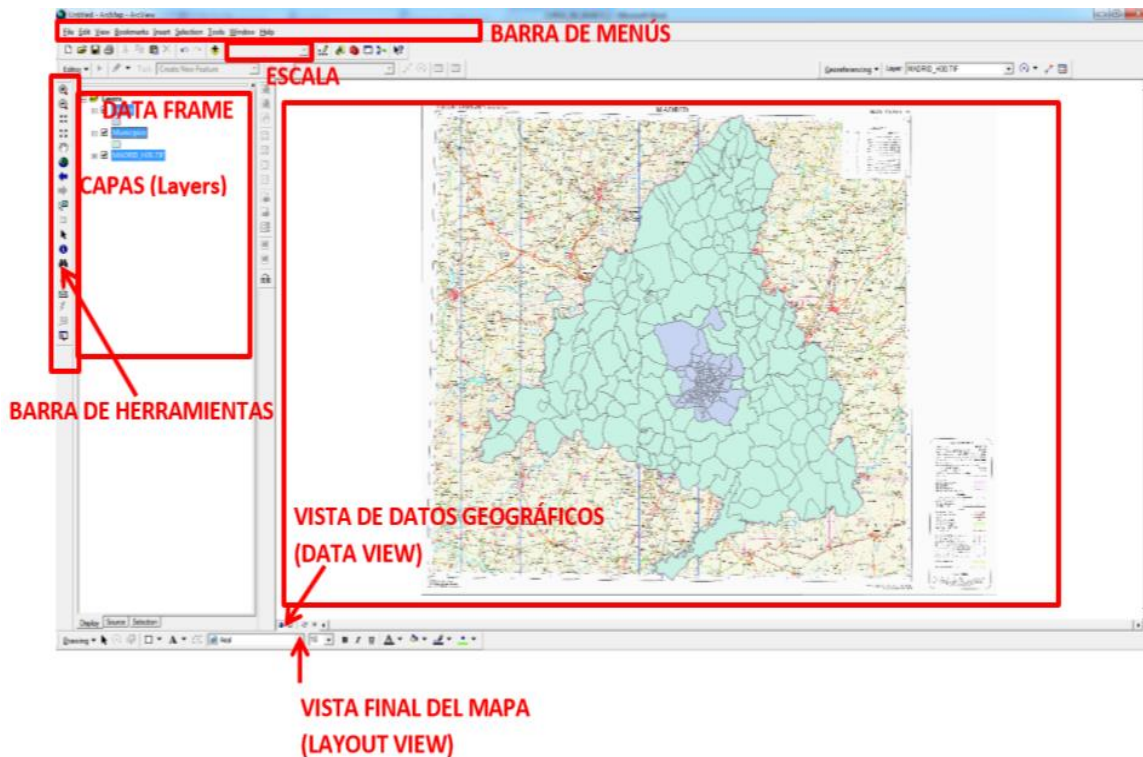
Vamos a cargar nuestras capas de datos ubicadas en la carpeta SIG\_EJERCICIOS.

Para ello pulsamos el botón “Add Data” (ver imagen) y seleccionamos la carpeta. Seleccionamos los tres archivos de la carpeta y pinchamos en “Add”.



**Figura 13. Add Data**

Podemos ver en la imagen siguiente las tres capas cargadas. En la parte izquierda de la ventana aparecen las capas. Se pueden mover de arriba abajo, con lo que cambiará la visualización de las mismas. La capa situada en primera posición será la que se visualice por encima de las demás. Si probamos a activar y desactivar cada capa vemos cómo aparece y desaparece de la vista de mapa.



**Figura 14. Vista de todas las capas agregadas.**

## Preparación del mapa final- LAYOUT

En la parte inferior izquierda de nuestro mapa aparecen los siguientes botones:



Hasta ahora hemos estado trabajando utilizando la vista de datos “Data View”, que sirve para preparar la información geográfica y para trabajar con las capas.



Para preparar el mapa para su presentación final debemos elegir la opción “Layout View”

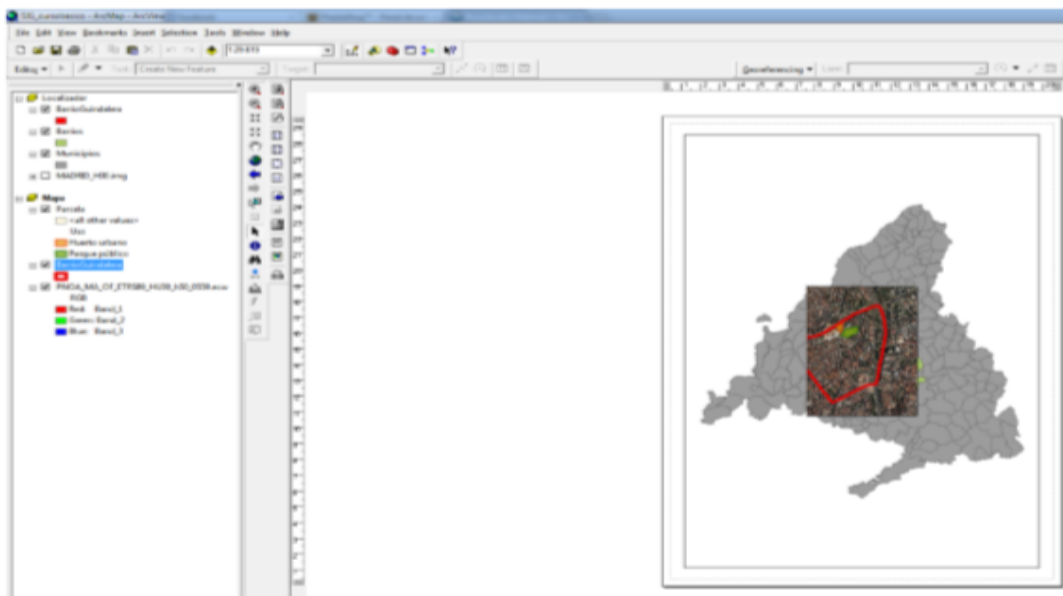


Figura 15. Layout View.

El resultado que arroja la incorporación de todos los pasos anteriores es simplemente un mapa como el que se muestra a continuación:

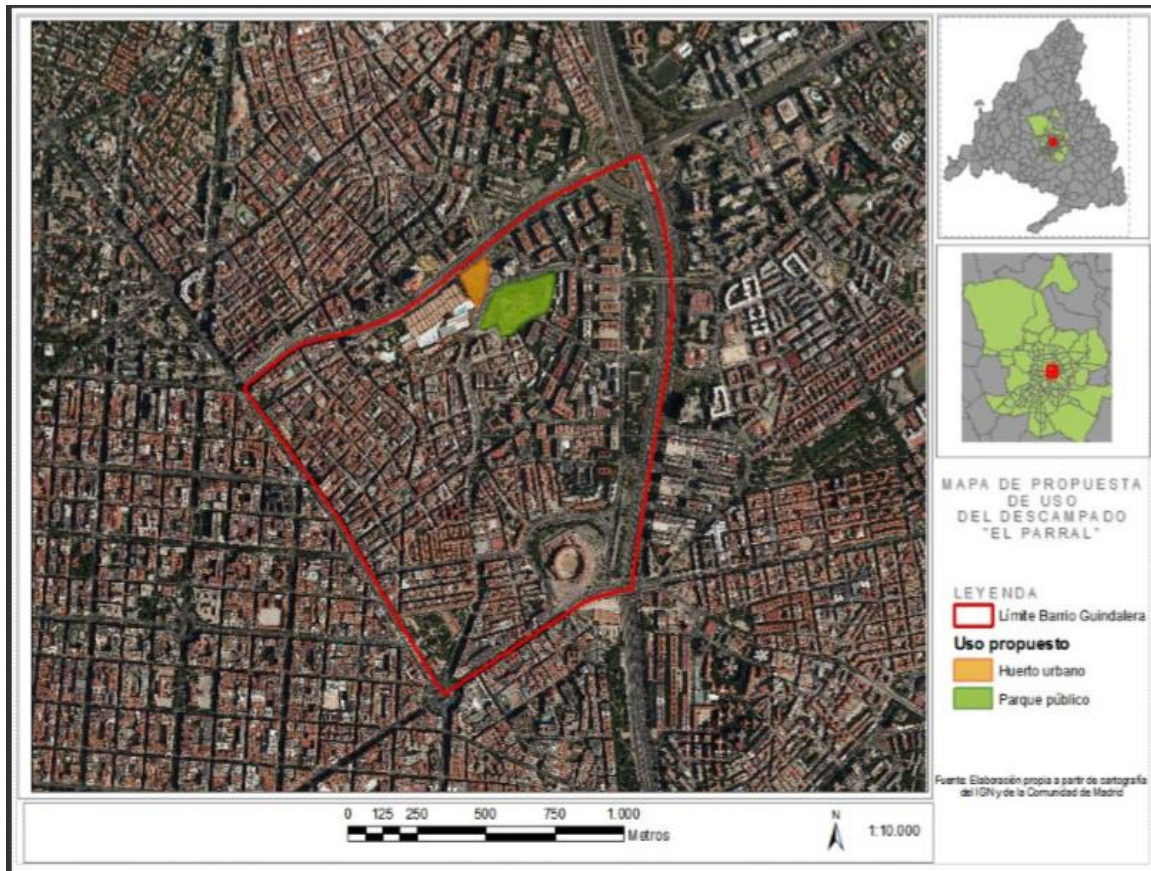


Figura 16. Layout View

## **2.9 GPS STONEX S9 GNSS.**

STONEX® ha desarrollado grandes avances tecnológicos en GPS así como varios productos topográficos. La tecnología topográfica de los GPS RTK y el avance tecnológico en topografía han tomado una gran parte en trabajos topográficos. Los GPS RTK son uno de los principales instrumentos en las compañías de producción y mercadeo, los productos GPS RTK de la marca STONEX® se venden por miles, que garantiza a los supervisores que STONEX® es líder en tecnología topográfico.

El S9 es el más reciente receptor GPS RTK, adecuado para las peticiones de precisión, confiabilidad y facilidad de uso hoy en día.

El receptor S9 es capaz de obtener una doble frecuencia de las señales GPS, pero también señales desde GLONASS y GALILEO, por lo que correctamente se debe de hablar de GNSS receptor.

El S9 está integrado con una antena, el módulo GNSS, una antena de radio receptora, modem GSM/GPRS, dispositivo Bluetooth y batería. El S9 está totalmente integrado lo que hace que el topógrafo necesite únicamente la computadora de mano para hacer el levantamiento.

El diseño tiene una mayor estabilidad, menos desgaste de batería, volumen más pequeño, peso más ligero con respecto a otros productos receptores

STONEX®. El S9 tiene un diseño especial que lo hace resistente al agua y al polvo. La batería y el radio se establecen en la parte inferior del bastidor principal que hace la función de impermeable al agua y al polvo haciendo sus funciones más efectivas, estas propiedades hacen que el S9 tenga un mejor desempeño en el trabajo de campo.

El peso de la unidad inalámbrica es de 1.2 kg. Lo que lo hace un Rover más ligero y cómodo. La pérdida de baja potencia del receptor permite que la batería trabaje por un largo periodo de operación.

El diseño integrado y el anti-jamming se combinan perfectamente: el diseño integrado evita el problema de una antena externa engorrosa y el diseño de computador puede resolver el problema de interferencia con eficacia.

El rendimiento de la transmisión de datos con la tecnología de radio se encuentra en el mismo nivel que la tecnología internacional. El bit error es de  $10^{-7}$  y el problema de colisión de radio se reduce.

La antena UHF estudia el orden en que se conecta el centro electromagnético con el centro electromagnético de la antena de doble frecuencia, al mismo tiempo que reduce la interferencia y hace que el volumen sea más



pequeño. El blindaje electrónico puede evitar la interferencia con más eficacia.  
STONEX® Ltd.

Al mismo tiempo el S9 tiene un módulo GSM/GPRS el cual hace que soporte varias tecnologías de RTK por ejemplo VRS, FKP, etc. Esto permite que el receptor STONEX S9 sea un sistema más flexible para exigentes aplicaciones topográficas.

Como rover, puede ser utilizado como un rover de doble frecuencia estática o en una configuración RTK donde las correcciones son recibidos por CORSS a través de un modem GSM/GPRS de datos de un rango máximo de 70 km. O por otro receptor S9 con calidad de base, unido por modem de datos GSM/GPRS o un modem de radio UHF.

En último caso si el S9 se configura como base debe estar unido a una radio externo: hay tres diferentes radios con diferente potencia de salida, que están a disposición del usuario para llegar al rango métrico pedido.

Hay que recordar que las señales de alta potencia de una radio cercana o un radar transmisor pueden abrumar los circuitos del receptor. Los transmisores de baja potencia como los usados en los teléfonos celulares no suelen interferir con las operaciones del receptor.

Además hay límites operacionales de temperatura que no deben superarse para un buen funcionamiento. De todas formas le recomendamos tratar el equipo con cuidado.

El FIRMWARE que está instalado en su receptor puede configurar software RTK para diferentes aplicaciones. La transferencia de datos es fácil y se realiza por medio de una memoria USB.

Incluso si usted ha utilizado antes otros productos GPS global o GNSS, le recomendamos que tome un tiempo para leer este manual para aprender las características especiales del equipo.

## **Receptor S9**

El receptor tiene casi una forma cilíndrica, con una base más grande que la altura. Hay tres partes: una tapa superior, un anillo de goma y la estructura principal. La tapa superior protege la antena GNSS. El bucle de goma tiene la función de amortiguar ligeros golpes y caídas. En la parte frontal de la estructura principal hay botones y luces. En la parte inferior hay una ranura para la antena del radio receptor y un módulo GSM, y otro para la batería y la tarjeta SIM. Los otros componentes del receptor como el dispositivo Bluetooth, la tarjeta principal, el módulo GSM etc. Se encuentran dentro de la estructura principal.



**Figura 17. Receptor S9.**

### **Selección de modo de trabajo.**

- Inserte la batería en su compartimiento, presione y deje presionado el botón “P” + el botón “F”. El receptor se inicializará.
- Mantenga presionado los botones “P”+ “F” hasta que observe un parpadeo de las seis luces al mismo tiempo, a continuación suelte los botones.

Figura 2.13 Seis luces parpadeando al mismo tiempo en el S9.



- Ahora cada vez que oprima el botón “F”, las 6 luces empezarán a parpadear por turnos de derecha a izquierda. Puede seleccionar tres diferentes luces rojas, cada una se refiere a un modo de trabajo

- Presiona el botón “P”, cuando la luz escogida este parpadeando y el receptor empezará a trabajar en el modo seleccionado.

**MODO ROVER:** Cuando la luz se detenga en STA, presione el botón “P” para confirmar que entra al modo de rover.



**MODO BASE:** Cuando la luz se detenga en Bluetooth, presione la tecla “P” para confirmar que entra al modo base.



**MODO ESTATICO:** Cuando la luz se detenga en batería, presione la tecla “P” para confirmar que entra al modo estático.



### **CAPITULO 3. METODOLOGIA.**

1. Para la elaboración de esta investigación, se analizará el estado del arte con la finalidad de recopilar toda la información posible para poder desarrollar el tema.
2. Se llevará a cabo una revisión de las mediciones actuales obtenidas por las instituciones encargadas de estudiar la geografía de la República Mexicana, siendo el caso específico del INEGI. Revisando de manera detallada los trabajos que se hayan realizado en relación al fenómeno de subsidencia.
3. Se llevará a cabo un levantamiento topográfico y con GPS de precisión en todo el valle de Querétaro, realizando dicho levantamiento en forma de cuadrícula de toda la zona y obteniendo los movimientos verticales en cada punto.
4. Se identificarán las zonas del valle susceptibles a presentar fallas en las estructuras por la distorsión angular que puedan presentar, dependiendo del tipo de material en el cual estén construidas y el movimiento vertical identificado.

5. Después de lo anterior, se utilizará el programa ArcGis para realizar un modelo digital de elevaciones con base a toda la información recopilada, realizando un mapa de riesgos con el fin de identificar rápidamente en este mapa las zonas susceptibles a inundaciones e inclinaciones presentes en el valle de Querétaro.
  
6. Ya terminado el mapa de riesgos, se entregará al INEGI para la actualización de su información, obteniendo ellos información detallada del valle de Querétaro.

### **3. 1 Identificación y Planeación de la zona de estudio.**

Se comenzó por identificar y acotar de manera precisa cual sería nuestra área de estudio en particular, tomando en cuenta toda la geología del estado de Querétaro y de la principal problemática que es la ciudad de Querétaro se tomó la decisión de tomar un área determinada que abarca lo que son los municipios de Querétaro, Corregidora, El Márquez y una pequeña parte del municipio de Huimilpan.

Cabe mencionar y tomar muy en cuenta que una vez que se definió el área de estudio la implementación de esta metodología para la investigación de subsidencia no nos afecta en el total del área definida, ya que este fenómeno se presenta exclusivamente en las áreas de material sedimentario y que precisamente es donde se encuentra asentada la ciudad de Querétaro y por lo tanto toda la infraestructura de vías terrestres.

Identificada la zona de estudio, se procedió a localizar todas las fallas geológicas que están dentro del área estudiada para tener un monitoreo de cada una de ellas, importándonos datos como las zonas habitacionales que están en el área de influencia de las fallas, las vías terrestres que también están dentro de esa misma área de influencia y siendo esta misma información geológica la que nos

permitirá conocer de manera exacta como está conformado el graben del valle de Querétaro.

En este mismo paso de identificación de las fallas geológicas del valle de Querétaro podemos determinar cuál es la falla que está causando el mayor daño o por llamarlo de otra manera la falla más peligrosa para la ciudad, identificando puntos importantes y puntuales de la zona de afectación a una vía terrestre como en este caso se presenta una carretera y las vías del ferrocarril, en esta investigación se encontró que la llamada falla 5 de febrero es la que tiene mayor importancia en su estudio ya que atraviesa una de las principales carreteras de esta ciudad.

La siguiente parte de la investigación es la identificación y zonificación de la geología del valle, saber con exactitud cuáles son los tipos de roca que existen para así mismo poder predecir cuales son algunas zonas de los tipos de rocas más débiles y que si se unen con los datos de las fallas podremos identificar de manera rápida un posible asentamiento, sin embargo no será del todo confiable hasta que se tomen en cuenta todos los demás valores que más adelante se describirán.

Una vez realizado lo anterior, se procede a la identificación de todas las calles y carreteras de la ciudad de Querétaro y de los municipios incluidos en el



área de estudio, ya que precisamente es lo que nos interesa, donde y cuanto es la afectación a las carreteras o a las vías terrestres en general.

Cuando se introducen las carreteras a la investigación es importante resaltar que se tiene que tener una clasificación de cada una de las carreteras en cuestión de la dependencia que está encargada es estas, porque al final de la investigación se obtendrá información precisa obteniendo quien es el responsable y así mismo ellos poder hacer las correcciones correspondientes en el área o infraestructura que necesite reparación o mantenimiento preventivo.

### **3.2 Creación de un Modelo Digital de Elevaciones.**

Ya definida correctamente el área de estudio, se procede a realizar una modelación para representar y localizar rápida y correctamente cada uno de los puntos y de las zonas que nos arrojen los datos.

Para realizar todas las modelaciones correspondientes se necesitó un programa de la marca ESRI llamado ARCGIS 10, dicho programa nos ayuda a modelar las elevaciones del área en estudio, podemos ingresar todo tipos de datos los cuales se deben obtener o transformar a formato “shapefile” para el correcto funcionamiento del programa.

Para realizar el MDE fueron solicitadas al INEGI las curvas de nivel de todo el estado de Querétaro, después se tuvo que recortar solo el área con la que se trabajaría, este proceso se llevó a cabo con la herramienta “clip” que está dentro del paquete del programa.

Dando como resultado una imagen con cada una de las elevaciones y morfología del valle de Querétaro, en especial de la zona que nosotros trabajamos.

### **3.3 Incorporación de datos geológicos, edafológicos y vialidades.**

Después de que ya se obtuvo el modelo digital de elevaciones también se obtuvieron los datos de geología, edafología, vialidades por parte del INEGI y las cuales se transformaron a formato shapefile, cabe mencionar que los datos de las fallamientos en el valle de Querétaro se hicieron de manera propia.

Dentro del modelo que tenemos se empalmaron cada una de la información antes mencionada haciendo una especie de malla, en la cual se muestra de manera gráfica cada uno de los datos y su posible influencia en este fenómeno que se estudió de manera puntual.

### **3.4 Creación de cuadrícula para medición.**

Una vez que se tuvieron todos los datos de los factores que intervienen en la presencia del fenómeno de subsidencia se procedió a realizar una cuadrícula de 33 puntos en lugares especiales, a los cuales se les tomarían mediciones con un gps de alta precisión.

La cuadrícula se diseñó de manera que nos mostrara mediciones reales de los puntos que en visita de campo y confirmados con la realización del MDE serían los más afectados, siendo algunos de estos la carretera 57 Querétaro – San Luis Potosí, una área de las vías del ferrocarril de Querétaro y distintos tramos de la carretera antes mencionada.

Los puntos de la cuadrícula se distribuyeron también en toda el área de la ciudad de Querétaro con la finalidad de tener un monitoreo real y actual de los niveles de toda la ciudad, así mismo poder mostrar las zonas de mayor riesgo y que las autoridades puedan tomar cartas en el asunto de manera inmediata y con datos verídicos.

### **3.5 Toma de puntos con GPS STONEX S9 GNSS.**

El gps que se utilizó para la medición de cada uno de los puntos de la cuadrícula que con anterioridad se describió es un gps de alta precisión, el cual se puede manejar de diferentes maneras o mejor dicho se pueden realizar dos tipos de métodos llamados “DINAMICO” y “ESTATICO”.

El método dinámico se realiza con dos antenas, la cual una se deja en un lugar fijo de un punto conocido que funcionará como “base” la cual necesita de un radio y una antena para mandarle señal a la otra antena gps y así estar corrigiendo en tiempo real las lecturas que se están tomando y la otra antena se estará moviendo por los puntos o lugares que se necesite hacer las mediciones y al cual se le llama “rover”, cabe mencionar que este método o tipo de medición no es del todo confiable para una trabajo de esta característica ya que tiene un error de los 3 a los 6 milímetros y por lo cual no nos sirve para la investigación ya que se necesita de mayor precisión para poder identificar los movimientos milimétricos del suelos queretano.

El método estático se realiza con una sola antena gps la cual se configura de manera diferente a la del método dinámico, este método consta de colocar la antena en el punto que será medido, simplemente prenderlo y dejarlo recibir mediciones de los satélites cada 15 segundos durante un tiempo de 30 minutos a 1 hora, lo que hará la antena es recibir durante ese tiempo una serie de

mediciones las cuales ya que se haya cumplido el tiempo deseado de medición se extraen en gabinete para realizar un posproceso.

Dicho método nos arroja unos resultados con tan solo un error de 0 a 3 milímetros y que precisamente es lo que estaríamos buscando para tener una correcta medición de las elevaciones en cada uno de los puntos.

## **CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

De acuerdo a lo descrito en el capítulo 3 de metodología a continuación se mostraran algunos de los resultados que se han obtenido hasta esta etapa de la investigación, cabe mencionar que los resultados ahora mostrados no representan con firmeza la validez de la hipótesis pero si nos arroja una idea de los valores que se pueden ir modelando.

Se mostraran de manera gráfica cada uno de los parámetros por medir y los cuales afectan en el fenómeno de subsidencia, en la investigación se hizo énfasis en los puntos que se propusieron para la medición actualizada y dejando a un lado los valores de abatimiento que presentan los más de 300 pozos de agua que están en funcionamiento en todo el valle de Querétaro, ya que se presentó un retraso en la obtención de dichos datos por parte de la CEA y CONAGUA.

El área que se delimito para la investigación está compuesta por aproximadamente 468 km<sup>2</sup>, la cual está comprendida por una mayor parte por el municipio de Querétaro pero involucrando también a los municipios de Corregidora, El Márquez y Huimilpan, presentando una elevación mínima de 1,770 msnm y una elevación máxima de 2,400 msnm.

#### 4.1 Curvas de nivel de valle de Querétaro escala 1: 20,000

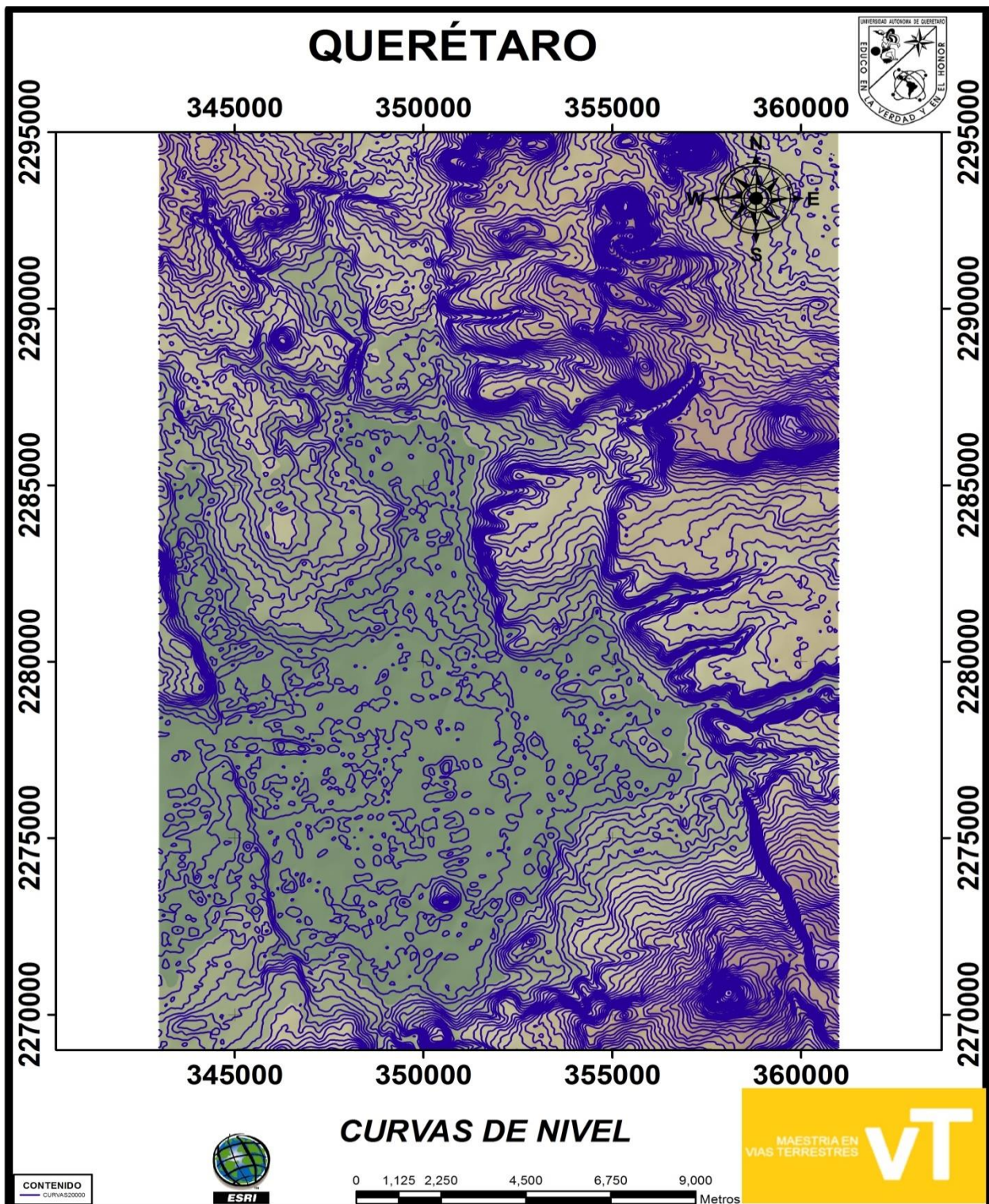


Fig. 19.- Curvas de nivel del valle de Querétaro a escala 1: 20,000



## 4.2 Modelo Digital de Elevaciones.

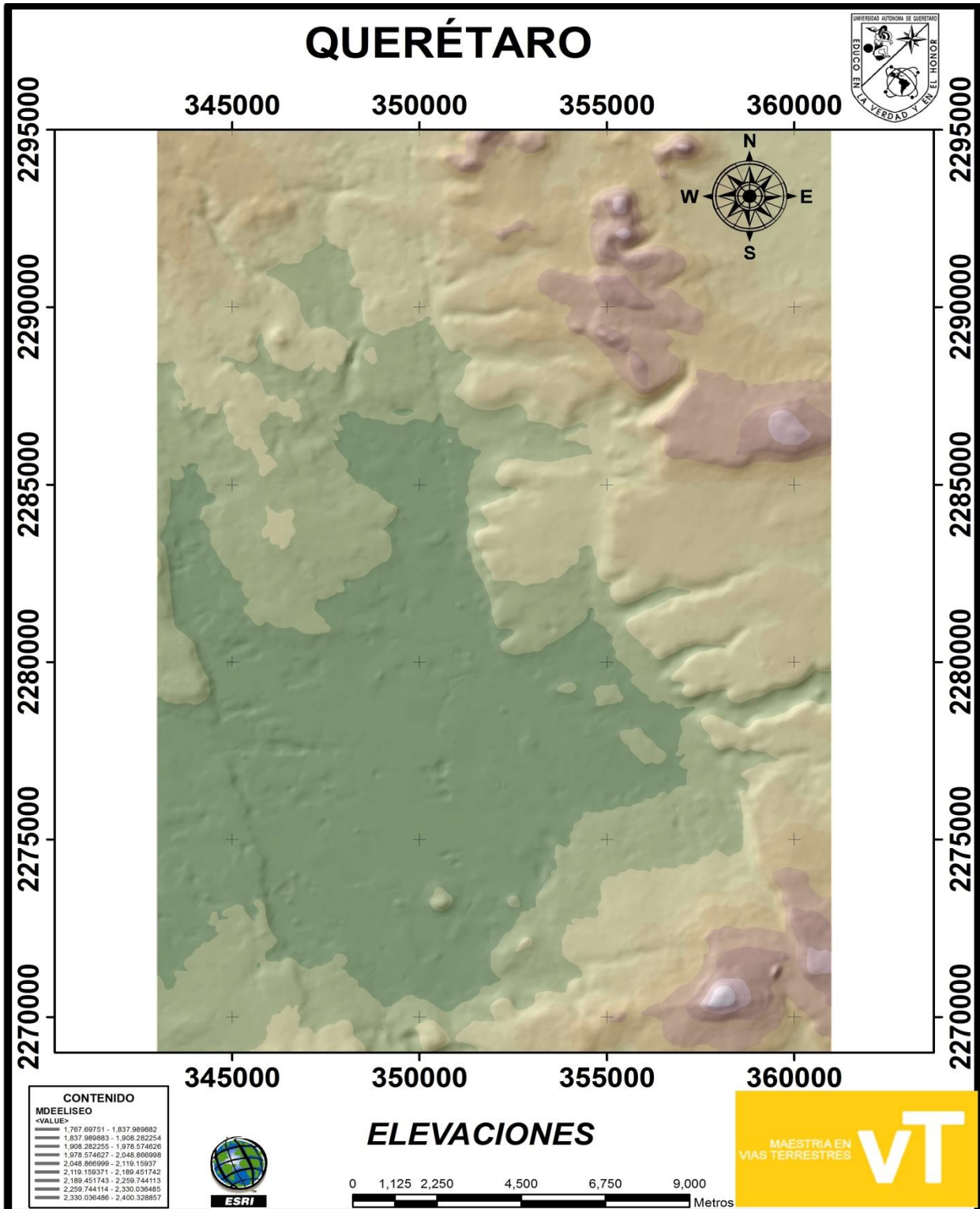


Fig. 20.- Modelo Digital de Elevaciones.

### 4.3 Fallas geológicas del valle de Querétaro.

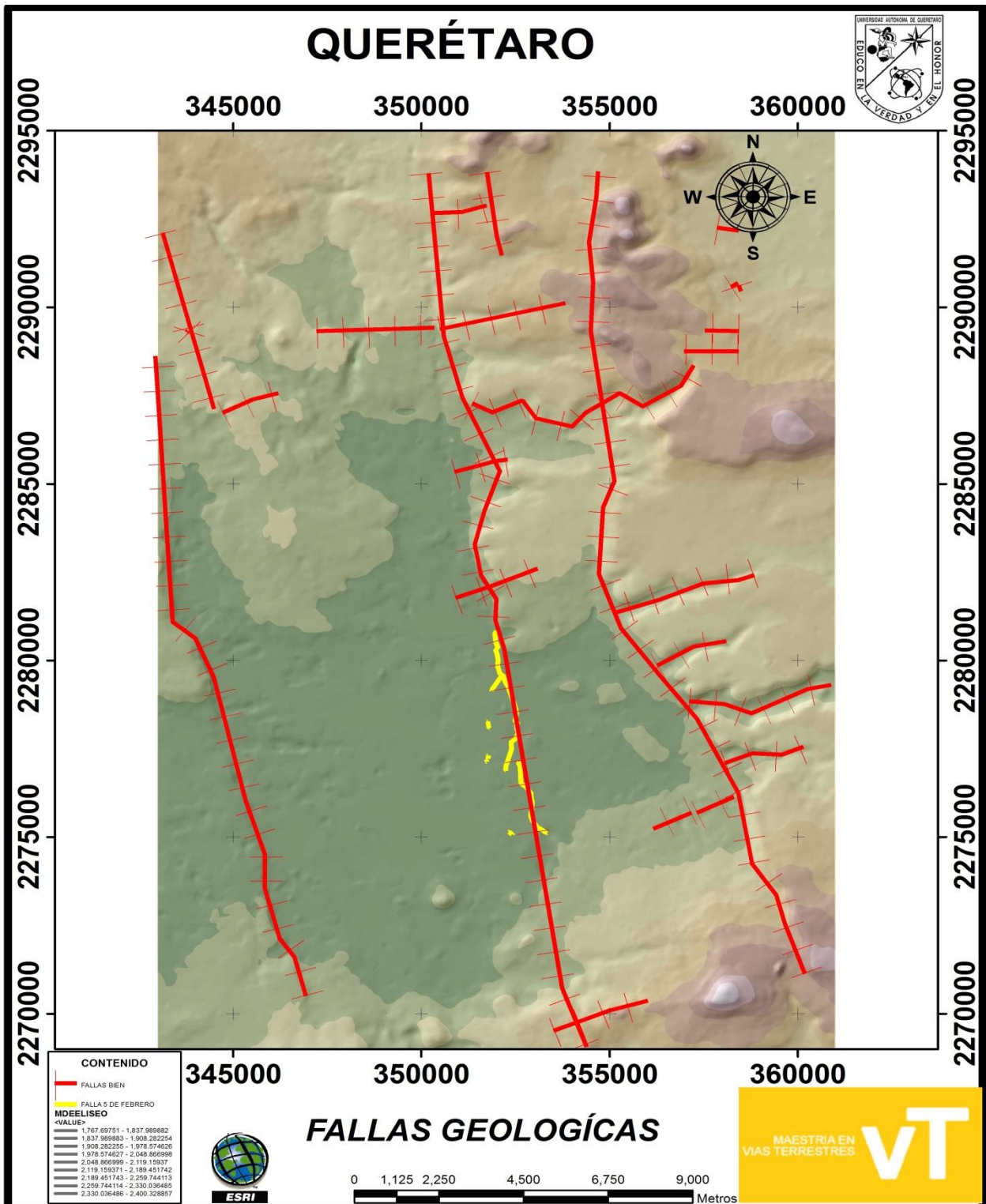


Fig. 21.- Fallas Geológicas del valle de Querétaro.

#### 4.4 Límites municipales.

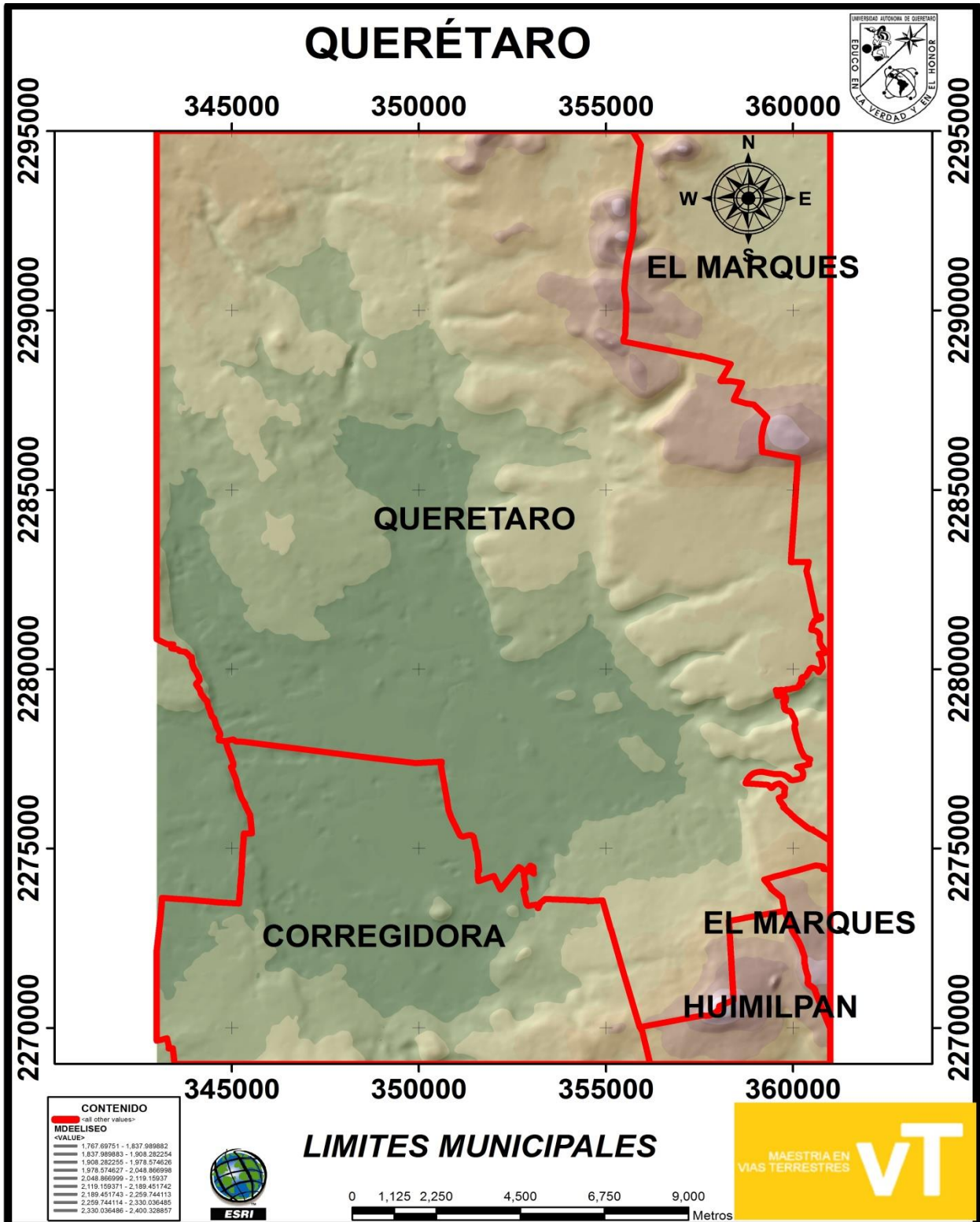


Fig. 22.- Identificación de los límites municipales.

#### 4.5 Calles y Avenidas del valle de Querétaro.

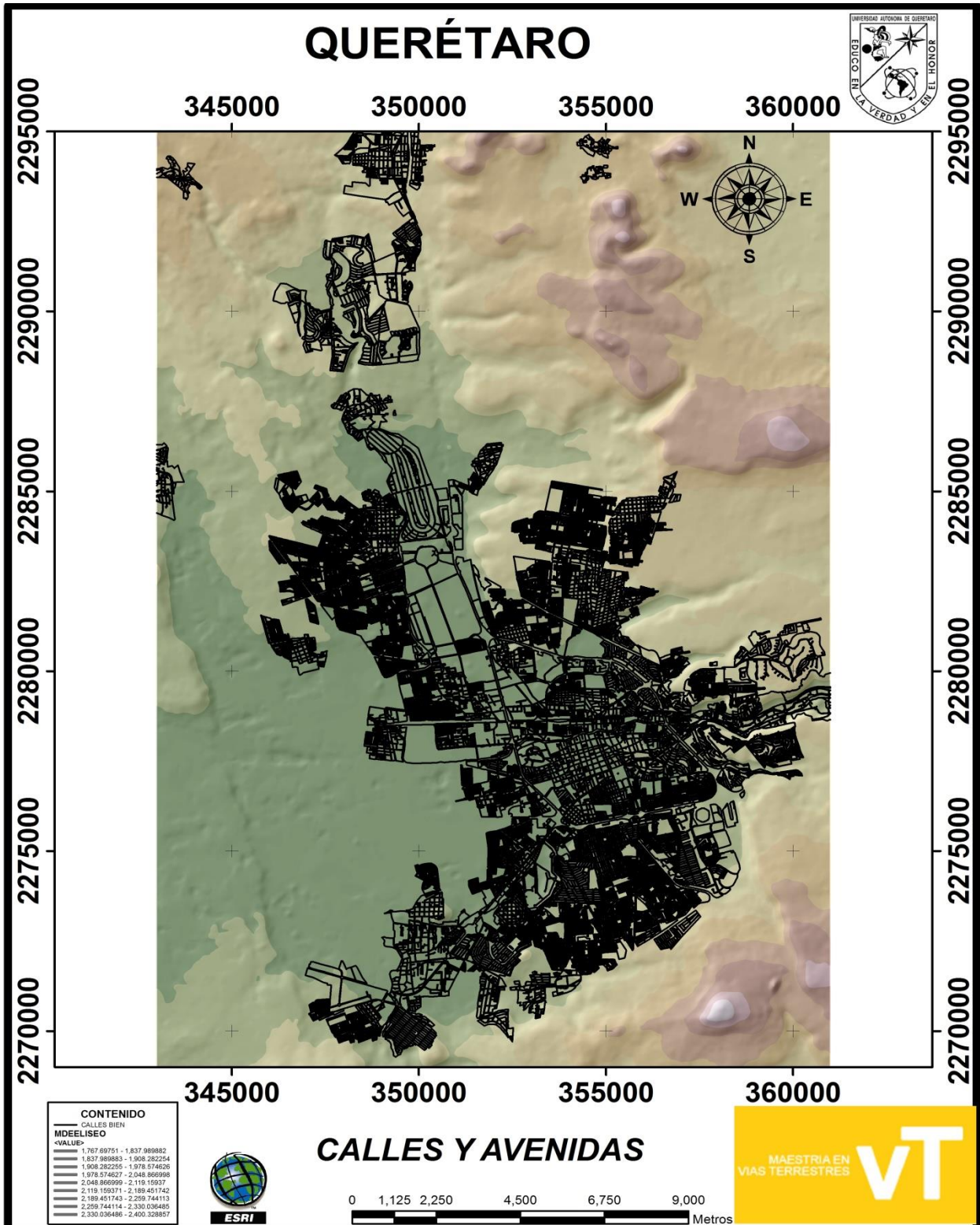


Fig. 23.- Calles y Avenidas del valle de Querétaro.

#### 4.6 Carreteras Federales, Estatales y Municipales.

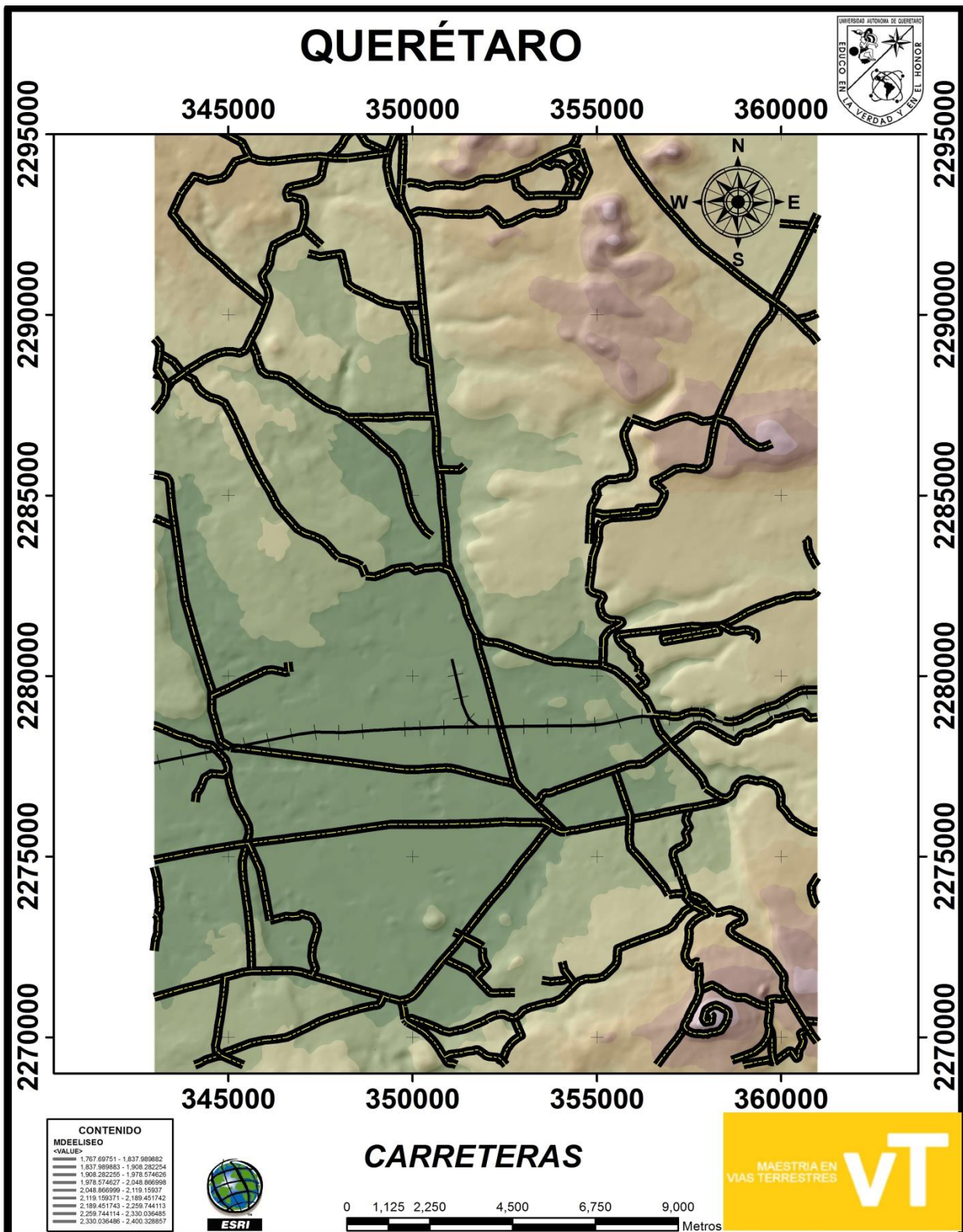


Fig. 24.- Carreteras Federales, Estatales y Municipales.

#### 4.7 Puntos de control para levantamiento con GPS

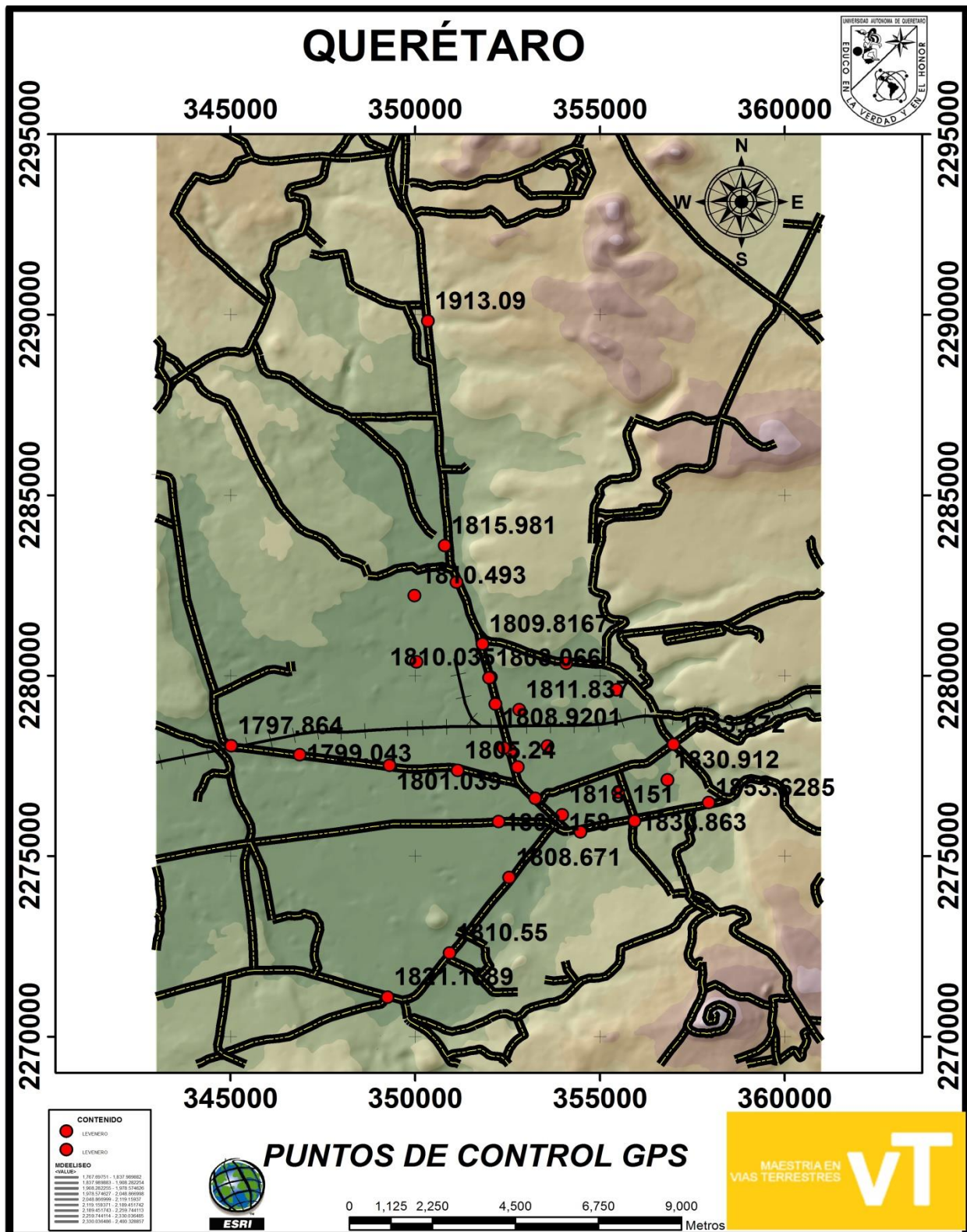


Fig. 25.- Puntos de Control para el levantamiento con GPS.

4.8 Geología del valle de Querétaro.

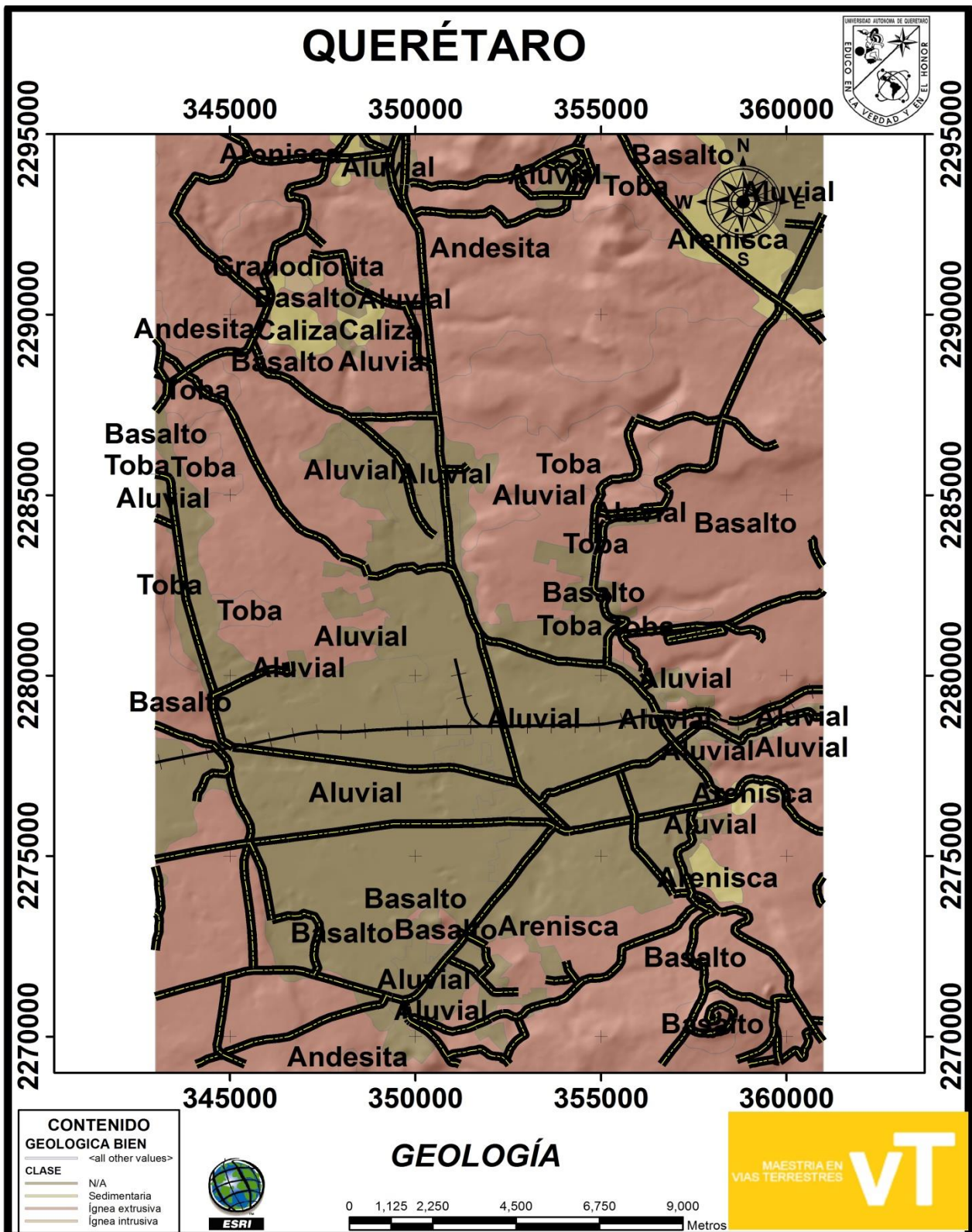


Fig. 26.- Geología del valle de Querétaro.

4.9 Edafología del valle de Querétaro.

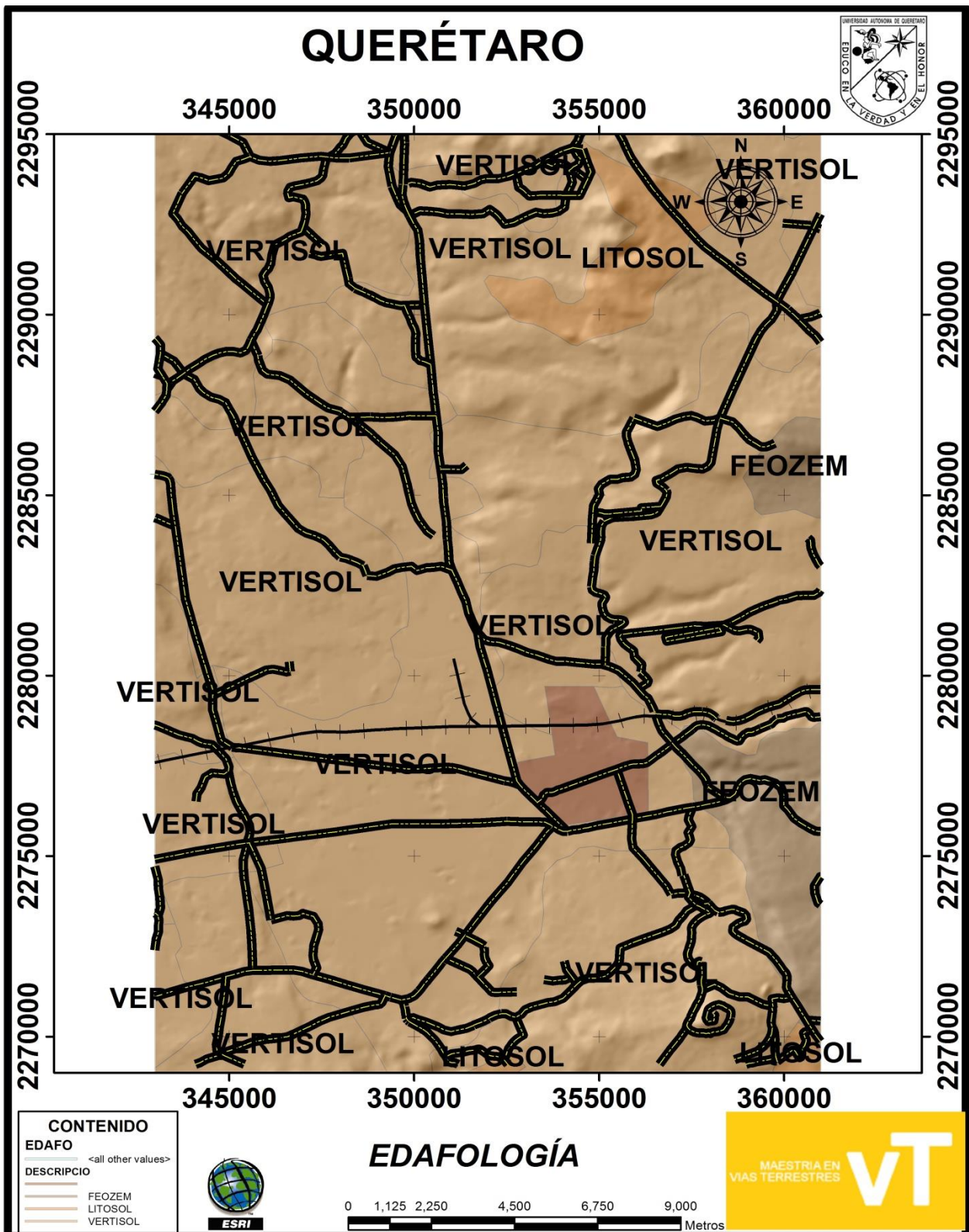


Fig. 27.- Edafología del valle de Querétaro.



4.10 Pozos de extracción de agua.

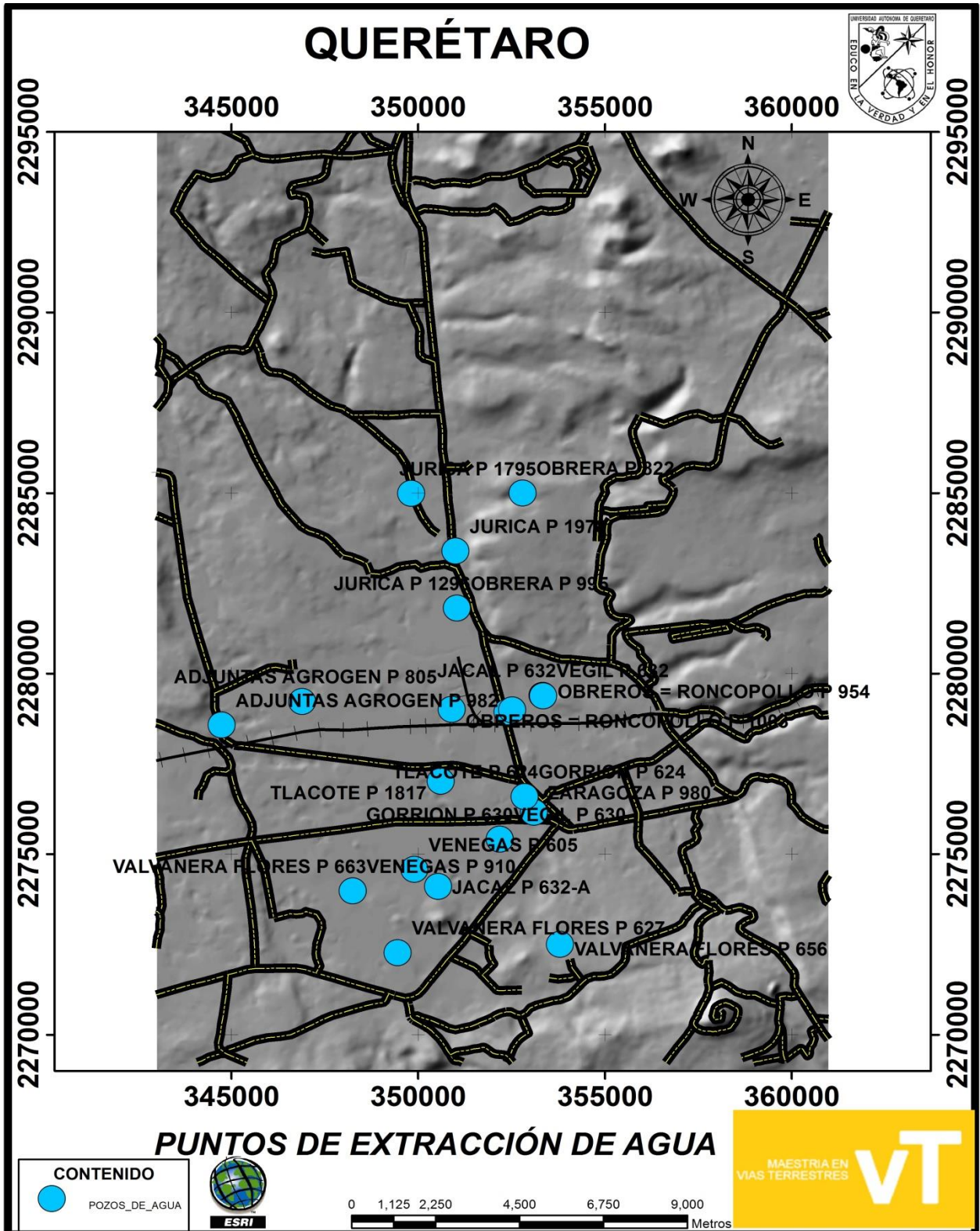


Fig. 28.- Curvas de asentamiento del mes de Agosto.

Elevaciones de los puntos medidos.

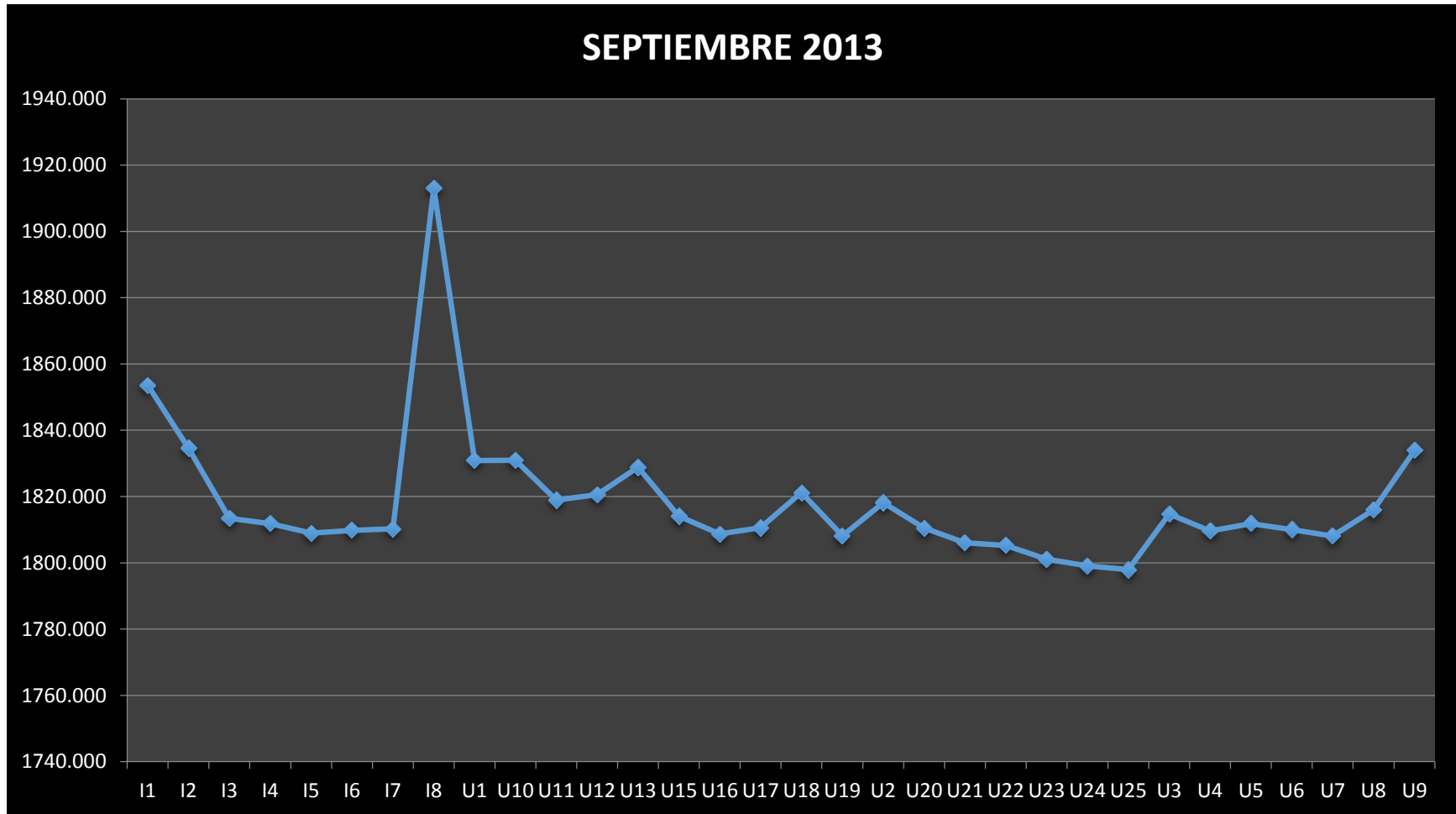


Fig. 29.- Elevaciones de puntos (Septiembre 2013)

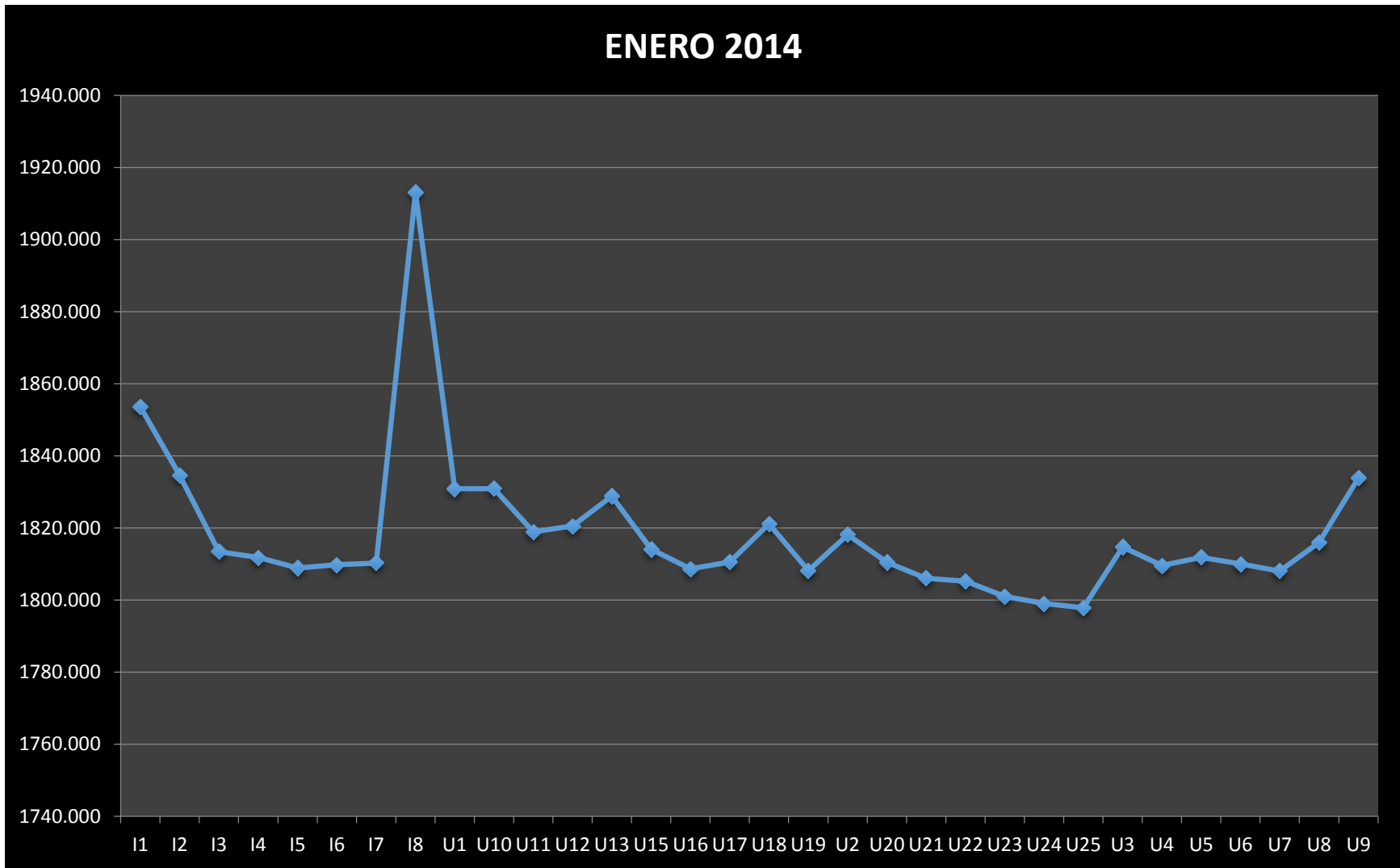


Fig. 30.- Elevaciones de puntos (Enero 2014)

Fig. 31.- Asentamientos puntuales Av. 5 de Febrero.

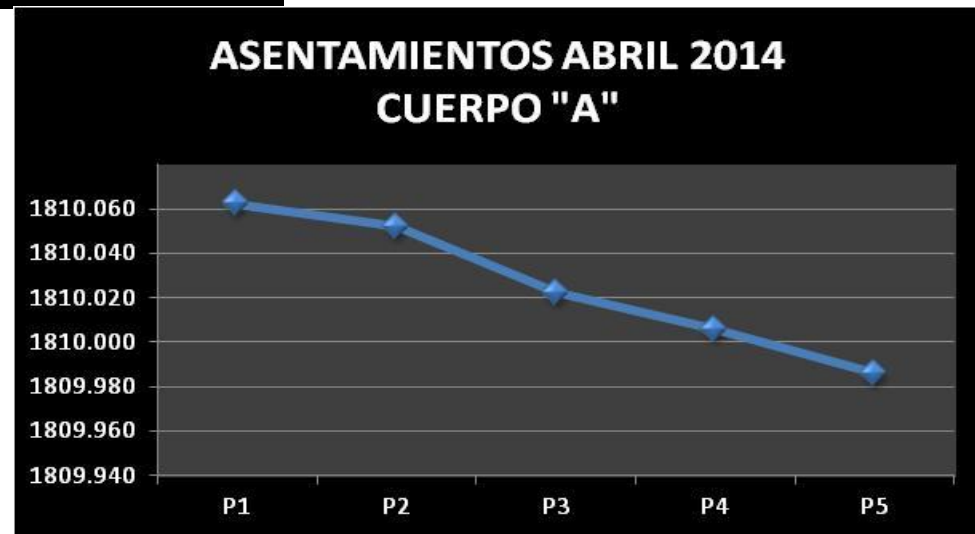
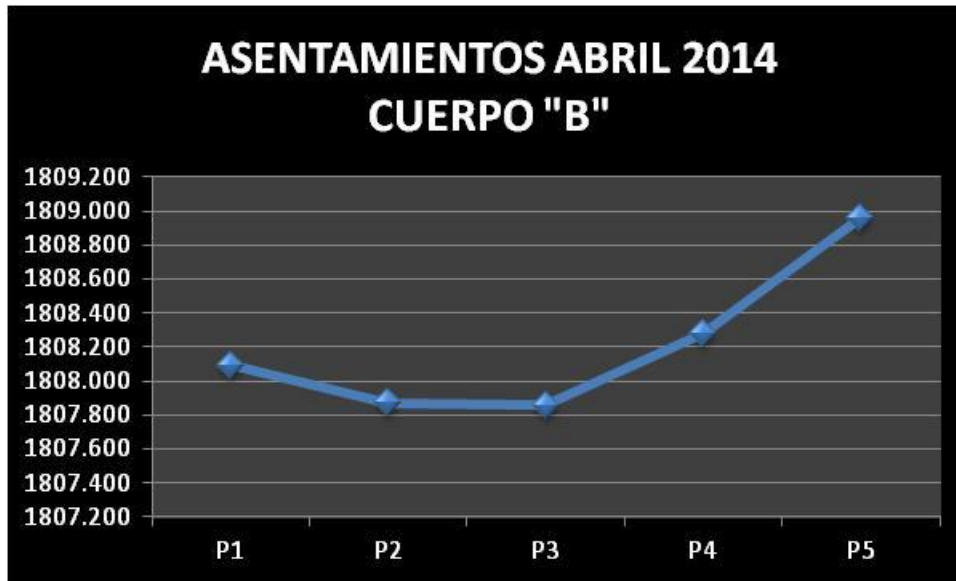
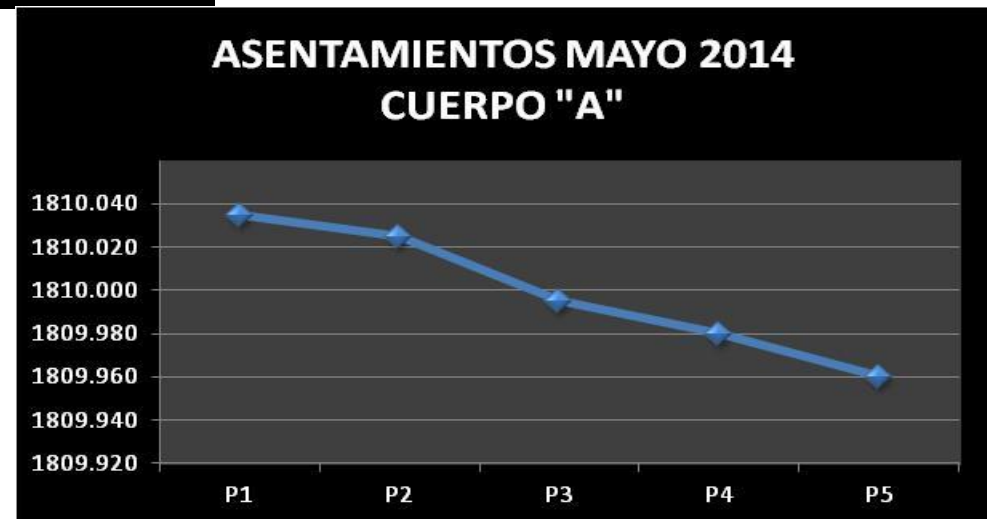


Fig. 32.- Asentamientos puntuales Av. 5 de Febrero.



#### 4.12 Formato para levantamiento de campo.


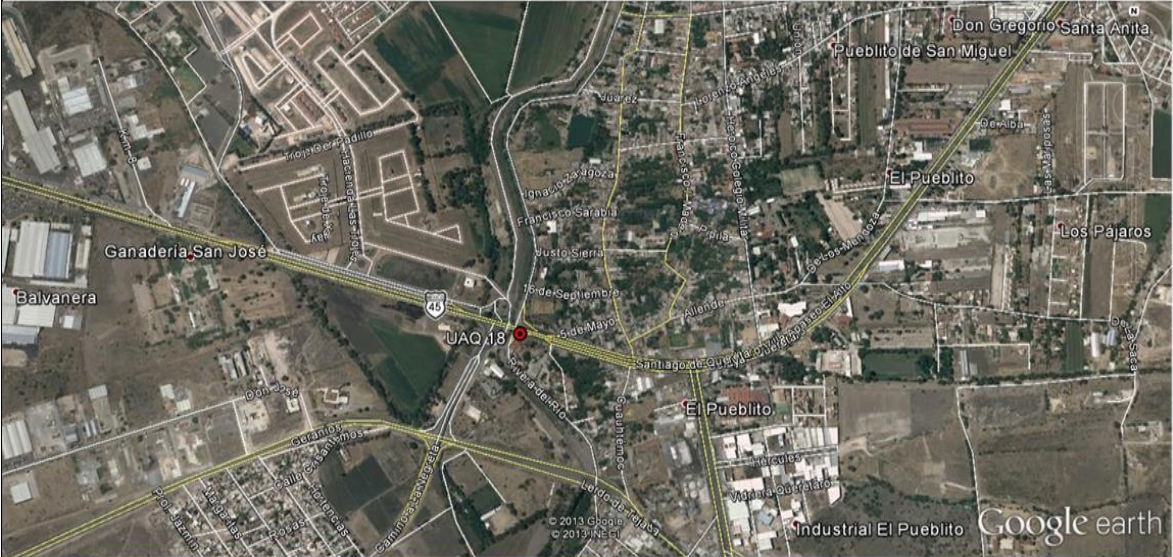


		<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> <b>MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES</b>	
<b>MARCA:</b>	UAQ 18	<b>COORDENADAS X :</b>	349254.47
<b>DEPENDENCIA:</b>	UAQ	<b>COORDENADAS Y :</b>	2271095.53
<b>ESTADO:</b>	QUERÉTARO	<b>ALTURA:</b>	1813.39
<b>MUNICIPIO:</b>	QUERÉTARO	<b>ALTURA DE EQUIPO:</b>	1.79 m
<b>COORDENADAS:</b>	UTM	<b>FECHA MEDICION:</b>	30/07/2013
<b>CROQUIS</b>			
			
			
<b>DESCRIPCION DE LA MARCA</b>			
<p>LA MARCA SE ENCUENTRA APROXIMADAMENTE A 10 KM DE LA UAQ, EN EL LADO IZQUIERDO EN DIRECCION QRO-CELAYA POR PASEO CONSTITUYENTES, LA MARCA ESTA EMPOTRADA EN UNA BANQUETA QUE CONFORMA UN PUEBTE, JUNTO A UN SEÑALAMIENTO VERTICAL DE DESTINO YA A UNOS PASOS DE UNA SEÑAL DE FIBRA OPTICA DE TELMEX.</p>			
<b>AUTOR:</b> ING. ELISEO VEGA MORENO			
<b>FECHA DE GENERACIÓN DEL DOCUMENTO:</b> 6/07/2013			

Fig. 33.- Formato para levantamiento en campo.

## **CAPITULO 5. CONCLUSIONES.**

Al inicio de esta investigación presentamos como principal problema los asentamientos y deformaciones que están sufriendo las vías terrestres y casas habitación, siendo las vías terrestres a las que está enfocada esta investigación, mencionando todo el daño que provoca una diferencia de niveles en un puente, una carretera, las tuberías de agua, tuberías de drenaje y todas las obras civiles.

Con los avances que se tienen hasta ahora y con la experiencia obtenida con los trabajos de esta investigación podemos concluir de cierta manera que el detonante principal de este fenómeno es la sobreexplotación de los mantos acuíferos de todo el valle de Querétaro, generando gran cantidad de vacíos en el subsuelo y que por consecuencia genera el reacomodo de las partículas, siendo este material el que ocupa esos espacios o vacíos que genera la ausencia del agua.

Las grandes ciudades como lo es la ciudad de Querétaro son las que en la actualidad presentan este tipo de problemas en todas sus estructuras, concluyendo también que esta problemática estará presente con mayor frecuencia al paso de los años y por lo cual debemos ocuparnos de monitorear y encontrar una solución efectiva para este problema.

Con esta metodología que se utilizó en esta investigación se comprueba que es posible determinar la magnitud de asentamiento presentado en toda la

ciudad demostrando de manera puntual los lugares de mayor riesgo, los rangos de asentamientos, las zonas que simplemente no se pueden corregir y que otro objetivo de esta investigación es dar parte a las autoridades competentes para poder reubicar a todas esas personas a un lugar más seguro.

Al obtener las curvas de nivel de manera real y actualizadas demostramos que es posible hacer una predicción precisa del nivel de asentamiento que se presentará en los próximos años, permitiéndonos esto realizar mapas de riesgos en los rangos de años que se puedan ilustrar de mejor manera, ya sean a cada 5, 10, 15, 20 o 50 años dependiendo de la información que se necesite.

En esta investigación no solo se tomaron en consideración aspectos científicos, sino que también se revisaron información de la sociedad en general y de los medios de comunicación, dándonos cuenta que es de vital importancia contar con toda esta información a la mano, ya que algunos funcionarios públicos encargados de tomar decisiones importante de modernización o de seguridad para las personas no están del todo informadas o de plano su preparación profesional no es la adecuada para el trabajo que desempeñan en el gobierno, pudiendo generar esta situación una mala información a la sociedad de dos maneras, la primera alarmar de una situación peligrosa en cuestión de posibles colapsos de viviendas por este fenómeno y que resulte que algunas zonas no presenten este



problema provocando el desalojo y descontento de los habitantes, y el caso contrario y más peligroso, que no se tome con seriedad este problema y puedan provocar pérdida de vidas humanas en un caso muy extremo.

Después de toda esta serie de procedimientos que se realizaron para esta investigación podemos concluir, primero, es posible determinar el nivel de asentamiento en todo el valle de Querétaro de manera precisa con los nuevos equipos de precisión y que nos minimiza el error que podamos obtener y así presentar una información confiable, segundo, se pueden identificar de manera puntual las zonas y la infraestructura que presenta afectación por el fenómeno de subsidencia y como tercer punto concluimos que toda la información obtenida nos da una gran variabilidad de soluciones a este problema directamente a las vías terrestres, siendo algunas como, modificar el trazo del camino, nivelar de manera mecánica alguna estructura de un puente, realizar trabajos preventivos en esas zonas e infinidad de soluciones.

## CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Alfaro, M. 2008. *Geotecnia en suelos no saturados*. Bogotá, Colombia.

Arzate, J. 2006. *Estudio Geológico-Geofísico para la evaluación de los hundimientos y agrietamientos en el área metropolitana San Luís Potosí-Soledad de Graciano Sánchez*, San Luis Potosí, México.

Chávez, O. 2006. *Renivelación de edificios de dos niveles en el marqués Qro, usando el método de subexcavación*, Santiago de Querétaro, México.

Chávez Alegría O, y Arzate Flores J, (2008). *Modelación física-experimental del fenómeno de subsidencia*, Centro Universitario Querétaro, Qro, México.

Código Técnico de la Edificación (CTE). 2007. *SE-C Seguridad estructural cimientos*. Madrid, España.

Estrella, G. (2012). *Monitoreo y predicción de agrietamientos por subsidencia en la falla 5 de febrero*. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Gutiérrez, P. 2009. *Análisis y diseño del revestimiento de túneles en suelos del valle de México*, México D.F.

Hernández, A. (1996). *El estudio del crecimiento de las poblaciones humanas*. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Pacheco Martínez J, Arzate Flores J. A (2007). Modelo de subsidencia del valle de Querétaro y predicción de agrietamientos, Centro Geociencias, UNAM campus Juriquilla, México.

Reglamento de Construcción del Distrito Federal, RCDF. (2004). México.

Santoyo, E. 2005. *Retos geotécnicos en edificios ligeros*, México D.F.

Sanger, A. 2005. *“Las fuerzas y su medición”*: Ley de Hooke. Escuela de Enseñanza Media N° 221 "Malvinas Argentinas", Villa Eloisa, Santa Fe, Argentina.

Terzaghi, K. (1956). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley and Sons Inc. New York.