

# CAPÍTULO 5

## FENÓMENO GEOLÓGICO

**Fenómeno Geológico:**

*Agente perturbador que tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos.*

*Ley General de Protección Civil, 2012.*

## 5.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

En términos eminentemente teóricos, los fenómenos geológicos son aquellos en los que intervienen la dinámica interna y externa de las tres capas concéntricas del planeta tierra, definidos como el núcleo, manto y corteza, estos fenómenos se registran en distintas formas de liberación de energía. En su clasificación más simple, se dividen en dos tipos:

- *Tipo endógeno.* Tiene lugar en el interior de la tierra y que dan lugar a fenómenos como los sismos y volcanes.
- *Tipo exógeno.* Se presentan en la superficie debido a las acciones del aire, el sol, la lluvia y otros factores que contribuyen como el tipo de rocas y suelo, la vegetación, el relieve, la pendiente del terreno, entre otros.

Estos fenómenos se han presentado a lo largo de toda la historia geológica del planeta, por tanto; seguirán presentándose obedeciendo a patrones de ocurrencia similares. La sismicidad y el vulcanismo son consecuencia de la movilidad de las altas temperaturas de los materiales en las capas intermedias de la Tierra, así como de la interacción de las placas tectónicas; se manifiestan en áreas o sectores bien definidos.

Otros fenómenos geológicos son propios de la superficie terrestre y son debidos esencialmente a la acción del intemperismo y la fuerza de gravedad, teniendo a ésta como factor determinante para la movilización masiva, ya sea de manera lenta o repentina, de masas de roca o sedimentos con poca cohesión en pendientes pronunciadas. En ocasiones estos deslizamientos o colapsos también son provocados por sismos intensos.

Muchas de las áreas habitadas por el hombre se localizan en valles aluviales, debido a la disponibilidad de campos planos y cultivables. Con el paso del tiempo y el aumento de la población, las corrientes superficiales de agua se vuelven insuficientes para el riego agrícola y el consumo humano, por lo que se recurre a extraer, cada vez en mayor proporción, agua del subsuelo. Como consecuencia de esto, el terreno presenta gradualmente hundimientos y agrietamientos locales y regionales que llegan a afectar seriamente las edificaciones y la infraestructura (esta condición tiene una presencia relevante en el Municipio de Irapuato).

Fenómenos tan variados como la erosión, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y precipitaciones pluviales pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, hundimientos, etc. Estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser generados o desencadenados por el ser humano al interferir con la naturaleza y modificar sus condiciones. Los movimientos del terreno, desde un deslizamiento de cierta magnitud hasta un terremoto de gran intensidad, causan en ocasiones cifras elevadas de víctimas y pérdidas económicas.

Los inconvenientes derivados de la interacción entre el medio geológico natural y las actividades del ser humano hacen necesario el planteamiento de actuaciones adecuadas para conseguir un equilibrio entre las condiciones naturales y la ocupación del territorio, incorporando los métodos de prevención y mitigación de los riesgos geológicos a la planificación.

Los daños asociados a un determinado proceso geológico dependen de:

- a) La velocidad, magnitud y extensión del mismo; los movimientos del terreno pueden ocurrir de forma violenta y catastrófica (terremotos, grandes deslizamientos repentinos, hundimientos), o lenta (flujos y otros movimientos de laderas, subsidencias).
- b) La posibilidad de prevención y predicción y el tiempo de aviso.
- c) La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Los efectos de los movimientos del terreno pueden ser directos o indirectos, a corto, largo plazo o permanentes. La escala del tiempo geológico en que se desarrollan determinados procesos, como los tectónicos, hace que sus efectos no sean considerables a escala humana. Sólo determinados procesos son controlables mediante adecuaciones antrópicas, tal es el caso de los deslizamientos y desprendimientos en laderas, los procesos erosivos y la subsidencia regional. Los terremotos, erupciones volcánicas y grandes deslizamientos quedan fuera del alcance y control humano.

### 5.1.1 Clasificación de los peligros.

Los peligros se dividen en dos grandes grupos ampliamente diferenciados, estos corresponden a los peligros naturales y los peligros antropogénicos.

Los Peligros Naturales están regulados por dos fenómenos físicos básicos: uno que es súbito, repentino, se desarrolla en corto tiempo y espacio, tanto en la atmósfera como en la parte superficial de la corteza terrestre y es consecuencia directa del ciclo hidrológico y los terremotos; mientras que el segundo, que de acuerdo a los procesos endógenos y exógenos se puede presentar de manera violenta o muy lenta, por lo general imperceptibles a la sensibilidad del hombre. Los peligros naturales a su vez se dividen en hidrometeorológicos los cuales comprenden las lluvias, ciclones, heladas, etc. y los geológicos entre los que se engloba al vulcanismo, sismicidad, deslizamientos, avalanchas y subsidencia.

Los Peligros Antropogénicos se generan por las actividades del hombre que modifican el medio físico a través de las obras civiles, explotación de yacimientos pétreos, extracción del agua subterránea, cortes en laderas para la construcción de vías terrestres y fraccionamientos, modificaciones a las corrientes superficiales de agua; ocasionalmente las transformaciones químicas, entre otros.

## 5.2 GEOLOGÍA EN EL MUNICIPIO DE IRAPUATO.

El territorio que conforma el Municipio de Irapuato se ubica en la franja sur de la provincia de la Mesa del Centro y en la Faja Volcánica Transmexicana, compuesta por depósitos vulcano-sedimentarios en gran parte de las zonas planas; y de estructuras volcánica de edad Pleistoceno-Oligoceno; se encuentran algunos contactos con estructuras sedimentarias, que posiblemente corresponden a rocas Cretácicas pertenecientes al basamento de los depósitos y estructuras volcánicas emplazadas durante el Oligoceno-Pleistoceno (**Figura 5.1**).

Las partes bajas se conforman por depósitos aluviales, compuestos de material vulcano-sedimentario que dan origen a llanuras y planicies que contienen los acuíferos de la zona. A pesar de las pocas evidencias, se ha asumido que muchos de los problemas relacionados con el fracturamiento de tensión identificado dentro de la zona conurbada de la ciudad de Irapuato son producto de la continua extracción de agua lo que ha provocado asentamientos y las fracturas antes mencionadas. Es también probable que la caracterización tectónica del área haya contribuido a la formación de fracturas de tensión proporcionando una configuración en la superficie rígida que controla la aparición de fracturas al presentarse la deformación que es ocasionada por la continua extracción del agua.

Se observan afloramientos de rocas ígneas prácticamente en toda el área con presencia o afloramientos de rocas metamórficas correspondientes al Cretácico.

Las litologías más comunes en toda el área son rocas ácidas entre las que se observan tobas Rioltíticas ricas en minerales de sílice (cuarzo, feldespatos y plagioclasas). Asimismo encontramos en el centro y poniente del municipio rocas de composición andesítica color gris.

Proporcionalmente, los suelos del tipo aluvial cubren el 45.53% del territorio y son claramente diferenciados en las zonas de cultivo de riego y temporal, además de las zonas de valle y lomeríos suaves sobre la cual se ha generado el desarrollo y crecimiento del área urbana e industrial.

En segundo orden de importancia se encuentran la Riolita y la Andesita, que cubren el 14.58% y 12.40 % del territorio, respectivamente. Las Areniscas y basaltos localizadas en la zona de laderas son potencialmente aprovechables como material de construcción y en distintos sitios ya se desarrolla su aprovechamiento.

### 5.2.1 Columna estratigráfica.

La secuencia de las unidades litológicas describe a continuación:

#### Mesozoico.

Esta era está representada por secuencias metamórficas, complejos intrusivos, depósitos vulcanosedimentarios marinos y secuencias sedimentarias marinas afectadas por plegamientos, que en algunas porciones del territorio fueron levantadas por los procesos tectónicos del terciario.

#### Cenozoico.

En el Cenozoico la sobreposición de las unidades geológicas está íntimamente relacionada con los procesos orogénicos y el emplazamiento de los dos grandes arcos volcánicos que afectaron al centro del país.

#### Terciario.

**Andesita Bernalejo.** Con este nombre Quintero-Legorreta (1992), designa a un afloramiento de rocas andesíticas en las cercanías del poblado de Bernalejo. Conagua, 2009, menciona que la extensión superficial de esta unidad es muy reducida, expuesta por erosión o fallamiento, observándose en éstos un afloramiento de rocas altamente fracturadas y alteradas, de color gris oscuro y tonalidades violáceas, presentando texturas que varían entre microcristalina a porfirítica, notándose la presencia de fenocristales de plagioclasa alterada. El espesor de la unidad no se ha determinado, y se considera que está en contacto discordante con las unidades intrusivas al poniente de San Francisco del Rincón, y le sobreyacen unidades ignimbríticas. La edad de esta unidad es Oligoceno Temprano, y se le asigna tomando en cuenta su posición estratigráfica.

**Ignimbrita Cuatralba.** Quintero-Legorreta (op. cit.), agrupa bajo este nombre a todo el material volcánico de naturaleza piroclástica localizados en las mesetas de la Sierra de Guanajuato, es ampliamente distribuida en el territorio del estado, Conagua, 2009, la divide informalmente en dos miembros, el miembro inferior se compone de una toba masiva, de composición félsica presentando un color que varía de café claro a crema, es poco consolidada, y los materiales predominantes son cenizas, con escasos fragmentos líticos y pómez, sin colapsar. El miembro superior, es una roca ignimbrítica bien consolidada de espesor variable y textura porfirítica. Con abundantes fenocristales de cuarzo, sanidino y escasas plagioclasas, inmersos en una matriz muy fina en algunas porciones vítrea. Se observa en esta unidad estructura fluidal y desarrollo de diaclasas, en ciertas porciones se observa estructura vesicular y de flama (fiamme). El miembro inferior no siempre se detecta, por su baja resistencia a la erosión, mientras el miembro superior siempre está presente, el espesor de la unidad es muy variable, y es difícil de estimar por el efecto de la erosión sobre el miembro inferior (Conagua, 2009).

**Conglomerado Xoconostle.** El nombre de conglomerado Xoconostle fue adoptado por Pasquaré et al (1991), para describir a las rocas conglomeráticas producto de la erosión de las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental. No aflora en el área de estudio, pero al norte aflora en los alrededores de la Sierra de Guanajuato, y está constituido por clastos gruesos de ignimbritas y en menor proporción de fragmentos andesíticos, además de horizontes de rocas areniscas

alternando con limolitas pobremente cementadas, interestratificadas con capas de conglomerado. No se cuenta con evidencias paleontológicas que permitan asignarle una edad, pero relacionándolo con los eventos tectónicos del Plioceno, se le asigna una edad Miocénica. Por la similitud de las descripciones de las unidades Ignimbríticas y los sedimentos continentales puede establecerse una correlación entre las unidades reportadas por Conagua, 2009.

**Secuencia Volcánica del Mioceno Tardío.** Pasquaré et al (1991), agrupa a una serie de rocas volcánicas básicas e intermedias y algunas veces riolíticas, esta secuencia tiene un dominio regional localizándose afloramientos en las inmediaciones de la Ciudad de Querétaro, aunque es posible que se asocien afloramientos desde el Estado de Jalisco hasta el Estado de Querétaro. Estos productos volcánicos definen en conjunto un arco volcánico con un rumbo general E-W, y se distinguen como la base del Eje Neovolcánico, (Pasquaré op. cit.). Las principales unidades que se agrupan en esta secuencia son: Basaltos Río Lerma; Basaltos Villa Morelos; Basaltos Querétaro; Andesitas y Basaltos Tarímbaro; Andesita La Ordeña; Secuencias de sedimentos lacustres asociados al emplazamiento de cuencas endorreicas.

#### Cuaternario.

**Campo Volcánico Michoacán – Guanajuato.** Este campo cuenta con aproximadamente 900 conos cineríticos y 100 volcanes de otros tipos, tales como conos, domos y gruesos derrames de lava no asociados, conos y maeres, además de estos se han reportado 300 volcanes de tamaño medio (formando algunos un escudo de aproximadamente 10 Km de diámetro), abarcando una superficie de aproximadamente 40,000 Km<sup>2</sup>. (Conagua, 2009; Ban et al, 1992). Las unidades que se distinguen dentro del campo son las siguientes: Conos Cineríticos Villa Escalante (fuera del área de estudio); Volcanes de Escudo y Pequeños Conos de Lava; Domos Andesíticos Pátzcuaro (fuera del área de estudio); Domos del Pleistoceno (Domos Riolíticos y Dacíticos El Oro); Domos Riolíticos y Dacíticos Puruandiro (fuera del área de estudio) y; Volcanes Monogenéticos

**Conos Cineríticos Villa Escalante.** De acuerdo con Hasenaka y Carmichael (1985), es una unidad constituida por volcanes altamente degradados morfológicamente, que se localiza en la región de Villa Escalante, Michoacán y en la Depresión Salamanca – Querétaro. Esta unidad se compone de derrames de lavas asociados a los conos cineríticos, donde se reportan abundantes conos con derrames de basalto de olivino, calcialcalinos y andesitas basálticas. Con el uso de técnicas radiométricas, en la Depresión de Salamanca – Querétaro, se han reportado edades en muestras de esta unidad de 2.8 millones de años, por lo que, Hasenaka y Carmichael (op. cit.), la ubican en el Plioceno Tardío, sin embargo Pasquaré et al (op. cit.) asignan un margen más amplio de edad, ubicándola en el Plioceno Tardío – Pleistoceno Temprano.

**Volcanes de Escudo y Pequeños Conos de Lava.** Esta unidad se encuentra bien representada en el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG), pero su distribución abarca una amplia zona en el Eje Neovolcánico y está constituida principalmente por pequeños volcanes de escudo y por conos de lava. Esta unidad presenta una variedad rocas ígneas extrusivas, que en el CVMG, predominan los conos andesíticos (Pasquaré et al, op. cit.), mientras que en los volcanes de escudo Hasenaka et al (1994), reporta lavas menos evolucionadas, reportando lavas andesíticas calcialcalinas, que muestran un rango limitado de SiO<sub>2</sub>, con ocurrencia común de fenocristales de ortopiroxeno. La edad en esta unidad de acuerdo con las dataciones realizadas en muestras de esta unidad, se establece un rango limitado entre 1.3 y 0.83 millones de años, colocando a estas rocas en el Pleistoceno Tardío – Holoceno. (Pasquaré et al, op. cit.).

**Volcanes Monogenéticos.** La continuación de la actividad volcánica ubica a esta unidad como la unidad volcánica más joven en el Eje Neovolcánico, representada por efusiones de productos básicos e intermedios, se distingue la presencia de siete maeres alineados en dirección NNW, cercanos al poblado Valle de Santiago, en la Depresión Salamanca – Querétaro. La litología de brechas basálticas en los conos cineríticos y algunos flujos de lavas andesítico - basálticas. Los análisis radiométricos le asignan una edad dentro del orden de 0.54 a 0.05 millones de años, por lo que su posición estratigráfica la ubica en el Pleistoceno.

**Aluvión.** Esta unidad agrupa a todos los depósitos originados a partir de la erosión e intemperismo de las rocas que afloran en las porciones altas en la región. La zona de exposición de esta unidad es muy amplia localizándose en las partes bajas de los valles, desde la región Celaya – Salamanca – Irapuato, el espesor es muy variable, haciéndose más delgado en la zona de Salamanca e Irapuato respecto a la zona de Celaya. Existe gran variación en la composición de esta unidad y su granulometría abarca desde sedimentos finos como son limos y arcillas, hasta las arenas mal clasificadas, desde finas a gruesas, y algunos fragmentos del orden de las gravas, también se encuentran los suelos residuales.

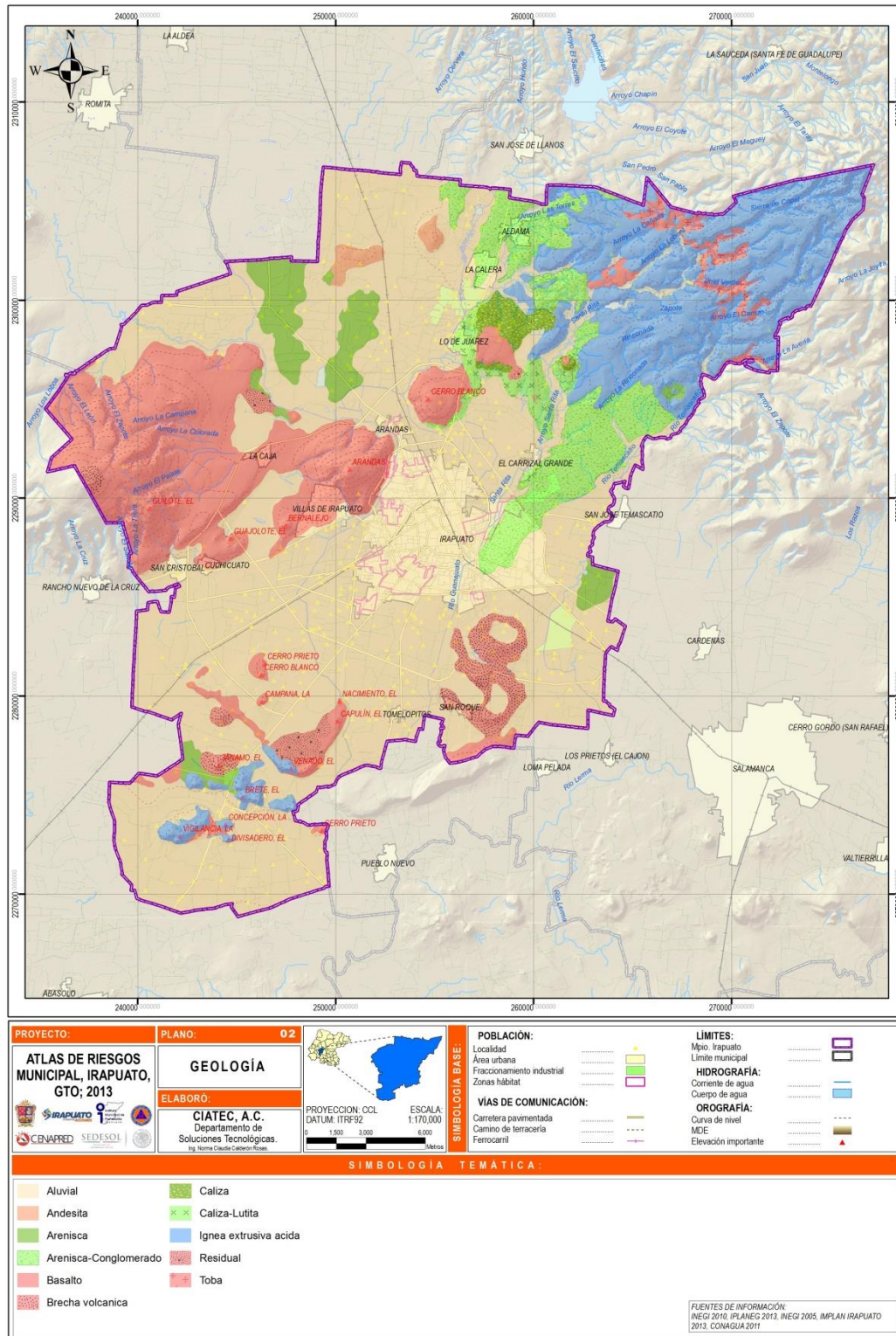


Figura 5.1 Geología regional del Municipio de Irapuato.

### 5.2.2 Geología estructural.

En el marco regional, Conagua (2009), hace una descripción del contexto regional en el cual se describe una amplia zona de aproximadamente 113 Km de longitud por 30 Km de amplitud, denominada Depresión de Salamanca – Querétaro, formando un amplio valle seccionado por conos cineríticos, volcanes de escudo, maares y flujos de lavas de diversa composición, la orientación de la estructura es Este-Oeste. Sin embargo, en la zona de estudio no se observan evidencias directas de las estructuras, como pueden ser planos de falla expuestos, por esta razón se recurrió a la utilización de técnicas indirectas para inferir las estructuras geológicas dominantes en el área.

Una dificultad para la localización de estructuras es la topografía, ya que en la superficie estudiada, las pendientes y desniveles son muy bajos, por otro lado los flujos de lavas y los depósitos aluviales cubren en su mayoría los elementos estructurales, por lo que la expresión de la geología estructural del área, se ha reportado casi en todos los trabajos consultados como una amplia depresión rellena de materiales volcánicos y sedimentarios, sin definir mayor detalle de los posibles bloques cubiertos, reflejo de las condiciones tectónicas.

Por tal motivo una forma de resaltar las estructuras geológicas en el subsuelo es la realización de perfiles morfoestructurales, de acuerdo con la metodología propuesta por Conagua (2009), la cual propone que los materiales que rellenan las cavidades producidas por efecto de los movimientos distensivos, conservan un relicto de la superficie del basamento, por lo que las deformaciones de este se pueden observar si se exagera la escala vertical de una sección topográfica.

Mediante esta técnica se logró determinar la posible ubicación de bloques altos y bajos cubiertos por formaciones más recientes en el Valle de Irapuato y Valle de Santiago, mostrando una fragmentación producto de los esfuerzos que actuaron en el Terciario.

Para los fines de estudio del presente trabajo, se identificaron tres Unidades Estratigráficas: lavas basáltico-andesíticas, rocas ácidas y sedimentos de origen volcánico (**Figura 5.2**). En el Mapa Geológico se muestran la distribución de las Unidades Estratigráficas, en la que se observa una predominancia de los depósitos vulcanosedimentarios en contraste con las estructuras del entorno como son los aparatos volcánicos y estructuras monogenéticas compuestas de tobas ácidas, ignimbritas y coladas de roca basáltico-andesítica. Las lavas basáltico-andesíticas tabulares del Terciario Inferior corresponden al basamento geológico de la zona, forman la base del acuífero y se consideran impermeables. La **figura 5.2** muestra un afloramiento del mismo.

Las partes bajas se conforman por depósitos aluviales, compuestos de material vulcanosedimentario que dan origen a llanuras y planicies que contienen los acuíferos de la zona (**Figura 5.3**). Los problemas relacionados con el fracturamiento de tensión identificado dentro de la zona conurbana de la ciudad de Irapuato son producto del desarrollo en exceso de los sistemas acuíferos, provocando hundimiento y fracturamiento; donde se aprecia la planicie y una estructura de observación del canal que está fallada debido al agrietamiento y asentamiento superficial por sobreexplotación del acuífero.

Los sistemas de elevaciones topográficas tienen materiales geológicos diversos, hacia el poniente de Irapuato los basaltos son los materiales constitutivos de los cerros, mientras que al oriente y centro norte las tobas e ignimbritas riolíticas prevalecen. Estas rocas son una manifestación de las rocas ácidas pertenecientes a la Faja Ignimbrítica Mexicana.



**Figura 5.2 Afloramiento de la roca basáltico-andesita del terciario Inferior que forma en basamento de la región.**

En todas las elevaciones topográficas se observan capas delgadas de suelos residuales cuya granulometría puede estar compuesta de arcilla cuando la alteración química prevalece, o de arenas y gravilla cuando el intemperismo mecánico domina.

En el valle se tiene un espesor importante de los depósitos del tipo lacustre conformados por arcillas y limos, ambos descansan sobre gruesos paquetes vulcanosedimentarios.



**Figura 5.3 Planicie formada por depósitos vulcanosedimentarios y del tipo lacustre, hundimiento y agrietamiento por sobreexplotación del acuífero.**

## 5.3 SUSCEPTIBILIDAD POR FALLAS GEOLÓGICAS.

### 5.3.1 Fisiografía.

Resulta de suma importancia mencionar el análisis del medio físico del territorio del Municipio de Irapuato, debido a su importancia como el escenario donde se asientan todas las actividades humanas, que son definitivamente; las que articularán el progreso de la misma. El conocimiento físico del área en estudio brinda la posibilidad de observar tanto los factores favorables como los adversos al momento de definir el aprovechamiento del espacio, logrando reflexionar en cuanto a la vulnerabilidad de los recursos y los posibles peligros que los acechan, así como el correcto uso y

su susceptibilidad de aprovechamiento. El polígono que define al Municipio de Irapuato comprende dos Provincias Fisiográficas:

- Provincia Fisiográfica IX. Mesa del Centro: caracterizada por ser una provincia de amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en su mayoría de naturaleza volcánica.
- Provincia Fisiográfica X, Faja Volcánica Transmexicana, la cual posee una gran cantidad de fosas y pilares, cruza a toda la República Mexicana de Oeste a Este y ahí se desarrolla la principal actividad agrícola del estado de Guanajuato,

En el sector centro-norte de la Faja Volcánica Transmexicana se presenta la Subprovincia Fisiográfica de la Depresión del Bajío, que inicia al sur-orienté de Irapuato y se desarrolla hasta el Valle de Celaya.

El municipio de Irapuato tiene un 98.76% de su superficie total en la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana, perteneciendo el restante 1.24% a la provincia fisiográfica de la Mesa del Centro. Dadas tales circunstancias, su relieve territorial está constituido en un 62.28% por llanuras, cuyas pendientes promedio son de 1 al millar; siendo el restante 37.72% constituido por lomeríos, sierras y mesetas.

### 5.3.2 Lineamientos Tectónicos.

El territorio del Municipio de Irapuato se encuentra cubierto de estructuras volcánicas que en su mayoría han sido atravesados por los sistemas de fallas muy posiblemente de origen tectónico, las cuales fueron identificadas a partir de imágenes de radar procedentes del continuo de elevaciones de INEGI. Las fallas, que en su mayoría cuentan solo con dos vértices; se trazaron sobre el modelo y posteriormente se convirtieron a vectores, los cuales se utilizaron para determinar la orientación predominante para todo el Municipio de Irapuato (Figura 5.4).

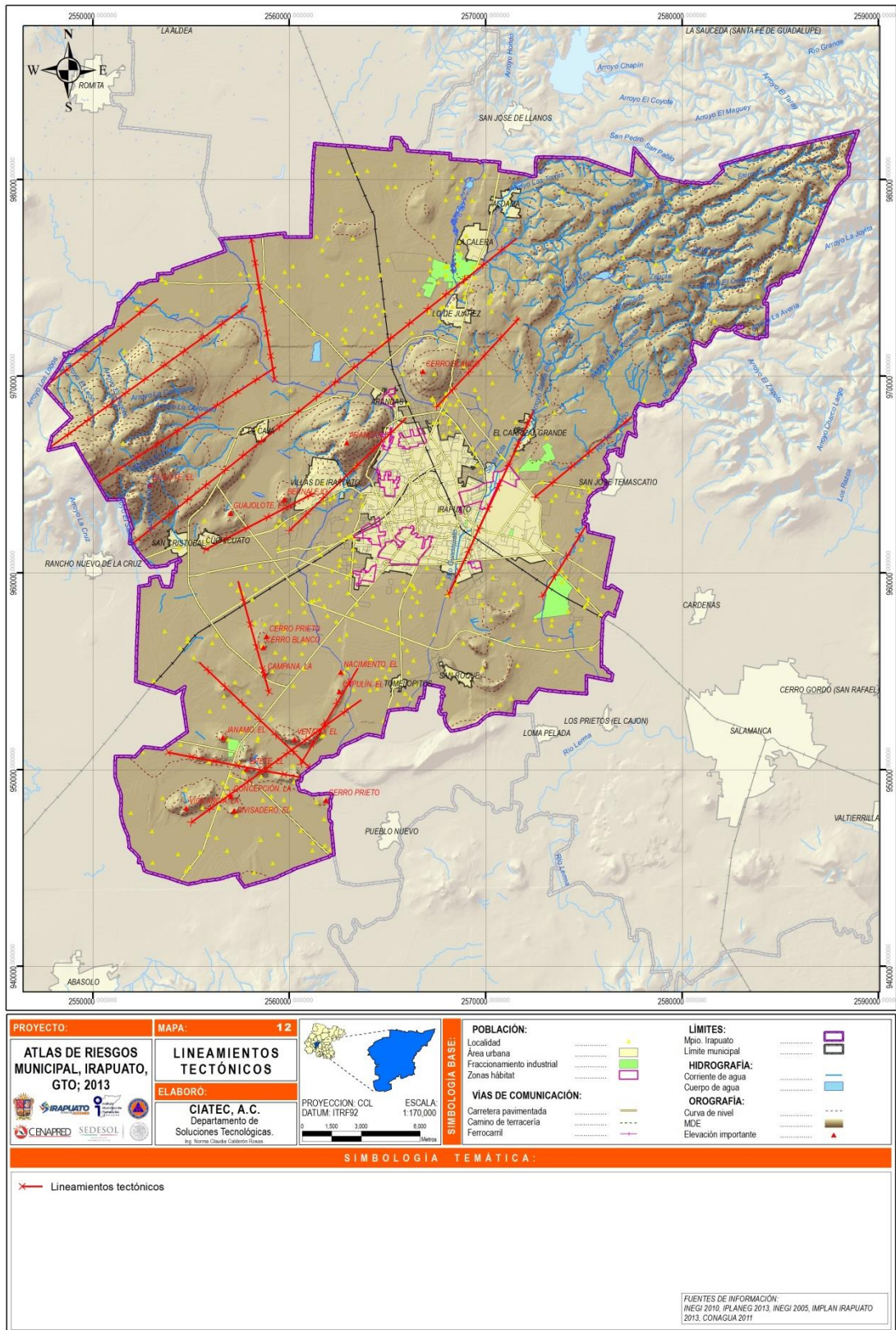
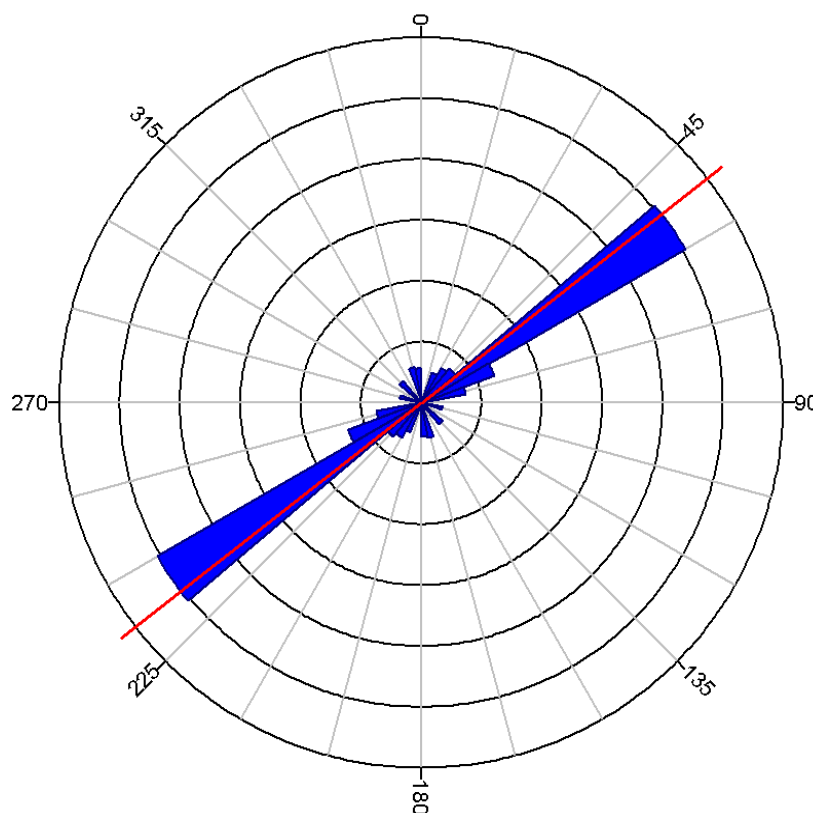


Figura 5.4 Lineamientos Tectónicos en el Municipio de Irapuato.

Hay varias formas de trazar una rosa de fracturamiento; las principales en función de la densidad de las fracturas y la que se utiliza en este modelo, que es de acuerdo a la longitud de cada una de las fracturas. El trazado del fracturamiento a nivel regional está asociado a los esfuerzos tectónicos; por ello se optó no considerar el número de fracturas si no la longitud total de las mismas en donde se obtuvo un modelo con una orientación ponderada en dirección NE-SW tal como se muestra en la **figura 5.5**. Existen otras orientaciones, sin embargo; dado que la longitud total es corta solo aparece con pétalos muy pequeños dentro del primer círculo de la gráfica, tal como se observa en los pétalos en el centro de la **figura 5.5**.



**Figura 5.5 Rosa de direcciones de fracturamiento en el Municipio de Irapuato.**

#### **5.4 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA IRAPUATO.**

De acuerdo los recorridos de campo en la extensión del territorio del Municipio de Irapuato, la recopilación de los estudios de ingeniería geotécnica, características geohidrológicas e hidrológicas y de la distribución de las Unidades Estratigráficas, se generó el Mapa de Zonificación Geotécnica del Municipio de Irapuato, definiéndose dos zonas claramente diferenciadas (**Figura 5.6**).

##### **Zona Geotécnica Rocosa.**

Esta zona corresponde a todas las elevaciones topográficas, desde las más conspicuas hasta las más suaves, su estratigrafía corresponde a una capa de suelos residuales que cubre de manera indistinta a las lavas máficas y ácidas. Al día de hoy, no se han reportado problemas de inestabilidad de laderas o deslizamientos, pero cabe recordar que las rocas están sumamente fracturadas y que la presencia de agua genera empujes hidrodinámicos a razón de  $10\text{kN/m}^2$ , por

tanto será necesario recomendar los estudios de mecánica de rocas en construcciones que se pretendan en esta Zona Geotécnica Rocosa.

Los problemas que se pueden presentar en las laderas corresponden a graneos, volteos, deslizamientos, fallas de cuña, grietas de corona, cavidades por escape de gas, erosión e intemperismo en las ignimbritas riolíticas o cualquier afloramiento expuesto.

### **Zona Geotécnica del Valle.**

Corresponde a todas las llanuras o planicies, en el mapa de Zonificación Geotécnica aparece identificado en verde claro; desde el punto de vista estratigráfico se compone en la superficie de arcillas del tipo lacustre, que descansan sobre un cuerpo de limos, ricos en carbonato de calcio; estos dos tipos de sedimentos yacen a los materiales vulcanosedimentarios que forman lo que se conoce como tobas o tepetate, en general son suelos muy firmes.

En la Zona Geotécnica del Valle se tienen perforados más de cuatro mil pozos, cuya extracción genera las cuatro fases de la deformación por flujo hidrodinámico que inducen el hundimiento regional, así como la presencia de grietas de tensión. En el Valle de Irapuato se reconocieron siete grietas, mismas que se definen en el capítulo de hundimientos.

Por la profundidad del nivel estático (mayor a 100 m), los suelos están parcialmente saturados adquiriendo una cohesión mayor, debido a la fuerza de tensión del agua, confiriendo una firmeza inusual a los sedimentos y materiales vulcanosedimentarios. El abatimiento de la superficie del agua genera el incremento del esfuerzo efectivo y la compresión de los sedimentos, se tienen poros más pequeños los cuales sufren un flujo plástico o creep, por ello aún después de suspender la extracción de agua subterránea, la recompresión sigue de manera viscosa.

Podría sugerirse la existencia de la zona geotécnica de acarreo, sin embargo; los ríos de la región presentan un cauce definido y no se tienen depósitos fluviales relevantes.

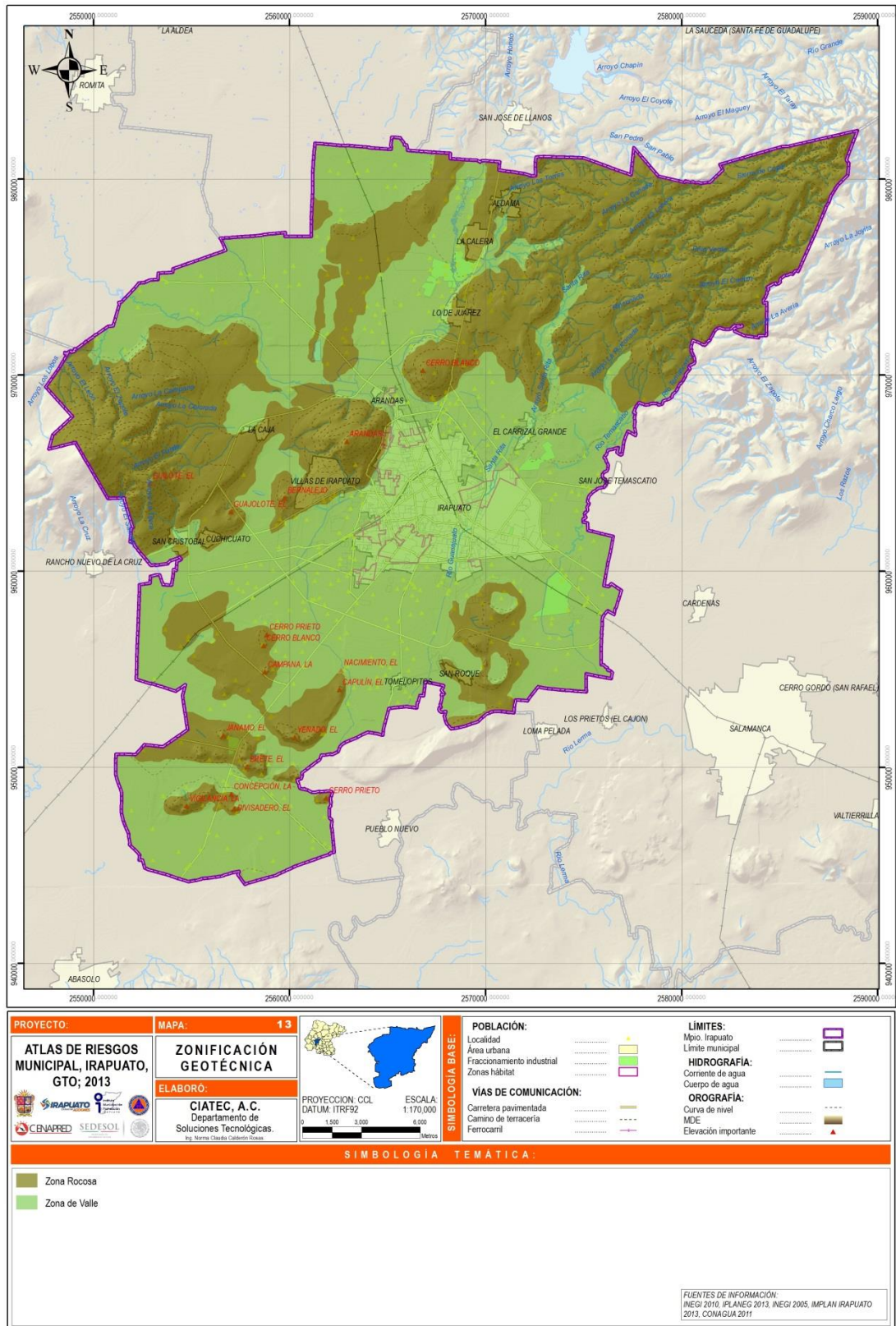
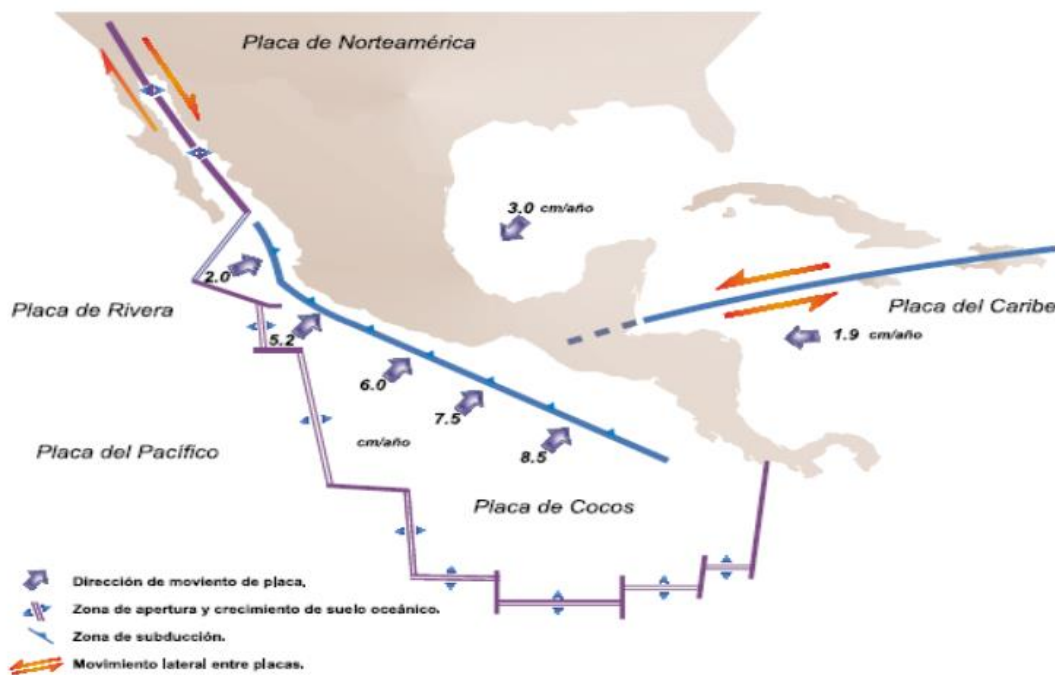


Figura 5.6 Mapa de Zonificación Geotécnica, Irapuato, Gto.

## 5.5 ZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA EL MUNICIPIO DE IRAPUATO.

### 5.5.1 Conceptos básicos y entorno nacional de la sismicidad.

Más del 80 % de la sismicidad mundial tiene lugar en el Cinturón Circumpacífico, franja que incluye las costas de Asia y América, principalmente. El territorio nacional, asociado al Cinturón Circumpacífico, se encuentra afectado por la movilidad de cuatro placas tectónicas: la de Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico. La **figura 5.7** muestra la configuración de estas placas en el territorio nacional; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas.



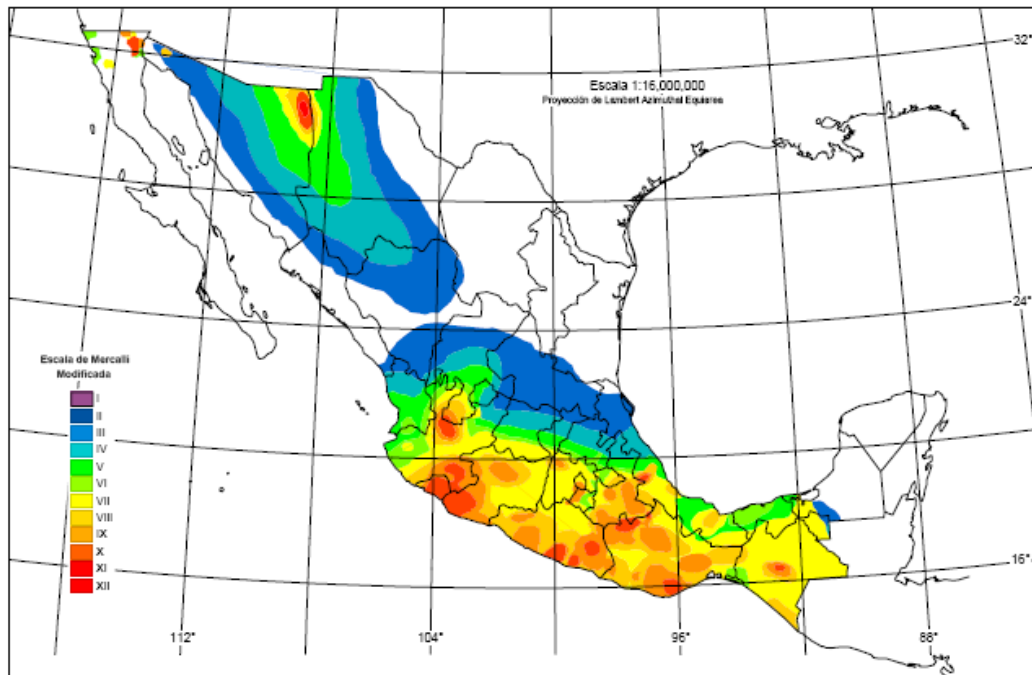
**Figura 5.7 Configuración de placas tectónicas en el territorio nacional (CENAPRED 2001).**

La generación de los temblores más importantes en México se debe básicamente, a dos tipos de movimiento entre placas. A lo largo de la porción costera de Jalisco hasta Chiapas, las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la Norteamericana, ocasionando el fenómeno de subducción. Por otra parte, entre la placa del Pacífico y la Norteamericana se tiene un desplazamiento lateral cuya traza, a diferencia de la subducción, es visible en la superficie del terreno; esto se verifica en la parte norte de la península de Baja California y a lo largo del estado de California, en los Estados Unidos. Menos frecuentes que los sismos por contacto entre placas (intraplaca), son los que se generan en la parte interna de ellas, lejos de sus bordes; aun en zonas donde se ha llegado a suponer un nivel nulo de sismicidad.

### 5.5.2 Intensidad sísmica.

La intensidad de un sismo en un lugar determinado, se evalúa mediante la Escala Modificada de Mercalli y se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y en el terreno. Para visualizar los daños y efectos a nivel regional producidos por un sismo de magnitud importante, la elaboración de mapas de intensidades sísmicas resulta de gran utilidad. En ellos se presentan curvas, llamadas isosistas, que separan zonas con distintos grados de intensidad y que permiten comparar las áreas y niveles de afectación producto de un evento en particular.

Como resultado de la superposición de los mapas disponibles de intensidades de sismos ocurridos en México, se presenta la **figura 5.8**. Aunque en este mapa global de intensidades máximas no están incluidos los efectos de todos los grandes sismos en ese periodo, la distribución de los temblores correspondientes se considera representativa de la sismicidad en México. Así, es posible tener una apreciación útil de los diferentes niveles de peligro por sismo en nuestro país en el momento de referirse a un sitio específico de estudio.



**Figura 5.8 Mapa de isosistas de temblores ocurridos entre 1845 y 1985. (CENAPRED 2001).**

Debe hacerse énfasis en que la distribución de los eventos considerados en este mapa es representativa de la sismicidad en México. Para el mismo periodo, se muestran intensidades sísmicas para la península de Baja California, sólo en los sitios donde se contaba con reportes. La forma y el tamaño de las áreas indicadas para esta zona no representan el alcance total de los efectos del temblor.

En el caso del territorio del Municipio de Irapuato, se observa que existe una transición de franjas de intensidad sísmica (de acuerdo a la escala de Mercalli) del rango del VI al VII, los cuales se definen de la siguiente forma:

**Tabla 5.1 Escala modificada Mercalli de intensidades de Sismos (Modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Neuman).**

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I   | Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| II  | Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.                                                                                                                                                                                        |
| III | Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.                                       |
| IV  | Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente. |

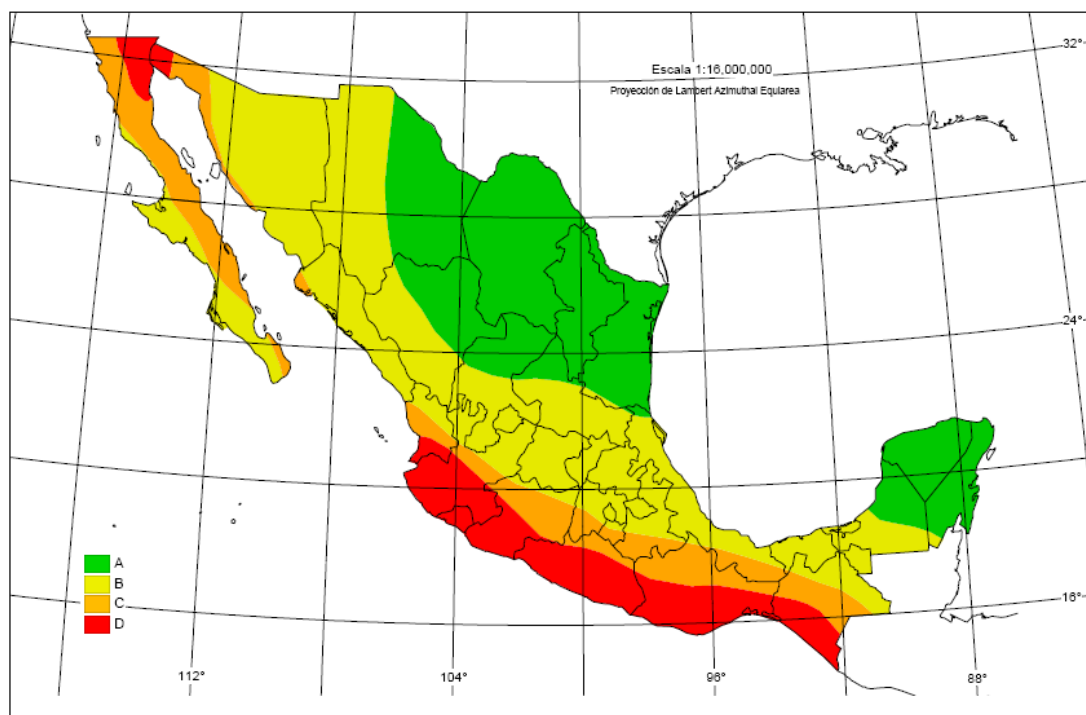
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V    | Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.                                                                                                                                                                                             |
| VI   | Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| VII  | Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.                                                                                                                                                                                  |
| VIII | Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados. |
| IX   | Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.                                                                                                                                                                                                             |
| X    | Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.                                                                                                                                 |
| XI   | Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| XII  | Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

### 5.5.3 Regionalización sísmica de México y del Municipio de Irapuato.

Empleando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud, se ha definido la Regionalización Sísmica de México. Ésta cuenta con cuatro zonas definidas por la Comisión Federal de Electricidad (Manual de Obras Civiles). La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos, no se han reportado sismos grandes en los últimos 80 años y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad (g). En la zona D han ocurrido con frecuencia grandes temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% de g. Las zonas B y C, intermedias a las dos anteriores, presentan sismicidad con menor frecuencia o bien, aceleraciones del terreno que no rebasan el 70% de g. (CENAPRED, 2001).

De acuerdo a esta regionalización sísmica, el Bajío pertenece a la región de riesgo intermedio a bajo, ya que la aceleración máxima del terreno esperada para un período de retorno de 500 años es de menos de 100 cm/seg<sup>2</sup>.

El territorio que pertenece al Municipio de Irapuato está comprendido dentro de la franja considerada de riesgo sísmico moderada (zona B), sin embargo; la mayor probabilidad de ocurrencia de desastres se ubica en los centros urbanos (derivado de la exposición de la población y la infraestructura), en este caso principalmente la Ciudad de Irapuato, en donde se encuentra la mayor densidad de población del Municipio (Figura 5.9).



**Figura 5.9 Regionalización sísmica de México (CENAPRED, 2001).**

Las estructuras geológicas en el Municipio de Irapuato se caracterizan por presentar una familia de fallas geológicas inactivas orientadas sensiblemente NNE-SSW. Las fallas geológicas inactivas ejercen un control pasivo sobre la orientación en que aparecen aquellas debidas a la pérdida de la presión de poro por declinación del acuífero. En la región del Estado de Guanajuato, considerada “penisísmica” se han tenido, aunque moderadamente, actividad sísmica en los últimos años. Las aceleraciones espectrales son bajas y sismos poco frecuentes. En la **Tabla 5.2** se muestran en orden cronológico los sismos más relevantes hasta el año 2015, además de clasificarlos por la profundidad de su epicentro, en amarillo los someros (0 a 50 km en la corteza) y en verde los intermedios (50 a 300 km en la corteza).

**Tabla 5.2 Eventos sísmicos históricos (Catálogo de Sismicidad Histórica del SSN; [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx))**

| Fecha      | Hora     | Latitud | Longitud | Prof. (km) | Mag. | Zona                                         |
|------------|----------|---------|----------|------------|------|----------------------------------------------|
| 29/01/1998 | 01:59:41 | 20.37   | -100.11  | 5          | 3.7  | Querétaro-Guanajuato                         |
| 30/04/2006 | 13:39:02 | 19.99   | -100.84  | 15         | 4.2  | 13 km al Suroeste de Acámbaro, Gto.          |
| 30/07/2010 | 15:55:13 | 21.19   | -101.07  | 5          | 3.7  | 15 km al Noroeste de Dolores Hidalgo, Gto.   |
| 12/08/2012 | 14:49:26 | 21.16   | -101.39  | 15         | 3.7  | 21 km al Noroeste de Guanajuato, Gto.        |
| 12/08/2012 | 11:31:23 | 21.1    | -101.28  | 15         | 3.6  | 9 km al Norte de Guanajuato, Gto.            |
| 04/12/2014 | 22:41:12 | 21.02   | -101.59  | 12         | 3.6  | 14 km al Sureste de León De Los Aldama, Gto. |
| 24/02/2015 | 04:17:37 | 20.63   | -101.84  | 15         | 3.7  | 16 km al Sureste de Cd Manuel Doblado, Gto.  |
| 03/04/2003 | 03:44:01 | 20.79   | -101.66  | 147        | 3.9  | Guanajuato                                   |
| 27/06/2006 | 10:40:11 | 20.65   | -101.64  | 66         | 3.9  | 5 km al Noreste de Cuerámbaro, Gto.          |

De acuerdo a la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales De Peligros Y Riesgos, en su apartado relativo a Fenómenos Geológicos y en el anexo 1 y 2 de su capítulo de Peligro Sísmico se tiene que para el Municipio de Irapuato, los Valores de Aceleración Máxima del Terreno que corresponden a Periodos de Retorno de 10, 100 Y 500 años se muestran en la **Tabla**

5.3 y en las figura 10, 11 y 12, los cuales son dados para dar una guía a los municipios y para la toma de decisiones en la materia; también se agregan en dicha tabla los valores de Periodos de Retorno para Aceleraciones del Terreno de 0.15g o mayores que para el sitio es de 6,882 años (figura 13).

**Tabla 5.3 Valores de Aceleraciones Máximas del Terreno y Periodos de Retorno para Aceleraciones del Terreno estimados en el Municipio de Irapuato. (CENAPRED, 2014).**

| Valores de Aceleración Máxima del Terreno ( $\text{cm/s}^2$ ) |    | Periodos de Retorno para Aceleraciones del Terreno de 0.15g o mayores |         |
|---------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------|---------|
| Tr= 10 años                                                   | 11 | Altura (m.s.n.m.)                                                     | 1730    |
| Tr= 100 años                                                  | 27 | Población                                                             | 319,148 |
| Tr= 500 años                                                  | 45 | Tiempo de Retorno                                                     | 6882    |



**Figura 5.10 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años en México (CENAPRED, 2014).**



Figura 5.11 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años en México (CENAPRED, 2014).

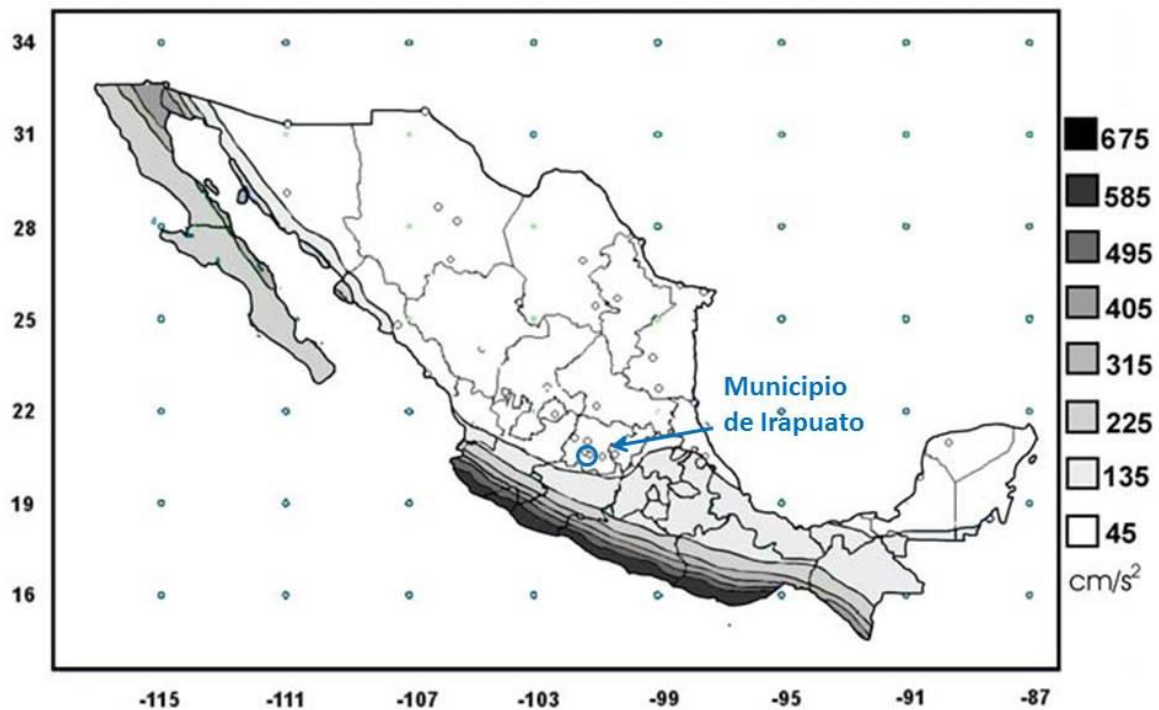


Figura 5.12 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años en México (CENAPRED, 2014).

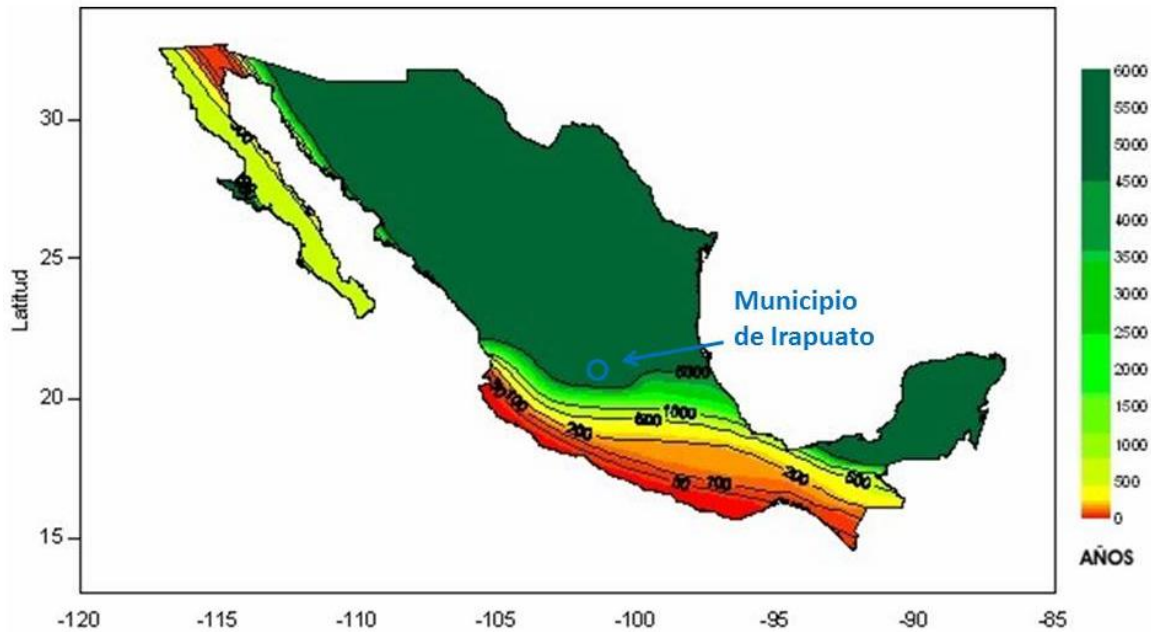


Figura 5.13 Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 de g o mayores (CFE). La escala del lado derecho tiene valores en años. (CENAPRED, 2014).

#### 5.5.3.1 Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Irapuato

Los Sondeos Sísmicos de Refracción “SSR” fueron realizados en las primeras horas del día para evitar el ruido ambiental; se utilizó un equipo denominado Geometrics ES 3000 con doce receptores (geófonos), con estaciones de medición a 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 45 m, 50 m, 55 m, y 60 m; para el SSR las estaciones de medida fueron: 1 m, 3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m y 30 m. Con los sondeos de refracción y la imagen de velocidad se cubrió una longitud total de 650 m (Figura 5.14).



Figura 5.14. Fotografías de los Sondeos Sísmicos de Refracción en campo

Mediante la técnica de ruido ambiental, se realizaron mediciones en veinte sitios diferentes del Municipio de Irapuato, los datos aparecen en la Tabla 5.4 y el resumen con los valores promedio en la Tabla 5.5.

De acuerdo a la información recolectada en los trabajos de campo, los valores de período fundamental de vibración, la geología y estratigrafía regional, se pueden diferenciar dos zonas sísmicas definidas en función del período fundamental de vibración.

En las **figuras 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17** se muestran los espectros de las señales procesadas, que fueron realizadas con un geófono de componente vertical de 0.1Hz y registros de 30 segundos.

Los materiales geológicos son del tipo firme, el nivel estático se encuentra a una profundidad de 100 m o mayor, por lo que no ejerce efecto alguno en el comportamiento dinámico de los sedimentos y en los altos topográficos las rocas están sanas, por lo que no se presentan efectos de amplificación. De esta forma, las dos zonas sísmicas se definen conforme al criterio establecido en la **figura 5.19**.

#### ***Zona Sísmica de Sedimentos Firmes.***

En las planicies de Irapuato es donde se realizaron el mayor número de mediciones, se obtuvieron valores de período fundamental en el rango de 0.037 a 0.039 s, valores muy bajos; por lo que no hay efectos de amplificación debido a presencia de agua.

#### ***Zona Sísmica de Rocas.***

Se realizaron varias mediciones en las partes altas, obteniendo valores de periodo fundamental en el rango de 0.044 a 0.103 s, valores muy bajos por lo que no hay efectos de amplificación topográfica.

**Tabla 5.4 Datos interpretados mediante el programa "Microseismic" en las mediciones realizadas en el Municipio de Irapuato.**

| Sitio | archivo | Amplitud | T <sub>0i</sub> (s) | frecuencia (Hz) | Sitio | archivo | Amplitud | T <sub>0i</sub> (s) | frecuencia (Hz) |
|-------|---------|----------|---------------------|-----------------|-------|---------|----------|---------------------|-----------------|
| I1    | 1       | 0.0179   | 0.058               | 17.33           | I2    | 1       | 0.0143   | 0.034               | 29.85           |
|       | 2       | 0.0138   | 0.040               | 25.27           |       | 2       | 0.0135   | 0.034               | 29.05           |
|       | 3       | 0.0152   | 0.047               | 21.30           |       | 3       | 0.0134   | 0.034               | 29.42           |
|       | 4       | 0.0168   | 0.038               | 26.43           |       | 4       | 0.0134   | 0.034               | 29.42           |
|       | 5       | 0.0184   | 0.036               | 27.95           | I4    | 1       | 0.0145   | 0.041               | 24.41           |
|       | 6       | 0.0166   | 0.053               | 18.80           |       | 2       | 0.0139   | 0.036               | 27.53           |
| I3    | 1       | 0.0122   | 0.039               | 25.45           |       | 3       | 0.0147   | 0.038               | 26.25           |
|       | 2       | 0.0143   | 0.035               | 28.20           |       | 4       | 0.0155   | 0.055               | 18.25           |
|       | 3       | 0.0139   | 0.040               | 24.90           |       | 5       | 0.0210   | 0.061               | 16.30           |
|       | 4       | 0.0169   | 0.043               | 23.13           |       | 6       | 0.0784   | 0.068               | 14.77           |
|       | 5       | 0.0166   | 0.038               | 26.00           | I6    | 1       | 0.0153   | 0.037               | 27.10           |
|       | 6       | 0.0177   | 0.033               | 30.09           |       | 2       | 0.0207   | 0.032               | 31.01           |
| I5    | 1       | 0.0277   | 0.040               | 24.90           |       | 3       | 0.1423   | 0.084               | 11.84           |
|       | 2       | 0.0669   | 0.036               | 27.77           |       | 4       | 0.0174   | 0.042               | 23.56           |
|       | 3       | 0.0188   | 0.036               | 27.59           |       | 5       | 0.0129   | 0.049               | 20.39           |
|       | 4       | 0.0851   | 0.047               | 21.30           |       | 6       | 0.0184   | 0.051               | 19.71           |
|       | 5       | 0.0379   | 0.032               | 31.07           | I8    | 1       | 0.0152   | 0.043               | 23.38           |
| I7    | 1       | 0.0432   | 0.062               | 16.17           |       | 2       | 0.0147   | 0.035               | 28.26           |
|       | 2       | 0.0149   | 0.069               | 14.59           |       | 3       | 0.0316   | 0.033               | 30.52           |
|       | 3       | 0.0160   | 0.035               | 28.81           |       | 4       | 0.0146   | 0.047               | 21.18           |
|       | 4       | 0.0131   | 0.033               | 30.52           |       | 5       | 0.0184   | 0.033               | 30.09           |
|       | 5       | 0.0142   | 0.033               | 30.64           |       | 6       | 0.0159   | 0.032               | 30.95           |
|       | 6       | 0.0207   | 0.034               | 29.24           |       | 7       | 0.0124   | 0.032               | 31.13           |
|       | 7       | 0.0163   | 0.041               | 24.54           | I10   | 1       | 0.0184   | 0.042               | 23.74           |
|       | 8       | 0.0253   | 0.033               | 30.46           |       | 2       | 0.0127   | 0.063               | 15.99           |
|       | 9       | 2.2050   | 0.038               | 26.31           |       | 3       | 0.0139   | 0.037               | 27.34           |
| I9    | 1       | 0.0150   | 0.047               | 21.24           |       | 4       | 0.0171   | 0.039               | 25.51           |
|       | 2       | 0.0215   | 0.033               | 29.97           |       | 5       | 0.0184   | 0.037               | 26.92           |
| I11   | 3       | 0.1795   | 0.046               | 21.79           | I12   | 1       | 0.0180   | 0.044               | 22.71           |
|       | 4       | 0.0186   | 0.038               | 26.61           |       | 2       | 0.0169   | 0.034               | 29.30           |
|       | 5       | 0.0217   | 0.048               | 20.69           |       | 3       | 0.0149   | 0.032               | 31.01           |
|       |         |          |                     |                 |       | 4       | 0.0155   | 0.043               | 23.01           |
| I13   | 1       | 0.0156   | 0.033               | 30.46           |       | 5       | 0.0142   | 0.044               | 22.95           |
|       | 2       | 0.0122   | 0.036               | 27.77           | I14   | 1       | 0.0183   | 0.059               | 16.85           |
|       | 3       | 0.0146   | 0.034               | 29.05           |       | 2       | 0.0280   | 0.221               | 4.52            |
|       | 4       | 0.0113   | 0.034               | 29.24           |       | 3       | 0.0221   | 0.144               | 6.96            |
|       | 5       | 0.0152   | 0.059               | 17.09           |       | 4       | 0.0188   | 0.057               | 17.52           |
| I15   | 1       | 0.0450   | 0.102               | 9.83            |       | 5       | 0.0193   | 0.033               | 30.03           |
|       | 2       | 0.0140   | 0.042               | 23.87           | I16   | 1       | 0.0157   | 0.033               | 30.21           |
|       | 3       | 0.0134   | 0.041               | 24.60           |       | 2       | 0.0123   | 0.039               | 25.94           |
|       | 4       | 0.0151   | 0.055               | 18.19           |       | 3       | 0.0169   | 0.037               | 26.86           |
|       | 5       | 0.0152   | 0.035               | 28.38           |       | 4       | 0.0156   | 0.074               | 13.49           |
| I17   | 1       | 0.0128   | 0.050               | 19.84           |       | 5       | 0.0178   | 0.036               | 27.41           |
|       | 2       | 0.0224   | 0.045               | 22.10           |       | 6       | 0.0163   | 0.035               | 28.81           |
|       | 3       | 0.0142   | 0.046               | 21.55           |       | 7       | 0.0186   | 0.035               | 28.87           |
|       | 4       | 0.0141   | 0.037               | 26.73           | I18   | 1       | 0.0491   | 0.050               | 20.08           |
|       | 5       | 0.0161   | 0.051               | 19.47           |       | 2       | 0.0143   | 0.047               | 21.42           |
| I19   | 1       | 0.0128   | 0.039               | 25.94           |       | 3       | 0.0395   | 0.044               | 22.71           |
|       | 2       | 0.0152   | 0.047               | 21.42           |       | 4       | 0.0124   | 0.040               | 25.09           |
|       | 3       | 0.0183   | 0.036               | 27.77           |       | 5       | 0.0217   | 0.066               | 15.20           |
|       | 4       | 0.0139   | 0.048               | 20.87           |       | 6       | 0.0198   | 0.041               | 24.29           |
|       | 5       | 0.0131   | 0.057               | 17.52           | I20   | 1       | 0.0145   | 0.039               | 25.64           |
| I20   | 1       | 0.0498   | 0.099               | 10.13           |       | 2       | 0.0172   | 0.039               | 25.88           |
|       | 2       | 0.0150   | 0.039               | 25.94           |       | 3       | 0.0146   | 0.038               | 26.18           |
|       | 3       | 0.0161   | 0.041               | 24.66           |       | 4       | 0.0200   | 0.033               | 30.15           |
|       | 4       | 0.0286   | 0.116               | 8.61            |       | 5       | 0.0119   | 0.034               | 29.60           |
|       | 5       | 0.0198   | 0.141               | 7.08            |       |         |          |                     |                 |

**Tabla 5.5 Valores promedio obtenidos para el período fundamental de vibración en el Municipio de Irapuato.**

| Sitio | frecuencia (Hz) | $T_{0i}$ (s) |
|-------|-----------------|--------------|
| I1    | 17.33           | 0.044        |
| I2    | 29.85           | 0.034        |
| I3    | 25.45           | 0.039        |
| I4    | 24.41           | 0.046        |
| I5    | 24.90           | 0.038        |
| I6    | 27.10           | 0.049        |
| I7    | 16.17           | 0.046        |
| I8    | 23.38           | 0.038        |
| I9    | 21.24           | 0.042        |
| I10   | 23.74           | 0.044        |
| I11   | 30.46           | 0.039        |
| I12   | 22.71           | 0.039        |
| I13   | 9.83            | 0.055        |
| I14   | 16.85           | 0.103        |
| I15   | 19.84           | 0.046        |
| I16   | 30.21           | 0.044        |
| I17   | 25.94           | 0.045        |
| I18   | 20.08           | 0.049        |
| I19   | 10.13           | 0.087        |
| I20   | 25.64           | 0.037        |



**Figura 5.14 Espectros de señales sísmicas de ruido ambiental para los sitios No. 1 a 5.**

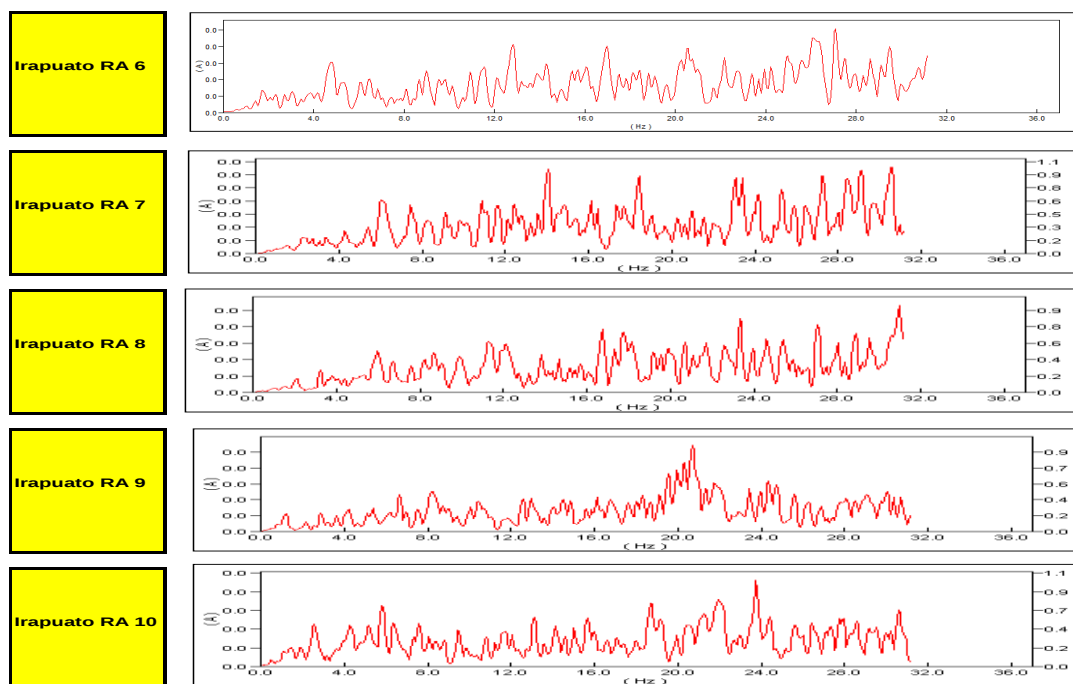


Figura 5.15 Espectros de señales sísmicas de ruido ambiental para los sitios No. 6 a 10.



Figura 5.16 Espectros de señales sísmicas de ruido ambiental para los sitios No. 11 a 15.

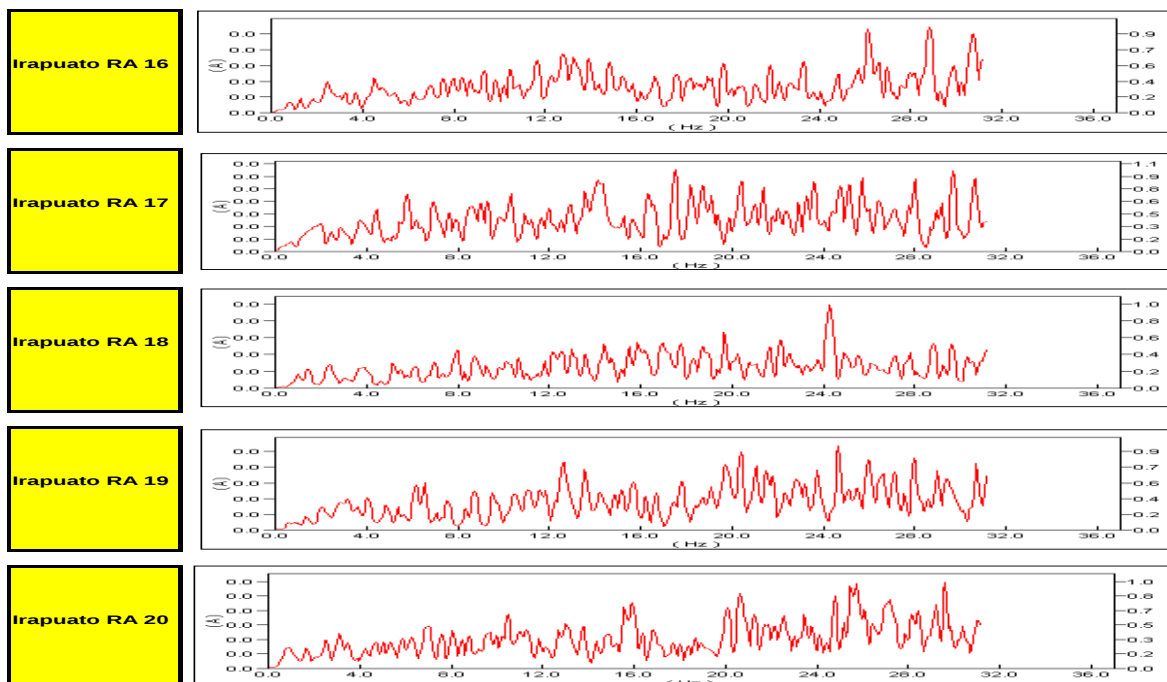


Figura 5.17 Espectros de señales sísmicas de ruido ambiental para los sitios No. 16 a 20.

La configuración hecha a detalle de isovalores mostrado en el la figura 5.18, que corresponde a las zonas sísmicas en función del período Fundamental de vibración ( $T_0$ (s)), muestra de manera clara las tendencias tanto del fracturamiento activo por sobreexplotación del agua como el fallamiento geológico inactivo (orientaciones NNE-SSW). Por otra parte la misma configuración demarca la extensión y potencial continuidad de las unidades estratigráficas a mayor profundidad.

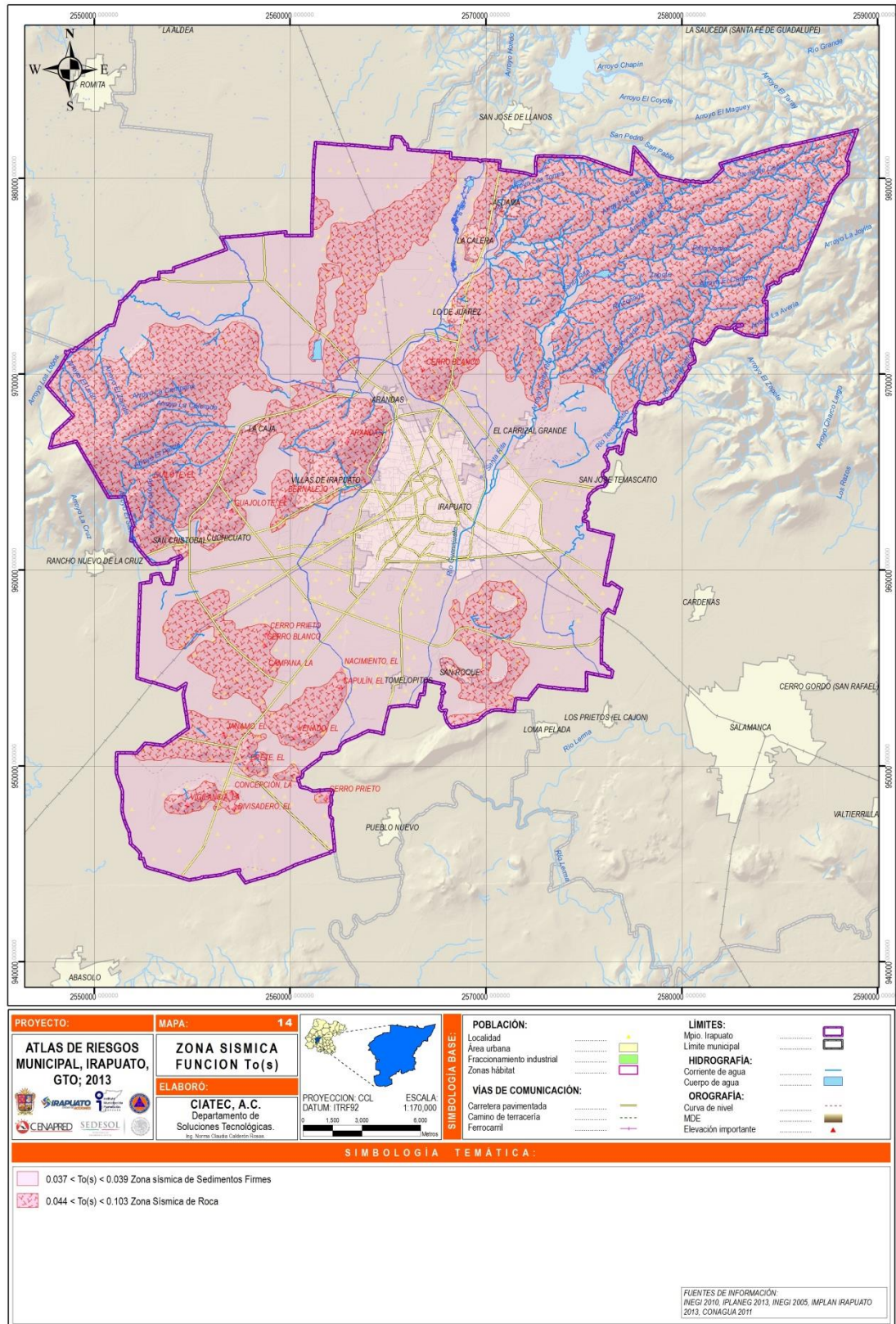


Figura 5.18 Mapa de Zonificación sísmica en función del Periodo Fundamental de Vibración, To(s).

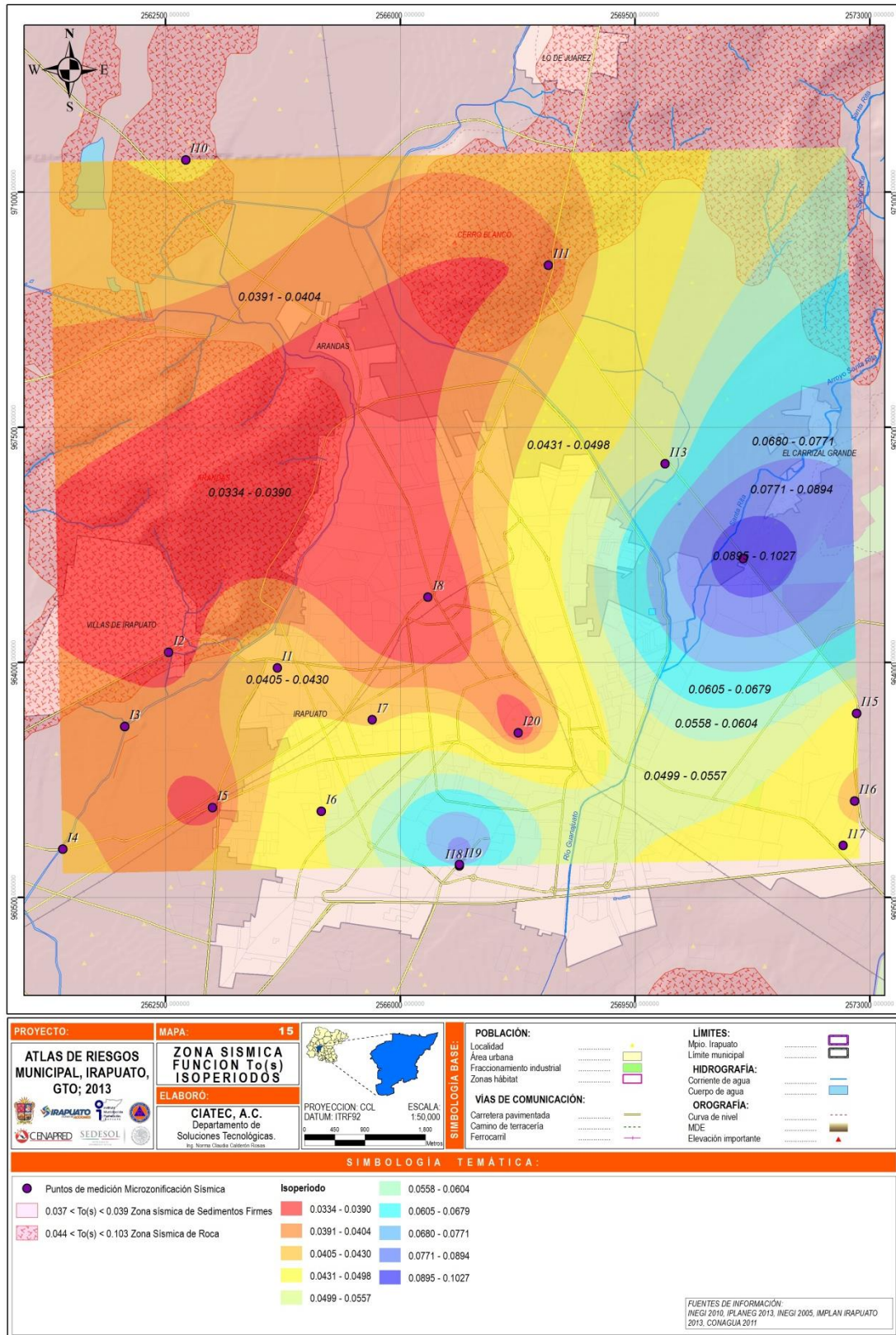


Figura 5.19 Mapa de Zonas Sísmicas (isovalores), en función del Periodo Fundamental de Vibración, To(s).

## 5.6 ESTIMACIÓN DEL PELIGRO VOLCÁNICO

Los desastres naturales son variados y los peligros volcánicos son poco frecuentes, aunque su grado de afectación puede ser letal. El CENAPRED (2014), en el capítulo II de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, presenta una metodología para la el desarrollo de la estimación del peligro volcánico, la cual consiste en recopilación bibliográfica histórica y reciente de la actividad volcánica del sitio y estimaciones de la probabilidad de ocurrencia del evento peligroso y elaboración del mapa correspondiente.

Para los fines del Atlas de Riesgos Municipales de Irapuato, se ejecutó una revisión bibliográfica del tema en fuentes oficiales, tales como el mismo CENAPRED, artículos arbitrados publicados recientemente, universidades públicas (UNAM, UCOL, etc.), así como en el Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, se realizaron búsquedas en sitios internacionales como el Instituto Smithsonian y su Programa Global de Vulcanismo (Global Volcanism Program). Se revisó la actividad reciente en las zonas cercanas y dentro del Municipio de Irapuato, con los datos recopilados se procedió a la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un evento en el terreno regional (Volcán de Colima), y el componente que afecta la zona de estudio, ya identificados los peligros (caída de ceniza volcánica), se generó el mapa de peligros.

### 5.6.1. Vulcanismo Regional

El municipio de Irapuato se encuentra fisiográficamente en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), dentro de la sub-provincia denominada Bajío Guanajuatense; que se ubica en el sector central de la FVTM (**Figura 5.20 a**), (Gómez Tuena *et al*, 2005, Marisol Cano, 2007, Mazzarini *et al*, 2010). Dentro del sector central, al norte en las cercanías del municipio de Irapuato se manifiesta el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG; **Figura 5.20 b**), con un estimado de 1,040 estructuras volcánicas en un área de 40,000 Km<sup>2</sup>, otro campo aún más cercano es el Campo Volcánico de Valle de Santiago (CVVS), municipio colindante con Irapuato al sur del territorio; se localiza en la esquina noreste del CVMG, aproximadamente a 380 Km de la trinchera de Acapulco, este campo está caracterizado por un lineamiento NNW-SSE de cráteres de explosión tipo maar (**Figura 5.20 c**), este lineamiento parece estar asociado a una zona de debilidad cortical o fractura, orientada en forma oblicua al patrón estructural del CVTM, además de los muchos conos cineríticos (más de 1,000 estructuras), 20 de los 22 anillos de tobas encontrados en el campo volcánico hicieron erupción en un área de 7 Km x 50 Km, 13 de ellos se presentan en una pequeña franja de 6 Km x 13 Km a los cuáles Murphy (1982), define como el Grupo Valle de Santiago (Cano, 2007; Puente Solís, 2004).

En tiempos geológicos recientes, en el CVVS se ha presentado una serie de actividades eruptivas que han dado como resultado los denominados Xalapascos o Maares, que son cráteres volcánicos generados por una erupción freatomagmática, que en algunos casos presentan un lago en su centro. En el área de Valle de Santiago se han realizado algunos trabajos relacionados a la formación de maares y anillos de tobas (Ordóñez, 1906; Murphy, 1982; Uribe-Cifuentes, 1992).

Murphy (1982), propuso una cronología preliminar para la actividad volcánica en la región usando fechamientos K-Ar y estudios volcánicos estratigráficos, identificado un periodo temprano de vulcanismo basáltico y andesítico, representado por numerosos volcanes pequeños (e. g. Cerros Los Cuates, El Tule, Blanco, Chapin, Haston, y La Batea; **Figura 5.20 c**), seguido por un periodo que incluye la formación de los maares, así como varios conos cineríticos (por ejemplo Cerro La Mina). Fechadas por K-Ar, las lavas de los maares tienen edades que varían de 1.18±0.17 Ma (Maar San Nicolás) a 0.073 ±0.024 Ma (Maar La Alberca), los fechamientos con K-Ar están resumidos en la **Tabla 5.6**. Ban *et al*. (1992), reportan edades K-Ar de 2.23 ± 0.23 Ma y 2.35 ±0.25 Ma para lavas del Cerro Culiacán y Grande, respectivamente (Cano, 2007).

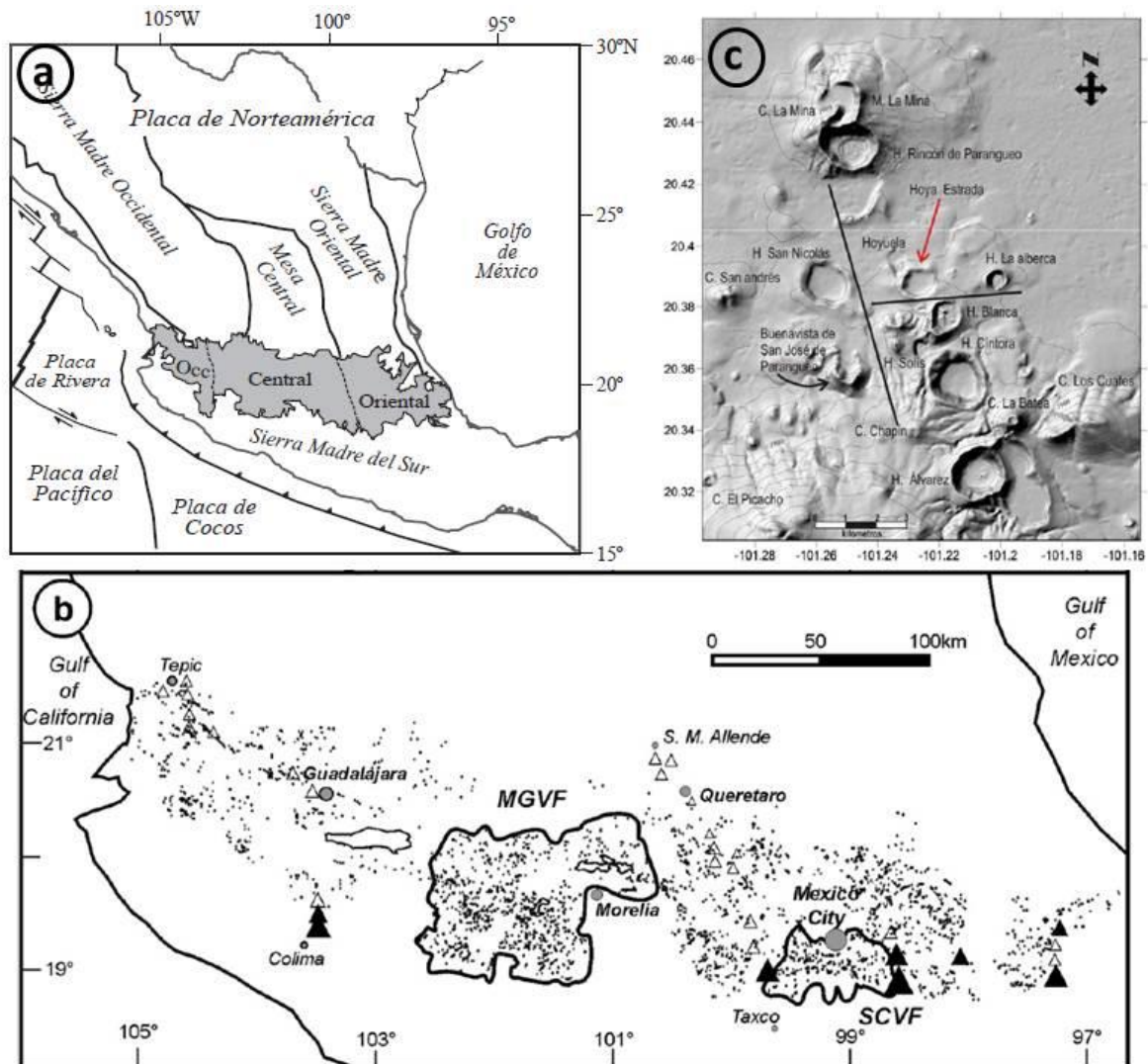


Figura 5.20 Mapa donde se observan los a) sectores Occidental, Central y Oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (Tomado de Gómez Tuena et al, 2005), b) Distribución de los aparatos volcánicos a lo largo de la FVTM; c) Modelo Digital de Elevaciones del Campo Volcánico de Valle de Santiago, donde se observan los maeres alineados a las estructuras geológicas.

Tabla 5.6 Resumen de la actividad volcánica en Valle de Santiago (modificado de Murphy, 1982).

| Cronología Volcánica          |                          |                   |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------|
|                               | Nombre                   | Edad (Ma)         |
| Volcanismo formador de maeres | Maar La Alberca          | $0.073 \pm 0.024$ |
|                               | Lava Paredones           |                   |
|                               | Lava Rancho Unidos       | $0.19 \pm 0.044$  |
|                               | Hoyuela                  |                   |
|                               | Hoya Estrada             | $0.27 \pm 0.2$    |
|                               | Hoyita                   |                   |
|                               | Hoya La Cíntora          | $0.38 \pm 0.32$   |
|                               | Hoya Rincón de Parangueo |                   |

|                                 |                  |               |
|---------------------------------|------------------|---------------|
| Volcanismo Basáltico-Andesítico | Hoya de Álvarez  |               |
|                                 | Maar Yuriria     |               |
|                                 | Maar Laguna      |               |
|                                 | Hoya Blanca      |               |
|                                 | Hoya San Nicolás | 1.175 ± 0.166 |
|                                 | Maar Gerónimo    |               |
|                                 | Maar Magdalena   |               |
|                                 | Cerro Boardman   |               |
|                                 | Cerro La Mina    |               |
|                                 | Maar La Mina     |               |
|                                 | Maar Santa Rosa  |               |
|                                 | Cerro La Batea   |               |
|                                 | Cerro Haston     |               |
|                                 | Cerro Guantes    |               |
|                                 | Cerro Chapin     | 6.88 ± 0.2    |
|                                 | Cerro Blanco     |               |
|                                 | Cerro El Tule    |               |
|                                 | Cerro Cuates     |               |

### 5.6.2. Vulcanismo en Irapuato

Como se mencionó en la columna estratigráfica, el Municipio de Irapuato tiene una secuencia vulcanosedimentaria que mantiene una estrecha relación con los eventos extrusivos de la FVTM, CVMG y CVVS, que va desde el Paleógeno hasta el reciente, en el Terciario, en el Oligoceno temprano (+31 Ma, Botero-Santa *et al*, 2015), con la Andesita Bernalejo se tiene evidencia de la actividad que se presentó en el municipio, posteriormente la Ignimbrita Cuatralba (+28 Ma, Nieto-Samaniego *et al*, 1996), que es ampliamente distribuida en el estado y que es indicativo de la actividad explosiva de la región, lo que posteriormente se menciona como el Conglomerado Xoconostle (+14 Ma, Cerca-Martínez, 1998), son depósitos fluviales erosionados de los depósitos piroclásticos de la Sierra Madre Oriental, consecutivamente la Secuencia Volcánica del Mioceno Tardío (+6.2 Ma, Alaniz-Álvarez *et al*, 2001), que es un conjunto de eventos regionales que emplazaron en cuencas endorreicas, lo que generó sedimentación lacustres con volcánicos. Para el Cuaternario se formaron los grandes Campos Volcánicos como el de Guanajuato-Michoacán con sus centenares de estructuras volcánicas y el de Valle de Santiago que muestra la alineación preferencial de las fallas y/o estructuras geológicas, que van desde los +2.5 a los +0.5 Ma (Hasenaka y Carmichael, 1985, Ban *et al*, 1992, Cano, 2007). Todo lo anterior indica la intrínseca relación del desarrollo del territorio irapuatense con la actividad cercana de ambos campos volcánicos, ya que el registro estratigráfico es la evidencia de ello.

### 5.6.3. Vulcanismo Activo

Dentro del territorio mexicano se tiene actividad volcánica reciente, de las cuales la población es testigo y algunos habitan en las cercanías. Algunos volcanes han tenido episodios que han causado daños a la población en el pasado reciente, sin embargo; esta actividad no se presenta en las inmediaciones del Municipio de Irapuato y solo el Volcán de Colima en el estado vecino de Colima y Jalisco al suroeste del Municipio es el que pudiera presentar algún tipo de afectación tal y como se ha presentado en el pasado; a continuación se hace una reseña de la actividad de dicho volcán.

### Volcán de Colima (SW de Irapuato).

Con una secuencia eruptiva reportada por Breton y colaboradores (Bretón *et al*, 2002), que va desde pocos reportes de actividad hasta los bien registrados en un periodo de 500 años desde 1500 hasta el año 2000. Los principales eventos fueron: 1818) Erupción Explosiva de 1818; 1869) Erupción del Volcancito; y 1913) La Erupción Explosiva de 1913, ambas son consideradas el final de un ciclo eruptivo que duró en promedio un siglo de actividad menor.

En el primer evento mencionado (1818), es el único en donde se reporta una afectación por caída de ceniza en el Municipio de Irapuato y el fenómeno se describe como una erupción de tipo Pliniana en la que la nube de ceniza viaja grandes distancias hacia el noreste, con caídas de ceniza reportadas en Zapotlán (25 Km), Guadalajara (140 Km), Guanajuato (310 Km), Zacatecas (385 Km), y San Luis Potosí (425 Km). Pequeñas cantidades de ceniza también se presume que cayeron en las ciudades de Querétaro (360 Km) y México (470 Km al E del volcán), (Bretón *et al*, 2002).

Han sido muchos los trabajos que reportan los espesores y registros de actividad del Volcán, en los que se mencionan que la destrucción o parcial destrucción del edificio volcánico es algo recurrente en esta estructura, uno de los últimos trabajos presentados es el de Capra y colaboradores en 2015, que propone una zonificación volcánica de peligros para el Volcán de Colima que se beneficia de todas esas nuevas obras; incluidas el mapa geológico del volcán (Cortés *et al*, 2010a), y la zonificación de peligros basada en simulaciones numéricas (Saucedo *et al*, 2005; Dávila *et al*, 2007; Sulpizio *et al*, 2010; Bonasia *et al*, 2011). Estos trabajos previos se sintetizan y resultan en un mapa cualitativo del peligro (Figura 5.21), en una zonificación para diferentes escenarios.

En la Figura 5.21 se muestra el mapa publicado por la Universidad de Colima en colaboración con INEGI y en el que se identifican las comunidades y de acuerdo al peligro se muestran los alcances, en este podemos observar que para la temporada de Noviembre a Mayo, que es cuando los vientos van en dirección Este, y que de acuerdo a los peligros ahí mostrados la caída de ceniza en ciertas condiciones dadas sería la que pueda afectar al Municipio de Irapuato.

La actividad intermitente continúa en el Volcán de Colima, lo que refleja el comportamiento del volcán en siglos anteriores y que conduce a la especulación que esta actividad está evolucionando hacia la culminación de un ciclo eruptivo. La culminación será probablemente paralela a las erupciones de 1818 y 1913, caracterizada por una erupción Pliniana o Subpliniana, con una columna de más de 15 Km de altura que podrían sostenerse durante más de 24 h. Al igual que en 1818 y 1913, la erupción se acompaña de la fuerte caída de ceniza sobre un área mayor de 30 Km de radio y la generación de flujos piroclásticos que podría extenderse a distancias de 15 Km más (Bretón *et al*, 2002). Numerosas ciudades y pueblos, con poblaciones de hasta 390,000 habitantes, son susceptibles de sufrir daños por una erupción de este tipo. Los flujos piroclásticos, caída de ceniza, y lahares son consideradas las mayores amenazas para estas comunidades. Aunque el registro histórico no permite pronosticar el inicio de dicha actividad, se tiene abundante evidencia de que este tipo de volcanismo sin duda ocurrirá en el futuro en el Volcán de Colima (Bretón *et al*, 2002).

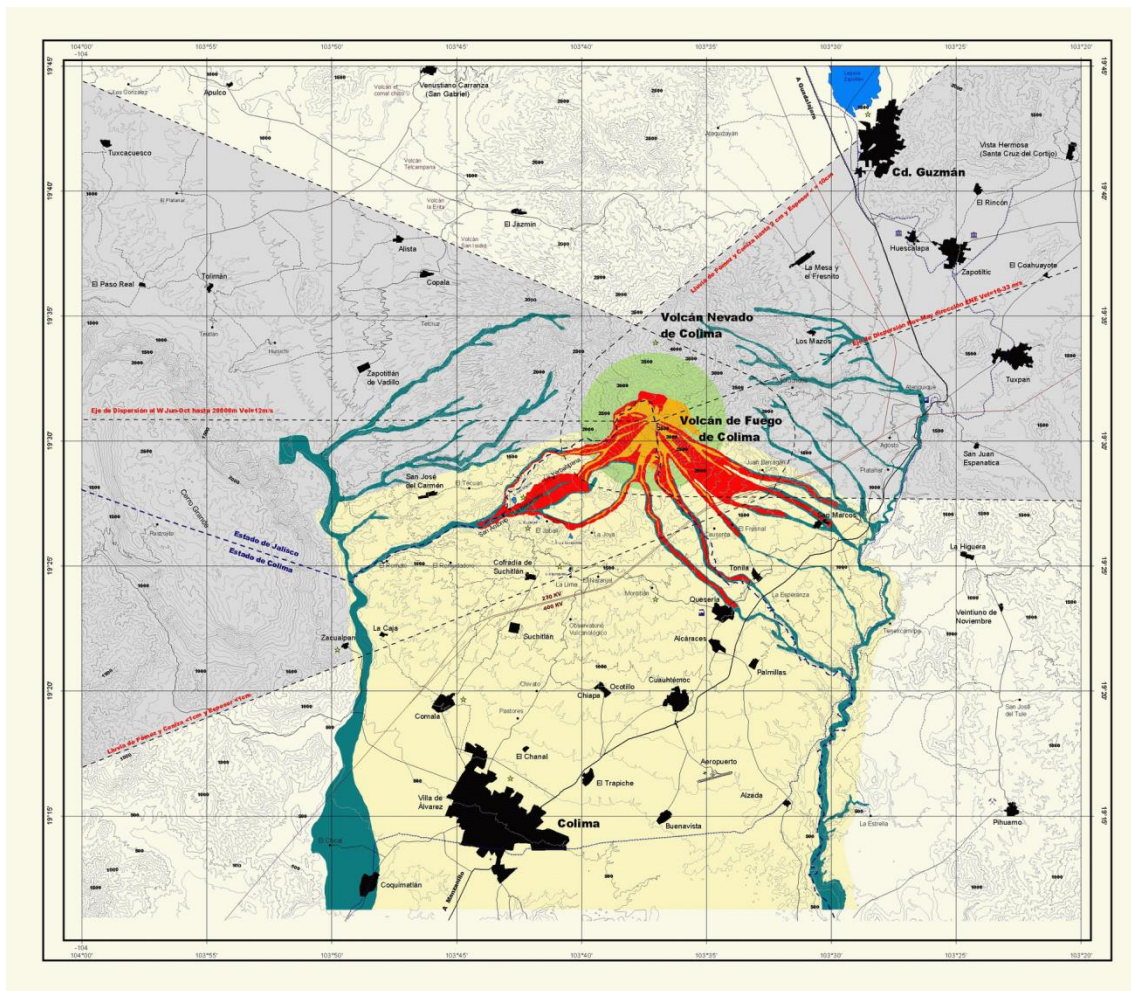


Figura 5.21. Mapa de peligros del Volcán de Fuego de Colima (UCOL, 2003).

#### 5.6.4 Peligro volcánico asociado al Municipio de Irapuato

De acuerdo con el CENAPRED en su guía para Fenómenos Geológicos en el apartado de Peligros Volcánicos, se realizaron los cálculos de probabilidad de ocurrencia de eventos eruptivos del Campo Volcánico Valle de Santiago, que es el campo más cercano y que en caso de algún evento ocurra, es el que por sus composiciones y tipo de erupciones podrían tener algún tipo de afectaciones al Municipio de Irapuato.

Se estimaron los parámetros para el cálculo de probabilidad de ocurrencia de un evento monogenético en las inmediaciones del sitio, considerando que la zona más activa en la historia reciente es Valle de Santiago, con la creación de los maares. En este sentido no se calculó la probabilidad de afectación por caída de ceniza en el Municipio de Irapuato por actividad del Volcán de Colima, debido a que solo se tiene medido un evento; que fue el de 1818 y recientemente no se ha manifestado ceniza en el área de estudio, por lo que solo se muestra el mapa (Figura 4), el cono extrapolado de las direcciones del viento en las diferentes temporalidades.

En la **Tabla 5.7** se muestran los datos que fueron utilizados y la fuente para dichos cálculos, tal como se menciona en dicha guía, obteniendo los parámetros relativos a la Tasa Eruptiva ( $\lambda$ ), Tiempo de Recurrencia ( $1/\lambda$ ), y las Probabilidades (años), esto para poder realizar las estimaciones de nivel de amenaza en el Campo de Valle de Santiago, ya que todas las estructuras y datos son

cercanos al Municipio de Irapuato, pero no se tiene registro de que las erupciones freatomagmaticas y/o freatoplinianas hayan afectado a la población al sitio de estudio.

Los resultados de la probabilidad se clasificaron en menores de 10,000 años (vulcanismo activo), entre 10,000 y 100,000 años, y de 100,000 años a y 1 Ma (millón de años) y mayores a 1 Ma, esto debido a la variedad de los datos.

El análisis de los resultados indican que la probabilidad de ocurrencia disminuye en tanto la edad de la estructura volcánica aumenta, para los volcanes monogenéticos del estilo del Jorullo y/o Parícutín (referencia reciente), se estima que en un tiempo de recurrencia de cada 128 años ocurre una erupción de este tipo dentro del CVMG y la probabilidad de que ocurra otro evento de este tipo en 50 años ( $P_1$ ), es de 0.39 o 39%, en el mismo caso la de que ocurra en 100 años ( $P_2$ ), es de 0.78 o 78%, si los rangos aumentan como es la  $P_3$  de 200 años y  $P_4$  de 500 años (1.56 y 3.91 respectivamente), ya que exceden los tiempos de recurrencia estimados.

En el rango de 10,000 a 100,000 años se reporta solo la ocurrencia de La Alberca y su tiempo de recurrencia es de 73,000 años (su edad), y las probabilidades se estiman de 0.0685 % en 50 años y de 0.68% para 500 años, las cuales se consideran bajas.

Los datos mayores son de 100,000 a 1,000,000 de años, en los cuales se tienen tres datos y su tiempo de recurrencia es de 70 mil años, por lo que se estiman unas probabilidades ligeramente mayores que el rango anterior, siendo que para 500 años ( $P_4$ ), es de 0.7143 %; los datos mayores a 1 millón de años tienen un periodo de retorno de casi 140 mil años, que de acuerdo a las probabilidades estimadas para 100 años ( $P_2$ ), es de 0.0715 % y para 500 años ( $P_4$ ), es de 0.3575%, estas probabilidades se consideran muy bajas.

Tabla 5.7. Cálculo de probabilidad de ocurrencia de eventos eruptivos del Campo Volcánico Valle de Santiago

| I                      | Edad (años) |   |         | VEI: Índice de Explosividad | Tiempo (años) | Tasa eruptiva $\lambda$ | Tiempo de recurrencia $1/\lambda$ | Probabilidades (años) |                      |                      |                      | Probabilidad (%)    |                      |                      |                      |
|------------------------|-------------|---|---------|-----------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                        |             |   |         |                             |               |                         |                                   | P <sub>1</sub> : 50   | P <sub>2</sub> : 100 | P <sub>3</sub> : 200 | P <sub>4</sub> : 500 | P <sub>1</sub> : 50 | P <sub>2</sub> : 100 | P <sub>3</sub> : 200 | P <sub>4</sub> : 500 |
| Jorullo                | 1,759       | ± | -       | 4                           | 256           | 0.007813                | 128.00                            | 0.39                  | 0.78                 | 1.56                 | 3.91                 | 39                  | 78                   | 156                  | 391                  |
| Paricutín              | 1,952       | ± | -       | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| M. La Alberca          | 73,000      | ± | 24,000  | 4                           | 73,000        | 0.000014                | 73,000                            | 0.0007                | 0.0014               | 0.0027               | 0.0068               | 0.0685              | 0.1370               | 0.2740               | 0.6849               |
| H. Hoyuela             | 190,000     | ± | 44,000  | 4                           | 280,000       | 0.000014                | 70,000                            | 0.0007                | 0.0014               | 0.0029               | 0.0071               | 0.0714              | 0.1429               | 0.2857               | 0.7143               |
| H. Estrada             | 270,000     | ± | 200,000 | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| H. Cíntora             | 380,000     | ± | 320,000 | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| C. La Mina             | 1.175*      | ± | 0.17*   | 4                           | 1.399*        | 0.000007                | 139,850                           | 0.0004                | 0.0007               | 0.0014               | 0.0036               | 0.0358              | 0.0715               | 0.1430               | 0.3575               |
| H. Álvarez             | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| H. Blanca              | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| H. San Nicolás         | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| H. Solís               | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| M. La Mina             | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| M. Rincón de Parangueo | 1.175*      | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| M. San Nicolás         | 1.18*       | ± |         | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| C. Culiacán            | 2.23*       | ± | 0.23*   | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
| C. Grande              | 2.35*       | ± | 0.25*   | 4                           |               |                         |                                   |                       |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                      |

**Leyenda**

H = Hoya

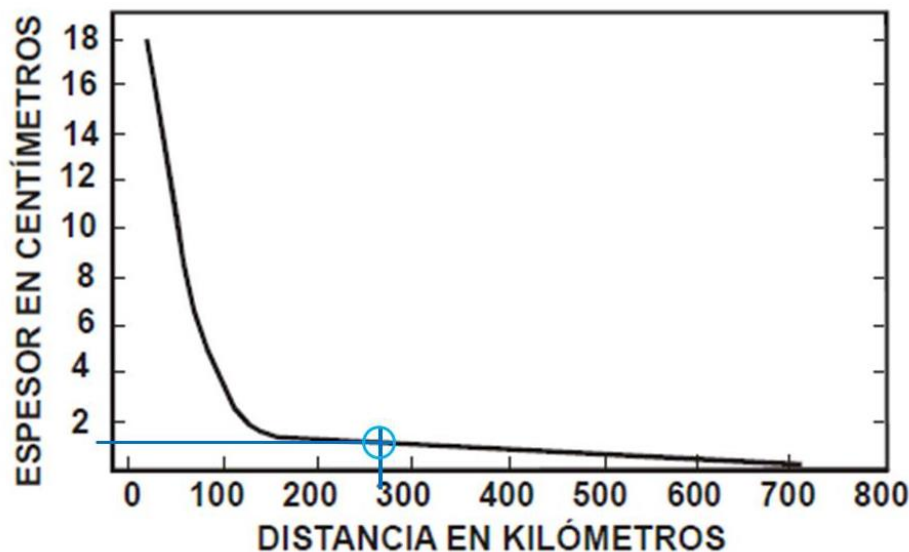
M = Maar

C = Cerro

\* = Dato en millones de años

Considerando que la caída de ceniza volcánica es el peligro reportado y más representativo para el Municipio de Irapuato, la susceptibilidad de acumulación de ceniza en la zona se verá afectada por la distancia de la fuente (cráter del volcán), de acuerdo a la clasificación de la erupción de tipo pliniana, el espesor de ceniza volcánica (en centímetros), se muestra en la **Figura 5.22** en la cual la curva de distribución de espesores en relación a la distancia de la fuente es a mayor distancia menor la cantidad de material acumulado.

La ciudad de Irapuato se ubica en línea recta aproximadamente a 269 Km desde el cráter del volcán de Colima, y de acuerdo a la **Figura 5.22**, el espesor de ceniza esperado es de alrededor de 1 cm. Los efectos a la salud y al medio son variados, desde enfermedades respiratorias, gastrointestinales y oculares entre otras; al medio ambiente los efectos son daños a las corrientes de agua (contaminación con metales pesados), vías de comunicación (obstrucción), agricultura (destrucción del cultivo), entre otras.



**Figura 5.22 Distribución de espesores de ceniza alcanzados en erupciones de tipo pliniano (CENAPRED, 2014).**

Los alcances de la ceniza volcánica están en función de la velocidad del viento, dirección y altura de la columna de ceniza. En la **figura 5.23** se observa un mapa regional donde se tiene como fuente el Volcán de Colima al suroeste y el Municipio de Irapuato al Noreste, como se mencionó anteriormente, el espesor de ceniza proyectado para el Municipio de Irapuato es de aproximadamente 1 cm, esto se corrobora con los conos extendidos del Mapa de Peligros del Volcán de Colima (UCOL, 2003), donde se muestra el eje de dispersión en dos direcciones opuestas, la primera de Junio a Octubre va en dirección Oeste y una velocidad de vientos aproximado de 12 m/s, la segunda de Noviembre a Mayo en dirección Este-Noreste con vientos entre 16 y 33 m/s. La caída de ceniza se concentra en los primeros 30 kilómetros alrededor del cráter del volcán (Capra *et al*, 2015), que es la isopaca de  $\leq 10$  cm y a mayor distancia del cráter la concentración y/o espesor será menor, los radios de afectación marcados a 50 kilómetros entre sí, contrastan la ubicación del Municipio de Irapuato entre los radios de 250 y 300 kilómetros, aunque el eje principal de dispersión no pasa por la Ciudad de Irapuato, la apertura de los conos si abarca en su totalidad al Municipio de Irapuato, lo que indica que en caso de una contingencia mayor (evento como el de 1818 y/o parecido al de 1913), por parte del Volcán de Colima y en la temporalidad de Noviembre a Mayo se podría tener la presencia de caída de ceniza volcánica, para lo cual se tendrían que conjuntar las condiciones antes mencionadas.

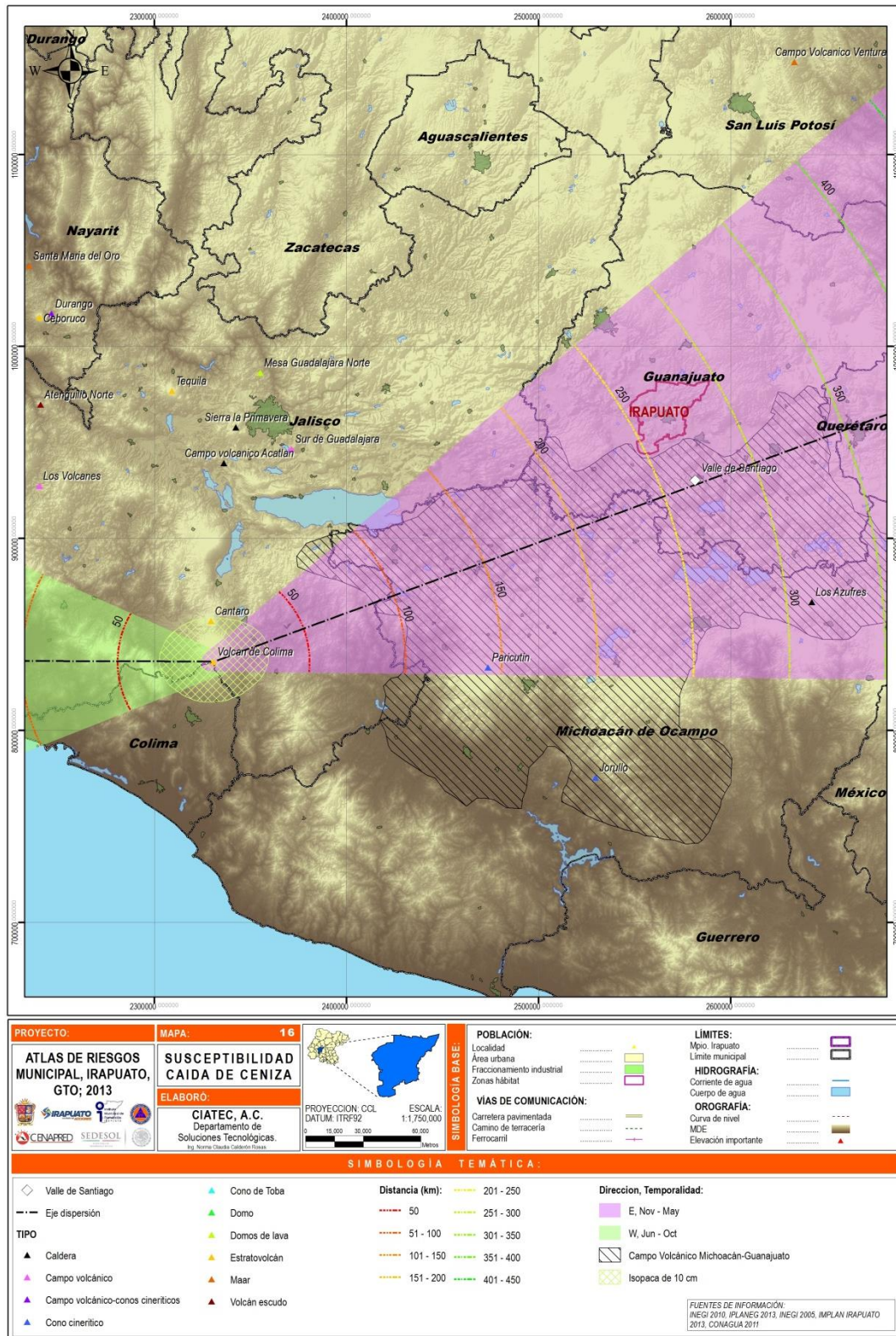


Figura 5.23 Mapa de susceptibilidad de caída de ceniza volcánica del Volcán de Colima en el Municipio de Irapuato.

## 5.7 PELIGRO POR HUNDIMIENTO REGIONAL Y SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO.

Un hundimiento es un movimiento vertical descendente de roca, suelo o material no consolidado, por acción y efecto de la gravedad. Representa aquellas zonas en donde ha ocurrido colapso por gravedad, disolución y derrumbes de techos de cavernas naturales o hechas por el hombre, como por ejemplo las minas subterráneas en terrenos poco consolidados.

En regiones donde se efectúa extracción de agua subterránea mediante bombeo profundo, es común observar hundimientos de la superficie natural del terreno. Con el fin de garantizar la integridad de los habitantes, en sus personas y en sus bienes, es importante tomar en cuenta los problemas de subsidencia regional que ocasiona la extracción de agua subterránea, por efectos del abatimiento del nivel de agua freática.

En lugares donde se encuentra abatido el nivel del agua subterránea y las formaciones geológicas superficiales las constituyen sedimentos no consolidados y compresibles, es común que se desarrollen grietas en la superficie del terreno natural, las que se propagan a cierta profundidad en el subsuelo con el consecuente daño que sufren las construcciones de cualquier tipo y el peligro que esto implica para sus ocupantes. Concretamente, la magnitud de la reducción volumétrica de los sedimentos no consolidados depende directamente de dos factores claramente diferenciados:

- a) *Las características de compresibilidad de los suelos.* Mientras más compresible sea el suelo, los efectos de subsidencia regional serán de mayor magnitud y el problema de agrietamiento de la superficie del suelo más crítico.
- b) *La intensidad de la extracción del agua subterránea.* Mientras mayor sea el volumen de agua que se extrae del subsuelo, la compresión volumétrica del suelo serán de mayor proporción, llegando a manifestarse no solamente por el hundimiento del terreno, sino por desplazamientos relativos en el sentido horizontal.

Ante el alto nivel de peligro que representa para la población la problemática de hundimientos regionales diferenciales y agrietamiento de la superficie del terreno natural, el CENAPRED elaboró un Mapa de zonificación (**Figura 5.24**), que se obtuvo mediante la superposición de la información referente a las características de las diferentes provincias fisiográficas, la geomorfología, el estudio sobre los diferentes climas existentes en todo el país, así como la localización de las condiciones ambientales que propician la necesidad de extraer agua del subsuelo para consumo humano, agrícola e industrial, identificando las distintas formaciones geológicas involucradas, la edafología, la distribución de vertientes, ríos y cuencas hidrológicas, dando especial atención a las condiciones geológicas y a los datos de precipitación pluvial.

Es importante tener presente que este mapa consiste en una guía inicial para la atención de la problemática a nivel nacional, siendo indispensable elaborar una revisión más detallada por parte de las autoridades correspondientes de cada localidad, en busca de la identificación precisa de este tipo de peligro geológico.

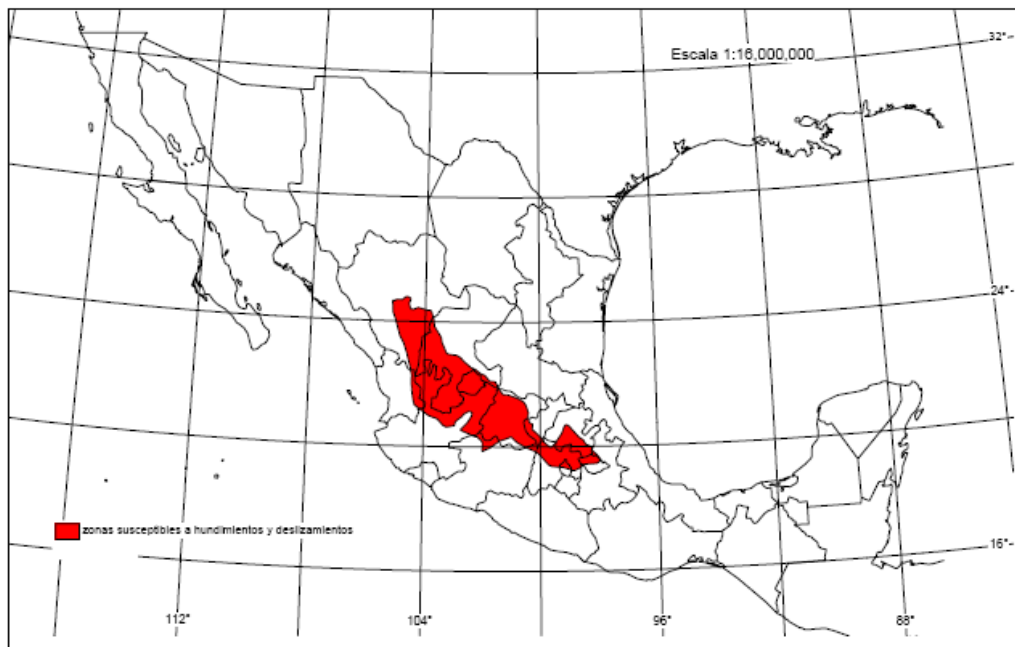


Figura 5.24 Zonas susceptibles a hundimientos y deslizamientos. (CENAPRED 2001).

#### 5.7.1. Hidrología superficial y subterránea en el Municipio de Irapuato.

El Municipio de Irapuato se encuentra incluido en la Región Hidrológica 12 “Lerma-Chapala-Santiago”, la cual tiene una extensión territorial de 132,916 km<sup>2</sup>. Esta región está dividida a su vez en seis cuencas y el Municipio de Irapuato se localiza dentro de la cuenca “B” Río Lerma-Salamanca; tiene su origen en la Presa Solís, por lo que el municipio de Irapuato está beneficiado por varios canales de riego, ello debido a que el municipio está catalogado entre los principales productores agrícolas del estado.

El principal cuerpo de agua es la presa La Purísima, además de las presas de control de ríos La Gavia, Chichimequillas, San José y El Conejo. Esta última tiene como principal función el control de avenidas, recibiendo el afluente principal del Río Silao, posteriormente a la salida de dicha presa el agua corre hacia el ANP “Cerro de Arandas”, la cual se filtra a la ciudad de Irapuato donde se reciben las descargas de aguas municipales.

Respecto a cuerpos menores, dentro del municipio de Irapuato se tienen el arroyo Santa Rita el cual entronca con el río Guanajuato aguas abajo y los bordos Jalapa, 1° de Mayo, La Sardina, El Tomate, la Presa Nueva, entre otros. En lo que respecta a la parte noroeste del municipio de Irapuato se tiene la presencia de cauces entre los cerros de Arandas y Bernalejo, los cuales desembocan en el río Silao. Al sur y sureste se ubican cauces en los poblados de Rancho Alegre y San Antonio de Chico.

A partir de un Modelo de Pendientes para la zona del Municipio de Irapuato, se pueden observar las líneas de escurrimiento, dirección de los arroyos, así como las zonas con el potencial de acumular agua e inundaciones (Figura 5.25).

Existe una conciencia de que una fortaleza de Irapuato actualmente es su clima y la calidad de la tierra que en su mayoría es adecuada para la agricultura. En este sentido, la escasez del agua en el municipio, lo convierte en uno de los principales retos, pero no sólo para la agricultura, sino la industria y el sector servicios tienen al agua como su recurso fundamental. El municipio de Irapuato demanda cada día mayores caudales de agua para sustentar su crecimiento poblacional, agrícola,

ganadero, industrial y de servicios. La competencia cada vez mayor por el uso del agua ha ocasionado que la extracción del agua subterránea se incremente año con año, todo a costa de la sobreexplotación del acuífero, en el cual los volúmenes de salida son mayores que el de entradas, situación que genera un desbalance hídrico ya que la extracción global indica un desequilibrio de 226 millones de  $m^3$  al año (CONAGUA, 2009).

Los problemas de fracturamiento del subsuelo en la zona urbana, es uno de los principales problemas generados por la extracción. El municipio de Irapuato se localiza sobre tres acuíferos (Figura 5.26):

- a) *Pénjamo-Abasolo*. Debido a la severa explotación de los aprovechamientos de agua subterránea enclavados en la zona de Pénjamo-Abasolo, de la misma manera como en casi todo el estado de Guanajuato, los niveles del agua han descendido paulatinamente a través del tiempo, lo que ha motivado que los pozos se profundicen cada vez más y sus diámetros se agranden, con la intención de reponer los caudales de agua perdidos, ya que los niveles de bombeo están cada vez más profundos en forma acelerada, y como consecuencia, los costos de bombeo se han sido incrementa.
- b) *Irapuato - Valle de Santiago*. Este acuífero cuenta con una recarga de  $175 \text{ mm}^3/\text{año}$  y una extracción de  $217 \text{ mm}^3/\text{año}$ , con un total de 1,143 pozos lo que representa un déficit de  $42 \text{ mm}^3/\text{año}$ , este se encuentra sobre explotado principalmente para uso de riego agrícola por lo que se le aplica por parte de Comisión Nacional de Agua, CNA, una política de veda, sin embargo se hace elástica para uso urbano.
- c) *Silao-Romita*. Para este acuífero la extracción del líquido inicio en la década de los 40's con perforaciones someras y de baja capacidad de bombeo, en los 50's inicio a gran escala para usos agropecuarios. Para los 70's, se manifestaban claros efectos de la sobreexplotación, como el descenso en el nivel del acuífero, por ello se decretaron zonas de veda hasta cubrir todo el estado. A partir de los 80's, no se autorizaron nuevos aprovechamientos con fines agrícolas en toda la entidad. En la actualidad los aprovechamientos de agua subterránea en la zona son de aproximadamente 2,000 pozos, utilizados con fines de riego (87%), consumo doméstico (11%) y el resto para industria y ganadería. Debido a esto, el nivel del agua en el acuífero ha decrecido anualmente de 2 a 4 m. No obstante, no hay un estimado del volumen, ni del tiempo que resta del disfrute del recurso.

Los tres acuíferos mencionados anteriormente están incluidos dentro del listado de acuíferos que presentan sobreexplotación según datos de CONAGUA.

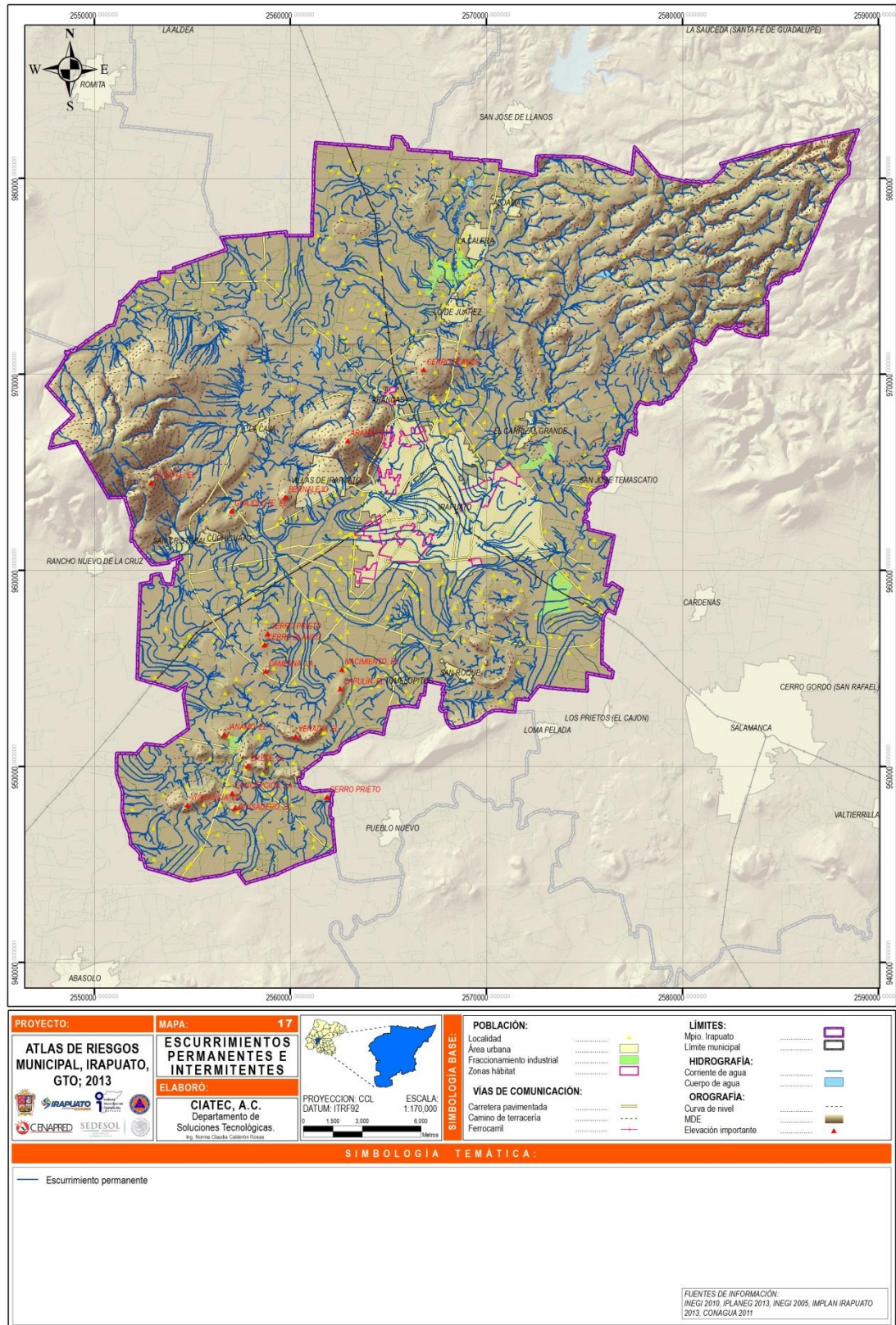


Figura 5.25 Mapa de Escurreimientos permanentes e intermitentes del Municipio de Irapuato.

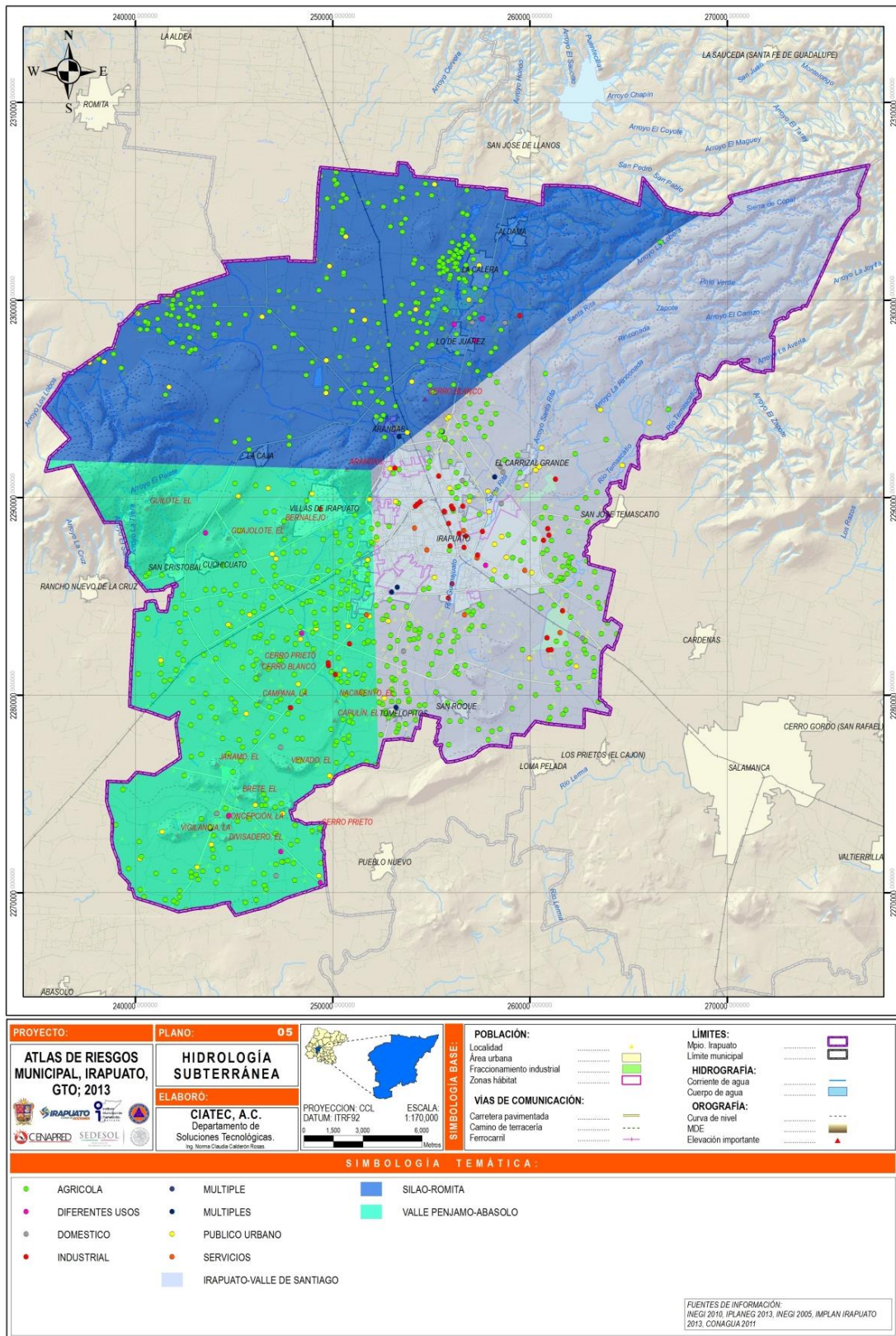


Figura 5.26 Mapa de hidrología subterránea del municipio.

### 5.7.2 Simulación numérica del abatimiento y hundimiento.

La simulación numérica tiene por objeto, en función del abatimiento, características mecánicas y geometría de las estructuras geológicas verificar las zonas sometidas a tensión y que corresponde a los lugares donde aparecen las fallas y grietas de tensión. En esta zona aparecen las grietas y fallas de tensión por compactación del acuífero y de manera específica, en el predio de proyecto pasan tanto una falla como una grieta de tensión, cuyas franjas de influencia definidas más adelante deberán ser respetadas.

#### 5.7.2.1 Evolución del acuífero.

El esfuerzo efectivo norma las deformaciones en los suelos; la evolución del nivel del agua se evalúa al comparar dos condiciones conocidas, se obtiene la configuración de la evolución del nivel estático la cual exhibe la forma del cono de abatimiento, las zonas de gradientes hidráulicos tendidos. De acuerdo a las Fases de la deformación por flujo hidrodinámico las franjas de gradiente hidráulico tendido serán las principales regiones susceptibles de la generación de grietas y crecimiento de fallas. De acuerdo a la profundización del nivel del agua se presentará un incremento del esfuerzo efectivo, teniendo en cuenta que por cada metro de abatimiento, se genera una tonelada por metro cuadrado de incremento del esfuerzo efectivo.

La deformación volumétrica (asentamiento) se da por cambios en el campo del esfuerzo efectivo  $\Delta\sigma$ . El decremento en la presión de poro causada por el bombeo no tiene efecto en la presión normal  $P$ , pero a pesar de ello, la carga soportada por los granos de suelo y líticos de roca sufre un incremento de manera proporcional al decremento de la presión del fluido, así que  $\sigma = P - u$ . Las variaciones de la presión de poro " $u$ " y del esfuerzo efectivo  $\Delta\sigma$  son determinados por los cambios y evolución del nivel estático dentro de la masa de suelo y roca.

El hundimiento será notorio en la región central del cono de abatimiento y periferia, en las zonas de los gradientes hidráulicos muy tendidos la densificación de los materiales geológicos colapsan el suelo. Las grietas aparecerán en los puntos de inflexión de las franjas de gradiente hidráulico tendido. El espesor drenado se vuelve compresible, indistintamente del tipo de Unidad Geológica presente en la estratigrafía local, de ahí la importancia de señalar las características estratigráficas y mecánicas. El espesor drenado se origina por el bombeo de agua subterránea a través de pozos profundos que abastecen a los diferentes ámbitos: público urbano, industrial, agrícola, pecuario, etc. Con los datos provenientes de la evaluación del abatimiento del acuífero en los últimos años, se calibrará la **configuración de Evolución del Nivel Estático** mediante el programa "ESFEFE" desarrollado por Álvarez Manilla A. A. en 1997; se calcula el asentamiento con las siguientes expresiones:

$$\Delta H = m_v \cdot \Delta\sigma \cdot H \qquad \Delta H = \frac{a_v \cdot \Delta\sigma \cdot H}{1 + e_0}$$

Siendo  $\Delta H$  el asentamiento diferencial;  $a_v$  y  $m_v$  los parámetros de compresibilidad;  $H$  el espesor drenado y  $\Delta\sigma$  el incremento de esfuerzo efectivo por abatimiento de la superficie del agua subterránea. La velocidad de las Fases de deformación dependerá básicamente de la forma en cómo se desarrolle el acuífero, régimen de operación y número de pozos. Es poco probable y difícil que el proceso se pueda revertir, por tanto estos fenómenos se consideran del tipo transitorio; si se para ahora la extracción del agua en la zona, los estratos del subsuelo seguirán deformándose durante varios años. El incremento del esfuerzo efectivo al disminuir la presión de poro genera las tres Fases de la deformación por flujo hidrodinámico; que son:

- Fase 1:** Hundimiento por abatimiento del nivel del agua,
- Fase 2:** Generación de grietas de tensión, y
- Fase 3:** Crecimiento de grietas de tensión por abatimiento del acuífero.

En la Fase 1, el abatimiento de la superficie del agua genera un hundimiento al haber sido drenado un intervalo de la formación acuífera. El hundimiento genera esfuerzos de tensión que el suelo no resiste, generando las grietas de tensión, Fase 2. Conforme la extracción sigue siendo mayor a la recarga, la pérdida de la presión neutra continua, apareciendo nuevas grietas de tensión, y las otras iniciales se azolvarán dando la impresión que existe un escalón similar al salto de una falla; presentándose la Fase 3.

Para los fines del Atlas Municipal de Riesgos, el estudio de la hidrología subterránea se realizó simplemente con la lectura de pequeños escritos en el Atlas Geohidrológico del Estado de Guanajuato, elaborado por la Comisión Estatal del Agua. Lo más relevante radica en la evolución que ha presentado el desarrollo del acuífero a lo largo de su historia y el impacto que ha generado su sobreexplotación.

#### 5.7.2.2 Profundidad del Nivel Estático, Años de 1984 y 2013.

En la **figura 5.28** se muestra la configuración de la profundidad al nivel estático para el año de 1984, al sur de Irapuato se encontraba la superficie del agua a 40 m de profundidad, mientras que en el Norte a 70 m; como dato específico, los pozos perforados en la zona urbana localizaban el agua a 50 m en promedio.

Para el año de 2013, la configuración del nivel estático después de 29 años se presenta se ha profundizado 73 m en la zona Sur y 30 m en la zona Norte (**Figura 5.29**).

El abatimiento del nivel del agua genera efectos transitorios causados por la compresión de los poros en los granos del suelo o fracturas, juntas, y diaclasas en los líticos de una masa de materiales geológicos; esto da como resultado el decremento en las presiones de poro “u” y de fractura. La evolución negativa del nivel estático va en contra del almacenamiento, ocasionando que la pérdida de sustentación hidráulica al año debido al abatimiento que tiene una velocidad promedio de -2.5m/año.

#### 5.7.2.3 Aplicación del programa “ESFEFE”.

Una vez teniendo la configuración de la evolución del nivel estático (**Figura 5.30**), se procede a calibrar con el modelo que simula flujo y deformación desarrollado por GIA, S.A. de C.V., con los resultados se conocieron las distribuciones del hundimiento a los períodos 1984-1999 y 1984-2003.

Es necesario el valor de compresibilidad de los materiales geológicos, pero como resulta muy costoso extraer las muestras inalteradas a profundidad, esta se determinó en función del desplazamiento relativo entre los bloques alto y bajo y la declinación del nivel estático en el período 1984-1999.

#### 5.7.2.4 Hundimiento período 1984-1999.

Los hundimientos están valuados en -2.95 m, en la vecindad del “Puente Guadalupe”, y que corresponde a la zona donde se localiza el conoide de abatimiento, con su eje mayor orientado NNE-SSW. Los lineamientos tectónicos ejercen un control pasivo sobre la forma de las isolíneas de abatimiento y por tanto en las líneas de igual hundimiento.

Por lo anterior, se realizó un levantamiento de las grietas de tensión por las principales avenidas de Irapuato, tomando su posición y orientación, conformando la imagen que aparece en la **Figura**

5.31. Con las direcciones del fracturamiento se formó la roseta de la Figura 5.32, uniendo los puntos en función de la orientación de cada una de las fracturas apoyadas en una imagen aérea.

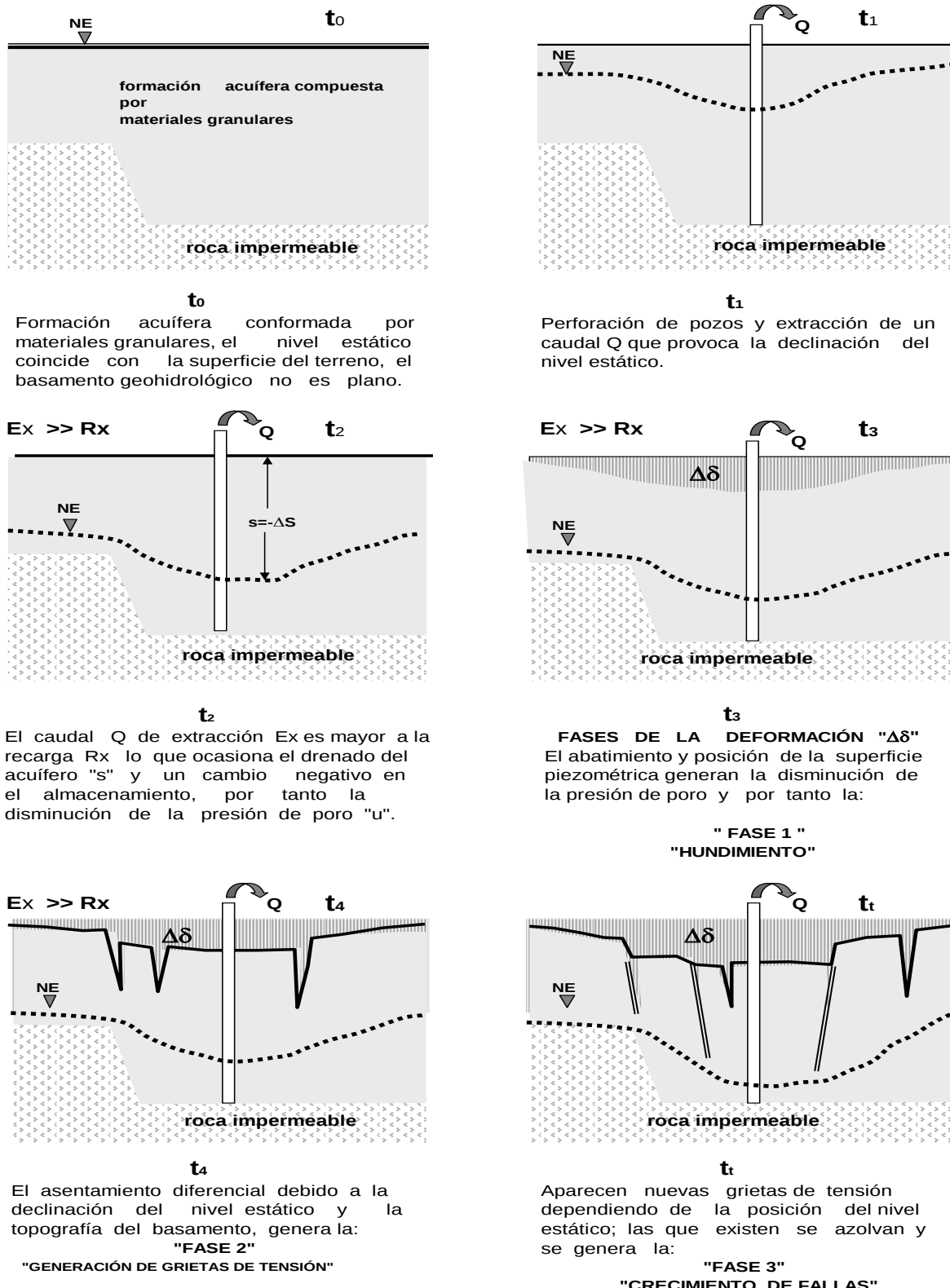


Figura 5.27 Mecanismo de la deformación por flujo hidrodinámico.

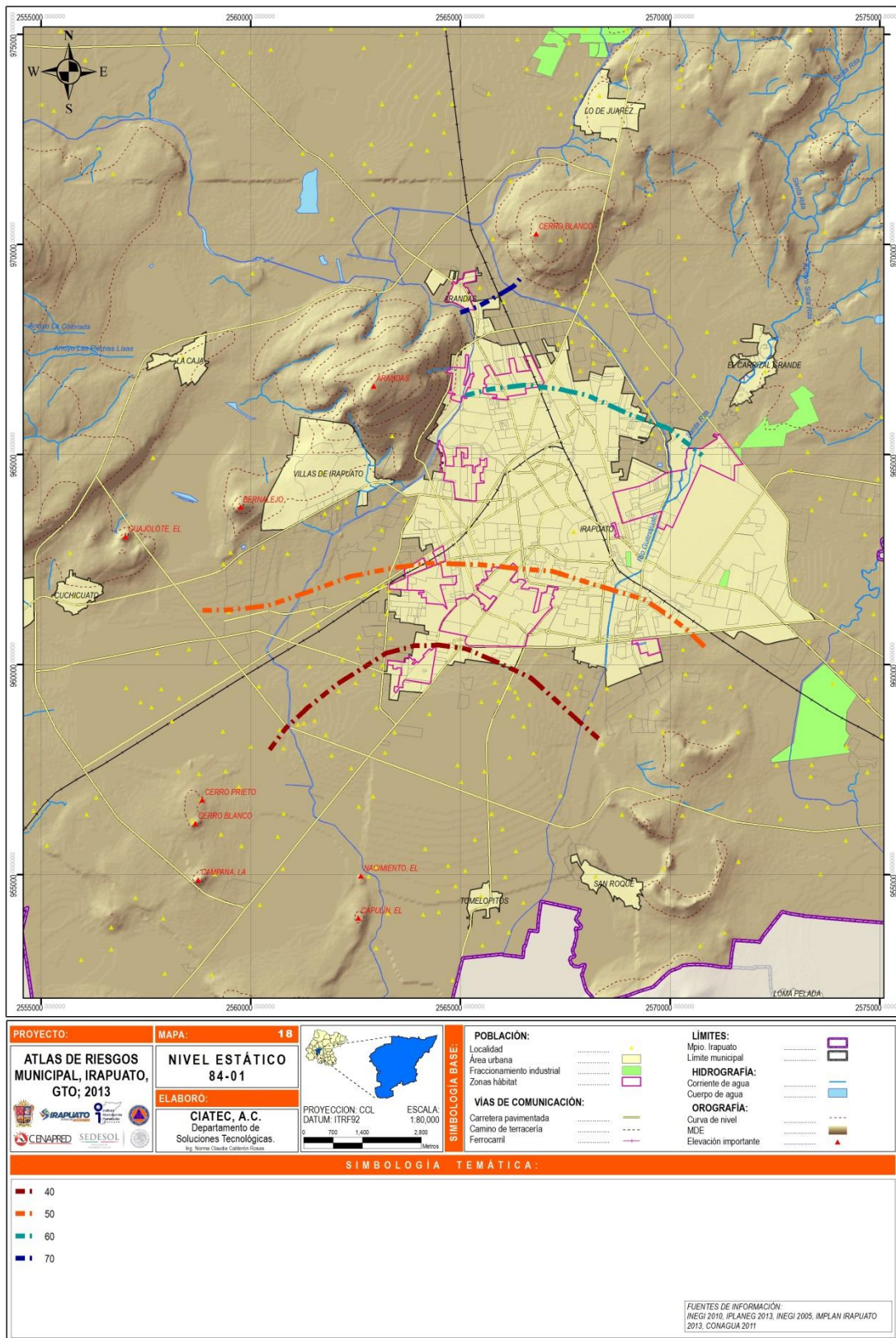
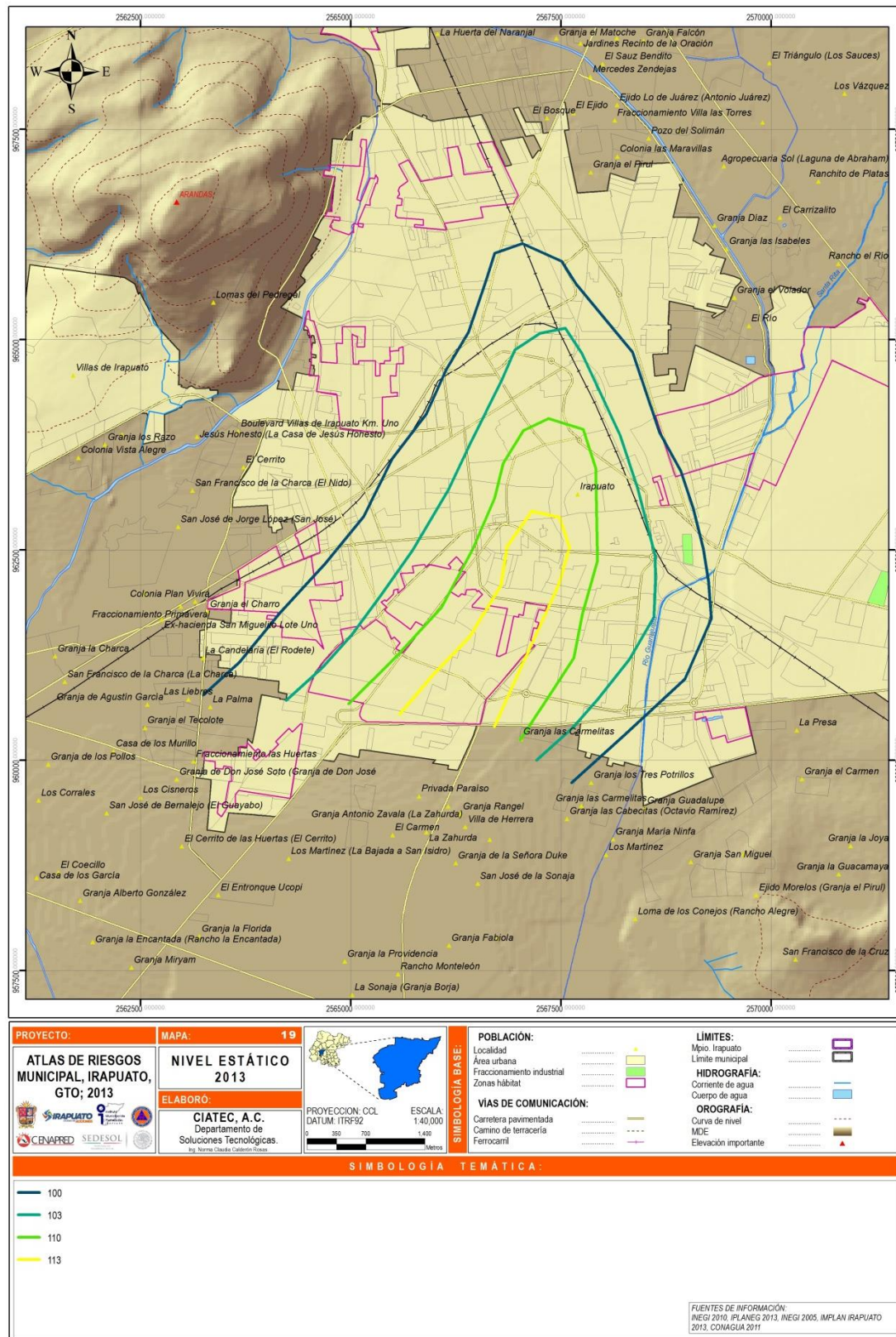


Figura 5.28 Profundidad del Nivel Estático, 1984.



**Figura 5.29 Profundidad al Nivel Estático, año de 2013.**

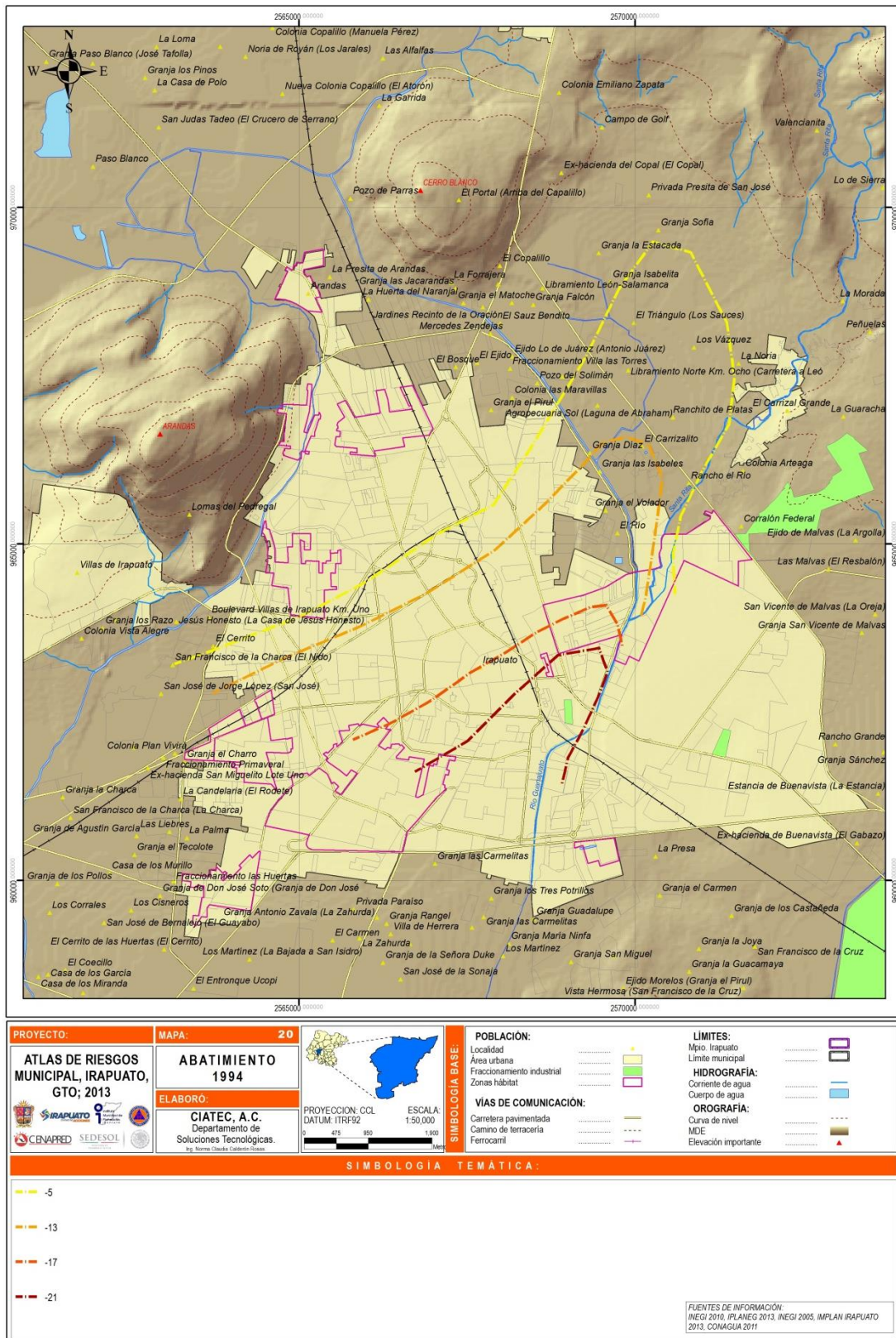


Figura 5.30 Cono de abatimiento generado en 15 años de bombeo.

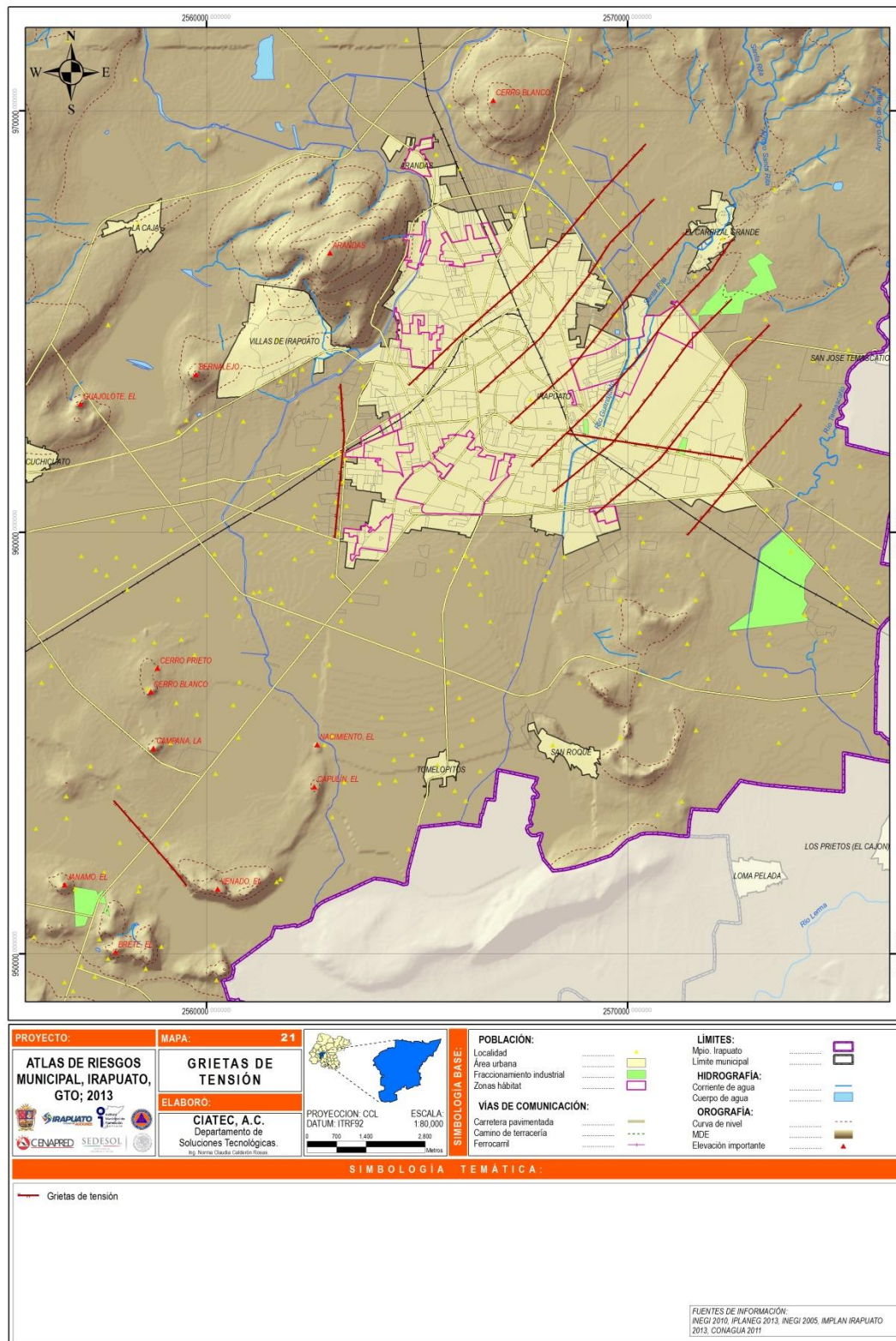


Figura 5.31 Mapa de Grietas de Tensión en el Municipio de Irapuato, Septiembre-Octubre de 2013.

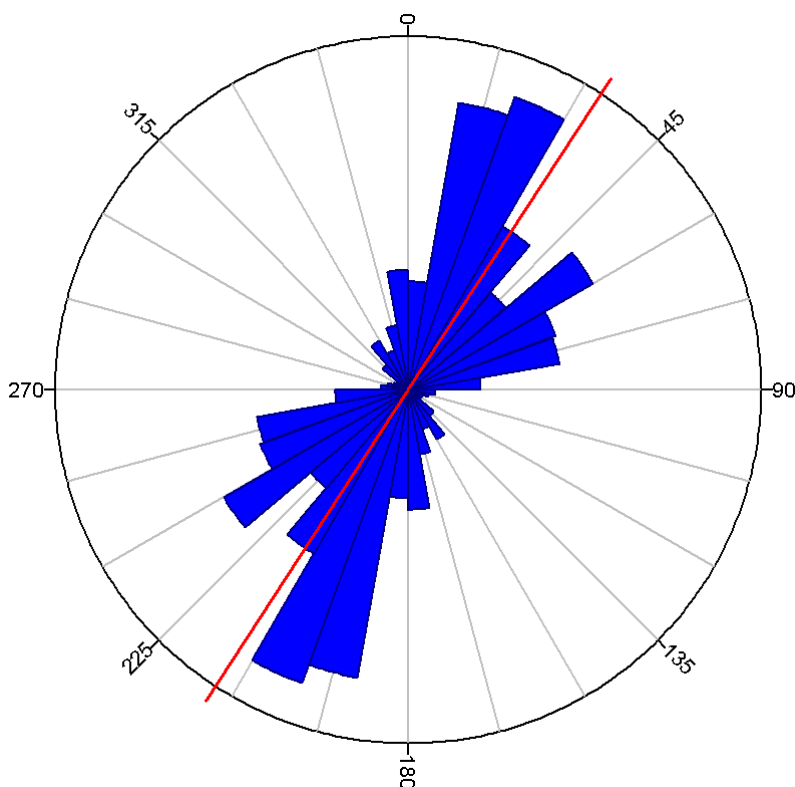


Figura 5.32 Diagrama de rosa del fracturamiento de tensión dentro de la ciudad de Irapuato.

## 5.8 ESTIMACIÓN DEL PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS.

En el Municipio de Irapuato se presentan zonas de laderas, mismas que quedan expuestas a la generación de movimientos repentinos pendiente abajo de masas de suelos y rocas en laderas. Generalmente los deslizamientos presentan manifestaciones que visualmente emiten la posibilidad de su ocurrencia en el futuro. De esta forma, es necesario distinguir y evaluar el peligro a que está sometida la población de una colonia y/o comunidad en relación a estos eventos; una vez establecida la vulnerabilidad será posible calcular el riesgo por la ocurrencia de estos fenómenos en específico.

Un deslizamiento ocurre cuando se pierde el equilibrio de los materiales que componen una ladera y se desliza ladera abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca. Los deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas.

Las características intrínsecas y las debilidades inherentes en las rocas y en los suelos frecuentemente se combinan con uno o más eventos desestabilizadores (lluvias intensas, actividad sísmica, actividad volcánica, etc.). Los deslizamientos pueden ocurrir como fallas de laderas de cerros, cañadas, barrancas, riberas de ríos, lagunas o vasos de presas; en cortes y terraplenes de carreteras, minas a cielo abierto y bancos de materiales; también suceden deslizamientos o fallas de talud en terraplenes para presas, bordos y otras obras, así como en excavaciones para la construcción.

### 5.8.1 Principios teóricos sobre el deslizamiento de laderas.

El deslizamiento de una ladera es un término general que se emplea para designar a los movimientos talud abajo de materiales intemperizados, que resultan de un desplazamiento hacia abajo y hacia afuera de suelos, rocas y vegetación, bajo la influencia de la gravedad. Estas inestabilidades se caracterizan porque los materiales que componen la masa fallada se pueden mover por derrumbe o caída, deslizamiento, flujo y desplazamiento lateral. Algunos deslizamientos son rápidos porque ocurren en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o aun lapsos mayores para que se desarrollen. Teóricamente, los deslizamientos se identifican como caídos o derrumbes, deslizamientos y flujos.

#### 5.8.1.1 Caídos o derrumbes.

Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados (**Figura 5.33 a**) por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando; incluye:

- **Desprendimientos:** Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento), proclives a la inestabilidad.
- **Vuelcos o volteos:** Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas), que tienden a la vertical.

#### 5.8.1.2 Deslizamientos.

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera (**Figura 5.33 b**). Por la forma de la superficie de falla, se distinguen:

- **Rotacionales:** Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.
- **Traslacionales:** Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de diferente alteración o meteorización de las rocas, con echado propicio al deslizamiento.

#### 5.8.1.3 Flujos.

Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla (**Figura 5.33 c**). Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:

- **Flujos de lodo:** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

- **Flujos de tierra o suelo:** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.
- **Flujos o avalancha de detritos:** Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.
- **Creep o flujo muy lento:** A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.
- **Lahar:** Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.



Figura 5.33 Principales tipos de deslizamientos en laderas.

Podrían reconocerse asimismo, los desplazamientos laterales que consisten en movimientos de masas térrneas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales; con frecuencia son causados por licuación, donde los sedimentos sueltos y saturados (arenas y limos) se transforman en un estado fluido, por las vibraciones de un sismo.

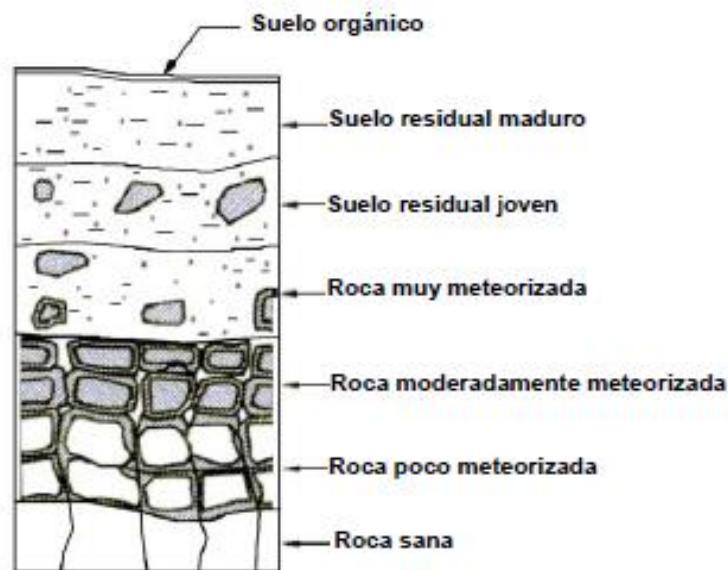
### 5.8.2 Rasgos geológicos y geomorfológicos que propician inestabilidades.

La inestabilidad de laderas ocurre con gran frecuencia en suelos residuales y durante periodos de lluvias intensas. Los suelos residuales son aquellos materiales producto de la descomposición química de las rocas, resultado del intemperismo provocado por el clima; se trata de geomateriales no transportados, disgregables o de consistencia blanda que se mantienen en el mismo sitio en que fueron modificados a partir de la roca original. Con frecuencia exhiben incluso la misma apariencia que la roca original.

El grado de alteración y la extensión a la que la estructura original de la masa de roca se destruye o meteoriza varía con la profundidad. Se da lugar así a perfiles de alteración que comprenden materiales con propiedades mecánicas muy diferentes (Figura 5.34), desde aquéllas propias de la roca franca que se encuentra a profundidad, hasta las de suelo completamente intemperizado o alterado, o simplemente residual, que se observa en la superficie del terreno. No es de extrañarse entonces que con frecuencia las superficies de deslizamiento en materiales residuales se ubiquen relativamente cerca y paralelas a la superficie del terreno. Las características principales de los materiales residuales son:

- Usualmente heterogéneos (difíciles de muestrear y ensayar).
- Se encuentran casi siempre en una condición no saturada (sus poros contienen no sólo agua sino también aire).
- Invariablemente tienen altas permeabilidades (sus propiedades son particularmente sensibles y de una respuesta inmediata a las influencias hidráulicas externas).

Sin embargo, debe advertirse que los deslizamientos no sólo ocurren en suelos residuales; sino que incluso suceden en formaciones rocosas como resultado de una variedad de causas, por lo que en el campo deberán distinguirse las características indicadas en la **Tabla 5.8**, que son síntomas de inestabilidad de laderas.



**Figura 5.34 Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal.**

**Tabla 5.8 Identificación de rasgos característicos que indican la posibilidad de un deslizamiento.**

| RASGOS CARACTERÍSTICOS                                                                                   | INTERPRETACIÓN                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salientes, hendiduras y agrietamientos en la parte alta (corona) de una ladera.                          | Son causados por deslizamientos previos, o son signo de deslizamientos futuros.                                                                                                                                                                           |
| Taludes con una superficie empinada o irregular.                                                         | Atestiguan los remanentes de depósitos de un deslizamiento ocurrido en el pasado; éstos tienen un potencial alto para convertirse en un flujo o avalancha.                                                                                                |
| Depresiones en cualquier zona de una ladera.                                                             | Generalmente están cubiertas por acumulaciones de suelos colectando agua superficial. En la corona de una ladera, las depresiones dibujan el contorno de una posible escarpa de falla.                                                                    |
| Taludes con filtraciones de agua.                                                                        | Éstas pueden estar influenciadas por agua proveniente del interior de la ladera, incluso resultado de fenómenos tales como tubificación y erosión interna.                                                                                                |
| Taludes con bloques rocosos o muchos cantos rodados.                                                     | Ante pendientes fuertes y con echados favorables, tienen un alto potencial para generar caídos de roca.                                                                                                                                                   |
| Presencia o ausencia de vegetación.                                                                      | Los cambios bruscos de vegetación pueden estar asociados a la presencia o ausencia de agua en la ladera, la que influye en las propiedades mecánicas del terreno; o bien, una discontinuidad tal como una grieta o falla que favorezca una inestabilidad. |
| La inclinación de árboles o cercas (en el sentido del movimiento) ubicadas en el cuerpo de una ladera.   | Indican un movimiento pendiente abajo de un espesor de materiales propensos a la falla; usualmente estos movimientos son lentos.                                                                                                                          |
| Agrietamientos en banquetas, muros y pisos de zonas urbanas desarrolladas en cañadas, cerros o montañas. | Indican el movimiento y la posibilidad de falla de una ladera, la cual puede ser acelerada por las fugas en los sistemas de drenaje y de abastecimiento de agua.                                                                                          |

Se han realizado recorridos de campo para la identificación y evaluación del peligro de deslizamiento de laderas en zonas urbanas y rancherías, recabando datos en zonas marginales y

urbanizadas conforme la metodología descrita anteriormente. En general, el peligro evaluado se ha determinado del valor medio a moderado, corroborando los datos expuestos por las entrevistas de campo realizadas a los pobladores de las zonas de laderas (Figuras 5.35, 5.36 y 5.37).

Dentro de los factores externos que propician la inestabilidad de laderas, en el caso del Municipio de Irapuato se ha recomendado evaluar el efecto de la saturación en el suelo derivado de lluvias intensas y prolongadas. Los umbrales de lluvia para los cuales han ocurrido deslizamientos en diferentes partes del mundo se definen en función de la información histórica recabada a través de varios años de estudiar la ocurrencia de deslizamientos asociados a las lluvias. Brand (1985), establece que

- Los deslizamientos en su gran mayoría son inducidos por lluvias cortas y localizadas de intensidad alta, estos ocurren prácticamente al mismo tiempo que se presenta el máximo de la lluvia horaria.
- La lluvia antecedente no es un factor mayor en la ocurrencia de deslizamientos, excepto en casos de deslizamientos menores que tienen lugar bajo lluvias de relativamente baja intensidad.
- Una intensidad de lluvia de aproximadamente 70 mm/hora parece ser el valor umbral arriba del cual ocurren los deslizamientos. El número de deslizamientos y la severidad de sus consecuencias aumenta dramáticamente conforme crece la intensidad horaria respecto a este umbral.
- La lluvia de 24 horas generalmente refleja lluvias cortas de intensidad alta, y ésta puede por tanto ser como un indicador de la probabilidad de deslizamientos. Una lluvia de 24 horas de menos de 100 mm es muy improbable que provoque un deslizamiento mayor.

La lluvia acumulada en días también es un factor importante para conocer, ya que los deslizamientos pueden ocurrir después de que una ladera ha estado sometida a varios días de lluvia, saturando el terreno y creando escurrimientos superficiales de agua.

De acuerdo a la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, en su componente geológica; para determinar los umbrales de lluvia aplicables a una región determinada, se debe contar con información de al menos dos deslizamientos que hayan ocurrido durante el lapso de una lluvia intensa, o durante los días u horas que la tormenta haya permanecido estacionada dentro de la zona de estudio, con ello es posible asegurar que la lluvia jugó el papel principal para la ocurrencia de un deslizamiento.

Si bien, la condición específica recomendada por el CENAPRED no es posible establecerla en el Municipio de Irapuato (a efecto de determinar la precipitación como el elemento desencadenante de un deslizamiento), se ha desarrollado la referencia de la estimación de precipitaciones acumuladas en 24 horas para distintos periodos de retorno, de acuerdo al Programa VELL (recomendado por el CENAPRED en su sitio web como referencia oficial). Se seleccionaron estratégicamente 20 sitios distribuidos en las laderas y valles del Municipio de Irapuato (Figura 5.38), reflejándose valores de precipitación que oscilan en el rango de 54.5 y 167.8 mm, en función del periodo de retorno estimado. La tabla 5.9 expone las precipitaciones estimadas para cada punto de control en los distintos periodos de retorno establecidos.

**Tabla 5.9 Puntos de referencia de análisis de precipitación de 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 y 2000 años.**

| Punto | Tr=2 | Tr=5 | Tr=10 | Tr=20 | Tr=50 | Tr=100 | Tr=100 | Tr=500 | Tr=1000 | Tr=2000 |
|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1     | 55.2 | 70.3 | 80.1  | 89.4  | 101.6 | 110.9  | 119.6  | 131.8  | 141.1   | 149.8   |
| 2     | 56.8 | 72   | 82.1  | 91.6  | 104.1 | 113.7  | 122.6  | 135.1  | 144.6   | 153.5   |
| 3     | 57.8 | 73.4 | 83.8  | 93.5  | 106.2 | 115.9  | 125    | 137.8  | 147.5   | 156.6   |
| 4     | 58.3 | 74.3 | 84.7  | 94.5  | 107.4 | 117.2  | 126.5  | 139.3  | 149.2   | 158.4   |

|    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5  | 57.7 | 73.5 | 83.8 | 93.5 | 106.3 | 116   | 125.1 | 137.8 | 147.6 | 156.7 |
| 6  | 56.4 | 71.9 | 82   | 91.5 | 103.9 | 113.4 | 122.4 | 134.8 | 144.3 | 153.2 |
| 7  | 57.8 | 73.5 | 83.9 | 93.6 | 106.4 | 116.1 | 125.2 | 138   | 147.7 | 156.8 |
| 8  | 57.1 | 73   | 83.3 | 93.2 | 106.1 | 116   | 125.3 | 138.3 | 148.1 | 157.4 |
| 9  | 54.5 | 69.9 | 80.2 | 90.2 | 103.6 | 113.8 | 123.6 | 137   | 147.2 | 157   |
| 10 | 57.7 | 73.4 | 83.8 | 93.5 | 106.2 | 115.9 | 125   | 137.8 | 147.5 | 156.6 |
| 11 | 58.5 | 74.5 | 85   | 94.9 | 107.8 | 117.7 | 127   | 140   | 149.9 | 159.2 |
| 12 | 57.2 | 73.1 | 83.8 | 94.2 | 108   | 118.6 | 128.6 | 142.5 | 153.1 | 163.1 |
| 13 | 57.9 | 73.8 | 84.3 | 94.4 | 107.7 | 117.8 | 127.4 | 140.7 | 150.8 | 160.4 |
| 14 | 56.7 | 72.4 | 83.4 | 94.3 | 108.9 | 120.1 | 130.9 | 145.6 | 156.8 | 167.6 |
| 15 | 57.3 | 73.1 | 84.1 | 95   | 109.4 | 120.4 | 131.1 | 145.6 | 156.7 | 167.3 |
| 16 | 57.6 | 73.5 | 84.1 | 94.4 | 107.9 | 118.3 | 128.2 | 141.8 | 152.2 | 162   |
| 17 | 57.9 | 73.8 | 84.3 | 94.3 | 107.4 | 117.5 | 126.9 | 140.1 | 150.1 | 159.6 |
| 18 | 58.8 | 74.6 | 85   | 94.9 | 107.8 | 117.7 | 126.9 | 139.9 | 149.7 | 159   |
| 19 | 55.2 | 71   | 82   | 93   | 107.8 | 119.2 | 130.3 | 145.3 | 156.7 | 167.8 |
| 20 | 57.9 | 73.8 | 84.2 | 94   | 106.8 | 116.6 | 125.8 | 138.6 | 148.4 | 157.5 |

En función de las recomendaciones expuestas por Brand (1985), se establecieron tres rangos de valores del peligro asociado al deslizamiento de laderas en función de la precipitación estimada para un lapso de 24 horas:

1. Peligro Bajo: precipitaciones acumuladas en 24 horas  $< 70$  mm.
2. Peligro Medio: precipitaciones acumuladas en 24 horas  $\geq 70$  mm y  $< 100$  mm.
3. Peligro Alto: precipitaciones acumuladas en 24 horas  $\geq 100$  mm.

Si bien, esta diferenciación pareciera arbitraria, es concordante con las recomendaciones establecidas por Brand, y pese a no cumplir con la recomendación del CENAPRED (antecedentes históricos), es necesario tomar en cuenta el efecto de las precipitaciones en el cálculo de la estimación del peligro por deslizamiento de laderas y el geoposicionamiento de los valores establecidos en la **Tabla 5.9** permiten generar el vínculo entre estas variables.

La **figura 5.39** muestra un análisis de peligro por deslizamiento de las laderas del territorio del Municipio de Irapuato, tomando en cuenta los valores establecidos en los rangos de precipitación para una lluvia acumulada de 24 horas, el resultado de dicho análisis se ha dividido en cinco rangos, respetando lo establecido en el formato para la estimación del peligro de deslizamiento de laderas propuesto por CENAPRED.

Este tipo de análisis permite establecer un criterio acertado y práctico respecto al territorio municipal de Irapuato. El rango de peligro mayor (muy alto), ha quedado definido por pendientes mayores a  $35^\circ$  en su inclinación, referidos en la zona que cubre las laderas del nororiente del territorio, en donde la concentración de la población e infraestructura es mínima.



Figura 5.35 Evaluación de Laderas en Colonia Vista Hermosa.



Figura 5.36 Evaluación de taludes producto de la acción del ser humano al norponiente de la ciudad de Irapuato.



Figura 5.37 Evaluación de taludes producto de la acción del ser humano al norponiente de la ciudad de Irapuato.

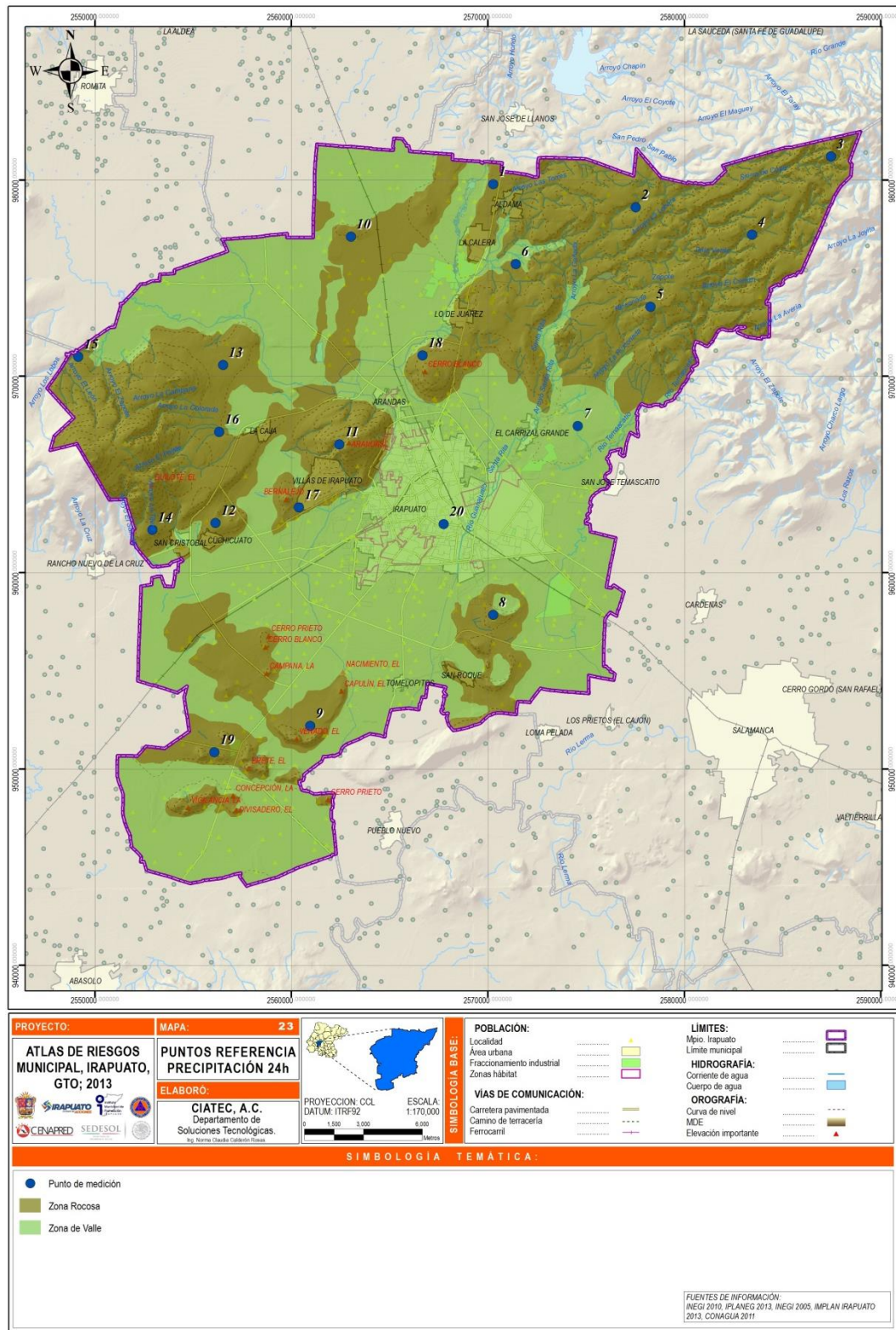


Figura 5.38 Mapa de Puntos de referencia de análisis de precipitación de 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 y 2000 años.

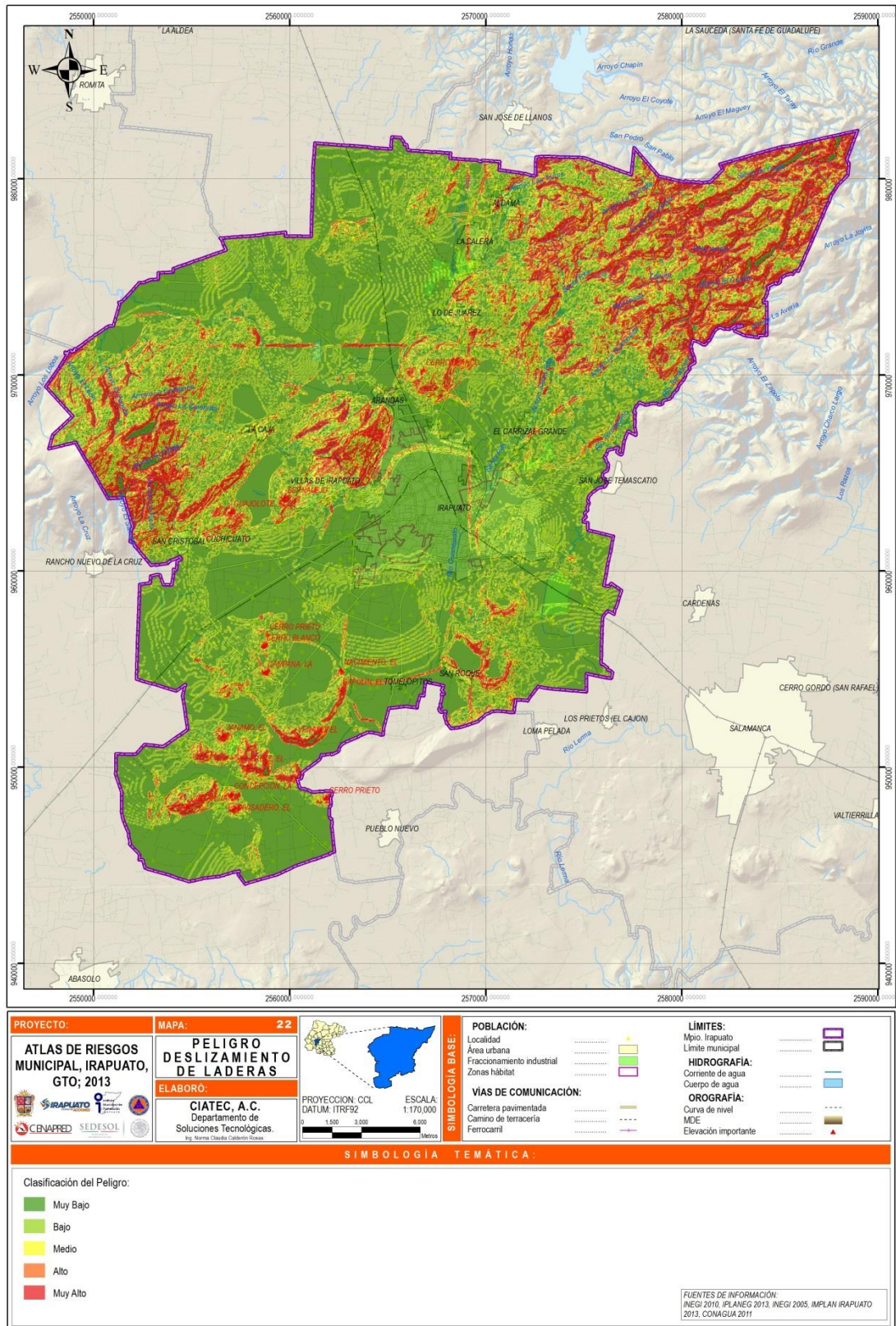


Figura 5.39 Mapa del peligro de deslizamiento con base en la pendiente de las laderas.

## 5.9 SUSCEPTIBILIDAD DE LOS SUELOS EXPANSIVOS.

Se entiende por suelo expansivo como aquel que es susceptible de sufrir cambios volumétricos por cambios de humedad. Puede decirse que los suelos expansivos son un fenómeno que se origina por la presencia de un suelo arcilloso con mineral montmorillonita y un clima semiárido, donde la evapotranspiración potencial media anual es mayor que la precipitación media anual (Zepeda, 1989). Los suelos expansivos generalmente no tienen problemas de capacidad de carga, sin embargo; son muy frecuentes los levantamientos de las estructuras en consecuencia de la falta de equilibrio de los esfuerzos internos que desarrolla el suelo con aquellos a los que es sometido, es decir; a la carga transmitida por la estructura (López-Lara, 2002).

Los cambios de volumen, ya sean debidos a modificaciones en el contenido de agua o a variaciones de la presión total que actúa sobre el suelo, dan como resultado una redistribución de esfuerzos del sistema suelo-estructura. Las presiones suelo-estructura que se originan pueden ser de importancia cuando también lo es la restricción del movimiento produciendo daños notables en las estructuras, si es que tal efecto no ha sido tomado en cuenta previamente.

Para que se manifieste el fenómeno de la expansión se necesita, además de la presencia de un suelo potencialmente expansivo; condiciones ambientales que generen cambios apreciables de humedad. Estas características se encuentran en regiones de clima monzónico, en donde las estaciones son muy marcadas y tienen periodos de sequía prolongados. Aunque con características diferentes, también aparecen en regiones semiáridas de las regiones con clima templado y tropical en donde el terreno se encuentra profundamente desecado y la evapotranspiración supera a la precipitación durante todo el año. La realización inadecuada de obras tales como pavimentos, casas habitación, edificios comerciales y de servicios, provoca fallas en las estructuras debido al comportamiento inestable del suelo donde han sido apoyadas. Para comprender mejor el problema, debemos entender por “falla” las discrepancias entre los resultados esperados de un proyecto y lo que en la realidad se observa.

Tratándose de estructuras ligeras tales como casas habitación, en el proyecto se espera un adecuado comportamiento estructural sin deterioro ni defectos; y lo que se observa al cabo de un tiempo más o menos corto son ciertos desplazamientos y algunas deformaciones inexplicables, que en última instancia se manifiestan en la estructura mediante la aparición de grietas y desplomes en los muros, levantamientos de pisos y en algunas ocasiones daños en elementos estructurales (Trejo, 1989).

### 5.9.1 Factores que influyen en la expansión y contracción del suelo.

Los cambios de humedad que originan la expansión y contracción en un suelo expansivo, pueden ser inducidos por cambios climáticos, por la influencia de la temperatura y la vegetación, por la topografía, el tipo de estructura, la cimentación, infraestructura actual de la zona, fugas en tuberías de agua y drenaje, etc.; de forma que si la humedad permanece constante, el suelo no presentará cambios volumétricos en su estructura. Dentro de los factores que influyen en el mecanismo de expansión y contracción del suelo, se han considerado:

1. **Las características del suelo;** incluyendo las propiedades mineralógicas y químicas del suelo que determinan la capacidad de contener agua absorbida en su estructura; así como las propiedades de plasticidad y densidad que son un reflejo de los factores a micro-escala que afectan su comportamiento.
2. **Los minerales;** que típicamente causan cambios en el volumen del suelo son las montmorillonitas y algunas capas de otros minerales mezcladas. Las illitas y caolinitas no son con frecuencia expansivas, pero pueden causar cambios de volumen cuando el tamaño de las partículas es extremadamente fino (menos de una décima de micra).
3. **Las condiciones ambientales;** traen como consecuencia un incremento o decremento en la humedad del suelo y por ende una variación en su volumen; las cuales son correlativas

a la variación de la tensión capilar y los esfuerzos efectivos del suelo. En tiempo de estiaje el suelo expansivo experimenta una contracción en su estructura y el espaciamiento entre sus partículas es más cerrado.

4. **El fenómeno de la succión**; en los suelos es causa del aumento en los esfuerzos intergranulares; cuando en un suelo, como las arcillas, se pierde el agua por un proceso de desecación, se genera el aumento de la succión, provocando la contracción del mismo. Caso contrario, en época de lluvias, el suelo tiene un incremento en la humedad de la estructura, el espaciamiento entre sus partículas es mayor y se dan incrementos en su volumen. En estas condiciones, el potencial de expansión, la capacidad de absorción de agua y la succión disminuyen, hasta llegar a ser prácticamente nulos. La succión del suelo es un factor importante en el control de las propiedades mecánicas de los suelos parcialmente saturados; este parámetro es una propiedad intrínseca del suelo.
5. **La topografía del terreno**; es un punto importante a considerar en estructuras cimentadas sobre suelos parcialmente saturados con altos contenidos de mineral montmorillonítico. Es importante proporcionar un buen drenaje al terreno para impedir encharcamientos y acumulaciones de agua que den origen a expansiones volumétricas.
6. **El estado de esfuerzos**; es un factor decisivo en la expansión o contracción del suelo. La historia geológica de esfuerzos a que el suelo ha estado sometido influye considerablemente en la magnitud del cambio de volumen para una humedad y densidad dada. El suelo deberá estar en equilibrio con los esfuerzos externos a los que está sometido, de lo contrario se da lugar a una modificación del espaciamiento entre las partículas que lo forman para alcanzar dicho equilibrio.

Un suelo preconsolidado es más expansivo que el mismo suelo en la misma relación de vacíos, pero normalmente consolidado. La presión de expansión puede crecer conforme la edad geológica de las arcillas, pero se ha demostrado que esto no afecta la cantidad de expansión bajo cargas ligeras.

### 5.9.2 Factores que desequilibran el suelo.

Cuando el hombre interviene el terreno, altera el equilibrio que la naturaleza establece entre el suelo, la vegetación y el clima. Al cubrir el terreno, se interrumpe su equilibrio, pues se altera el gradiente térmico existente en el subsuelo. Esto ocasiona un aumento desigual de la humedad en la zona activa, el cual es menor en el centro del área cubierta, y por lo tanto se produce una expansión desigual del terreno.

La vegetación y especialmente las raíces de los árboles ornamentales que se siembran al urbanizar los terrenos, al extraer el agua que necesitan para su supervivencia rompen con el equilibrio de humedad en el subsuelo. En los meses del año en que la evapotranspiración excede a la precipitación se reduce desigualmente la humedad de la zona activa. Se presenta mayor reducción de humedad en las áreas descubiertas y con mayor vegetación, mayor succión y por lo tanto se produce una mayor contracción del terreno en estas áreas.

Se han reportado casos de asentamientos producidos por árboles cuando han sido sembrados en las cercanías de las edificaciones, y el suministro de agua es deficiente ya sea por el clima o por reducción excesiva del área descubierta expuesta a la lluvia. La substitución selectiva de los árboles ha restablecido el equilibrio dinámico del subsuelo y ha detenido el proceso de desecación y asentamiento (Villafañe y Coronado, 2000).

Otro de los factores que desequilibra la humedad/succión del suelo, es el movimiento de tierras que se realiza previo a la construcción de las edificaciones. Primero se retira la capa vegetal, la cual debido a su baja permeabilidad protege al subsuelo de la evaporación y de la infiltración. Seguidamente se coloca una o varias capas de un material granular.

En muchos casos se reemplaza la capa vegetal por terraplenes, dejando al terreno en condiciones críticas para el control de los cambios de humedad, pues la evaporación aumenta en la época de estiaje y la infiltración se incrementa en la temporada de lluvias. Las fugas de las redes de agua potable y alcantarillado se acumulan en el relleno y también incrementan las expansiones diferenciales.

### 5.9.3 Propiedades índices de los suelos expansivos.

Estas propiedades son importantes en la clasificación de los suelos expansivos, para definir su comportamiento y relacionarlo con las propiedades mecánicas. La condición física de una arcilla en su estado natural depende principalmente de la historia de esfuerzos, del contenido de agua, la densidad y la presencia de grietas y fisuras. El incremento en la densidad está acompañado de una disminución en el contenido de agua. De manera que, para un suelo desecado, la densidad y grado de saturación pueden ser tomados como representativos del comportamiento mecánico.

Las propiedades índice son útiles para calibrar un determinado tipo de material, pero al pretender correlacionarlos con materiales de otra región que tengan idénticos valores numéricos no puede garantizarse una semejanza en el comportamiento mecánico relacionado, debido primordialmente a factores influyentes como son la historia geológica, condiciones ambientales y contenido en minerales de arcilla. La **tabla 5.10** muestra una clasificación simplificada de las propiedades de expansión, de acuerdo a sus propiedades índice. Esta tabla puede ser utilizada por los evaluadores de riesgos como una guía para identificar el grado y presión de expansión de un suelo expansivo en base a sus propiedades índice (Mecánica de Suelos).

**Tabla 5.10 Guía de estimación de cambio de volumen en suelos expansivos (Chen, 1975).**

| DATOS DE CAMPO Y LABORATORIO         |                   |                                                 | PROBABLE EXPANSIÓN, % TOTAL DEL VOLUMEN CAMBIADO | PRESIÓN DE EXPANSIÓN, kg/cm <sup>2</sup> | GRADO DE EXPANSIÓN |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|
| Porcentaje que pasa la malla No. 200 | Límite líquido, % | Resistencia a la Penetración Estándar, golpes/m |                                                  |                                          |                    |
| >35                                  | >60               | >98.4                                           | >10                                              | >9.8                                     | Muy alto           |
| 60-95                                | 40-60             | 65.6-98.4                                       | 3-10                                             | 2.45-9.8                                 | Alto               |
| 0                                    | 30-40             | 32.8-65.6                                       | 1-5                                              | 1.47-2.45                                | Medio              |
| <30                                  | <30               | <32.8                                           | <1                                               | 0.49                                     | Bajo               |

Como una regla general, para suelos cuyo grado de expansión sea medio, se recomiendan las zapatas aisladas, siempre y cuando el peso de la estructura se concentre en intensidades de 1.47 a 2.45 kg/cm<sup>2</sup>. Para suelos de alto a muy alto grado de expansión, se debe tomar algunas consideraciones especiales para seleccionar un tipo de cimentación. En este caso, se pueden usar los pilotes con suficiente presión de carga muerta y suficiente anclaje en el terreno natural (Chen, 1975). La **tabla 5.11** muestra otra clasificación de los suelos expansivos en relación con las propiedades índice, conforme a la HUD/FHA (Department of Housing and Urban Development and the Federal Housing Administration).

**Tabla 5.11. Clasificación de suelos expansivos de acuerdo a la HUD/FHA.**

| GRUPO DE SUELO | ÍNDICE PLÁSTICO <sup>1</sup> | LÍMITE LÍQUIDO | CLASIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN | CONTENIDO DE ARCILLA | ÍNDICE DE EXPANSIÓN <sup>2</sup> | PORCENTAJE DE EXPANSIÓN <sup>3</sup> |
|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| A              | 0-6                          | 0-25           | No expansivo                  | <10                  |                                  | Ninguna                              |
| B              | 6-10                         | 25-30          | Marginal                      | <10                  | <50                              | 2-4                                  |

| GRUPO DE SUELO | ÍNDICE PLÁSTICO <sup>1</sup> | LÍMITE LÍQUIDO | CLASIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN | CONTENIDO DE ARCILLA | ÍNDICE DE EXPANSIÓN <sup>2</sup> | PORCENTAJE DE EXPANSIÓN <sup>3</sup> |
|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| C              | 10-25                        | 30-50          | Moderadamente expansivo       | 15-25                | 50-90                            | 4-7                                  |
| D              | 25-50                        | 50+            | Altamente expansivo           | 25-35                | 90-130                           | 7-12                                 |
| E <sup>4</sup> | 50+                          | 70+            | Piedras arcillosas expansivas | >35                  | >130                             | >12                                  |

Notas:

1 El Índice Plástico es una prueba estándar de la muestra de suelo y es uno de los métodos universales de pruebas, confiables para suelos expansivos.

2 Especificado por algunos códigos locales, especialmente en el sur de California.

3 Sobrecarga de 0.07056 kg/cm<sup>2</sup> (144 psf).

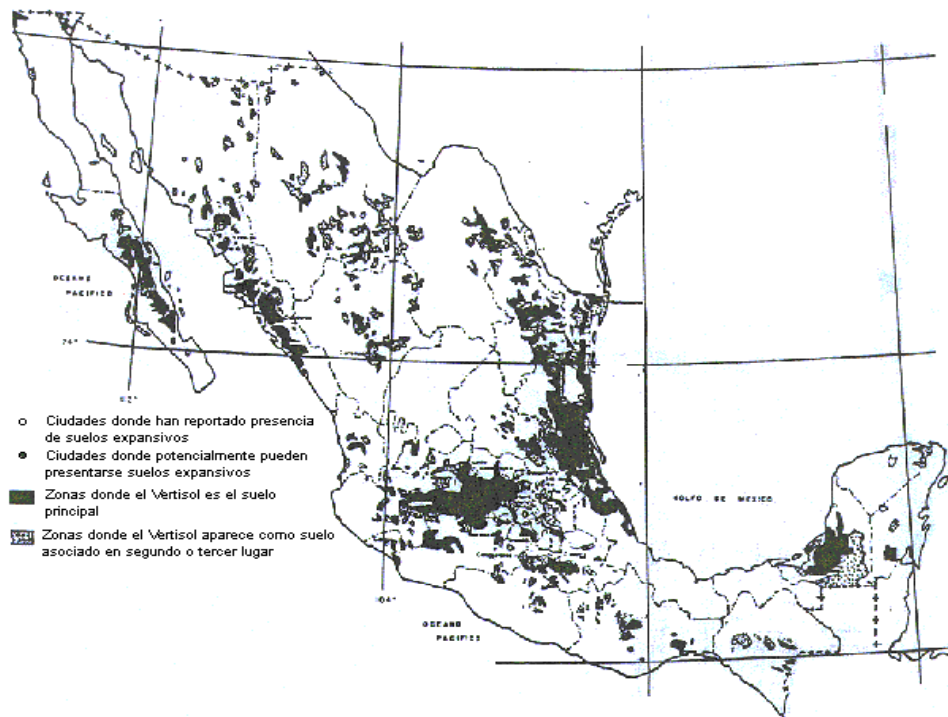
4 Valores típicos para arcillas altamente expansivas y también sirve como fuente de materiales para suelos aluviales y coluviales.

#### 5.9.4. Distribución geográfica de los suelos expansivos.

Los suelos potencialmente expansivos se pueden encontrar en cualquier parte del mundo. En las naciones subdesarrolladas muchos de los problemas por suelos expansivos aún no han sido estudiados. Se puede esperar que conforme pase el tiempo se encontrarán más regiones con suelos expansivos, dependiendo del incremento en el número de construcciones.

Basándose en la zonificación de los suelos expansivos de la República Mexicana, posiblemente muchas otras ciudades de nuestro país y/o lugares cercanos a ellas tendrán problemas por este tipo de suelo. La **figura 5.40** muestra las zonas afectadas por problemas de expansión de suelos. Aproximadamente un 12% de la superficie del país se encuentra cubierta por depósitos arcillosos potencialmente expansivos (Zepeda, 1989), ésta imagen corresponde a la distribución de las zonas con potencial expansivo en la República Mexicana.

En el caso del Municipio de Irapuato, se ha identificado una capa de suelos potencialmente expansivos. Esta zona se distribuye mayoritariamente en el sur del territorio municipal, aunque existen zonas al poniente que no dejan de ser altamente representativas. Cabe destacar que esta diferenciación es solo cuantitativa, será necesario realizar estudios específicos para la correcta identificación del potencial de expansión y definir así el grado de peligro que los suelos expansivos generan en el territorio. Por lo tanto lo aquí descrito constituye un análisis de la susceptibilidad de los suelos expansivos en los términos específicos del Atlas Municipal de Riesgos de Irapuato.



**Figura 5.40 Zonas potenciales de suelos expansivos en la República Mexicana (Zepeda, 1989).**

La figura siguiente (**Figura 5.41**), indica las zonas en las que se ha identificado suelo potencialmente expansivo, de acuerdo a esta; el área total de suelos potencialmente expansivos en el Municipio de Irapuato es de 262.77 Km<sup>2</sup>. Este dato emite una alerta de importancia para el desarrollo futuro cualquier tipo de infraestructura en las zonas identificadas con potencial expansivo.

Hasta hoy no existen reportes de alto impacto en relación al daño causado por este fenómeno, sin embargo; esto no limita que en los próximos años la combinación del crecimiento poblacional, respuesta al rezago de la demanda de viviendas y toma de decisiones sin evaluación técnica por parte de los actores sociales involucrados; permitan la urbanización de estos predios sin realizar los estudios pertinentes o bien, las adecuaciones estructurales convenientes para amortizar el daño a las estructuras.

Resulta conveniente que esta zonificación de suelos con potencial expansivo sea ampliamente considerada por la Dirección General de Ordenamiento Territorial y la Dirección General de Obras Públicas en la proyección de nuevas redes de comunicación y abastecimiento de suministros.



## 5.10 ESTADÍSTICAS Y EVALUACIÓN DEL GRADO DE EXPOSICIÓN.

De acuerdo con la información suministrada por la Dirección de Protección Civil del municipio de Irapuato, se analizaron los reportes realizados al Sistema de Emergencias 066 en el periodo de 2005 a 2012. En relación a contingencias provocadas por fenómenos geológicos se determinaron dos motivos dentro de la base de datos relacionados a dicho fenómeno, derrumbe y deslave. Dentro del periodo estudiado se presentaron un total de 58 reportes por fenómenos geológicos, 40 derrumbes y 18 deslaves, que corresponde a 69% y 31% respectivamente (Figura 5.42).

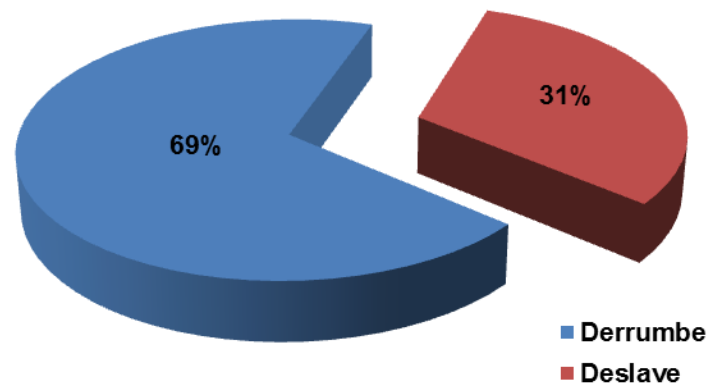


Figura 5.42 Estadísticas de reportes en el periodo 2005-2012.

El año de mayor reporte de incidencias fue 2009 con 17 reportes de los cuales 11 son derrumbes y 6 a deslaves, tal como lo establece la figura 5.43.

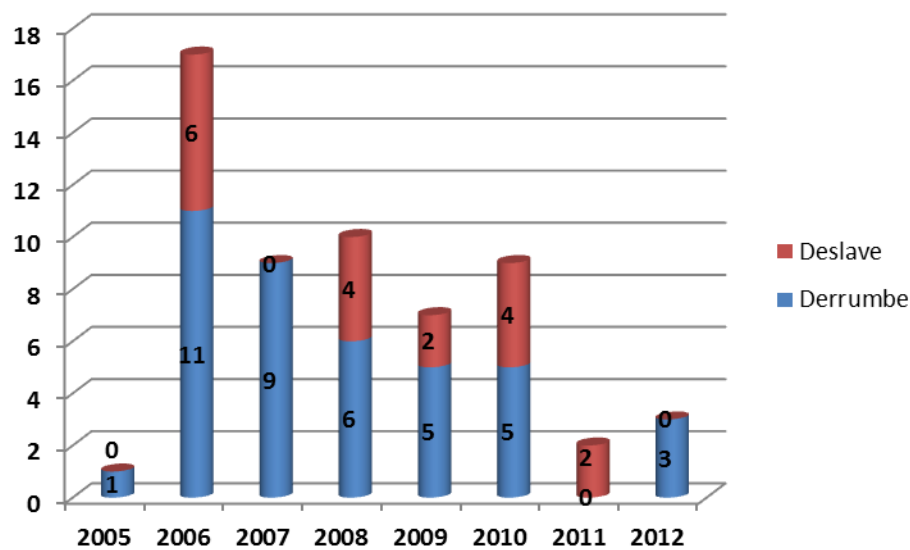


Figura 5.43 Estadísticas de reportes en el año 2009.

Se presenta una relación de las 15 principales colonias afectadas por fenómenos geológicos, para el caso de derrumbes y deslaves (Tablas 5.12 y 5.13), de acuerdo a los reportes proporcionados por el sistema de Atención a Emergencias 066 del periodo 2005 -2012.

Tabla 5.12 Colonias con reporte de derrumbes en el periodo 2005-2012.

| NO. | COLONIA                           | NO. REPORTES | PROMEDIO DERRUMBES AL AÑO | PROBABILIDAD DERRUMBES POR AÑO |
|-----|-----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1   | Zona Centro (Centro Histórico)    | 4            | 0.5                       | 50.0%                          |
| 2   | Fracc. La Pradera                 | 3            | 0.375                     | 37.5%                          |
| 3   | Barrio de La Salud                | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 4   | Barrio de San José                | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 5   | Barrio de San Vicente             | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 6   | Bernardo Cobos                    | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 7   | Eras 2 Las                        | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 8   | Pueblo Nuevo, Gto.                | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 9   | San Martín de Porres              | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 10  | Viveros Revolución                | 2            | 0.25                      | 25.0%                          |
| 11  | Abasolo, Gto.                     | 1            | 0.125                     | 12.5%                          |
| 12  | Barrio de La Calzada de Guadalupe | 1            | 0.125                     | 12.5%                          |
| 13  | Fracc. Colon                      | 1            | 0.125                     | 12.5%                          |
| 14  | Esfuerzo Obrero                   | 1            | 0.125                     | 12.5%                          |
| 15  | Independencia, Col. (Ranchito)    | 1            | 0.125                     | 12.5%                          |

Tabla 5.13 Colonias con reporte de deslave en el periodo 2005-2012.

| NO. | COLONIA                        | NO. REPORTES | PROMEDIO DE DERRUMBES AL AÑO | PROBABILIDAD DE DERRUMBES POR AÑO |
|-----|--------------------------------|--------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1   | Fracc. El Cantador             | 2            | 0.25                         | 25.0%                             |
| 2   | Guanajuato, Gto.               | 2            | 0.25                         | 25.0%                             |
| 3   | Zona Centro (Centro Histórico) | 2            | 0.25                         | 25.0%                             |
| 4   | 12 de Diciembre                | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 5   | Copal (Rural)                  | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 6   | Jardines de San Antonio        | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 7   | Miguel Hidalgo                 | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 8   | Fracc. Milagro 2 Secc.         | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 9   | Fracc. Morelos                 | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 10  | Fracc. Pípila                  | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 11  | Fracc. Plan Gto.               | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 12  | Rancho Grande (Rural)          | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 13  | Col. Rodríguez                 | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 14  | San Antonio de Ayala           | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |
| 15  | San Pedro (1, 2 y 3 Secc.).    | 1            | 0.125                        | 12.5%                             |

## 5.11 MAPAS DE PELIGROS DE LOS FENÓMENOS GEOLÓGICOS.

Una vez realizados los Mapas de inventario de peligros de origen geológico para el Municipio de Irapuato, corresponde elaborar un Mapa de peligros en donde se reflejen las componentes señaladas en los capítulos anteriores (sismicidad, deslizamiento de laderas y hundimientos).

Por si mismos, los Mapas de Peligro representan de manera gráfica la distribución de las características de los fenómenos perturbadores con base en conocimientos científicos y en datos estadísticos y probabilísticos. En éstos se contemplan estudios sobre diferentes fenómenos de origen natural o antropogénico, que conducen a la determinación del nivel cuantitativo del peligro o amenazas que existen en un lugar específico (municipio, estado o país).

La peligrosidad hace referencia a la frecuencia de ocurrencia de un proceso y al lugar. Se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica. Para su evaluación es necesario conocer:

- a. Dónde y cuando ocurrieron los procesos en el pasado.
- b. La intensidad y magnitud que tuvieron.
- c. Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.
- d. La frecuencia de ocurrencia.

De esta forma, el análisis y generación del Mapa descrito, debe tomar en cuenta la estadística y tendencias de cómo se presenten los eventos en cualquiera de sus componentes.

### 5.11.1 Mapa de peligro por deslizamiento de laderas.

Una vez realizada la caracterización y evaluación de las laderas del Municipio de Irapuato y su potencial de deslizamiento, para la generación del Mapa de peligros derivados de esta componente del fenómeno geológico, se genera el cruce de información generado por el análisis geomorfológico de las pendientes del Municipio de Irapuato y el número de eventos reportados por la Dirección de protección Civil. Este cruce de información que define la matriz de cálculo del peligro por deslizamiento de laderas, se define en dos hipótesis principales.

- El nivel de peligro generado por la pendiente natural (análisis geomorfológico), define la medición cualitativa del potencial de deslizamiento de laderas. Este potencial puede permanecer inactivo hasta que un agente natural lo active (sismo, precipitación), o bien; la acción antrópica (invasión de laderas, construcción de infraestructura vial, etc.), modifique el estado de equilibrio natural de una ladera. De esta forma, aunque no existan reportes de deslizamientos (sobre todo en laderas no habitadas), el potencial natural del peligro es latente y debe considerarse para el análisis del peligro.
- El nivel de peligro generado por el número de reportes de emergencias (análisis estadístico), define la medición cuantitativa del potencial de deslizamiento de laderas.

La matriz de cálculo de peligro por deslizamiento de laderas se muestra en la [tabla 5.14](#).

Tabla 5.14 Matriz de cálculo del peligro por deslizamiento de laderas.

| Nivel de Peligro/<br>Pendiente | Nivel de peligro/No. de reportes de emergencias |                       |                         |                        |                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|                                | Peligro muy Bajo<br>(0-1)                       | Peligro Bajo<br>(2-5) | Peligro Medio<br>(6-10) | Peligro Alto<br>(11-5) | Peligro muy Alto<br>(>16) |
| 0.0 – 5.0 (Nulo)               | Peligro muy Bajo                                | Peligro Bajo          | Peligro Medio           | Peligro Alto           | Peligro muy Alto          |
| 5.1 – 10.0 (Bajo)              | Peligro Bajo                                    | Peligro Bajo          | Peligro Medio           | Peligro Alto           | Peligro muy Alto          |
| 10.1 – 15.0 (Medio)            | Peligro Medio                                   | Peligro Medio         | Peligro Medio           | Peligro Alto           | Peligro muy Alto          |
| 15.1 25.0 (Alto)               | Peligro Alto                                    | Peligro Alto          | Peligro Alto            | Peligro Alto           | Peligro muy Alto          |
| > 25.0 (Muy Alto)              | Peligro muy Alto                                | Peligro muy Alto      | Peligro muy Alto        | Peligro muy Alto       | Peligro muy Alto          |

Se realiza énfasis en que la matriz de cálculo del peligro por deslizamiento de ladera refleja exclusivamente un valor cualitativo, ya que la determinación de los rangos de peligro (muy bajo a muy alto), se deriva directamente de la apreciación del técnico responsable del levantamiento de datos en campo en una ladera específica, tomando como base los criterio para estimar el peligro de deslizamientos propuesto por CENAPRED. En la matriz propuesta se identifica solamente el rango de la pendiente de la ladera natural o talud artificial (en la evaluación de estos valores ya se ha tomado en cuenta el efecto de las precipitaciones acumuladas en 24 horas) y se contrasta contra el número de reportes histórico reportado por la institución encargada de la atención a emergencias. La posibilidad de evaluar el nivel de peligro en un panorama cuantitativo depende directamente de la introducción de los datos que revelen los estudios específicos de cada ladera evaluada, ya que un adecuado estudio Geotécnico permitirá identificar las propiedades índice de los estratos naturales y sus condiciones particulares de cohesión y/o fricción, según sea al caso del material que se trate.

Una vez realizado el análisis de las bases de datos, es necesario esclarecer el rango de evaluación del peligro emitido en un Mapa. La [figura 5.46](#) muestra los peligros por deslizamiento de laderas en el Municipio de Irapuato. Las colonias y/o comunidades que se han delimitado con un nivel de peligro muy alto por deslizamiento de laderas se describen en la [tabla 5.15](#).

Tabla 5.15 Colonias y/o comunidades con un nivel de peligro alto por deslizamiento de laderas.

| NO. | COLONIA/COMUNIDAD                       |
|-----|-----------------------------------------|
| 1   | Jardines del Dique                      |
| 2   | Jardines de San Antonio                 |
| 3   | Bellavista                              |
| 4   | Bellavista (Ampliación)                 |
| 5   | Vistahermosa                            |
| 6   | Lomas de España                         |
| 7   | Conjunto Residencial Las Lomas          |
| 8   | Quintas La Condesa (Lomas del Pedregal) |
| 9   | Sierra Vista (Lomas del Pedregal)       |
| 10  | Lomas del Pedregal (Privada Cumbres)    |
| 11  | Lomas de San José                       |

En los sitios que se ha catalogado con un nivel de peligro alto y muy alto, es de suma importancia que las autoridades del Municipio de Irapuato (principalmente la Dirección General de Ordenamiento Territorial y la Dirección General de Obras Públicas), brinden un apropiado recurso de urbanización que limite el potencial de daños generados por el deslizamiento de laderas.

Así mismo, queda en la labor social de las empresas fraccionadoras (residencial e industrial), cumplir las medidas pertinentes cuando se ha optado por urbanizar predios que no son geotécnicamente los más apropiados no solo en función de los peligros naturales, sino del abastecimiento mismo de los sistemas vitales y de confort (agua potable, electricidad, etc.).

La **Tabla 5.16** expone el grado o nivel de peligro representado en el Mapa de peligros (**Figura 5.40**) y su alcance en la exposición a la población e infraestructura.

**Tabla 5.16 Definición del grado de peligro por deslizamiento de laderas**

| NIVEL DE PELIGRO        | ALCANCE EN LA POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Peligro muy Bajo</b> | Representan laderas muy suaves (menores a 5.5°) y el número de reportes de emergencia es a lo máximo uno. Las condiciones geomorfológicas del sitio permiten que el peligro por deslizamiento de laderas sea prácticamente nulo, es de alta importancia que en la atención a los reportes de emergencia se diferencie claramente entre el probable deslizamiento de laderas y la erosión hídrica generada por lluvias prolongadas que pueden generar cárcavas.                                                                                                                                                                  |
| <b>Peligro Bajo</b>     | Representan laderas de 5.5° a 10.0° de inclinación, el número de reportes de emergencia es de 2 a 5 por año. La activación del deslizamiento de laderas en estas zonas ocurre en la temporada de lluvias y se acentúa cuando la precipitación horaria supera los 70 mm o bien, la precipitación diaria supera 100 mm. El mecanismo de falla se activa derivado de que el aumento de la saturación el suelo reduce las fuerzas de fricción que mantienen la estabilidad natural de la ladera.                                                                                                                                    |
| <b>Peligro Medio</b>    | Representan laderas de 10.1° a 15.0° de inclinación, el número de reportes de emergencia es de 6 a 10 por año. En este rango se sitúan una fracción mínima de las laderas que circundan el valle de la Ciudad de Irapuato, pero más de la mitad a nivel municipal (predomina en el noreste del territorio; sin embargo, el grado de exposición en las comunidades rurales es poco significativo. Al igual que el grado anterior, la ocurrencia del deslizamiento de laderas en estas zonas ocurre en la temporada de lluvias, acentuada en las precipitaciones máximas diarias u horarias.                                      |
| <b>Peligro Alto</b>     | Representan laderas de 15.1° a 25.0° de inclinación, el número de reportes de emergencia es de 11 a 15 por año. En general, este rango de peligro no se presenta en gran medida en el territorio del Municipio de Irapuato.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Peligro muy Alto</b> | Representan laderas de >25.0° de inclinación, el número de reportes de emergencia es mayor a 16 por año. En las laderas del territorio Municipal de Irapuato es poco frecuente, ya que corresponde a las escarpadas laderas naturales de la zona geotécnica rocosa, cuya mayor extensión se localiza al noroeste del territorio municipal. El grado de exposición se presenta en función del tipo de construcción localizado en las laderas o en la cima de un promontorio. En este caso, es igualmente importante definir el mecanismo de falla de las laderas, a diferencia de las cárcavas generadas por la erosión hídrica. |

### 5.11.2 Mapa de peligros por sismos.

De acuerdo a la zonificación sísmica emitida por la Comisión Federal de Electricidad, el territorio del Municipio de Irapuato está comprendido dentro de la franja considerada de riesgo sísmico moderada (zona B), en específico; la mayor probabilidad de ocurrencia de desastres se ubica en los centros urbanos (en el caso de estudio principalmente la Ciudad de Irapuato), en donde se encuentra la mayor densidad de población municipal. En relación a la frecuencia de la percepción de este componente geológico, esta no permite establecer claramente una línea de tendencia o un modelo de comportamiento del número de sismos que ocurrirán y la intensidad con la que se manifestarán en el territorio Municipal. Lo anterior limita el cálculo y estimación del grado de peligro generado por la componente sísmica de los componentes geológicos.

La zonificación sísmica del Municipio de Irapuato refleja un rango de aceleraciones que oscilan entre 0.037 y 0.044 cm/seg<sup>2</sup> en todo el territorio. Estos valores permanecen en la zona moderada

definida por la Comisión Federal de Electricidad, por lo que no es posible delimitar diferencias del grado de peligro en las zonas geotécnicas establecidas.

Con el fin de delimitar y ejemplificar el grado de peligro, se ha optado por relacionar el grado de peligro por sismos en base a una transición de franjas de intensidad sísmica de acuerdo a la escala de Mercalli, las cuales oscilan del rango VI al VII; la representación espacial del grado de peligro sísmico se define en la **figura 5.45**. De acuerdo a lo anterior, la mayor fracción del Municipio de Irapuato se delimita por el rango VI de la escala de Mercalli (Fuerte). En esta zona un sismo es sentido por toda la población, muchos se asustan y salen al exterior. La fuerza oscilatoria de sismo puede ocasionar que muebles pesados se muevan; en algunos casos se presenta la caída de revestimientos de muros.

### 5.11.3 Mapa de susceptibilidad por hundimientos.

De acuerdo a la modelación numérica mediante la cual se ha evaluado el fenómeno de subsidencia en el acuífero del Valle de Irapuato, el hundimiento regional se encuentra activo desde hace algunos años y de acuerdo a la perspectiva actual, de no gestionar un manejo integral del recurso agua; el proceso de hundimiento se verá acelerado en función del aumento de la extracción del agua de los acuíferos. Un estudio realizado por JAPAMI en 2010, revela la localización del fallamiento de suelo en el área urbana de Irapuato (**Figura 5.46**).

De acuerdo a la proyección gráfica de la modelación numérica, el hundimiento se ha generalizado en toda la zona geotécnica de valle, particularmente el hundimiento se ha reflejado en mayor rango al centro del territorio Municipal.

Partiendo de la modelación, también se han estimado las zonas del territorio municipal en las que se genera la susceptibilidad suficiente para la generación de grietas de tensión. Se reportan los alineamientos principales en el rumbo NNE-SSW, claramente identificados en la **figura 5.46**.

Es de esperarse que paralelos a los alineamientos principales descritos, se generan grietas de tensión secundarias que si bien no representan un peligro a las estructuras ligeras, si causarán daños en vías terrestres y líneas de comunicación y conducción de fluidos. Las colonias y/o comunidades que se han delimitado con un nivel de peligro muy alto por el hundimiento regional se describen en la **tabla 5.17**.

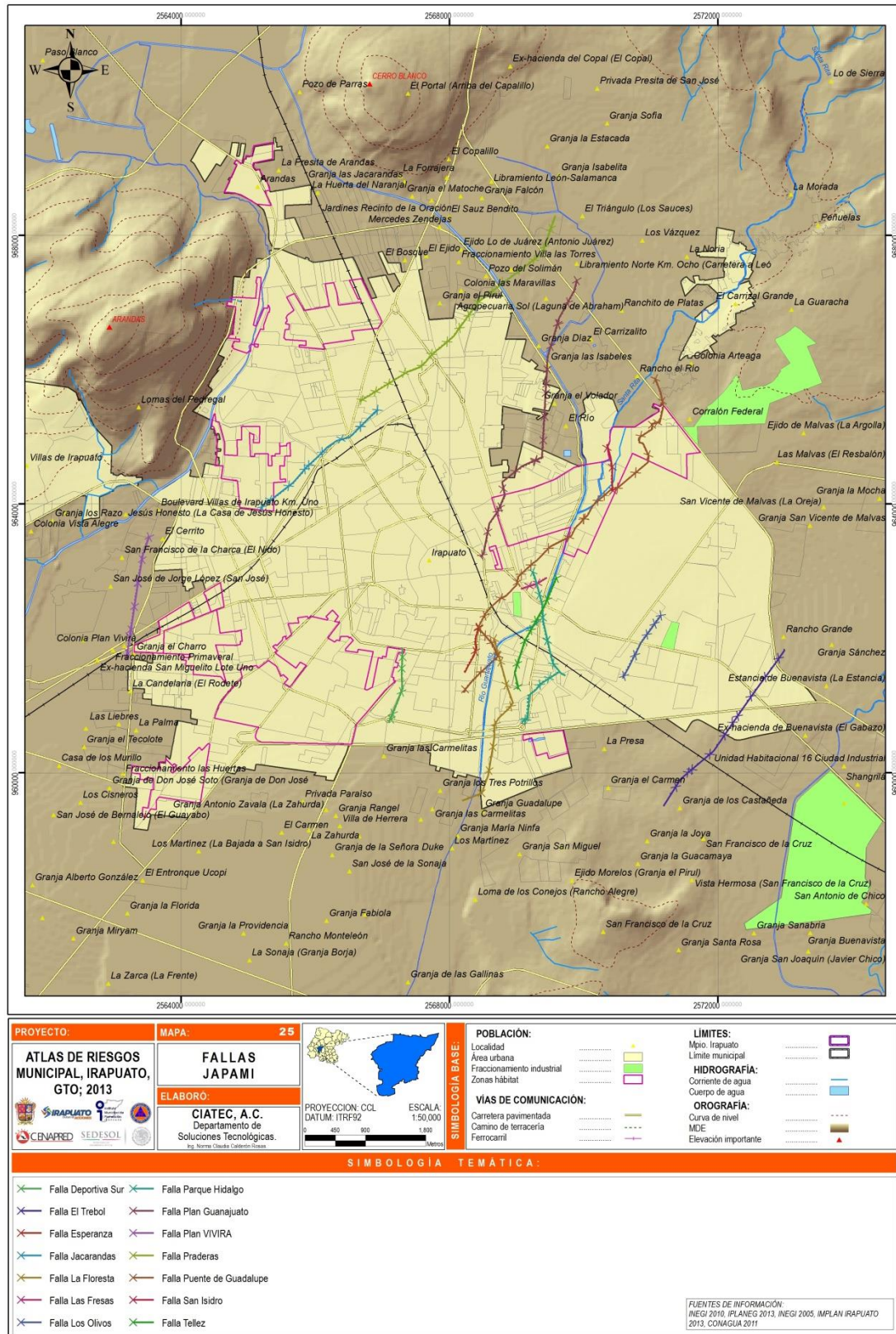


Figura 5.44 Localización del fallamiento de suelo en el área urbana de Irapuato (JAPAMI, 2010).

**Tabla 5.17 Colonias y/o comunidades con un nivel de peligro alto por hundimientos y grietas de tensión.**

| NO. | COLONIA/COMUNIDAD                |
|-----|----------------------------------|
| 1   | Residencial Floresta             |
| 2   | Rinconada de los Balcones        |
| 3   | Balcones de Floresta             |
| 4   | San Juan Diego                   |
| 5   | Jardines de Jerez                |
| 6   | Villarreal                       |
| 7   | Colon 2ª y 3ª Sección            |
| 8   | Valle de las Flores II           |
| 9   | Los Agaves                       |
| 10  | Valle de las Flores              |
| 11  | 18 de Agosto                     |
| 12  | El Durazno                       |
| 13  | Emiliano Zapata I                |
| 14  | Jardines de la Hacienda          |
| 15  | Valle de la Hacienda             |
| 16  | Condominios Residencial San José |
| 17  | Lázaro Cárdenas 2ª Sección       |
| 18  | Emiliano Zapata II               |
| 19  | San Isidro                       |
| 20  | Constitución de Apatzingán       |
| 21  | Azteca                           |
| 22  | Ciudad de los Olivos             |
| 23  | Morelos                          |
| 24  | Hacienda Colón                   |
| 25  | Valle del Sol                    |
| 26  | San Marcos                       |
| 27  | Solidaridad                      |
| 28  | Quinta Jacarandas                |
| 29  | San Gabriel                      |
| 30  | San José                         |
| 31  | Camino Real                      |
| 32  | Hacienda Santa Teresa            |
| 33  | La Pradera                       |

De esta forma, se pueden definir el grado de susceptibilidad que el hundimiento regional representa para la población e infraestructura asentada en el Municipio de Irapuato. La **Tabla 5.18** emite los límites de la evaluación.

Tabla 5.18 Definición del grado de susceptibilidad por hundimientos.

| NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD     | ALCANCE EN LA POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SUSCEPTIBILIDAD NULA</b>  | Corresponde al área definida por las zonas geotécnicas rocosa. La litología existente en estas zonas geotécnicas convierten a su superficie en las zonas de recargas naturales de los acuíferos, por lo que la subsidencia se manifiesta en los valles y emiten en peligro nulo en la acción del hundimiento regional.           |
| <b>SUSCEPTIBILIDAD BAJA</b>  | Por definición cubre los valles del territorio municipal. Los hundimientos rara vez generan asentamientos diferenciales de grado tal que afecten la estabilidad de la infraestructura. Debe tenerse especial atención en la deformación de líneas de drenaje, agua potable e hidrocarburos.                                      |
| <b>SUSCEPTIBILIDAD MEDIA</b> | Esta zona envuelve los alineamientos de las grietas de tensión, el rango de sus afectaciones se estima en 200 metros a partir del eje del agrietamiento principal. Esta zona representa la distancia de amortiguamiento de la generación de los fallamientos y grietas de tensión con el resto del valle.                        |
| <b>SUSCEPTIBILIDAD ALTA</b>  | Corresponde a la zona que definen los alineamientos de las grietas de tensión, el rango de sus afectaciones se calculó en 30 metros a partir del eje del agrietamiento principal. En estas zonas se pueden generar fallamientos de hasta 1.75 metros capaces de afectar la infraestructura al grado de generar la pérdida total. |

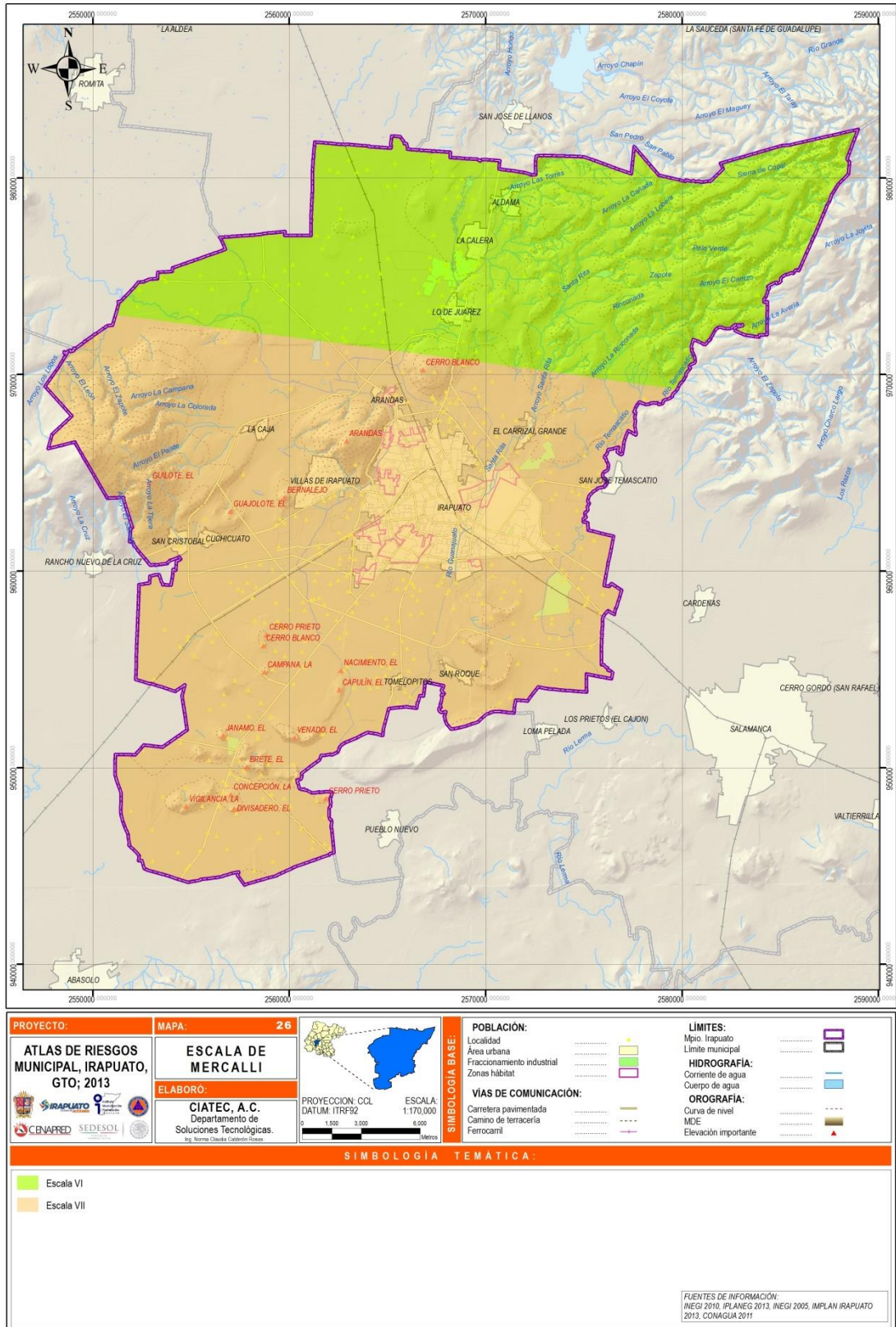


Figura 5.45 Mapa del peligro por sismos en el Municipio de Irapuato.



## 5.12 MAPA DE VULNERABILIDAD DE LOS FENÓMENOS GEOLÓGICOS.

La vulnerabilidad es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento). Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona. El efecto o acción más representativa que los fenómenos geológicos pueden afectar a una comunidad se identifica en la infraestructura existente (viviendas, edificios públicos, vías terrestres, redes de tubería, etc.), ya que la acción de los sismos, deslizamiento de laderas, fallamientos o hundimientos se manifiestan directamente sobre la superficie del suelo y por ende las estructuras asentadas en la zona de afectación son el primer indicio de los daños causados.

Con base en lo anterior, para los fines de cálculo de la vulnerabilidad por acción de los fenómenos geológicos en el Municipio de Irapuato será estrictamente necesario utilizar una clasificación de las viviendas existentes en el territorio. De forma práctica, se tomará la clasificación de vivienda de acuerdo con la tipología utilizada por el INEGI; misma que se expone en la **Tabla 5.19**.

**Tabla 5.19 Clasificación de vivienda de acuerdo con la tipología utilizada por el INEGI.**

| TIPO DE VIVIENDA | CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA                   |
|------------------|--------------------------------------------------|
| Tipo 1           | Muros de mampostería con techos rígidos          |
| Tipo 2           | Muros de mampostería con techos flexibles        |
| Tipo 3           | Muros de adobe con techos rígidos                |
| Tipo 4           | Muros de adobe con techos flexibles              |
| Tipo 5           | Muros de materiales débiles con techos flexibles |

Para la clasificación de INEGI, debe definirse lo correspondiente al tipo de materiales de construcción:

- **Muros de mampostería.** Tabique, bloque, piedra, cantera, entre otros.
- **Techos flexibles.** Material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, madera, teja, etc.
- **Techos rígidos.** Losa de concreto, tabique, ladrillo, terrado con vigueta y bóveda catalana.

Una vez definida la categorización del tipo de vivienda conforme a los materiales de construcción, se cuenta con una herramienta para evaluar la vulnerabilidad del Municipio de Irapuato ante el efecto y magnitud de las componentes de los fenómenos geológicos.

### 5.12.1 Matriz de cálculo de vulnerabilidad por deslizamiento de laderas.

Para el cálculo de la vulnerabilidad por deslizamiento de laderas, se toma como base la distribución geográfica y el nivel de peligro expuesto en el Mapa de peligros por deslizamiento de laderas, en función del rango de pendientes existentes.

Esta información se confronta con la distribución geográfica y cualidades de la clasificación de las viviendas expresadas en la **Tabla 5.19**. De forma esquemática, la matriz de cálculo de vulnerabilidad por el efecto del deslizamiento de laderas se muestra en la **Tabla 5.20**. El resultado del análisis de la cualitativa que compone esta matriz, permite definir cinco rangos de vulnerabilidad que se asocian a la distribución geográfica de la población en el Municipio de Irapuato expresados en el Mapa de vulnerabilidad por deslizamiento de laderas.

Tabla 5.20 Matriz de cálculo de la vulnerabilidad por deslizamiento de laderas.

| NIVEL DE PELIGRO/<br>PENDIENTE | CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA |                      |                      |                      |                         |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
|                                | TIPO 1                       | TIPO 2               | TIPO 3               | TIPO 4               | TIPO 5                  |
| 0.0 – 5.0 (Nulo)               | Vulnerabilidad muy Baja      | Vulnerabilidad Baja  | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media    |
| 5.1 – 10.0 (Bajo)              | Vulnerabilidad Baja          | Vulnerabilidad Baja  | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media    |
| 10.1 – 15.0 (Medio)            | Vulnerabilidad Baja          | Vulnerabilidad Baja  | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Alta  | Vulnerabilidad Alta     |
| 15.1 – 25.0 (Alto)             | Vulnerabilidad Media         | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Alta  | Vulnerabilidad muy Alta |
| > 25.0 (Muy Alto)              | Vulnerabilidad Media         | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Alta  | Vulnerabilidad Alta  | Vulnerabilidad muy Alta |

Al igual que la matriz de cálculo del peligro por deslizamiento de laderas, la relación que guarda la matriz expresada en la **Tabla 5.20**, representa valores cualitativos, ya que no se cuenta con un censo en el cual se haya desarrollado la clasificación de las viviendas por cada unidad existente en el Municipio de Irapuato, sino que se ha identificado el tipo de viviendas por el promedio existente en un fraccionamiento o zona identificada en los recorridos de campo. La definición de los rangos de vulnerabilidad (muy baja a muy alta), guarda una proporción lineal entre los cinco rangos de nivel de peligro reportados y los cinco tipos de vivienda descritos por INEGI.

De acuerdo a la distribución del grado de vulnerabilidad, ésta será muy baja en las zonas donde el peligro por deslizamiento de laderas es muy bajo (regido fundamentalmente por pendientes suaves), y el tipo de vivienda sea a base de mampostería y techos rígidos (fraccionamientos debidamente urbanizados y contruidos bajo el reglamento de construcción, sin embargo; si el tipo de vivienda se conforma por materiales de construcción débiles, la vulnerabilidad puede llegar a alcanzar el grado de “muy alta”. Caso contrario, pese a que el grado de peligro expuesto por una ladera sea considerado muy alto (pendientes >25°), el cálculo de la matriz puede adoptar el rango de vulnerabilidad media, siempre que el tipo de vivienda existente se componga de muros de mampostería (tipo 1 o 2).

### 5.12.2 Matriz de cálculo de vulnerabilidad por sismos.

La zonificación sísmica del Municipio de Irapuato refleja un rango de aceleraciones que permanecen en la zona moderada definida por la CFE (por lo que no es posible delimitar diferencias importantes del grado de peligro en las zonas de valle o lomeríos). De esta forma, se construye una matriz de cálculo de vulnerabilidad en base a la escala de valores de Mercalli (el territorio de Irapuato se conforma por el rango de VI a VII), y tomando en cuenta la clasificación de vivienda emitida por el INEGI.

Realizando los arreglos necesarios, la **Tabla 5.21** expresa los resultados de la matriz de cálculo respecto a la vulnerabilidad del territorio municipal de Irapuato ante la eventualidad de un sismo. Se aprecia que los grados descritos de vulnerabilidad se componen de muy baja, baja y media. Se excluyen del resultado los grados de vulnerabilidad alta y muy alta, ya que las condiciones geológicas que imperan en el valle y lomeríos conforman una estructura geotécnica con una excelente respuesta ante las ondas sísmicas. Se entiende que la valoración de la vulnerabilidad consiste en una determinación cualitativa en función de la escasa representatividad histórica del peligro asociado a los sismos en el territorio del Municipio de Irapuato.

Tabla 5.21 Matriz de cálculo de la vulnerabilidad por sismos.

| NIVEL DE PELIGRO/<br>ESCALA DE MERCALLI | CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA |                     |                      |                      |                      |
|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                         | TIPO 1                       | TIPO 2              | TIPO 3               | TIPO 4               | TIPO 5               |
| VI                                      | Vulnerabilidad Baja          | Vulnerabilidad Baja | Vulnerabilidad Baja  | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media |
| VII                                     | Vulnerabilidad Baja          | Vulnerabilidad Baja | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Media |

### 5.12.3 Matriz de cálculo de vulnerabilidad por hundimientos.

El comportamiento de los hundimientos será normado fundamentalmente por los planes del manejo integrado de cuencas que los actores sociales deberán proponer, desarrollar y actualizar cada temporada de captación (lluvias). La modelación numérica del acuífero y el Mapa de peligros han definido las trazas de los agrietamientos y fallamientos potenciales por efecto de la subsidencia. Esta distribución localizada permite evaluar el grado de peligro que representará para el Municipio de Irapuato. Del análisis de la marginalidad del tipo de construcción de las viviendas, se define el grado de vulnerabilidad latente en un sitio en específico.

De esta forma, se pueden definir el grado de vulnerabilidad que el hundimiento regional representa para la infraestructura existente en el Municipio de Irapuato. La Tabla 5.22 emite los límites de la evaluación de la vulnerabilidad física en función del ejercicio de una matriz de cálculo. El hecho de que el rango de la vulnerabilidad se exprese de forma cualitativa, no resta importancia a la proporción lineal que guardan los rangos expresados (muy baja a muy alta), ya que el efecto descrito en cada nivel de peligro por hundimientos refleja una realidad existente y futura en las zonas donde la vulnerabilidad por hundimientos se ha manifestado en daños a la infraestructura existente.

Tabla 5.22 Matriz de cálculo de la vulnerabilidad por hundimientos.

| NIVEL DE PELIGRO/<br>HUNDIMIENTO | CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA |                         |                         |                         |                         |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                  | TIPO 1                       | TIPO 2                  | TIPO 3                  | TIPO 4                  | TIPO 5                  |
| Peligro Nulo                     | Vulnerabilidad muy Baja      | Vulnerabilidad muy Baja | Vulnerabilidad muy Baja | Vulnerabilidad muy Baja | Vulnerabilidad muy Baja |
| Peligro Bajo                     | Vulnerabilidad muy Baja      | Vulnerabilidad muy Baja | Vulnerabilidad Baja     | Vulnerabilidad Baja     | Vulnerabilidad Media    |
| Peligro Medio                    | Vulnerabilidad Baja          | Vulnerabilidad Baja     | Vulnerabilidad Media    | Vulnerabilidad Media    | Vulnerabilidad Alta     |
| Peligro Alto                     | Vulnerabilidad Media         | Vulnerabilidad Media    | Vulnerabilidad Alta     | Vulnerabilidad muy Alta | Vulnerabilidad muy Alta |

De acuerdo a la metodología emitida por CENAPRED, las matrices de cálculo emitidas anteriormente representan la herramienta sustancial para la evaluación de la vulnerabilidad por fenómenos geológicos en el Municipio de Irapuato. Pese a tener la herramienta de cálculo, se ha omitido evaluar la vulnerabilidad del Municipio ante estos fenómenos, en función de los antecedentes y magnitud de los casos que se han presentado a través de la historia.

Así mismo, la información censal no es clara en la estructuración de las viviendas, ya que en una misma colonia pueden existir los cinco tipos de viviendas establecidos en la Tabla 5.19. Una interpretación errónea del tipo y número de viviendas en cada colonia o unidad de población erigirá zonas denominadas con un rango de vulnerabilidad que no precise de forma adecuada la situación específica de cada vivienda. Queda en las autoridades municipales, específicamente el IMPLAN y

el IMUVI; realizar un rastreo del tipo de viviendas que se presentan en cada colonia o comunidad. Dado el crecimiento urbano desigual del Municipio de Irapuato, existen colonias en las que una vivienda del tipo V puede estar rodeada de aquellas construidas con materiales ligeros (tipos I y II), o viceversa. De esta forma, la evaluación del grado de vulnerabilidad cambia aún entre predios contiguos.

## 5.13 ESCENARIO GEOLÓGICO MÁS CRÍTICO.

### 5.13.1 Antecedentes.

De todos los fenómenos geológicos que pudieran afectar el Municipio de Irapuato, la subsidencia es el mayor, por lo que se enfocará a revisar los antecedentes de este fenómeno natural, ya que no es considerado un desastre natural por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Medio Ambiente (LGEEPA), ni por la Ley de Aguas Nacionales (LAN), además de que no se incluye en ninguno de los programas sociales de ayuda (Rodríguez-Castillo y Rodríguez-Velázquez, 2006). Sin embargo esta es reconocida por el CENAPRED instancia que evaluará el documento aquí descrito.

La subsidencia en el Municipio de Irapuato fue reportada desde inicios de los 70s, en la década de los 80s fue donde se manifestaron en mayor proporción las fallas y grietas, afectando edificios, vialidades, pavimentos e infraestructura urbana. El primer mapeo de las fallas y grietas de tensión fue hecho en el año 2001 por FOSEG en el Atlas de Riesgos de Guanajuato (Trujillo Candelaria, 2010). De acuerdo al documento “Diagnostico de Peligros e Identificación de Desastres Naturales en México” (CENAPRED, 2001) se mencionan los hundimientos regionales y locales, acompañados de agrietamientos del terreno natural, donde se cita que las principales causas de estos fenómenos son:

- 1) Compresibilidad de suelos, y
- 2) Intensidad de extracción del agua subterránea.

La subsidencia, hundimientos diferenciales del terreno, representa la ruptura del equilibrio natural que guarda un fluido bajo presión, que puede ser provocada por prolongados y/o intensos regímenes de extracción, bombeo que excede los volúmenes estimados de recarga, en el caso de agua subterránea (Rodríguez *et. al.*, 2006). Rodríguez y Schroeder en el 2010 mapearon 15 distintos sistemas de fallas e indican que la subsidencia se debe a los procesos de consolidación de los materiales deformables del subsuelo.

Para el Municipio de Irapuato, la segunda causa origina el fallamiento y/o agrietamiento, para lo cual la geología, estructuras geológicas, hidrogeología y régimen de extracción de agua subterránea son de gran importancia. Por lo cual describiremos cada uno de los parámetros.

Tal como se describe al inicio del capítulo (apartado 5.2), la columna estratigráfica del Municipio de Irapuato es compleja, que en forma general y en orden de aparición, se conforma con la siguiente sucesión histórica (más reciente a más antiguo):

- Depósitos Aluviales y Lacustres (aluvión)
- Rocas Basálticas
- Depósitos Lacustres Calcáreos
- Rocas Riolíticas

En las secciones tomadas de Trujillo-Candelaria (2010) se pueden observar en forma general el arreglo de la geología del subsuelo (**Figuras 5.47 a 5.49**), además de que indica las fallas geológicas y estructuras mayores como son el graben y horst formado por las mismas.

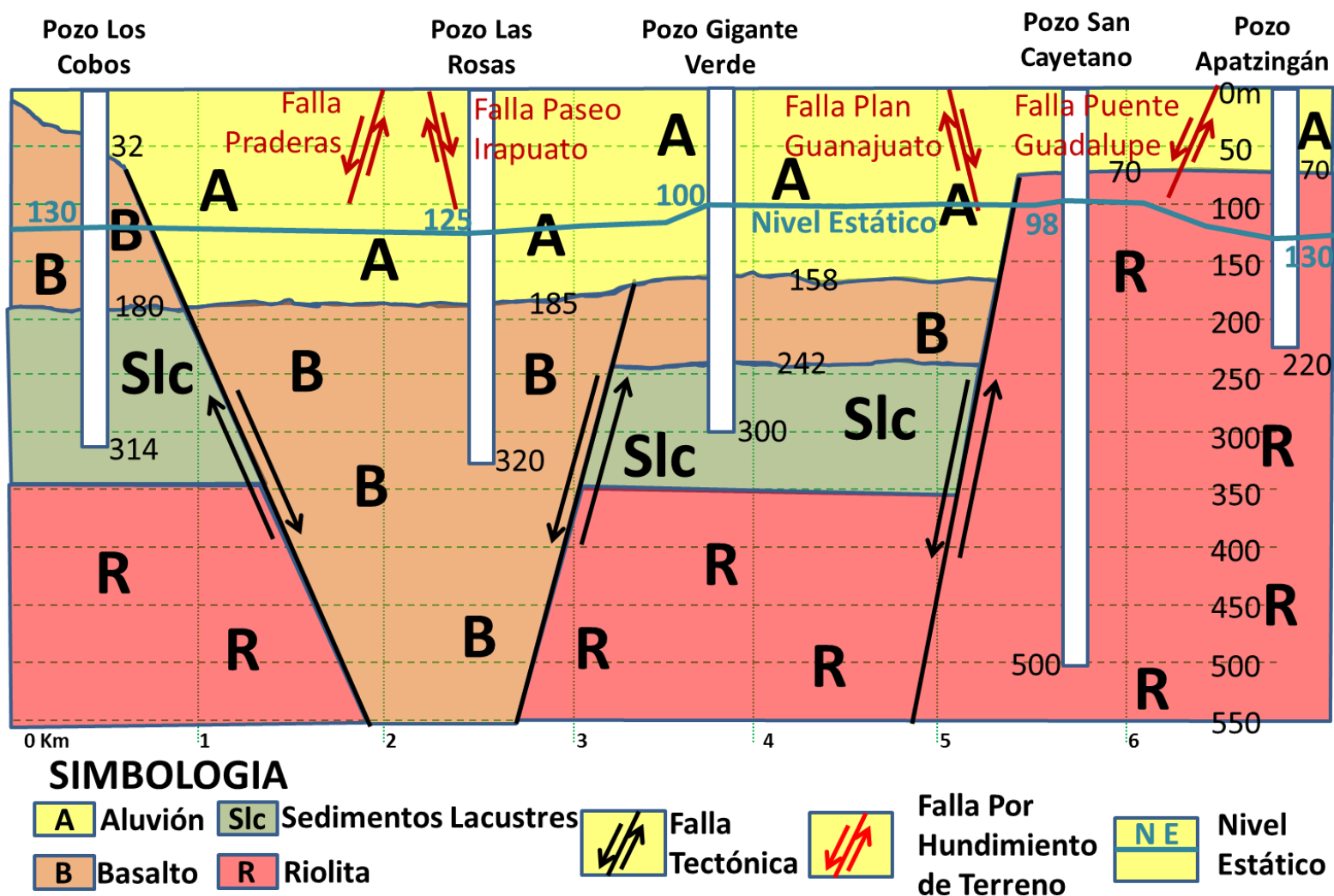


Figura 5.47 Sección (A-A').- Se localiza en la parte norte del área urbana, su rumbo NW-SE, tiene una longitud de 7 km entre los pozos de las colonias Bernardo de los Cobos, Las Rosas, Gigante Verde, San Cayetano y Apatzingán. En el área entre Las Rosas y Gigante Verde, el espesor medio de los sedimentos aluviales es de 170 m y descansan sobre rocas volcánicas basálticas. Hacia su extremo oriente entre San Cayetano y Apatzingán el espesor de sedimentos aluviales es de 70m y descansan sobre rocas volcánicas riolíticas. Fuente: Trujillo Candelaria, 2010.

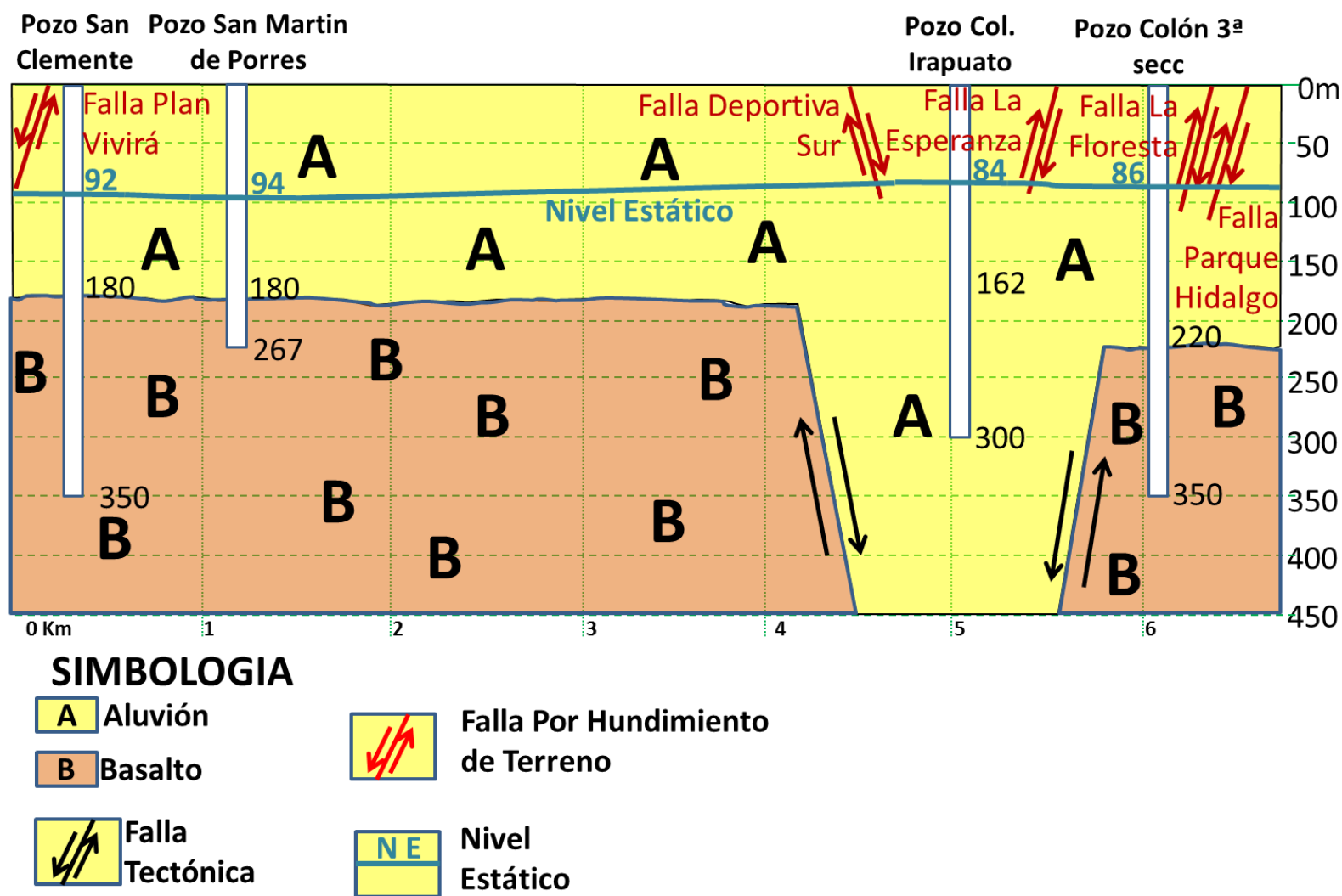
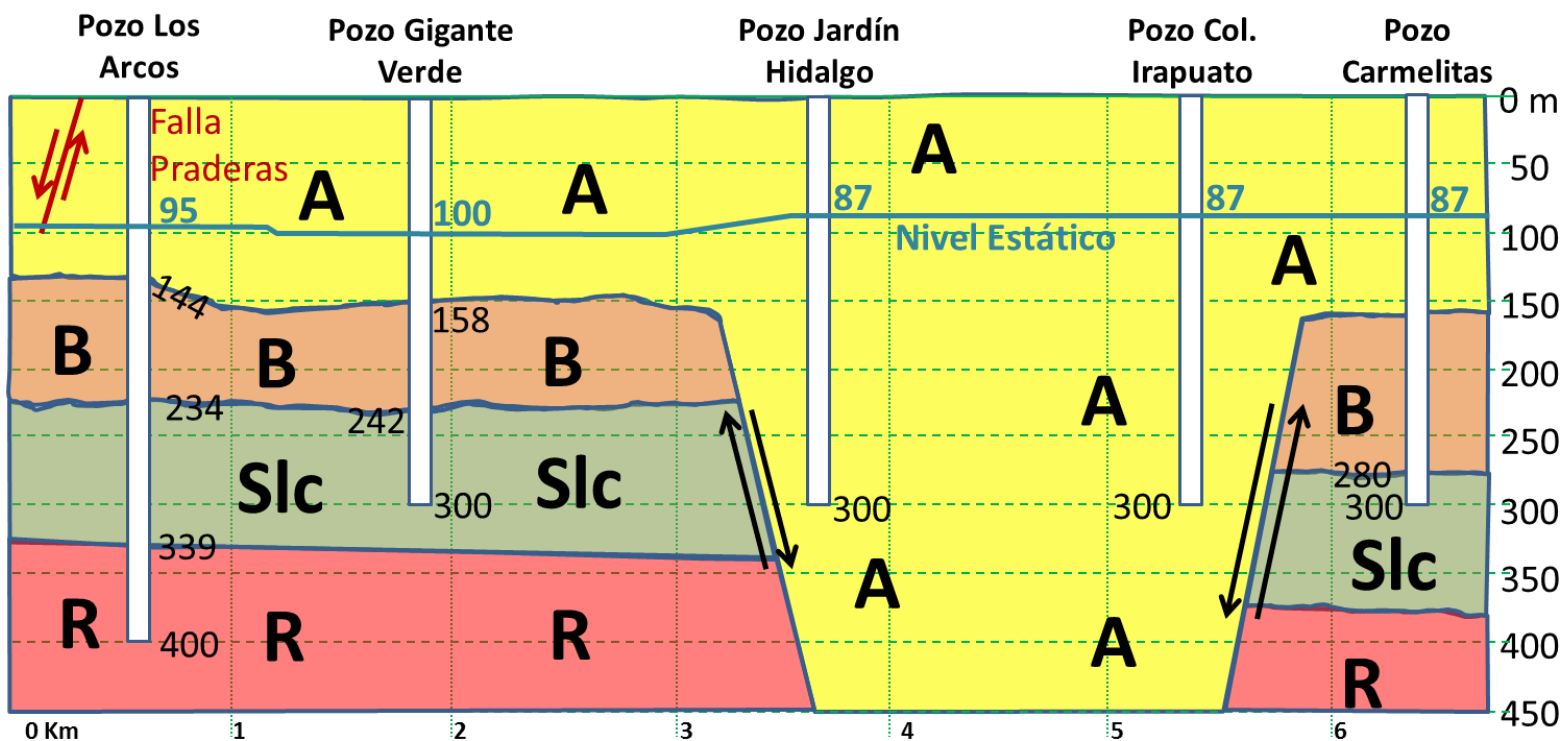


Figura 5.48 Sección (B-B').- Se localiza en la parte sur del área urbana, tiene rumbo E-W y una longitud de 6.5 km, entre el pozo de San Clemente, cerca de la Colonia Plan Vivirá, el pozo de la Colonia San Martín de Porres, el pozo de la Colonia Irapuato y el pozo de la Colonia Colón 3ª Sección. Entre los pozos de San Clemente y San Martín de Porres, en el extremo poniente, el espesor de los rellenos aluviales es de 180 m y se van profundizando llegando a más de 300 m en el pozo de la Colonia Irapuato y a 220 m en el pozo Colón 3ª Sección en el extremo oriental, en una de las zonas más afectadas por el fallamiento de terrenos. (Tomado de Trujillo Candelaria, 2010).



### SIMBOLOGIA

**A** Aluvión

**B** Basalto

**Slc** Sedimentos Lacustres

**R** Riolita

Falla Tectónica

Falla Por Hundimiento de Terreno

Nivel Estático

Figura 5.49 Sección (C-C').-Atraviesa el área urbana con rumbo norte-sur por su parte oriental, tiene una longitud de 6,250 m pasando por los pozos Rinconada de los Arcos, Gigante Verde, Jardín Hidalgo, Colonia Irapuato y Colonia Las Carmelitas. El espesor medio de los sedimentos aluviales es de 150 m entre el Pozo de Rinconada de los Arcos y el área de Gigante Verde, y se profundiza a más de 300 m en el área entre los pozos del Jardín Hidalgo y Colonia Irapuato en la porción suroriental del área urbana. Pasando esta zona profunda, en el pozo de Las Carmelitas, el espesor medio vuelve a ser del orden de los 150 m. (Tomado de Trujillo Candelaria, 2010).

En el Terciario Medio se presentaron grandes eventos tectónicos que dieron origen a la Sierra de Guanajuato que forma el límite noreste del Valle de Irapuato y a su vez ocasionaron el fallamiento en bloques, la aparición de profundos grabens y horst hacia sus laderas (Trujillo-Candelaria, 2010). Carreón Freyre *et. al.*, 2013 menciona que las estructuras geológicas fueron sepultadas por el paquete de sedimentos de aluvión y lacustres y que con la extracción excesiva de agua subterránea están quedando expuestos los sistemas preexistentes.

### 5.13.2 Condiciones del acuífero.

La extracción de agua subterránea en formaciones geológicas que contienen lentes de arcilla causa que esta se despresurice provocando el drenaje hidráulico lento en los estratos conformados por arcillas y lentes suprayacentes más permeables. Al perder agua las arcillas, pierden volumen lentamente el cual causa el sucesivo colapso de los paquetes sedimentarios superiores. La porosidad de las arcillas se estima que puede llegar a ser superior al 50% en su estado natural (base seca). (Jackson et al, 2004; Rodríguez et. al., 2006).

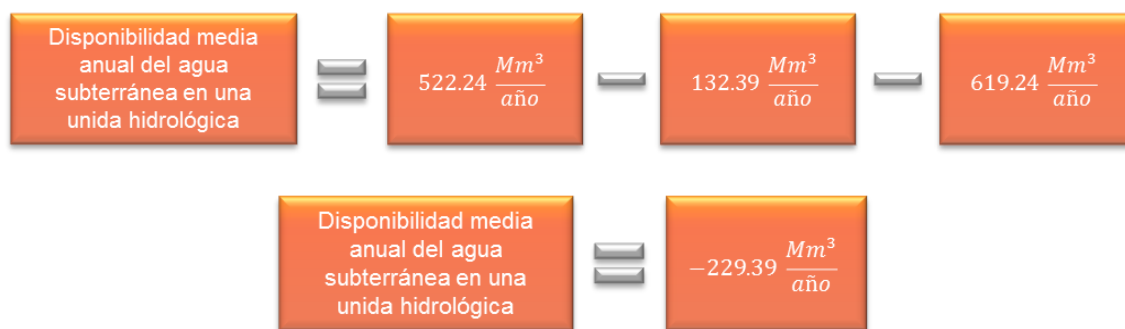
Hidrogeológicamente el paquete sedimentario es el que conforma el acuífero (Ac. Irapuato-Valle), tiene características muy particulares ya que su interacción con los acuíferos vecinos es activa (Ac. Pénjamo-Abasolo y Ac. Silao-Romita) (CONAGUA, 2009). De los regímenes de extracción se reportan cifras que indican un desbalance hídrico del orden de 229.39 Millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ) por año (CONAGUA, 2009). A esta cifra se llega realizando la siguiente operación matemática

Fórmula:



Datos:

- Recarga total media anual =  $522.24 \text{ } Mm^3/\text{año}$
- Descarga natural comprometida =  $132.39 \text{ } Mm^3/\text{año}$
- Volumen anual de agua subterránea considerado e inscrito en el REPDA =  $619.24 \text{ } Mm^3/\text{año}$



En México el uso del agua corresponde en forma muy general, un 77% a la agricultura y en segundo lugar el uso urbano con un 13% y el uso industrial con el 10% (CNA, 2004).

Con los datos anteriores, se procedió a revisar los informes con mapeos de las fallas-fracturas-grietas presentes en el Municipio de Irapuato, encontrando gran variedad, siendo Carreón Freyre el más recientes del año 2013, los mapas son de Rodríguez y Rodríguez, 2006, Rodríguez *et. al.*, 2012 y Rodríguez y Schroeder, 2010 (Figuras 5.50 a 5.52).

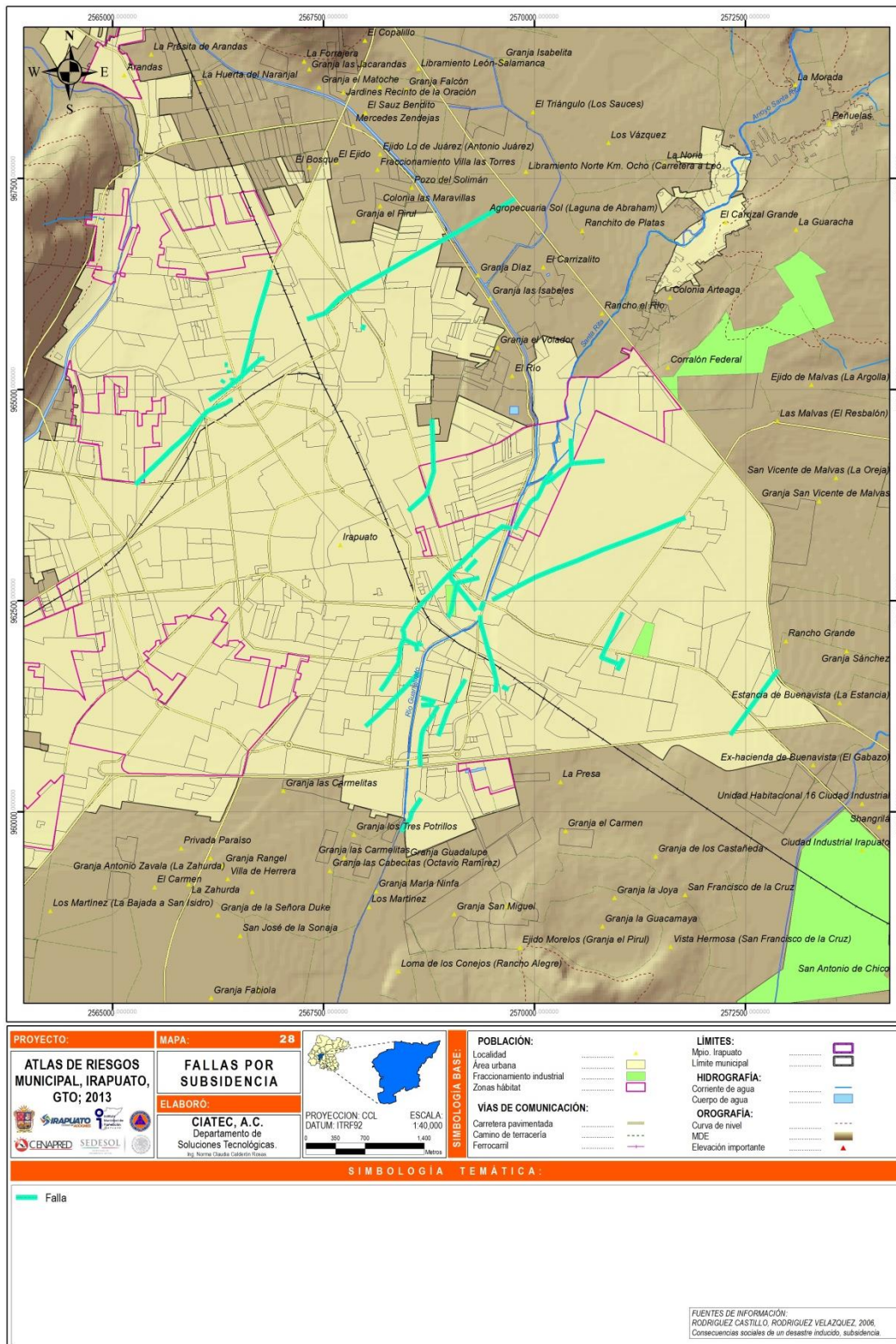


Figura 5.50 Fallas por subsidencia, en rojo, localizadas en el núcleo urbano de Irapuato, Guanajuato, México. (Tomado de Rodríguez y Schroeder., 2010).

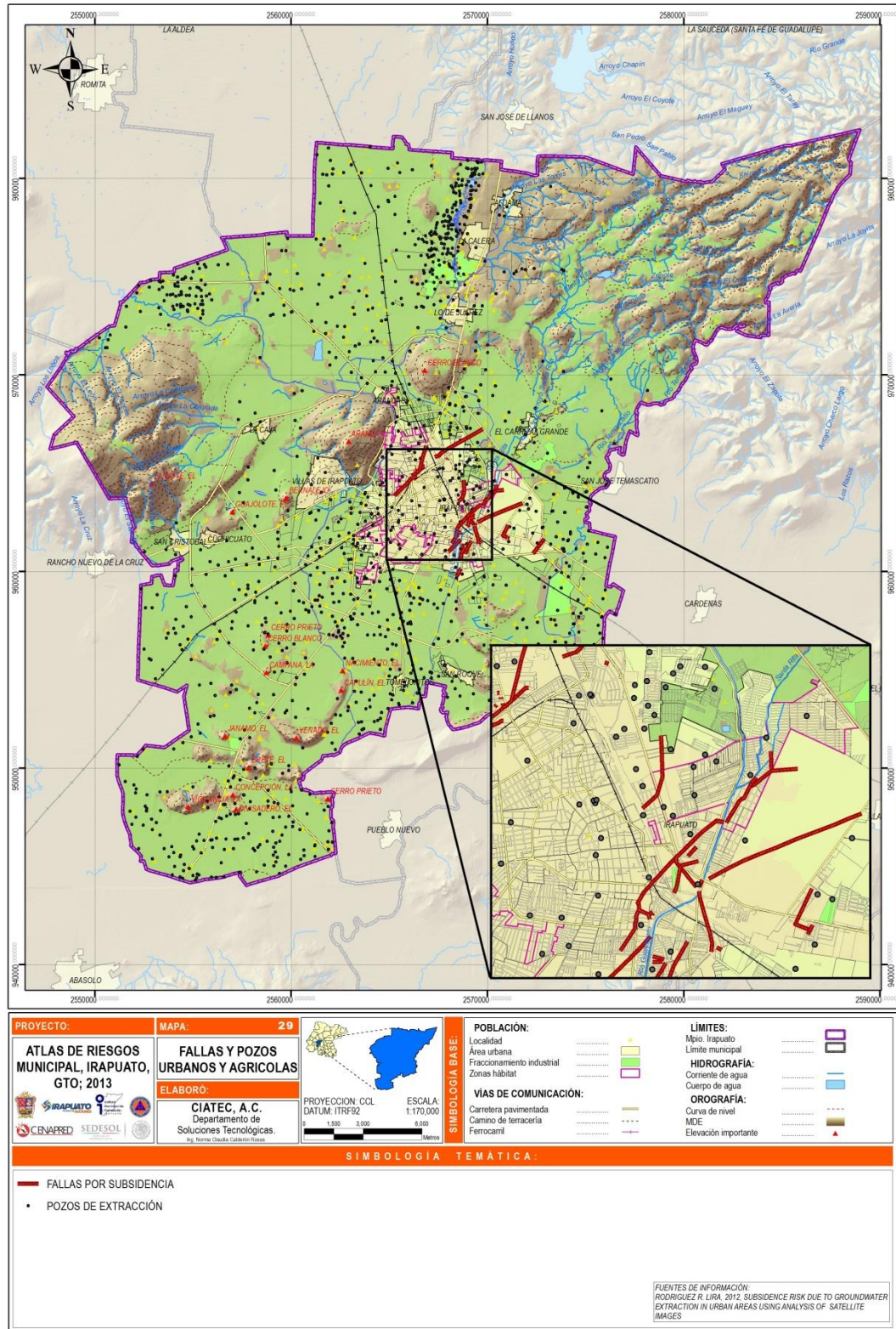


Figura 5.51 Mapa de fallas, y pozos de agua urbana y terrenos agrícolas de la Ciudad de Irapuato. (Tomado de Rodríguez et. al., 2012)

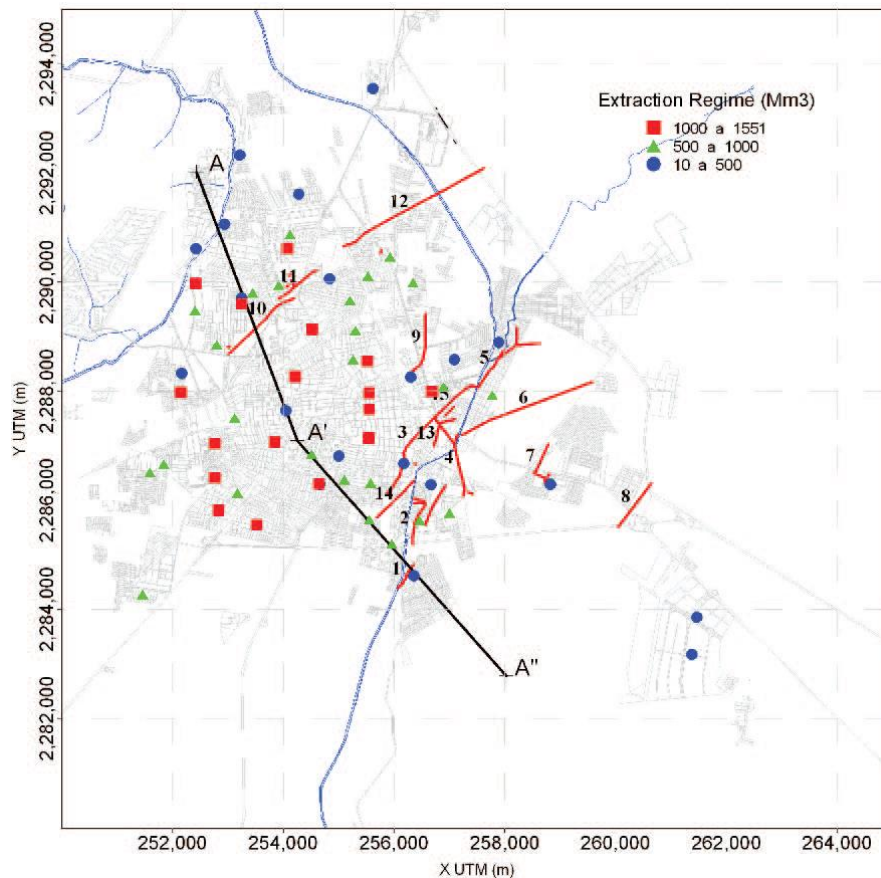


Figura 5.52 Mapa de fallas, y pozos de agua urbana y terrenos agrícolas de la Ciudad de Irapuato. (Tomado de Rodríguez y Schroeder., 2010).

### 5.13.3 Escenario.

Trujillo Candelaria reportó un listado de estructuras geológicas, las cuales coinciden con las mapeadas anteriormente por Rodríguez y Schroeder (Figura 5.52), dichas estructuras se enlistan a continuación y conforman la base inicial para la descripción del escenario geológico más crítico en el Municipio de Irapuato:

1. Falla La Pradera
2. Falla Paseo Irapuato (Falla Jacarandas)
3. Falla Plan Guanajuato
4. Falla Puente de Guadalupe
5. Falla San Isidro
6. Falla La Esperanza
7. Falla La Floresta
8. Falla Téllez
9. Falla Parque Hidalgo
10. Falla Las Fresas
11. Falla Los Olivos
12. Falla El Trébol
13. Falla Viviré
14. Falla Deportiva Sur
15. Zona Tabachines (no es falla, pero se reportaron hundimientos).

16. Deslizamiento Campestre Las Flores (no es falla, pero se reportaron hundimientos).

De acuerdo a las figuras 5.50 a 5.52, las fallas tienen una dirección preferencial al Noreste y se ubican en gran parte en la zona Sureste del Municipio de Irapuato. Por su parte Ramírez Castillo menciona que la velocidad de subsidencia observada va de 6 a 7 centímetros por año en la parte urbana, esto acumulado en 10 años, el desnivel acumulado representa los 2 metros. Trujillo Candelaria menciona que en lo observado en 24 años (de 1986 a 2010) se tiene un descenso del nivel estático de 60 metros, lo que equivale a un promedio de 2.5 metros por año (en el acuífero), lo que ha generado una manifestación en superficie.

Con toda la información antes mencionada se ha desarrollado trabajo de campo, consistente en un recorrido de las fallas con la asesoría de personal de Protección Civil, en la Tabla 5.23 se indican los puntos de verificación de las fallas en el Municipio de Irapuato; se incluyen datos de las coordenadas del punto visitado (UTM), Altura (m.s.n.m.), Nombre de la Falla, Desplazamiento Vertical (estimado en metros) y Abertura (observada en superficie, metros).

En la Figura 5.53 se identifican los puntos verificados en la zona urbana de Irapuato y las fallas reportadas por Trujillo-Candelaria se identifican en líneas de color rojo.

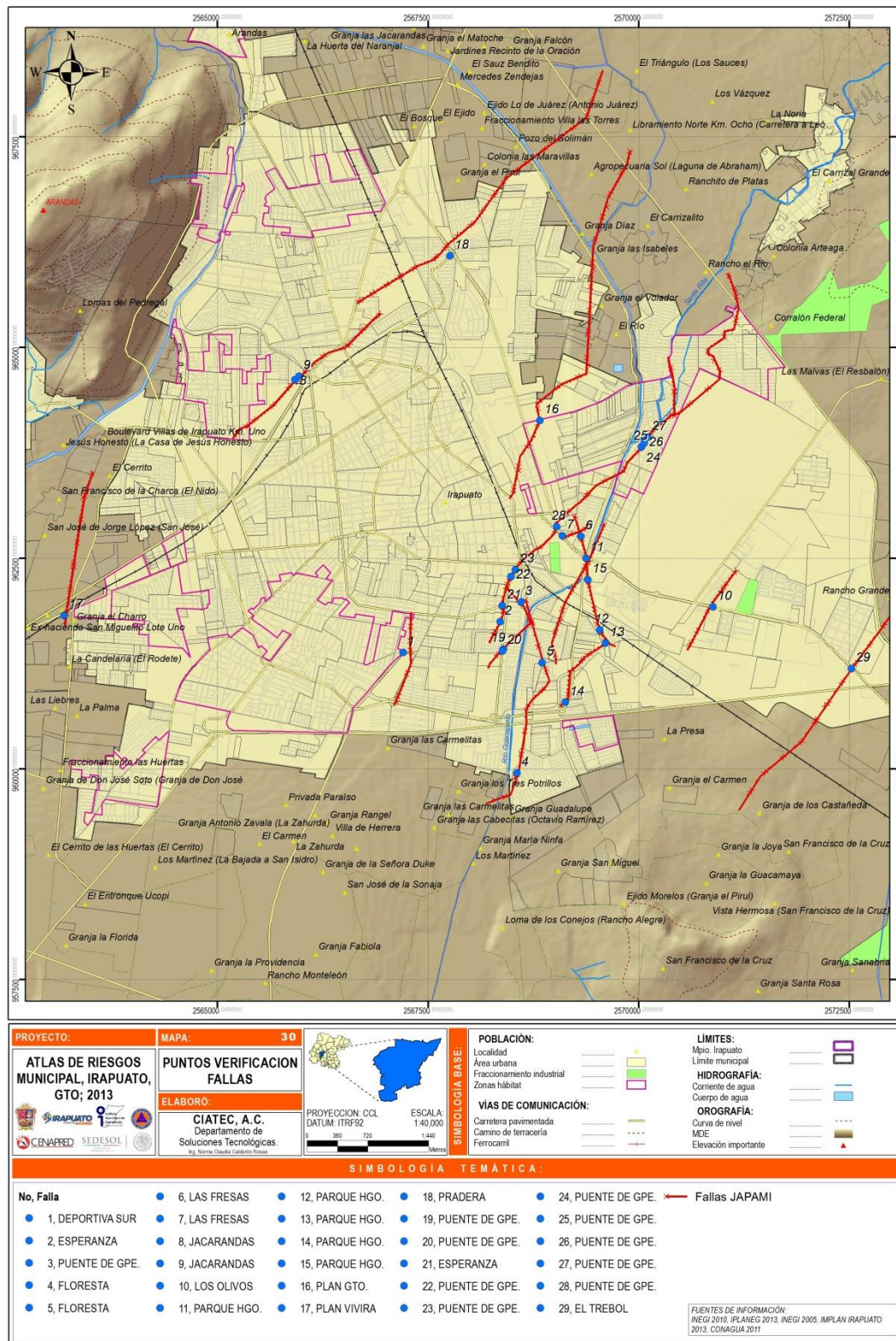


Figura 5.53 Mapa donde se ubican los puntos de verificación de las fallas en la Ciudad de Irapuato.

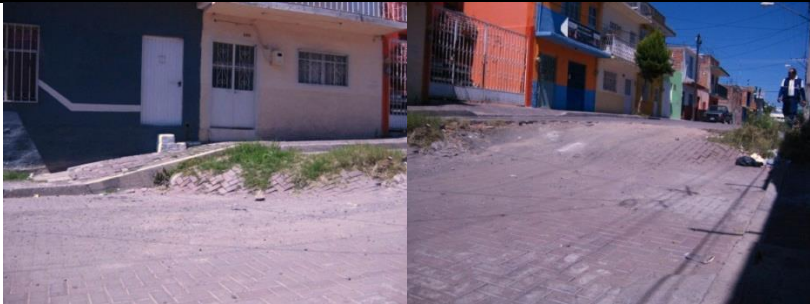
Tabla 5.23 Puntos de verificación de las fallas en la Ciudad de Irapuato.

| No. | COORDENADAS<br>E N |         | ALTURA<br>m.s.n.m. | UBICACIÓN                                                     | NOMBRE DE LA FALLA  | DESP.<br>VERTICAL (m) | ABERTURA<br>(m) |
|-----|--------------------|---------|--------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| 1   | 254916             | 2286076 | 1721               | Col. Solidaridad/Nuevo México                                 | Deportiva Sur       | 0.4                   | --              |
| 2   | 256080             | 2286421 | 1721               | Calle 2 De Abril (Col. Municipio Libre)                       | Esperanza           | 1.0                   | 5.0             |
| 3   | 256332             | 2286651 | 1724               | Atrás Soriana San Roque                                       | Puente de Guadalupe | 0.3                   | 1.0             |
| 4   | 256248             | 2284614 | 1723               | Residencial Floresta                                          | Floresta            | 0.6                   | 3.0             |
| 5   | 256571             | 2285924 | 1724               | Calle Villa Del Rosal                                         | Floresta            | 0.3                   | 0.5             |
| 6   | 257063             | 2287421 | 1725               | Calle Taxco (Jardines De La Hacienda)                         | Las Fresas          | 0.2                   | 2.0             |
| 7   | 256843             | 2287433 | 1731               | Motel Las Fresas                                              | Las Fresas          | 0.3                   | --              |
| 8   | 253690             | 2289354 | 1736               | Col. San Gabriel                                              | Paseo Irapuato      | 0.8                   | 1.5             |
| 9   | 253737             | 2289396 | 1737               | Col. San Gabriel                                              | Paseo Irapuato      | 0.5                   | 2.0             |
| 10  | 258623             | 2286550 | 1728               | Salida A Salamanca                                            | Los Olivos          | 0.4                   | 0.5             |
| 11  | 257119             | 2287160 | 1727               | Carretera México- Atrás de Bimbo                              | Parque Hidalgo      | 0.6                   | 1.0             |
| 12  | 257266             | 2286302 | 1725               | Col. Morelos                                                  | Parque Hidalgo      | 0.4                   | 1.0             |
| 13  | 257333             | 2286143 | 1725               | Col. Morelos                                                  | Parque Hidalgo      | 0.6                   | 1.5             |
| 14  | 256839             | 2285447 | 1724               | Calle Tupátaro (Col. Hacienda La Virgen)                      | Parque Hidalgo      | 0.5                   | 1.5             |
| 15  | 257136             | 2286903 | 1731               | Frente de Bimbo                                               | Parque Hidalgo      | 0.6                   | --              |
| 16  | 256601             | 2288813 | 1740               | UPI (Col. Delicias)                                           | Plan Guanajuato     | 0.2                   | 0.5             |
| 17  | 250879             | 2286597 | 1726               | Plan Vivirá (Carretera)                                       | Plan Vivirá         | 0.2                   | 1.0             |
| 18  | 255565             | 2290797 | 1741               | Ejército Nacional / Boulevard Solidaridad (Col. La Pradera)   | Pradera             | 1.0                   | 2.0             |
| 19  | 256113             | 2286095 | 1721               | Calle Pedro Álvarez (Col. Colón)                              | Puente de Guadalupe | 0.5                   | 2.0             |
| 20  | 256101             | 2286072 | 1721               | Boulevard San Roque Esq. Pedro Álvarez (Col. Colón 2da.Secc.) | Puente de Guadalupe | 0.4                   | 2.0             |
| 21  | 256109             | 2286612 | 1725               | Glorieta Soriana San Roque                                    | Esperanza           | 0.5                   | 2.0             |
| 22  | 256222             | 2286959 | 1722               | Calle Casuarina (Col. De La Calzada de Guadalupe)             | Puente de Guadalupe | 3.0                   | 3.0             |
| 23  | 256273             | 2287039 | 1724               | Calle Aranda (Col. De La Calzada de Guadalupe)                | Puente de Guadalupe | 1.6                   | 1.5             |
| 24  | 257805             | 2288474 | 1731               | Col. Emiliano Zapata (Casa Afectada) Bajo                     | Puente de Guadalupe | 3.0                   | 4.0             |
| 25  | 257814             | 2288467 | 1734               | Col. Emiliano Zapata (Casa Afectada) Alto                     | Puente de Guadalupe | 3.0                   | 4.0             |
| 26  | 257840             | 2288519 | 1732               | Calle Juan Escutia. (Col. Emiliano Zapata) Bajo               | Puente de Guadalupe | 3.0                   | 4.0             |
| 27  | 257881             | 2288588 | 1734               | Calle Juan Escutia. (Col. Emiliano Zapata) Alto               | Puente de Guadalupe | 3.0                   | 4.0             |
| 28  | 256777             | 2287542 | 1731               | Paso A Desnivel (Desviación al Centro)                        | Puente de Guadalupe | 0.6                   | 1.5             |
| 29  | 260259             | 2285782 | 1725               | Salida A Salamanca                                            | El Trébol           | 0.3                   | 1.0             |

En la **Tabla 5.24** se muestran las fotos de los sitios verificados durante los trabajos de campo.

**Tabla 5.24 Fotos de los puntos de verificación de las fallas/fracturas en la Zona Urbana de Irapuato.**

| No.                                                                                  | UBICACIÓN                     | FALLA          | E         | N          | ALTURA<br>m.s.n.m. |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------|------------|--------------------|
| 1                                                                                    | COL. SOLIDARIDAD/NUEVO MEXICO | DEPORTIVA SUR  | 254915.53 | 2286075.51 | 1721               |
|    |                               |                |           |            |                    |
| 2                                                                                    | CALLE 2 DE ABRIL              | ESPERANZA      | 256080.38 | 2286420.7  | 1721               |
|   |                               |                |           |            |                    |
| 3                                                                                    | ATRÁS SORIANA SN. ROQUE       | PUENTE DE GPE. | 256332.04 | 2286650.84 | 1724               |
|  |                               |                |           |            |                    |
| 4                                                                                    | RECIDENCIAL FLORESTA          | FLORESTA       | 256248    | 2284614    | 1723               |
|  |                               |                |           |            |                    |

|   |                                       |                                                                                      |           |            |      |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|------|
|   |                                       |    |           |            |      |
| 5 | CALLE VILLA DEL ROSAL                 | FLORESTA                                                                             | 256571.38 | 2285924.25 | 1724 |
|   |                                       |    |           |            |      |
| 6 | CALLE TAXCO (JARDINES DE LA HACIENDA) | LAS FRESAS                                                                           | 257063.02 | 2287420.54 | 1725 |
|   |                                       |   |           |            |      |
| 8 | COL. SAN GABRIEL                      | LAS FRESAS                                                                           | 256843    | 2287433    | 1731 |
|   |                                       |  |           |            |      |
| 9 | COL. SAN GABRIEL                      | JACARANDAS                                                                           | 253690    | 2289354    | 1736 |

|    |                                                                                      |             |           |            |      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|------------|------|
|    |    |             |           |            |      |
| 10 | SALIDA A SALAMANCA                                                                   | JACARANDAS  | 253737    | 2289396    | 1737 |
|    |    |             |           |            |      |
| 11 | CARR. MEXICO-BIMBO (ATRÁS)                                                           | LOS OLIVOS  | 258622.58 | 2286550.18 | 1728 |
|    |   |             |           |            |      |
| 12 | COL. MORELOS                                                                         | PARQUE HGO. | 257118.74 | 2287159.84 | 1727 |
|    |  |             |           |            |      |
| 13 | COL. MORELOS                                                                         | PARQUE HGO. | 257266    | 2286302    | 1725 |

|    |                                                                                      |             |        |         |      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|---------|------|
|    |    |             |        |         |      |
| 14 | CALLE TUPATARO (COLONIA HACIENDA LA VIRGEN)                                          | PARQUE HGO. | 257333 | 2286143 | 1725 |
|    |    |             |        |         |      |
| 16 | UPI (COL. DELICIAS)                                                                  | PARQUE HGO. | 256839 | 2285447 | 1724 |
|    |   |             |        |         |      |
| 17 | PLAN VIVIRA (CARRETERA)                                                              |             | 257136 | 2286903 | 1731 |
|    |  |             |        |         |      |
| 18 | EJERCITO NACIONAL / BLVD. SOLIDARIDAD (COL. LA PRADERA)                              | PLAN GTO.   | 256601 | 2288813 | 1740 |

|                                                                                      |                                                   |                |           |           |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------|------|
|    |                                                   |                |           |           |      |
| 19                                                                                   | CALLE PEDRO ALVAREZ. (Col. Colón)                 | PLAN VIVIRA    | 250879    | 228659    | 1726 |
|    |                                                   |                |           |           |      |
| 20                                                                                   | BLVD. SAN ROQUE ESQ. PEDRO ALVAREZ (Col. Colón)   | PRADERA        | 255565    | 2290797   | 1741 |
|   |                                                   |                |           |           |      |
| 21                                                                                   | GLORIETA SORIANA SN ROQUE                         | PUENTE DE GPE. | 256113    | 2286095   | 1721 |
|  |                                                   |                |           |           |      |
| 22                                                                                   | CALLE CASUARINA (Col. De La Calzada de Guadalupe) | PUENTE DE GPE. | 256101.17 | 2286072.4 | 1721 |

|                                                                                      |                                           |                |           |            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|-----------|------------|------|
|    |                                           |                |           |            |      |
| 23                                                                                   | CALLE ARANDA                              | ESPERANZA      | 256109.38 | 2286612.47 | 1725 |
|    |                                           |                |           |            |      |
| 25                                                                                   | COL. EMILIANO ZAPATA (CASA AFECTADA) ALTO | PUENTE DE GPE. | 256272.91 | 2287039.13 | 1724 |
|   |                                           |                |           |            |      |
| 26                                                                                   | CALLE JUAN ESCUTIA BAJO                   | PUENTE DE GPE. | 257805    | 2288474    | 1731 |
|  |                                           |                |           |            |      |
| 29                                                                                   | SALIDA A SALAMANCA                        | PUENTE DE GPE. | 257840    | 2288519    | 1732 |



Con el objetivo de evaluar un escenario de mayor vulnerabilidad para la población en el Municipio de Irapuato desde el punto de vista geológico. Se realizó un recorrido en el Municipio de Irapuato, para identificar los tipos de vivienda que existen en la mancha urbana (**Tabla 5.25**).

**Tabla 5.25 Clasificación de vivienda de acuerdo con la tipología utilizada por el INEGI.**

| TIPO DE VIVIENDA | CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA                   |
|------------------|--------------------------------------------------|
| Tipo 1           | Muros de mampostería con techos rígidos          |
| Tipo 2           | Muros de mampostería con techos flexibles        |
| Tipo 3           | Muros de adobe con techos rígidos                |
| Tipo 4           | Muros de adobe con techos flexibles              |
| Tipo 5           | Muros de materiales débiles con techos flexibles |

La clasificación que se propone es la siguiente, de acuerdo a la Ley de Ingresos para el Municipio de Irapuato, para el Ejercicio Fiscal del año 2014, publicado en Diciembre de 2013; se menciona la clasificación de construcciones habitacionales conforme se especifica en la **Tabla 5.26**.

**Tabla 5.26 Clasificación de la Vivienda de acuerdo a la Ley de Ingresos del Municipio de Irapuato (LIMI) con un costo promedio por cada tipo.**

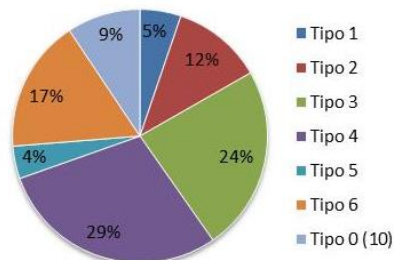
| TIPO                    | CALIDAD        | COSTO PROMEDIO m <sup>2</sup> |
|-------------------------|----------------|-------------------------------|
| Habitacional            | De Lujo        | 5,621.61                      |
|                         | Superior       | 4,309.90                      |
|                         | Media          | 3,372.96                      |
|                         | Económica      | 2,668.85                      |
| Moderno                 | Interés Social | 2,285.42                      |
|                         | Corriente      | 1,425.27                      |
|                         | Precaria       | 715.29                        |
| Antiguo                 | Superior       | 3,270.75                      |
|                         | Media          | 2,362.21                      |
|                         | Económica      | 1,907.94                      |
|                         | Corriente      | 1,181.10                      |
| Condominio Habitacional | De Lujo        | 5,153.01                      |
|                         | Superior       | 4,497.29                      |
|                         | Media          | 3,935.13                      |
|                         | Interés Social | 2,998.19                      |
|                         | Económica      | 2,436.03                      |

En la **Tabla 5.27** se muestra una cuantificación de las viviendas de acuerdo a las actividades de campo, se describen 6 tipos de construcciones habitacionales, las cuales van desde las más lujosas hasta las humildes, también se tiene el Tipo 0 el cual corresponde a las construcciones de uso público y/o privadas, como son parques, jardines, además de las oficinas de gobierno y edificios para la educación y recreación. En la **figura 5.54** se muestran las gráficas de los datos proporcionados en la **Tabla 5.27**.

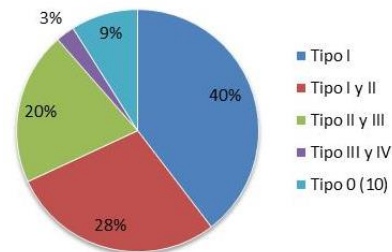
**Tabla 5.27 Cuantificación de los tipos de viviendas propuesto por CIATEC.**

| Tipo de Vivienda por CIATEC | No. de colonias | Porcentaje (%) | Tipo de Vivienda por INEGI | No. de colonias | Porcentaje (%) |
|-----------------------------|-----------------|----------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Tipo 1</b>               | 29              | 5.22           | <b>Tipo I</b>              | 221             | 39.61          |
| <b>Tipo 2</b>               | 64              | 11.51          | <b>Tipo I y II</b>         | 159             | 28.49          |
| <b>Tipo 3</b>               | 131             | 23.56          | <b>Tipo II y III</b>       | 114             | 20.43          |
| <b>Tipo 4</b>               | 163             | 29.32          | <b>Tipo III y IV</b>       | 14              | 2.51           |
| <b>Tipo 5</b>               | 23              | 4.14           | <b>Tipo 0</b>              | 50              | 8.96           |
| <b>Tipo 6</b>               | 94              | 16.91          | <b>Total</b>               | <b>558</b>      | <b>100</b>     |
| <b>Tipo 0</b>               | 52              | 9.35           |                            |                 |                |
| <b>Total</b>                | <b>556</b>      | <b>100</b>     |                            |                 |                |

**Tipo de Vivienda por CIATEC**



**Tipo de Vivienda por INEGI**



**Figura 5.54. Gráficas de los porcentajes de viviendas en el Municipio de Irapuato.**

Los datos de tipología de viviendas se geoposicionaron en el mapa del Municipio de Irapuato para conocer su distribución espacial, como se puede observar en la **figura 5.55**.

De acuerdo al CENSO de 2010 del INEGI, la Ciudad de Irapuato y localidades integradas a la ciudad conforman los datos establecido en la **Tabla 5.28**.

**Tabla 5.28 Censo de INEGI para las viviendas del Municipio de Irapuato, Gto.**

| PARÁMETRO                    | TOTAL MANCHA URBANA | TOTAL DEL MUNICIPIO | PORCENTAJE |
|------------------------------|---------------------|---------------------|------------|
| Total de Viviendas           | 117,693             | 146,061             | 80.58      |
| Total de Viviendas Habitadas | 97,288              | 121,937             | 79.78      |
| Población Total              | 418,232             | 529,440             | 78.99      |

La clasificación que se propone para los fines de este estudio incluye 6 tipos con una subdivisión, ya que de acuerdo con las observaciones realizadas en los trabajos de campo y, (Tabla 5.29), se muestra la comparativa con las bases de datos con las que se contaba y de la propuesta por CIATEC para una mejor clasificación de las viviendas y un mejor entendimiento del mismo.

En la Figura 8 se observa la distribución de las viviendas por tipología propuesta por el CIATEC, donde se pueden observar las fallas en líneas rojas, aunque la mayor parte de la afectación por fallas/grietas se ubica en la sección este de la Ciudad de Irapuato.

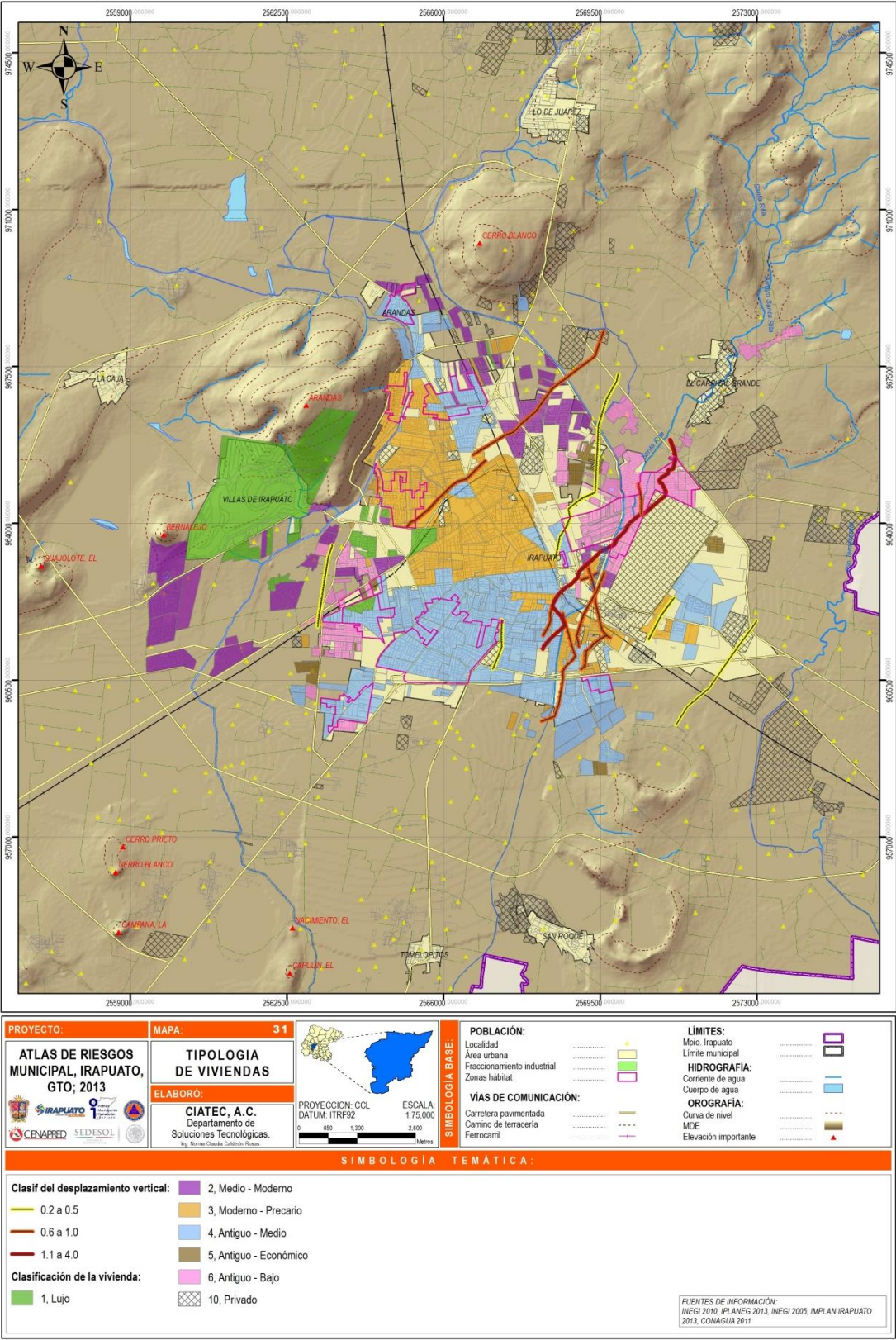


Figura 5.55 Mapa de la tipología de viviendas realizada en la ciudad de Irapuato

Tabla 5.29 Clasificación de vivienda propuesta por CIATEC, de acuerdo a lo encontrado en la Zona Urbana de Irapuato.

| CLASIFICACIÓN IMPLAN                                                                                | CLASIFICACIÓN INEGI | CLASIFICACIÓN CIATEC | CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA                                                                                                    | FOTOGRAFÍA                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Habitacional:<br><b>Lujo Superior</b>                                                               | Tipo 1              | Tipo 1               | Muros rígidos y techo rígido.<br>Casas de 2 o más niveles<br>Estacionamiento particular<br>Nivel económico: Alto<br>(Residencial) |   |
| Habitacional:<br><b>Media Económica</b>                                                             | Tipo 1              | Tipo 2a              | Muros rígidos y techo rígido.<br>Casas de 1 o más niveles<br>Estacionamiento particular<br>Nivel económico: Alto                  |   |
| Moderno:<br><b>Interés Social Corriente</b><br><br>Condominio Habitacional:<br><b>Lujo Superior</b> | Tipo 1              | Tipo 2b              |                                                                                                                                   |  |

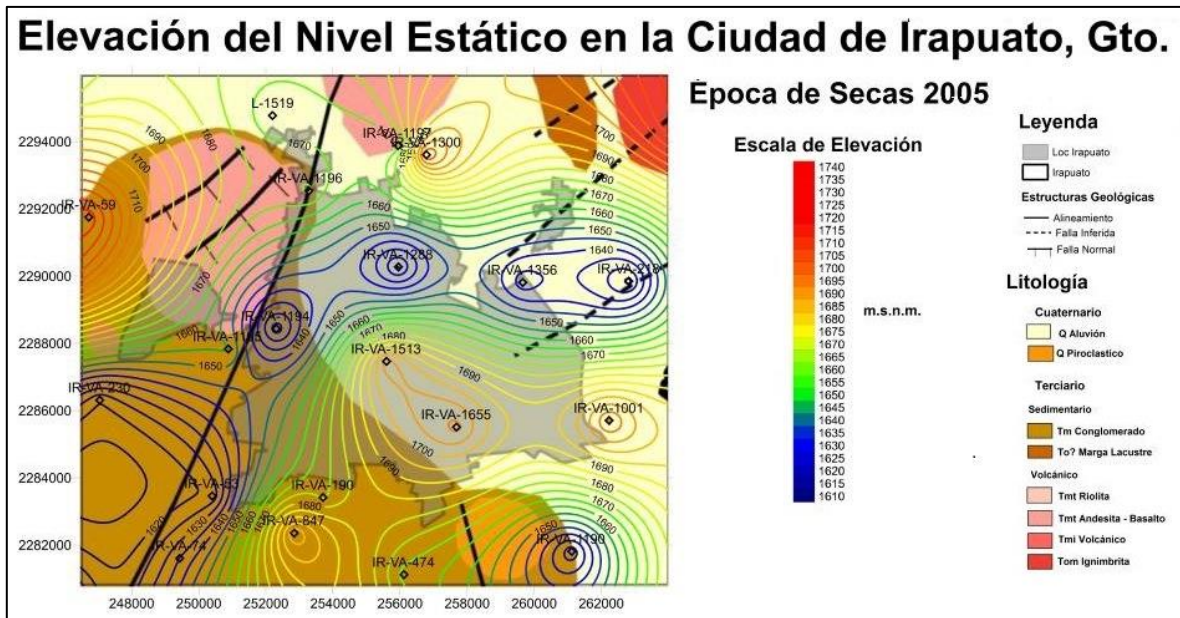
| CLASIFICACIÓN IMPLAN                                           | CLASIFICACIÓN INEGI | CLASIFICACIÓN CIATEC | CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA                                                                                         | FOTOGRAFÍA                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Moderno:<br><b>Precario</b><br><br>Antiguo:<br><b>Superior</b> | Tipo 1 a<br>Tipo 2  | Tipo 3               | Muros rígidos y techo rígido<br>Casa de 1 nivel<br>Estacionamiento particular<br>Nivel económico: Medio-Alto           |   |
| Antiguo:<br><b>Media</b>                                       | Tipo 1 a<br>Tipo 2  | Tipo 4               | Muros rígidos y techo rígido<br>Casa de 1 o más niveles<br>Estacionamiento particular<br>Nivel económico: Medio        |   |
| Antiguo:<br><b>Económico</b>                                   | Tipo 1 a<br>Tipo 2  | Tipo 5               | Muros rígidos y techo flexible<br>Casa de 1 o más niveles<br>Estacionamiento particular<br>Nivel económico: Medio-Bajo |  |

| CLASIFICACIÓN IMPLAN         | CLASIFICACIÓN INEGI | CLASIFICACIÓN CIATEC | CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA                                                                                                              | FOTOGRAFÍA                                                                          |
|------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Antiguo:<br><b>Corriente</b> | Tipo 1 a<br>Tipo 2  | Tipo 6               | Muros rígidos y techo rígido,<br>con algunos techos flexibles<br>Casa de 1 nivel<br>Sin estacionamiento particular<br>Nivel económico: Bajo |  |

Uno de sus factores detonantes de la subsidencia es la extracción de agua subterránea, por lo que se procedió a analizar las Elevaciones del Nivel Estático del Municipio de Irapuato, en temporada de secas y de lluvia.

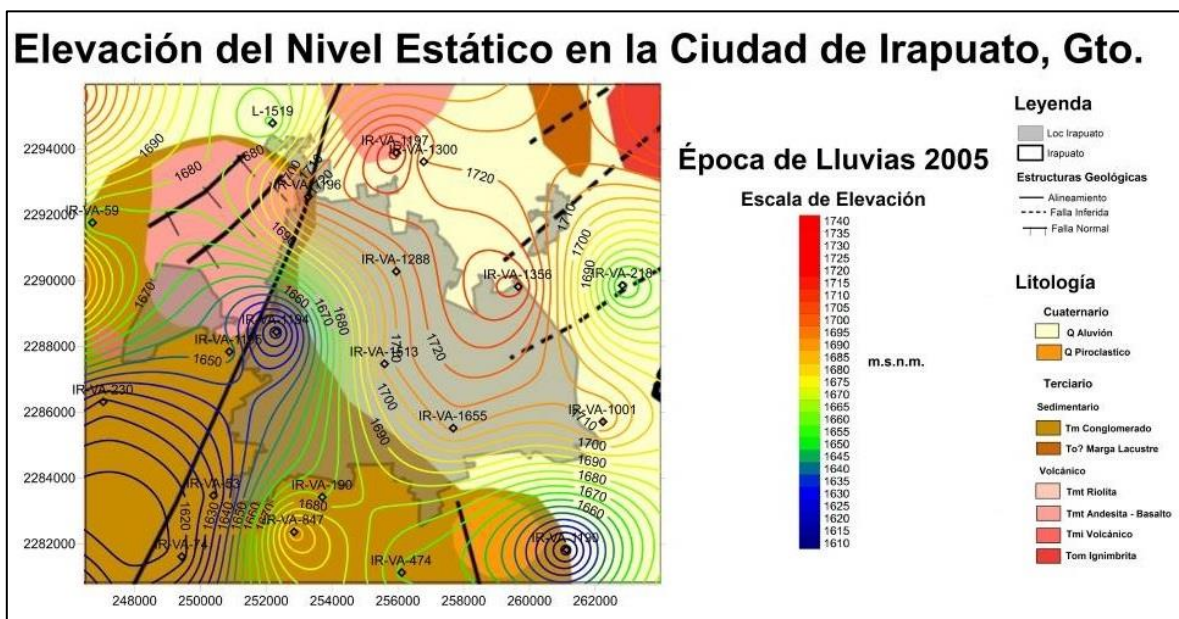
La finalidad de los siguientes mapas es que se observen las zonas de mayor abatimiento del nivel freático en el municipio y en la ciudad, a fin de generar una correlación entre los sistemas de fallas, abatimientos y ubicación de pozos.

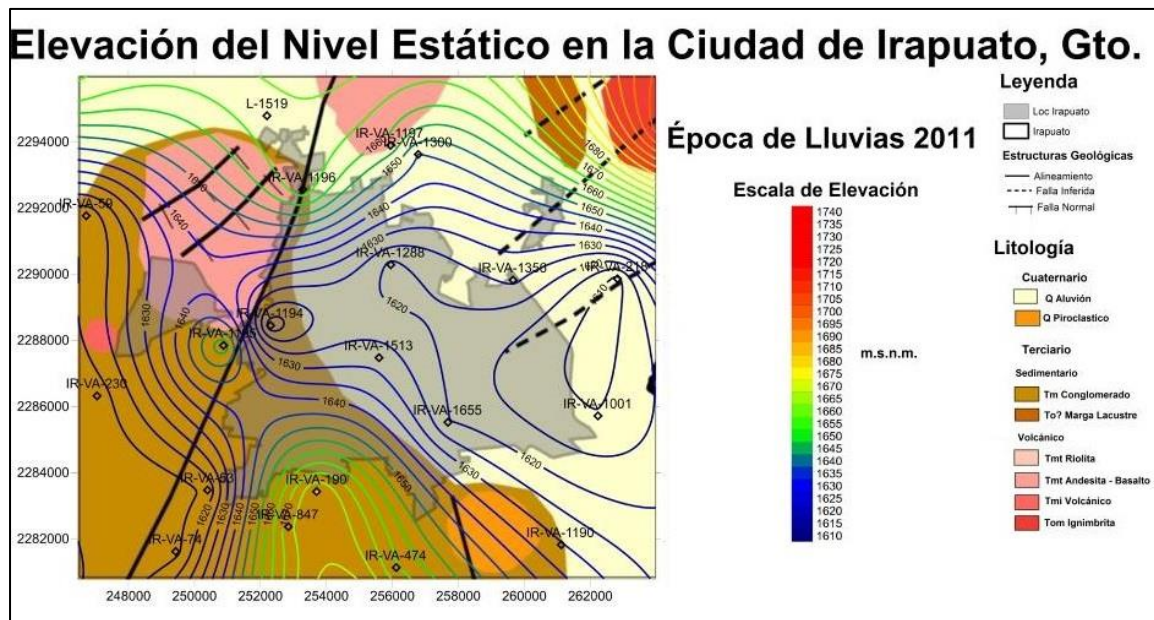
En las **figuras 5.56 y 5.57** tomadas de Carreón *et al*, 2013 se puede observar que en las comparativas del 2005 al 2011 de la Época de Secas, se presentan descensos en el nivel del agua subterránea, los denominados conos de abatimiento (líneas azules) se amplían en la zona Este y Centro de la Ciudad de Irapuato en el rango de 6 años, esto puede verse influenciado por diversos factores como son la sobreexplotación, el incremento en la demanda del líquido o la poca recarga natural afectado por el crecimiento de la mancha urbana.



**Figura 5.56. Elevación del Nivel Estático para la Ciudad de Irapuato en la época de secas del año 2005.**  
Fuente: Carreón *et al* 2013.

En las **Figuras 5.58 y 5.59** se compara el nivel del acuífero en la época de lluvias de la Ciudad de Irapuato, para el 2005 los conos de abatimiento del agua subterránea son distintos de los presentados en el mismo año para la época de secas, ya que se presentan en la zona Oeste y Sur de la ciudad; pero en el año 2011 de la época de lluvias presenta la misma configuración que para secas, lo que indica que el patrón de extracción de agua de los pozos es indistinto sin importar la estacionalidad.





**Figura 5.59 Elevación del Nivel Estático para la Ciudad de Irapuato en la época de lluvias del año 2011.**  
Fuente: Carreón et al 2013.

Del análisis comparativo, se retoma la ubicación de los sistemas de fallas y la extracción de agua subterránea ya que con su relación indirecta con la subsidencia del terreno se puede inferir que las zonas de mayor hundimiento o desplazamiento vertical se localizan están en donde los abatimientos del nivel freático están ocurriendo.

Una vez identificada la ubicación de fallas (sistemas) y abertura de las mismas, tipos de viviendas y su distribución y costos promedio; se puede realizar la estimación de la vulnerabilidad, con base en estudios realizados por Álvarez Manilla et al. 1998, en el cual se especifica una distancia esperada equivalente de 20 a 30 metros a partir del centro de la abertura de la falla, como distancia promedio para la aparición de grietas de tensión asociadas al fallamiento principal, por lo que se tomará esta afirmación como válida para el Municipio de Irapuato; generando un radio de 30 metros de cada lado de la falla o fractura registrada para brindar una zona de amortiguamiento y prevenir algún evento que genere peligro a la población o infraestructura existente.

En la **figura 5.60** se muestra la zona de amortiguamiento (que es de 30 metros) ya que se considera que pueden presentarse fallas escalonadas hacia cualquiera de los lados de la falla, esto como consecuencia de los esfuerzos de los cuales seguirá siendo sujeto el medio. Las afectaciones que se reportan han afectado viviendas completas dejándolas inhabitables tal como se muestra en la **figura 5.61**.

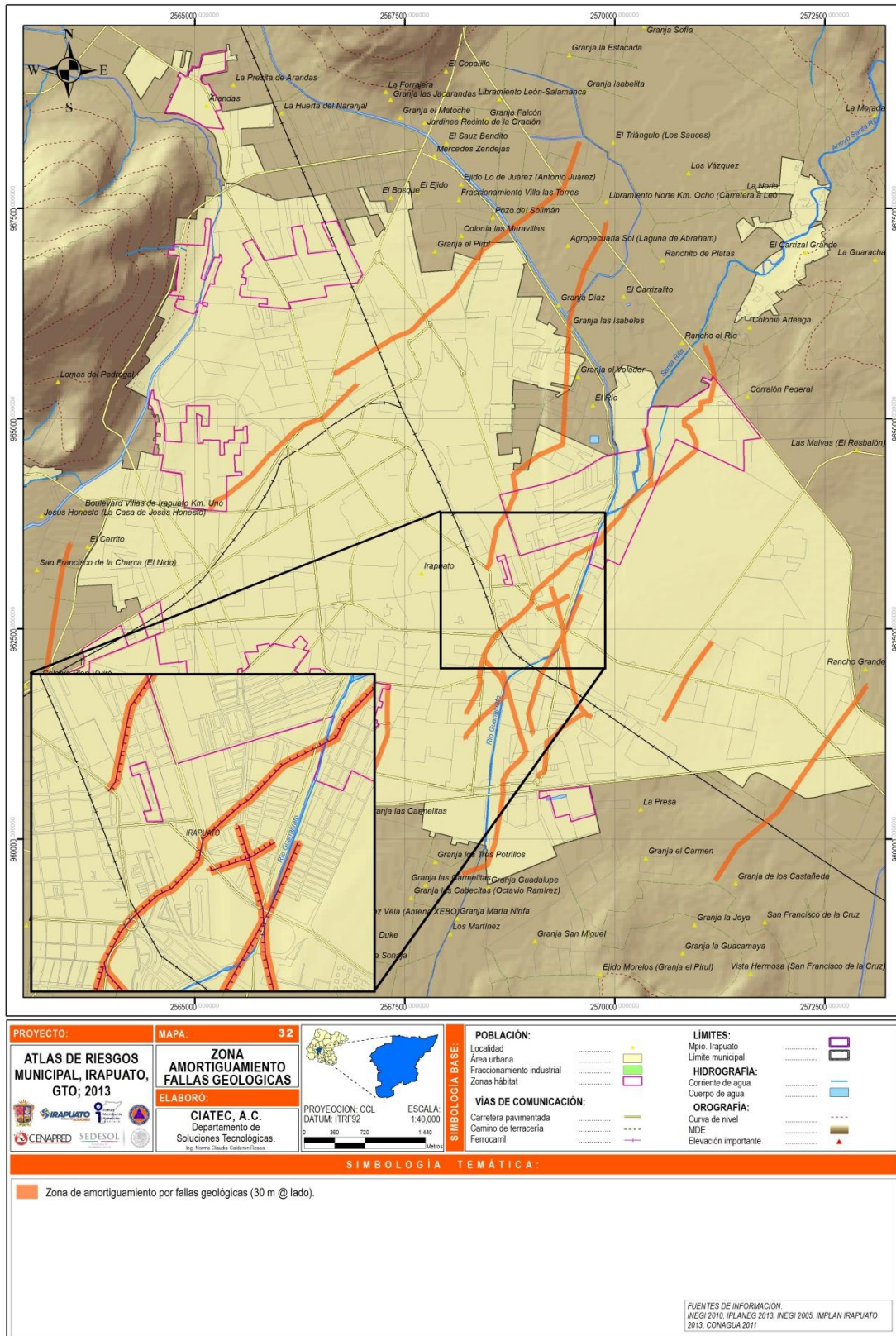


Figura 5.60 Mapa de la mancha urbana donde se indica en anaranjado la zona de amortiguamiento de 30 metros en cada lado del plano de falla.



**Figura 5.61 Casa habitación afectada por el fallamiento activo de la Ciudad de Irapuato.**

Para tener un mayor entendimiento de la distribución de las fallas en relación a su desplazamiento vertical; se propone una clasificación de tres niveles de fallamiento, conforme la siguiente **Tabla 5.30** en Amarillo y nivel bajo oscilan un desplazamiento vertical de 0.0 a 0.5 metros; el naranja es nivel intermedio y representa un rango de 0.6 a 1.0 metros de desplazamiento; y finalmente el rojo y nivel alto que significa un desplazamiento vertical de 1.1 a 4.0 metros. En la **figura 5.62** se muestra la distribución espacial de las fallas de acuerdo a la clasificación antes mencionada. Como se observa, las fallas de nivel bajo se ubican aisladas de otras, por lo que podría considerarse secundarias o escalonadas de las principales; las fallas de nivel intermedio se encuentran una cerca de la otra a excepción del sistema Paseo Irapuato (Jacarandas) y Pradera, que tienen la misma orientación. La única falla que tiene el nivel 3 (alto) es la que ha representado mayores afectaciones a la infraestructura de la ciudad, no solo por su desplazamiento vertical, sino también por su longitud que casi alcanza los 6 kilómetros de sur a noreste.

**Tabla 5.30 Clasificación de los desplazamientos verticales de las fallas en la Ciudad de Irapuato.**

| Nivel        | Color    | Desplazamiento Vertical (metros) | Falla Representativa |
|--------------|----------|----------------------------------|----------------------|
| 1 Bajo       | Amarillo | 0 a 0.5                          | Deportiva Sur        |
| 2 Intermedio | Naranja  | 0.6 a 1.0                        | Jacarandas           |
| 3 Alto       | Rojo     | 1.1 a 4.0                        | Puente de Guadalupe  |

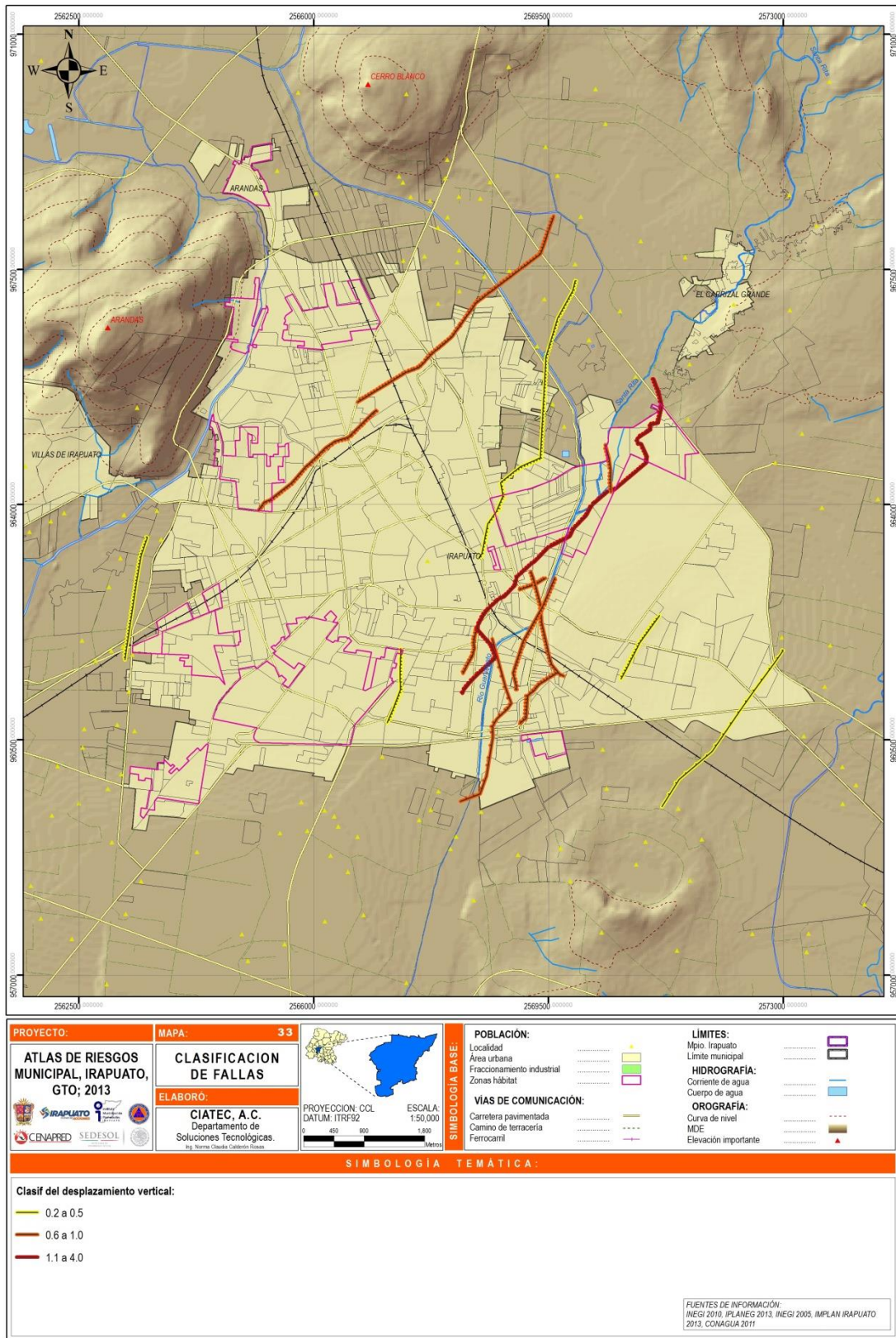


Figura 5.62 Mapa de clasificación de las fallas de acuerdo al desplazamiento vertical.

Como se mencionó, la densidad de pozos en actual uso tanto para actividades agrícolas como urbanas es muy alta, en la **figura 5.63** se muestra la distribución de los mismos, se puede observar que están muy cercanos entre sí.

Derivado de este hecho y en un escenario futuro a mediano plazo, se entiende que los conos de abatimiento de los pozos de extracción generarán esfuerzos de tensión en la estructura geológica del Municipio de Irapuato, situación que se verá reflejada en la aparición de nuevas grietas y fallas de tensión o la extensión de las existentes en gran parte de la extensión del territorio Municipal.

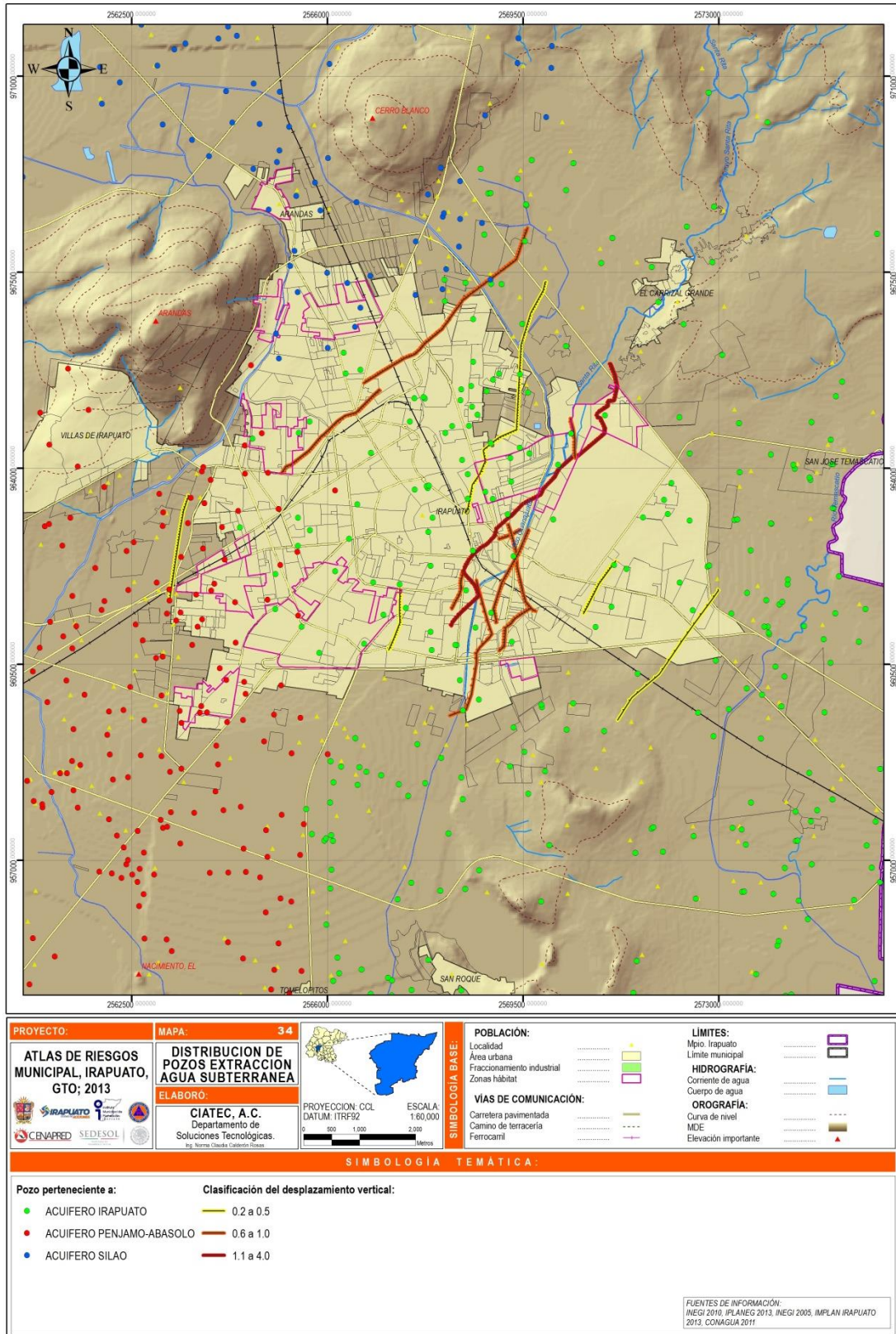


Figura 5.63 Mapa de la distribución de los pozos de extracción de agua subterránea en la ciudad de Irapuato.

Con todos los elementos expuestos, podemos decir que de acuerdo a los cálculos y con estricto apego a las estimaciones reportadas por Trujillo Candelaria y Rodríguez Castillo, se establece una relación directamente proporcional en la que se afirma que por cada metro que se abate el acuífero, se generará un desplazamiento vertical que varía de 2 a 3 centímetros por año (en función del basamento de cada sitio específico), con esta relación se puede predecir la magnitud del hundimiento respecto al abatimiento total que se reporte por las instancias correspondientes, además de que los componentes intrínsecos que se deben considerar son el fallamiento, geología (materiales heterogéneos y anisótropos) y el régimen de extracción de agua subterránea.

Se puede mencionar que estos valores son calculados con las condiciones de extracción actuales y que si estas cambian, los valores se podrán modificar de acuerdo a las modificaciones realizadas.



Las condiciones del acuífero de Irapuato en la actualidad son de déficit y se encuentra comprometido el abasto a la población en algunos años ya que los niveles que se pueden alcanzar pueden ser críticos.

El mapa muestra las condiciones del acuífero que se presentarían en el año 2040 en una proyección de las condiciones actuales tomando como base el 2010 en la época de Secas. Los abatimientos van del orden de +15 a -70 metros, en los puntos positivos se ha manifestado recarga en los años que tienen datos por lo que se proyecta una recarga del acuífero y en los datos negativos son en todos los pozos que se manifestó un descenso de los niveles, para el 2040 se proyectan en los pozos cercanos a los alineamientos tectónicos geológicos como son los pozos IRVA-74 e IRVA-1194. Hay otros pozos que mantienen sus niveles como es el caso del IRVA-474 y el IRVA-1195. (Figura 5.64)

Dentro de la ciudad de Irapuato los abatimientos proyectados van del orden de los -5 a los -40 metros de acuerdo al nivel actual por lo que de acuerdo a lo anteriormente descrito se tendrá un asentamiento estimado de (1 m de abatimiento del acuífero = 3 cm de hundimiento en superficie) variaría según las condiciones del terreno y de las condiciones de extracción del acuífero, teniendo como resultado de 15 a 120 centímetros (0.15 a 1.20 metros), lo que podría agravar las condiciones de hundimiento del terreno dentro de la mancha urbana de la Ciudad de Irapuato.

En este punto cabe mencionar que estas cifras son estimadas y que se deberán hacer más estudios complementarios como son de mecánica de suelos, así como continuar con el monitoreo de las fallas y de los sondeos a mayor profundidad ya que como se menciona en la geología los estratos son grandes paquetes sedimentarios que pueden alcanzar las decenas de metros por debajo de la superficie del terreno.

#### 5.13.4 INFORME DE FALLAS DE LICCSA.

Por parte de un estudio denominado “Sistema de Fallas, Programas de Seguimiento y Atención a Efectos de las Discontinuidades Geológicas” realizado en el año 2014 por Geotecnia y Calidad LICCSA, S.A. de C.V., se han podido anexar al presente documento la serie de mediciones realizadas por dicho grupo de trabajo que se mencionan en la [Tabla 5.31](#).

**Tabla 5.31 Mediciones de las estructuras geológicas presentes en la Ciudad de Irapuato.**

| No. | FALLA                   | RUMBO GENERAL | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | LONGITUD (M1) | SUPERFICIE (M2) |
|-----|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------|
| 1   | Pradera                 | NE 56° SW     | NW 29°                  | 477           | 984             |
| 2   | Cotero                  | NE 50° SW     | SE 38°                  | 206           | 456             |
| 3   | Reforma                 | NE 55° SW     | SE 35°                  | 828           | 2316            |
| 4   | UPI                     | NE 23° SW     | SE 69°                  | 323           | 434             |
| 5   | PRONASOL                | E 89° W       | Suroeste                | 247           | 250             |
|     |                         | NW 56° SE     | Suroeste                |               |                 |
|     |                         | NW 11° SE     | Suroeste                |               |                 |
| 6   | Puente de Guadalupe     | NE 37° SW     | al NW                   | 3,712         | 10,618          |
| 7   | El Nido                 | NE 55° SW     | Sureste                 | 505           | 1,572           |
|     |                         | NW 75° SE     | Sureste                 |               |                 |
|     |                         | NE 65° SW     | Sureste                 |               |                 |
|     |                         | NE 18° SW     | Sureste                 |               |                 |
| 8   | Jardines de La Hacienda | NE 61° SW     | Noroeste                | 326           | 521             |

| No. | FALLA                   | RUMBO GENERAL | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | LONGITUD (M1) | SUPERFICIE (M2) |
|-----|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------|
|     |                         | SE 83° NW     | Noroeste                |               |                 |
|     |                         | NE 67° SW     | Noroeste                |               |                 |
| 9   | Bimbo                   | NE 67° SW     | NW                      | 364           | 761             |
|     |                         | NE 37° SW     | NW                      |               |                 |
|     |                         | NW 8° SE      | W                       |               |                 |
|     |                         | NW 27° SE     | SW                      |               |                 |
|     |                         | NW 4° SE      | SW                      |               |                 |
|     |                         |               |                         |               |                 |
| 10  | Plan Vivirá             | NE 20° SW     | NW 65°                  | 49            | 44              |
| 11  | Morelos                 | NW 72° SE     | NE 18°                  | 380           | 1083            |
|     |                         | NE 57° SW     | NW 32°                  |               |                 |
|     |                         | NW 15° SE     | SW 73°                  |               |                 |
| 12  | Ejido Irapuato          | 33            | NW                      | 89            |                 |
| 13  | Valle del Sol           | NE 47° SW     | NW                      | 1520          | 2076            |
|     |                         | NE 28° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 49° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 24° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 42° SW     |                         |               |                 |
| 14  | Floresta                | NE 19° SW     | SW                      | 2492          | 1364            |
|     |                         | NE 53° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 38° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 48° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 10° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 40° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NW 4° SE      |                         |               |                 |
|     |                         | NW 37° SE     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 5° SW      |                         |               |                 |
|     |                         | NE 25° SW     |                         |               |                 |
|     |                         | NE 50° SW     |                         |               |                 |
| 15  | San Isidro              | NW 68° SE     | NW 45° SE               | 351           | 1005            |
|     |                         |               | NW 25° SE               |               |                 |
|     |                         |               | NW                      |               |                 |
| 16  | Fisura Ricarda González | NE 10° SW     | NW 55°                  | 17            |                 |
| 17  | Los Olivos              | NE 30° SW     | NW 60°                  | 33            | 95              |
| 18  | Rancho Grande           | NE 36° SW     | NW 68°                  | 428           | 1052            |
| 19  | Colón                   | NE 20° SW     | SE 70°                  | 63            | 99              |
| 20  | García Téllez           | NE 20° SW     | NW 35°                  | 16            | 68              |
| 21  | Hacienda La Virgen      | NE 30° SW     | SE 30°                  | 227           | 333             |
| 22  | CINVESTAV               | NE 70° SW     | SE 68°                  | 11            | 49              |

| No. | FALLA            | RUMBO GENERAL | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | LONGITUD (M1) | SUPERFICIE (M2) |
|-----|------------------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------|
| 23  | Flores Magón Sur | NE 20° SW     | NE 84°                  | 8             | 8               |
| 24  | Las Huertas      | NE 5°SW       |                         | 205           | 165             |

## 5.14 MAPA DE RIESGO.

## 5.15 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## 5.16 REFERENCIAS.

- Alaniz-Álvarez S.A., Nieto-Samaniego A.F., Reyes-Zaragoza M.A., Orozco-Esquivel M.T., Ojeda-García A.C., y Vassallo L.F. (2001) Estratigrafía y deformación extensional en la región San Miguel de Allende-Querétaro, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 18, núm. 2, 2001, p. 129-148
- Álvarez Manilla A A. y Pérez Rea M de la L., 1997. Caracterización Geotécnica del Valle de Querétaro. Trabajo de Investigación. División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.
- Álvarez Manilla A. A., Romero M. R. y García B. J. (1998). "Construcción del primer pozo de absorción para la recarga artificial del Acuífero de Santiago de Querétaro, Qro.". Primer Congreso Nacional de Aguas Subterráneas. Mérida, Yuc. Asociación Geohidrológica Mexicana, AC.
- Ban, M., Hasenaka, T., Delgado-Granados, H., Takaoka, N., 1992, K-Ar ages of lavas from shield volcanoes in the Michoacán-Guanajuato volcanic field, Mexico: Geofísica Internacional, 31, 467-473.
- Ban, M., T. Hasenaka, H Delgado-Granados and N. Takaoka, 1992. Ages of lavas from shield volcanoes in Michoacán-Guanajuato, México. Geofís. Int., 31, p. 467-473.
- Bonasia R, Capra L, Costa A, Macedonio G, Saucedo R (2011) Tephra fallout hazard assessment for a Plinian eruption scenario at Volcán de Colima (Mexico). J Volcanol Geotherm Res 203:12–22
- Botero-Santa, P.A., Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., López-Martínez, M., Levresse, G., Xu, S., Ortega-Obregón, C., 2015, Origen y desarrollo de la cuenca El Bajío en el sector central de la Faja Volcánica Transmexicana: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 32, núm. 1, p. 84-98.
- Bretón González M., Ramírez J. J., Navarro C., (2002). Summary of the historical eruptive activity of Volcán de Colima, Mexico 1519-2000. Journal of Volcanology and Geothermal Research 117 (2002) 21-46.
- Cano Cruz, Marisol (2007). Evolución del Volcán Hoya de Estrada. Tesis de Maestría, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 129 p.p.
- Capra L., Gavilanes-Ruiz J. C., Bonasia R., Saucedo-Giron R., R. Sulpizio (2015) Re-assessing volcanic hazard zonation of Volcán de Colima, México. Natural Hazards 76:41–61. DOI 10.1007/s11069-014-1480-1. Springer Science and Business Media Dordrecht 2014
- Carreón Freyre, D.C., Cruz Ortiz, N.L., Cerca Martínez, L.M., (2013). Impacto por la Subsistencia en la Ciudad de Irapuato en el Estado de Guanajuato, ocasionada por la

sobreexplotación de los mantos acuíferos. Convenio de colaboración entre el Centro de Geociencias y la Comisión Nacional del Agua, Dirección Local de Guanajuato.

- CENAPRED, 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Desastres Naturales en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. 1ra. Edición, México. Secretaría de Gobernación.
- Cerca-Martínez, M.L., 1998, Relación Estratigráfica y Geocronológica entre el volcanismo de la SMO y el CVM en la parte sur de la Sierra de Guanajuato. Implicaciones geocronológicas y tectónicas: Ensenada, Baja California, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, tesis de maestría, 105 pp.
- Chen Fu, Hua, 1975. Foundation on expansive soil. Elsevier Scientific Company, New York.
- CNA, 2004. Estadística del agua en México. SEMARNAT, CNA Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Registro Público del Agua, SGAA México 78pp.
- CONAGUA, (2009). Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea Acuífero (1119) Irapuato-Valle Estado De Guanajuato. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Agosto de 2009.
- Cortés A, Garduño VH, Macías JL, Navarro C, Komorowski J-C, Saucedo R, Gavilanes JC (2010a) Geological mapping of the Colima volcanic complex (Mexico) and implication for hazard assessment. In: Groppelli G, Viereck L (eds) Stratigraphy and geology of Volcanic areas, Geological Society of America, Boulder CO, special paper 464: 294–246
- Dávila N, Capra L, Gavilanes JC, Varley N, Norini G, Gómez A (2007) Recent lahars at Volcán de Colima (México): drainage variation and spectral classification. J Volcanol Geotherm Res 165:127–141
- FOSEG, 2001. Atlas de Riesgos de Guanajuato. Coordinación Estatal de Protección Civil. Fondo de Seguridad. Secretaria de Gobierno, Edo. De Gto. 145 pp.
- Gómez Tuena, A., Orozco Ezequiel M.T., Ferrari L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Tema Selecto de la Geología Mexicana, Tomo LVII, Núm. 3, p. 227-283.
- Hasenaka, T., Carmichael, I., 1985. The cinder cones at Michoacán-Guanajuato, central México: their age, volume, and distribution, and magma discharge rate: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 25, 105-124.
- INEGI (2010) Censo de Población y Vivienda. Consulta en la página <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>
- Jackson J., Helm D. and Brumley J., 2004. The role of poroviscosity in evaluating land subsidence due to groundwater extraction from sedimentary basin sequences. Geofísica Internacional.
- Ley General de Protección Civil (2012) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General Secretaría de Servicios Parlamentarios; nueva ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012.
- LICCSA (2014). Sistema de Fallas, Programas de Seguimiento y Atención a Efectos de las Discontinuidades Geológicas, presentado al Instituto Municipal de Planeación de Irapuato. 80 pgs.
- López Lara, Teresa, (2002). Estudio fisicoquímico de la modificación de suelos expansivos. Doctorado en ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, Qro. México.

- Macías J.L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Tema Selecto de la Geología Mexicana, Tomo LVII, Núm. 3, p. 379-424.
- Manual de Obras Civiles de la C.F.E. Diseño estructural de cimentaciones. Capítulo C.2.2. México, 1981.
- Mazzarini F., Ferrari L. Isola I. (2010). Self-similar clustering of cinder cones and crust thickness in the Michoacan–Guanajuato and Sierra de Chichinautzin volcanic fields, Trans-Mexican Volcanic Belt. Tectonophysics Journal. Tectonophysics 486 (2010) 55–64.
- Murphy, G. P., 1982. La cronología, estratigrafía piroclástica, y petrología en el campo maar de Valle de Santiago en el centro de México. M. Sc. tesis de la universidad de California, Berkeley, Usa.
- Nieto–Samaniego, A.F., Macías–Romo, C., Alaníz–Álvarez, S.A., 1996, Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 13(1), 117–122.
- Ordóñez, E., 1906. Los cráteres de explosión de Valle de Santiago. 10 th Congr. Geol. Intern., guía excursión de campo, 14, p. 1-8.
- Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V., Tibaldi, A., Vezzoli, L., 1991, Geology of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán: Boulder, CO, Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072, 1 mapa con texto, 22 p..
- Puente Solís, I.R., (2004). Estratigrafía e historia eruptiva del cráter de explosión Hoya La Cíntora, Gto. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería en Área Ciencias de la Tierra.
- Quintero-Legorreta, O., 1992, Geología de la región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco: Universidad Nacional Autónoma de México: Revista del Instituto de Geología, 10(1), 6-25.
- Rodríguez Castillo R. y Schroeder Aguirre A., 2010. Structural control on the subsidence faults alignment in Irapuato-Mexico. AQUA mind (2010) –Am01007:045-049
- Rodríguez Castillo R., Rodríguez Velázquez I., 2006. Consecuencias sociales de un desastre inducido, subsidencia: Bol. Soc. Geol. Mex. 58 (2), 265-269.
- Rodríguez Castillo R., Rodríguez Velázquez I., 2011. Retos de la investigación del agua en México. En Oswald-Spring, U. (coordinador). Cuernavaca, México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM.
- Rodríguez R., Armienta A., Morales P., Silva T., Hernández H., 2006. Evaluación de Vulnerabilidad Acuifera del Valle de Irapuato, Gto. JAPAMI, CONCyTEG, IGF UNAM, Technical Report, 90 pp.
- Rodríguez R., Lira J., Rodríguez I., 2012. Subsidence risk due to groundwater extraction in urban areas using fractal analysis of satellite images. Geofísica Internacional (2012) 51-2: 157-167
- Saucedo R, Macías JL, Sheridan MF, Bursik MI, Komorowski JC (2005) Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, Mexico: implications for hazard assessment. J Volcanol Geotherm Res 139(1–2):103–115
- Siebert L., Simkin T. and Kimberly P. (2010). Volcanoes of the World. 3rd. Edition of Smithsonian Institution, Washington D.C., University of California Press.
- Sulpizio R, Capra L, Sarocchi D, Saucedo R, Gavilanes JC, Varley N (2010) Predicting the block-and-ash flow inundation areas at Volcán de Colima (Colima, Mexico) based on the present day (February 2010) status. J Volcanol Geotherm Res 193:49–66

- Trejo Moedano Ángel, (1989). Los suelos expansivos y su problemática. Academia Mexicana de Ingeniería a Alternativas Tecnológicas, 29 mesas redondas sobre los suelos expansivos y su problemática. México.
- Trujillo-Candelaria, J.A., 2010. Estudio del fallamiento de terrenos en el área urbana de Irapuato, Gto. JAPAMI 33 pp.
- Universidad de Colima (UCOL), 2003. Mapa de Peligros del Volcán de Fuego de Colima. Escala 1:50,000. Responsables Geólogo Carlos Navarro Ochoa y M. C. Abel Cortes Cortes, Elaboración y Diseño M.C. José Armando Téllez Alatorre. Fuente de Información INEGI-Observatorio Vulcanológico. Impresión en 2003.
- Uribe -Cifuentes R. M. and Urrutia-Fucugauchi J., 1992. Xenolitos de corteza interior y estratigrafía volcánica en los mares de Valle de Santiago, Guanajuato. Bol. Geos, 12, p. 5-12.
- Villafañe Germán y Coronado Carlos, (2000). Cimentaciones en suelos expansivos: práctica local. VIII Congreso Colombiano de Geotécnica. Colombia.
- Waitz, P., 1915. Der gegenwartige Zustand der mexikanischen Vulkanen und die letzte Eruption des Vulkans von Colima. Z. Vulkanol. 1, 247.
- Zepeda G., J. A. y Castañeda, A. H; (1989). Distribución de suelos expansivos en la República Mexicana. Curso internacional de mecánica de suelos arcillosos. J. Alfredo Zepeda Garrido. México.