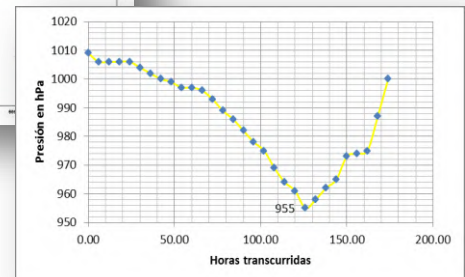
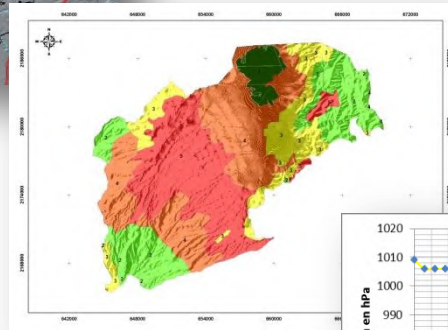
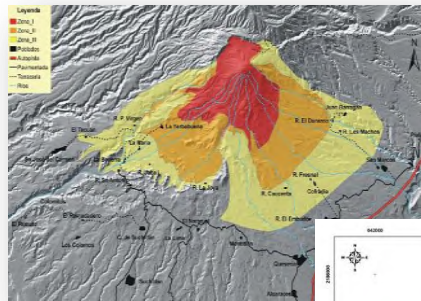


## Capítulo IV

### Identificación de Peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## **Capítulo IV. Identificación de Peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural**

<b>4.1. Geológico .....</b>	<b>IV-3</b>
4.1.1. Fallas y Fracturas .....	IV-3
4.1.2. Sismos .....	IV-17
4.1.3. Tsunamis o maremotos (NO APLICA) .....	IV-55
4.1.4. Vulcanismo .....	IV-58
4.1.5. Deslizamientos.....	IV-74
4.1.6. Flujos de lodo, tierra y suelo .....	IV-83
4.1.7. Flujos de avalancha de detritos y derrumbes. ....	IV-87
4.1.8. Hundimientos o subsidencia .....	IV-97
4.1.9. Erosión .....	IV-106
<b>4.2. Hidrometeorológico.....</b>	<b>IV-138</b>
4.2.1. Ciclones tropicales.....	IV-138
4.2.2. Ondas Tropicales .....	IV-163
4.2.3. Heladas. ....	IV-164
4.2.4. Nevadas. ....	IV-168
4.2.5. Tormentas Eléctricas .....	IV-171
4.2.6. Sequía .....	IV-176
4.2.7. Temperaturas máximas extremas.....	IV-196
4.2.8. Vientos.....	IV-201
4.2.9. Inundaciones .....	IV-225
<b>Bibliografía .....</b>	<b>IV-268</b>
<b>Índice de Figuras, Fotografías, Gráficas, Mapas y Tablas .....</b>	<b>IV-279</b>



## **Capítulo IV. Identificación de Peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural**

### **4.1. Geológico**

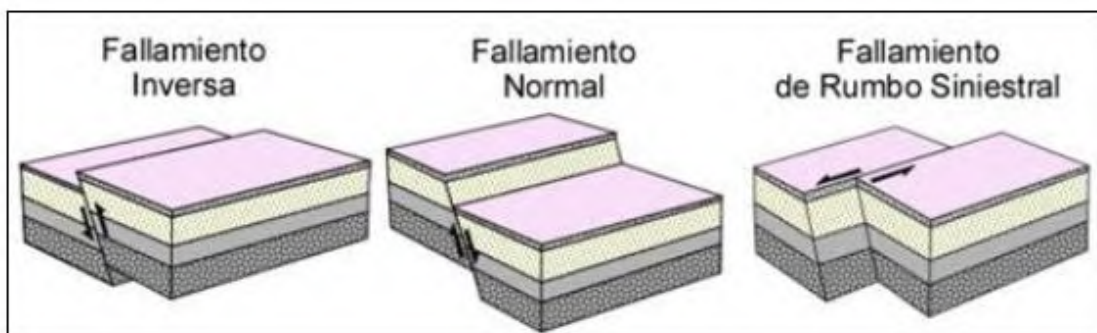
Las fallas y fracturas son de gran importancia, ya que estas implican por una parte el agrietamiento del terreno y por otra un desplazamiento de las dos secciones y con el tiempo, tienden a dañar las construcciones que edifican sobre ellas. A diferencia de las fracturas que se manifiestan como rompimiento de las rocas y placas, sin que esto implique desplazamiento; sin embargo, constituyen terrenos inestables, sobre los que no se recomienda generar edificaciones.

El territorio que comprende al municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, se encuentra casi en su totalidad cubierto por depósitos recientes extruidos por el volcán Colima. Estos depósitos cubren parcial o incluso en su totalidad cualquier evidencia de falla y /o fracturas. En la zona Oeste del municipio, denota una sierra producto de deformación tectónica, en donde las fallas juegan un papel importante. La deformación genera fallas perpendiculares a la dirección de los esfuerzos, razón por lo que se muestra su eje de deformación.

En esta sección del Atlas de Riesgos, se identifican las zonas donde se ubican las fallas y fracturas, con la intención de evitar que se levanten construcciones sobre estas zonas; y también con la idea de cuantificar las sistemas expuestos sobre estas.

#### **4.1.1. Fallas y Fracturas**

Las fallas se definen como un rasgo estructural que implica el desplazamiento que varía desde unos pocos centímetros hasta kilómetros, de dos superficies o grandes bloques de roca. Se clasifican en tres tipos principales, en función de los esfuerzos que las originan y de los movimientos relativos de los bloques (Figura 4.1.1.1.) (Twiss y Moores, 1992).



**Figura 4.1.1.1.** Esquema de los tipos de fallas (Fuente: Twiss y Moores, 1992).

Las fallas y fracturas son de gran importancia, ya que estas implican por una parte el agrietamiento del terreno y por otra un desplazamiento de las dos secciones y con el tiempo, tienden a dañar las construcciones que edifican sobre ellas. A diferencia de las fracturas que se manifiestan como rompimiento de las rocas y placas, sin que esto implique desplazamiento; sin embargo, constituyen terrenos inestables, sobre los que no se recomienda generar edificaciones.

El territorio que comprende al municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, se encuentra casi en su totalidad cubierto por depósitos recientes extruidos por el volcán Colima. Estos depósitos cubren parcial o incluso en su totalidad cualquier evidencia de falla y /o fracturas. En la zona Oeste del municipio, denota una sierra producto de deformación tectónica, en donde las fallas juegan un papel importante. La deformación genera fallas perpendiculares a la dirección de los esfuerzos, razón por lo que se muestra su eje de deformación.

En esta sección del Atlas de Riesgos, se identifican las zonas donde se ubican las fallas y fracturas, con la intención de evitar que se levanten construcciones sobre estas zonas; y también con la idea de cuantificar las sistemas expuestos sobre estas.

#### **4.1.1.1. Estructuras Geológicas Regionales**

En la zona de comprende el Municipio de Zapotlán el Grande se ubica dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, la cual se caracteriza por la presencia de aparatos volcánicos y estructuras geológicas (fallas y fracturas) recientes o activas, estas últimas hacen que sea posible el dividir a esta provincia para facilitar el estudio.

La Faja Volcánica Transmexicana se divide estructuralmente en varias regiones, una de estas (en donde se encuentra Zapotlán) es el denominado Graben Colima o Rift de Colima. Esta región se considera como el límite Este del Bloque Jalisco. El rasgo tectónico distintivo de la región en general es la presencia de tres alineaciones con direcciones NW, SW y E-W las cuales corresponden a trenes estructurales bien definidas que han sido asociadas con procesos riftogenéticos recientes (Delgado, 1994) y que han formado tres graben





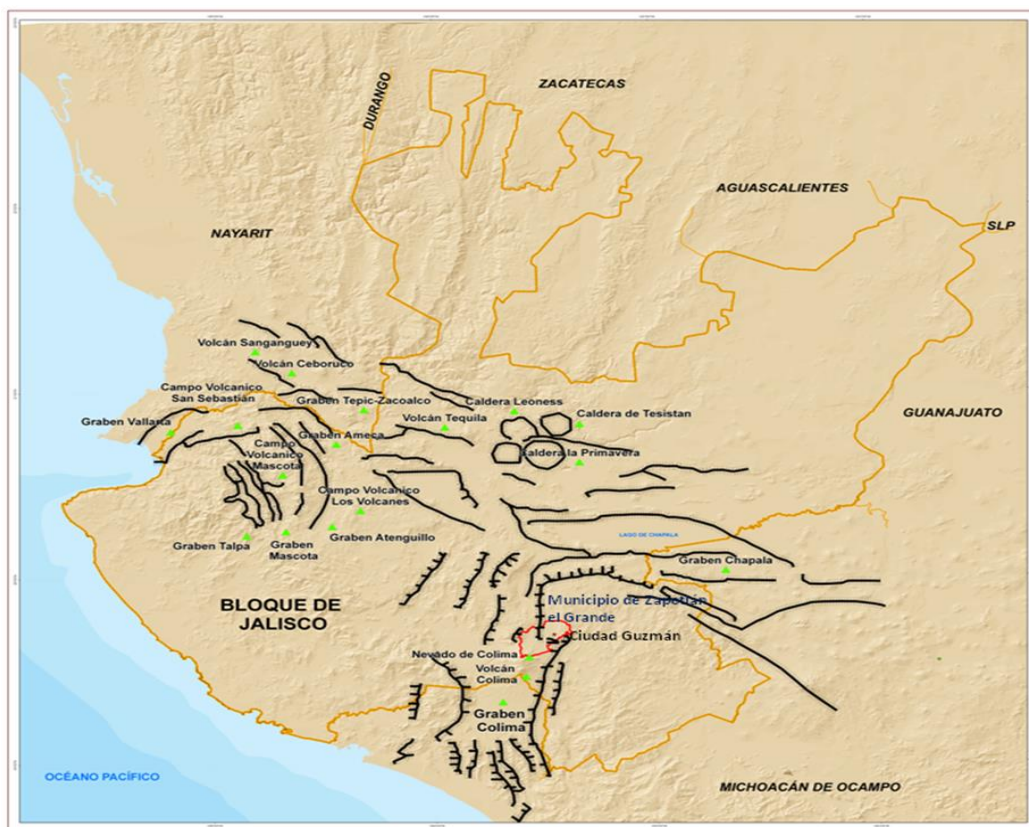
conocidas como Colima, Chápala y Tepic-Zacoalco los cuales se interceptan en la zona de Acatlán de Juárez (Mapa 4.1.1.1.1.)

La orientación dominante de este Graben es N-S, se refleja principalmente en el lineamiento que presentan los complejos volcánicos del Cántaro y Colima, así como una serie de aparatos monogenéticos ubicados al Occidente del área de estudio.

Utilizando imágenes de satélite ha sido posible observar en la parte central del Rift de Colima, el largo de éste de 55 a 60 Km y se extiende a partir de la vecindad del flanco norte del Nevado de Colima hasta el Sur de la ciudad de Colima. En el Sur de la cuenca el ancho es de 45 Km, mientras en la parte Norte la amplitud es de cerca de 60 Km, debido a la presencia de tres pequeños graben.

El graben de Colima, ha sido dividido en base a las características morfológicas y estructurales en tres secciones.

- 1) Graben Sayula, situado en la porción norte del Rift de Colima, también llamado Graben Norte de Colima (Allan, 1986).
- 2) Graben central de Colima, Ha sido el menos estudiado geológicamente hasta la fecha, se caracteriza por estar cubierto casi en su totalidad por depósitos volcánicos asociados con el complejo Volcánico Colima. Es en este graben en donde se localiza la zona de estudio.
- 3) Graben Sur de Colima. Inicia justo al sur de la ciudad de Colima, exhibe un patrón mucho muy complicado de de bloque fallados y que se extiende en dirección de la costa del Pacífico.



**Mapa 4.1.1.1.1.** Rasgos tectónicos del oeste México (Fuente: Datos tomados de Núñez-Cornú, 2011).

La relación entre el graben de Colima y el límite de las placas Rivera y Cocos es controversial hasta la fecha, algunos autores señalan que el área del rift de Colima representa una segmentación del límite de la Faja Volcánica Mexicana (Allan, 1986), probablemente relacionada a la diferencia geométrica de la velocidad de subducción, que existe entre la placa de Cocos (6 cm por año) y la placa de Rivera (2 cm por año). Algunos otros autores señalan que éste graben es similar al que dio por resultado el separación de la península de Baja California (10 a 12 millones de años). Otros autores (Ferrari & Rosas, 1994), señalan que la extensión a lo largo del Rift Tepic-Zacoalco es muy lenta, en comparación de lo que se podría esperar a partir de la separación de una micro placa (Cruz, 1996).

#### **4.1.1.2. Fallas y Fracturas en Zapotlán el Grande**

En Zapotlán el Grande hay una serie de fallas, y son de especial interés unas que corren en dirección norte-sur formando una fosa tectónica o graben. Ciudad Guzmán se encuentra precisamente localizada en el límite oriente de dicha fosa tectónica, la cual se extiende hacia el norte hasta llegar a la altura del lago de Chapala, que se encuentra a su vez dentro



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



de otra fosa tectónica que corre en sentido este-oeste (Lazcano, 2013), como se ha mostrado en el Mapa 4.1.1.1.1.

Ciudad Guzmán ha sido edificada en una zona de fracturas y fallas que señalan el contacto entre un bloque levantado (representado por la sierra del Tigre) y un bloque hundido representado por la depresión de Zapotlán.

Este sistema de fallas y fracturas teórica y prácticamente se reactiva cada vez que se producen irregularidades de movimientos de las placas tectónicas de cocos y americana causantes de los sismos que han azotado a lo largo de la historia geológica y de la historia de los asentamientos humanos.

Para generar el mapa de Fallas y Fracturas del Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de materiales escritos y gráficos e interpretación de mapas geológicos cartográficos. Las fracturas se analizaron mediante un modelo de elevaciones, ya que son el resultado de la interpretación de rasgos de lineamientos del relieve y estructuras geológicas reconocibles por la expresión topográfica.

En el área de estudio se observan fallas de tipo normal y fracturas que cortan a la secuencia estratigráfica. La tendencia de los lineamientos estructurales varía entre N50-70E y en menor proporción entre N30-60W., se observa en la Montaña oriente y también en la planicie de Zapotlán, tal y como se observa en la Fotografía 4.1.1.2.1. (Nuñez-Cornú, *et al*, 2005).

Se considera que las zonas por donde se encuentra la traza de las fallas, presentan fracturas y brechas en los materiales. Asimismo, puede existir una reactivación que origine un desplazamiento entre bloques y eventualmente la generación de sismos locales.





**Fotografía 4.1.1.2.1.** Fallas en el área de estudio. Con línea continua se muestra una falla normal con bloque caído. Con línea punteada se muestra la traza de falla cubiertas por sedimentos y cuya traza no fue observada (Fuente: Nuñez-Cornú, 2005).

El patrón de deformación de la sierra es el mismo que en el valle y posiblemente a través de estas estructuras se disipen esfuerzos producidos por el movimiento urbano o bien se activen por sobreexplotación de cuerpos de agua subterráneo.

Ciudad Guzmán se encuentra limitada por fallas y fracturas que afectan a toda la secuencia estratigráfica de la zona. La diferencia en consolidación de las rocas y su relación con las estructuras geológicas permiten apoyar a la identificación de potenciales zonas de peligro por falla, ya que cualquier tipo de construcción que se realice en materiales poco consolidados y afectados por fallas o fracturas se vuelve inestable y puede generar el daño o pérdida de la construcción (Nuñez-Cornú, 2005).

Las Fallas observadas en el suelo del Municipio de Zapotlán el Grande son normales y se detectaron a posterior al sismo de 1985 (Guzmán, 2013) y más recientemente se ha observado en Ciudad Guzmán la presencia de desplazamientos que alcanzan valores de 10 a 15 cm (Lazcano, 2013). Este fenómeno inicia como un hundimiento del terreno en la zona donde aparecen las grietas o fracturas, posteriormente las grietas de tensión y finalmente se presenta el fallamiento del suelo que sucede cuando se genera un desplazamiento entre los bloques abiertos de la grieta y la dislocación de la superficie del terreno se debe por los esfuerzos internos producto del movimiento relativo entre las placas tectónicas. Para explicar el origen de este fenómeno se han discutido diferentes teorías, algunas asociadas con una tectónica incipiente de la fosa o graben de Colima y otras relacionadas con el abatimiento del nivel freático, causado por la sobreexplotación del acuífero del valle del Municipio de Zapotlán.

En los últimos 30 años se han detectado algunas grietas en el suelo urbano de Ciudad Guzmán con dirección NE-SW, similar a la de las fallas normales que se observan en el (Mapa 4.1.1.2.1.). Existe la hipótesis de que se trata de las trazas superficiales de dichas fallas. Sin embargo, de acuerdo con los reconocimientos efectuados recientemente por el Centro Nacional de Prevención de Desastres y el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Guadalajara, el suelo de Ciudad Guzmán tiene, en las partes más superficiales, una granulometría heterogénea, con una cohesión relativamente baja que, muy probablemente, al recibir y permitir el paso hacia el oeste de los grandes volúmenes de agua captada en la Sierra del Tigre, pierde fácilmente los granos finos generando abatimientos en el terreno por tubificación (Barrera *et al.*, 1995).

A lo anterior se puede sumar el abatimiento piezométrico producido por la extracción de agua, por bombeo, de los mantos profundos, ocasionando el agrietamiento y hundimiento diferencial del suelo que se observa en la zona urbana. La geometría escalonada



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

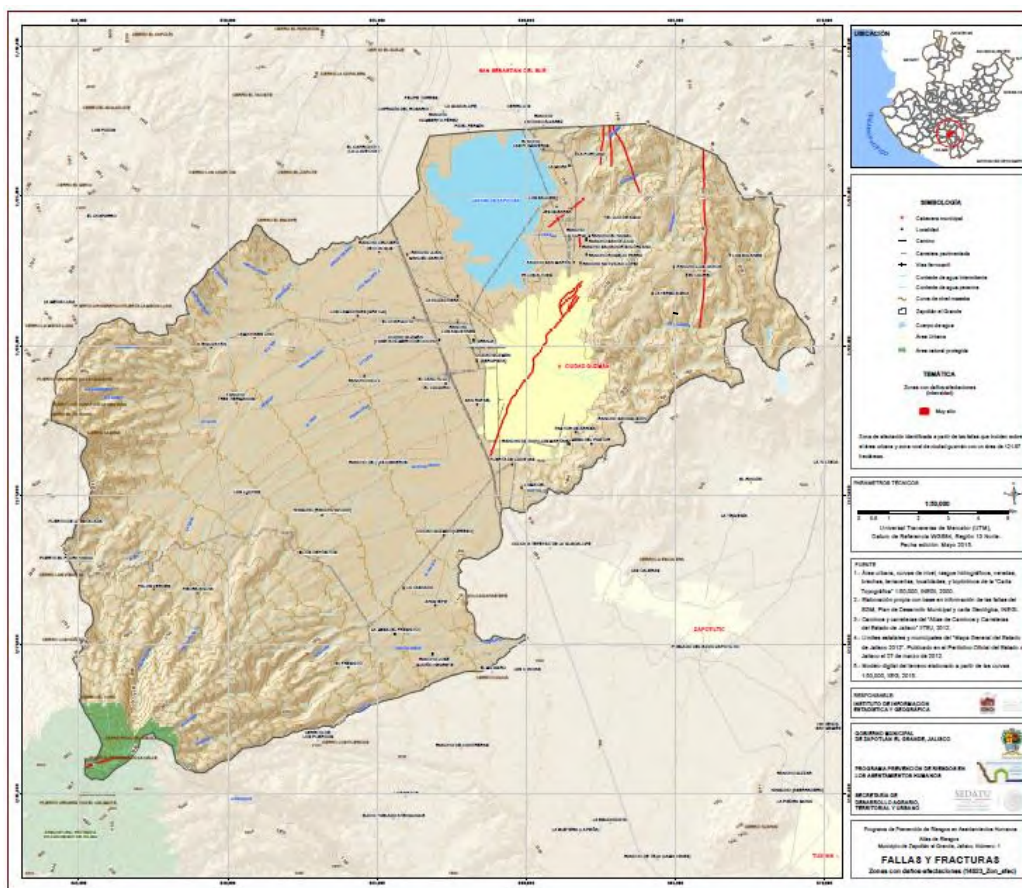
producida por las fallas profundas, se proyectan en la superficie como producto de la compactación de los sedimentos superyacentes.

El territorio que comprende al municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, se encuentra casi en su totalidad cubierto por depósitos recientes extruidos por el volcán de Colima y depósitos aluviales. Estos materiales pueden cubrir parcial o incluso en su totalidad cualquier evidencia de falla y/o fracturas.

Es importante mencionar que los estratos permeables inmersos en la Formación de tobas y jales (constituidos por tobas areno-arcillosas y materiales piroclásticos principalmente), se encuentran aparentemente profundos y cercanos a las zonas de los edificios volcánicos, por lo que es lógico sospechar en principio que los agrietamientos pudieran haber sido ocasionados por asentamientos diferenciales producidos por el acomodo de los materiales blandos que se encuentran descansando sobre un relieve no uniforme, característico de las zonas que se ubican en las inmediaciones de los edificios volcánicos ante fenómenos de subsidencia, es decir, por la pérdida en la resistencia del subsuelo debida al abatimiento de los niveles de aguas freáticas, ocasionados a su vez por la explotación creciente de los acuíferos que contribuyen en más de un 60 % al abasto de agua potable de la ciudad (Santana, 2002).

Se considera que las zonas por donde se encuentra la traza de fallas, presentan fracturamiento y brechas de los materiales, favoreciendo la presencia de deslizamientos. Asimismo, puede existir una reactivación que origine un desplazamiento entre bloques y eventualmente la generación de sismos locales. Los mapas 4.1.1.2.1. y 4.1.1.4.1. se observa la distribución de las superficies propensas al peligro por Falla y Fractura a nivel municipal y de su cabecera respectivamente en función del área de influencia de las estructuras geológicas mapeadas. Debido a la extensión del problema, así como a los elementos estructurales involucrados, al fenómeno de fallamiento y fracturamiento se le ha asignado un nivel de peligrosidad MUY ALTO.





**Mapa 4.1.1.2.1.** Mapa de fallas y fracturas a nivel Municipal (IIEG, 2015).

La zona de falla representa un peligro muy alto por atravesar la zona urbana de Ciudad Guzmán y con la posibilidad de desplazamientos por la incidencia de la estructura geológica y la posibilidad de generarse un sismo fuerte en la costa.

Por lo tanto, el peligro por movimiento tectónico es Muy alto en Zapotlán el Grande. Cabe señalar que el tipo del material en el área urbana Mapa 4.1.1.2.1.puede representar otro peligro en caso de que se presente un sismo.

#### 4.1.1.3. Zona de Fracturamiento

La zona de agrietamientos se localizó al norte de Ciudad Guzmán próximo a los límites de la zona urbana. La zona es conocida como la ladrillera. El agrietamiento de suelos sigue una línea recta de orientación NW 15 SE (Fotografía 4.1.1.3.1.) (SGM, 2007), cuya longitud aproximada es de unos 200 m. En su inicio se dio la presencia de cortes en terrenos de

cultivos. El ancho del fracturamiento es variable. Actualmente el fracturamiento se observó tapado por cultivos (Fotografía 4.1.1.3.2.)



**Fotografía 4.1.1.3.1.** Zona de cultivo afectada por fracturamiento (Fuente: SGM, 2007).



**Fotografía 4.1.1.3.2.** Fracturamiento tapado por zona de cultivo (Fuente: IIEG, 2015).

Al recorrer la zona del agrietamiento en dirección al norte se observaron agrietamientos y huecos en el terreno, evidencia de la presencia aun de grietas superficiales (Fotografía, 4.1.1.3.3.)





**Fotografía 4.1.1.3.3.** Evidencia actual en la zona de agrietamiento (Fuente: IIEG, 2015).

El fracturamiento se cree sigue el mismo lineamiento de la traza de agrietamientos observados anteriormente. Esta zona se manifiesta por hundimientos alineados en el terreno, parcialmente rellenos con cascajo, donde se ha desarrollado vegetación silvestre (Fotografía 4.1.1.3.4.). Se desconoce la profundidad de la estructura, el personal de la UPCM comentó la posibilidad de que la grieta sobrepasa los 6 m. Cabe señalar que los ladrilleros refieren que está grieta, se abre cada año en épocas de lluvias y la rellenaron con escombros, sin embargo no pudo ser verificado.





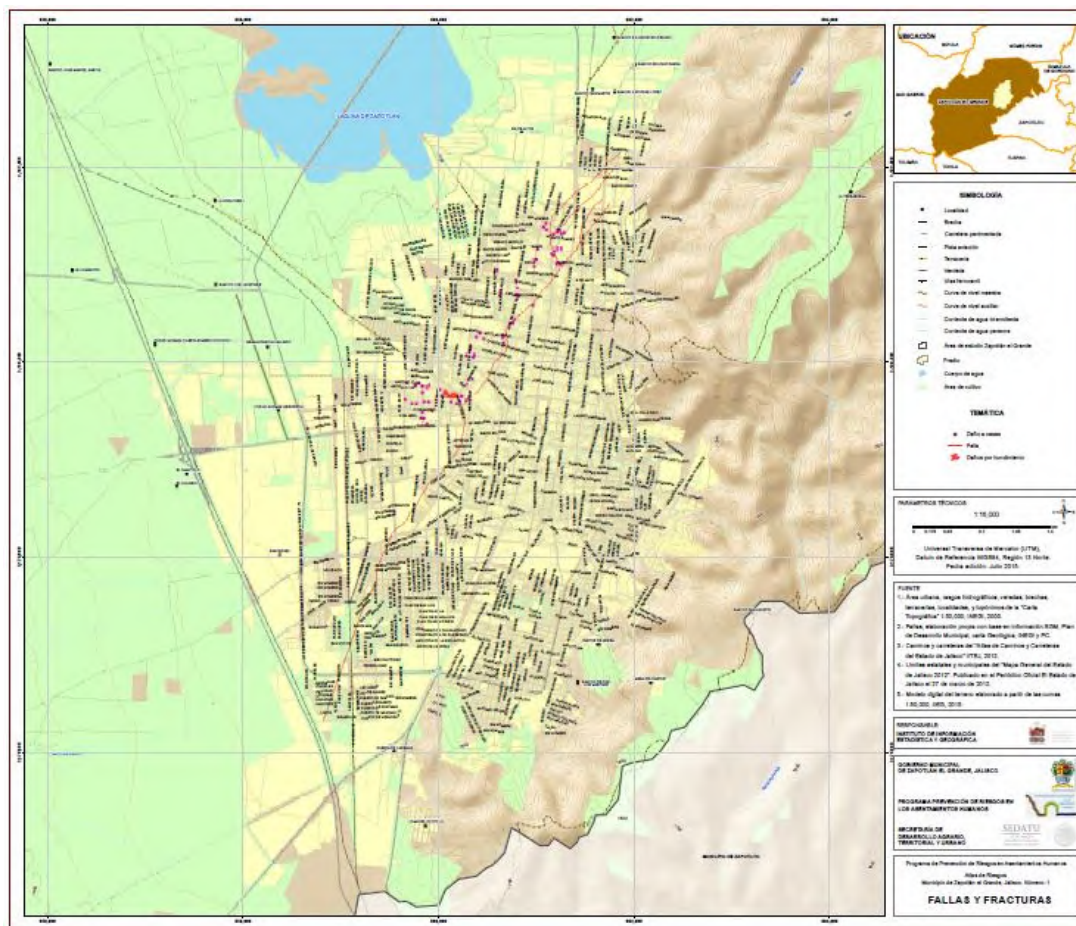
**Fotografía 4.1.1.3.4.** Traza de antigua grieta (fractura geológica) que se abrió antes de 1995.  
(Fuente: IIEG, 2015).

#### **4.1.1.4. Zona de daños y afectaciones**

Las estructuras geológicas como las Fallas y Fracturas observadas en Ciudad Guzmán han generado una serie de afectaciones y daños en gran número de casas-habitación y que representan un peligro para los habitantes, como consecuencia del agrandamiento de la falla geológica detectada luego del sismo registrado en 1985, que devastó a la Ciudad de México.

De las investigaciones realizadas en la zona urbana se piensa que este fenómeno se encuentra asociado al comportamiento de la falla y de los mantos acuíferos podía haberse acelerado el proceso, como se ha observado desde 1994, donde otro sector de la falla geológica está relacionado con un problemas hidrológicos, en donde corrientes de agua se integraron a la falla geológica y ha llegado a ocasionar daños hasta de aproximadamente de 300 metros.

Los movimientos registrados provocaron que la falla que atraviesa a Ciudad Guzmán, se desplazara aproximadamente 500 metros en su parte central, provocando desniveles y afectaciones en viviendas (Mapa 4.1.1.4.1.)



**Mapa 4.1.1.4.1.** Zona de afectación por falla en Ciudad Guzmán (Datos tomados de Barrera, *et al.*, 2015). Ratificado por IIEG, 2015.

Hay viviendas donde la falla pasa por el centro de las casas afectando también banquetas (Fotografía 4.1.1.4.1.) y al momento que se mueve, las estructuras son dañadas, de igual manera la infraestructura urbana resultó dañada y se tienen desniveles en las vialidades (Fotografía 4.1.1.4.2. y 4.1.1.4.3.)





**Fotografía 4.1.1.4.1.** Daños en banquetas y casas-habitación (Fuente: IIEG, 2015).



**Fotografía 4.1.1.4.2.** Daños en vialidades por fallamiento generando desplazamientos hasta de 50 cm (Fuente: IIEG, 2015).



**Fotografía 4.1.1.4.3.** Daños en vialidades por falla y reparadas **constantemente** (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.1.5. Implicaciones del Peligro por Fallas y Fracturas

Finalmente se concluye en este apartado de Fallas y Fracturas que de acuerdo a las observaciones el patrón de fallas del valle es paralelo al de la Montaña Oriente por lo que habría que realizar un monitoreo de fracturas de casa e infraestructura para determinar la distribución y definir qué es lo que lo activa. Las fallas y lineamientos estructurales (fallas y Fracturas) tienen dos orientaciones preferenciales, una hacia el NE y la otra al NW, como ya se ha venido mencionando.

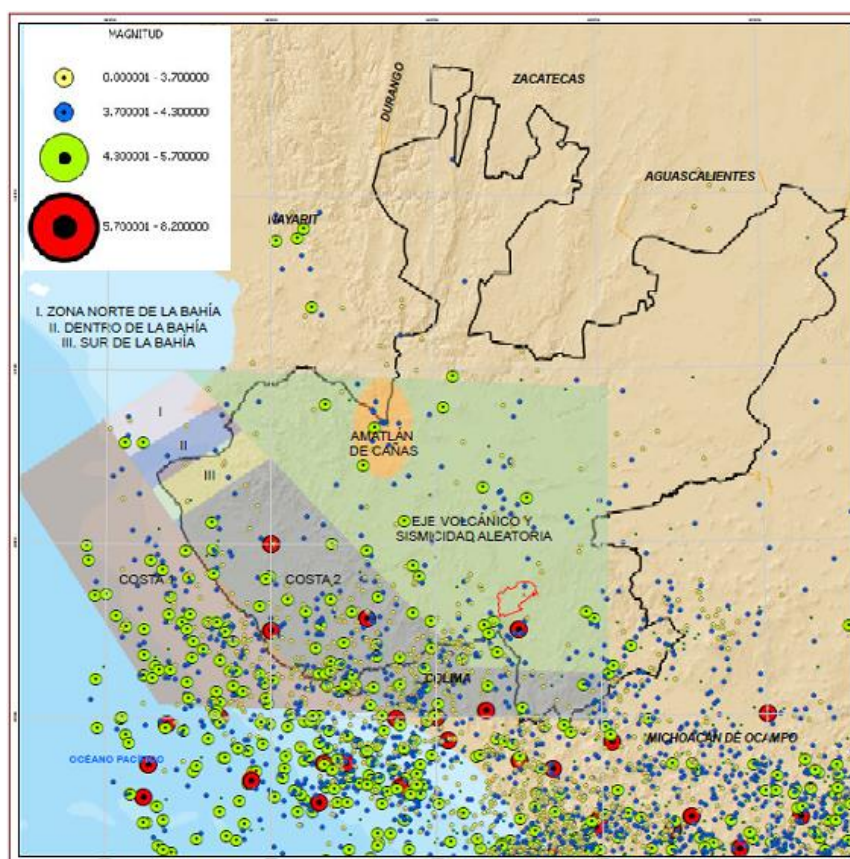
La zona sur del estado de Jalisco ha sido de las más afectadas por fenómenos sísmicos importantes, en 1985 Ciudad Guzmán fue la segunda ciudad más afectada del país, debido a las características del tipo de suelo lo que la convierte en una zona muy peligrosa.

### 4.1.2. Sismos

Los sismos son perturbaciones repentinas del subsuelo cuyos impactos socioeconómicos repercuten sobre las actividades del hombre. El estudio de estos fenómenos se traduce en mejorías en su comprensión y en el desarrollo urbano regional.

Los sismos que inciden sobre la zona urbana de Ciudad Guzmán, y en toda la cuenca de Zapotlán el Grande, están relacionados con el movimiento de placas en el pacifico, movimientos del bloque Jalisco y actividad volcánica. Los dos primeros son producidos por la interacción de placas tectónicas.

Los sismos por movimiento de placas en el Pacífico son llamados sismos interplaca. Son ocasionados por una fricción en las zonas de contacto, en este caso entre las placas de cocos y la placa americana (Mapa 4.1.2.1.) ubicadas en la zona del Océano Pacifico, la cual es la zona de sismicidad más importante (CENAPRED, 1994).



**Mapa 4.1.2.1.** Sismicidad en el límite de placas tectónicas (Fuente: Sismológico Nacional 1900-2015).





El alcance de acción de este tipo de sismos va más allá de los límites estatales, su radio de acción es de cientos de kilómetros, dependiendo de la magnitud del mismo, y su acción sobre las diferentes poblaciones dependerá de la distancia a la que se encuentren del epicentro y de las condiciones geológicas locales que imperen en cada lugar. Esto es importante si se toma en cuenta que Jalisco se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, y por tanto la zona de estudio, se caracteriza por estar dentro de la zona de subducción de la placa de cocos y la placa americana y dentro del área de influencia de epicentros mayores a 6 en la escala de Richter, que de ocurrir provocarán daños considerables en edificios, debido a que los muros se pueden desprender de las estructuras.

Así mismo, durante la ocurrencia de un sismo de este tipo existe dificultad para conducir vehículos. México presenta una gran actividad sísmica y en diversas regiones del territorio, el promedio de ocurrencia es de un sismo de magnitud mayor a 7.0 cada dos años y medio (Singh *et al.*, 2000).

Los sismos por movimientos de bloque Jalisco se les llama sismos intraplaca locales, debido a que son producto de deformaciones de los materiales terrestres, que se dan por la concentración de fuerzas en una región limitada, en este caso en el bloque Jalisco.

Este territorio presenta una gran actividad vulcano-tectónica, misma que se refleja en su accidentada geografía y joven actividad geológica, debido a que forma parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico y es la región de mayor actividad sísmica y volcánica de mundo. En términos generales, los períodos de recurrencia sísmica dentro del estado de Jalisco son de alrededor de 100 años (Zárate & Martínez, 1993).

Los sismos por actividad volcánica que acompañan a las erupciones volcánicas (en este caso del Volcán Colima) y son ocasionados principalmente por el fracturamiento del magma, generalmente no llegan a ser tan grandes como los anteriores, pero llegan a provocar desastres en las localidades cercanas al centro emisor. Un ejemplo fue el sismo ocurrido el 25 de marzo de 1806, donde murieron más de dos mil gentes al derrumbarse las edificaciones en donde se encontraban (Vizcaíno, 1991).

El promedio de ocurrencia de este tipo de sismos en la zona es de 110.5 años aproximadamente. Sin embargo, estos sismos, al igual que los epicentrales, son difíciles de estudiar y no se pueden predecir con exactitud, debido a que generan una gran actividad microsísmica de baja magnitud para lo cual se requiere de una red de sismógrafos que cubran completamente el área, cosa que no se tiene en Ciudad Guzmán. Como se observa en la distribución epicentral de los sismos afectan una gran extensión del territorio. Por lo cual, es factible que toda la cuenca de la Laguna de Zapotlán e incluso más allá de sus límites sea afectada. Sin embargo, se estima que 5,042.5 has. De la cuenca resultarían con efectos sísmicos mayores, debido a que es donde se localiza la mayor concentración de población (Cruz, 1996).





La única manera de prevenir la ocurrencia de desastres causados por peligros naturales es por medio de su caracterización y estudio que permitan tomar medidas preventivas, o en su caso de mitigación de posibles escenarios de desastre. El estado de Jalisco es una de las regiones con más alta sismicidad en México y por ende el peligro sísmico es muy alto, este peligro no solo está asociado al proceso de subducción de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, sino también a otras estructuras continentales no identificadas que han generado grandes terremotos históricos. El primer paso es evaluar el peligro sísmico estudiando la sismicidad histórica y correlacionarla con la actual y los estudios recientes relacionados llevados a cabo en la región.

Otras estructuras continentales no identificadas que han generado grandes terremotos históricos, algunos de ellos capaces de generar tsunamis. El primer paso es evaluar el peligro sísmico estudiando la sismicidad histórica y correlacionarla con la actual y los estudios recientes relacionados llevados a cabo en la región; desafortunadamente no se tiene aún una red sísmica local. El propósito de este trabajo es revisar y evaluar la sismicidad histórica, y los estudios de sismicidad recientes. (Nuñez-Cornú, 2011).

Por consiguiente el Municipio de Zapotlán y su cabecera municipal están expuestos continuamente a sufrir las consecuencias de los sismos debido a que no se conocen con exactitud el número de fallas o fracturas ni su ubicación en la zona de contacto, es difícil establecer las áreas de mayor o menor peligrosidad sísmica del área de estudio.

Así mismo el área de estudio se encuentra dentro de la zona considerada como “PELIGRO ALTO” dentro de la regionalización sísmica en la que plantea la distribución geográfica del riesgo sísmico, conteniendo básicamente la máxima intensidad probable que pueda provocar los sismos futuros.

Con el objeto de poder proyectar y construir edificios de acuerdo a normas que garanticen un comportamiento satisfactorio bajo efectos sísmicos es importante conocer con suficiente aproximación el riesgo sísmico en el área donde se ubicará la construcción.

A mayor riesgo sísmico, las fuerzas laterales de diseño serán más elevadas y consecuentemente los coeficientes sísmicos a emplearse.

#### **4.1.2.1. Sismicidad Histórica en la Región de Colima-Jalisco**

La historia macrosísmica de la región se remonta hasta 1544. En los últimos 160 años, han ocurrido 10 sismos importantes con  $M_s > 7.4$ : 11/feb./1875  $M_s = 7.5$  (Singh et al, 1981) 20/ene/1900  $M_s = 7.9$ , 16/may/1900  $M_s = 7.4$  (op. cit.), 7/jun/1911, destructor en Ciudad Guzmán, 8/may/1912 daño grandemente a Guadalajara, 3 y 18/jun/1932  $M_s = 8.2$  y  $7.8$ , respectivamente (op. cit.) 10/ene/1973  $M_s > 7.5$  (Eissler y McNally, 1984), 19 y 20/sep/1985 con  $M_s = 8.1$  y  $7.8$ , respectivamente; 9/10/95 con  $M_s = 5.1$ . Los tiempos de



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



recurrencia estimados por Singh et al (1985) para terremotos como los de 1932 en la costa de Jalisco es de 77 años y considerando que el temblor de 1995 rompe apenas con la mitad sur del área que se rompió en 1932, la posibilidad de que ocurra un evento similar al de 1995 en un período relativamente corto de tiempo es muy alta (Figura 4.1.2.1.1.). El 22 de enero del 2003 ocurre un terremoto somero de  $M_w = 7.4$  en la costa de Armería no asociado al proceso de subducción (Núñez-Cornú et al, 2004).

Por otra parte la complejidad de esta región tectónica se refleja en la existencia de estructuras desconocidas o no estudiadas capaces de generar terremotos de magnitud media (7.0 - 7.6) como el ocurrido cerca de las Islas Marías, donde causó gran destrucción, el 3 de diciembre de 1948 ( $M = 7.0$ ), estos dos últimos terremotos pueden estar relacionados con una subducción oblicua.

El sismo del 3 de junio de 1932 es el sismo de mayor magnitud que ha sido registrado en la era instrumentada de México. Además de los terremotos de 1932, otros sismos importantes han ocurrido a lo largo de la costa de Colima-Jalisco, como consecuencia de la subducción de las placas Rivera y Cocos por debajo de la placa de Norteamérica (Figura 4.1.2.1.1.).



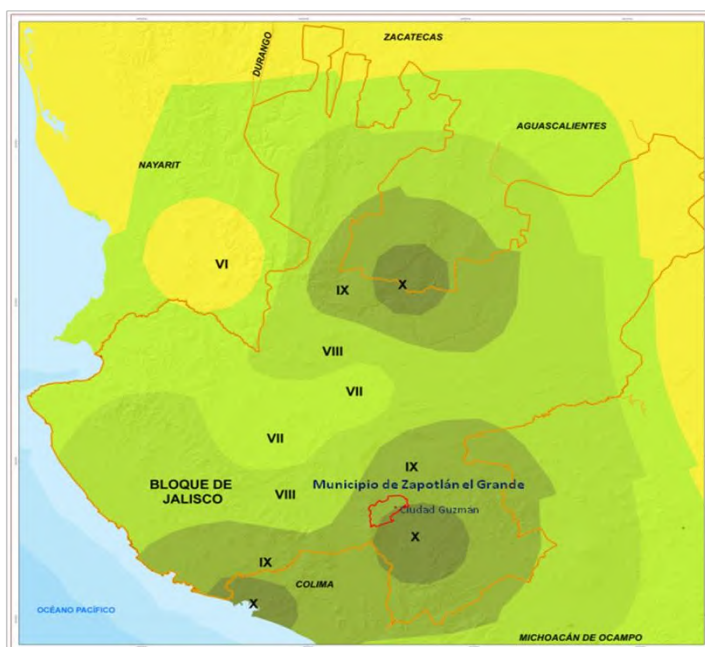
**Figura 4.1.2.1.1.** Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano (Fuente Ritz, 2004).

El 9 de octubre de 1995, un terremoto de poca profundidad y de magnitud 8.0, ubicado en  $18.79^{\circ}\text{N}$  y  $104.47^{\circ}\text{W}$ , tuvo un área de ruptura de 150 km cerca de los límites de los estados de Jalisco y Colima, y fue seguido por un tsunami de 5 metros de alto. Dos meses después, el 11 de diciembre, otro terremoto, magnitud 6.4 se registró. Su ubicación estaba en la zona de deformación entre las placas de Rivera y Cocos. El mecanismo focal obtenido para ese evento deslizamiento lateral, lo que sugiere que puede haber tenido lugar en el límite de Rivera y Cocos.

Más recientemente, el 22 de enero de 2003, cerca de las zonas de origen de los terremotos de 1932 y 1995, ocurrió un sismo de subducción, con una magnitud de 7.2, y un área de ruptura de unos 45 km.

La ocurrencia de temblores en los estados de Colima-Jalisco es frecuente. Hasta la fecha no se cuenta con técnicas científicas en ninguna parte del mundo que puedan determinar cuándo o dónde ocurrirá un sismo, tampoco se puede saber qué tan grande será o qué efectos tendrá en la población. Estar informados acerca de estos fenómenos naturales será de gran utilidad para mitigar el riesgo sísmico en caso de un evento de magnitud considerable.

La actividad sísmica entorno al Municipio de Zapotlán es alta dada las evidencias mostradas en los registros sísmicos históricos, que muestran daños y efectos destructivos en Zapotlán, alcanzando intensidades entre IX y X grados en la escala de Mercalli (Figura 4.1.2.1.2.).



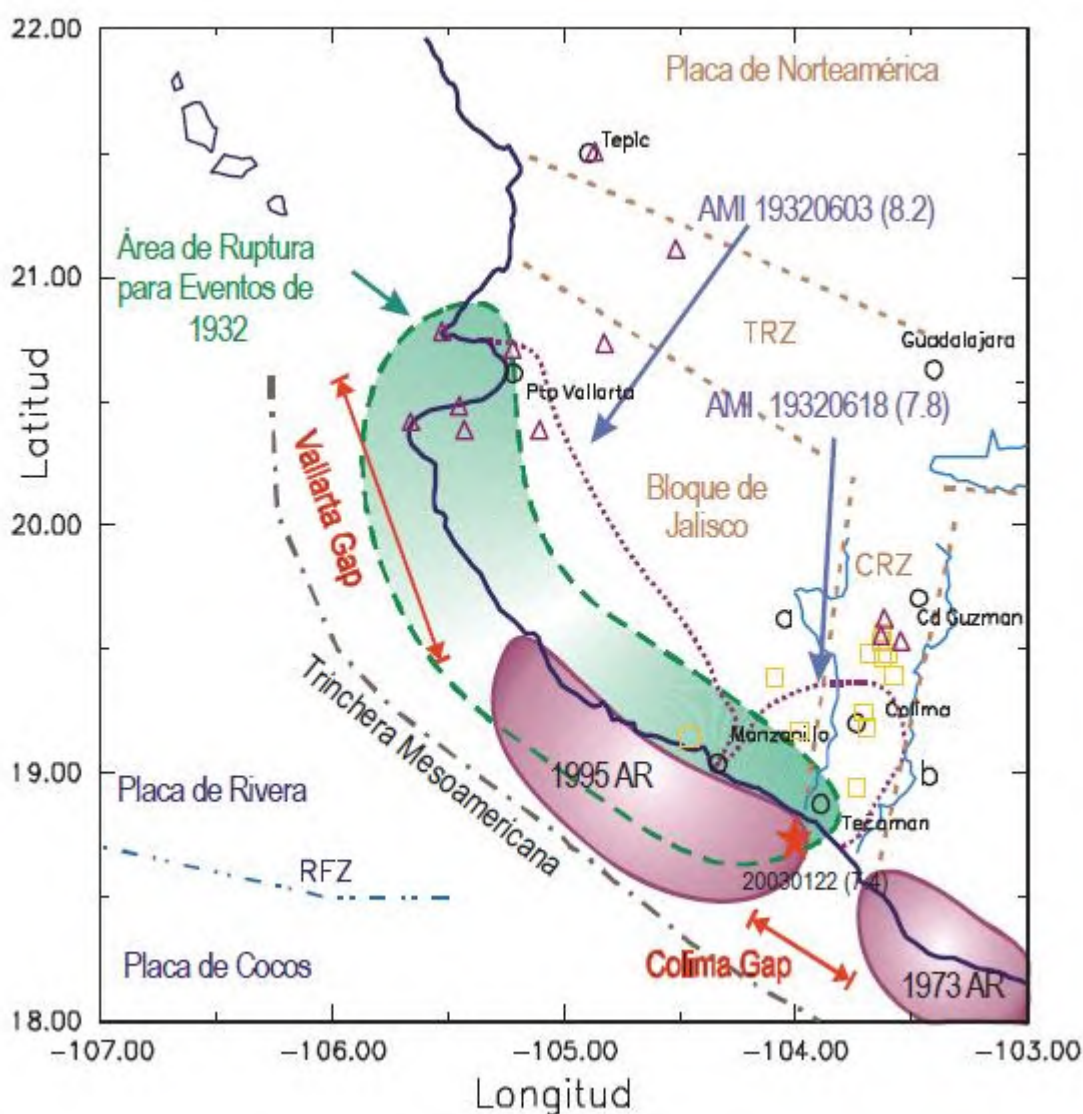
**Figura 4.1.2.1.2.** Máximas intensidades sísmicas originadas en el Municipio de Zapotlán por tres sismos, 1875, 1911 y 1995. (Fuente: Delgado, 1992).

Como consecuencia de sismos de gran magnitud, principalmente con epicentros en la región costera, en Ciudad Guzmán se han reportado daños acentuados en comparación con otras poblaciones cercanas y con tipos similares de construcción. Los sismos que más han afectado a Ciudad Guzmán ocurrieron en 1568, 1577, 1790, 1806, 1911, 1912, 1931, 1932, 1941, 1973 y 1985 (Vizcaíno, 1985), con epicentros principalmente en las costas de Jalisco, Colima y Michoacán.

Aunque la sismicidad en esa región es menor en comparación con la de otras zonas costeras de México, los sismos pueden alcanzar magnitudes muy grandes.

Dos casos de eventos sísmicos se registraron en 1911, daño Ciudad Guzmán y 1912 afecto grandemente a la Ciudad de Guadalajara, eventos que se pueden repetir y con la densidad de población actualmente asentada en la zona, puede ocasionar grandes daños.

Tal es el caso del sismo del 3 de junio de 1932 (Ms 8.2), con epicentro en las costas de Jalisco y un área de ruptura de aproximadamente de 100 Km, siendo el de mayor magnitud durante el siglo pasado, en México (Figura 4.1.2.1.3.).



**Figura 4.1.2.1.3.** Mapa sismotectónico de la costa del Bloque Jalisco, zonas de rupturas de los grandes terremotos y brechas (gaps) sísmicos existentes (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).

El día 3 de junio de 1932 ocurrió un sismo con magnitud 8.2 localizado en las costas de Colima- Jalisco (19,5 N, 104.25 W). A este sismo le siguieron otros dos de magnitud 7.8 y 6.9 los días 18 y 22 de junio del mismo año. Estos sismos han sido ubicados en la interfase entre las placas de Rivera y Norteamérica. Este último sismo, el del 22 de junio, generó un tsunami más devastador que el del sismo principal a pesar de que la magnitud sísmica fue mucho más pequeña. A este sismo se la ha calificado como “terremoto tsunami” (Okal and Borrero, 2011).

El 9 de octubre de 1995, un terremoto de poca profundidad y de magnitud 8.0, ubicado en 18.79 °N y 104.47 °W, tuvo un área de ruptura de 150 km cerca de los límites de los estados de Jalisco y Colima, y fue seguido por un tsunami de 5 metros de alto. Dos meses





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



después, el 11 de diciembre, otro terremoto, magnitud 6.4 se registró. Su ubicación estaba en la zona de deformación entre las placas de Rivera y Cocos. El mecanismo focal obtenido para ese evento deslizamiento lateral, lo que sugiere que puede haber tenido lugar en el límite de Rivera y Cocos (Courboullex, et al., 1997)

Más recientemente, el 22 de enero de 2003, cerca de las zonas de origen de los terremotos de 1932 y 1995, ocurrió un sismo de subducción, con una magnitud de 7.2, y un área de ruptura de aproximadamente 45 km. La ocurrencia de temblores en los estados de Colima-Jalisco es frecuente. Hasta la fecha no se cuenta con técnicas científicas en ninguna parte del mundo que puedan determinar cuándo o dónde ocurrirá un sismo, tampoco se puede saber qué tan grande será o qué efectos tendrá en la población. Estar informados acerca de estos fenómenos naturales será de gran utilidad para mitigar el riesgo sísmico en caso de un evento de magnitud considerable.

Es conveniente mencionar que, como consecuencia del sismo del 9 de octubre, no se registraron daños importantes en Ciudad Guzmán, a pesar de que el sismo tuvo una magnitud grande y la distancia al epicentro es aproximadamente de 140 km. Es probable que esto se deba a efectos de directividad de las ondas provenientes de la fuente por lo que, como complemento a este tipo de estudios, se tendrá que analizar la posibilidad de un fenómeno de ese tipo y los efectos y daños que podría generar en el Municipio de Zapotlán.

Los efectos de estos eventos sísmicos, y en especial de sus tsunamis, son descritos por Sánchez y Farreras (1993), se basan principalmente en textos periodísticos de la época. El evento principal del 3 de junio de 1932 resultó en una severa destrucción en Manzanillo, Colima, Ciudad Guzmán y zonas colindantes, con cerca de 400 víctimas. Se generó un tsunami con una depresión inicial seguido por una inundación que alcanzó 3 m.

El grado acentuado de daños reportados en años hizo pensar, a la luz de resultados recientes de investigaciones en valles aluviales, que el suelo en Ciudad Guzmán tiene la capacidad de amplificar el movimiento sísmico, fenómeno que también se presenta en la Ciudad de México (Singh *et al.*, 1988).

Por tanto, es importante estudiar claramente los parámetros básicos asociados al efecto de sitio para caracterizar el comportamiento del suelo en Ciudad Guzmán, llamada antiguamente Zapotlán el Grande.

Los sismos históricos e instrumentales importantes localizados en un radio de 200 Km con centro en Ciudad Guzmán se muestran en la Tabla 4.1.2.1.1. y Mapa 4.1.2.1.1.



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Sismos ocurridos en un radio de 200 Km con centro en Ciudad Guzmán										
Cat.	No.	Año	Mes	Día	Lat	Lon	Prof	Mag	Dist	Ubicación
NOAA	1	1568	12	27	20.2	103.5	-	6	89.3	Zacoalco de Torres
NOAA	2	1711	9	16	19.1	103.5	-	-	42.31	Colima
NOAA	3	1749	-	-	20.4	103.2	-	-	108.75	Zona Metropolitana de Guadalajara
NOAA	4	1750	-	-	20.4	103.2	-	-	108.75	Zona Metropolitana de Guadalajara
NOAA	5	1806	3	25	18.9	103.8	-	7.5	79.38	Tecomán
NOAA	6	1818	3	31	19.1	103.6	-	7.5	48.84	Colima
NOAA	7	1837	11	22	20	105	-	7.7	191.28	Sur de Puerto Vallarta
NOAA	9	1875	2	11	20.7	103.4	33	7.5	142.16	San Cristóbal de la Barranca
NOAA	10	1885	2	11	20.8	103.4	-	-	153.19	San Cristóbal de la Barranca
NOAA	11	1900	1	20	20	105	10	8.3	191.28	Sur de Puerto Vallarta
NOAA	12	1911	6	7	19.7	103.7	100	7.9	53.84	Ciudad Guzmán
NOAA	13	1912	5	8	20.4	103.2	15	6	108.75	Guadalajara
NOAA	14	1921	4	30	19.7	104.3	120	7.8	111.37	Autlán de Navarro
SSN	15	1927	1	19	19.38	102.88	100	6	52.15	Manuel M. Diéguez
NOAA	16	1932	6	3	19.5	104.3	25	8.4	107.39	Autlán de Navarro
NOAA	17	1932	6	18	19	103.9	50	7.9	80.04	Tecomán
SSN	18	1932	6	22	18.9	104.5	-	7	140.55	Manzanillo
SSN	19	1932	7	25	18.9	104.5	-	6.9	140.55	Manzanillo
SSN	20	1932	9	8	18.9	104.5	-	6.2	140.55	Manzanillo
SSN	21	1932	11	17	18.48	103.87	-	6.2	121.11	Costas Colima - Michoacán
SSN	22	1932	12	7	18.9	104.5	-	6.2	140.55	Manzanillo
SSN	23	1933	7	10	18.48	103.87	-	6.2	121.11	Costas Colima - Michoacán
SSN	24	1933	11	29	19.4	104.58	-	6	136.48	Casimiro Castillo
SSN	26	1935	6	29	19.7	104.28	-	6.1	109.35	Autlán de Navarro
SSN	27	1968	4	26	18.68	103.78	-	6.1	97.29	Costas Colima - Michoacán
SSN	28	1968	8	14	18.62	103.1	-	6.1	90.49	Calcoman de Matamoros Mich.
PDE	29	1973	1	3	18.5	103	43	78	105.96	Calcoman de Matamoros Mich.
PDE	30	1973	10	18	19.38	104.97	45	6.8	177.44	Punta Careyes
PDE	31	1974	1	26	18.6	103.4	33	6.1	91.58	Calcoman de Matamoros Mich.
PDE	32	1981	3	9	18.83	103.91	56	6.2	92.99	Tecomán

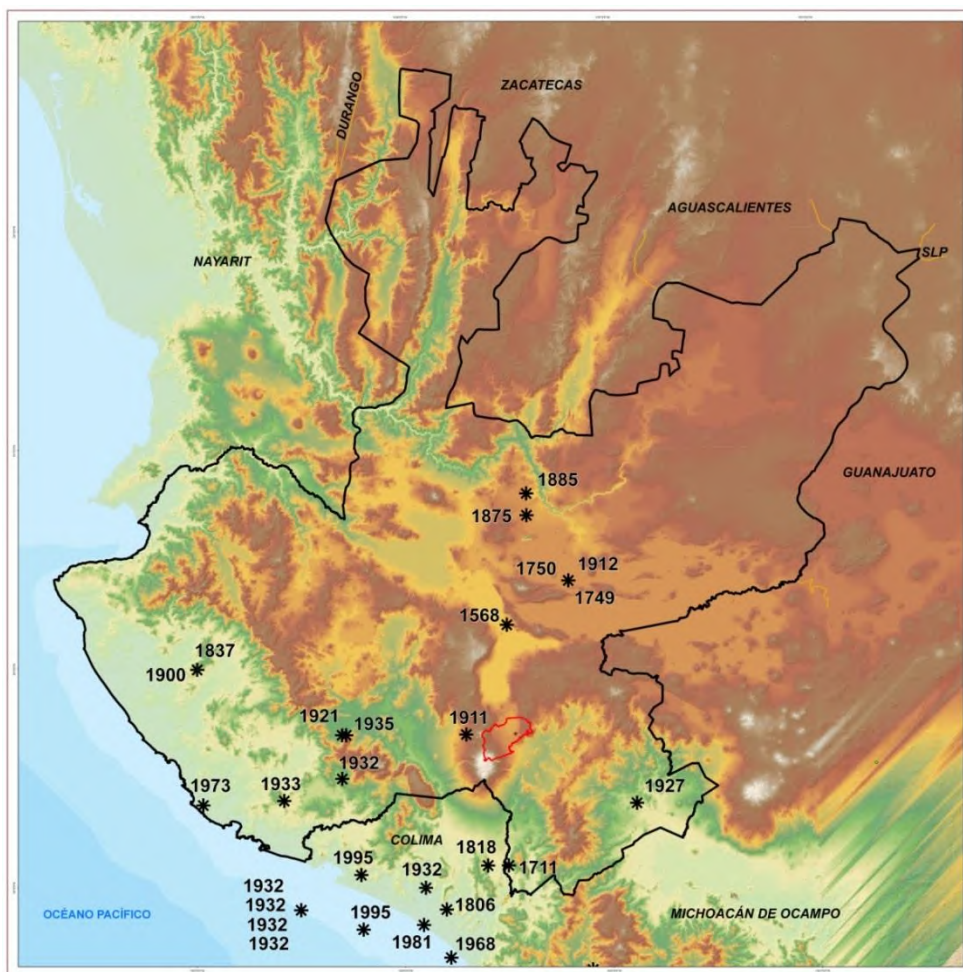




Sismos ocurridos en un radio de 200 Km con centro en Ciudad Guzmán										
PDE	33	1995	10	9	19.06	104.21	33	7.5	105.52	Manzanillo
PDE	34	1995	10	12	18.81	104.2	16	6	117.95	Tecomán
NOAA _Boulder Colorado										
SSN_ Servicio Sismológico Nacional.										
PDE_Preliminary Determination Epicenter (USGS)										

**Tabla.4.1.2.1.1.-** Sismos históricos e instrumentales, en el estado de Jalisco, M>6, (Fuente: Malagón, 2004).

Los tiempos de recurrencia estimados por Singh et al (1985) para terremotos como los de 1932 en la costa de Jalisco es de 77 años y considerando que el temblor de 1995 rompe apenas con la mitad sur del área que se rompió en 1932, la posibilidad de que ocurra un evento similar al de 1995 en un período relativamente corto de tiempo es muy alta por la complejidad tectónica de esta región y la existencia de estructuras desconocidas o no estudiadas capaces de generar sismos de magnitud media (5.0 y 6.5).



**Mapa 4.1.2.1.1.** Localización de sismos históricos e instrumentales de magnitud mayor a 6.0 grados entorno al Municipio de Zapotlán el Grande (Fuente: Malagón, 2004).

En la Tabla 4.1.2.1.2., se presenta la fecha y la descripción breve de las características de los sismos que han ocurrido en torno a Zapotlán el Grande, en base a lo escrito y recopilado por el cronista de Ciudad Guzmán (Vizcaino, 1991).

No.	Fecha	Descripción
1	1567	En <b>Zapotlán el Grande</b> (Actual Ciudad Guzmán, Jalisco), cayó la primera iglesia.
2	27/12/1568	Hubo intensa actividad sísmica en la zona comprendida entre <b>Zapotlán</b> y Ameca.
3	27/12/1577	Asociado con intensa actividad del Volcán Colima. Muchos <b>daños</b> y muerte en <b>Zapotlán</b>
4	15/04/1611	En <b>Zapotlán</b> y Zapotiltic fueron destruidos los conventos franciscanos.



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

No.	Fecha	Descripción
5	26/08/1611	Destruye la iglesia de <b>Zapotlán</b> y pocos días después. Hubo otro que derrumbó el hospital de la Purísima Concepción y otras fincas.
6	15/08/1711	Gran destrucción en Amacueca, Sayula y <b>Zapotlán</b> . Se sintió en Guadalajara.
7	22/10/1743	Destrucción de muchas casas en <b>Zapotlán</b> .
8	25/03/1806	Sismo al que le siguieron intensas réplicas durante unos dos meses. Fuerte destrucción en <b>Zapotlán</b> (más de 200 casas) incluyendo daños a la parroquia y muchos muertos (más de 280).
9	31/05/1818	(M= 7.7, I= VI) A pesar de que su magnitud fue de 7.7 y su epicentro se localizó a unos 175 km hacia el suroeste de Guadalajara, causó muchos daños y derrumbó las torres originales de la Catedral y agrietó dos de sus bóvedas. No fue sino hasta el período de 1851 a 1854 que se volvieron a construir las torres, y hasta la fecha han perdurado. Hubo fuertes destrozos, en varias poblaciones de Jalisco (Tala, Ameca, Cocula, Sta. Ana, Acatlán, Zacoalco, Sayula, <b>Zapotlán</b> , etc.), pero sobre todo en la ciudad de Colima.
10	22/11/1837	Agrietó la fachada de la catedral de Guadalajara y otras edificaciones. Se sintió también en <b>Zapotlán</b> y en el sur de Jalisco.
11	02/10/1847	Causó muchos derrumbes y muertes en Ocotlán, daños leves en Guadalajara y <b>Zapotlán</b> y se sintió hasta la Cd. de México.
12	11/02/1875	Muy fuerte en San Cristóbal de la Barranca, en donde derribó la mayoría de las casas y causó alrededor de 50 muertos (la población era de 800). En Guadalajara no causó muerte pero sí fracturas en muchas casas y en los siguientes templos: Catedral, el Sagrario, la Merced, Santa Mónica, San Diego, Capilla de Jesús, de la Compañía (actual biblioteca iberoamericana), Aranzazú, Mexicaltzingo, San Juan de Dios y San José de Analco
13	09/03/1875	Sismo que ocurrió en la Costa de Jalisco, por el rumbo de Autlán, cerca del epicentro del terremoto de 1932. En Guadalajara agravó los daños a edificaciones causadas por el sismo del 11 de febrero y sus réplicas: los templos más dañados fueron: La Merced, San Diego, Aranzazú, Mexicaltzingo, Analco y Loreto.
14	22/03/1878	Causó daños en San Cristóbal y se sintió fuerte en Guadalajara.
15	19/01/1900	Destructor en Colima. Hubo además daños en muchas poblaciones de Jalisco (Ocotlán, Sayula, <b>Zapotlán</b> , San Gabriel, Autlán, Unión de Tula y Mascota. En Guadalajara sufrieron daños la cúpula de El Sagrario, los templos de Sta. Ma. De Gracia, San Felipe, Santa Mónica, San Diego, Capilla de Jesús, San Sebastián de Analco y Mezquitán.
16	16/05/1900	Intensa réplica del sismo del 19 de enero. Se sintió en varias poblaciones del sur de Jalisco hasta La Barca y Guadalajara, pero solo causó daños leves en Colima y <b>Zapotlán</b> .
17	07/06/1911	Causó daños fuertes en <b>Zapotlán</b> (Parroquia, Santuario, Tercera Orden, Sagrado Corazón y más de mil casas) y muertes (35). También fue destructor en la región cercana a Zapotlán (San Sebastián, San Andrés Ixtlán, Zapotiltic, Tuxpan, Tamazula, Tecalitlán, San Gabriel, etc.).
18	30/04/1921	Daños en Autlán, Unión de Tula y Tuxcacuesco. Fuerte en Zacoalco y otras poblaciones de Jalisco.
19	03/06/1932	El sismo de mayor magnitud en México en el siglo XX. Su epicentro se ubicó en la Costa de Jalisco, a unos 160 km de Guadalajara. Causó fuertes daños en Cihuatlán, Autlán y Mascota. Hubo réplicas fuertes (magnitudes De 4 a 8) hasta al menos diciembre del mismo año. El padre Severo Díaz hizo un interesante análisis (Díaz Galindo, 1932). El 13 de junio entró en erupción



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



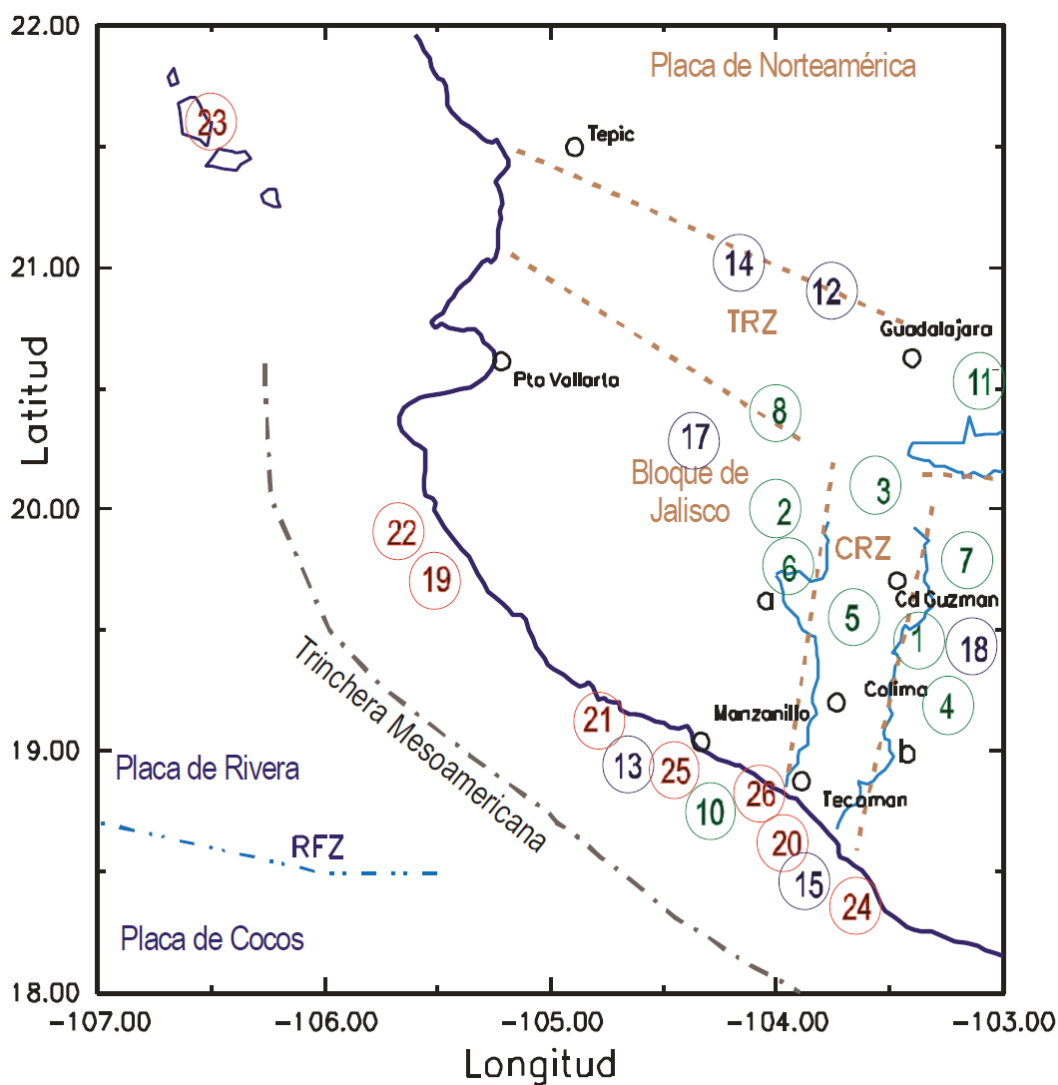
## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

No.	Fecha	Descripción
		el Volcán de Colima.
20	18/06/1932	Intensa réplica del terremoto del 3 de junio. Destructor en el Estado de Colima, sobre todo en Tecomán y Colima. Un tsunami invadió Cuyutlán.
21	09/04/1933	Daños en Tenacatita y otros lugares de la Costa de Jalisco (Autlán, Purificación). Fuerte en Colima
22	30/11/1934	Muy fuerte en la Costa de Jalisco. Sentido en Puerto Vallarta, Mascota y Autlán.
23	03/12/1948	Epicentro en las Islas Marías, destruyó la colonia penal.
24	30/01/1973	Conocido como el Terremoto de Colima, aunque en realidad ocurrió en el occidente de Michoacán, región poco poblada en esa época.
25	09/10/1995	Fuerte terremoto frente a las costas de Colima y Jalisco. Causó fuertes daños en las Costas de Colima y Jalisco, especialmente en Manzanillo, Cihuatlán, Jalisco, Barra de Navidad, Tenacatita y Puerto Vallarta. Se sintió fuerte en Guadalajara (a 240 km del epicentro), pero causó daños menores.
26	22/01/2003	Terremoto somero frente a la costa de Armería en Colima, fuertes daños en la Cd. Colima y en localidades de Jalisco al Oeste del Volcán, su patrón de daños es muy diferente al de 1995.

**Tabla 4.1.2.1.2.** Relación de daños y efectos en Zapotlán por sismos históricos (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).

Los sismos que mayor daño causaron han causado en Ciudad Guzmán fueron los ocurridos en los años 1568, 1790, 1806, 1818, 1911, 1941, 1973 y 1985, por lo que el promedio de que ocurran sismos de este tipo es de 60 años, pero esto puede ocurrir en mayor o menor tiempo y es difícil de precisar la fecha exacta, dado a que se requiere de

Estudios más específicos y detallados. En el Mapa 4.1.2.1.2. Se muestran los sismos cercanos al Municipio de Zapotlán y que causaron daños.



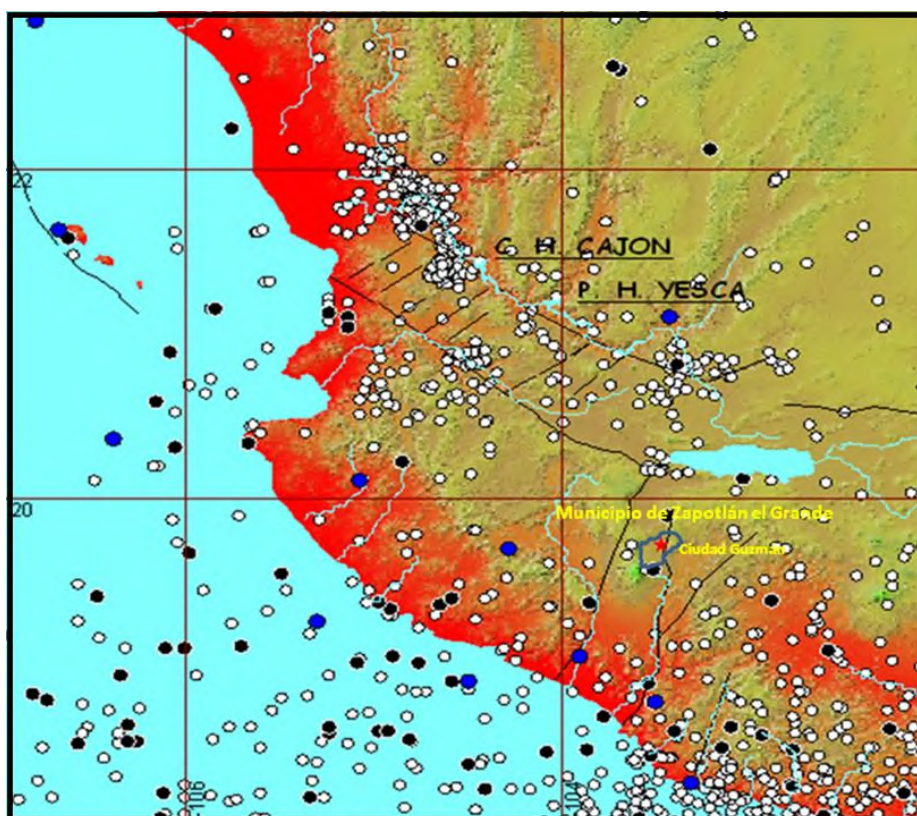
**Mapa 4.1.2.1.2.** Sismos históricos en el Bloque de Jalisco: Color Rojo (19 – 26) tipo A, sismos instrumentales; Color azul, (12-18) tipo B, algunos datos instrumentales descripciones macrosísmicas extensas; Color verde (1-11) tipo C, descripciones macrosísmicas limitadas. (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).



#### 4.1.2.2. Sismicidad reciente

Entre 1993 y 1995 el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Guadalajara empezaron a realizar estudios de sismicidad utilizando redes temporales de estaciones portátiles. Después del terremoto de 1995 estos estudios recibieron más apoyo y obtuvieron los primeros resultados regionales (Figura 4.1.2.2.1.).

Posteriormente los años 1996, 1997 y 1998 la Comisión Federal de Electricidad inicio estudios de microsismicidad en el norte y oeste del Bloque de Jalisco motivado por la escasez de trabajos y datos de sismicidad disponibles para esta área, a pesar del conocimiento de la ocurren sísmica que tiene la zona (Mapa 4.1.2.1.2.).



**Mapa 4.1.2.2.1.** Mapa epicentral de los terremotos registrados en el período 1996-1998 (Fuente: Delgado, 1994).

Además, basándose en la distribución hipocentral y en el estudio de las formas de onda se elaboró una clasificación de las zonas sismogénicas. En donde observamos que el Municipio de Zapotlán se encuentra en una zona de sismicidad del Eje Volcánico y



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

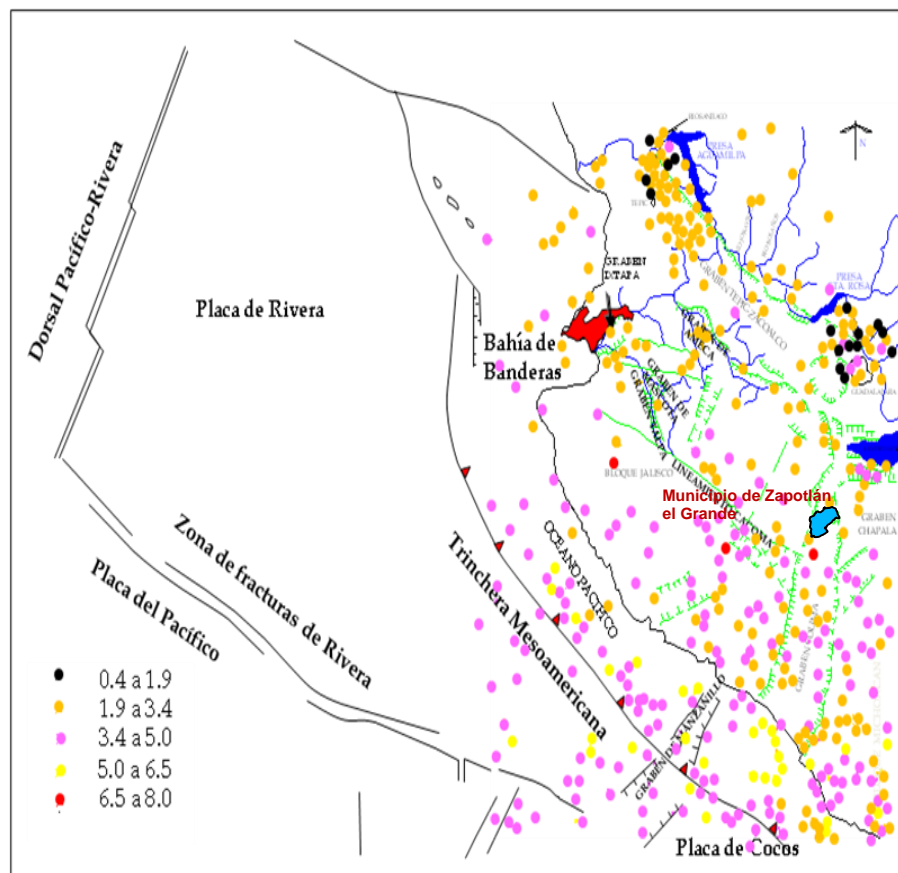
sismicidad aleatoria de estructuras geológicas locales, además de la sismicidad que se origina en la costa con eventos que han dañado fuertemente a Ciudad Guzmán (Mapa 4.1.2.2.2.).



**Mapa 4.1.2.2.2.** Zonas sismogénicas entorno al Municipio de Zapotlán (Fuente: Malagón, 2009).



En el Mapa 4.1.2.2.3. Se muestra la sismicidad registrada por el Servicio Sismológico Nacional (azul) de 1974 a 2005 y la actividad localizada por el Observatorio Sismológico de Occidente de CFE (rojo) en el periodo de 1998 a 2005.

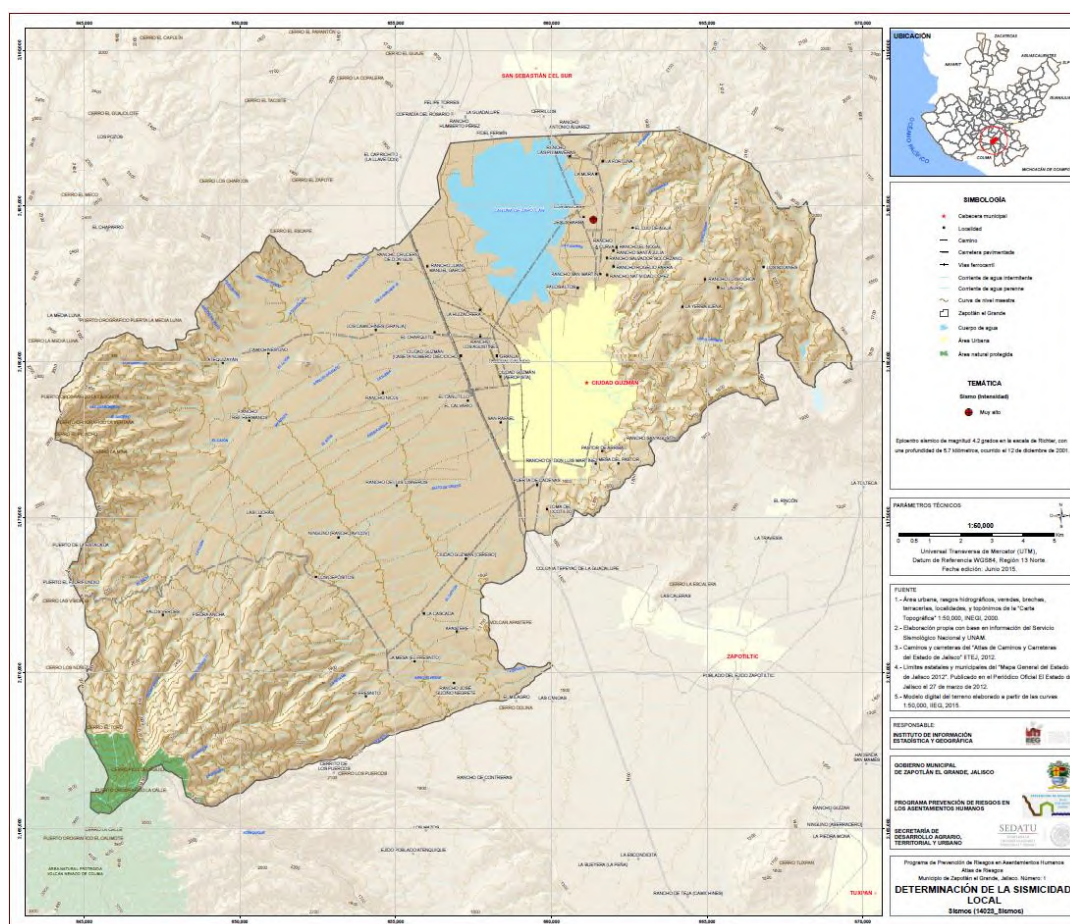


**Mapa 4.1.2.2.3.** Actividad sísmica en el Occidente de México (Fuente: SSN y CFE).

#### **4.1.2.3. Sismicidad en Zapotlán el Grande**

La sismicidad registrada dentro del Municipio de Zapotlán, solamente se logro localizar un solo evento (Mapa 4.1.2.3.1), por lo que se tuvo que recurrir a modelos probabilísticos para poder determinar la sismicidad local (Mapa 4.1.2.3.2.).

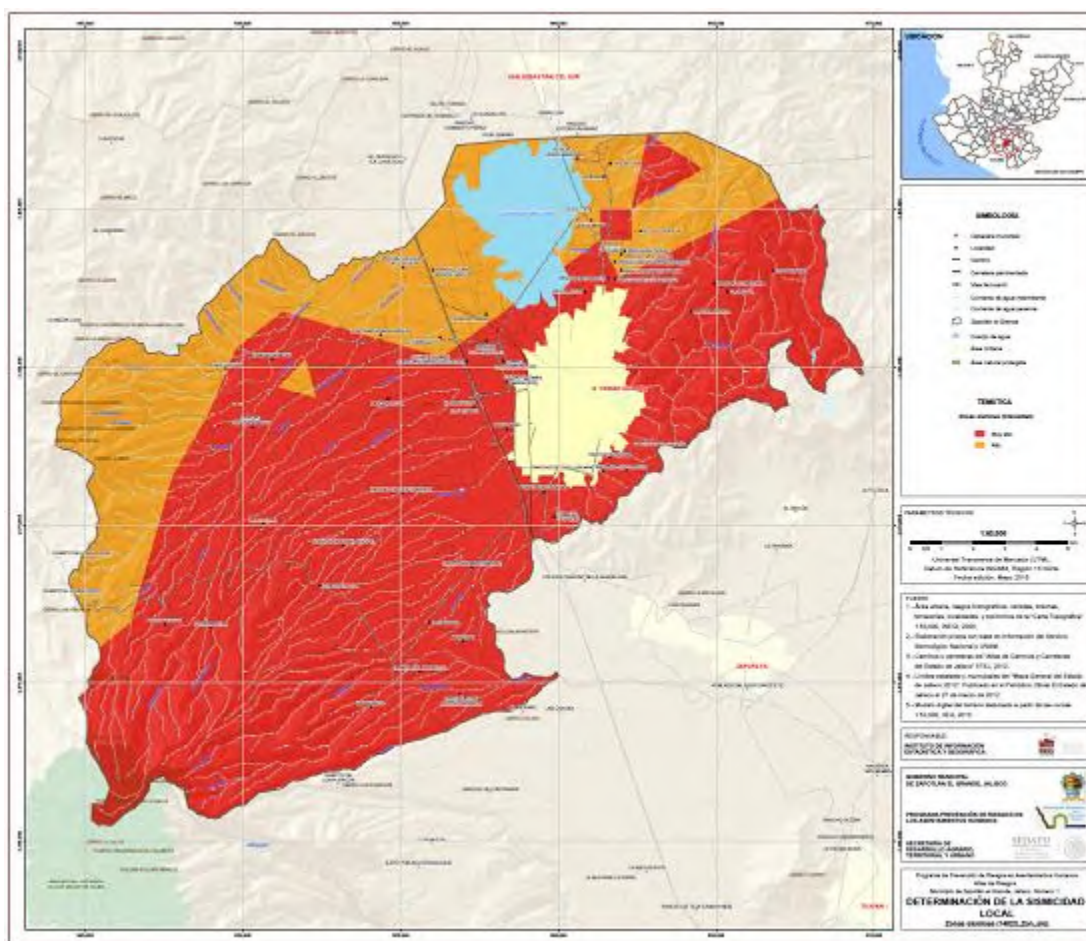
De acuerdo a la sismicidad regional mostrada en los apartados anteriores podemos mostrar baja sismicidad dentro del municipio, pero que la convierta en zona de riesgo por la gran sismicidad entorno al sitio de estudio, con eventos entre 5 y 8 grados de magnitud en la escala de Richter.



**Mapa 4.1.2.3.1.** Evento registrado dentro los límites del Municipio de Zapotlán (Fuente: Servicio Geológico Mexicano).

En la zona de estudio, se pueden producir sismos muy fuertes, o que tal vez no sean de gran magnitud, pero que si pueden afectar a la población en Zapotlán, debido a las condiciones de vulnerabilidad que presenta en algunos sectores, por las fallas o fracturas sobre las que se encuentran las edificaciones, así como por las condiciones del suelo en donde se asentaron.

Ejemplo de esto, es que un fenómeno sísmico conjugado con los suelos poco consolidados presentes en Ciudad Guzmán y bajo condiciones de lluvia extrema, puede ocasionar el fenómeno de licuefacción (ablandamiento del suelo) en algunos sectores de la ciudad y afectar incluso a todas las zonas urbanas incluidas.



La zona que puede sufrir mayores daños, tanto económicos como solo-organizativos y en general de salud por un fenómeno sísmico es la que presenta edificaciones dañadas, ya sea por el paso del tiempo o por sismos ocurridos anteriormente, como es el caso de las casas dañadas por el sismo de 1985.

El peligro por sismicidad, aumenta cuando las edificaciones se encuentran asentadas en zonas de fallas activas, las cuales se reflejan en las cuarteaduras de las casas. Lo anterior se agrava cuando las construcciones no están diseñadas de manera que soporten este tipo de eventos.



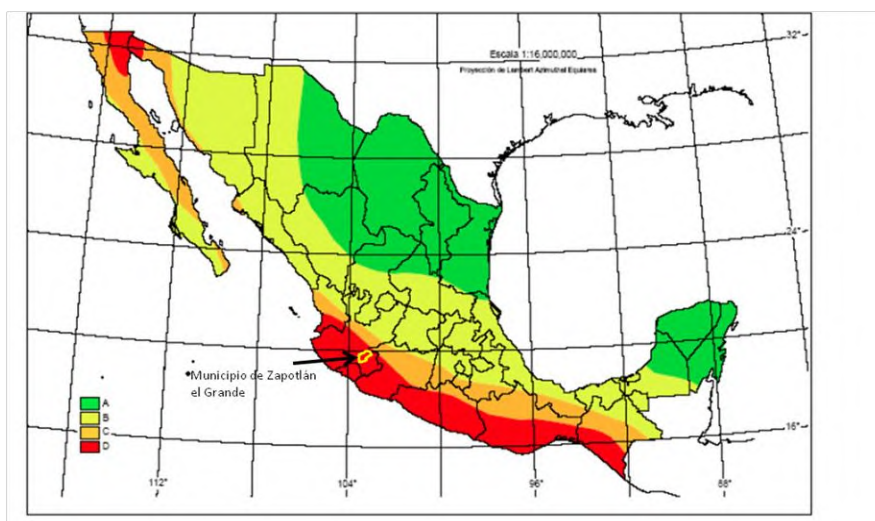
#### 4.1.2.4. Estimación del Peligro Sísmico

La asignación del peligro sísmico, se basa en el método tradicional de Análisis de Peligro Sísmico probabilista (PSP) se basa en los catálogos sísmicos y de movimientos del terreno, en observaciones macrosísmicas y en registros instrumentales.

Debido a que los datos sismológicos son limitados, lo más apropiado fue recurrir a un escenario basado en un enfoque determinista. La principal ventaja del procedimiento es el tratamiento simultáneo de la contribución fuente sísmica y la propagación de la onda, que serán determinantes para la estimación del peligro sísmico del Municipio de Zapotlán el Grande.

##### 4.1.2.4.1 Municipio de Zapotlán el Grande en la Regionalización Sísmica de México

En el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993) Capítulo Diseño por Sismo, se encuentra publicado el mapa de Regionalización Sísmica de México (Figura 4.1.2.4.1.1).



**Figura 4.1.2.4.1.1.** Regionalización Sísmica de México (Fuente: CFE, 1993).

Este mapa permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro sísmico que tiene un área determinada. Para ello, el territorio nacional se encuentra clasificado en cuatro regiones, de la A a la D, las cuales representan un nivel creciente de peligro.

Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos mínimos que deben seguir los proyectistas, diseñadores y constructores en las



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRIARIO, TERRITORIAL Y URBANO



edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo.

La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos de sismos y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% de  $g$ . En la zona D ocurren con frecuencia temblores de gran magnitud ( $M > 7$ ) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de  $g$ .

Los niveles de sismicidad y de aceleración propios de las zonas B y C están acotados por los valores correspondientes de A y D, los temblores grandes son poco frecuentes (por ejemplo, el sismo de junio de 1999, con epicentro al sur de Puebla) y se estima que las aceleraciones se mantendrán por debajo del 70% de  $g$ .

Los niveles de Peligro Sísmico de Acuerdo a la Regionalización es la siguiente; la zona A corresponde a la zona de menor peligro, B a medio-bajo, C medio-alto y la D a la de mayor peligro. De acuerdo a esta clasificación el Municipio de Zapotlán se encuentra en una zona de mayor peligro (Figura 4.1.2.4.1.1.). <http://www.CENAPRED.unam.mx>.

Asimismo, se recomienda consultar el Manual de Obras Civiles de la CFE donde se expresa con detalle la clasificación de suelos para cimentación, parámetros específicos para suelos firme, de transición y suave, clasificación de construcciones según su destino o estructuración, etc. y concentrar toda la información particular para el municipio en estudio.

#### **4.1.2.4.2. Cálculo de la peligrosidad sísmica**

La peligrosidad sísmica está definida como el nivel probable de sacudida del suelo asociado con la recurrencia de terremotos (Giardini et al., 1998).

Basándose en los datos de los catálogos instrumental e histórico, el territorio de México se subdividió, de manera global, en unidades sismotectónicas con el propósito de definir, dentro de ellas, estimaciones de peligrosidad sísmica.





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



#### **4.1.2.4.3. Sismicidad de las fuentes sismogénicas**

La incertidumbre existente en el conocimiento sísmico obliga a considerar las variables en juego como aleatorias, por lo que deben sujetarse a teorías de probabilidad. Para determinar los parámetros de la distribución de probabilidades que describen la ocurrencia de temblores en una región dada, se tiene que calcular la distribución de magnitud, el instante de ocurrencia y la localización del foco.

La República Mexicana se divide en las provincias tectónicas determinadas por Zúñiga and Guzmán (1994). A partir de esta regionalización se divide la zona de subducción en 11 regiones, propuestas por Nishenko et al., (1987). Se supone que en cada una de estas divisiones se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía:

- Los eventos con una  $M_w > 7$  son debidos a procesos de subducción, aquellos con  $M_w < 7$ , costeros y superficiales se asocian a fallas locales.
- Los eventos costeros de profundidad intermedia se asocian con fallamiento normal en la placa oceánica sumergida. Al ser imposible la determinación del motivo precursor del temblor solo con el conocimiento de su profundidad focal, se asume que todos aquellos con una profundidad  $\Delta h > 50$  km, tienen el mismo comportamiento de fallamiento normal.

Los modelos que describan la ocurrencia sísmica en la zona de subducción mexicana son los siguientes:

Para eventos en todo el territorio mexicano con  $M_w$  menor que 7, normalmente se idealiza el proceso de ocurrencia de los temblores como una distribución de Poisson, donde los tiempos entre eventos están exponencialmente distribuidos:

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda(M)t}$$

Donde  $\lambda(M)$  es el valor esperado del número de temblores con magnitud mayor o igual a  $M$ , por unidad de tiempo (formula funcional según Cornell et al., 1969). En este estudio, se aplica el método bayesiano (Rosenblueth et al., 1987).

Aquellos eventos con magnitud  $M_w$  superior a 7, como ya hemos mencionado, están asociados con la subducción a lo largo de la costa pacífica mexicana y tienen un proceso de ocurrencia más bien periódico.

Como la sismicidad para el estudio de peligrosidad sísmica en México sólo se ha tenido en cuenta hasta el año 1994, el proceso de renovación para Jalisco tiene en cuenta la media de los tiempos entre eventos ( $m_t = 46$  años) y el tiempo que ha transcurrido desde el



último temblor en la zona,  $t_0 = 61$  años. Por ello no se ha tenido en cuenta el gran terremoto de Octubre de 1995 producido en un proceso de subducción en las costas de Jalisco-Colima con una magnitud  $M_w$  de 8.0.

Para conocer los niveles de peligro sísmico se requiere de un procedimiento complejo que implica contar, entre otros elementos, con información de catálogos sísmicos con magnitudes y localizaciones epicentrales confiables y un conocimiento amplio de la tectónica que caracteriza a las diferentes regiones analizadas. Asimismo, la información geológica es de gran relevancia en tanto que permitirá tener conocimientos acerca de fallas, zonas sismogénicas y, particularmente, aportará datos sobre aspectos superficiales en el caso de valles aluviales.

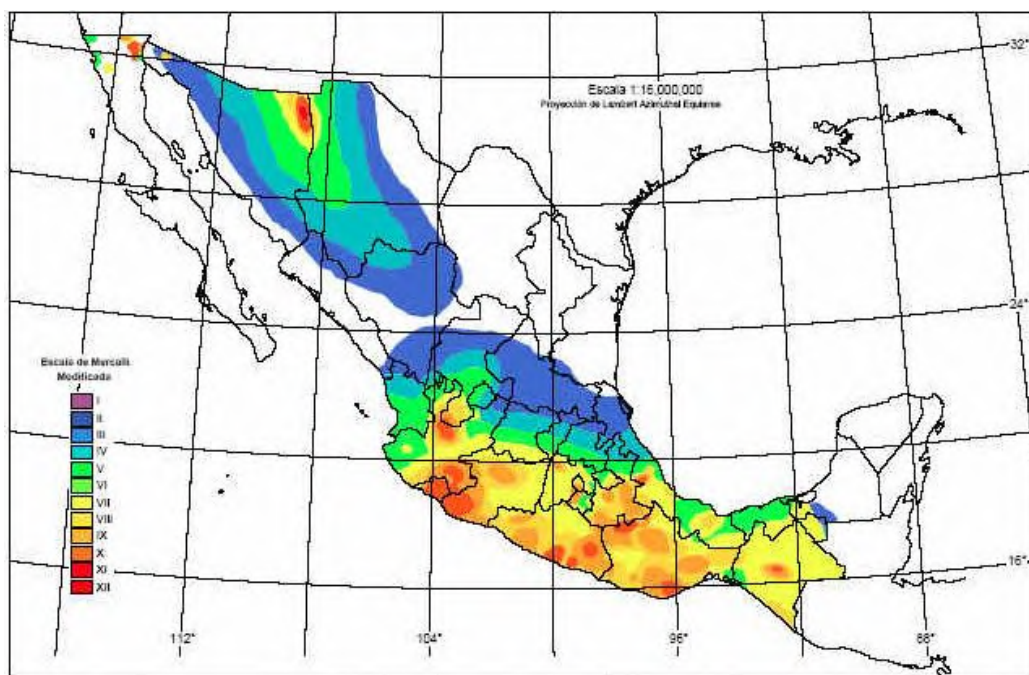
Como sucede en la generalidad de los casos, en el Municipio de Zapotlán el Grande. Se tiene que recurrir a procedimientos determinístico dado que no se cuenta con un catálogo sísmico local que cubra periodos suficientemente largos de registros para determinar directamente los periodos de recurrencia característicos de las diferentes zonas sismogénicas. Se tiene, para la República Mexicana, un conocimiento bastante claro de la sismicidad a partir del siglo pasado.

Sin embargo, con respecto al Siglo XIX sólo se conoce de manera general la ocurrencia de eventos con magnitudes de 7 en adelante. Debido a la falta, en esa época, de estaciones suficientes, es muy probable que en el catálogo para dicho periodo no se encuentren presentes varios eventos importantes, especialmente de magnitudes entre 6 y 7. Las localizaciones epicentrales y las profundidades correspondientes no alcanzan la precisión que se tiene actualmente.

Para siglos anteriores, la incertidumbre en cuanto a número de temblores, su punto de origen y profundidad es aún mayor. De ellos sólo se tienen referencias históricas, particularmente a partir del Siglo XVI.

El procedimiento para la estimación del peligro sísmico implica el análisis de la sismicidad local, lo que implica dividir el territorio nacional en varios volúmenes nombrados fuentes generadoras, para las cuales se supone una tasa constante de generación de temblores.

Posteriormente, se determinan los efectos que son producidos por cada una de ellas en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental (Figura 4.1.2.4.3.1.). Para ello se desarrollan leyes de atenuación, las cuales relacionan la magnitud, la posición de la fuente con relación a un sitio dado en nuestro caso de estudio se tomo en cuenta el Municipio de Zapotlán el Grande y la intensidad producida. Dichas leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye.



**Figura 4.1.2.4.3.1.** Mapa Global de Intensidades. (Fuente: <http://www.seismo.ethz.ch/>).

De manera formal, el peligro sísmico se describe mediante indicadores cuantitativos de las probabilidades de ocurrencia de movimientos de distintas intensidades durante lapsos dados (UNAM, 2003) y por medio de parámetros cualitativos, como son las intensidades sísmicas, para el área del Municipio de Zapotlán, podemos observar que se han registrado intensidades de IX a X en la escala de Mercalli (Figura 4.1.2.1.2.).

Sin embargo, dado que el fenómeno del efecto de sitio ha sido reconocido como factor determinante en los cálculos de peligro sísmico, se deben incluir, además de la información acerca de las fuentes sísmicas y los patrones de atenuación asociados a ellas, los efectos de la geología local. Por tanto, para una valoración completa se tienen que incluir parámetros derivados de una microzonificación sísmica propia.

#### **4.1.2.4.4. Aceleraciones para Periodos de Retorno de 10, 100 y 500 años en el Municipio de Zapotlán el Grande.**

Los mapas de peligro por sismo, son algunos de los resultados que se obtuvieron del programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), que constituye un sistema de información cuantitativa sobre el peligro sísmico en la República Mexicana en cuya elaboración participaron el Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad, además del CENAPRED.

El Peligro Sísmico de México (PSM) genera los siguientes tipos de resultados:



- 1) Mapas de valores de la intensidad sísmica seleccionada asociados a un periodo de retorno dado.
- 2) Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, la curva intensidad vs. tasa de excedencia para el parámetro de intensidad seleccionado.
- 3) Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, el espectro de respuesta cuyas ordenadas tienen un periodo de retorno constante dado.
- 4) Información sobre las relaciones de atenuación utilizadas para el cálculo del peligro sísmico.

El conocer solamente las magnitudes de los temblores, nos da una idea clara del impacto que éstos producirían en una determinada región, ya que pueden presentarse a diferentes profundidades distancias de los asentamientos humanos.

Por su parte, los mapas de intensidades de Mercalli, describen de manera sencilla la distribución espacial de los efectos en el terreno y las construcciones, asociada a la ocurrencia de un evento en particular que, si bien permiten plantear un escenario a futuro, no indican cuál es la probabilidad de que ello ocurra nuevamente.

En el caso de mapas de peligro como los que aquí se presentan, y en donde se ubicará al Municipio de Zapotlán, se da a conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociada a periodos de retorno. Esta información, aunque no directamente aplicable en la población con fines de protección civil, es un elemento fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

Para facilitar la definición de niveles de peligro para un sitio dado se eligieron los mapas más representativos, en función de la vida útil de la gran mayoría de las construcciones, correspondientes a periodos de 10, 100 y 500 años. En ellos se muestran aceleraciones máximas para terreno firme para un periodo de retorno dado (tiempo medio, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada).

Para que los estados y municipios cuenten con información actualizada que les permita tomar medidas apropiadas y orientar decisiones para la evaluación y mitigación del riesgo por sismo, CENAPRED realizó, con base en los mapas ya mencionados, la clasificación municipal de Peligro por sismo. Ahí se reportan los valores de aceleración máxima del terreno para cada municipio. Esto facilitará, ante la falta de un reglamento de construcción propio, definir las ordenadas de diseño para edificaciones de poca altura, típicas en nuestro país; es decir, construcciones de uno o dos niveles ubicadas en suelo firme.





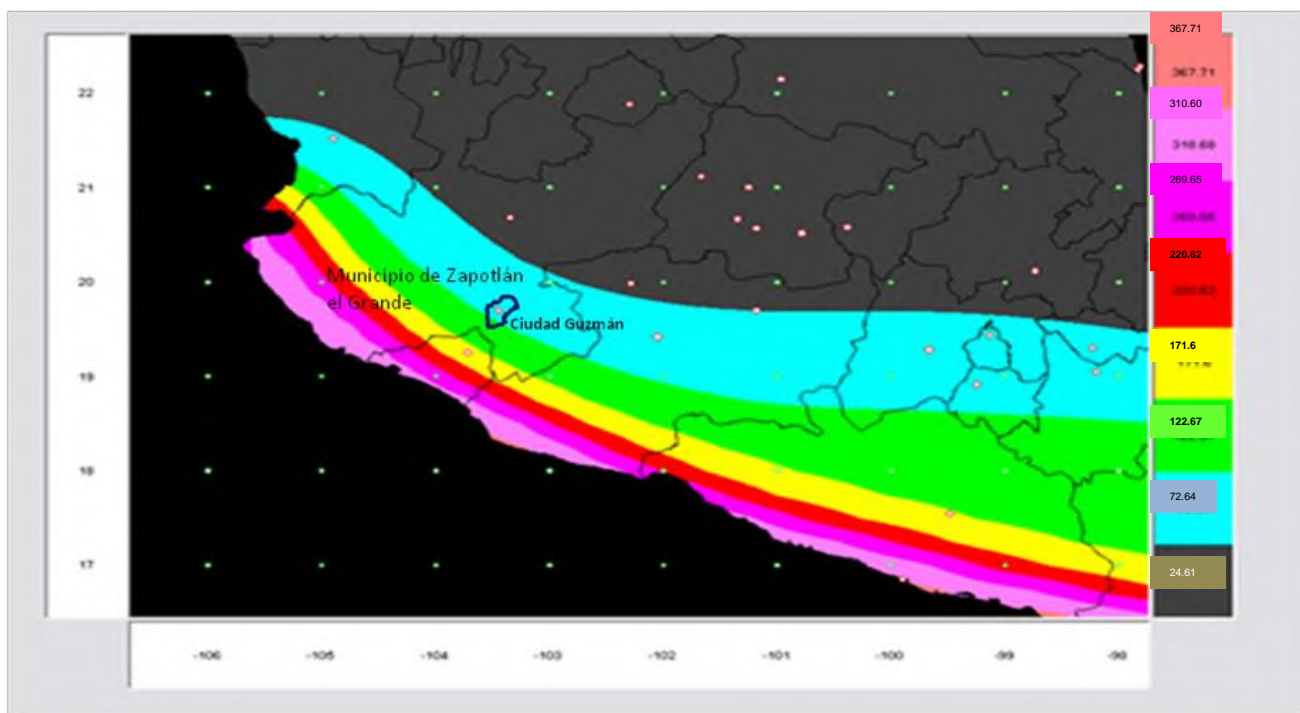
Para el caso del Municipio de Zapotlán el Grande las aceleraciones máximas para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años se muestra en la Tabla 4.1.2.4.4.1.

MUNICIPIO	Amax (gal), para Tr = 10 años	Amax (gal), para Tr = 100 años	Amax (gal), para Tr = 500 años
Zapotlán el Grande, Jalisco	34	81.35	135.225

**Tabla 4.1.2.4.4.1.** Aceleraciones máximas para diferente periodo de Retorno en el Municipio de Zapotlán (Fuente: CENAPRED, 2004)

En caso de que un estado o municipio lleve a cabo estudios de riesgo para obras en particular, se deben solicitar mapas específicos a alguna de las instituciones participantes en la elaboración del PSM 2004, como se muestra en la Figura 4.1.2.4.4.1.(el sistema también es capaz de generar mapas para periodos estructurales fundamentales hasta de 3 s.). De esa manera se puede determinar,

Por ejemplo, si para periodos de retorno de 100 años o menos se alcanzan o superan aceleraciones del terreno de 150 gal. En ese caso, habrá que dar alta prioridad a la aplicación, actualización o creación de un reglamento de construcción para el propio estado o municipio.



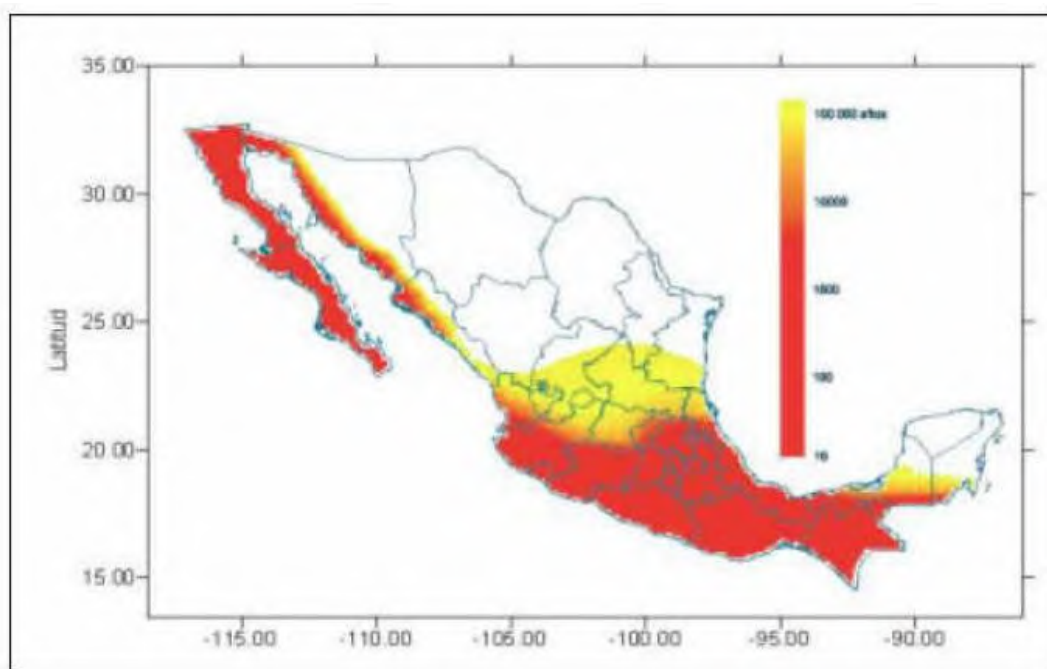
**Figura 4.1.2.4.4.1.** Aceleraciones máximas de México (Fuente: PSM 2004).

Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes. De la (Figura 4.1.2.4.4.1.) se observa que el municipio de Zapotlán el Grande se tiene aceleraciones de 73.64 cm/seg<sup>2</sup> hasta 122.67 cm/seg<sup>2</sup>.

La aplicación de la información derivada de estos mapas, junto con las características estructurales y estado físico de las construcciones, permitirá que especialistas emitan recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de las obras civiles.

#### **4.1.2.4.5. Mapa de Periodos de Retorno para Aceleraciones de 15% g o mayores**

Se sabe que, para los tipos constructivos que predominan en nuestro país, los daños son considerables a partir de un nivel de excitación del terreno igual o mayor al 15% de *g* (aceleración de la gravedad terrestre). Por tal razón, utilizando información reciente, la Comisión Federal de Electricidad generó el mapa actualizado de Periodos de Retorno para Aceleraciones de 0.15 de *g* ó mayores, (Figura 4.1.2.4.5.1.).



**Figura 4.1.2.4.5.1.** Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (Fuente: CFE, 2004). La escala del lado derecho tiene valores en años.

Si adicionalmente se toma en cuenta el volumen de población, del cual un porcentaje significativo estaría expuesto a los efectos del sismo, pueden definirse prioridades para



estudios específicos de seguridad estructural, actualización de reglamentos de construcción, etc.

#### **4.1.2.4.6. Aceleraciones Máximas Teórica Probable**

El cálculo de aceleraciones teóricas se realizó tomando en cuenta las distancias más cercanas a las trazas de las fallas de la sección de estructuras principales, en el cual se consideró las potencialmente peligrosas analizando su comportamiento sísmico histórico e instrumental. Este último de los catálogos del S.S.N., la C.F.E y SisVoc Estos criterios fortalecen la idea que en caso de una activación estas estructuras son las que representa mayor peligro sísmico.

Por otra parte la asignación de magnitudes máximas creíbles se sustenta en las dimensiones geométricas de las estructuras geológicas. Al sustituir en la función de Bufaliza (1984) y con las relaciones matemáticas propuestas por Malagón y López (2006), se obtuvieron los valores de aceleración teórica expresados como una fracción de “g”. Los valores de la magnitud y aceleración teórica se muestran en la (Tabla 4.1.2.4.6.1.), para sismos de magnitud máxima y estructuras geológicas capaces de generar eventos de grandes magnitudes y próximos al Municipio de Zapotlán el Grande, donde se observa que la Trinchera Mesoamericana es la estructura geológica que genera el valor máximo de aceleración con 0.45 g, sin tomar en cuenta efecto de sitio según Bufaliza (1984) y 0.17 “g”, según Malagón y López, (2006), al suponer un sismo de 8.2 grados en la escala de Richter en las costas de Jalisco y a una distancia de 90.81 tomando en cuenta efecto de material a nivel superficial, que puede considerarse valle aluvial.

<b>Aceleraciones teóricas máximas con centro Ciudad Guzmán</b>				
<b>Estructura</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Bufaliza(g)</b>	<b>Malagón y López(g)</b>
Sismo 1858	6.0	55.48	0.59	0.22
Sismo 1911	7.9	25.18	0.41	0.20
Sismo 1912	6.0	82.07	0.64	0.22
Sismo 1932	8.2	90.81	0.45	0.17
Sismo 1985	8.1	253.36	0.62	0.16
Sismo 1995	7.5	79.41	0.49	0.19
Volcán de Colima	5.0	22.54	0.64	0.28

**Tabla 4.1.2.4.6.1.** Aceleración Teórica Máxima ante sismos a diferentes distancia epicentral.

De acuerdo a los valores obtenidos con la relación de Bufaliza (1984), son muy altos (mayores a 0.2 g) debido a que no considera los materiales del subsuelo y no toma en



cuenta efecto de sitio. La relación de Malagón y López (2006), considera el tipo de suelo, ya sea valle aluvial o roca, lo que ajusta los valores a un modelo más apegado a la realidad y efectos que se pudieran presentar en el Municipio de Zapotlán el Grande.

#### **4.1.2.4.7. Funciones de Transformación e Índices de calidad del Peligro o Amenaza.**

Las funciones que traducen los valores absolutos de una variable (indicador) a un índice de calidad se denominan Funciones de Transformación, y no siempre son lineales. En algunos casos los indicadores de calidad serán cualitativos mientras que en otros serán cuantitativos.

Si los indicadores a usar son cualitativos, se describirán claramente cuáles son los criterios usados para valorar la calidad del Peligro o Amenaza (Tabla 4.1.2.4.7.1.). Los Índices de calidad podrán ser individuales para cada indicador o compuestos, pero siempre cuidando que al calcular un índice compuesto no se pierda información importante para determinar el estado del medio ambiente; esto se puede lograr en parte mediante la identificación de banderas rojas que indiquen una calidad inaceptable de algún componente ambiental que interviene en el índice compuesto.

Se podrán proponer banderas rojas (zonas de riesgo) para algunos indicadores ambientales, es decir, valores umbral que si cruzan nos deben de alertar de la presencia de impactos significativos. Tales banderas rojas podrán indicar el incumplimiento de la normativa ambiental o riesgos importantes para la salud.

En Sismología una de las variables utilizadas fue el concepto de magnitud de un sismo, introducido para proporcionar una medida instrumental del mismo, utilizando mediciones del movimiento de la tierra tomando en consideración la distancia y la profundidad focal. El desarrollo posterior condujo al uso de muchas fases sísmicas diferentes y a esfuerzos ya sea para "unificar" los resultados obtenidos por métodos diferentes en una medida común de la energía sísmica o de utilizar diferencias entre estimados individuales para un sismo dado para construir un cuadro del carácter de la fuente. Las estadísticas de las magnitudes han venido a proporcionar la base para el estudio y la comparación de la actividad sísmica de diferentes regiones de la tierra, o para estudiar la variación de actividad con el tiempo en una región dada.

La energía liberada en el foco del terremoto se define en función de la amplitud máxima de la onda sísmica, cuya ecuación está dada de la siguiente forma:

$$M_{\text{richter}} = ML = \log A - \log A_0; \log A_0 = 6.37 - 3 \log A$$

La Tabla 4.1.2.4.7.1. Muestra la relación de la magnitud con sus índices de calidad.





Ic	Descripción	Calidad
1	Generalmente no se siente, pero es registrado (< 3.5)	Calidad optima
2	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores (Magnitud 3.5-5.4)	Buena Calidad
3	Ocasiona daños ligeros (Magnitud 5.5-6.0).	Calidad Moderada
4	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente (Magnitud 6.1-6.9).	Baja Calidad
5	Fuerte Terremoto. Causa graves daños (Magnitud 7.0-7.9)	Muy Baja Calidad
6	Gran Terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas al epicentro (Magnitud 8 o mayor).	Degradación Total

**Tabla 4.1.2.4.7.1.** Relación de los Índices de Calidad para Peligro sísmico (Fuente: Malagón, 2009)

Con el fin de determinar el peligro sísmico de las estructuras que pudieran representar mayor riesgo para el Municipio de Zapotlán el Grande es necesario realizar la estimación de la aceleración teórica máxima creíble debido al movimiento de una estructura geológica.

Para realizar la estimación de la aceleración teórica máxima que los sismos históricos pudieron originar en el Municipio de Zapotlán, se utilizó la relación de Bufaliza (1984) quien propuso las leyes de atenuación basadas exclusivamente en temblores mexicanos. La relación utilizada se basa, en la dependencia de la magnitud y la distancia epicentral cuya ecuación se da en la siguiente relación matemática.

$$\text{Log } a = 0.349 + 0.307 M - 0.211 \log R - 0.0027 R$$

Donde: a = Aceleración Teórica Máxima

M = Magnitud del sismo

R = Distancia epicentral del sismo al sitio de estudio

El índice de la calidad del peligro o amenaza y su relación con la aceleración teórica máxima se muestra en la (Tabla 4.1.2.4.7.2.)



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



Ica	Distancia (km)	Magnitud (ms)	Aceleración (g)
1	100	4.5 – 4.9	0.01 – 0.015
2	90	5.0 – 5.5	0.02 – 0.03
3	80	5.0 – 5.9	0.03 – 0.04
4	60	6.0 – 6.5	0.05 – 0.07
5	40	6.6 – 6.9	0.09 – 0.11
6	20	7.0 - 7.5	0.15 – 0.21 (o mayor)

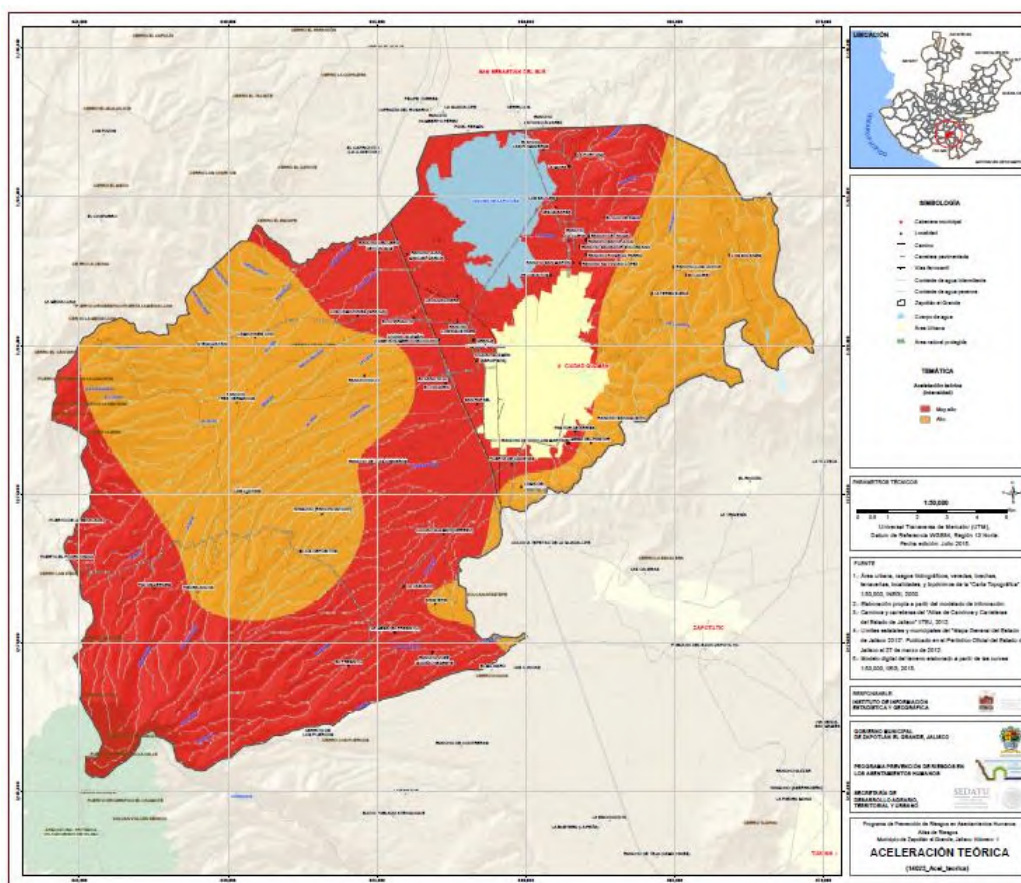
**Tabla 4.1.2.4.7.2.** Relación de la aceleración teórica máxima con los índices de calidad de peligro (Malagón, 2009)

El índice de calidad para la aceleración teórica máxima se manejara solamente como de mala calidad si el valor sobrepasa de 0.2 g. El resto de valores obtenidos para diferentes distancias y magnitudes se puede considerar aceptable.

Para referencia, los sismos de campo lejano como el evento de 1932 ( $M = 8.2^\circ$ ), ocurrido en las costas de Jalisco a 90.81 Km de Ciudad Guzmán, generarían aceleraciones en el sitio de 0.14 g en roca y de 0.17 g en valle aluvial a nivel superficial, que de cierta manera pudieran ser aceleraciones de peligro dado que se encuentran cerca de 0.2 g, y estaría influenciado por la amplificación de la onda sísmica debido a las condiciones del subsuelo.

#### **4.1.2.4.8. Aceleración teórica máxima para el Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco.**

Se construyó un plano de aceleraciones teóricas máximas para el Municipio de Zapotlán, tomando en cuenta un sismo de magnitud 8.2 grados en la escala de Richter ubicado al sur de Jalisco distancia epicentral a Ciudad Guzmán es de 90.81 km que es la cabecera Municipal de Zapotlán el Grande. Las aceleraciones obtenidas oscilan entre 0.18 g y 0.17 g tomando como referencia un Valle Aluvial, que puede alcanzar valores hasta de 0.1813 g, que es considerada como la zona de mayor aceleración teórica máxima para el Municipio. En el (Mapa 4.1.2.4.8.1.). Se muestra el plano de aceleraciones obtenidas, considerando peligro Muy Alto para Ciudad Guzmán (Mapa 4.1.2.4.8.1.).



**Mapa 4.1.2.4.8.1.** Valores de aceleración máximas teóricas, obtenidas para el Municipio de Zapotlán el Grande (IEEG, 2015).

#### 4.1.2.4.9. Implicaciones de la actividad sísmica y la aceleración del terreno

Después de haber realizado el análisis regional y local de la sismicidad en el Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco y observado el comportamiento de la sismicidad a través de diversos catálogos e información sísmica de la región se está preparado para plantear ciertas hipótesis del comportamiento sísmico de la zona en estudio.

La sismicidad que se puede dar en la zona de estudio, está asociada con el movimiento de placas en el pacífico, a los movimientos del bloque Jalisco y al ascenso de magma, asociado al Volcán Colima. El promedio de que ocurran terremotos devastadores en esta zona es de 126 años y de 70 en el caso de temblores de menor intensidad, pero que también pueden provocar daños a la población. La amenaza recae sobre todas las poblaciones incluidas en la cuenca, pero se esperan mayores daños en las áreas que se encuentran en las partes bajas de la cuenca (5,042.5 has), las cuales corresponden a las zonas con mayor densidad poblacional.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



La amenaza es mayor en zonas que se establecieron sobre las fallas activas o suelos propensos a la licuefacción. Tal es el caso de la parte noreste de Ciudad Guzmán, en la que se encuentran las colonias: J. Ma Morelos, Loma Bonita, Mansiones del Real, La Cantera, E. Zapata, Empleados Municipales, Olivos, Lázaro Cárdenas, Universitaria, Los Doctores, Esquímulas, Los Pintores, Valle Zapotlán, Alamo, Fcto, Zapotlán, Insurgentes, San José, La Palma, Valle del Sol, Jardines del Sol, Villas del Nevado, Provipo, El Triangulo, 16 de septiembre, Santa Rosa, CTM, Revolución, CNOP, Ejidal, El Tinaco, Unión de Colonos, José Zaragoza, Villa Olímpica, Central de Abastos.

Se ha venido observando que la actividad sísmica a todo lo largo de la trinchera Mesoamericana está clara, y el alto nivel sísmico de actividad a nivel continental. Es cierto que la magnitud de estos eventos es menor que los sismos de límite de placa en la zona de subducción y en ocasiones imperceptible para los habitantes de la zona, pero el análisis de la sismicidad de los monitoreos locales demuestra que hay estructuras tectónicas activas que hasta ahora eran desconocidas. Es labor a futuro el llegar a su pleno conocimiento ya que hasta ahora no ha sido posible profundizar en este aspecto por falta de datos. Todo ello permitirá incluir muy posiblemente esta región, de una forma específica, en futuras evaluaciones de peligrosidad sísmica de México.

Del análisis de la sismicidad hacia el sur del estado de Jalisco, y a lo largo de la costa, se puede observar la franja de actividad sísmica.

Después del estudio de la microsismicidad del área de Zapotlán el Grande, se han obtenido unos resultados y propuesto ciertas conclusiones que necesitan de un estudio más detallado y en profundidad, como se ha venido manifestando, reconociendo el gran potencial de estudio que tiene la zona, a nivel regional y local en el Municipio.

Como se ha visto la zona norte del Graben de Colima existe bajo nivel de sismicidad en la parte norte, siendo los sismos a distancia los que afectan al Municipio, por lo que es necesario la instalación de una red sísmica temporal por un período mínimo de dos años para identificar las estructuras tectónicas locales sísmicamente activas.

El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente en la zona, ocurrió en la frontera entre la Placa Tectónica de Rivera y el Bloque Jalisco en 1932, con magnitud de 8.2º. y que afectó grandemente a Ciudad Guzmán.

La alta actividad sísmica en la costa puede activar estructuras geológicas (Fallas) a nivel continental, especialmente en el Municipio de Zapotlán.

La aceleración máxima teórica obtenida para el municipio es alta y oscila entre 0.14 a 0.17 g es alta y cercana a presentarse una aceleración de 0.2 g, dependiendo del tipo de evento que se registre puede ser de peligro Alto para la zona urbana.





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



#### 4.1.2.5 Licuefacción de suelos

La licuación (o licuefacción) de suelos, ocurre cuando un material no consolidado (generalmente arenas) pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de una vibración intensa y rápida (sismos), que rompe su estructura granular al reducir su presión intergranular. Al iniciarse la vibración, por efecto de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto (por pérdida del soporte mutuo entre los granos); cuando el movimiento cesa, el material tiende a compactarse bruscamente, produciendo las presiones intersticiales que causan la licuación.

Durante los terremotos el movimiento del terreno puede causar una pérdida de la firmeza o rigidez del suelo que da como resultados el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. El proceso que conduce a esta pérdida de firmeza o rigidez es conocido como *licuación del suelo*. Este fenómeno está principalmente, más no exclusivamente, asociado con suelos saturados poco cohesivos. El término licuación, incluye entonces todos los fenómenos donde se dan excesivas deformaciones o movimientos como resultado de transitorias o repetidas perturbaciones de suelos saturados poco cohesivos.

Según Fernández y Crumley, 2007, el suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante la sacudida sísmica. El incremento de la presión de poro provocado por la licuación, puede generar chorros de agua y aire mezclados con sedimentos finos, que cuando son expulsados sobre la superficie del terreno, forman volcanes de arena y agua.

Éstas, manifestaciones, notoriamente visibles en la superficie del terreno, pueden constituir indicadores de áreas susceptibles a la licuefacción. Los materiales más vulnerables a la licuefacción son: Las arenas limpias, no consolidadas y saturadas y los ambientes sedimentarios más favorables para la génesis de licuefacciones son: playas, barras arenosas y sistemas fluviales, ambientes lacustres y fluviolacustres.

En primer lugar es muy importante saber que los únicos materiales térreos que presentan el fenómeno de licuación son los suelos granulares que tengan una distribución de partículas uniforme y con cierta cantidad o contenido de materiales finos como limos o arcillas. Es decir: gravas y arenas bien graduadas, arenas finas y arenas limosas.

Entre las condiciones necesarias que se deben reunir para que los suelos granulares experimenten el fenómeno de licuación se encuentran: la distribución granulométrica de sus partículas, la baja densidad de los materiales, su ubicación bajo el nivel freático (suelos saturados) y, principalmente, estar sometidos a la acción de fuerzas dinámicas como las que generan los sismos.

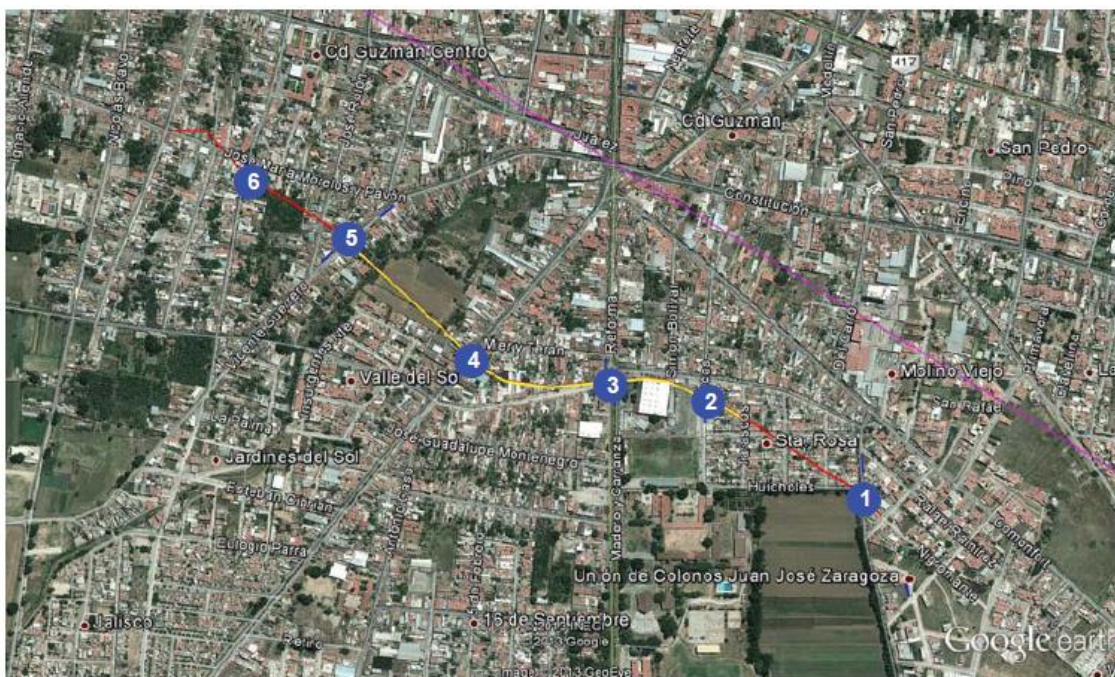
Un suelo arenoso totalmente saturado se licua cuando la resistencia al esfuerzo cortante entre sus partículas disminuye a tal grado que la mezcla agua-suelo se comporta como un semilíquido o líquido.

Tal fenómeno está condicionado por la generación de presión en el agua, también reconocida como presión de poro, dentro de la masa del suelo, lo que determina la reducción de los esfuerzos efectivos; y con ello, la disminución y pérdida temporal de su resistencia al esfuerzo cortante. Los aumentos de presión en el agua, que inducen el fenómeno de licuación, son provocados por la acción de los movimientos sísmicos. Una característica muy importante que indica la ocurrencia de licuación de suelos es la expulsión de una mezcla agua-suelo a través de pequeños volcancitos o grietas que se forman en la superficie del terreno.

El fenómeno de licuación de suelos tiene un potencial destructivo muy alto. En México, así como en otros países, el fenómeno de licuación de suelos ha causado daños muy severos en obras de ingeniería, infraestructura y vivienda; tales son los casos reportados durante los sismos de Michoacán, 1985, Manzanillo, 1995 por mencionar algunos casos.

#### **4.1.2.5.1. Tectónica y estratigrafía del suelo de Ciudad Guzmán**

De acuerdo a sondeos geotécnicos realizados por Lazcano en enero del 2013, a lo largo de la zona de falla (Figura 4.1.2.5.1.1.), el suelo está constituido de los 5 m superficiales principalmente por depósitos de suelo de origen lacustre por limos arenosos y arenas limosas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

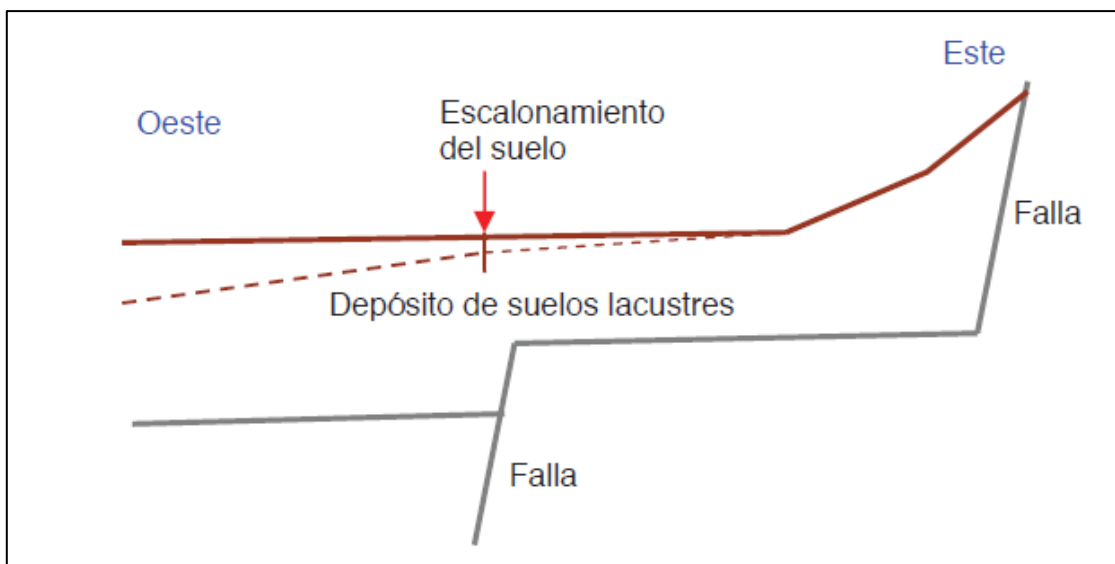


**Mapa 4.1.2.5.1.1. Localización de Sondeos Geotécnicos (Fuente: Lazcano, 2013).**

De acuerdo al resultado obtenido con los sondeos dinámicos sus rigideces son muy blandas dentro de los 4 a 10 m superficiales y posteriormente hay rigideces medias a altas. No se encontró agua dentro de los 4 m superficiales pero si contenidos de humedad altos, posiblemente producto de fugas de líquido por rupturas de tuberías.

En los sondeos geotécnicos no se encontró oquedad alguna, ni se infieren tampoco oquedad en ninguna de las doce líneas geofísicas.

De acuerdo a los estudios Geotécnicos (Lazcano, 2013) y Geofísicos (Guzmán, 2013) realizados en Ciudad Guzmán, se encontró que a consecuencia del escalonamiento en la zona de roca hay espesores diferentes de depósitos de suelo, más profundos hacia el valle. Al consolidarse el suelo, los asentamientos son mayores en la zona oeste (Figura 4.1.2.5.1), y eso origina tensiones en la superficie que a su vez se están manifestando como escalonamiento (Lazcano, 2013).



**Figura 4.1.2.5.1.** Corte esquemático del subsuelo en Ciudad Guzmán, Jal. Y posible explicación del escalonamiento del terreno superficial. (Fuente: Lazcano, 2013).

El escalonamiento en roca posiblemente puede deberse a una falla geológica. De hecho el valle de Ciudad Guzmán (Zapotlán) es una fosa tectónica o graben alargado en dirección NNE. Un graben es una estructura geológica delimitada por un par de fallas o sistemas de fallas normales, que por esfuerzos de tensión en la corteza se produce hundimiento de un bloque rocoso. En el (Mapa 4.1.2.5.1.2). Se muestra una fotografía de satélite en donde se observa el valle de Ciudad Guzmán (Zapotlán), los trazos de las fallas que lo limitan y el trazo del escalonamiento que está ocurriendo en el terreno. Los trazos de las fallas geológicas y del escalonamiento del terreno son aproximadamente paralelos.





**Mapa 4.1.2.5.1.2.** Fosa tectónica o graben delimitada por dos sistemas de fallas paralelas (Líneas color fucsia) (Fuente: Lazcano, 2013).

El sismo de 1985 produjo un escalonamiento a lo largo de un trazo que, coincide con el escalonamiento de septiembre del 2012. En 1985 los hundimientos alcanzaron hasta un metro mientras que en 2012 no de 1985 alcanzaron los 10 cm. Posiblemente el escalonamiento de 1985 estuvo asociado al fenómeno de licuefacción del suelo y a eso se debió su amplificación de la onda sísmica.

En 1985 investigadores recorrieron varios puntos de la ciudad y en particular, en la calle Vicente Guerrero, se encontraron en ese tiempo, el escalonamiento que ahí se presentó fue cercano a 80 cm. Pero en la actualidad es evidente que ha seguido hundiéndose la zona oeste más que la este. En el 2015 el Instituto de Información Geográfica (IIG), realizó un recorrido por la zona, ratificando la teoría de Lazcano, 2013, encontrando desplazamientos hasta de 1 m o mayores en el 2015 (Fotografía 4.1.2.5.1.1.). Así el proceso de consolidación sigue su marcha.





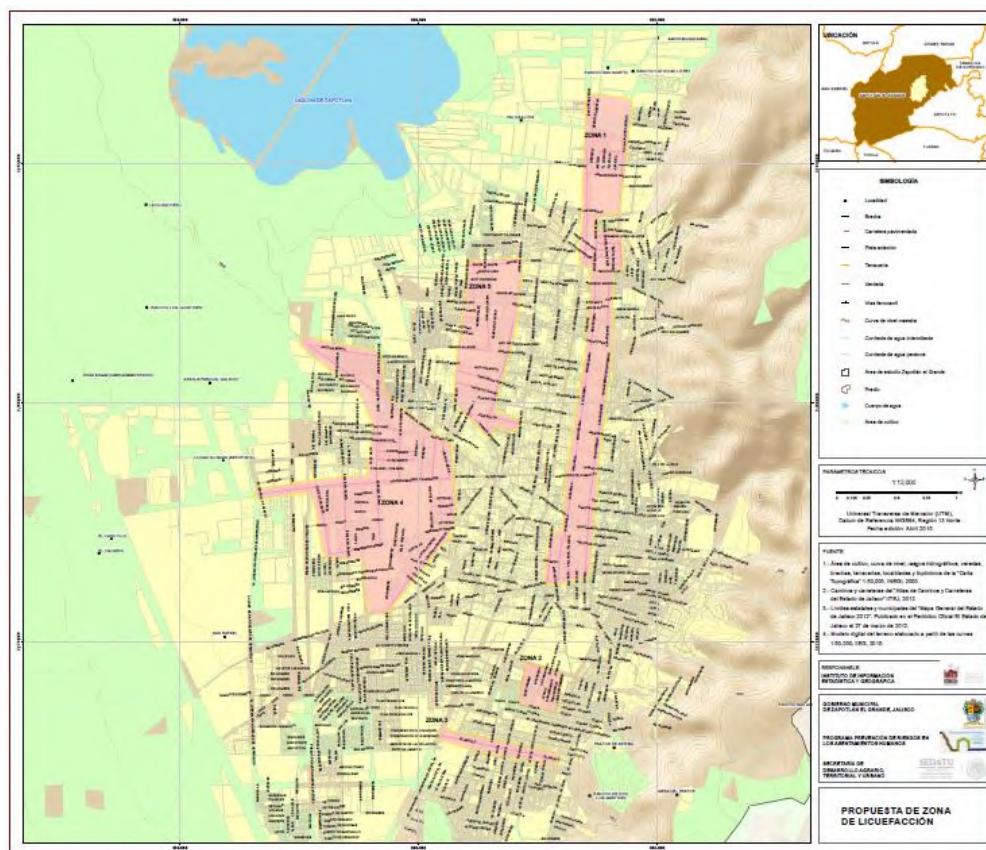
**Fotografía 4.1.2.5.1.1.** Desplazamiento aprox. de 1 m, en la Calle Vicente Guerrero (Fuente: IIEG, 2015).

Posiblemente el hundimiento súbito de septiembre del 2012 estuvo asociado por un lado a las grietas de tensión producidas por los asentamientos diferenciales, asociados a infiltración de agua del arroyo que corre paralelo a la calle Vicente Guerrero, aproximadamente a 80 m al suroeste. El infiltrarse agua del cauce del arroyo pudo haber corrido hacia el sur, reblandeció el suelo y produjo los asentamientos.

#### **4.1.2.5.2 Zonas susceptibles a Licuefacción de suelos en el Municipio**

En la zona urbana de Ciudad Guzmán el peligro de presencia de hundimientos, se debe a que el material en donde está asentada es susceptible de erosionarse en forma acelerada, sobre todo si existen fugas en el sistema de agua y alcantarillado, como el caso de algunas zonas en el área urbana. También debido a las condiciones inestables de este suelo, es posible que durante un fenómeno sísmico, combinado con una saturación de agua, el suelo se ablande, presentando el fenómeno de licuefacción y las construcciones que se encuentran en su superficie se hundan. Otra razón es que existen pozos que se encuentran a menos de 500 m unos de otros, lo que influye en el abatimiento y posterior hundimiento del terreno. En el Mapa 4.1.2.5.2.1., se muestra el mapa de zonas susceptible

a que se presente el fenómeno de licuefacción, debido a la presencia de ruptura de tuberías hecho que indica infiltración de fluidos, mezclándose con el material arcillo-arenoso de la zona y con la posibilidad latente de la presencia de un sismo de gran magnitud ( $M_w > 6.0$ ), cuestión que hace que la zona sea potencialmente sísmica.



**Mapa 4.1.2.5.2.1.** Zonas potencialmente susceptibles a Licuefacción de suelos en Ciudad Guzmán (Fuente IIEG, 2015).

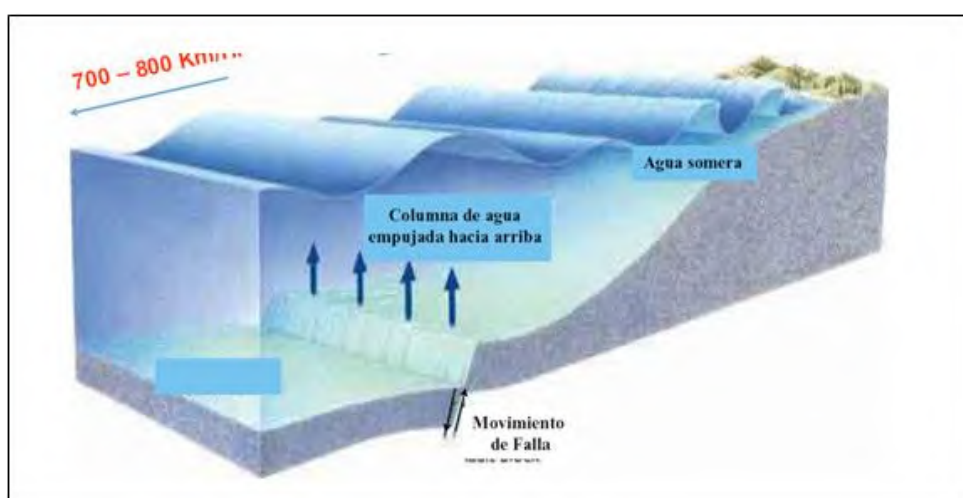
Por las condiciones del subsuelo en Ciudad Guzmán y la presencia de una zona altamente sísmica la hace área de Alto Peligro para que se presente el fenómeno de Licuefacción.

#### 4.1.3. Tsunamis o maremotos (NO APLICA)

La palabra *tsunami*, de origen japonés, se usa internacionalmente para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden

arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino (CENAPRED, 2005).

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano (Figura 4.1.3.1), ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares (Ferraras et al., 2005).

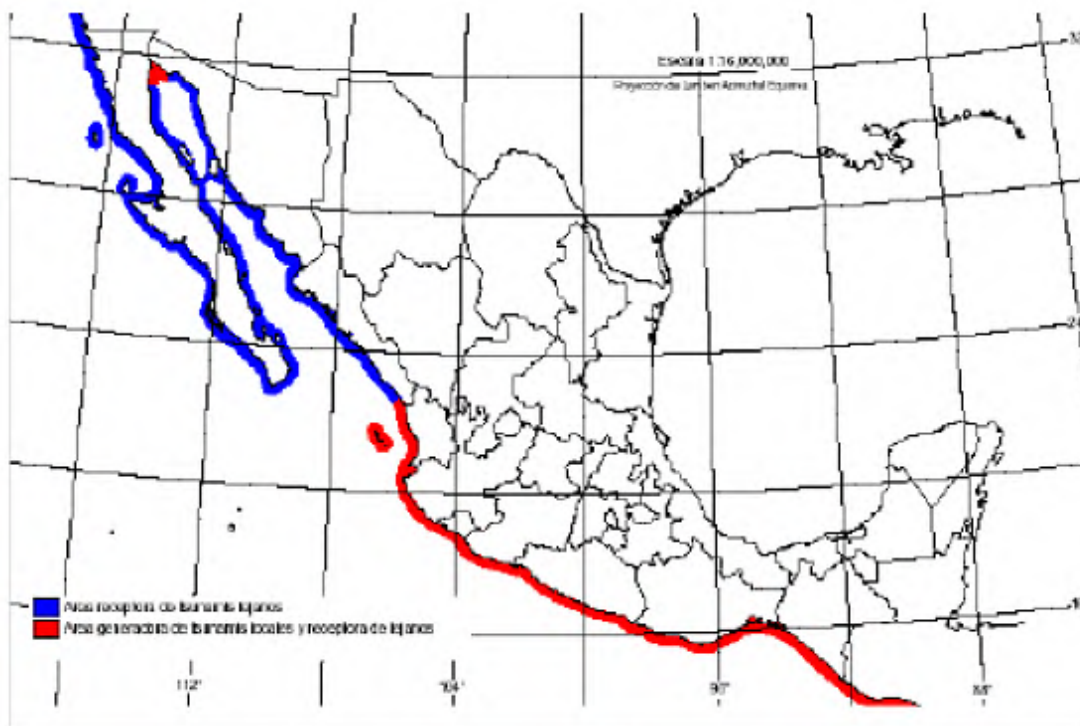


**Figura 4.1.3.1.** Esquema de generación y propagación de un tsunami (Fuente: Ferraras *et al.*, 2005).

Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que: a) el hipocentro (punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla) del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial); b) ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir, que la falla tenga movimiento vertical: que no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral, y c) en cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente (CENAPRED, 2005).

Los tsunamis se clasifican en locales, cuando el sitio de arribo se encuentra dentro o muy cercano a la zona de generación, regionales, cuando el litoral invadido está a no más de 1000 km, y lejanos, cuando se originan a más de 1000 km. (CENAPRED, 2001a) identifica las zonas que, con periodos de retorno muy variables, pueden estar sujetas a la influencia

de olas de gran tamaño (Figura 4.1.3.2.), ya sea como zonas generadoras de tsunamis locales (franja color rojo) y/o como receptora de tsunamis lejanos (franja color azul).



**Figura 4.1.3.2.** Zonas costeras susceptibles de afectación por tsunamis (Fuente: CENAPRED, 2005).

La penetración de las olas sobre el continente, depende básicamente de la topografía en el área inmediata a la línea de costa. Las olas asociadas a maremotos pueden incluso penetrar a lo largo de ríos y arroyos (CENAPRED, 2005).

#### **4.1.3.1. Zonificación de peligro por tsunamis**

De acuerdo con CENAPRED (2005), la altura máxima esperada para olas que impacten la franja inmediata a la línea de costa en la zona receptora de tsunamis lejanos es de 3 m. Para las zonas generadoras de tsunamis locales, la altura máxima reportada varía entre 7 y 11 m. Por tal razón y a falta de mapas de peligro por tsunami, se establece una cota de 10 m como la altura del peor escenario esperado y se combina con una distancia de 1 km de la costa para definir el área expuesta.

Los tsunamis originados por la ocurrencia de un terremoto cerca o en el fondo del océano son los más comunes y cuando las olas arriban a las costas con gran altura, pueden provocar efectos destructivos como pérdida de vidas y daños materiales. En México la





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino, afectando particularmente a las zonas costeras (Ferrerías et al., 2005).

Por su posición geográfica la zona del **Municipio de Zapotlán no es afectada por este tipo de fenómeno**. La zona de estudio se encuentra aproximadamente a 140 km de las costas, sitio en donde se generarían Tsunamis. Tomando como referencia el sismo del 09 de Octubre de 1995, en donde se generó un sismo de 7.5 grados. Dentro de la zona de estudio, no existen cuerpos de agua de tamaño considerable que sean capaces de generar un Tsunami; la laguna de Zapotlán se ubica al norte del Municipio aproximadamente de 5 a 10 Km de Ciudad Guzmán principal centro urbano. Finalmente se concluye que este tipo de fenómenos **no incide sobre el municipio ni se generan riesgos por Tsunamis sobre el mismo**.

#### 4.1.4. Vulcanismo

Un evento volcánico (nacimiento, destrucción de un edificio volcánico o reactivación de uno preexistente) puede generar la destrucción del área inmediata o la destrucción y / o afectación de un área adyacente (puede ser a veces de cientos de kilómetros) y esta es consecuencia directa del volumen y material volcánico que emitan (cenizas, flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y productos derivados de erupciones freáticas).

México se localiza en una de las principales zonas volcánicas activas del mundo y se ha manifestado con mayor intensidad en la provincia fisiográfica conocida como “Eje Volcánico Transmexicano”. Geográficamente, el municipio de Zapotlán el grande y su cabecera municipal (Ciudad Guzmán), al igual que la mayor parte del estado de Jalisco, se encuentra dentro del Eje Volcánico Transmexicano, más específicamente dentro del denominado graben de Colima, el cual se caracteriza por la presencia del complejo volcánico Colima, desde tiempos históricos se ha generado una actividad cíclica de tipo explosivo con emisiones de flujos piroclásticos y grandes cantidades de ceniza y que puede representar un peligro para las poblaciones entorno al volcán.

El Volcán de Colima o Fuego de Colima ( $19^{\circ}30'45''$ ;  $103^{\circ}37'$ ) tiene una elevación sobre el nivel del mar de 3,860 m. Está ubicado a unos 100 km al sur de Guadalajara y a 30 km al norte de Colima. Forma parte de una cadena volcánica con orientación N-S, constituida por los volcanes Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima. Tiene un volumen aproximado de 10 km<sup>3</sup> y ha crecido a razón de 0.002 km<sup>3</sup>/año (Luhr y Carmichael, 1990). Durante los últimos 430 años, ha presentado alrededor de 50 erupciones que lo colocan como el más activo de Norteamérica (De la Cruz, 1993). Como consecuencia de su actividad, cuenta con el registro histórico más completo de los volcanes mexicanos. (Figura 4.1.4.1.).



El magmatismo de esta zona se asocia a una migración N-S, acompañada de eventos volcánicos explosivos (Maciel, 1994), lo cual explica que los aparatos volcánicos presenten esta orientación. En este sentido, la zona en estudio contiene aparatos volcánicos activos o recientes y la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico existe en forma latente, debido a que es una zona con características geológicas propicias para que en ella, en un tiempo geológicamente corto, suceda un evento volcánico. Los aparatos volcánicos encontrados dentro de la cuenca de la Laguna de Zapotlán, son de dos tipos: 1) monogenético y 2) poligenético.

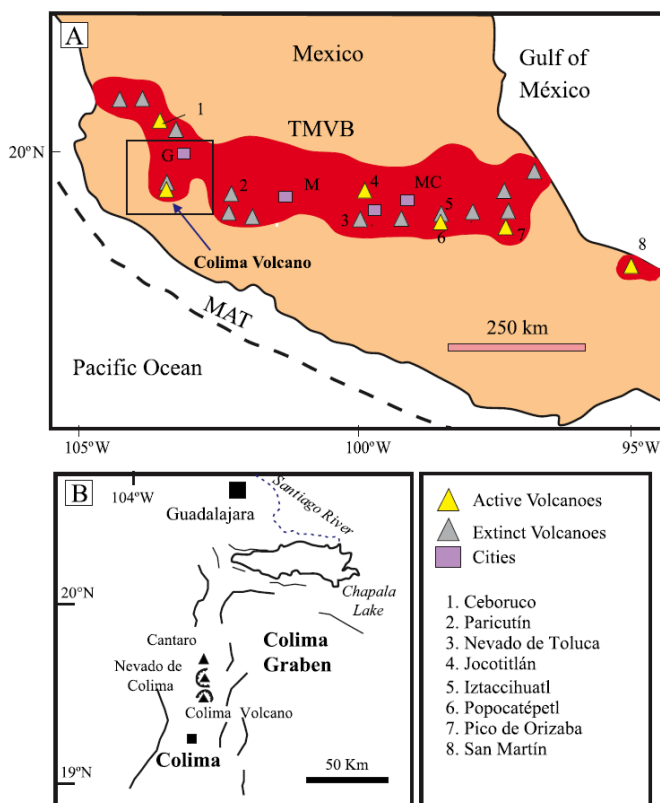
1) Los volcanes monogenéticos presentes en la cuenca se formaron en épocas geológicas recientes. Se distinguen de los poligenéticos, debido a que surgen en un solo periodo eruptivo y su vida activa es muy corta, por lo que no sobrepasan a los 300 metros. Estos volcanes, se desarrollaron en las inmediaciones de la cuenca y son los siguientes: Los Guajes, El Zapote, El Escape, Los Núñez, La Calera, El Pino, Las Tubias, Apastepec.

2) Los aparatos volcánicos poligenéticos (estrato volcanes), son de larga vida activa y tienen varios periodos eruptivos, por lo que algunas veces alcanzan gran altura, como ejemplo de ello se tiene que el volcán Colima presenta una altura de 3.800 msnm. Este tipo de volcanes se desarrollaron principalmente en el lado SW de la cuenca, y son los siguientes: Volcán Nevado de Colima, Volcán de Colima, El Cántaro, el actual Volcán de Colima. Los dos últimos se desarrollaron durante el Cuaternario Superior, por lo que se consideran entre los más recientes. Durante los caminamientos realizados, se observó que la cuenca está cubierta casi totalmente por nuevas capas de tefras emitidas por los volcanes del Cántaro, Nevado de Colima y el extinto Volcán Colima. Además, prácticamente en todo el parteaguas oriental de la cuenca (sitio donde se ubica Ciudad Guzmán), se encontró que aflora toba fina color café claro, que se asocia a la erupción del volcán Nevado de Colima.

Este tipo de volcanes se desarrollaron principalmente en el lado SW de la cuenca, y son los siguientes: Volcán Nevado de Colima, Volcán de Colima, El Cántaro, el actual Volcán de Colima. Los dos últimos se desarrollaron durante el Cuaternario Superior, por lo que se consideran entre los más recientes. Durante los caminamientos realizados, se observó que la cuenca está cubierta casi totalmente por nuevas capas de cenizas emitidas por los volcanes del Cántaro, Nevado de Colima y el extinto Volcán Colima. Además, prácticamente en todo el parteaguas oriental de la cuenca (sitio donde se ubica Ciudad Guzmán), se encontró que aflora toba fina color café claro, que se considera la erupción del volcán Nevado de Colima.

Geográficamente, Ciudad Guzmán (al igual que la mayor parte del estado de Jalisco), se encuentra dentro del Eje Neovolcánico, más específicamente dentro del denominado graben de Colima, el cual se caracteriza por la presencia del complejo volcánico Colima. De los volcanes identificados, el Colima podría representar alguna amenaza para Ciudad

Guzmán e incluso para toda la cuenca Laguna de Zapotlán, debido a que se considera como uno de los más activos de México, por presentar desde tiempos inmemorables una actividad continua (50 erupciones registradas).



**Figura 4.1.4.1.** Localización del Eje Volcánico Transmexicano (superior) y Volcán de Colima (inferior) (Fuente: Saucedo, *et al.*, 2004).

La idea fundamental es determinar el peligro del **Volcán de Colima**, el cual identifique de una manera precisa las áreas urbanas y rurales amenazadas por los diferentes productos arrojados en la actividad del volcán, en el Municipio de Zapotlán el Grande y su cabecera municipal (Ciudad Guzmán).

Para tener la oportunidad de evaluar el peligro que representa el Volcán de Colima (o Volcán de Fuego), el más activo de México y el más cercano al Municipio de Zapotlán el Grande se debe conocer su comportamiento en el pasado. Si no tenemos información al respecto, no sabremos qué tipo de erupción debemos esperar, hasta dónde pueden llegar sus emanaciones y qué daños pueden causar.

El Volcán de Colima ha tenido distintas actividades, desde las más moderadas, como coladas de lava, cuyos alcances son muy reducidos y no representan un peligro para las poblaciones aledañas, hasta erupciones muy grandes, principalmente plinianas (el volcán

emite lava muy viscosa y la explosión es violenta. Se caracteriza por su excepcional fuerza, continua erupción de gas y la expulsión de grandes cantidad de ceniza), que generan columnas de 20 ó más kilómetros de altura.

#### 4.1.4.1. Vulcanismo activo de México

La mayor parte del Vulcanismo activo en México se encuentra ubicado en la porción central del territorio, en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) (Figura 4.1.4.1.1.). EL CVTM atraviesa el país a la altura del paralelo 19 grados N, desde las Costas del Pacífico hasta el Golfo de México y es el producto de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera por debajo de la placa continental de Norte América. El CVTM está conformado por estratovolcanes, calderas, escudos, campos de vulcanismo monogenético, entre otros. Cerca del 50 % de la Población Mexicana vive cerca o en los flancos de un volcán (Macías, 2005).

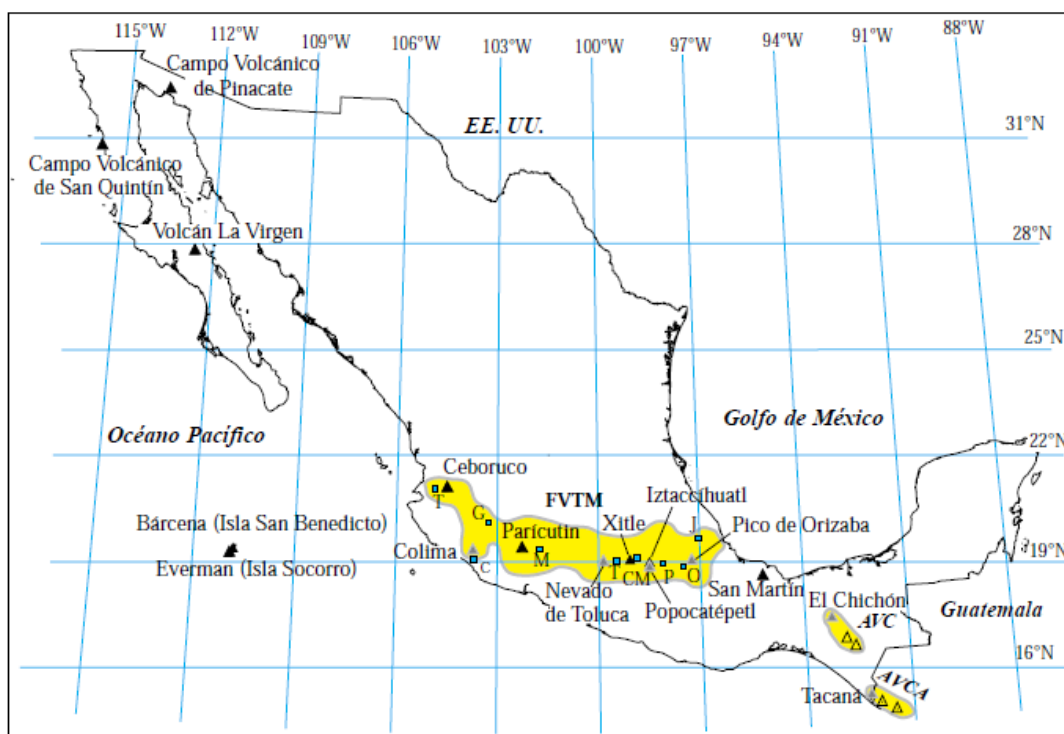


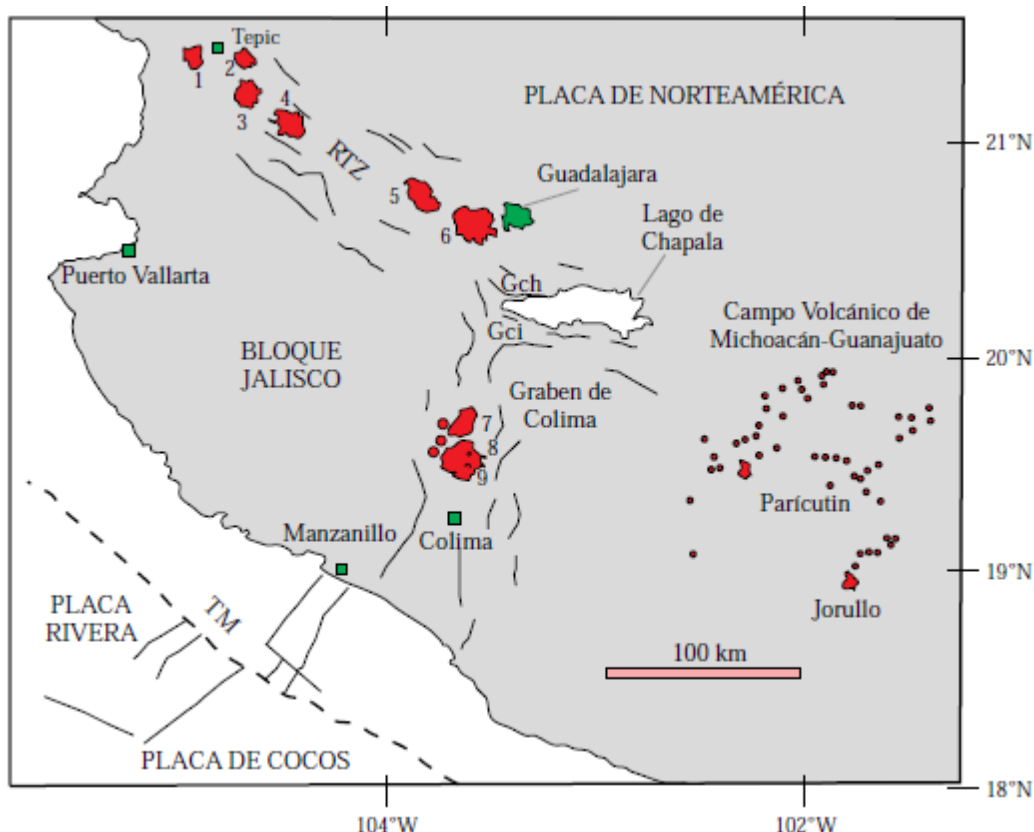
Figura 4.1.4.1.1. Localización de los principales volcanes de México (Fuente: Macías, 2005).

Sin embargo, los volcanes que representan un peligro real para la población son los volcanes poligenéticos que hacen erupciones en repetidas ocasiones durante miles e incluso millones de años y que cuentan con una cámara magmática a profundidad.

Un Volcán activo es aquel que presenta algún tipo de actividad interna (como sismos y explosiones) o superficial (como fumarolas y manantiales termales). Todas estas



manifestaciones se deben a la ocurrencia de magma por debajo del volcán. Las principales estructuras volcánicas en el Occidente y las más próximas al Municipio de Zapotlán el Grande, se muestran en la Figura 4.1.4.1.2.



**Figura 4.1.4.1.2.** Esquema de la porción oeste de de la CVTM. Las estructuras volcánicas son: 1) San Juan, 2) Sanganguey, 3) Tepetitlic, 4) Ceboruco 5) Tequila, 6) Caldera de la Primavera, Complejo Volcánico, Cantaros, 8) Nevado de Colima, 9) Volcán de Colima. Las abreviaciones son: RTZ-rift Tepic-Zacoalco, GCH-graben de Chápala, GCI graben de Cítala y TM- Trinchera Mesoamericana (línea discontinua). Las líneas delgadas representan fracturas. (Fuente: Macías, 2005).

El volcán activo más próximo al Municipio de Zapotlán es el volcán de fuego, cuya estructura le pondremos más atención por el peligro que representa para los poblados en torno a él y que analizaremos brevemente su historia eruptiva.



#### 4.1.4.2. Historia eruptiva del Volcán Colima

Los trabajos más detallados sobre la actividad histórica del Colima son aquellos publicados por Bárcena (1887), Waitz (1915; 1935), Arreola (1915), Medina-Martínez (1983), De la Cruz (1993), Saucedo y Macías (1999) y Bretón (2002). En estos trabajos se mencionan erupciones ocurridas en los siglos XVI y XVII (Tello, 1651), el 13 de diciembre de 1606 (Arreola, 1915), el 15 de abril de 1611 (Bárcena, 1887), en 1690 (De la Cruz, 1993), en 1771 (Bárcena, 1887) y muchos eventos menores.

El registro más detallado de las erupciones comienza con la ocurrida el 15 de febrero de 1818 (Sartorius, 1869), que destruyó un domo de lava (Dollfus y Monserrat, 1866) y arrojó escoria y ceniza hasta las ciudades de Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y México (Bárcena, 1887; Arreola, 1915). Después de la erupción quedó un cráter abierto de alrededor de 450 m de diámetro, con paredes que variaban de 50 a 230 m. Posteriormente, inició la formación del domo adventicio “El Volcancito” el 12 de junio de 1869 que concluyó en 1872 (Sartorius, 1869; Bárcena, 1887).

El 21 de agosto de 1869, Orozco y colaboradores reportaron que “El volcancito” estaba localizado a una altura de 3500 m y que había alcanzado una altura de 300 metros. La etapa comprendida entre 1893 y 1903 es especialmente importante en el estudio del Volcán de Colima, ya que tanto el padre Arreola en Colima, Col. como su colega Castellanos, en Zapotlán, Jal. (hoy Ciudad Guzmán), instalaron observatorios para vigilarlo. A partir de esta fecha se hicieron observaciones sistemáticas que duraron hasta 1906, y que eran publicadas en el boletín del Observatorio Meteorológico Central de México (Arreola, 1915).

La erupción explosiva mejor documentada del Volcán de Colima ocurrió en 1913. Antes de ella, la cima del volcán tenía un cráter cubierto por un domo de lava. La erupción comenzó el 17 de enero (Ortiz, 1944) con una serie de explosiones que generaron nubes de vapor y ena. El 20 de enero, la erupción continuó con la formación de una columna pliniana que alcanzó 21 km de altura (Saucedo, 1997). **Esta columna provocó una lluvia de ceniza que en Zapotlán, Jalisco, alcanzó 15 cm de espesor** y en Guadalajara alrededor de 0.5 mm (Waitz, 1915), y llegó hasta Saltillo, Coahuila, a más de 700 km del volcán.

El volumen total de la erupción de 1913 se estimó en 0.9 km<sup>3</sup> (Saucedo, 1997). Durante la erupción también se produjeron flujos piroclásticos que avanzaron 15 km por el flanco sur del volcán, dejando depósitos de ceniza y rocas de 40 m de espesor (Waitz, 1915, Saucedo 1997).

La morfología de la cima del volcán cambió drásticamente; el edificio perdió 100 m de altura y se formó un cráter con un diámetro cercano a los 400 m y profundidad



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



desconocida. Para 1931, la profundidad del cráter oscilaba entre 50 y 100 m (Waitz, 1935; Arreola, 1915); para 1958, el cráter estaba casi completamente ocupado por un tapón de lava en bloques (Mooser, 1961), que entre 1961 y 1962, comenzó a derramarse por la ladera norte del Volcán de Colima formando una lengua de lava que llegó hasta la base norte del volcán en el sitio denominado El Playón.

En 1975-1976 comenzó la generación de flujos de lava acompañados por primera vez de flujos piroclásticos, los cuales fueron documentados por Thorpe *et al.* (1977). Esta clase de actividad inicia con la intrusión de magma que empuja el domo generando derrames andesíticos como en 1982 (Luhr y Carmichael, 1990) y flujos piroclásticos producidos por el colapso gravitacional de las partes externas del domo, como en 1991 (Martín del Pozzo *etal.*, 1987; Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991) o de la parte frontal de los flujos de lava, como en 1998 (Saucedo *et al.*, 2002) o por la destrucción de un domo central por explosiones violentas, como las ocurridas en julio de 1999 y durante los primeros meses del año 2005.

La erupción del 16 de abril de 1991, que originó flujos piroclásticos que rellenaron las barrancas del Cordobán, incentivó la elaboración de mapas de peligros del volcán de Colima (Sheridan y Macías, 1995; Martín del Pozzo *et al.*, 1995; Navarro *et al.*, 2003). Es indudable que la actividad explosiva del Volcán de Colima se ha incrementado durante los últimos 15 años con un incremento paralelo en el número y alcance de los flujos piroclásticos.

La caída de ceniza relacionada con una renovada actividad del coloso representa una seria amenaza para las comunidades asentadas en sus faldas y para las zonas urbanas cercanas.

En su historia, se observa que aproximadamente cada 100 años tiene una erupción pliniana y que la más reciente, en 1913, ha sido la más grande en tiempos históricos; comenzó el 17 de enero y tuvo su pico más alto el día 20 de ese mes.

Los eventos de tipo pliniano se toma como referencia para analizar los posibles escenarios de riesgo y de peligro relacionados con los flujos piroclásticos, los lahares (flujos de escombros y agua) y la caída de ceniza volcánica.

Sin embargo, a pesar de los registros y de la documentada erupción de 1913, no se ha hecho una evaluación completa del riesgo por caída de ceniza durante una potencial erupción pliniana. Uno de los peligros principales es el colapso de techos; se ha calculado que si se acumula una capa de 10 centímetros, es suficiente para que empiece a sufrir daños estructurales, y hasta se colapse.

Al reconstruir ese evento, los depósitos de material alcanzaron un espesor de 45 centímetros a ocho kilómetros de la cima del volcán, y de 15 cm en Ciudad Guzmán,



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



ubicada a 26 kilómetros. Por ello, añadió, se recomienda limpiar constantemente todos los techos durante una erupción pliniana.

Durante este tipo de explosiones casi siempre hay perturbaciones meteorológicas, como lluvia, y la ceniza mojada es más pesada. Además, por ser un material abrasivo (partículas muy finas de vidrio y cristales), al mezclarse con agua puede tapar las alcantarillas. Por otro lado, aunque no se acumule en los techos, puede entrar en las vías respiratorias y ocasionar problemas de salud.

#### **4.1.4.3. Peligro Volcánicos**

En los distintos escenarios de riesgo, la vulnerabilidad de la región los diferentes productos que pueda emitir el volcán en una fase explosiva; dicha vulnerabilidad es mayor en el sector sur del volcán que en el sector norte, debido a la barrera topográfica que representa el Nevado de Colima, cuya estructura sólo permitiría el paso de material de caída libre hacia el norte.

La zona de mayor riesgo por la actividad volcánica es delimitada a partir de la Barranca de Atenquique el Este, y la Barranca de Plátanos al oeste, ambos encajonamientos unidos casi de forma perpendicular con las barrancas de los ríos Tuxpan y Armería. De acuerdo con Martín del Pozzo (1988), los principales productos emitidos en anteriores etapas explosivas, que pueden representar peligro sobre la vida y los bienes instalados en esta zona de riesgo, son los siguientes:

- a) Caída de ceniza
- b) Flujos piroclásticos
- c) Flujo de lava
- d) Flujo de lodo (lahares)
- e) Avalanchas de escombros

##### **a) Caída de ceniza**

Para evaluar el peligro de caída de cenizas de una erupción pliniana se debe valorar, al mismo tiempo, la dirección y la velocidad del viento, pues ello permite hacer simulaciones que indiquen el espesor de la ceniza a cada cierta distancia.

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de la erupción y la duración de los vientos dominantes al suceder esta. La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; si sumamos estas características de los antecedentes históricos de las



erupciones de 1818 y 1913, en que se reportaron caída de ceniza en **Cd. Guzmán** (Flores, 1987) y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación permite establecer dos escenarios de peligro, desde Peligro Alto a Peligro medio.

El primero afectaría principalmente a 62 localidades ubicadas en el sector norte del complejo volcánico “Volcán Nevado de Colima”, siendo las principales **Ciudad de Guzmán**, Tuxpan, Tamazula, la zona conurbana de Zapotiltic- Huescalapa, Zapotitlán de Vadillo, Venustiano Carranza, Atenquique, Tecalitlán, Alista, Copala, El Fresno y un gran número de pequeñas localidades y rancherías diseminadas en toda la región (Suárez y del Pozzo, 1989).

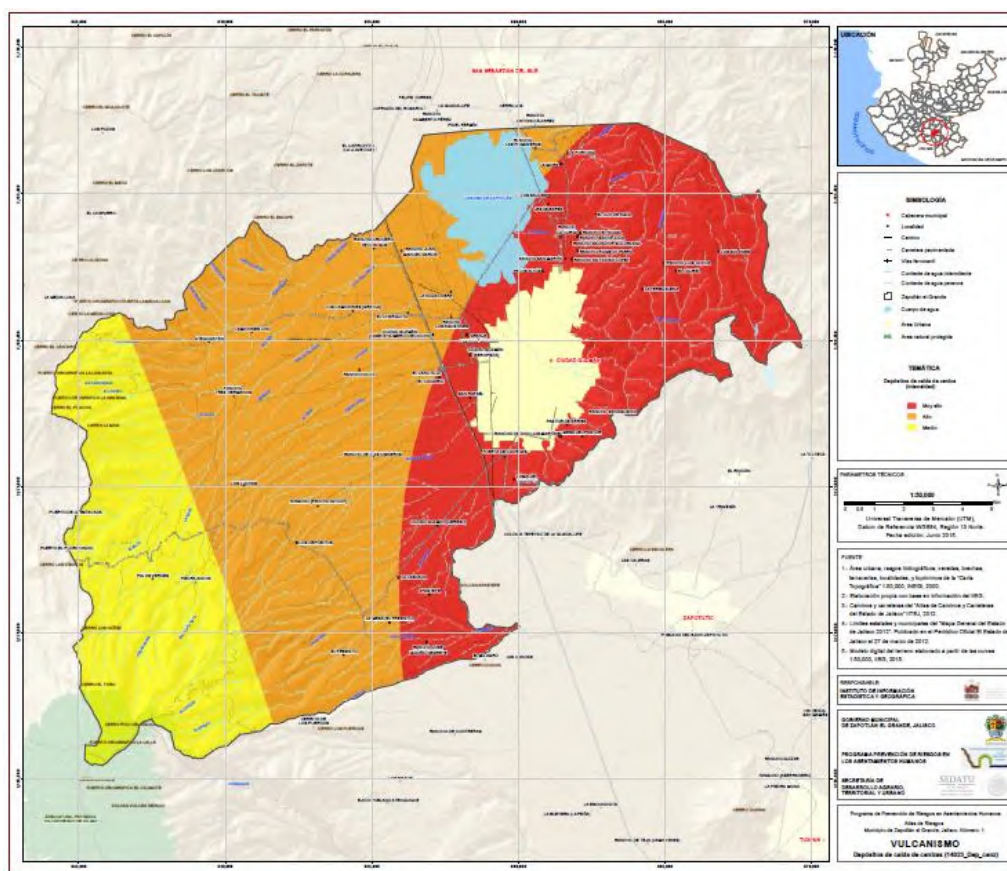
La segunda comprende 37 localidades localizadas en la zona sur inmediata al volcán (Suárez y del Pozzo, 1989), las poblaciones con mayor importancia en esta zona son Quesería, Tonila, San Marcos, La Esperanza y Tenexcamilpa (Mapa 4.1.4.3.1.).



reconstruye mapas de caída de ceniza y calcula la probabilidad, para diferentes estaciones, de que el depósito en el suelo supere los umbrales de carga críticos que determinan daños a los edificios.

Los resultados obtenidos muestran que una erupción pliniana de ese coloso podría causar perjuicios serios en más de 10 pequeñas poblaciones y rancherías y, potencialmente, alcanzar ciudades grandes ubicadas a 10 kilómetros.

Aunque este tipo de sucesos tiene efectos muy locales, una persona que viva a 300 kilómetros del volcán puede experimentar sus consecuencias. Por ejemplo, la ceniza arrojada en 1913 llegó hasta Guadalajara y Saltillo, porque los vientos de la región casi siempre soplan desde el Oeste a Este. También podrían ser un problema importante para el tráfico aéreo. Para el Municipio de Zapotlán si incide este tipo de peligro catalogándolo el peligro Muy Alto para la zona urbana de Ciudad Guzmán (Mapa 4.1.4.3.2.).



**Mapa 4.1.4.3.2.** Distribución del Peligro en Caída de Cenizas para el Municipio de Zapotlán el Grande (Fuente: IIEG, 2015).

Los daños que causaría la caída de ceniza son:



- 1) Colapso de los techos de las casas habitación construida con materiales de mala calidad, según datos del INEGI (1990) el 6.47% de las casas ubicadas en la zona de riesgo por caída de ceniza fueron construidas con materiales
- 2) como lámina, cartón o desecho, habitando en ellas aproximadamente 12,300 personas.
- 3) Colapso de los techos y estructuras de las industrias establecidas en la zona.
- 4) Daño en los suelos agrícolas y en los de agostadero, los cuales varían de acuerdo al espesor de las cenizas acumuladas.
- 5) daños a las líneas utilizadas para el suministro de energía eléctrica, el cual provocaría la suspensión del servicio en un importante sector de la zona de riesgo así como la redacción del flujo eléctrico en puntos alejados, como lo es la ciudad de Guadalajara; este tipo de efecto también lo resentirían las líneas telegráficas y telefónicas, además de posibles incendios forestales.
- 6) El polvo suspendido en el aire puede provocar problemas respiratorios y visuales en la población y en los animales; las sustancias tóxicas emitidas durante una fase explosiva podrían continuar los suministros de agua que proveen a la gran mayoría de las localidades ubicadas en un radio de 20 km, o fijar elementos venenosos en la vegetación que sirve como forraje para el ganado.

#### **b) Flujos piroclásticos**

Si se considera la actividad actual del Volcán de Colima, lo más probable es que su domo continúe en crecimiento y origine flujos piroclásticos, es decir, corrientes turbulentas de gas y material sólido que se mueven al nivel de la superficie, se encañonan, siguen las barrancas principales y pueden superar barreras y llegar a mayores distancias (Mapa 4.1.4.3.3.).

En efecto, estos flujos pueden alcanzar poblaciones ubicadas en un radio de unos ocho kilómetros. En estos días fluyen, pero por magnitud no representan un riesgo para los asentamientos humanos ni para los excursionistas. Los flujos piroclásticos **no representan ningún peligro sobre el Municipio de Zapotlán.**

#### **c) Flujos de lodo (Lahares)**

Los lahares son flujos de material volcánico que se forman durante una lluvia torrencial, y descienden en forma de avalancha de lodo y rocas por el cauce de arroyos y ríos. **No representa ningún peligro sobre el Municipio de Zapotlán.**



El paso de estos flujos de **lodo y rocas** pueden alcanzar una **velocidad** entre 10 y 40 kilómetros por hora.

De acuerdo al Sistema Estatal de Protección Civil Colima, al menos 200 familias en Colima habitan en zona de peligro por el paso de lahares.

A través de la instrumentación sísmica instalada en la **Red Sismológica de Colima** ha sido posible detectar la ocurrencia de este fenómeno.

La restricción será permanente en épocas de lluvia, debido al cercano inicio del **temporal de lluvias**, ante la posible presencia de lahares.

Los flujos de lodo podrían ocasionar problemas en la vías de comunicación entre Colima y Jalisco, en la zona volcánica. Con las primeras lluvias de la temporada, la **ceniza** arrojada por el **Volcán de Colima** durante las explosiones, comienza a descender por las laderas, formando a su paso flujos de lodo y rocas que puede alcanzar una velocidad de entre 10 y 40 kilómetros por hora.

A estos flujos de lodo se les llama **lahares** y son la principal amenaza para poblaciones de **Colima y Jalisco** situadas en la zona volcánica.

Estudios del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, a través de la instrumentación sísmica instalada en el **Volcán de Fuego**, se han podido detectar cuatro lahares.

Por el momento estas avalanchas de lodo y rocas no han ocasionado daños, ya que los flujos se han mantenido al interior del cauce de los arroyos La Lumbre, El Cordovan y Montegrande (Mapa 4.1.4.3.2.).

Actualmente más de 1000 habitantes de Colima y Jalisco habitan en zonas de peligro por Lahares. Este tipo de fenómeno no representan ningún peligro, ni incide sobre el Municipio de Zapotlán.

#### **d) Flujos de lava o Derrames**

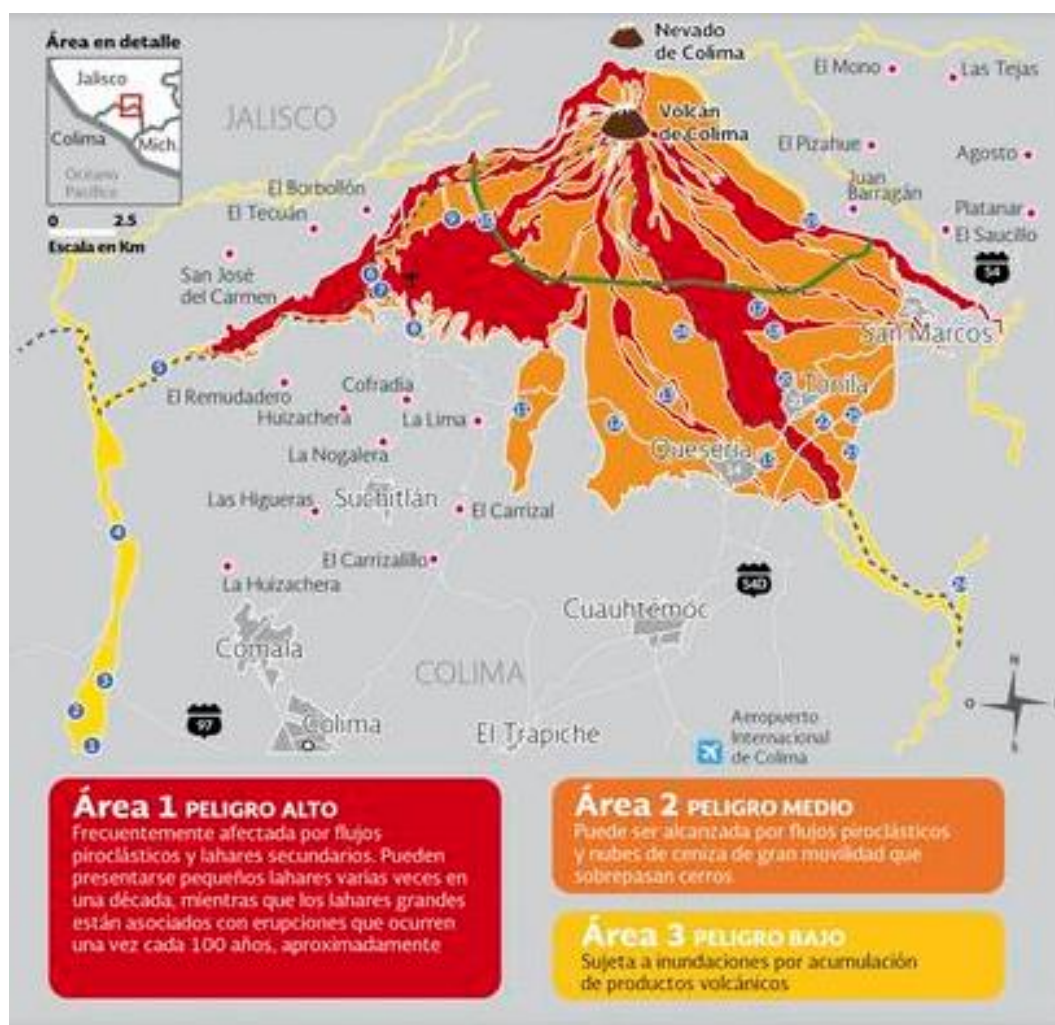
El área de mayor riesgo, por emisiones de lava, se circunscribe a la parte superior del cono y presenta un riesgo reducido a la población asentada en los valles y partes bajas del volcán; ello obedece a que el cráter viscoso de las lavas arrojadas en anteriores eventos históricos, no han permitido que éstas bajen (varios años después de su emisión) a cotas inferior por los 2.000 metros S.N.M.M; otro riesgo inherente a los derrames de lava son la



probabilidad de emisión de pequeños flujos piroclásticos producto de la explosión que sufren las lavas al entrar en contacto con la atmósfera.

De acuerdo a Suárez y del Pozzo, 1989, las localidades que tienen alto riesgo por los flujos de lava es el nuevo centro ejidal de población Juan Barragán, localidades ubicada a escasos 8 kilómetros al Este del cráter a una altura de 1.400 metros S.N.M.M., y situada en el parteaguas de las barrancas de Beltrán y de los duraznos, la Hierbabuena, Confradía, Atenguillo y Caseuntla (Mapa 4.1.4.3.3.).

Los daños económicos por este tipo de emisión se remitirían a la destrucción total de los suelos que se vean afectados por el avance de la lava, dado que su recuperación tendría cientos de años. Para el Municipio de Zapotlán el Grande, **no incide este fenómeno, por lo tanto es nulo el peligro de afectación.**



**Mapa 4.1.4.3.3.** Poblados en peligro por flujos piroclásticos, Lahares y derrames (Fuente: CENAPRED *et al.*, 2004).

#### e) Avalancha de escombros

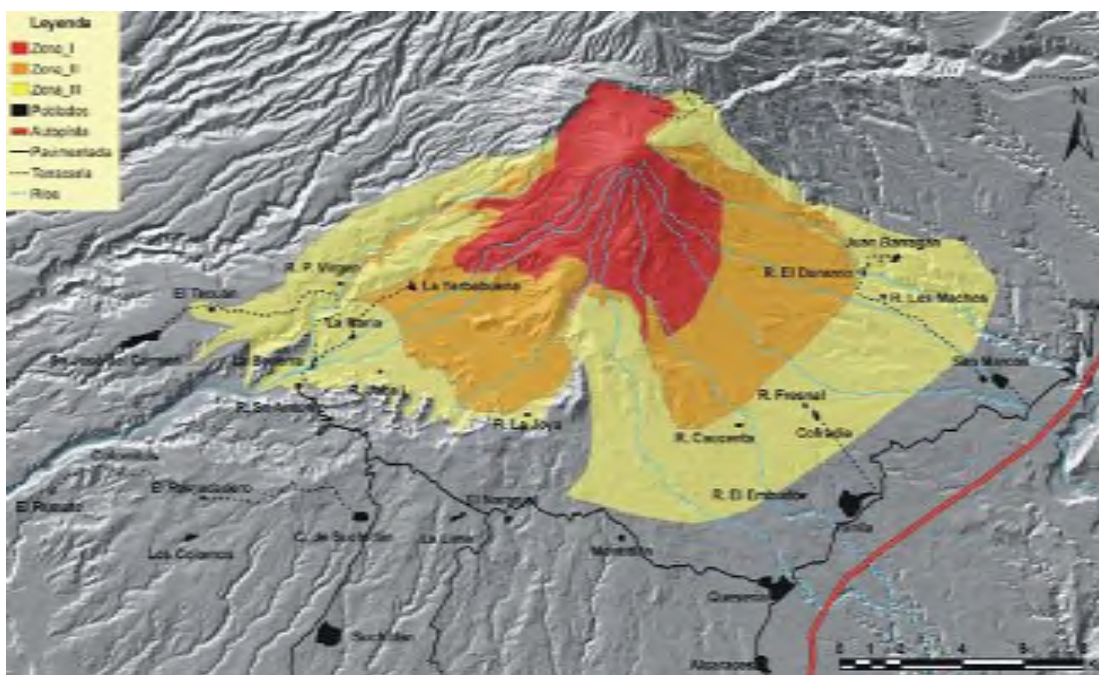
Es el escenario más catastrófico que puede ocurrir en el volcán de Colima, consiste en un derrumbe parcial o total del volcán, cuyos depósitos de escombros cubrirían el valle norte de Colima con espesores mayores a 50 m (Mapa 4.1.4.3.4.). Se han reconocido al menos 3 depósitos de este tipo, con una recurrencia de miles de años, fechándose la última con el método de C14 (carbono 14).



**Mapa 4.1.4.3.4.** Avalanchas y derrames gigantes originados por las erupciones del volcán Colima en los últimos 18,000 años.(Fuente: CENAPRED/PC/SEGOB).

#### 4.1.4.4. Mapa de Peligros

Con base en el registro estratigráfico de la erupción de 1913 y durante la cual ocurrieron varios flujos piroclásticos y el análisis de la información existente hasta el año de 2004, Saucedo et al. (2004), presentaron un mapa de peligros para flujos piroclásticos del Volcán de Colima (Mapa 4.1.4.4.1.). Según estos autores, la erupción de 1913 del Volcán de Colima se presentó en tres fases eruptivas que produjeron flujos piroclásticos, depósitos de caída y lahares. La erupción originó un volumen total de 1.1 km<sup>3</sup> (Saucedo, 1997).



**Mapa 4.1.4.4.1.** Peligros del Volcán de Colima (Fuente: Saucedo *et al*, 2004).

Saucedo *et al.* (2004), elaboraron el mapa de peligros para flujos piroclásticos del Volcán de Colima. En este mapa aparecen tres zonas de peligro que podrán ser afectadas por flujos piroclásticos.

La zona 1, de color rojo y mayor peligro, es aquella que puede ser afectada por flujos piroclásticos, que pueden alcanzar hasta 5 km desde el cráter, como los producidos durante las erupciones de 1991, 1994 y 1998-1999.

La zona 2, de color naranja y peligro intermedio, es aquella que podrá ser alcanzada por flujos de aproximadamente 9 km de largo, como los flujos producidos durante la segunda fase de la erupción de 1913, así como los producidos en octubre de 2004 y durante los





meses de mayo y junio del año 2005. Es claro, que el alcance de los flujos piroclásticos producidos durante las últimas explosiones está comprendido dentro de la zona 2 del mapa de peligros, por lo que podemos afirmar que dicho mapa tiene un buen margen de confiabilidad.

La zona 3, de color amarillo y menor peligro en cuanto a probabilidad de ocurrencia, es aquella que podrá ser afectada por flujos piroclásticos con una longitud aproximada de 15 km, como aquellos producidos durante la tercera fase de la erupción de 1913.

Una erupción de esta magnitud afectara a unos 15,000 habitantes asentados en poblados y rancherías a como la Yerbabuena, y la Becerrera en el estado de Colima, y Tonila, San Marcos, Cofradia, y Juan Barragán en el estado de Jalisco.

Con base en los estudios geológicos disponibles (Saucedo, 2001; Saucedo *et al.*, 2002; 2004; Gavilanes, 2004) podemos establecer que los únicos flujos piroclásticos capaces de destruir asentamientos humanos son aquellos que han ocurrido horas antes del desarrollo de una columna pliniana (Se caracteriza por su alto grado de explosividad, con manifestaciones muy violentas en las cuales se expulsan grandes volúmenes de gas volcánico, fragmentos y cenizas) y también los producidos por el colapso de una columna similar (Gavilanes, 2004; Gavilanes *et al.*, 2004).

#### **4.1.4.5. Implicaciones del peligro por vulcanismo**

Debido a su comportamiento, se creó que posiblemente a fines del presente siglo o a principios del siguiente, el Volcán de Colima desarrollará una fase explosiva peleana o similar, que produzca emisión de fragmentos sólidos o semisólidos de material juvenil en bloque y violentos flujos piroclásticos asociados a nubes ardientes, a partir de violentas explosiones. La lava que producen estas erupciones es viscosa y da origen a la formación de domos dentro del cráter. Esta erupción afectaría un área de más de 2,800 km<sup>2</sup> alrededor del volcán. De desarrollarse un evento volcánico de este tipo, la zona más afectada por derrames de lava sería la del lado sur del volcán.

La afectación por la caída de cenizas evidentemente será más amplia y, su distribución estaría en función de los vientos predominantes en el momento de la erupción. Si se toma en consideración que los vientos dominantes por lo general han tenido una dirección de S-N, es posible que los principales desastres que pueda provocar **Peligro Muy Alto** en Ciudad Guzmán y **Alto y Medio** en el resto de la cuenca, debidos a la caída de cenizas.

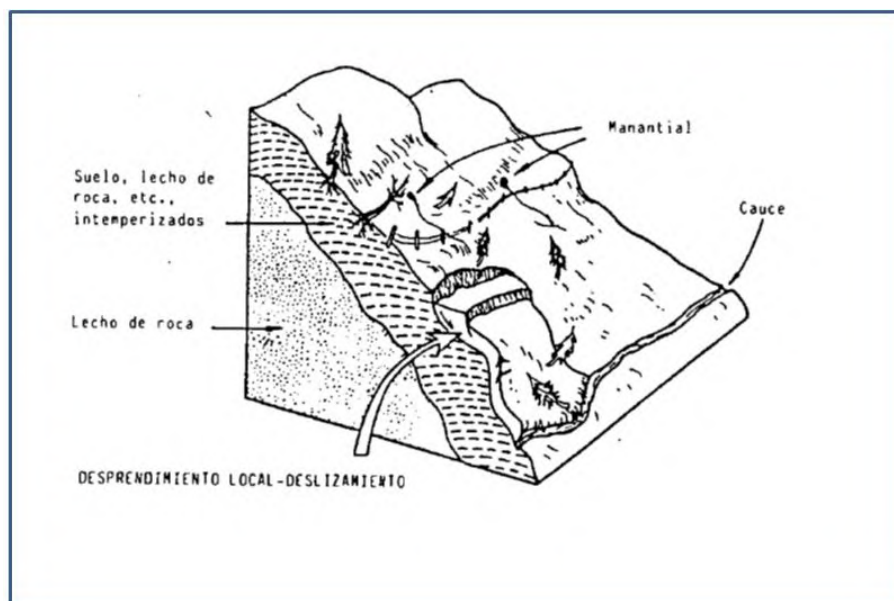


### 4.1.5. Deslizamientos

La inestabilidad de laderas, también conocida como proceso de remoción en masa, se puede definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos. Se presenta en zonas montañosas donde la superficie del terreno adquiere diversos grados de inclinación. Los principales tipos de inestabilidad de laderas son: deslizamientos, flujos y caídos.

El grado de estabilidad de una ladera depende de diversas variables (factores condicionantes) tales como: la geología, la geomorfología, el grado de intemperismo, la deforestación y la actividad humana, entre otros. Los sismos, las lluvias y la actividad volcánica son considerados como factores detonantes o desencadenantes de los deslizamientos (factores externos).

Entre los fenómenos geológicos, los deslizamientos de laderas son los más frecuentes y su tasa de mayor ocurrencia es en temporada de lluvias. Aunque también pueden ocurrir en sismos intensos, erupciones volcánicas y por actividades humanas como son: cortes, colocación de sobrecargas (viviendas, edificios, materiales de construcción, etc.), escurrimientos, filtraciones de agua, excavaciones, etc. (Figura 4.1.5.1.). Debido a que el agua juega el papel más importante en la inestabilidad de una ladera, las medidas de prevención y mitigación deben ser orientadas a reducir al mínimo su ingreso al interior de las laderas (Figura 4.1.5.1).



**Figura 4.1.5.1.** Factores que indican deslizamientos. Una topografía accidentada, con manantiales, árboles inclinados o curvos y desprendimientos localizados, caracterizan terrenos donde hay arrastre del suelo (Fuente: Cruz, 1996).



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO

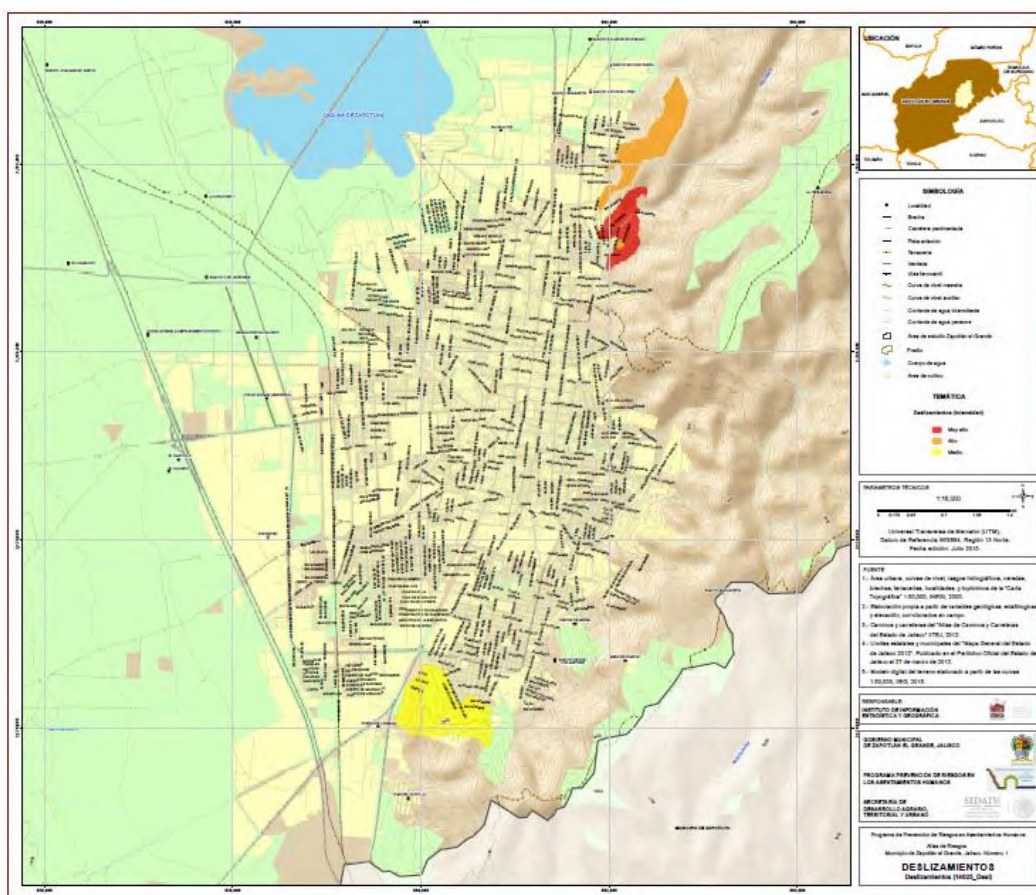


El término deslizamiento (movimientos de masa) se refiere al movimiento de grandes volúmenes de suelo que se desliza sobre una pendiente. Este tipo de fenómeno amenaza a las construcciones que se encuentran debajo de la zona de falla, debido a que se pueden producir grandes aportes de material sólido, que puede enterrar a las construcciones que se encuentran en la parte baja del talud. Así mismo, las construcciones que se encuentren encima de la zona de falla.

En la cuenca Laguna de Zapotlán y puntualmente Ciudad Guzmán, las zonas más susceptibles a sufrir deslizamiento o ser afectados por estos son las que presentan una combinación de todas o algunos de los siguientes factores: topografía accidentada, pendientes cóncavas o escarpadas (mayores de 25 %), suelo poco profundo o impermeable, desforestación o poca vegetación, estructuras (fallas, fracturas), manantiales y corrientes de agua.

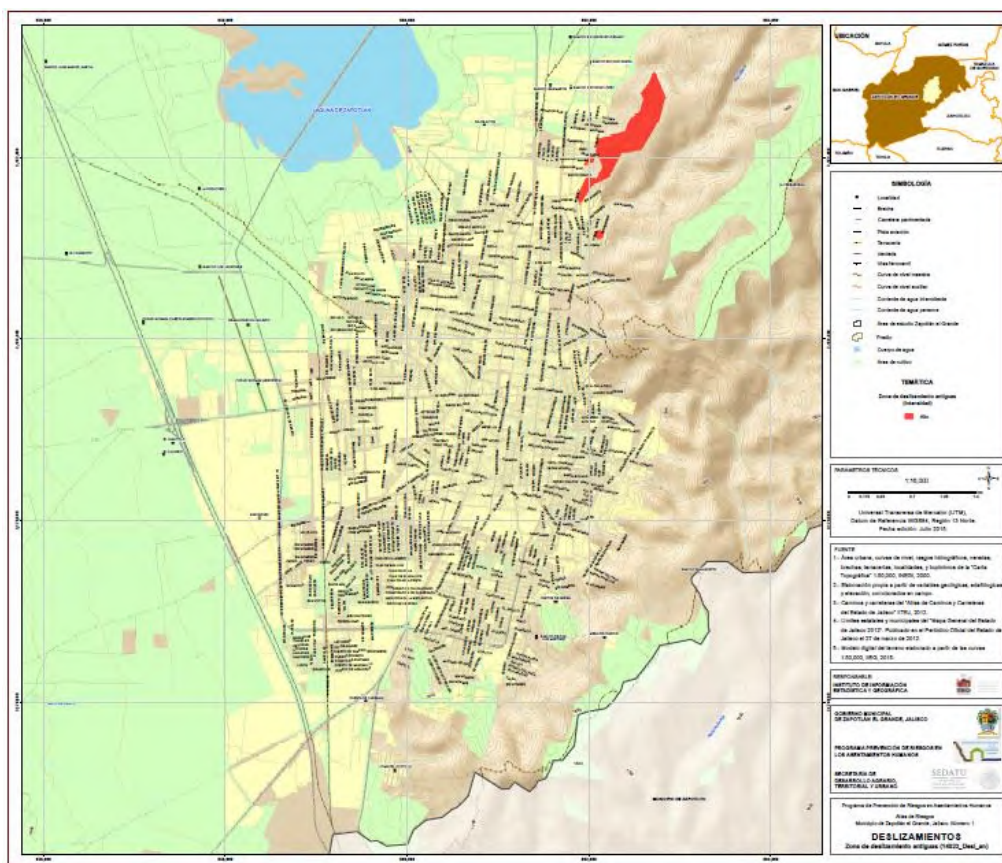
#### **4.1.5.1. Zonas de deslizamiento antiguas**

Las sierras y demás topoformas de la zona de estudio han perdido drásticamente la cubierta vegetal, a consecuencia de las constantes talas y quema de la vegetación, que se hace con el fin de aprovechar la madera de los bosques o utilizar los terrenos en cultivos de temporal anual. Motivo por el cual existen deslizamientos al Norte de Ciudad Guzmán que se encuentran en un Peligro de Alto a Muy Alto y al sur de la ciudad se localizó un polígono con posibilidades de deslizamiento en Peligro Medio (Mapa 4.1.5.1.1.).



**Mapa 4.1.5.1.1. Deslizamientos en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).**

Además de los factores anteriormente mencionados, se tiene que las estructuras regionales aflorantes en la cuenca presentan una orientación predominantemente NE-SW, con esfuerzos de tipo distensivos. Lo cual provoca que las fallas y fracturas se presenten en algunas partes a favor o en el mismo sentido de la pendiente en donde se han generado deslizamientos antiguamente (Mapa 4.1.5.1.2).



**Mapa 4.1.5.1.2.** Mapa de deslizamientos antiguos en Ciudad de Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).

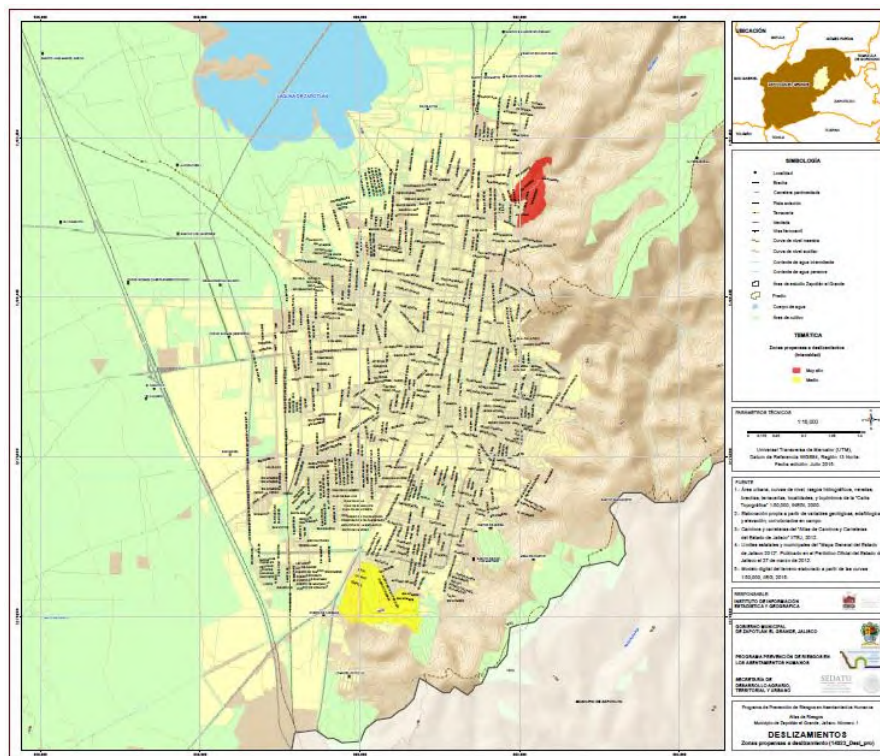
El fracturamiento presente en la zona de estudio se debe a que los materiales que cubrieron y dieron origen a los suelos de Ciudad Guzmán y de toda la cuenca presentan diferentes tipos de permeabilidad. Esto también puede crear condiciones de inestabilidad en las pendientes cercanas o sobre las que se encuentre un asentamiento humano. Esto combinado con los demás factores anteriormente descritos puede provocar el deslizamiento de algunas partes de una pendiente.

#### 4.1.5.2. Zonas propensas a deslizamiento

Para poder determinar los sitios potenciales a deslizamiento en principio se generaron algunos mapas que fungieron como insumo de este análisis; el mapa de pendientes se categorizó según lo marca la SEDESOL y de este se obtuvieron las pendientes mayores a 30°; con la ayuda del servicio web de la imagen SPOT para el Estado de Jalisco se detectaron los suelos desnudos (lugares donde no existe cubierta vegetal o se trata de algún tipo de pastizal o afloramiento de roca); una vez que se tenían estos insumos se



realizó el cruce de capas a fin de determinar los sitios potenciales a deslizamientos. Localizando dos zonas propensas a deslizamiento, hacia el norte de la ciudad con Peligro Muy alto y hacia el sur con peligro Medio (Mapa 4.1.5.2.1.).

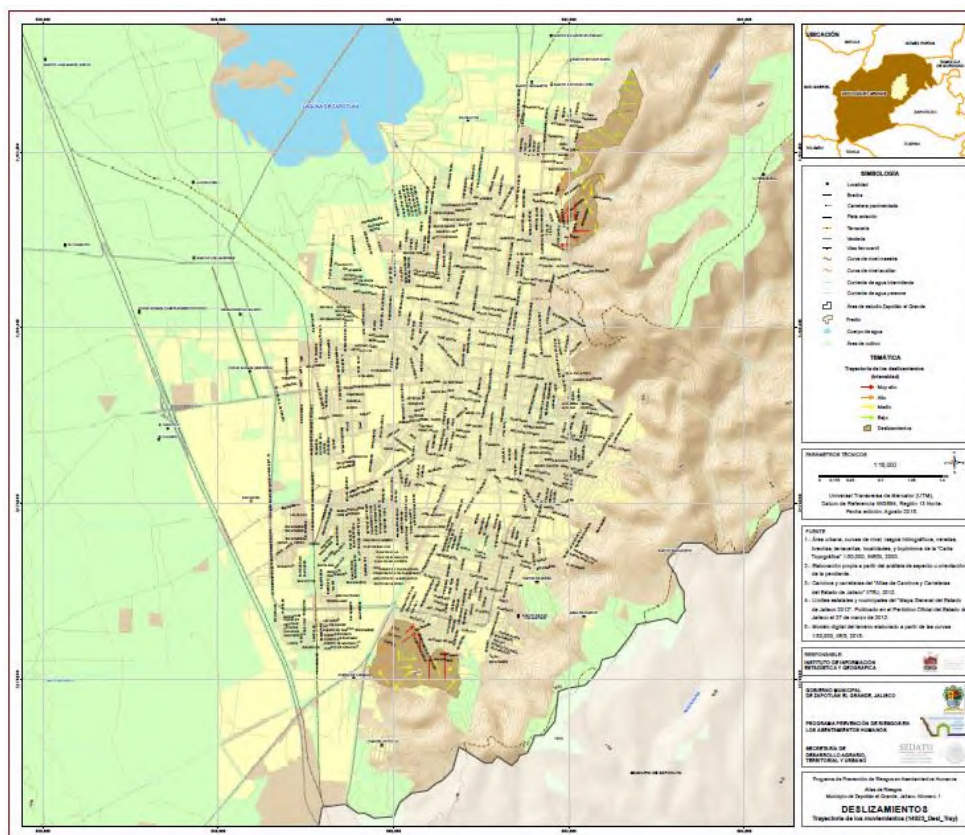


**Mapa 4.1.5.2.1.** Mapa de zonas propensas a deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).

El mapa resultante contiene polígonos que se determinaron como sitios potenciales a deslizamientos, esta información se convirtió en el principal insumo para el análisis de los fenómenos geológicos a estudiar respecto al peligro ocasionado por taludes en el municipio de Zapotlán. Este mapa se intersectó posteriormente con el mapa de orientaciones para determinar la dirección posible de deslizamiento.

#### 4.1.5.3. Trayectoria de los movimientos

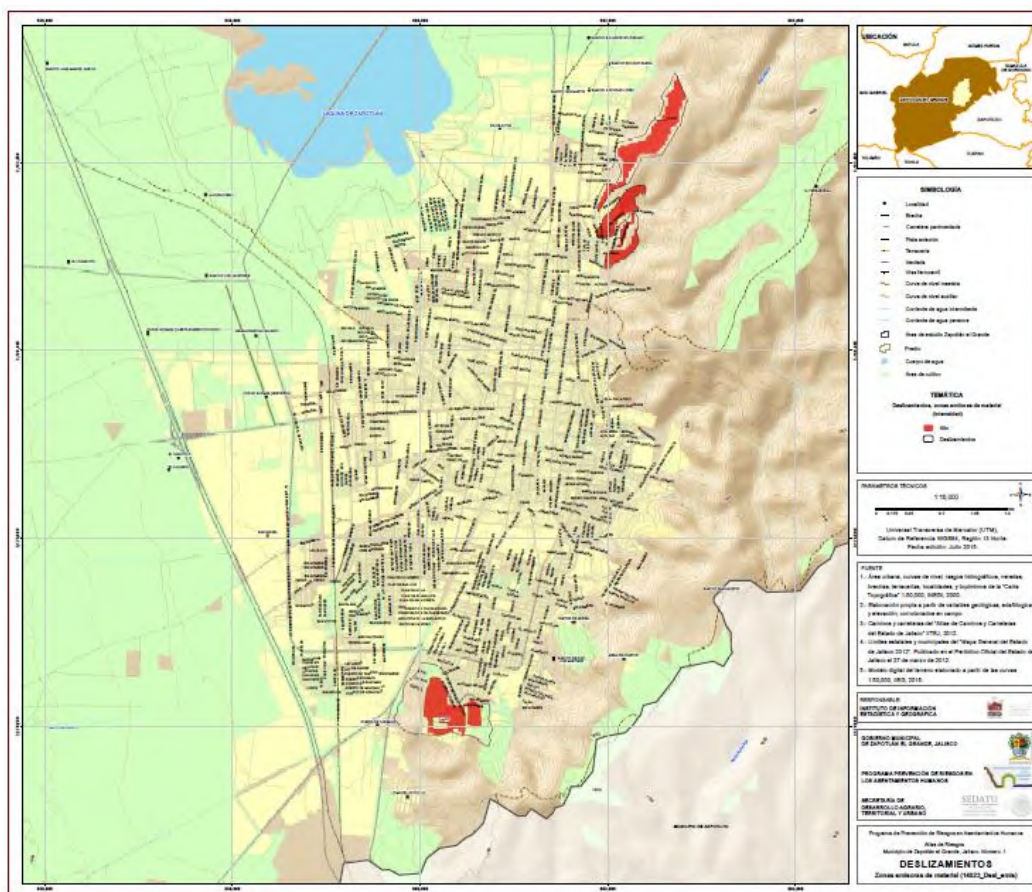
También se generó un mapa de orientaciones para poder estimar la dirección del deslizamiento; se utilizó el mapa de litología generado a partir de información de INEGI a fin de ubicar los sedimentos, en este caso se tienen aluviales y coluviales. La trayectoria de los movimientos de presentarse sería en su mayoría de este a oeste, con algunas direcciones sur a norte en la zona sur de Ciudad Guzmán (Mapa 4.1.5.3.1.).



**Mapa 4.1.5.3.1.** Mapa de trayectoria de movimientos de deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.5.4. Zonas emisoras de material

Los polígonos potenciales de emisoras de material obtenidos están distribuidos en las partes del pie de la sierra del municipio de Zapotlán, en este caso para el potencial de deslizamiento al nor-este y sur del mismo (Mapa 4.1.5.4.1).



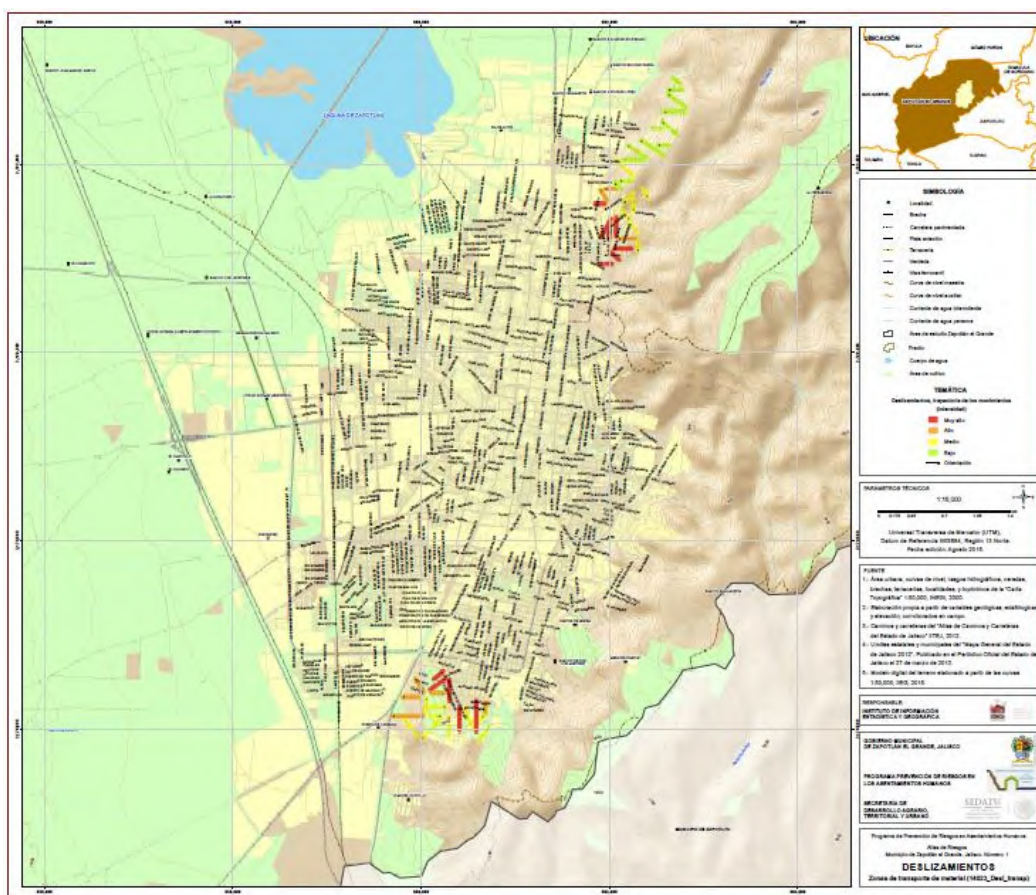
**Mapa 4.1.5.4.1.** Mapa de zonas emisoras de material en los deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.5.5. Zonas de transporte de material

Al noreste del municipio, en la zona del pie de la sierra oriente, se registraron 2 sitios de transporte de material los cuales se clasificaron con un nivel de amenaza muy alto.

Al sur de Ciudad Guzmán, en la zona del pie de la sierra, se localizó 1 sitio que de igual forma se clasifica con un nivel de amenaza muy alto. (Mapa 4.1.5.5.1.).





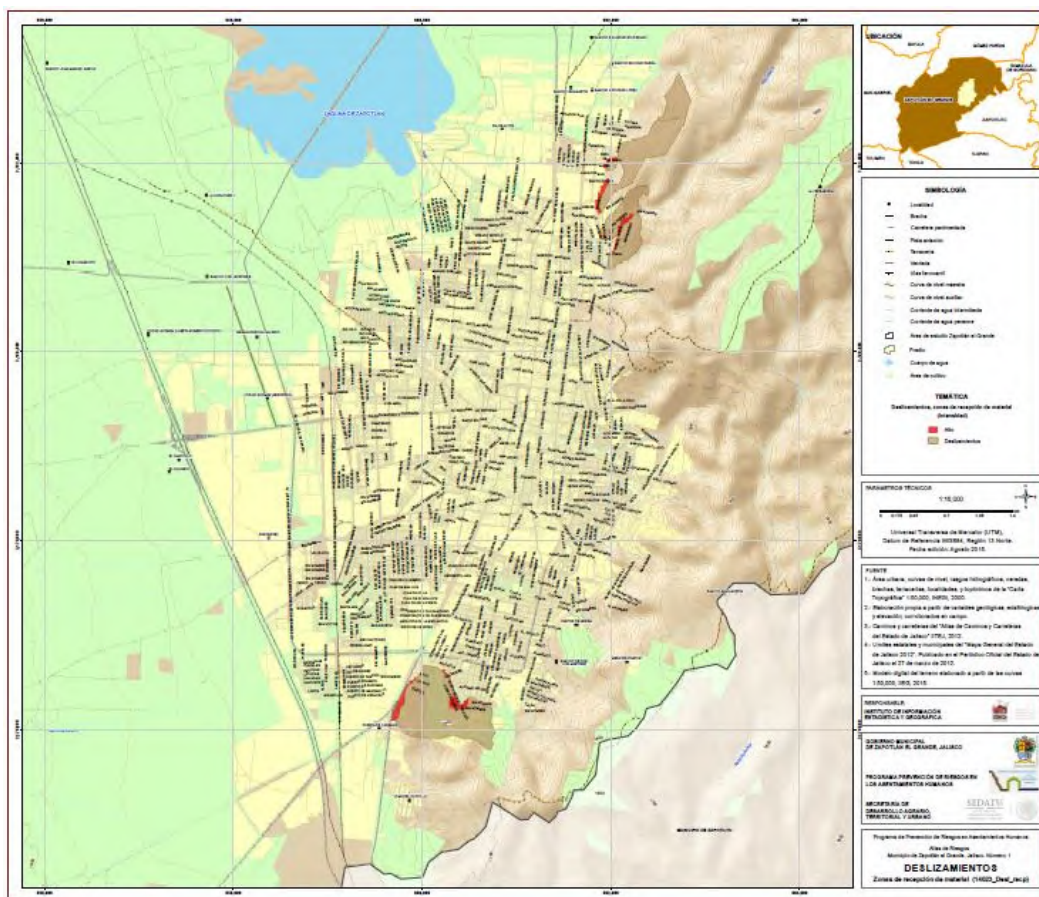
**Mapa 4.1.5.5.1.** Mapa de transporte de material en los deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.5.6. Zonas de recepción de material

Para demarcar las zonas de interés se elaboró un mapa de exposición el cual consiste en determinar las zonas del municipio en las cuales existe población o infraestructura que puede ser dañada en el caso de que un evento suceda.

Con este mapa se determinaron las regiones a estudiar y con el apoyo de un geotecnista se procedió a determinar las zonas de mayor peligro en el municipio; posteriormente estas áreas se verificaron en sitio con personal de la unidad de protección civil del municipio y se procedió a realizar las visitas de campo para levantar información y generar el mapa de recepción de material (Mapa 4.1.5.6.1.).





**Mapa 4.1.5.6.1.** Zonas de recepción de material en un deslizamiento (Fuente: IIEG, 2015).

Los deslizamientos pueden afectar a algunas áreas del Noreste de Ciudad Guzmán, principalmente a las construcciones que se encuentran en las partes bajas y sobre la margen izquierda del río Chuluapan, debido a que se están desprendiendo de unas lomas cercanas al río, grandes bloques que pueden afectar a las construcciones y personas que ahí se encuentren. Así mismo, esta zona es propensa a ser la más afectada por este tipo de fenómenos, debido a la presencia de una gran cantidad de fallas y fracturas, subsuelo poco compacto, escurrimientos de agua y por ser una zona en donde los pozos se han abatido o colapsado. Aquí se encuentran las colonias: Lomas de San Cayetano, Chuluapan, La Paz.

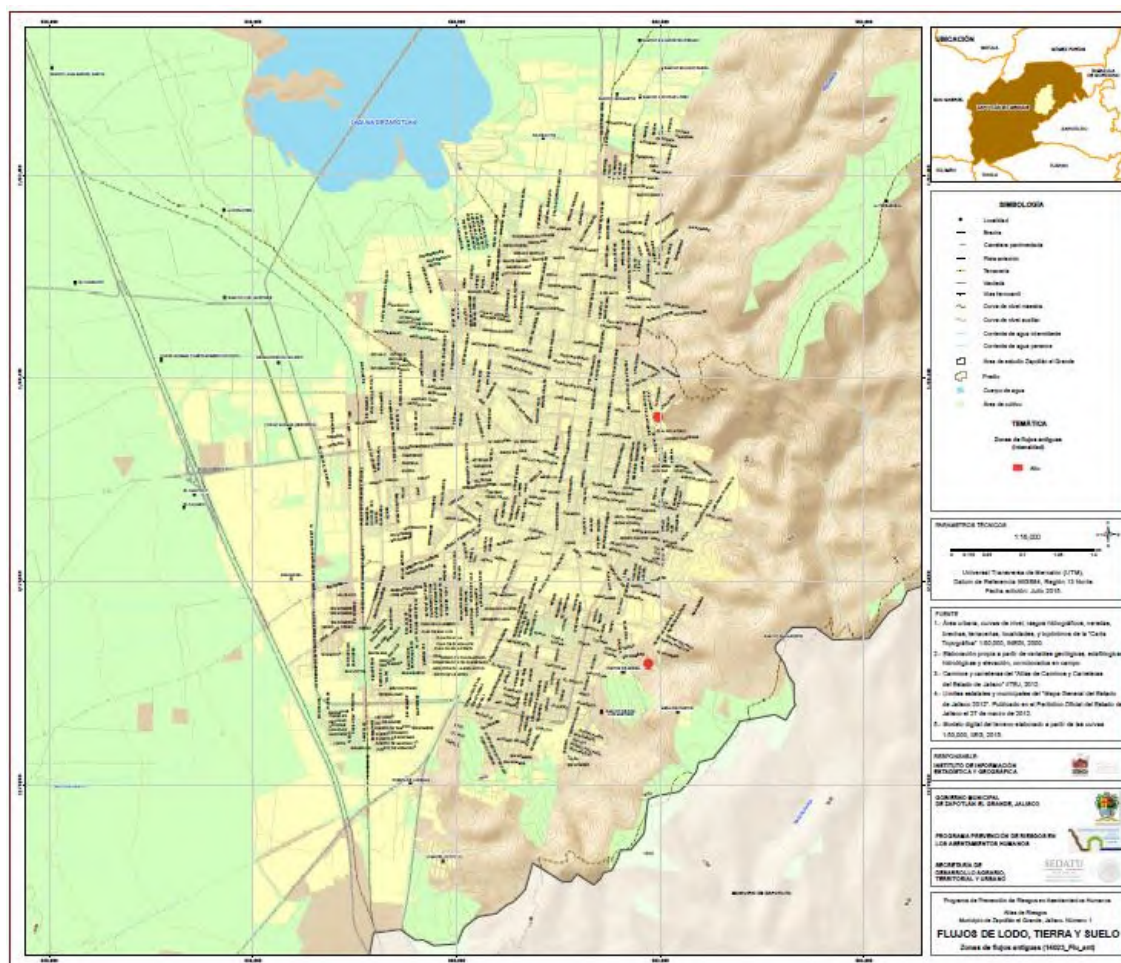


#### **4.1.6. Flujos de lodo, tierra y suelo**

El flujo de lodo, tierra y suelo es un movimiento de una masa bien mezclada de roca, tierra y agua, que se comporta como fluido y se desplaza pendiente abajo; su consistencia es similar a la del concreto recién mezclado. Los flujos de lodos son fenómenos que causan grandes catástrofes. Su estudio muestra que las lluvias son las causantes principales de deslizamientos de tierra y suelo que igual a las erupciones volcánicas, depositan material sólido en las corrientes de agua, que a su vez impactan en poblaciones con planeación territorial deficiente (CENAPRED, 2001).

Los Procesos de Remoción en masa clasificados como Flujos, se pueden presentar principalmente en las laderas de los lomeríos, en forma de flujos de detritos. Para que se den estos procesos usualmente se requiere de abundante agua que fluye ladera abajo con un comportamiento de fluido viscoso y esto en conjunto con la litología abundante en arcillas como lo son las areniscas y las lutitas.

Las zonas de flujo de lodo de tierra en el Municipio de Zapotlán el Grande, se han presentado de forma histórica al este del municipio, concordando con las características del fenómeno explicados en los párrafos anteriores. Se localizaron dos sectores en la zona de la montaña oriente con Peligro Alto de Flujos de lodo (Mapa 4.1.6.1.).

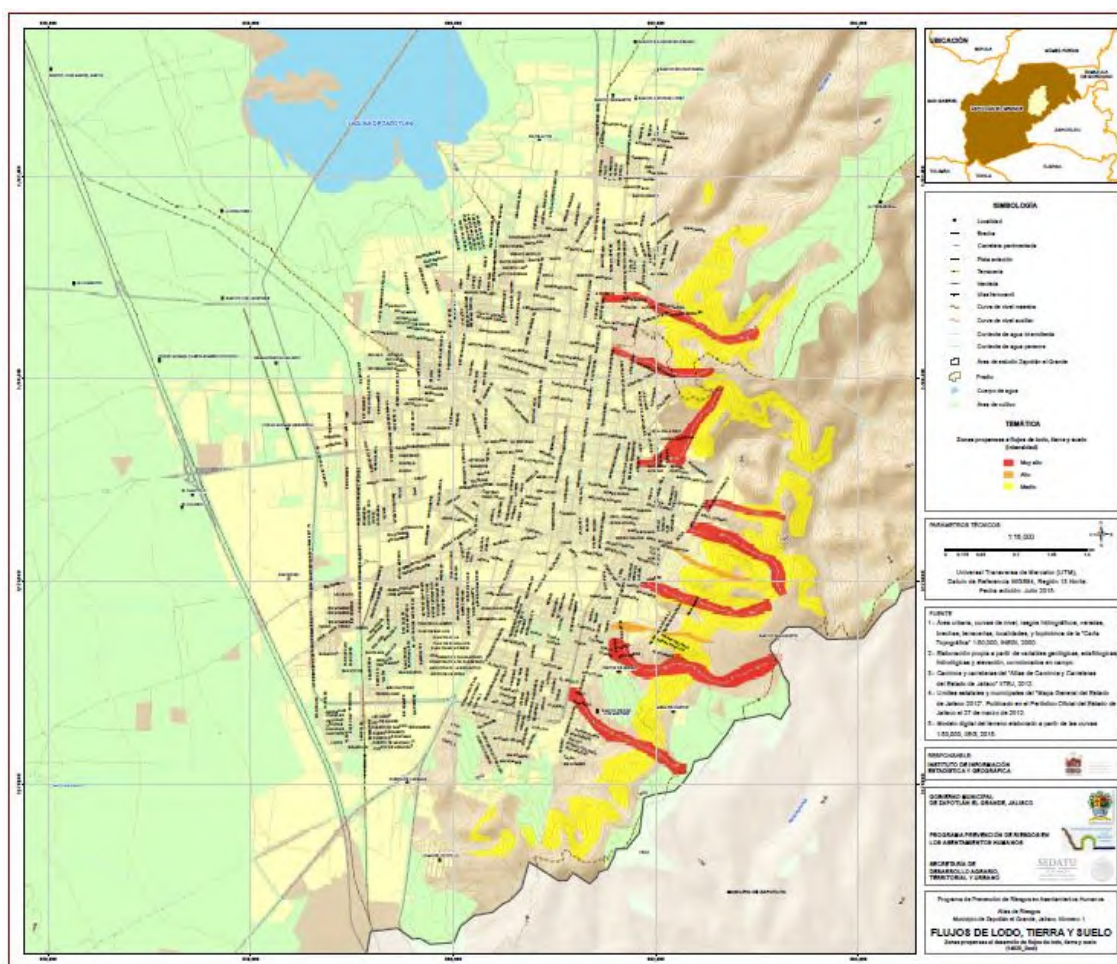


**Mapa 4.1.6.1.** Flujos de Lodo, tierra y suelo antiguos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.6.1. Zonas propensas al desarrollo de flujos de lodo, tierra y suelo

El mapa de potencial de flujos de lodo, tierra y suelo se originó tomando de insumo el mapa de pendientes, la morfología de la zona este del municipio, la información sobre lluvias máximas en 24 horas y visitas de sitio. Se localizaron ocho sectores en la sierra con Muy Alto Peligro de ocurrencia de flujos de lodo, tierra y suelo. Dos sectores con Alto Peligro y en su mayoría toda la sierra con Peligro Medio de ocurrencia de este fenómeno (Mapa 4.1.6.1.1.).





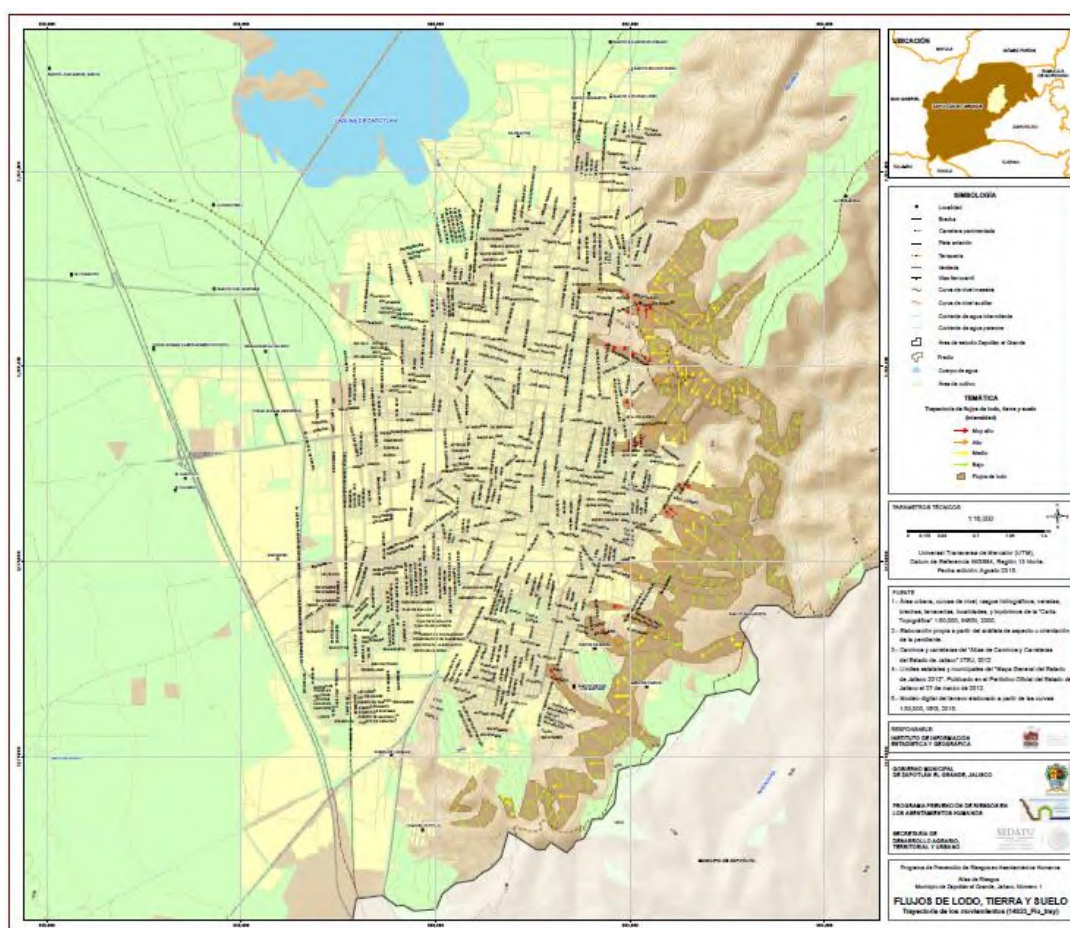
**Mapa 4.1.6.1.1.** Mapa de flujos de lodo propensos (Fuente: IIEG, 2015).

Las zonas propensas a generarse flujos de lodo, tierra y suelo, son generalmente los cauces de los ríos. Los sectores con problemas de este tipo de fenómeno son: Alcalde, Jesús García, Antonio Rosales, Libramiento Oriente, Cristo Rey etc.

#### 4.1.6.2. Trayectoria de los movimientos

También se generó un mapa de orientaciones para poder estimar la dirección de los flujos de lodo, tierra y suelo; se utilizó el mapa de litología generado a partir de información de INEGI a fin de ubicar los sedimentos y fragmentos de rocas, en este caso se tienen sedimentos aluviales y coluviales, así como fragmentos de rocas ígneas extrusivas. La trayectoria del movimiento de presentarse tendría una dirección de este a oeste (Mapa 4.1.6.2.1.).





**Mapa 4.1.6.2.1.** Mapa de trayectoria de Movimientos de flujos de lodo (IIEG, 2015).

#### 4.1.6.3 Frentes lobulares

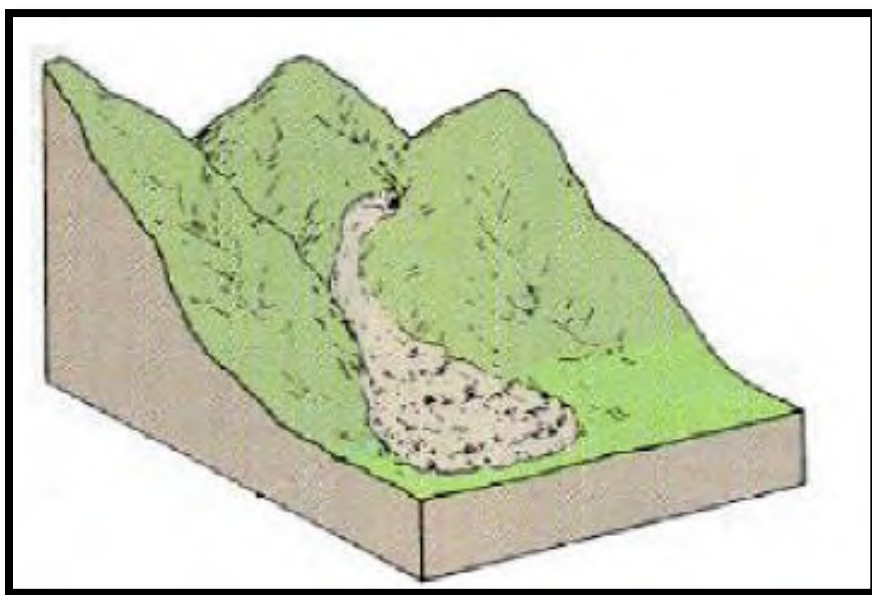
Estos fenómenos son recurrentes, es decir se originan en los mismos lugares, por lo tanto los lugares donde históricamente se han presentado, deben tener planes de evacuación que al menos tengan dos rutas de escape. La vegetación debe ser plantada baja en laderas y es importante construir muros de retención. También podría ser ventajoso construir canales para dirigir el flujo alrededor de edificios.

#### 4.1.6.4 Zonas emisoras de material

Los polígonos potenciales obtenidos están distribuidos en las partes del pie de la sierra del municipio de Zapotlán, en este caso para el potencial de deslizamiento al este del mismo.

#### 4.1.7. Flujos de avalancha de detritos y derrumbes.

El flujo de avalancha de detritos está caracterizado porque el material se desplaza libremente ladera abajo sin estar canalizado. El suelo que se desplaza puede describirse como detritos (suelo de grano grueso) o suelo propiamente dicho (suelo de grano fino). El detrito es un suelo con un 20 a 80% de fragmentos mayores de 2 mm. Suelo fino es el que está compuesto de más del 80% de fragmentos menores de 2 mm., puede estar saturado o parcialmente saturado, ser de poco espesor y trasladarse de forma muy rápida a extremadamente rápida (Skinner & Porter, 1992). Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo (Figura 4.1.7.1.).



**Figura 4.1.7.1.** Flujo de avalancha de detritos (Fuente: Skinner & Porter, 1992).

Generalmente presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hung et al., 2001).

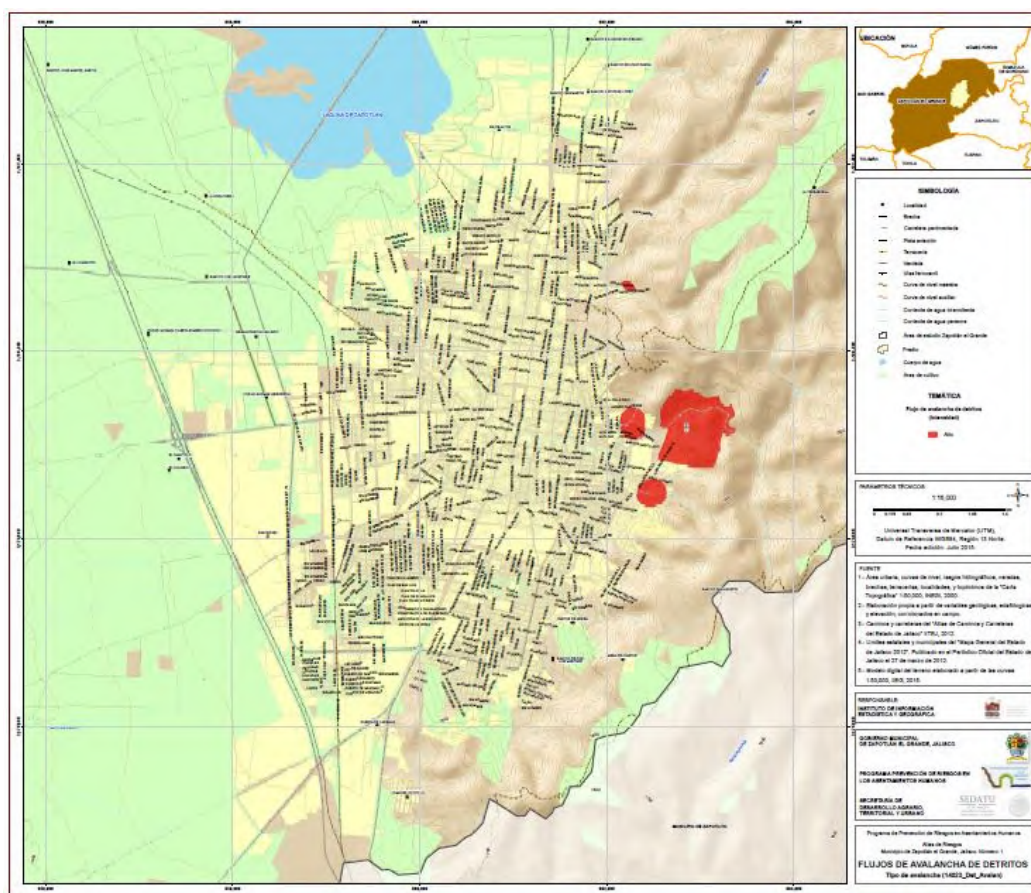
Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978). Las avalanchas de detritos son morfológicamente similares a las avalanchas de rocas.

Con base en las visitas de campo se pudo observar que, para el caso de los peligros ocasionados por taludes en el Municipio de Zapotlán, estos están relacionados con macizos rocosos, el espesor de los suelos es corto en los casos del pie de los taludes de la serranía, es decir los taludes en peligro de derrumbe o desprendimiento de detritos son rocosos.

#### 4.1.7.1. Zonas de avalancha de detritos

Se definieron polígonos clasificados como flujo de avalancha de detritos que pueden rodar; en total se inventariaron 4 peligros, éstos se encuentran relacionados con viviendas.

Con base en la caracterización del macizo rocoso, la altura del talud y el tipo de roca se otorgó el valor del peligro Muy Alto a las cuatro zonas identificadas (Mapa 4.1.7.1.1.).

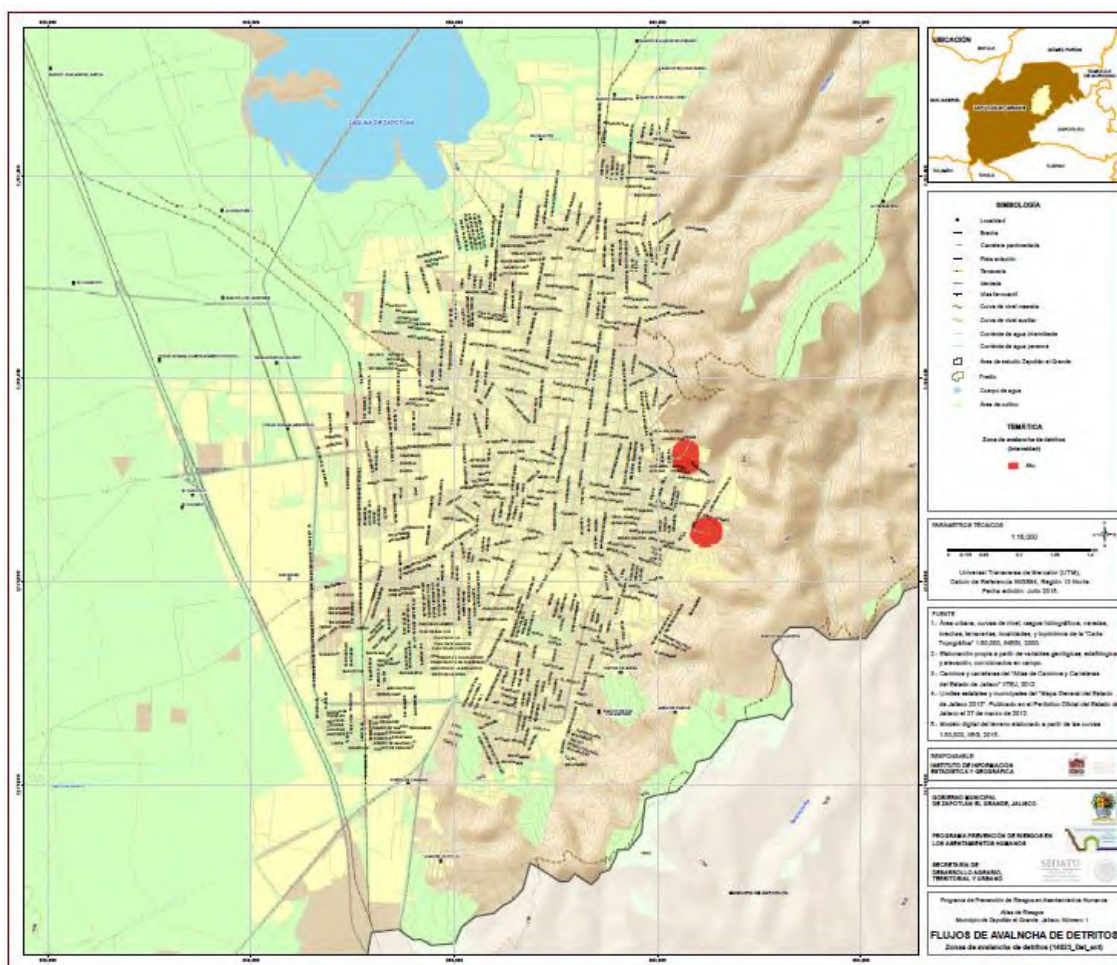


Mapa 4.1.7.1.1. Flujos de Avalanchas de Detritos (Fuente: IIEG, 2015).



#### 4.1.7.2. Zonas antiguas de avalanchas de detritos

Se localizaron 2 zonas en donde se han presentado antiguamente flujos de avalanchas de detritos en la montaña oriente, como se muestra en el (Mapa 4.1.7.2.1.).

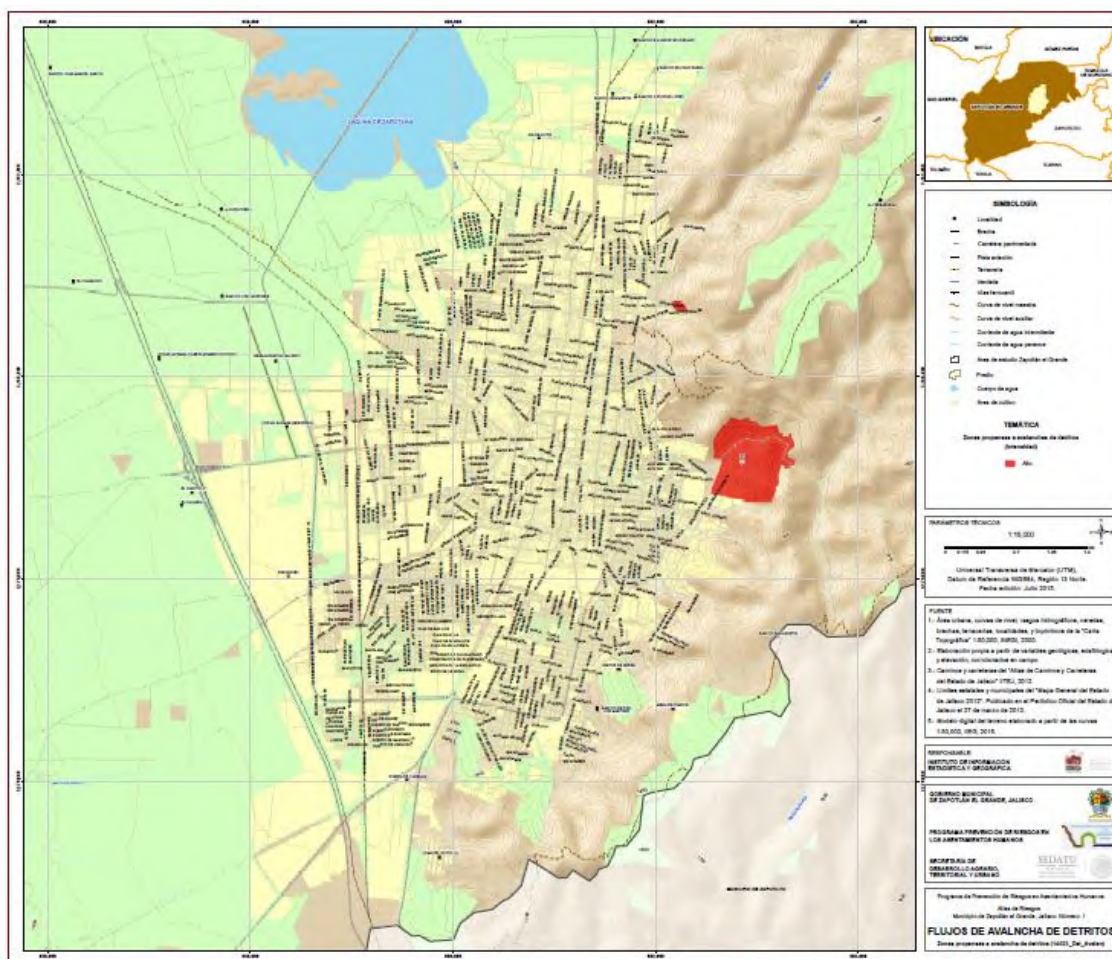


**Mapa 4.1.7.2.1.** Zonas antiguas de avalanchas de detritos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.7.3. Zonas propensas de avalanchas de detritos

En visitas a campo se registraron las coordenadas de los sitios donde se habían presentado derrumbes o desprendimientos de detritos. Y se procedió a evaluar sus características geológicas (tipo de roca y altura del talud) para definir el nivel de amenaza o peligro de cada sitio (Mapa 4.1.7.3.1.).

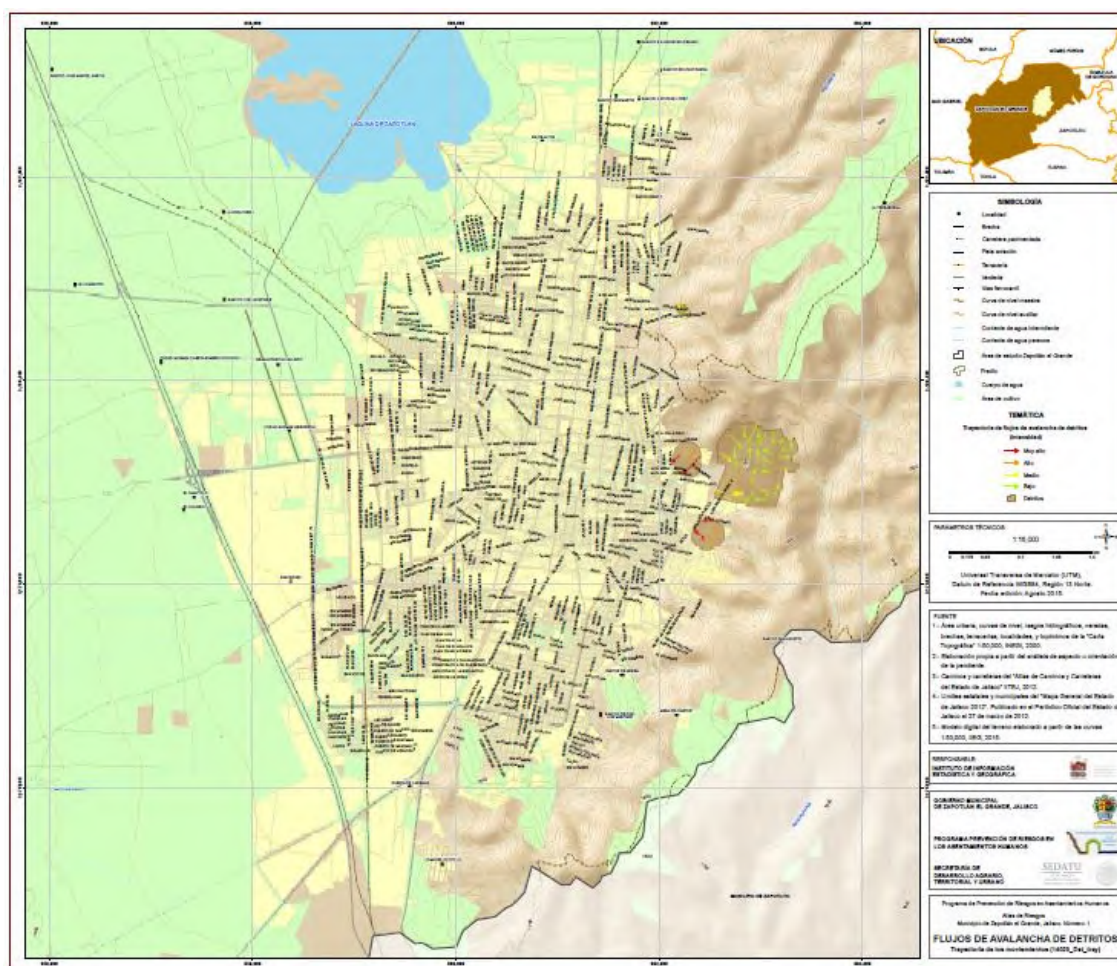




**Mapa 4.1.7.3.1.** Zonas propensas a Flujos de Avalanchas de detritos (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.7.4. Trayectoria de los movimientos

También se generó un mapa de orientaciones para poder estimar la dirección de las avalanchas de detritos; se utilizó el mapa de litología generado a partir de información de INEGI a fin de ubicar los sedimentos, en este caso se tienen rocas ígneas en su mayoría extrusivas (basaltos, andesitas y riolitas). La trayectoria de los movimientos de presentarse sería de este a oeste (Mapa 4.1.7.4.1.).



**Mapa 4.1.7.4.1.** Mapa de trayectoria de movimientos de Flujos de avalanchas de detritos  
(Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.7.5. Zonas emisoras de material

Los polígonos potenciales obtenidos están distribuidos en las partes del pie de la sierra del municipio de Zapotlán, en este caso para el potencial de deslizamiento al este del mismo.

Estos sitios potenciales se encuentran en las partes montañosas del Municipio de Zapotlán, por lo tanto la cabecera municipal está exenta de este tipo de fenómenos.

#### 4.1.7.6. Zonas de transporte de material

Al este del municipio, en la zona del pie de la sierra conocida como “Las Peñas”, se registró un sitio el cual se clasificó con un nivel de amenaza muy alto. Por cierto aquí se aloja el parque ecológico “La Peñas”, donde se puede presenciar un domingo la asistencia de cerca de 500 personas.



También al este del municipio, en la zona del pie de la montaña oriente, se localizó un sitio más que es propenso a este fenómeno, si bien es mucho más pequeño en extensión que el sitio anteriormente descrito, de igual forma se clasifica con un nivel de Peligro muy alto.

#### **4.1.7.7. Zonas de recepción de material**

Para delimitar las zonas de interés se elaboró un mapa de exposición el cual consiste en determinar las zonas del municipio en las cuales existe población o infraestructura que puede ser dañada en el caso de que un evento suceda.

Con este mapa se determinaron las regiones a estudiar y con el apoyo de un geotecnista se procedió a determinar las zonas de mayor peligro en el municipio; posteriormente estas áreas se verificaron en sitio con personal de la unidad de protección civil del municipio y se procedió a realizar las visitas de campo para levantar información.

#### **4.1.7.8. Derrumbes**

Los problemas de derrumbes que presenta la inestabilidad de las laderas de las montañas, son uno de los peligros naturales más destructivos. Los caídos o derrumbes del terreno y que presentan diferentes movimientos complejos ocurren día con día, de tal forma que cada año las víctimas y los daños materiales son incalculables. Este tipo de fenómeno puede originarse, por terremotos, lluvias intensas, pero el principal peligro son los asentamientos humanos en las laderas de montañas que presentan diferentes grados de inclinación o por vivir al pie de ellas.

Los mecanismos básicos de los derrumbes, son movimientos repentinos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes abruptas u acantilados, por lo que el movimiento es de caída libre, rodando y rebotando que suelen presentarse mayormente en las carreteras (Figura 4.1.7.8.1).



**Figura 4.1.7.8.1.** Caídos o derrumbes (<http://rouseelcabrera.blogspot.mx/p/semana-7.html>)

El desprendimiento de rocas se caracteriza por la caída libre desde un acantilado. Estas generalmente se acumulan en la base del acantilado formando una pendiente, lo que impone una amenaza adicional. El desprendimiento de rocas obviamente constituye un peligro para los seres humanos y la propiedad, pero en general, impone una amenaza localizada dada su limitada área de influencia.

Para el municipio de Zapotlán, se tiene contemplado este fenómeno dado que tiene incidencia, principalmente en Ciudad Guzmán, hacia la zona de la montaña, en donde existen asentamientos humanos en las laderas y evidencia de bloques caídos.

En la montaña Oriente la tendencia del fallamiento (Fotografía 4.1.7.8.1.) tiene dos direcciones preferentes una hacia el NE, que presenta las estructuras de mayor longitud, y la otra hacia el NW que tiene estructuras de menor tamaño (Nuñez-Cornú et.al., 2005).





**Fotografía 4.1.7.8.1.** Arroyo desarrollado a lo largo de una falla normal (Fuente Nuñez-Cornú *et al.*, 2005).

Esto ha creado varios puntos susceptibles a desprender materiales, y formar movimientos en masa como caída de rocas, una evidencia son los bloques caídos en la zona denominado las Peñitas (Fotografías 4.1.7.8.2. y 4.1.7.8.3).



**Fotografía 4.1.7.8.2.** Bloque caído y estación sísmica de monitoreo (Fuente: IIEG, 2015)



**Fotografía 4.1.7.8.3.** Otro ángulo de bloque caído (Fuente: IIEG, 2015).





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



Un factor que incidirá en el futuro cercano a una mayor probabilidad de un deslizamiento masivo en las pendientes máximas, es la actividad de extracción de arcilla en el sector sur de la ladera de la Montaña Oriente, así como la continua extracción de pino de las secciones altas de la Montaña.

Las potenciales zonas de peligro en el área están ubicadas en las zonas de falla y en donde las tobas tienen intercaladas al Conglomerado Rojo y a los derrames andesíticos. La alternancia de rocas suaves (tobas) con rocas duras (conglomerados y andesitas) y las estructuras que las cortan indican que las zonas con un mayor potencial de riesgo son aquellos en donde se ha eliminado está en proceso de eliminación de la Toba Pumítica que deja sin soporte a los Conglomerados y andesitas lo que propicia la Caída de bloques.

Los sitios con peligro Alto son: La Reja, Peñas, Los Guayabos, que pueden tener efectos por derrumbes o caída de bloques.

#### **4.1.7.8.1. Implicaciones del peligro por flujos de avalanchas de detritos y derrumbes.**

Las diferentes formas en las que los taludes pueden romperse en la Montaña de Zapotlán, dependerán del ángulo del talud, el contenido de agua, tipo de material involucrado, y de factores ambientales locales tales como la temperatura del terreno para generar un flujo de avalanchas de detritos. Este tipo de fenómenos pueden ocurrir súbita y catastróficamente y de alto Peligro, dando como resultado flujos de detritos y derrumbes. Por ejemplo, la velocidad inicial de los flujos puede alcanzar los 30 m/seg en pocos segundos, disminuyendo a varios metros por día. Los movimientos más lentos dan lugar a deslizamientos, derrumbes (de roca y de suelo), deslizamientos complejos y reptación. Los flujos son considerados comúnmente como una de las amenazas geológicas más predecibles. Tres parámetros son particularmente importantes para el monitoreo de todo tipo de movimientos de masas:

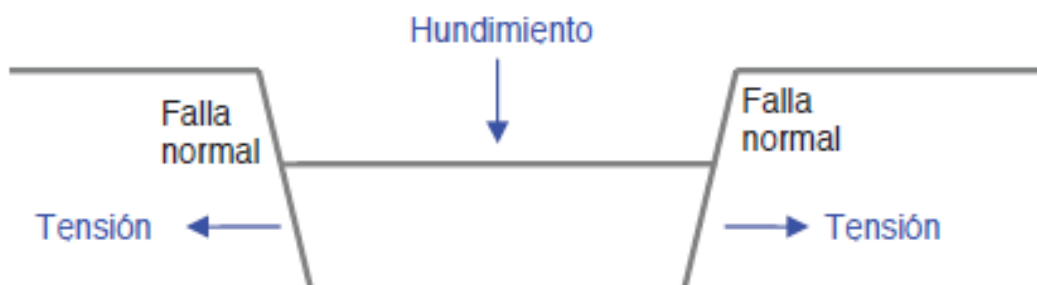
- 1) Las grietas del terreno son la manifestación en superficie de una variedad de movimientos de masa. En planta, son generalmente concéntricas o paralelas, y tienen un ancho de algunos centímetros y longitudes de varios metros, lo cual las distingue de las grietas de desecación, que son más cortas [ver: Costras y fisuras en superficies desérticas]. La formación de grietas, y cualquier incremento en su ritmo o tasa de ampliación, es un indicador común de inminentes roturas del talud.
- 2) La aparición y el incremento de subsidencia o levantamiento del terreno también es un buen indicador de rupturas inminentes.

3) El área de la rotura del talud es una medida de la extensión del deslizamiento en cualquier región. Los cambios en el tiempo pueden reflejar tanto tensiones ambientales significativas (por ejemplo: deforestación, climas extremos) y proporcionar importantes claves acerca de la degradación de paisajes y ecosistemas.

Los cambios climáticos pueden acelerar o frenar el ritmo natural de la rotura de taludes, debido a cambios en las precipitaciones o en la cubierta vegetal que retiene los materiales sueltos del talud: los incendios pueden también promover movimientos de masas por destrucción de la cubierta arbórea. Sin embargo, es difícil hacer generalizaciones allí donde falta información sobre la distribución actual y la importancia de los deslizamientos o flujos, y porque son varios los parámetros que, además del cambio climático, contribuyen a la estabilidad de una ladera.

#### 4.1.8. Hundimientos o subsidencia

El hundimiento o subsidencia del terreno es un peligro natural que afecta a amplias zonas del territorio causando importantes daños económicos y una gran alarma social. La subsidencia del terreno puede deberse a numerosas causas como la disolución de materiales profundos, la construcción de obras subterráneas o de galerías mineras, la erosión del terreno en profundidad, el flujo lateral del suelo, la compactación de los materiales que constituyen el terreno o la actividad tectónica. Todas estas causas se manifiestan en la superficie del terreno mediante deformaciones verticales que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros (Figura 4.1.8.1.), durante periodos que varían desde minutos hasta años.



**Figura 4.1.8.1.** Hundimiento en Fosa tectónica o Graben (Fuente: Lazcano, 2013).

Los hundimientos afectan a las personas y construcciones que se encuentran asentadas sobre cauces de arroyo, fallas o fracturas o zonas que presenten material no compactado, situación que se complica cuando ocurren precipitaciones fuertes. En la zona de estudio se





ha construido sin respetar los cauces de arroyos, con obras civiles que no han conducido eficientemente el agua o han servido de barreras a las corrientes naturales, lo cual puede dar lugar a un incremento en forma puntual de la saturación de agua en el subsuelo de donde se ha construido y producir una erosión acelerada del suelo y subsuelo (fenómeno de tubificación), como ocurrió en las cercanías de las instalaciones del Hospital y protección civil de Ciudad Guzmán (Lazcano, 2013).

Es importante mencionar que, debido a las condiciones inestables del suelo en el que está asentada Ciudad Guzmán, es posible que durante la ocurrencia de un fenómeno sísmico el suelo se licue o se haga de consistencia más blanda (fenómeno de licuefacción), lo que traería como consecuencia que las estructuras que se encuentran encima se hundan o se inclinen. Así mismo, el suelo es propicio para que se erosione en forma acelerada, a consecuencia de la gran cantidad de fallas y fracturas presentes o por fugas en el sistema de agua y alcantarillado. Esto provocará asentamientos o grietas en cualquier parte de la ciudad.

Sin embargo, se observó que la zona norte de Ciudad Guzmán, es más propicia para que ocurran hundimientos, debido a la presencia del sistema de fallas y fracturas en esa zona, un subsuelo poco compacto, escurrimientos de agua y zonas en donde los pozos se han abatido o colapsado. Este último punto es importante, debido a que si se deshidrata la roca, esta perderá la capacidad de soportar el peso que se encuentre en la parte superior.

Este fenómeno causará daños según el lugar en que se formen las grietas, por lo que esos daños pueden ser muy variables: desde problemas de tránsito hasta daños en las edificaciones y demás infraestructuras. Situación que trae consigo, problemas económicos y socio - organizativos y en general al bienestar de la población.

La subsidencia es un fenómeno geológico que no suele ocasionar víctimas mortales, aunque los daños materiales que causa pueden llegar a ser cuantiosos. Es de gran importancia en zonas urbanas, donde los perjuicios ocasionados pueden llegar a ser ilimitados, suponiendo un peligro importante para edificaciones, canales, conducciones, vías de comunicación, así como todo tipo de construcciones asentadas sobre el terreno que se deforma (Cruz, 1996).

El mal ordenamiento territorial en Jalisco, desde el punto de vista geológico, aunado a la necesidad de viviendas y desarrollo económico, han propiciado la construcción en áreas que pueden sufrir hundimientos.

Este tipo de problemas son añejos en Jalisco y se han detectado en varias localidades, como en Guadalajara (Alcalde Barranquitas, el Tapatío), Chápala, Ciudad Guzmán y hace poco en Ameca.



Dichos acontecimientos ponen en riesgo a los habitantes de estas zonas y a sus bienes, Para conocer las causas que originaron estos hundimientos, primero debemos tener una visión global del problema, para después concentrar la atención en un caso específico.

En la entidad se pueden observar ejemplos en los que no son acatadas las normas establecidas, y las autoridades, quizá por imprudencia, permiten la construcción en lugares inadecuados.

La manera de localizar áreas de peligro por hundimientos es mediante estudios sistemáticos, revisión de registros históricos, observación de zonas afectadas cíclicamente y diagnósticos precisos. Los agentes causales de hundimientos, generalmente son la sobreexplotación de mantos acuíferos, tectónica y construcción de asentamientos sobre rellenos.

#### **4.1.8.1. Tipos de Hundimientos**

Los hundimientos del terreno es únicamente la manifestación en superficie de una serie de mecanismos sub-superficiales de deformación. Prokopovich (1979) define desde un punto de vista genético dos tipos de subsidencia: endógena y exógena.

El primero de estos términos hace referencia a aquellos movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, tales como pliegues, fallas, vulcanismo, etc. El segundo se refiere a los procesos de deformación superficial relacionados con la compactación natural o antrópica de los suelos.

Los hundimientos puede también clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979). Las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos, son algunas de las causas de los procesos de subsidencia (González Vallejo *et al.*, 2002). En la Tabla 4.1.8.1.1. se muestra un esquema de los diferentes tipos de subsidencia existentes.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



Por disolución subterránea	En Sal En yeso En rocas carbonatadas
Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras Por erosión subterránea	Rocas Salinas
Por Flujo Lateral	Arcillas Por carga Por drenaje
Por Compactación	Por vibración Por extracción de fluidos Por hidrocompactación
Por Tectónica	

**Tabla 4.1.8.1.1.** Tipos de hundimientos o subsidencia del terreno. (Fuente: Corapcioglu, 1984.)

Para el caso de hundimientos del terreno en el Municipio de Zapotlán se piensan en varias hipótesis combinando compactación y tectónica.

#### 4.1.8.2. Hundimientos Antiguos

Los hundimientos antiguos que se han reportado se encuentran en la zona urbana de Ciudad Guzmán, presentándose algunos casos a continuación:

Se registró un hundimiento de la superficie de asfalto en un área aproximada de 8 metros cuadrados. Este hecho ocurrió en la Calle Jazmín, casi en su intersección con Galeana, donde se construyó un colector de aguas pluviales, en el sitio convergen dos colectores de aguas negras proveniente de las colonias asentadas en la parte alta., lo que da paso a un caudal de considerable volumen.

Otro caso de subsidencia en donde fueron afectas un buen número de casas-habitación a consecuencia del agrandamiento de una falla geológica detectada luego del sismo registrado en 1985. Las investigaciones realizadas en este caso se piensa que está asociado al comportamiento de los mantos acuíferos que pudieron haber acelerado el proceso, como se observó en 1994, en el que se tuvo en otro sector de la falla un problema hidrogeológico, en donde corrientes de agua se integraron a la falla geológica y propició daños de aproximadamente 300 m. Está falla que atraviesa Ciudad Guzmán se desplazó aproximadamente 500 metros en la parte central, provocando hundimientos y afectaciones en viviendas (Fotografía 4.1.8.2.1.).



**Fotografía 4.1.8.2.1.** Afectaciones a viviendas por hundimientos en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).

Hay viviendas donde la falla pasa por el centro de las casas y al momento que se mueve, las estructuras son dañadas, de igual manera la infraestructura urbana resultó dañada y tienen también desniveles en las vialidades.

Otro caso de hundimiento se presentó en la calle Ignacio Mejía y Manuel M. Diéguez en donde ocho viviendas quedaron inhabitables y daños menores en las calles antes mencionadas, No hubo daños a personas, es el saldo que dejó el fenómeno conocido como subsidencia, registrado en Ciudad Guzmán, municipio de Zapotlán el Grande, en una zona habitada sobre una grieta detectada desde los años ochenta.

La grieta es uno de los efectos visibles de una falla geológica en Ciudad Guzmán, que corre de noreste a suroeste y atraviesa prácticamente toda la ciudad; ya había provocado un movimiento de tierra desde febrero de 1985 y en los sismos de septiembre de ese mismo año que devastaron la Ciudad de México, hubo un desplazamiento mayor de este a oeste, con hundimientos del suelo en la parte oeste de la ciudad.

De las investigaciones realizadas de la línea que cruza la falla se encontraron daños en la vialidad y en las casas en la calle Manuel M. Diéguez y Reforma, a su cruce con la Calzada Madero. En el proceso de movimiento de esta estructura geológica se han registrado





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

desplazamientos de 2.5 centímetros, incluso en otras zonas hasta de 10 centímetros, con hundimientos de cinco y 10 centímetros.

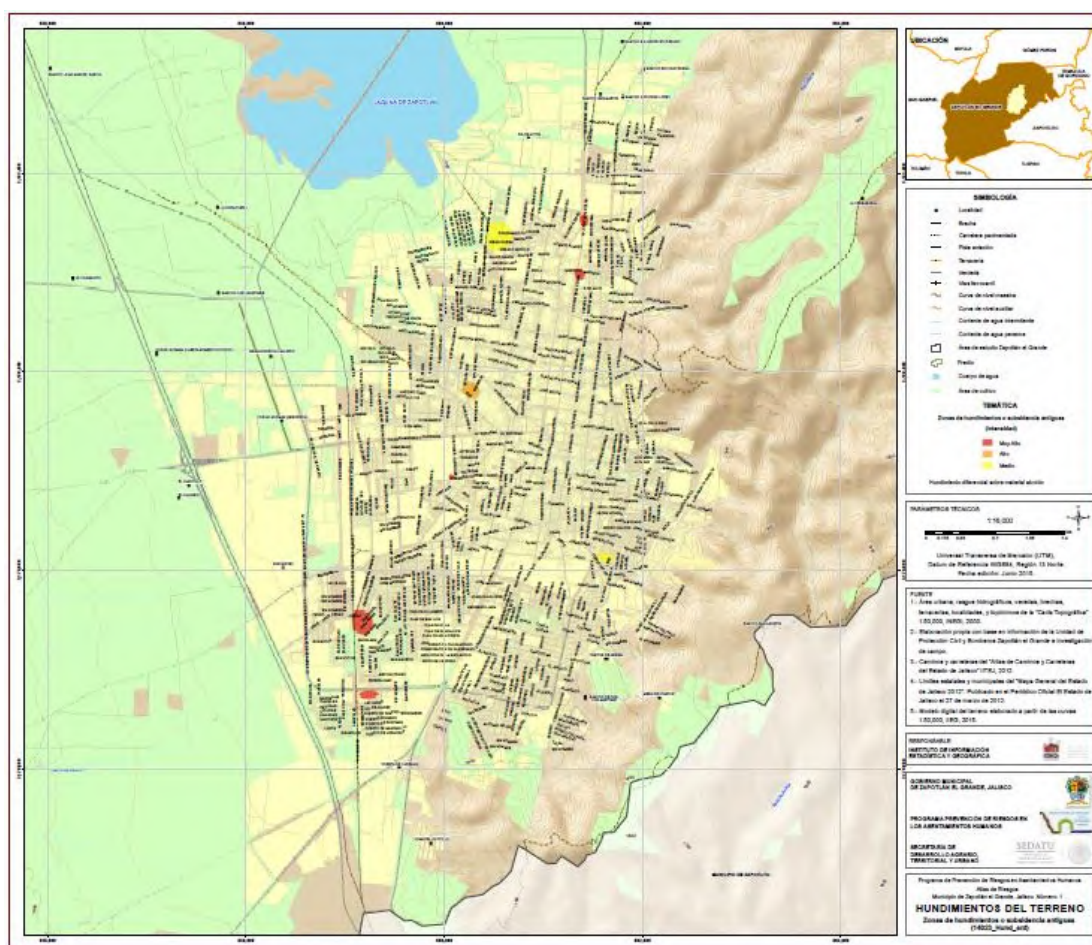
Se requieren diversos estudios tanto geofísicos como geológicos y geotécnicos para determinar las causas que originan los desplazamientos de terreno en la calle Guerrero a la calzada Madero y Carranza, donde 30 viviendas resultaron con daños y ocho de ellas quedaron inhabitables. Tuvieron lugar otros dos que originaron una grieta visible en las calles Manuel M. Diéguez, Ignacio Mejía y la Calzada Madero y Carranza, así como daños de consideración en varias viviendas. De momento no se ha presentado un incidente mayor a los registrados por lo pronto lo que podemos decir es que la grieta se encontró desde la calle Guerrero hasta la calzada Madero y Carranza, esta franja cruza en total de 30 viviendas y si bien no todas resultaron afectadas hay ocho que ya no están en condiciones de estar habitadas. Se ha podido observar en varias viviendas grietas en sus pisos, paredes y techos como si hubieran sido partidas por mitad (Fotografía 4.1.8.2.2.).

De igual forma, el desnivel en la calzada Madero y Carranza así como en la calle Manuel M. Diéguez alcanza en algunos puntos los 30 centímetros como consecuencia de este asentamiento que abarcó todo un sector de la población abarcando aproximadamente 422 metros de longitud.



**Fotografía 4.1.8.2.2.** Daños en casa-habitación observados (Fuente: IIEG, 2015).

En el (Mapa 4.1.8.2.1.), se muestra los hundimientos antiguos ocasionados en Ciudad Guzmán y observados a partir del sismo de 1985. Se localizaron dos polígonos con Peligros Muy Altos, uno en Av. Cristóbal Colón casi esquina Chapultepec y otro hacia el sur de este, también en Av. Cristóbal Colón y Calle Mariscal. Otro sector con hundimientos antiguos anteriormente registrados se localiza sobre la calle Ignacio Aldama entre las calles Condominio Tulipanes y Diego Rivera, asignando un peligro Medio. Hacia el centro de la ciudad se encontró otro efecto de este fenómeno antiguamente originado, entre las calles Ignacio Mejía, Banderas y Sur, considerado con Peligro Alto. En la calle huicholes y Gregorio Torres se localizó otro sitio con hundimientos antiguos y Peligro Muy Alto. Otro sector de peligro Muy Alto localizado hacia el sur de la zona urbana, iniciando en la calle José Villaseñor entre las calles San Daniel, San Andrés y San José.

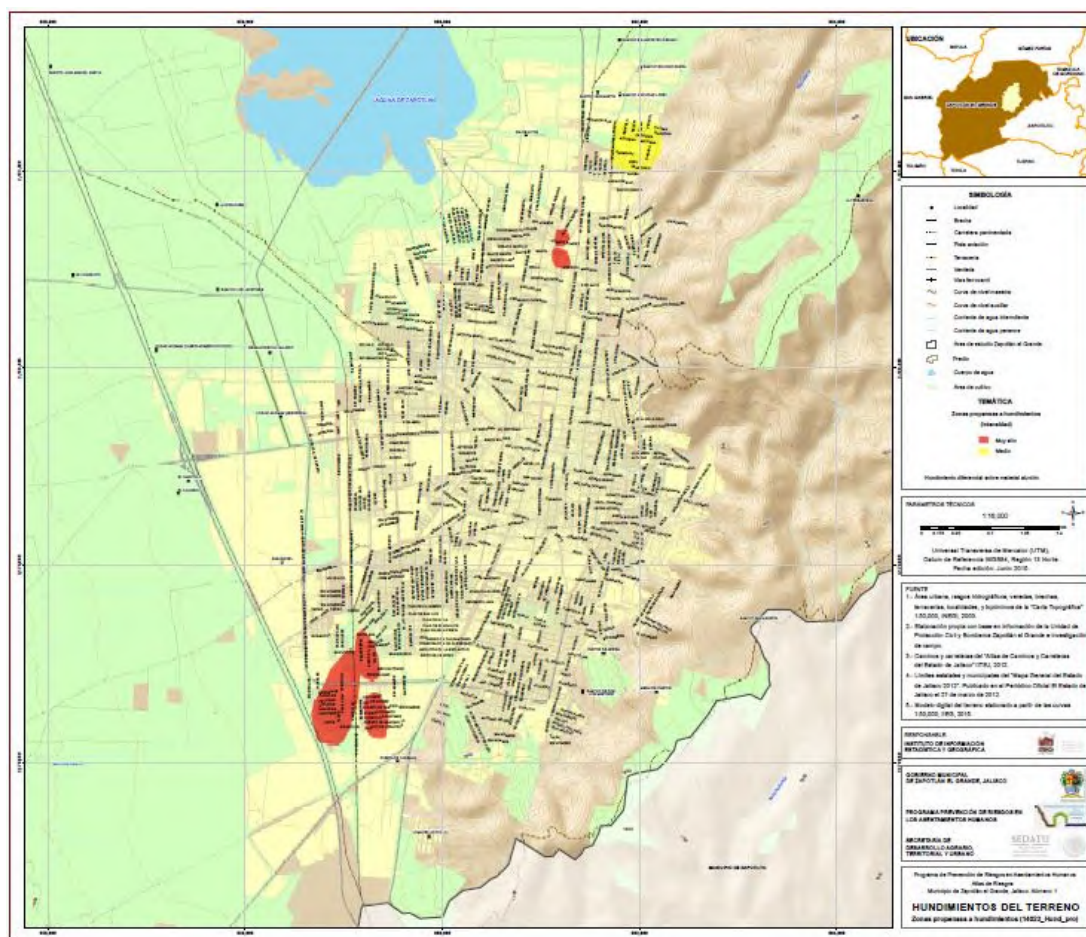


**Mapa 4.1.8.2.1.** Hundimientos antiguos generados en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).

#### 4.1.8.3. Hundimientos Propensos

Los hundimientos propensos son el potencial de un área para que se produzcan hundimientos. A continuación se presenta el (Mapa 4.1.8.3.1.), las áreas propensas a generarse este tipo de fenómeno. Se localizaron polígonos con Peligros de Muy Alto, en la zona norte y sur de la ciudad. Localizándose también otra zona con posibilidad de hundimiento con Peligro medio en la parte norte de la ciudad.





**Mapa 4.1.8.3.1.** Áreas propensas a generarse hundimientos en Ciudad Guzmán (IEG,2015).

#### 4.1.8.4 Implicaciones del Peligro por Hundimientos

En la zona urbana de Ciudad Guzmán el peligro por hundimientos, se debe a que el material en donde está asentada es susceptible de erosionarse en forma acelerada, sobre todo si existen fugas en el sistema de agua y alcantarillado. También debido a las condiciones inestables de este suelo, es posible que durante un fenómeno sísmico, combinado con una saturación de agua, el suelo sea débil generando un fenómeno de licuefacción y las construcciones que se encuentran en su superficie se hundan.

Otra razón es que existen pozos que se encuentran a menos de 500 m unos de otros, lo que influye en el abatimiento y posterior hundimiento del terreno. Estos peligros son





medianamente probables, debido a que pueden ocurrir una vez por cada 10 a 100 años, se pueden presentar en cualquier parte de la ciudad, pero por la presencia de los factores antes mencionados, es muy probable que parte de la zona Noreste sea la más afectada.

El nivel de consecuencias que produzcan los hundimientos será de Peligro Medio, Alto y Muy Alto, debido a que los daños pueden ser considerables pero no se afecta la totalidad de las funciones de la población. Producen contaminación ligera en el ambiente por el transporte de sedimentos desde las partes altas, sus efectos son localizados. No se advierten hasta que sus efectos están totalmente manifiestos.

Estos sitios potenciales se encuentran en las partes montañosas del Municipio de Zapotlán, sin embargo de presentarse el fenómeno se corre el riesgo que la trayectoria afecte población ubicada en las partes de la cabecera municipal.

#### **4.1.8.5 Zonas de transporte de material**

Al este del municipio, en la zona del pie de la sierra, se registraron 9 sitios los cuales se clasifican con un nivel de amenaza muy alto.

Al sur-este del municipio, cerca de la zona del pie de la sierra donde se encuentran “Las ladrilleras” en forma de bermas, se localizó 1 sitio que de igual forma se clasifica con un nivel de amenaza muy alto.

#### **4.1.8.6 Zonas de recepción de material**

Para delimitar las zonas de interés se elaboró un mapa de exposición el cual consiste en determinar las zonas del municipio en las cuales existe población o infraestructura que puede ser dañada en el caso de que un evento suceda.

Con este mapa se determinaron las regiones a estudiar y con el apoyo de un geotecnista se procedió a determinar las zonas de mayor peligro en el municipio; posteriormente estas áreas se verificaron en sitio con personal de la unidad de protección civil del municipio y se procedió a realizar las visitas de campo para levantar información.

### **4.1.9. Erosión**

La degradación de suelos presente en el municipio de Zapotlán El Grande representa un factor de peligro principalmente en las zonas urbanas y localidades. Genera problemas en



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



la biodiversidad ecológica y la productividad del terreno, el cual sustenta las actividades agrícolas que garantizan la seguridad alimentaria del municipio.

El escurrimiento superficial representa el factor determinante para proceso de pérdida del suelo del territorio. La remoción del suelo acarrea problemas ambientales, como el asolvamiento a la cuenca el cual puede incrementar la corriente fluvial de arroyos y ríos de forma gradual, transformado su condición que provoca sequía en época de estiaje (Vélez, 1992).

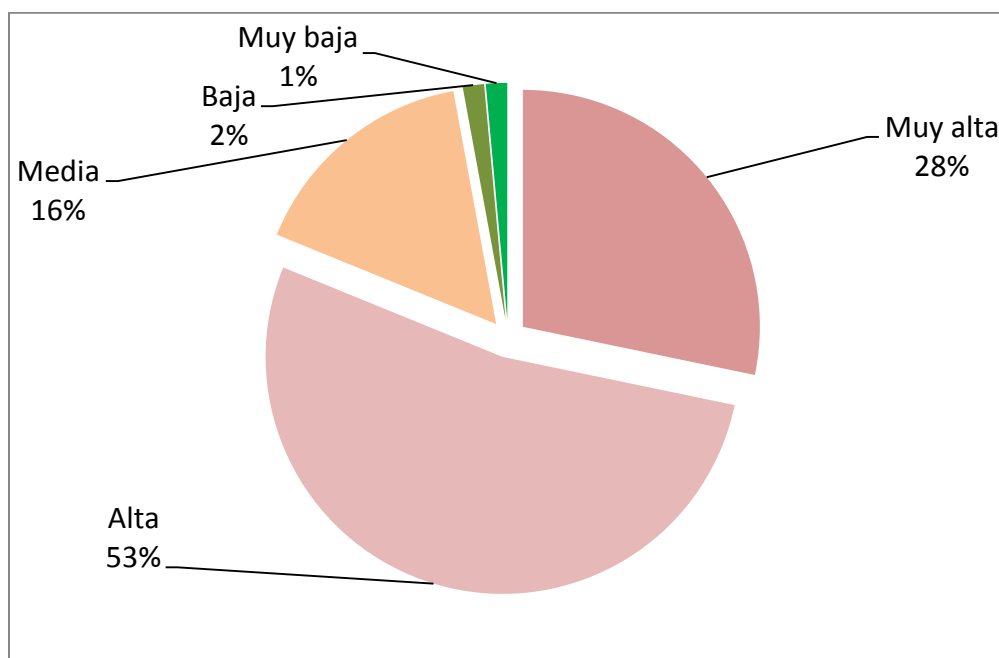
Es mediante el análisis de peligros que se identificaron las áreas que presentan alto grado de vulnerabilidad ante fenómenos erosivos, además se localizaron las áreas consideradas como no aptas para el establecimiento de infraestructura urbana, de acuerdo con las condiciones generales de cada zona, esto con la finalidad de evitar riesgos a los sistemas afectables de las poblaciones.

#### **4.1.9.1 Tipos de erosión hídrica**

Las áreas de afectación localizadas son clasificadas de acuerdo al grado de intensidad y magnitud del fenómeno de erosión, en los cuales son caracterizados el tipo de erosión, posteriormente se realizó el cruce de información vectorial de áreas con erosión tipo laminar y vertical del municipio. Se integró a una base de datos de un SIG, en la cual se realizó el análisis de la información, cabe resaltar aquellas áreas donde intersectan ambos tipos a la cual se realiza el cálculo considerando lo siguiente:

- ✓ Uso dominante del suelo (actividades que se desarrollan actualmente)
- ✓ Grado de pendiente
- ✓ Forma y tamaño de áreas de influencia
- ✓ Capacidad de transporte de escurrimientos

Dentro del análisis de la información se consideró los factores erosivos que determinan la vulnerabilidad de los distintos escenarios ante dichos fenómenos, el cual se relaciona de manera directa con intensidad del peligro ver (Gráfica 4.1.9.1.1.).

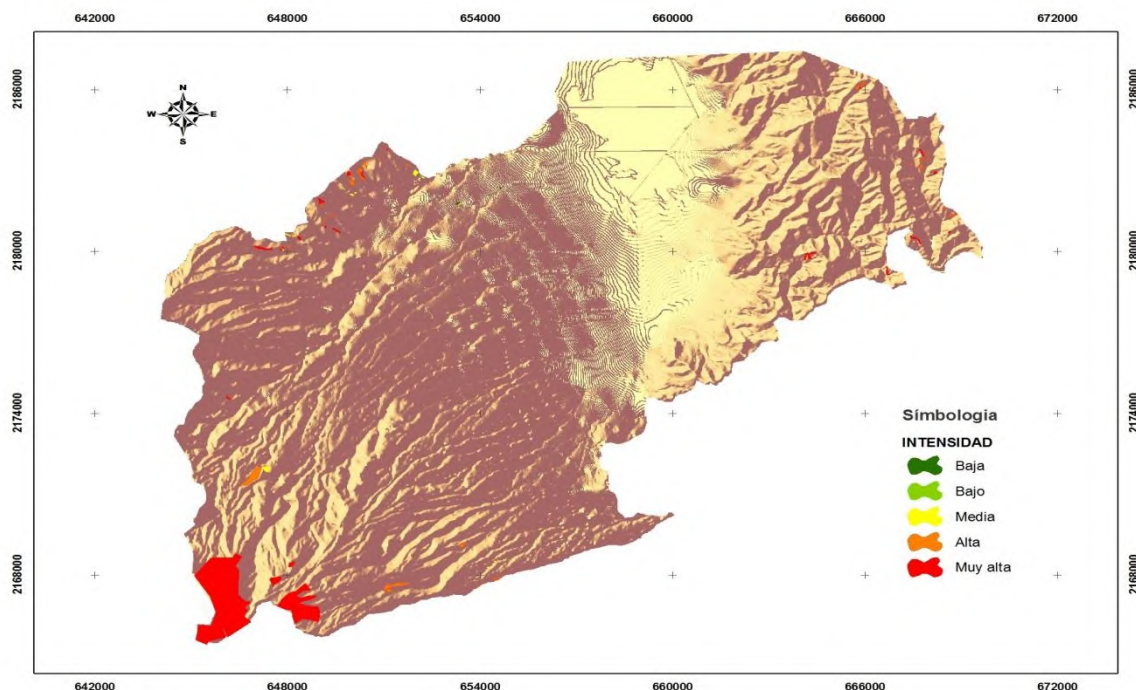


**Gráfica 4.1.9.1.1.** Porcentajes de la intensidad de tipos de erosión hídrica en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de Imágenes Landsat, 2015).

Intensidad	%
Muy alta	28.26
Alta	52.90
Media	15.94
Baja	1.45
Muy baja	1.45

**Tabla 4.1.9.1.1.** Valores de la intensidad de tipos de erosión. (Fuente: Elaboración propia a partir de Imágenes Landsat, 2015).

De acuerdo al análisis estadístico cerca de un 52.9 % ocurre con intensidades altas, un 28.3 % aproximadamente del total de tipos de erosión que ocurren en el municipio son de intensidad muy alta, seguido por 15.9 % con intensidad media, el otro 3 % está considerado de intensidad baja y muy baja, en resumen más del 50 % de áreas afectadas por el fenómeno representan un alto grado de peligro; sin embargo las zonas erosionadas se localizan sobre áreas no cercanas a centros de población, escuelas o infraestructura urbana.



**Mapa 4.1.9.1.1.** Intensidad de tipos de erosión en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).

#### 4.1.9.a. Carta geomorfológica

La Geomorfología del Municipio corresponde a Volcanes, Montañas, Llanuras de origen aluvial, Valle y lagos, los cuales presentan condiciones físicas y biológicas que influyen directamente sobre los procesos erosivos la cual se describen como :

- Sierra con laderas escapadas de falla geológica, la cual se distribuye sobre la porción Norte del municipio, los suelos dominantes son de textura media, la topografía es accidentada registrando pendientes mayores a 15°.
- Sierra de Laderas escarpadas con cañadas, se ubica en la montaña oriente del territorio, se integra por suelos de textura media donde, la topografía registran pendientes entre 15° y 30°.
- Llanuras aluviales, la cual se localiza sobre la porción Centro-Oeste, dominan los suelos de textura media y fina, comprende áreas planas y semiplanas, que debido condiciones físicas albergar zonas agrícolas y urbanas.





- Corresponde a Sierra Volcánica con estratos, la cual se distribuye en las partes de mayor altitud, los suelos dominantes corresponden a texturas medias y gruesas, la topografía es muy accidentada registrando pendientes de entre 30° y 45°.
- Lago de Zapotlán comprende el punto más bajo de la cuenca en la cual se depositan los escurrimientos, es considerada como una zona con alto grado de peligro al transporte de geomateriales y otros residuos.
- Lomeríos de tobas, se localiza sobre la porción Oeste del territorio se caracterizan por integrarse de suelos de textura media y fina, donde la topografía registra pendientes entre 10° y 30°, comprende las zonas de pie de monte.

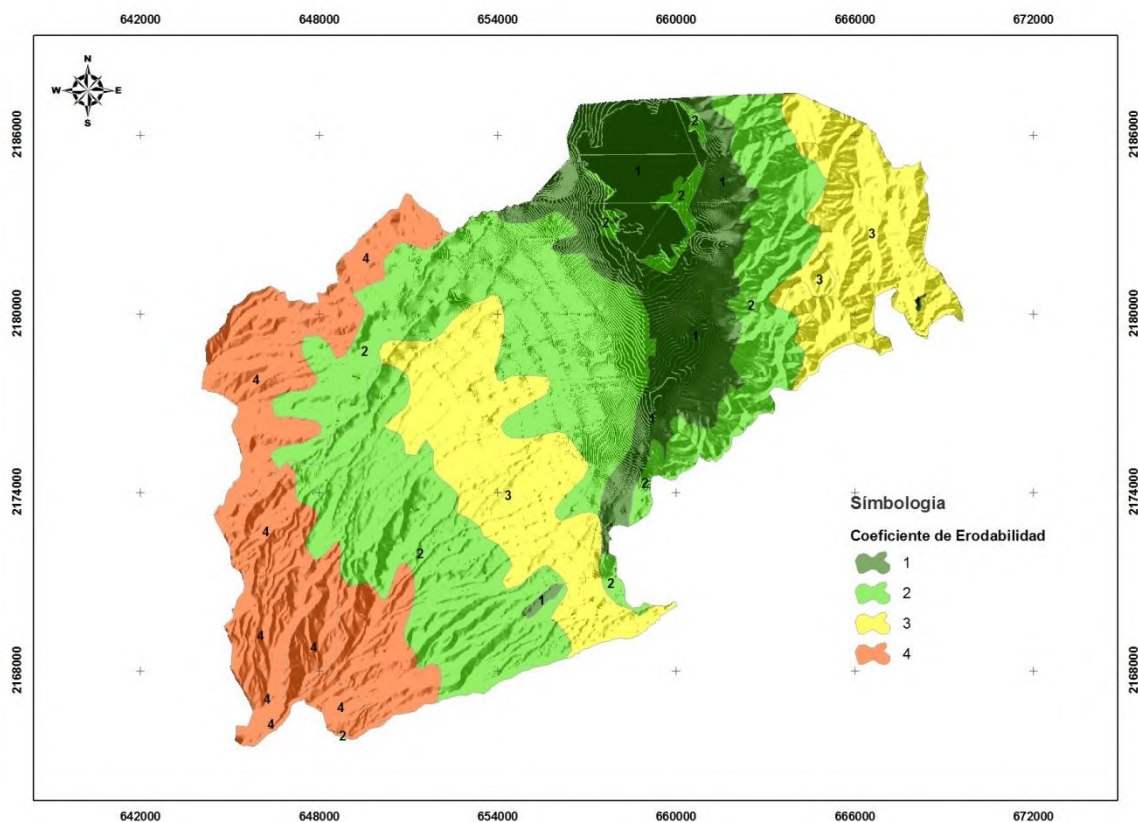
#### **4.1.9.b. Suelos**

Según el análisis de suelos dominantes, cerca del 47 % es ocupado por el grupo Regosol seguido por el 21 % del grupo Cambisol y el 12.68 % lo ocupan los Arenosoles, estas unidades además de distribuirse por la zona montañosa volcánica de la porción occidental hasta los lomeríos de tobas comparten la misma clase textural, considerada como un factor importante para el fenómeno de erosión hídrica. Respecto a las unidades de suelos de textura media y fina, Gleysol, Phaeozem estos ocupan la región de los valles aluviales donde el suelo se origina por la deposición hídrica, estas zonas con uso dominante de suelos para desarrollar actividades agrícolas, respecto a la zona montañosa oriente, está integrada por suelos de las unidades Cambisol, Regosol y Leptosol de textura gruesa. En la (Tabla 4.1.9.b.1.) se muestra el porcentaje que representan respecto al municipio.

Unidades de suelo	Sup. (ha)	%
Andosol	607.77	1.93
Arenosol	3,999.47	12.68
Cambisol	6,689.95	21.20
Cuerpo de agua	1,409.44	4.47
Gleysol	353.28	1.12
Phaeozem	2,520.40	7.99
Regosol	14,848.34	47.06
Zona urbana	112,2.36	3.56

**Tabla 4.1.9.b.1.** Porcentaje de unidades de suelo dominante presentes el municipio. (Fuente: Elaboración propia a partir de Carta Geológica INEGI, 2010).

Las propiedades físicas que caracterizan las unidades de suelos dominantes para cada formación geológica, constituyen factores edáficos con los cuales se puede evaluar el factor de erodabilidad hídrica, a través de la asignación de valores a cada grupo de suelos presente (Mapa 4.1.9.b.1.)

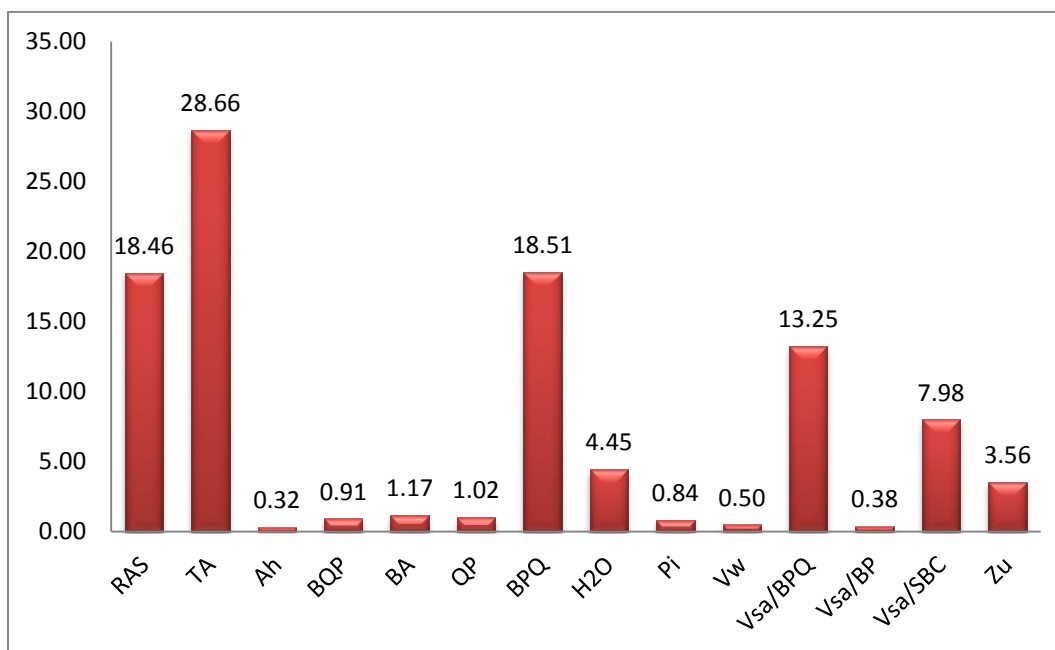


**Mapa 4.1.9.b.1.** Distribución del coeficiente de erodabilidad en suelos dominantes de la cuenca. (Fuente: Elaboración propia a partir de WRB, 2006, INEGI, 2010).

El valor asignado para cada nivel considera cada una de las características físicas de las unidades de suelo presente, se estima la influencia directa que representa ante en el comportamiento del proceso erosivo, asignándole el valor de uno (1) al nivel con menor susceptibilidad y un valor de cuatro (4) al nivel con alto grado de peligro para la pérdida de recurso.

#### 4.1.9.c. Vulnerabilidad de la vegetación

Si bien la fenología de la vegetación varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y su desarrollo, el efecto se relaciona directamente con la intercepción, velocidad de escurrimiento e infiltración, la presencia de esta tiene influencia directa sobre la absorción de la lluvia y la disminución de la velocidad de escurrimiento partiendo de los tipos de cobertura presentes en el municipio con la finalidad de analizar la distribución. De acuerdo análisis estadístico aproximadamente un 28.66 % del territorio presenta uso del suelo con actividades Agrícolas de temporal anual (TA), cerca de un 18.5 % está representado por Bosque de Pino- Encino, le siguen en dominancia con 18.4 % las zonas con riego anual y semipermanente (RAS), el otro 34 % es ocupado por zonas con vegetación secundaria arbustiva de BPQ y SBC.



**Gráfica 4.1.9.c.1.** Porcentaje de la cobertura vegetal presente en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Carta de Uso de suelo y vegetación, serie V INEGI 2013).

La importancia del uso de suelo sobre áreas con problemas erosivos resulta ser determinante para el fenómeno perturbador, puesto que en áreas con algún tipo de cobertura se presenta menor susceptibilidad al deslizamiento de material geológico, cabe



mentar que los factores biológicos en combinación con físicos que caracterizan la zona determinan la intensidad y magnitud del proceso, la vulnerabilidad de la cobertura se puede evaluar y cuantificar con un índice de erosión adecuado a las condiciones presentes (Lal, R. 1990).

En la (Tabla 4.1.9.c.1.) se muestra el tipo de cobertura presente en el municipio, en el cual se estiman los valores de la pérdida del suelo que corresponden a cada uso.

Tipo de cobertura		Pérdida promedio (Ton/ha-año)
Bosques	BPQ	0.016
	BQP	0.016
	BA	0.018
Agricultura	RAS	0.62
	TA	0.38
Áreas urbanas	Ah	N/A
	Zu	N/A
Pastizal	Pi	0.028
Vegetación secundaria	Vsa/BPQ	0.012
	Vsa/SBC	0.019

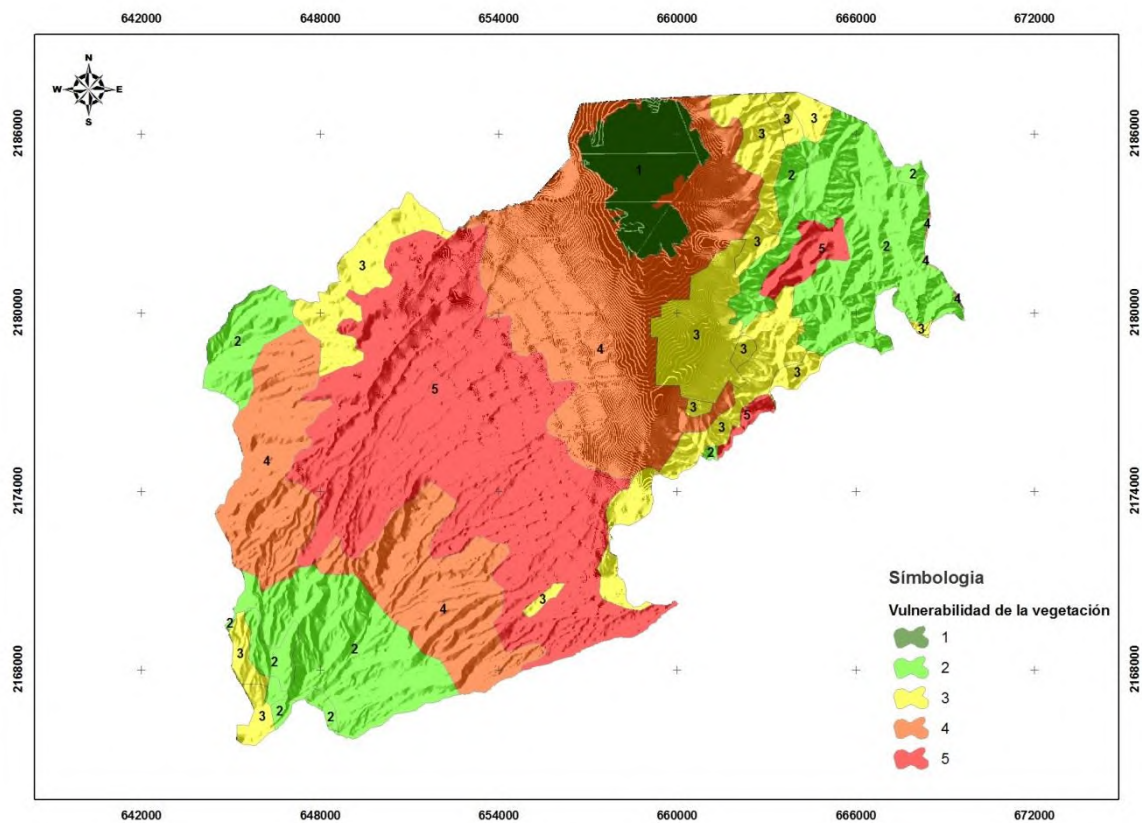
**Tabla 4.1.9.c.1.** Efectos del uso del suelo y tipos de cobertura en los procesos erosivos de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de SEGOB, 1998).

De acuerdo con los usos de suelo registrados para el municipio de Zapotlán El Grande, se determinó el nivel de vulnerabilidad de la vegetación presente en la zona, en el que se consideró la importancia de la protección que brinda el dosel de la vegetación representa entre otros. (Tabla 4.1.9.c.2. y Mapa 4.1.9.c.1).

Valor de Vulnerabilidad	%
1	4.45
2	20.59
3	14.59
4	31.71
5	28.66

**Tabla 4.1.9.c.2.** Porcentaje de vulnerabilidad de la vegetación. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI 2013, SEGOB 1998).





**Mapa 4.1.9.c.1.** Grado de vulnerabilidad de la vegetación ante los procesos erosivos municipales.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI 2013, SEGOB 1998).



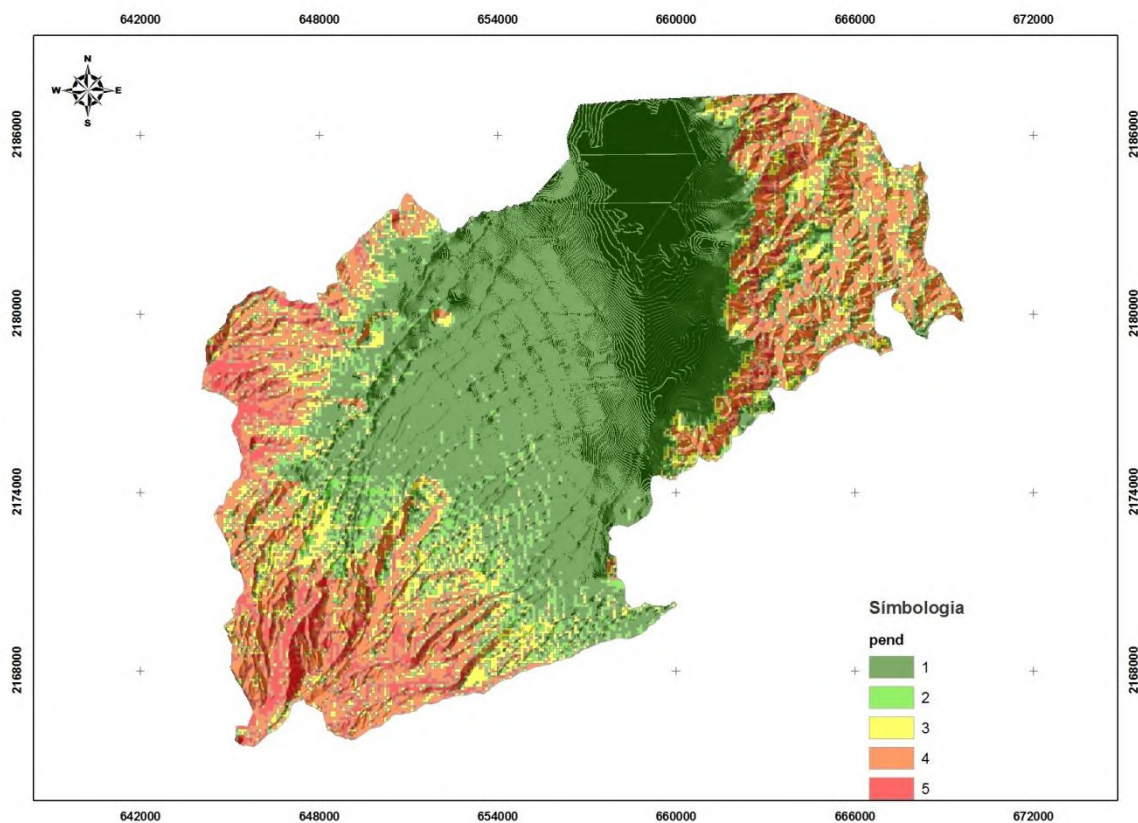
#### 4.1.9.d. Laderas

La pendiente es un factor que influye durante proceso de pérdida de suelo, en el cual se consideró la longitud, magnitud y forma: el grado o porcentaje resulta ser el que origina problemas más agudos en comparación con la longitud la cual solo determina el espesor de la lámina o carga hidráulica. Es a partir del Modelo Digital de Elevación MDE municipal, que se realizó la clasificación de pendientes presentes, en el cual se consideran los criterios para la evaluación del fenómeno de acuerdo al análisis de peligro, finalmente se asigna un valor que considera la influencia directa del fenómeno.(Tabla 4.1.9.d.1.).

Pendiente (P)	0-5%	5-15%	15-30%	30-45%	Más de 45%
	3°	3° - 9°	9° - 18°	18° - 27°	> 30°
Valor	1	2	3	4	5

**Tabla 4.1.9.d.1.** Clasificación de pendientes. (Fuente: Elaboración propia a partir de ODIN, IITEJ, 2013).

El valor de referencia otorgado a cada uno de los rangos de pendientes que se tienen contemplados, se estimó en la intrusión que se juzga pudiera tener en el comportamiento del proceso erosivo, asignándole el valor de uno (1) al rango con menor pendiente y un valor de cinco (5) como rango al de mayor pendiente.(Mapa 4.1.9.d.1.).



**Mapa 4.1.9.d.1.** Distribución de las clases pendientes en el municipio de Zapotlán El Grande.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de ODIN, IITEJ 2013).



#### 4.1.9.e. Red Hídrica

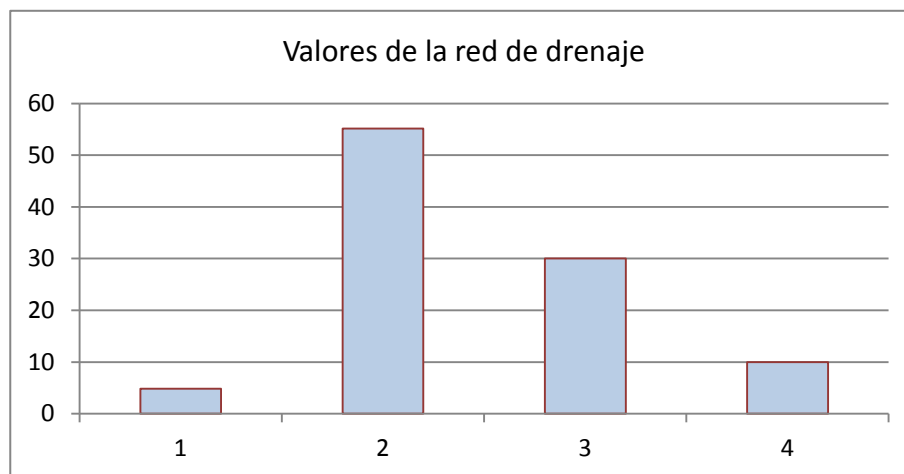
Los datos de escurrimiento superficial fueron consultados en la red de flujos del (SIATL, 2004). La cual se relacionó con las características que permiten evaluar y clasificar las características de la microcuenca en función del fenómeno perturbador.

La clasificación considera la densidad de corrientes, su textura y forma relacionando de manera directa la red de flujos, como producto arroja valores para definir áreas susceptibles a erosión hídrica. (Tabla 4.1.9.e.1.).

Valor	%	Detalles
1	5	Laguna de Zapotlán El Grande
2	55	Típicas de llanuras aluviales de textura fina , los tributarios se juntan aguas arriba
3	30	Cuenca de drenaje radial o centrífugo, red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado
4	10	Aguas arriba comunes curvas fuertes formando ángulos grandes, los tributarios muy controlados por las rocas

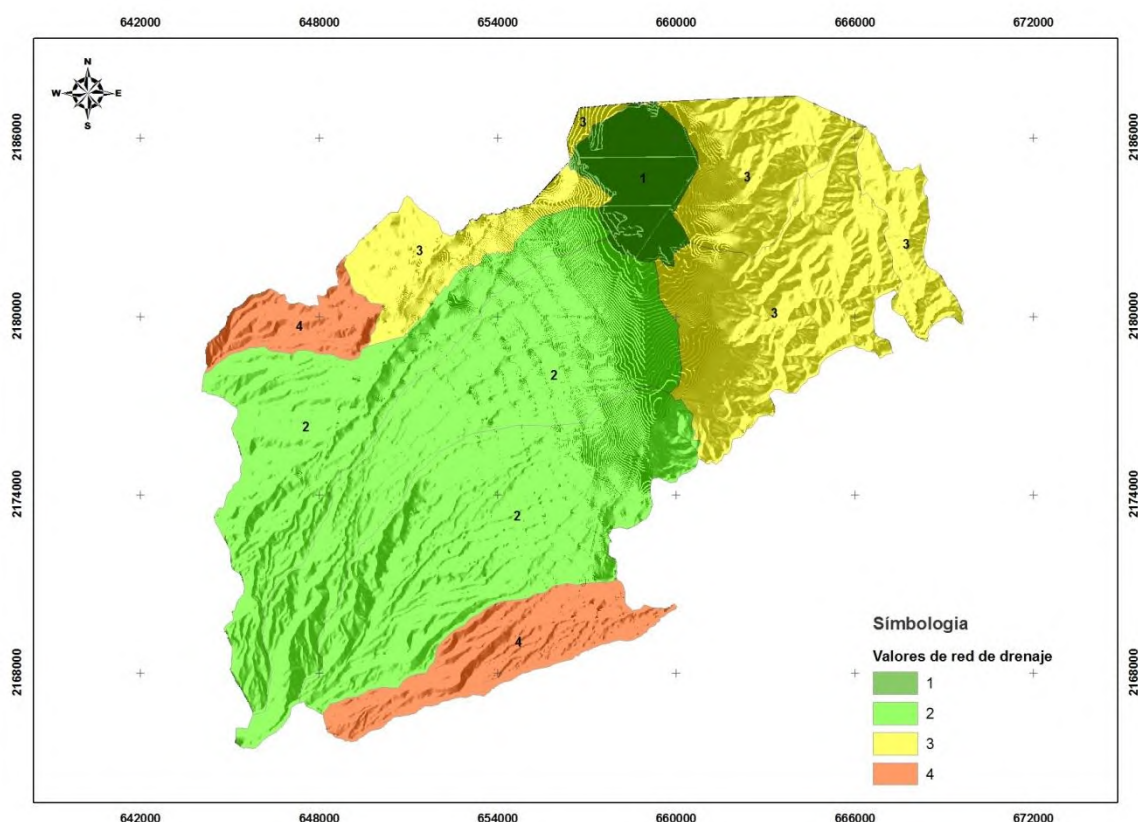
**Tabla 4.1.9.e.1** Clasificación de la red de drenaje de la microcuenca. (Fuente: Clasificación de la forma y textura de la red de drenaje WAY, 1978).

La asignación de valores mostro áreas con alto grado de peligro ante fenómeno, descritos en la (Gráfica 4.1.9.e.1. y Mapa 4.1.9.e.1.).





**Gráfica 4.1.9.e.1.** Porcentaje de las zonas potenciales a erosión. (Fuente: Elaboración propia a partir de la red de flujos SIATL, 2004).



**Mapa 4.1.9.e.1.** Valores de la red de drenaje en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004, INEGI, 2010).

#### 4.1.9.1. Geoformas hídricas

Para relacionar las condiciones generales de la geomorfología, con las características físicas y biológicas del municipio, fue necesario aplicar la sumatoria de información de tipo raster, el producto obtenido se analizó con la finalidad de evaluar el fenómeno perturbador bajo distintos escenarios y condiciones.

Por lo tanto:

Geomorfología hídrica = Carta Geomorfológica + Suelos + Vulnerabilidad de la vegetación  
+ Laderas + Red Hídrica

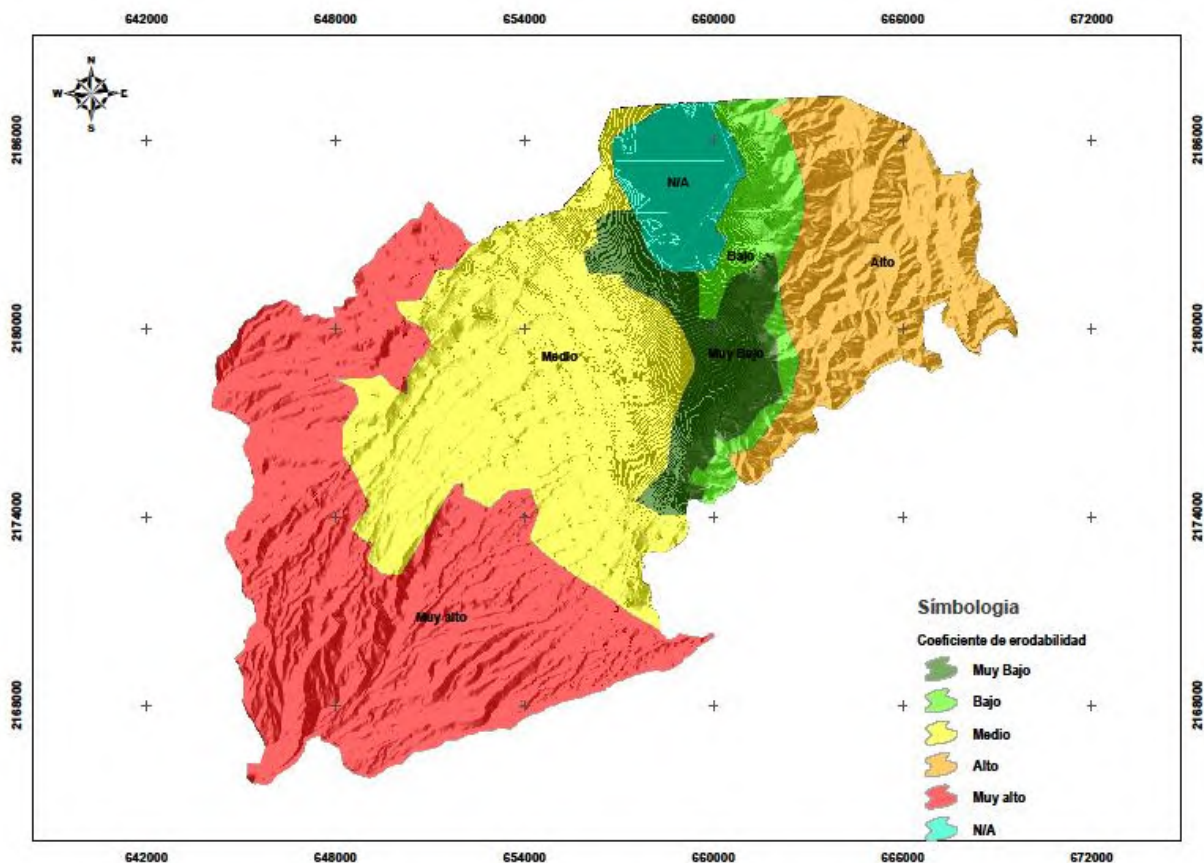


Se asignó valores que cuantifican el grado de peligro, este valor llamado coeficiente de erodabilidad fue el siguiente (Tabla 4.1.9.1.1.).

Nombre	Valor
Laguna	N/A
Llanura Aluvial	1 Muy Bajo
Sierra con laderas escarpadas	2 Bajo
Lomerío de Tobas	3 Medio
Sierra volcánica con cañadas	4 Alto
Sierra volcánica de estratos	5 Muy Alto

**Tabla 4.1.9.1.1.** Valores de erodabilidad de las geoformas hídricas. (Fuente: Lobeck 1963,1964).

En el (Mapa 4.1.9.1.1.) se observa la distribución en el municipio que toman las áreas identificadas con el nivel de peligro de las Geoformas hídricas.



**Mapa 4.1.9.1.1.** Geoformas hídricas presentes en el municipio de Zapotlán. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010, 2013, ITEJ, ODIN 2013, SIATL, 2004).

De acuerdo con el análisis de geoformas hídricas, la porción que corresponde al Sierra de volcánica con estratos, registra muy alto grado de intensidad, caracterizada por integrarse de las zonas con mayor elevación y pendientes más fuertes, lo cual representa un factor de peligro por transporte y acumulación de geomateriales, para localidades como “El Fresnito”, Rancho “José Gudiño Negrete” y “Mesa de Fresnito” esta última caracterizada por ser un terreno plano.

Por otro lado la zona urbana de Ciudad Guzmán, es un área considerada con muy baja intensidad del peligro al fenómeno erosivo según el análisis de geoformas hídricas, considerando las condiciones físicas y biológicas dominantes, sin embargo el área concentra su mayor cantidad de infraestructura y población en la zona.



#### 4.1.9.2. Erosión laminar

Se considera al proceso de la pérdida del suelo cuando el desplazamiento de partículas de suelo, es causado por la acción del impacto de las gotas de lluvia pluvial y este es de manera radial.

Para el municipio de Zapotlán El Grande, la distribución del fenómeno se presenta con mayor intensidad en zonas que favorecen al escurrimiento superficial, es decir que reúnen las condiciones de clima (precipitación), topográficas, tipo de cobertura y características de los suelos (grupo textural, estructura) que determinan la intensidad y magnitud del fenómeno, por ejemplo los suelos de textura fina facilita el escurrimiento superficial lo que aumenta el grado de peligro de erosión, por lo contrario sucede con suelos de grano grueso los permiten la infiltración del flujo hídrico.

Para la identificación de áreas en las que se muestran evidencias sobre el terreno de la pérdida de suelos se realizó un proceso de fotointerpretación sobre imágenes SPOT 2014 y Landsat, 2015 este análisis clasifica los factores erosivos que determinan la intensidad y magnitud del fenómeno, se considera la siguiente información: (Tabla 4.1.9.2.1. y 4.1.9.2.2).

Pendiente (°)	Granulometría	Área de afectación (ha)
Hasta 3°	Muy fino	0-10
3-9 °	Fino	10-50
9-18°	Media	50-100
18-27°	Grueso	100-200
Mayor a 30°	Muy grueso	Más de 200

**Tabla 4.1.9.2.1.** Clasificación de las variables que determinan la intensidad de la erosión laminar.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).





Valor	Intensidad
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

**Tabla 4.1.9.2.2.** Valores de la intensidad de áreas con erosión laminar. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).

La metodología utilizada en el cálculo de la intensidad del fenómeno considera los factores que cuantifican el área de afectación, los valores asignados representa el grado de la intensidad del fenómeno:

Memoria de cálculo:

$$\text{INTENSIDAD} = \sum (n1 + n2 + n3)$$

Siendo:

n1= Pendiente

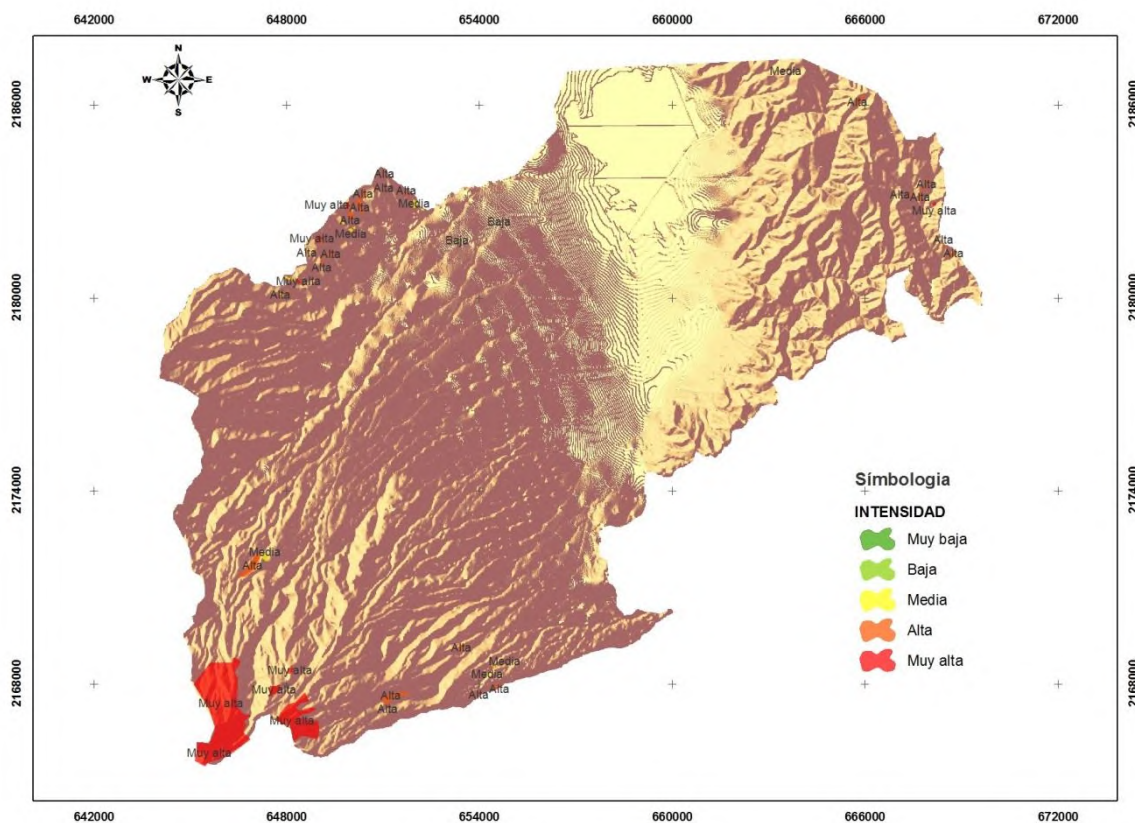
n2 = Granulometría

n3 = Área de afectación

Recomendaciones para disminuir el peligro ante el fenómeno erosivo:

- El establecimiento de terrazas u obras que beneficien a la retención del material, el grado pendiente presente en laderas de terrenos con uso agrícola se podrá disminuir
- Establecer prácticas de uso y manejo del suelo, a través de establecimiento de sistemas agroforestales en las partes altas de las cuencas
- Evitar el uso de maquinaria agrícola pesada sobre terrenos escarpados.

En el (Mapa 4.1.9.2.1.), se muestran las áreas de donde la erosión de tipo laminar presentan intensidades consideradas como un peligro potencial a la pérdida del suelo.



**Mapa 4.1.9.2.1.** Intensidad de la erosión de tipo laminar en el municipio de Zapotlán El Grande.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).

#### 4.1.9.3. Erosión vertical

El proceso de degradación de suelos de tipo vertical, resulta ser el más agresivo pues la profundidad de disección, aumenta considerablemente con los factores físicos. (Fotografía 4.1.9.3.1.).



**Fotografía 4.1.9.3.1.** Erosión en cárcava influenciada directamente por el alto grado de pendiente sobre suelo con estructura desfavorable, en la cual aumenta de la profundidad de disección y el área afectación. (Fuente: IIEG, 2015)

El grado de pendiente y los factores topográficos en combinación con características edáficas e hídricas, determinan la magnitud e intensidad del fenómeno su relación de manera directa, permite su evaluación y representación en el terreno pudiéndose clasificar de la siguiente manera: (Tabla 4.1.9.3.1.).

Pendiente (°)	Longitud (m)	Profundidad de disección
0-5	1-80	0-3.5
5-10	81-160	3.6-7
10-15	161-240	7.1-10.5
15-30	241-320	10.6-17.5



Pendiente (°)	Longitud (m)	Profundidad de disección
Mayor a 30	321-400	Más de 17.6

**Tabla 4.1.9.3.1.** Clasificación de las variables que determinan la intensidad de la erosión vertical.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).

Memoria de cálculo: **INTENSIDAD =  $\sum$  (n1+ n2 + n3)**

Siendo:

n1= P<sub>media</sub>

n2 = Longitud

n3 = Profundidad de disección

$$P_{media} = \text{Alt} + (-) \text{Alt} - / \text{Dis. Horizon.} * 100$$

Siendo:

P = Pendiente expresada en porcentaje

Alt + = Cota de mayor altura

Alt – = Cota de menor altura

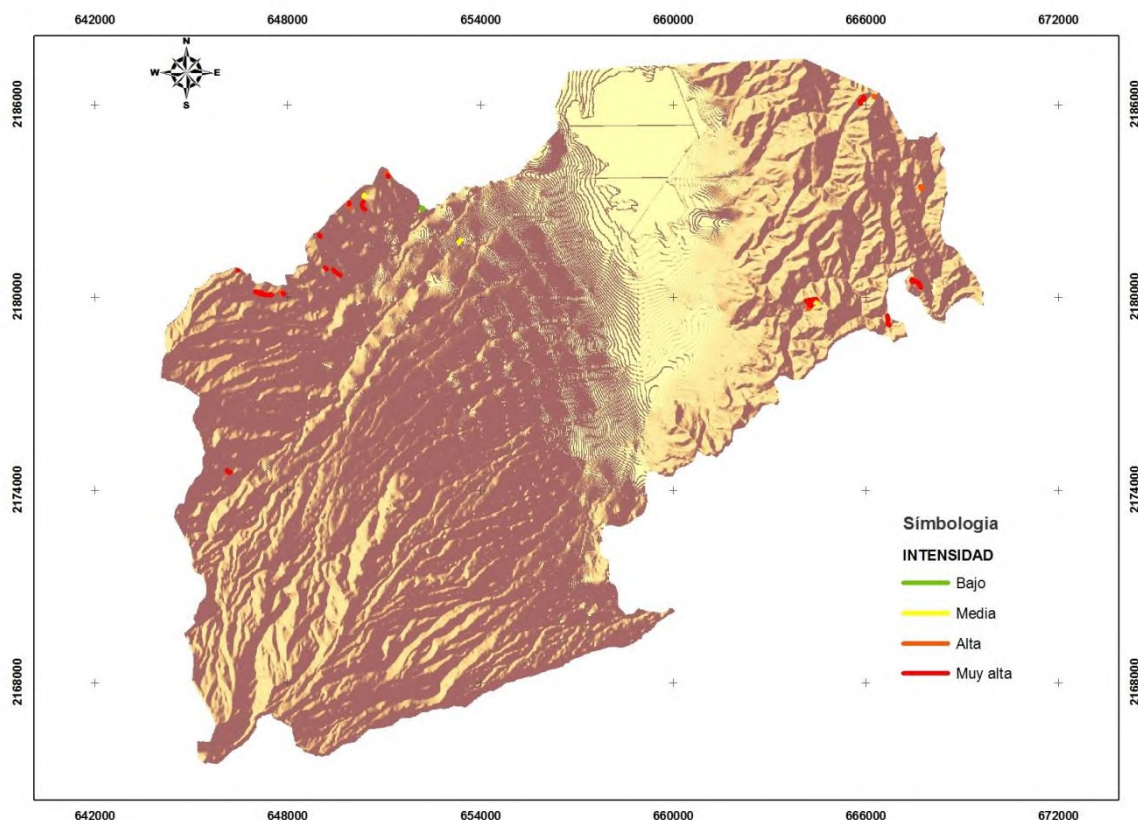
Dis. Horizon = Distancia horizontal.

Los valores asignados para cada clase representa el grado de la intensidad del fenómeno:  
(Tabla 4.1.9.3.2. y Mapa 4.1.9.3.1.).

Valor	Intensidad
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta



**Tabla 4.1.9.3.2.** Valores de la intensidad de áreas con erosión vertical. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).



**Mapa 4.1.9.3.1** Intensidad de la erosión de tipo vertical en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).

#### Recomendaciones para reducir el peligro ante la intensidad del fenómeno

- Establecimiento de especies que favorezca la retención del suelo, recomendable cultivos con fácil propagación.
- Establecer conservación de suelo, principalmente sobre áreas con fuerte grado de pendiente.
- Reducir la longitud y magnitud de la pendiente, la cual representa un factor determinante en las dimensiones de disección

- Incrementar la rugosidad del terreno, mediante la colocación de barreras con la cual se disminuye la intensidad

#### 4.1.9.5 Áreas de transporte

El análisis para la evaluación del fenómeno, contempla las áreas de transporte como aquellas zonas en las cuales se desplazan de las partículas de suelo y que generalmente se direccionan por los canalillos u arroyos de condición intermitente. (Fotografía 4.1.9.5.1. y 4.1.9.5.2.).



**Fotografía 4.1.9.5.1.** Arroyuelo el cual representa una vía potencial para el transporte de los geomateriales. (Fuente: IIEG 2015)

Partiendo de los siguientes criterios:

La capacidad de transporte en las partes muy altas y altas es mayor.



**Fotografía 4.1.9.5.2.** Área de transporte de rocas de gran tamaño localizada sobre la parte alta de la cuenca, donde la capacidad es mayor. (Fuente: IIEG, 2015).

La densidad de las corrientes, influye directamente sobre la dimensión de las áreas de desplazamiento, esta aumenta proporcionalmente con la capacidad de transporte

En terrenos con pendiente alta y muy alta (mayor a  $27^\circ$ ), se registran los valores mayores del coeficiente de erodabilidad de los suelos.

Se determinó que:

- ✓ El área de influencia de los escurrimientos superficiales se determinó de acuerdo a la capacidad de carga hidráulica, considerando en arroyos = 10 m. y ríos = 20 m.
- ✓ Por medio de la evaluación de parámetros físicos-morfométricos que caracterizan el sistema de drenaje o las corrientes superficiales, se determinaron valores que refieren las condiciones del proceso erosivo.
- ✓ La sumatoria de los valores asignados para cada variable representa el grado de la intensidad del fenómeno, con la cual se puede identificar las áreas de peligro. (Tabla 4.1.9.5.1. y Mapa 4.1.9.5.1.).



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Pendiente	Líneas de drenaje	Erosión potencial
Hasta 3° (1)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)
3-9° (2)	Bajo (2)	Bajo (2)
9-18° (3)	Medio (3)	Medio (3)
18-27° (4)	Alto (4)	Alto (4)
Mayor a 30° (5)	Muy Alto (5)	Muy Alto (5)

**Tabla 4.1.9.5.1.** Valores de las variables para medir la intensidad de las áreas de transporte.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010, FIRCO 2012).

Memoria de cálculo:

**Área de transporte** = Pendiente + líneas de drenaje + erosión potencial.





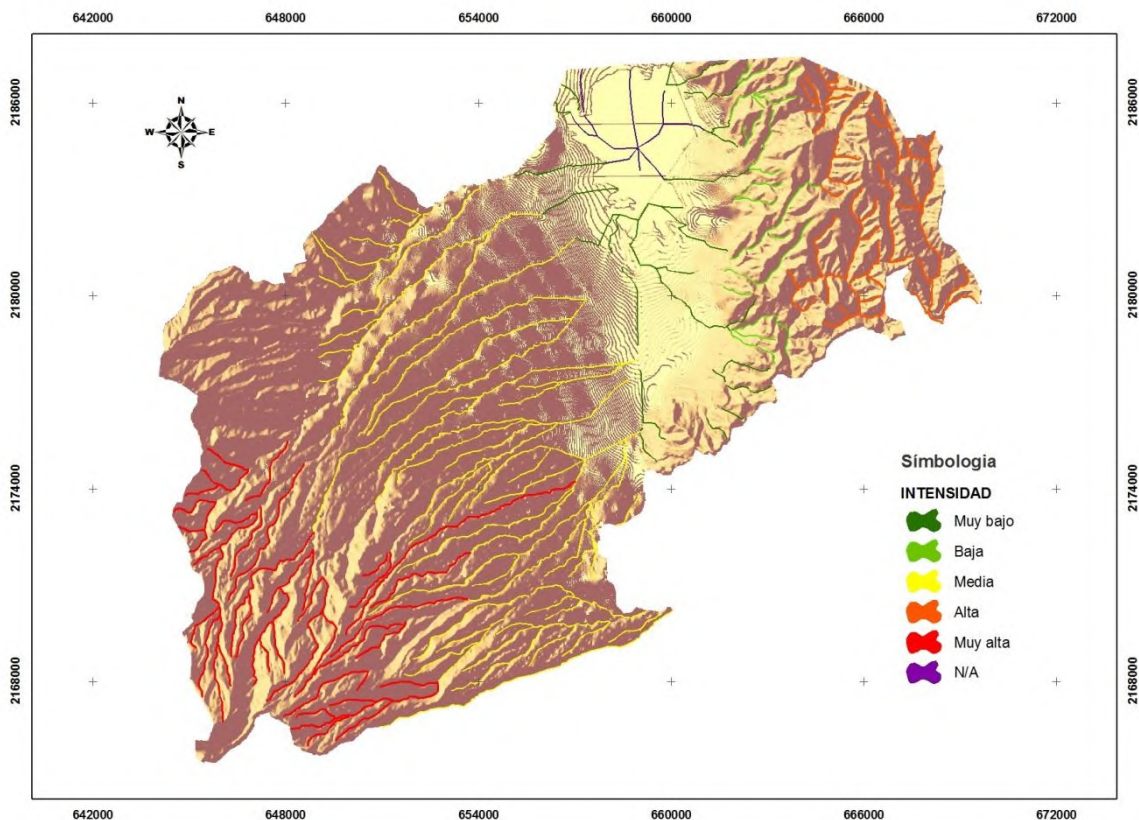
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande



**Mapa 4.1.9.5.1** Áreas de transporte de materiales en el municipio de Zapotlán El Grande.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004).

### Recomendaciones

Reducción del volumen hídrico, la velocidad y longitud líneas de drenaje

Establecer barreras a menor distancia en las partes altas de la cuenca

Mantener libre de residuos sólidos las partes bajas de la ciudad, con la finalidad evitar el asolve de las partes bajas

#### 4.1.9.6. Áreas de recepción

El análisis sobre pérdida de suelos a causa de la erosión hídrica, considera aquellas áreas en las que se depositan y sedimentan los geomateriales principalmente en áreas con poco grado de pendiente, canales, zonas inundadas y sobre lagos (Vélez, 1992). (Fotografía 4.1.9.6.1.).



**Fotografía 4.1.9.6.1.** Área de recepción de los geomateriales transportados por los escurrimientos superficiales, en una zona con poco grado de pendiente. (Fuente IIEG, 2015).

La problemática del fenómeno acarrea alto impacto al ecosistema y localidades circundantes, la erosión y el asolvamiento de la cuenca causa el incremento de la corriente fluvial, es decir la gradual transformación de esta corriente que, de ser un río permanente, pasa a ser uno estacional, esto es, que llega a secarse en la época de estiaje (Sans, 1985).



**Fotografía 4.1.9.6.2.** Área de recepción de geomateriales, que provoca el asolve de una línea de drenaje transformando su condición. (Fuente: IIEG, 2015)

Para identificar las áreas de recepción, así como caracterizar el proceso se realizó la sobreposición información entre las líneas de escurrimiento superficial consultadas en la base SIATL, 2015 y la metodología propuesta por FAO, para la identificación de áreas susceptibles de erosión potencial (Fotografía 4.1.9.6.2.).

Se consideran los siguientes criterios:

Las áreas de depósito y sedimentación de los geomateriales, se relacionan con superficies geográficamente bajas y planas.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



El asolvamiento para el municipio de Zapotlán El Grande, representa un problema de deterioro para la infraestructura hidráulica, además de ser un peligro para poblaciones cercanas a los cauces naturales.

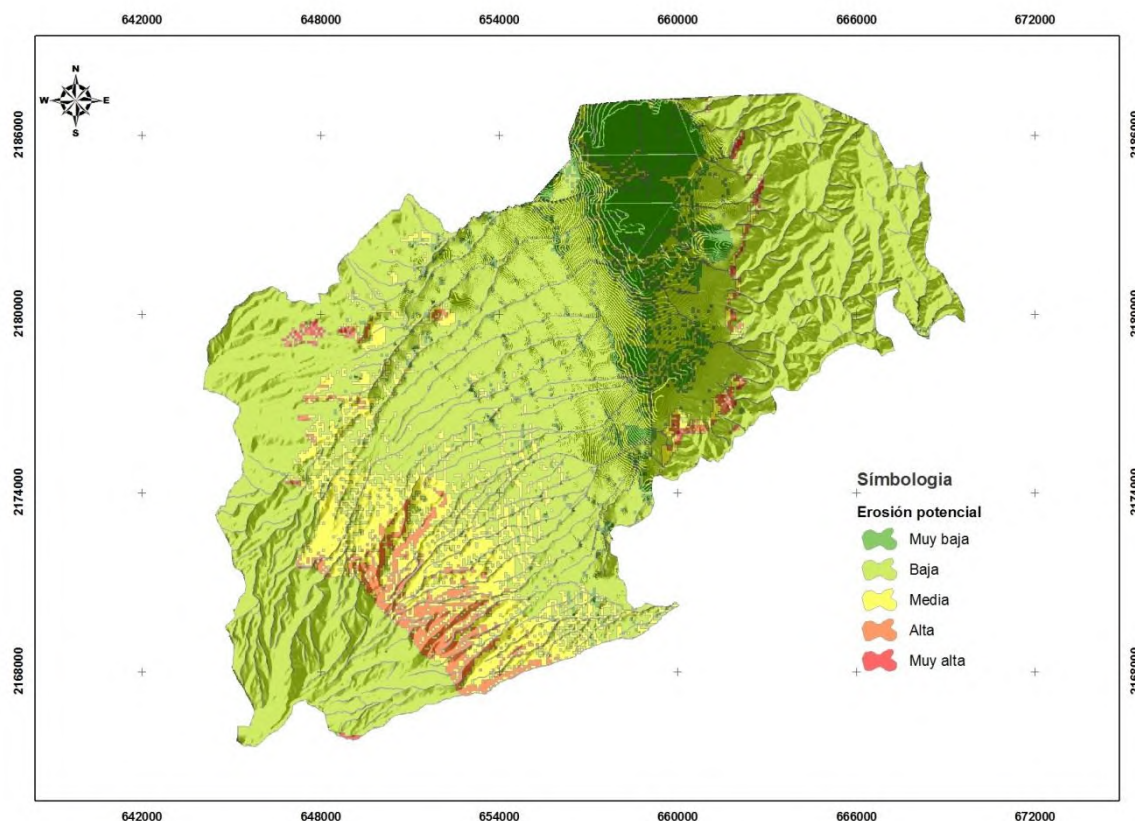
Con base a la información disponible se determinaron los siguientes valores, con la finalidad de conocer la magnitud e intensidades del fenómeno: (Tabla 4.1.9.6.1.).

Pendiente	Líneas de drenaje	Erosión potencial
Hasta 3° (1)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)
3-9° (2)	Bajo (2)	Bajo (2)
9-18° (3)	Medio (3)	Medio (3)
18-27° (4)	Alto (4)	Alto (4)
Mayor a 30° (5)	Muy Alto (5)	Muy Alto (5)

**Tabla 4.1.9.6.1.** Clasificación de variables para determinan la intensidad en las de recepción.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).

En el (Mapa 4.1.9.6.1.), se señalan las áreas susceptibles al depósito de los geomateriales relacionando el grado de intensidad.





**Mapa 4.1.9.6.1.** Áreas de recepción de geomateriales en el municipio de Zapotlán El Grande.  
(Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004).

Las áreas de acumulación para las poblaciones del municipio que se localizan en los sitios con baja altitud, como la zona urbana del municipio lo que corresponde a Ciudad Guzmán presenta problemas erosivos a consecuencia de la sedimentación de los materiales acarreados, representan un factor de alto riesgo para la población que habitantes de las localidades del “Rancho Crucero de Don Gus” el “Rancho Juan Manuel García” “La Hiuzachera” y “Rancho Los Agustines” el asolve de obras hidráulicas es peligro potencial para esta zona que puede provocar pérdidas económicas y de vidas humanas.



#### 4.1.9.7. Erosión potencial

Erosión hídrica de la zona de estudio (Tabla 4.1.9.7.1. y Mapa 4.1.9.7.1.)

Categoría	Clasificación	Ton/ha/año	Has que se erosionan en la zona de estudio
1	Nula o ligera	<10	134,378
2	Moderada	10-50	3786
3	Alta	50-200	1100
4	Muy alta	>200	52

**Tabla 4.1.9.7.1.** Superficies y volúmenes estimados de suelo perdido en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: A partir de metodología propuesta por FAO, 1990)

#### METODOLOGÍA

Para evaluar la erosión en la zona de estudio, se utilizó la metodología desarrollada por la FAO, el cual considera 4 factores:

- a) Factores climáticos
- b) Factores edáficos
- c) Factores topográficos
- d) Factores humanos

Los factores climáticos se calculan usando una modificación del Índice de Fournier ( $R_1$ ), usando valores de precipitación mensual ( $P_1$ ) y anual ( $P_2$ ), los valores de  $R_1$ , se correlacionaron con el índice R de la ecuación universal de Mischmeier (Arnoulds, 1977).

$$R_1 = \frac{1 + 1 \cdot P_1^2}{p}$$

Los valores de  $R_1$  también conocido como índice de erosividad de la lluvia, se clasificó en:

$R_1$  = 0 a 50 ligera

$R_1$  = 50 a 500 moderada

$R_1$  = 500 a 1000 alta y

$R_1$  = >1000 muy alta.



b) Factores edáficos. Estos valores se tomaron de los tipos de suelos que predominan en la microcuenca.

Los tipos de suelos predominantes en la microcuenca son: Andosol (tipo II), Cambisol (tipo II), Phaeozem (tipo I), Regosol (tipo II), Fluvisoles (tipo ii) y Gleysols (tipo ii) (INEGI).

Clases texturales.

Las clases texturales presentes en la zona son: Gruesa, Media y Fina y se clasifican en: 0.2, 0.3 y 0.1 respectivamente.

Factores topográficos. Se dividieron en tres clases:

a) a nivel o ligeramente ondulada de 0 a 8%

b) de ondulada a fuerte del 8 al 30%

c) Fuerte a quebrada mayor de 30%

Con los anteriores datos se calculó el RIESGO DE EROSIÓN, de la forma siguiente:

$$\text{RIESGO} = R_1 * C_{\text{UNIDAD}} * C_{\text{TEXTURA}} * C_{\text{PEND}} * C_{\text{USO}}$$



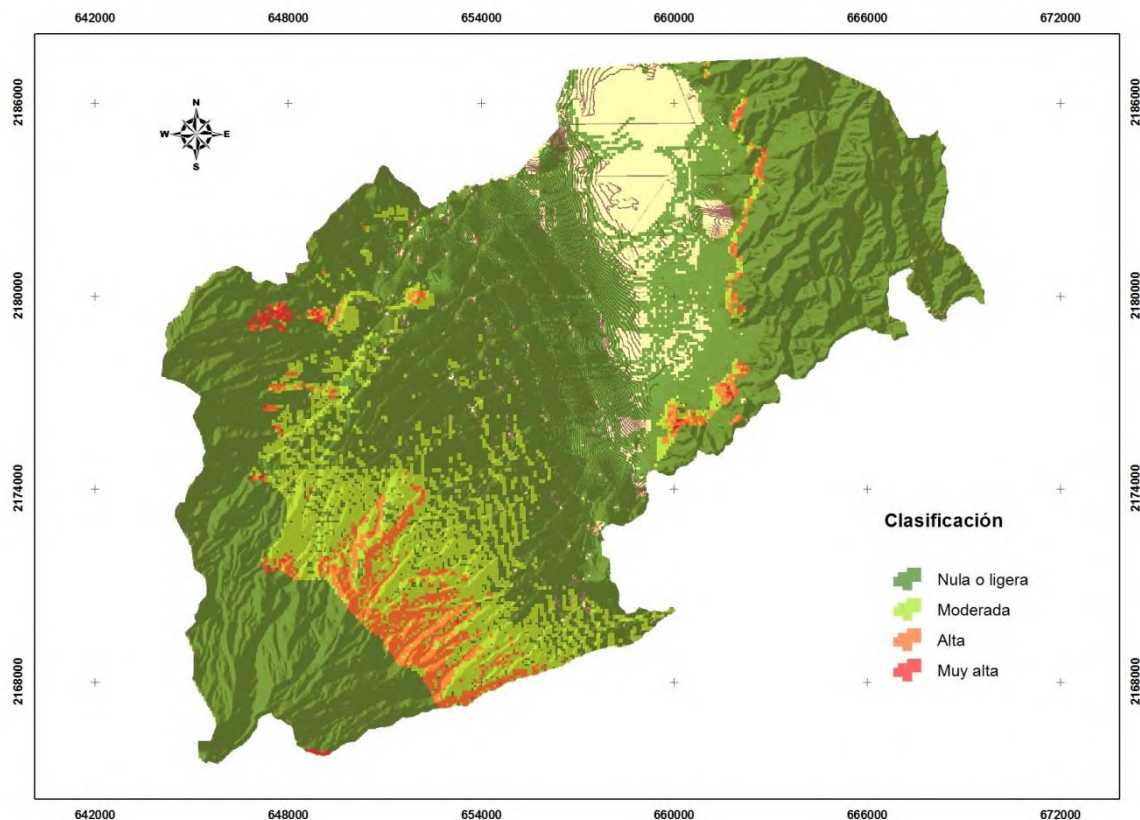
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande



**Mapa 4.1.9.7.1.** Erosión potencial en al municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de FAO, 1990).





## **4.2. Hidrometeorológico**

### **4.2.1. Ciclones tropicales**

Los ciclones tropicales han causado algunos de los peores desastres debidos a fenómenos naturales. Países con litorales marítimos amplios, relieves bajos y poco desarrollados han sido fuertemente impactados por este fenómeno causando la muerte a decenas de miles de personas y pérdidas económicas de gran magnitud. En México el huracán Gilbert en 1988 causó la muerte a 200 personas y Pauline en 1997 provocó 228 decesos.

Sin embargo también tienen efectos benéficos pues contribuyen a redistribuir las lluvias haciendo que estas lleguen a las zonas áridas de nuestro país.

Estos sistemas atmosféricos requieren mínimamente calor y humedad. Una de sus fuentes de energía calorífica es la temperatura de las aguas oceánicas, si esta alcanza los 26 °C, entonces hay la suficiente para que se inicie el proceso de su formación el cual consta de las siguientes etapas:

Depresión tropical, presión de 1008 a 1005 mb o velocidad de los vientos menor que 63 km/h.

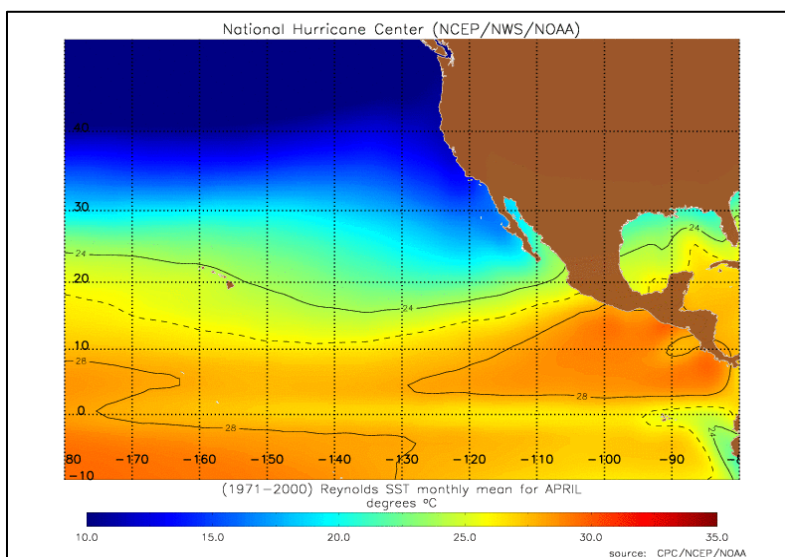
Tormenta Tropical, presión de 1004 a 985 mb o velocidad del viento entre 63 y 118 km/h.

Huracán: presión menor que 984 mb o velocidad del viento mayor que 119 km/h.

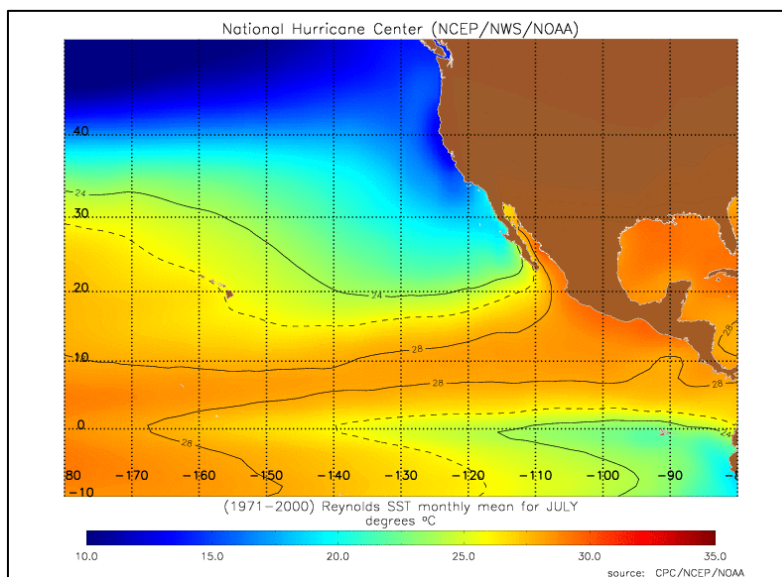
Otras condiciones meteorológicas que deben conjuntarse son:

- Presencia de una zona de convergencia en los niveles bajos y de baja presión superficial, de escala sinóptica, es decir que tienen una escala espacial promedio del orden de varios cientos de kilómetros (de 100 a 1000 km.) y una escala temporal del orden de varios días (de 3 a 10 días).
- Una atmósfera tropical cálida y húmeda que favorezca la inestabilidad de las capas de aire cuando se saturan.
- Que el fenómeno se encuentre lo suficientemente alejado del Ecuador, generalmente de 4-5° de latitud.

La siguientes (Figuras 4.2.1.1.y 4.2.1.2.) muestra la temperatura promedio del mar para los meses de abril y julio con datos de 1971-2000.



**Figura 4.2.1.1.** Temperatura del océano pacífico para abril (Fuente: NOAA, 2015).



**Figura 4.2.1.2.** Temperatura del océano pacífico para junio (Fuente NOAA, 2015).

En la Figura 4.2.1.1. se observa como la zona del mar con temperaturas de 28 °C se empieza a extender hacia el oeste a partir de los 130° de longitud oeste, hasta conectar en el mes de julio con la zona que en el mes de abril se encontraba en los 170° de longitud oeste.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



Una vez que el huracán ha pasado, baja la temperatura del agua del mar y cuando alcanza tierra pierde el contacto con su fuente de energía y recorre en sentido contrario las etapas de formación hasta que se desvanece, de tal manera que en sitios alejados de la costa sólo impactaran bien como tormentas tropicales, bien como depresiones tropicales.

La velocidad de los vientos no es uniforme sino que ocurren rachas aisladas, las cuales pueden destruir edificios y dejar en pie los que están a su lado. Sin embargo no es este el aspecto más aterrador del fenómeno, Parte de la estructura de un ciclón lo es la pared del ojo, una columna de nubes de tormenta de hasta 17 km, es la zona más peligrosa puesto que aquí los vientos alcanzan su máxima velocidad. Entonces son dos fases, en la primera las estructuras se debilitan o caen, luego viene la zona de calma del ojo con una amplitud de varias decenas de kilómetros, para enseguida encontrarse con el otro extremo de la pared del ojo, que termina por devastar lo que la primera fase dejó en pie.

Hay dos aspectos que no se pueden predecir fácilmente: su trayectoria y la fuerza de los vientos que puedan desarrollar. La trayectoria está influenciada por muchos factores propios de la tormenta y de la atmósfera que la rodea, lo cual dificulta su control, cualquier cosa que esto signifique. Mediante sondas, liberadas desde aviones en vuelo sobre el ojo del huracán, se recaban datos de temperatura, velocidad del viento y humedad que puedan ayudar a predecir su trayectoria, pero tales cálculos suelen fallar por 160 km. Es normal que se recurra también a la climatología de los ciclones tropicales ya que se puede observar que en ciertas regiones y temporadas, siguen determinadas trayectorias. Por último, a partir de la aparición de los sistemas de cómputo, se han desarrollado y perfeccionado también modelos matemáticos para la predicción de la trayectoria de los huracanes a los cuales se recurre para alertar a la población.

Son cuatro formas de peligro generados por un ciclón: los vientos, las olas, las mareas de tormenta o marejadas y las lluvias. En este último caso, el agua que recoge del mar durante su trayectoria es liberada después durante horas y cuanto más lento viaje el huracán tanta más cantidad de agua liberará, aumentado caudales de ríos y arroyos y reblandeciendo laderas.

Las zonas donde se originan en el océano pacífico va de lo 90° a los 130° grados longitud oeste, frente a las costas de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, teniendo su fin de trayectoria principalmente en Jalisco, Michoacán, Colima, Nayarit, sur de Sinaloa y al oeste del extremo sur de la Península de Baja California.



### Categorías Saffir-Simpson

Descripción de los daños producidos por vientos de los huracanes, escala Saffir-Sipson		
Categoría	Velocidad Km/hr	Vulnerabilidad
1	119 < v < 153	Ningún daño efectivo a los edificios. Daños menores a arbustos y árboles.
2	153 < v < 177	Provoca algunos daños a los tejados, puertas y ventanas de edificios.
3	177 < v < 209	Provoca algunos daños estructurales a pequeñas residencias y construcciones auxiliares, con pequeñas fisuras en los muros.
4	209 < v < 250	Provoca fisuras más generalizadas en los muros, con derrumbe completo de toda la estructura del techo de las viviendas pequeñas.
5	> 250	Derrumbe total de los techos en muchas residencias y edificios. Algunos edificios se desmoronan y el viento se lleva las construcciones. Los daños son graves en los pisos bajos de todas las estructuras.

**Tabla 4.2.1.1.** Categoría Saffir-Simpson

Dado que el riesgo asociado a huracanes en los municipios alejados de la costa se debe más al peligro por inundaciones, se ha propuesto una reclasificación de huracanes basada en los vientos y en la precipitación: “El grado de peligrosidad que el huracán implica, se da a conocer a la población a través de un código basado en una clasificación de la velocidad de los vientos; sin embargo, no existe un código similar para el grado de peligrosidad que implica la precipitación potencial” (Tabla 4.2.1.1.).

La propuesta de los autores citados es que a la par de la clasificación por la velocidad de vientos máximos y presión barométrica, se maneje una categorización conceptual por altura de precipitación potencial: (Tabla 4.2.1.2.).

Categoría	
<b>A</b>	Lluvia escasa
<b>B</b>	Lluvia normal
<b>C</b>	Lluvia intensa
<b>D</b>	Lluvia extrema

**Tabla 4.2.1.2.** Clasificación propuesta por precipitación acumulada potencial.

La reclasificación por ambos criterios se presenta en la (Tabla 4.2.1.3.).

Vientos	Categoría	Precipitaciones			
		A	B	C	D
	DT	DTA	DTB	DTC	DTD
	TT	TTA	TTB	TTC	TTD
	HI	HIA	HIB	HIC	HID
	HII	IIIA	IIIB	IIIC	IIID
	IIII	IIIIA	IIIIIB	IIIIIC	IIIIID
	HIV	HIVA	HIVB	HIVC	HIVD
	HV	HVA	HVB	HVC	HVD



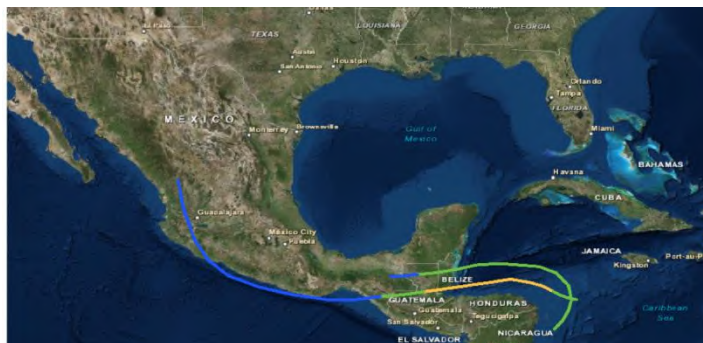
**Tabla 4.2.1.3.** Categorías de ciclones con base en viento y lluvia.

Claves: DT = Depresión tropical, TT= Tormenta tropical, Hx = Huracán categoría x

#### **Trayectoria de los eventos históricos originados en el Océano Pacífico<sup>1</sup>.**

Existe registro de varios eventos cuyas trayectorias han impactado directamente en el territorio de Zapotlán el Grande. (Figura 4.2.1.4.).

El registro más antiguo corresponde a octubre de 1945, se trata de un evento categoría 1 del que no se encuentra mayor información que la fecha, trayectoria la cual se muestra en la (Figura 4.2.1.3.).y la velocidad alcanzada de 133 km/hr. Nótese que según esta imagen el fenómeno se originó en el Mar Caribe.



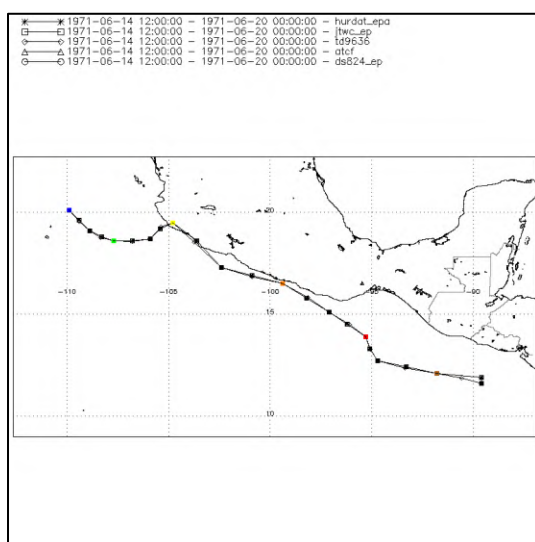
**Figura 4.2.1.3.** Trayectoria registrada más antigua de huracán incidente en Zapotlán el Grande (Fuente NOAA, 2015).

Huracán Categoría II “Bridget” (14-20 junio de 1971)

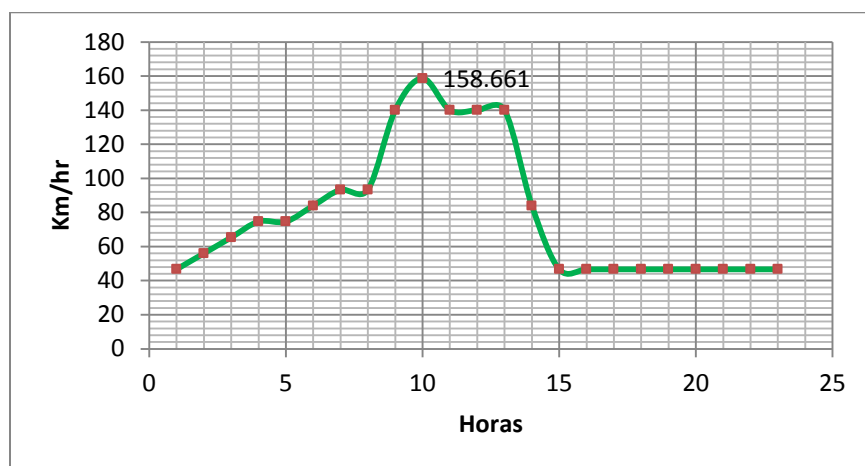
Precipitación registrada: 33.55 mm

Trayectoria:

<sup>1</sup> Las descripciones de los diferentes eventos fueron tomadas de la página del SMN:



**Figura 4.2.1.4** Trayectoria de Bridget (14-20 junio de 1971) (Fuente: NOAA 2015)



**Gráfica 4.2.1.1.** Velocidad contra tiempo de desarrollo en horas, huracán Bridget, Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.

#### Tormenta Tropical “Aletta” (28-29 mayo, 1974)

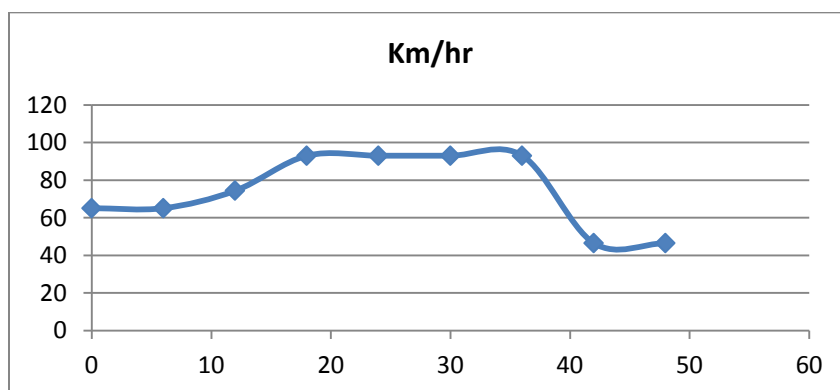
Fue un evento que inicio el 28 de mayo de 1974, no alcanzó la categoría de huracán sino de tormenta tropical con una presión mínima de 992 milibares (mb). Lo anterior no significa que no hubiese podido ocasionar daños por lluvias torrenciales en el municipio.

Precipitaciones registradas: 73.5 mm, estación de San Marcos, Tonila

## Trayectoria



**Figura 4.2.1.5.** Trayectoria de "Aletta" (28-29 mayo, 1974) ( Fuente: NOAA 2015).



**Gráfica 4.2.1.2.** Velocidad de Aletta contra tiempo de desarrollo, en horas. Elaboración propia, datos de NOAA.

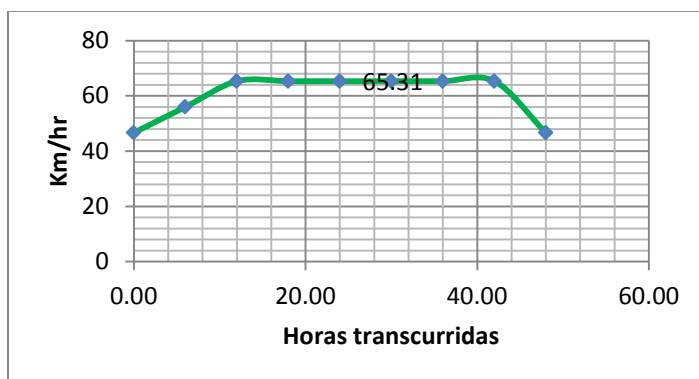
Tormenta tropical "Eleonor" (10 al 12 de julio de 1975)

Precipitación registrada: 40 mm

Trayectoria



**Figura 4.2.1.6.** Trayectoria de "Eleonor" (10 al 12 de julio de 1975). (Fuente: NOAA 2015)



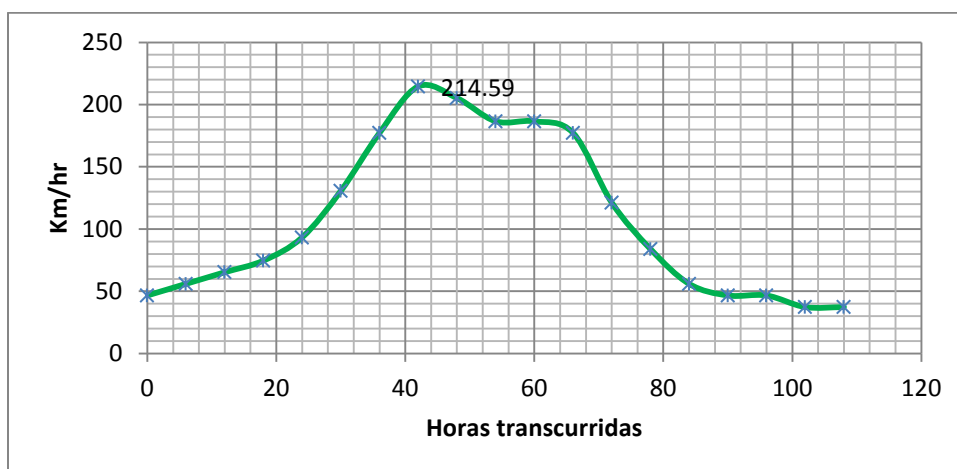
**Gráfica 4.2.1.3.** Velocidades de "Eleonor" contra tiempo de desarrollo. Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.

Huracán Categoría IV "Virgil" 1 al 5 de octubre de 1992  
Precipitaciones máximas registradas: 41.3 el 3 de octubre.  
Trayectoria:

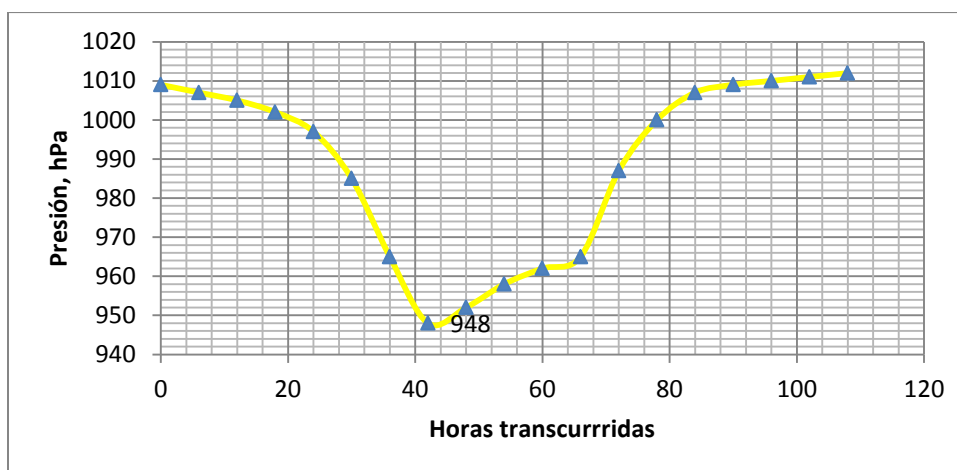


**Figura 4.2.1.7.** Trayectoria de "Virgil" (1 al 5 de octubre de 1992) (Fuente: NOAA 2005)





Gráfica 4.2.1.4. Velocidades de "Virgil" contra tiempo de desarrollo en horas. Fuente: elaboración propia con datos de NOAA.



Gráfica 4.2.1.5. Presiones de "Virgil" contra tiempo de desarrollo en horas. Fuente: elaboración propia con datos de NOAA.

Huracán categoría III "Winnifred" 06-10 de Octubre de 1992

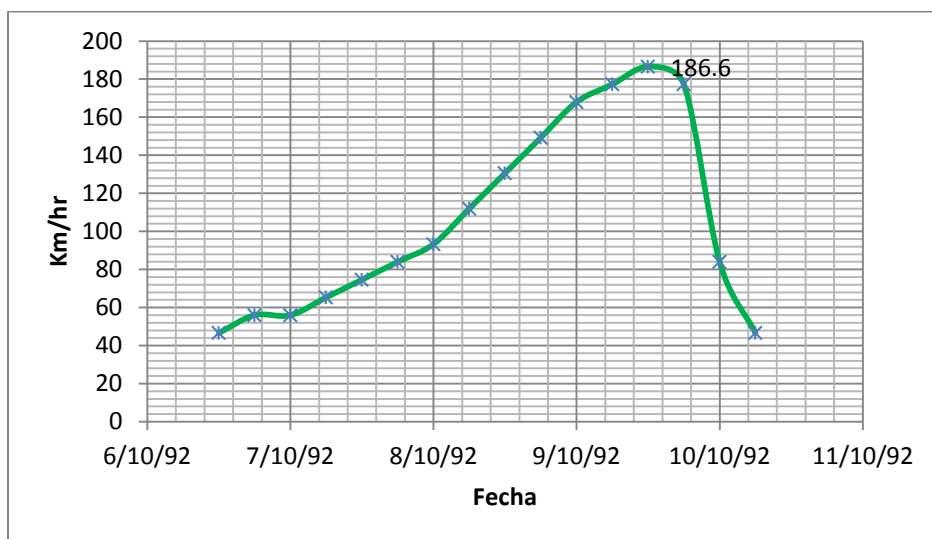
Inundación en Ciudad Guzmán de varias colonias, derrumbes en la Carretera Ciudad Guzmán-Venustiano Carranza, suspensión de servicios de electricidad y telefonía. Vientos con velocidades de 95 km en un radio de 80 km.

Precipitaciones máximas registradas: 105.5 mm.

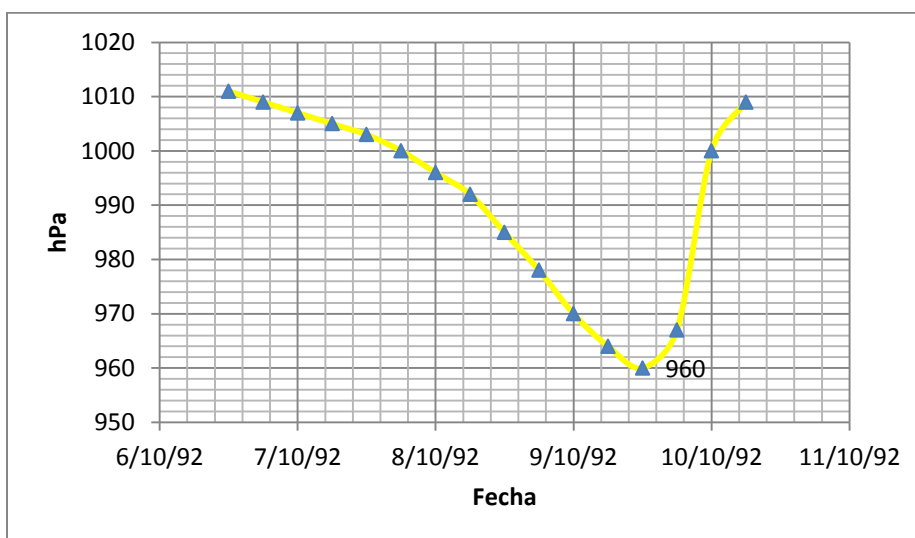
Trayectoria



**Figura 4.2.1.8.** Trayectoria de "Winnifred" (06-10 de Octubre de 1992). Fuente: NOAA



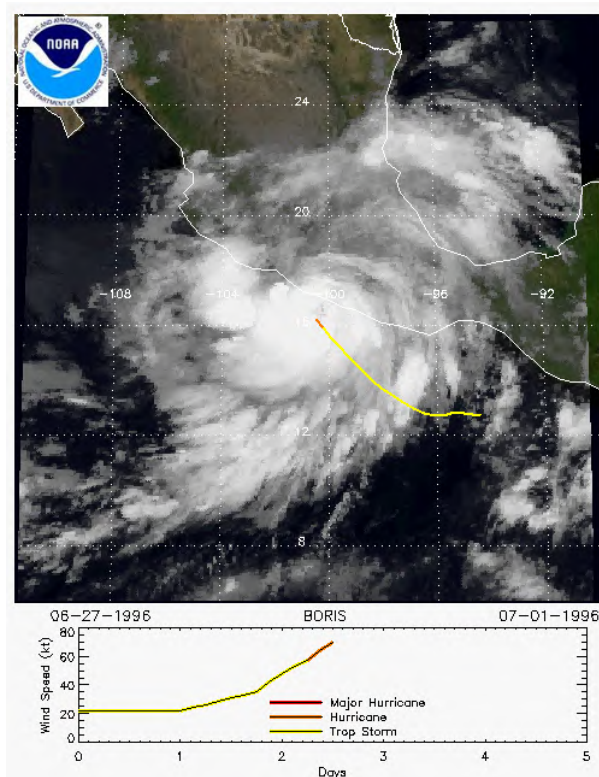
**Gráfica 4.2.1.6.** Velocidades desarrolladas por "Winnifred" contra tiempo. Elaboración propia con datos de NOAA



**Gráfica 4.2.1.7.** Presión de "Winnifred" contra tiempo de desarrollo. Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.

Huracán Boris, categoría I (27 junio-01 julio, 1996)

Precipitaciones máximas registradas: 40 mm el día 29 de junio.

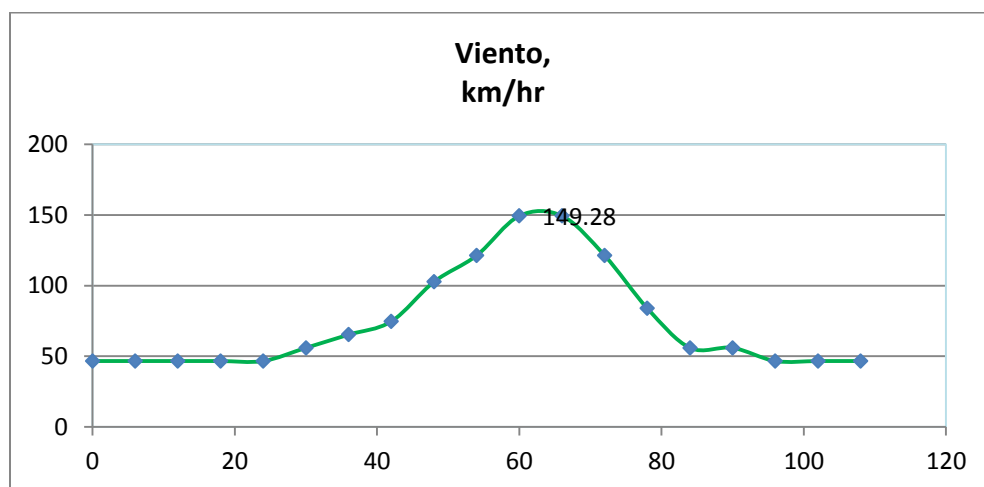


**Figura 4.2.1.9.** Huracán "Boris" (27 junio-01 julio, 1996). (Fuente: NOAA 2015).

## Trayectoria

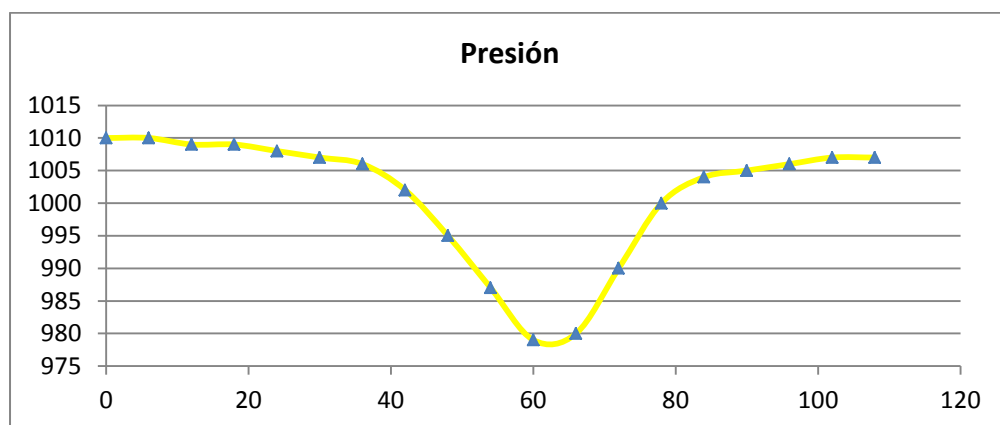


**Figura 4.2.1.10.** Trayectoria huracán "Boris". (Fuente: SMN 2015).



**Gráfica 4.2.1.8.** Velocidad del viento desarrollado por Boris en km/hr, a partir de las 00:00 del 26/06/1996, datos cada 6 horas.





**Gráfica 4.2.1.9.** Presión en mb contra horas a partir de las 00:00 del 26/06/1996, datos cada 6 horas.

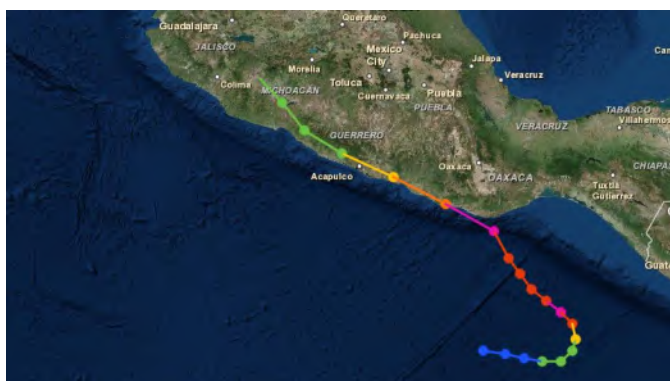
Huracan "Pauline" Categoría IV (05 - 10 octubre 1997)

"Pauline" se desarrolló a partir de la depresión tropical No. 18-E de la temporada en el Pacífico, localizada a 425 km al Sur de Huatulco, Oax., con vientos máximos de 55 km/h y rachas de 75 km/h, alcanzando la categoría de huracán a las 16:00 horas del 6 de octubre a 335 km al Suroeste de Tapachula, Chis., con vientos máximos sostenidos de 120 km/h y rachas de 150 km/h. Durante los días 7 y 8 oscilo entre las categorías 4 y 3 con vientos máximos de 215 km/hr y rachas de 260 km/hr. Por la tarde del 8 de octubre las 16:45 horas, el centro del "ojo" del huracán penetró a tierra, entre las poblaciones de Puerto Ángel y Puerto Escondido, Oax., como huracán de categoría 3, con vientos máximos de 185 km/h y rachas de 240 km/h.

Ya como tormenta tropical, "Pauline"(Figura 4.2.1.11.) siguió su desplazamiento sobre tierra debilitándose cada vez más y en la madrugada del día 10, se degradó a depresión tropical, aproximadamente a 30 km al Suroeste de Uruapan, Mich., con vientos máximos de 55 km/h y rachas de 75 km/h. Se disipó más tarde, a 30 km al sur-suroeste de Guadalajara, Jal.

Precipitaciones registradas. 53 mm

Trayectoria:



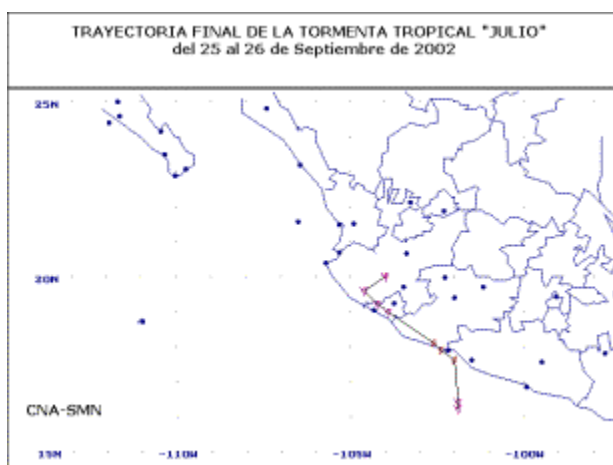
**Figura 4.2.1.11. Trayectoria Huracan “Pauline” Categoría IV (05 - 10 octubre 1997). (Fuente: NOAA 2015).**

#### Tormenta Tropical “Julio”, 2002 (25-26 septiembre)

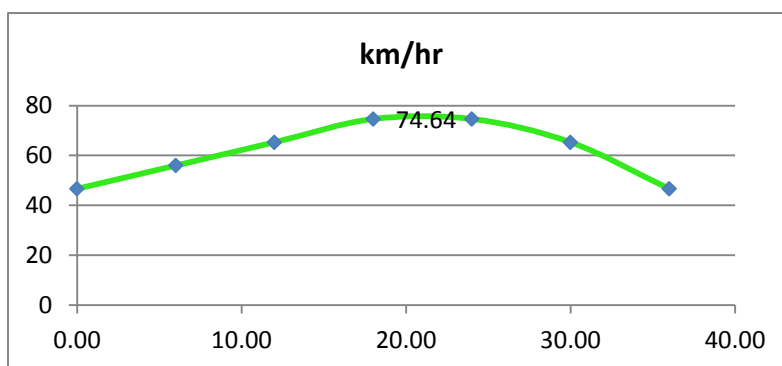
El día 25 de septiembre por la mañana se generó la depresión tropical No. 13-E de la temporada de ciclones en el Océano Pacífico Nororiental; se inició a 160 km al Sur-Suroeste de Zihuatanejo, Gro., con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y presión mínima de 1003 hPa. Por la tarde de este mismo día, cuando su centro se encontraba a 40 km al Sur-Sureste de Lázaro Cárdenas, Mich., la DT-13 se desarrolló a la tormenta tropical “Julio”, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h, rachas de 85 km/h y presión mínima de 1000 hPa, misma fuerza con la que “Julio” entró a tierra en las últimas horas del día, localizándose a 50 km al Oeste-Noroeste de Lázaro Cárdenas, Mich., con vientos máximos sostenidos de 65 km/h. Durante el día 26 “Julio” siguió perdiendo fuerza mientras avanzaba sobre tierra hacia el Noroeste, por lo que poco después del mediodía, cuando estaba a 65 km al Oeste-Suroeste de Ciudad Guzmán, Jal., con vientos máximos de 35 km/h y rachas de 55 km/h, entró en proceso de disipación.

Precipitaciones máximas Registradas: 38.2 mm (29 de septiembre)

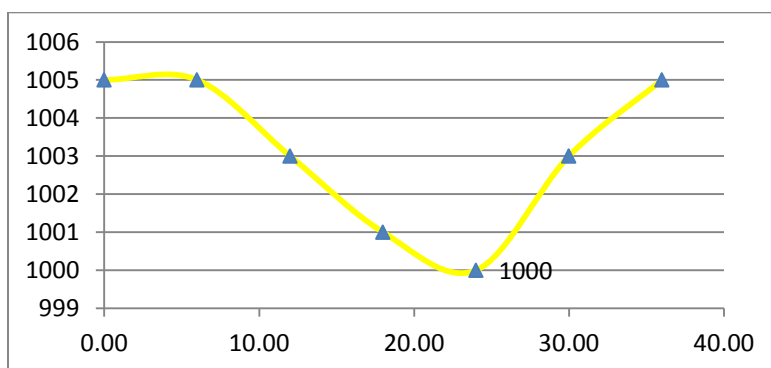
Trayectoria:



**Figura 4.2.1.12.** Trayectoria tormenta tropical "Julio"



**Gráfica 4.2.1.10.** Velocidad, tormenta tropical "Julio"



**Gráfica 4.2.1.11.** Presión en hPa de Tormenta tropical "Julio"

Huracán "Olaf", categoría I (3 al 8 de octubre del 2003)

El día 3 de octubre del año 2003, por la mañana, se formó la depresión tropical No. 15-E de la temporada en el Océano Pacífico Nororiental; se inició a 500 km al Sur-Suroeste de Puerto Escondido, Oax., con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y presión mínima de 1005 hPa. Mientras se desplazaba hacia el Noroeste en forma paralela a las costas nacionales, la DT-15 adquiría mayor fuerza, por lo que en la tarde de este día, cuando se encontraba a 446 km al Suroeste de Puerto Escondido, Oax., se desarrolló a la tormenta tropical “Olaf” con vientos máximos sostenidos de 75 km/h y rachas de 95 km/h, alcanzando al final del día, vientos máximos sostenidos de 85 km/h con rachas de 100 km/h.

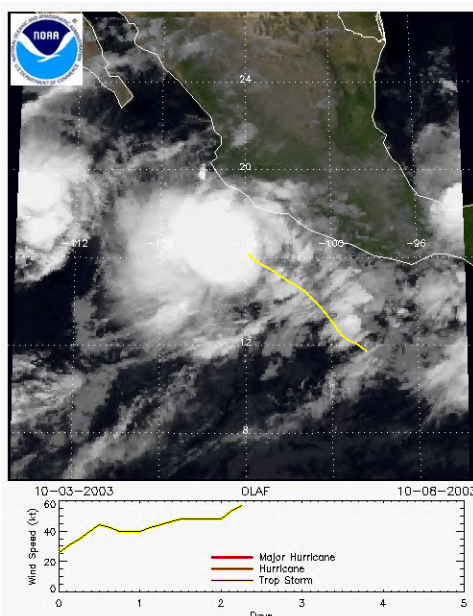
El día 5 por la mañana, cuando se encontraba a 215 km al Sur de Manzanillo, Col., con rumbo hacia el Noroeste, “Olaf” (Figura 4.2.1.13.) se intensificó a huracán alcanzando vientos máximos sostenidos de 120 km/h con rachas de 150 km/h, misma fuerza con la que se mantuvo durante el resto de este día.

El huracán “Olaf” afectó varios estados de la costa Sur y Occidente del país, aunque los efectos más importantes se dieron en Colima y Jalisco, en donde dio lugar a inundaciones con importantes daños materiales en viviendas, carreteras, zonas agrícolas y servicios de energía eléctrica y telefonía, entre otros.

El desarrollo de las diferentes etapas del ciclón “Olaf” tuvo una duración de 108 horas, tiempo en el que recorrió un total de 1,975 km, a una velocidad promedio de 18 km/h.

No se reportaron daños en Zapotlán el Grande.

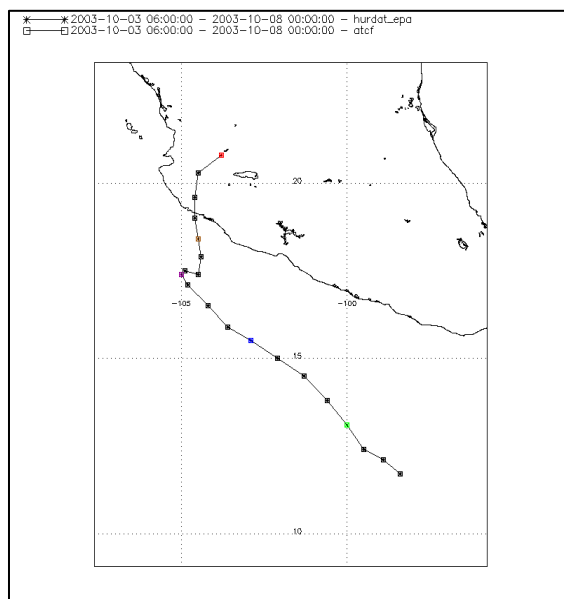
Precipitación máxima: 59.3 mm



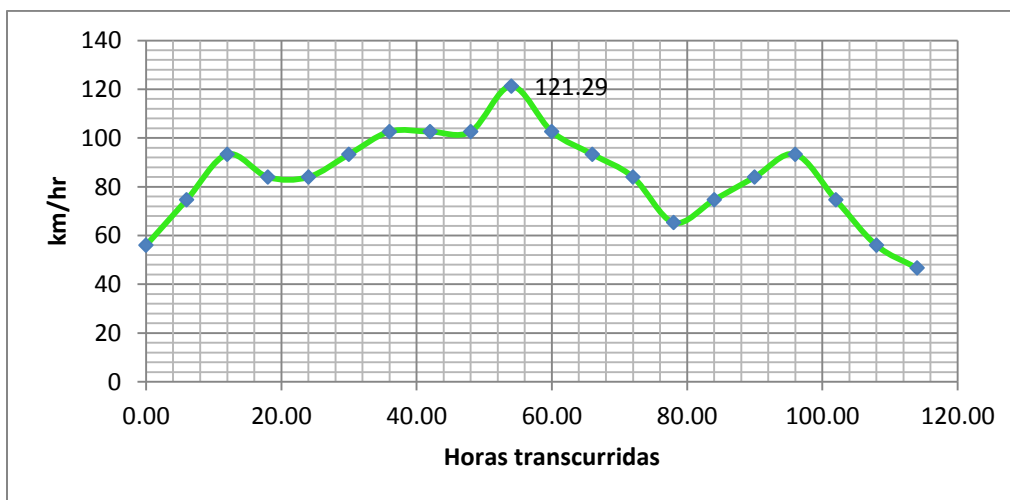
**Figura 4.2.1.13.** Huracán “Olaf”, categoría I (3 al 8 de octubre del 2003). (Fuente NOAA 2015)



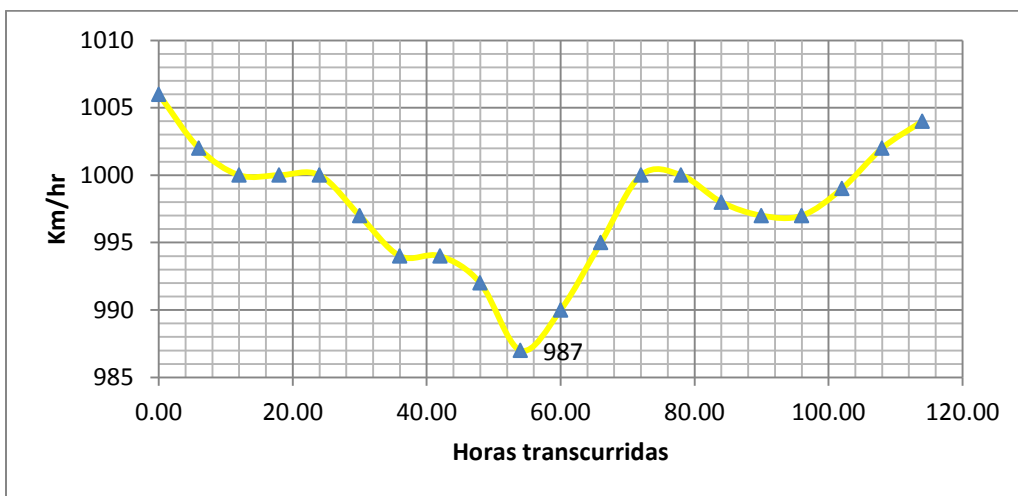
Trayectoria:



**Figura 4.2.1.14.** Trayectoria huracán “Olaf”. (Fuente NOAA 2015).



**Gráfica 4.2.1.12.** Velocidades de viento desarrolladas por “Olaf”. Elaboración propia con datos de NOAA.



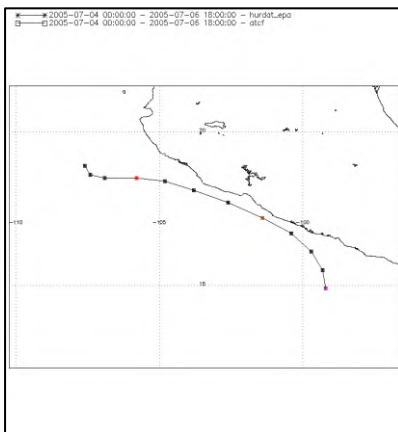
**Gráfica 4.2.1.13.** Presiones desarrolladas por "Olaf". Elaboración propia con datos de NOAA Tormenta Tropical "Dora" (03-06 julio del 2005)

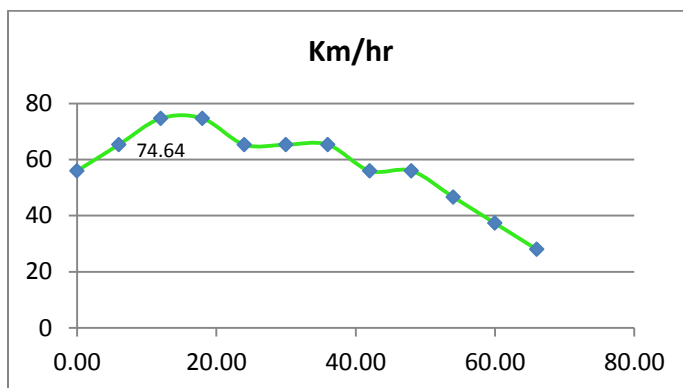
El día tres de julio del 2005 se generó la depresión tropical No. 4 del Océano Pacífico a una distancia de 240 km al sur de Acapulco, Guerrero, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y presión mínima de 1004 hPa.

El día 5 a 120 km oeste-suroeste de Manzanillo, Colima "Dora" se degradó a depresión tropical, para finalmente el día 6 iniciar su desvanecimiento.

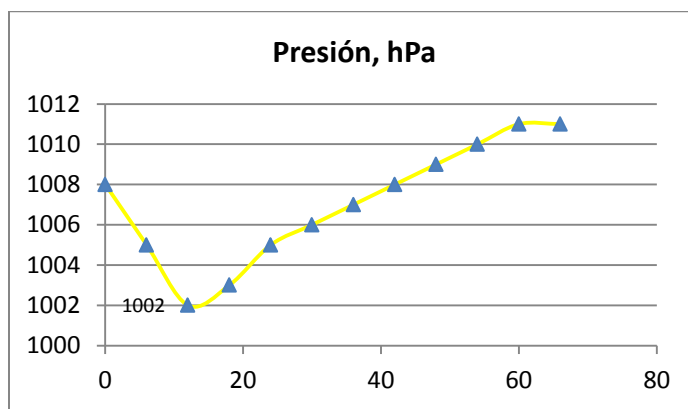
Precipitación Registrada: 26 mm.

Trayectoria:





**Gráfica 4.2.1.14.** Velocidad, tormenta tropical "Dora". Elaboración propia con datos de NOAA.



**Gráfica 4.2.1.15.** Presión desarrollada por "Dora". Elaboración propia con datos de NOAA.

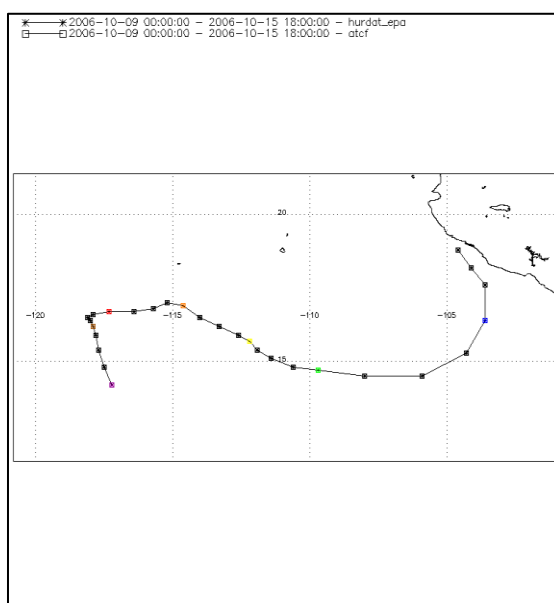
#### Tormenta Tropical "Norman" (9 al 15 de octubre 2006)

Norman tuvo su origen en la depresión tropical No.15 del Océano Pacífico, a 1190 km de Cabo San Lucas, BCS, con vientos máximos sostenidos de 55 km/hr y rachas de 65 km., evolucionando a tormenta tropical en los próximos 4 días. Posteriormente, el 15 de octubre, la baja presión asociada con los remanentes de "Norman" se regeneró a depresión tropical a 130 km al suroeste de Manzanillo, Colima, con vientos sostenidos de 55 km/hr y rachas de 75 km/hr. Finalmente se dispuso frente a la costa de Manzanillo, recorriendo en total 1905 km durante 65 horas.

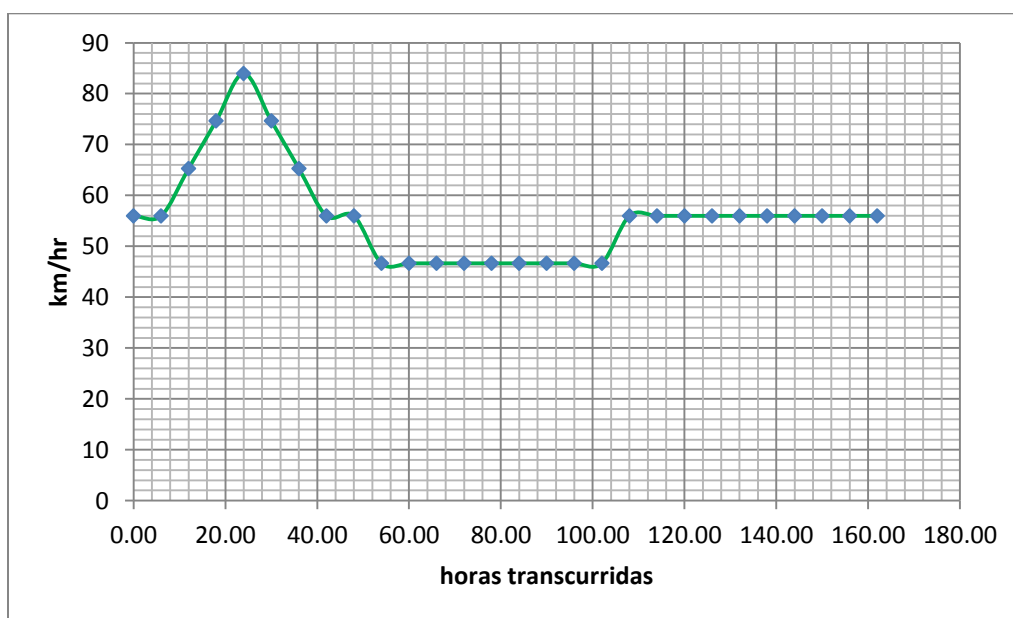
Arrastre de material volcánica en zonas aledañas al Volcán de Colima. (El Informador, ejemplar del 17 de Octubre del 2006, pag. 5-B)

Precipitación registrada: 70 mm

Trayectoria (Figura 4.2.1.16.).



**Figura 4.2.1.16.** Trayectoria tormenta tropical "Norman". (Fuente NOAA 2015).



**Gráfica 4.2.1.16.** Velocidades del viento desarrolladas por "Norman". Elaboración propia con datos de NOAA

Huracán Jova (06-12 Octubre del 2011)

El día 5 de octubre por la noche se formó la depresión tropical No. 10-E de la temporada 2011 en el Pacífico Nororiental, la cual se inició a partir de una baja presión originada dentro de la vaguada monzónica al Sur del estado de Guerrero, donde se dieron las





condiciones favorables que permitieron la formación de la DT-10 a 1,005 km al Sur de Manzanillo, Col. con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y desplazamiento hacia el Oeste a 15 km/h. con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y rachas de 85 km/h, es decir, fuerza de tormenta tropical, por lo que se le asignó el nombre de “Jova”.

La tormenta tropical “Jova” seguía ganando fuerza mientras cambiaba gradualmente el rumbo de su trayectoria. El día 7 de octubre por la tarde se ubicó a 815 km al Suroeste de Manzanillo, Col., con vientos máximos sostenidos de 100 km/h, rachas de 120 km/h y desplazamiento hacia el Nor-Noroeste a 13 km/h.

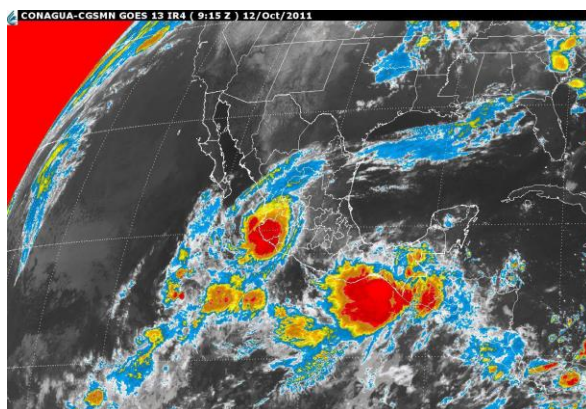
El día 8 por la tarde, se ubicó a 710 km al Oeste-Suroeste de Manzanillo, Col., ya como huracán, con vientos máximos sostenidos de 120 km/h, rachas de 150 km/h y desplazamiento hacia el Este-Noreste a 6 km/h.

Mientras avanzaba hacia el Este el huracán “Jova” (Figura 4.2.1.17.) siguió ganando fuerza y mayor velocidad en su desplazamiento y así, el día 9 de octubre por la noche, con vientos máximos sostenidos de 160 km/h y rachas de 195 km/h alcanzó la categoría II y en la madrugada del día 10, alcanzó la categoría III, con vientos máximos sostenidos de 195 km/h y rachas de 240 km/h cuando se encontraba a 430 km al Suroeste de Manzanillo, Col.

El día 10 de octubre por la mañana, “Jova” alcanzó su mayor intensidad con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y rachas de 250 km/h dentro de la categoría III de la escala Saffir-Simpson, a 400 km al Suroeste de Manzanillo, Col.

Se reportaron lluvias máximas puntuales en 24 horas de 374.4 mm en Coquimatlán, Col (siendo la mayor cantidad de lluvia a nivel nacional durante el año 2011); 115.0 mm en Melchor Ocampo, Mich. y 91.0 mm en Ciudad Guzmán, Jal., el día 11 de octubre.

Precipitación registrada: 91.0 mm día 11 de octubre.



**Figura 4.2.1.17.** Imagen de satélite de huracán “Jova” entrando en tierra en Jalisco. (Fuente SMN 2015).



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



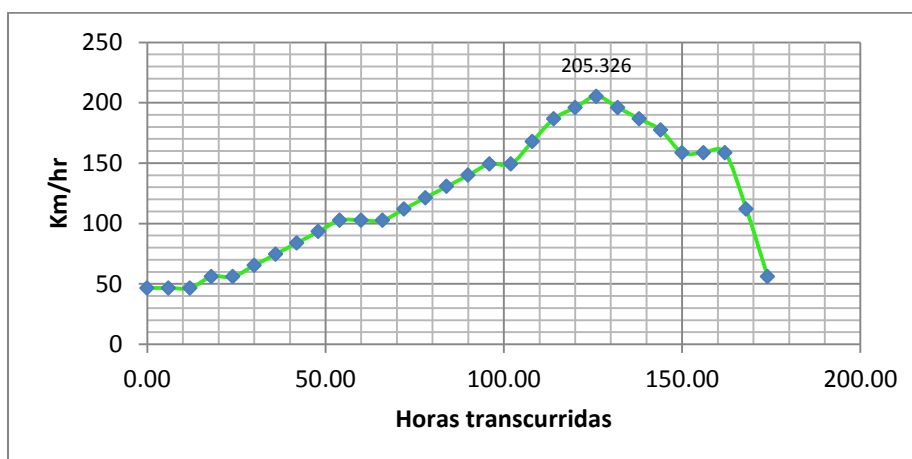
**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



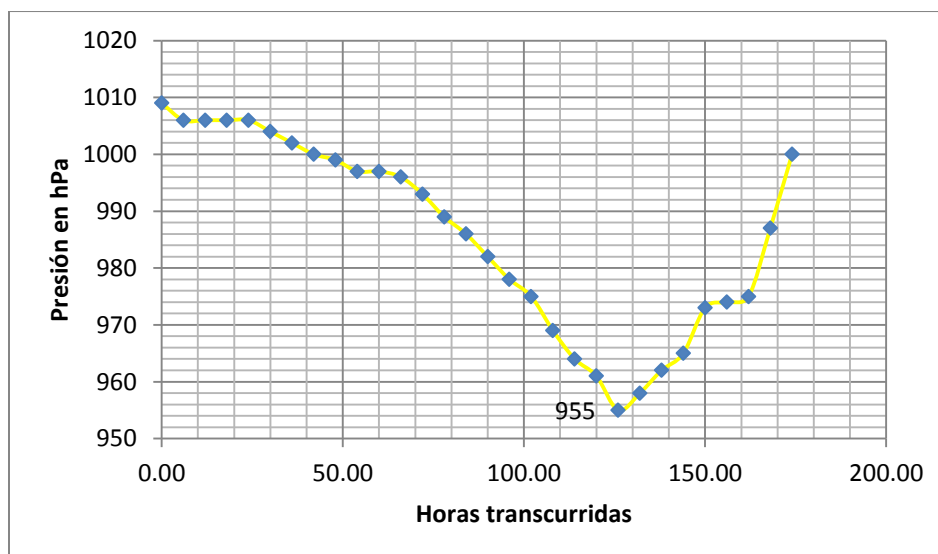
## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande



**Figura 4.2.1.18. Trayectoria del huracán "Jova".( Fuente: NOAA, 2015)**



**Gráfica 4.2.1.17.** Velocidades desarrolladas por "Jova". Elaboración propia con datos de NOAA.



**Gráfica 4.2.1.18.** Presiones desarrolladas por "Jova". Elaboración propia con datos de NOAA.

#### Huracán Manuel (13-19 de septiembre del 2013)

El día 13 de septiembre por la mañana se generó la depresión tropical No. 13 del Océano Pacífico, la cual se formó a partir de una baja presión frente a la costa de Guerrero que al encontrar condiciones favorables para su desarrollo, dio lugar a la depresión tropical Trece del Pacífico, la cual se inició 170 km al suroeste de Técpan de Galeana, Guerrero, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 y desplazamiento hacia el noroeste a 6 km/h. Por la tarde, cuando se encontraba a 230 km al suroeste de Técpan de Galeana, la DT-13 se desarrolló a la tormenta tropical "Manuel" con vientos máximos sostenidos de 75 km/h, rachas de 85 km/h y desplazamiento hacia el oeste-noroeste a 9 km/h.



Durante el día 14, la tormenta tropical “Manuel” inició con un periodo estacionario y después enfiló su trayecto con rumbo hacia el norte, desplazándose en forma errática mientras aumentaba su fuerza frente a la costa de Guerrero y Michoacán, originando una amplia zona de nubosidad densa, cuya rotación favorecía la entrada importante de humedad hacia los estados del sur y occidente del país.

El día 15 de septiembre, cerca de las 14:00 horas, la tormenta tropical “Manuel” tocó tierra sobre la Ciudad de Manzanillo, Colima con vientos máximos sostenidos de 100 km/h y rachas de 130 km/h, localizándose a las 16:00 horas a 3 km al noroeste de la población de La Lima y a 20 km al norte de Manzanillo; al avanzar sobre tierra, el sistema empezó a perder fuerza por lo que a las 22:00 horas, ya se encontraba en las inmediaciones de la población de El Limón, Jalisco, como depresión tropical con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y desplazamiento hacia el noroeste a 13 km/h.

Cierre de carreteras Ciudad Guzmán-El Grullo a la altura del Fresnito, y Acatlán-Ciudad Guzmán a causa de deslaves, inundaciones en colonias y desborde de canal hidrológico. Desbordamiento de arroyo Volcanes afectando áreas del Tecnológico de Ciudad Guzmán. Desbordamiento en arroyos afectando Atequizayán y Los Depósitos con grandes cantidades de sedimentos. En la colonia Azaleas –ubicada en el norte de Ciudad Guzmán–, el desbordamiento del arroyo Chuluapan ocasionó el ingreso del agua pluvial en la red de drenaje, lo que causó destrucciones en infraestructuras sanitarias.

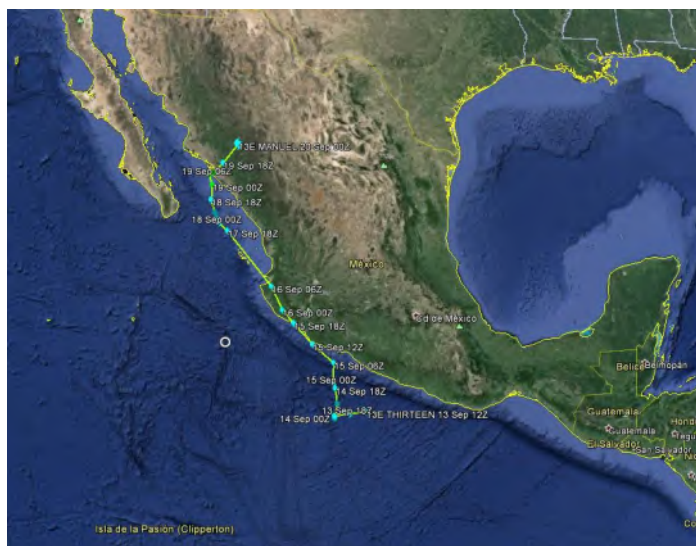
Los arroyos Chuluapan y Emiliano Zapata –que cruzan de oriente a poniente la ciudad– al 100% de su capacidad. La laguna de Zapotlán superó su máximo nivel ordinario de capacidad, trayendo consigo el desbordamiento de sus aguas, que inundaron el complejo panamericano de remo y canotaje, así como restaurantes y bares asentados en la ribera de este vaso lacustre.

Mientras, en la colonia CTM fueron afectadas con inundaciones menores al metro de altura tres viviendas. Al igual que la finca marcada número 85 de la calle Belisario Domínguez –en el centro de Ciudad Guzmán–, dañada por el desbordamiento del escurrimiento La Giralda. Declaratoria de emergencia.

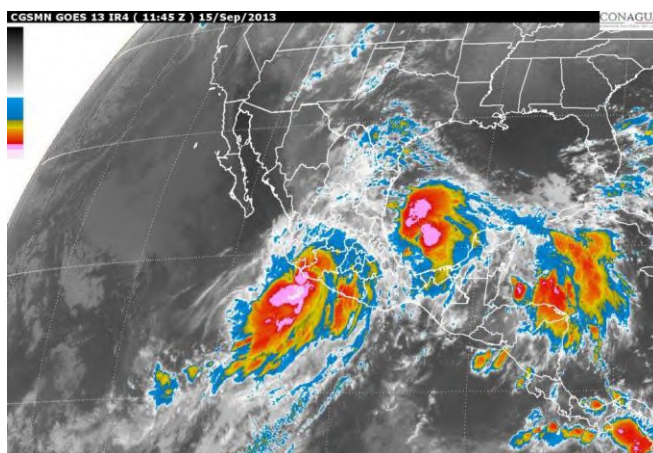
Precipitación registrada: 128.2 mm



Trayectoria:



**Figura 4.2.1.19.** Trayectoria de huracán "Manuel" (13-19 de septiembre del 2013). (Fuente NOAA, 2015).



**Figura 4.2.1.20.** Imagen satelital de "Manuel" en el Pacífico e "Ingrid" en el Atlántico.



### **4.2.2. Ondas Tropicales**

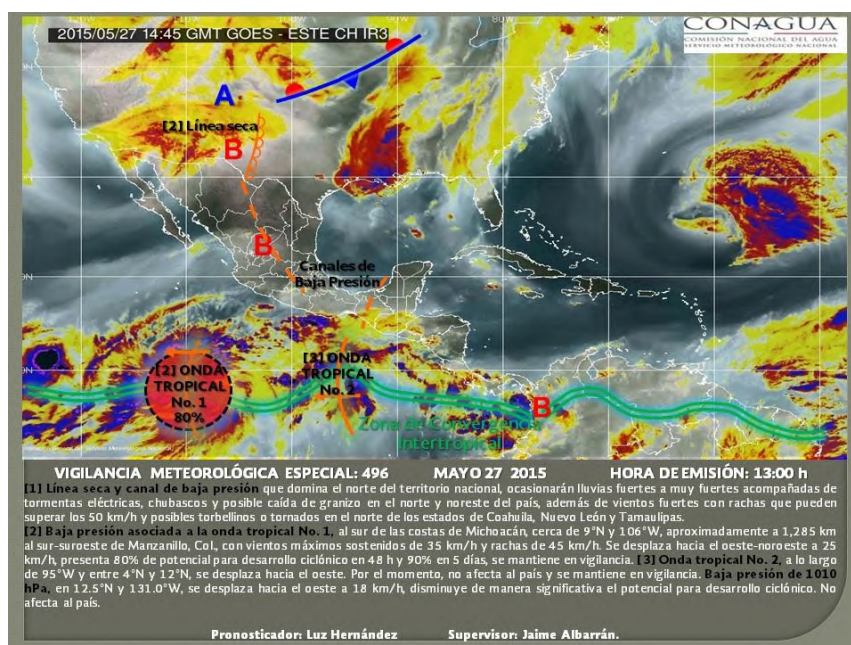
La definición de una onda tropical u onda del Este dada por el SMN es: Perturbación de escala sinóptica en la corriente de los vientos alisios y viaja con ellos hacia el oeste a una velocidad media de 15 Km/h. Produce fuerte convección (movimiento vertical del aire) sobre la zona que atraviesa.

La importancia de estas ondas, que se propagan hacia el oeste, radica en su relación con la lluvia convectiva (este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, los cuáles se pueden convertir en cumulonimbos, nubes de tormenta, si la convección es muy fuerte). También son de interés por su rol como sistemas precursores de los ciclones tropicales en las cuencas del Atlántico tropical y del Pacífico oriental, se estima que una de cada cuatro ondas puede evolucionar a depresión tropical, y de estas, una de cada diez se desarrolla en forma de tormenta tropical.

Las ondas tropicales más definidas presentan las características siguientes:

- Longitud de onda de 2000 a 4000 km
- Período de 3 a 5 días
- Velocidad de desplazamiento hacia el oeste de  $7 \text{ a } 8 \text{ m s}^{-1}$ , aproximadamente 6 a 7 grados de longitud al día
- Extensión latitudinal de 10 a 15 grados
- Amplitud máxima en la troposfera media a baja

Este tipo de evento meteorológico de escala sinóptica (que tienen una escala espacial promedio del orden de 100 a 4000 kilómetros y una escala temporal del orden de 3 a 10 días) afecta principalmente a la región centro y sureste del país con lluvias intensas y fuertes. Sin embargo, juegan un papel importante en el régimen de lluvias en el occidente del país y por lo tanto en el municipio de Zapotlán el Grande. En la (Figura 4.2.2.1.) siguiente se muestran las ondas tropicales número 1 y 2 de la temporada actual. La uno asociada a un sistema de baja presión con posibilidades de desarrolló ciclónico.



**Figura 4.2.2.1.** Imagen de ondas tropicales. (Fuente: SMN 2015).

### 4.2.3. Heladas.

#### Introducción

Se considera la ocurrencia de heladas cuando la temperatura del aire registrada en un termómetro instalado dentro de la casilla de observaciones meteorológicas y a una altura de 1.50 m sobre el nivel del suelo, es de 0°C. Esto constituye el concepto de helada meteorológica.

Las bajas temperaturas provocan, en las regiones donde se presentan, graves problemas a la agricultura y la salud de la población expuesta y dañan la infraestructura y entorpecen los servicios que esta presta. Las heladas suelen clasificarse según tres criterios: Épocas de ocurrencia, proceso físico que las origina y efecto visual que provocan.

De acuerdo con el primer criterio se dividen en: Otoñales o tempranas, invernales y tardías o primaverales.

Desde el punto de vista de la disciplina agro económica las más dañinas son las tempranas y las tardías, las primeras dañan cosechas o frutos y las segundas plántulas y cultivos en sus brotes iniciales.

Según el proceso que las origina las heladas pueden ser: Por advección, irradiación, y mixtas.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICARIO, TERRITORIAL Y URBANO



Las heladas por advección son provocadas por masas de aire frío con temperatura inferior al punto de congelación. Este fenómeno pueden presentarse a cualquier hora del día o de la noche, y el grado de intensidad de los daños provocados dependen en gran medida de los tipos de cultivo y otros factores asociados como el viento y la topografía.

Es frecuente que los fenómenos advectivos se combinen con la radiación, dando lugar a heladas de naturaleza mixta.

Las heladas por radiación se caracterizan por una gran pérdida de calor del suelo durante la noche, viento escaso o nulo y por un cielo sin nubosidad, que provoca un fuerte enfriamiento de suelo y de las capas de aire en contacto con él. La helada radiativa es precedida por la ocurrencia de inversión térmica, por lo que la temperatura es mas baja en la zona cercana a la superficie terrestre y aumenta con la altura.

Hay dos subcategorías de heladas de radiación: Una es la llamada “helada blanca”, ocurre cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo que se denomina normalmente “escarcha”. La otra es la “helada negra”, ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 0 °C y la humedad es suficientemente baja por lo que no se forma hielo sobre la superficie. Sin embargo, los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia o del agua de sus tejidos. Durante este tipo de helada sucede que al congelarse el agua, se origina un incremento de su volumen, que deriva en el rompimiento y quemaduras en el follaje. Estas heladas causan daños más severos que las blancas. Cuando la humedad es alta, es más probable que se produzca una “helada blanca”.

#### **Factores meteorológicos que influyen en la formación de heladas.**

- *Reflexión solar y capacidad de conducción térmica del suelo.* La reflexión se entiende como la capacidad de reflexión de luz de la superficie del suelo y se mide en albedos. La capacidad térmica es la habilidad de conducción de calor de un cuerpo o sustancia, ya sea por mecanismos conductivos o convectivos.
- *Radiación solar.* Es la cantidad de energía solar en watt/m<sup>2</sup> que recibe, en función de su latitud, una determinada área de la superficie del planeta. En los trópicos donde el Sol está en el cenit, la Tierra recibe más radiación que en las regiones situadas hacia los polos. Cuando de una región de la superficie terrestre se desprende una mayor cantidad de calor que la que recibe, ocurre un enfriamiento que favorece la formación de la helada.
- *Altura sobre el nivel del mar.* A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar disminuye la presión atmosférica, por lo que al aire tiende a expandirse, tomando calor de sí mismo para efectuar ese trabajo y por lo tanto enfriándose. La temperatura disminuye aproximadamente 5 °C con la altitud.
- *Topografía y viento.* La topografía juega un papel de primera importancia en la ocurrencia de heladas en una región, ya que determina el patrón de vientos de la zona y





por lo tanto influye en los regímenes de mezcla y velocidad de las corrientes y flujos de viento.

➤ Nubosidad. Las nubes sirven para retener gran parte del calor que, de otro modo, se perdería para la tierra en forma de reflexión y absorben cierta proporción de la energía que interceptan. Las nubes altas normalmente tienen un efecto de calentamiento que se llama efecto invernadero, porque dejan pasar la radiación solar pero absorben la radiación terrestre, enviando parte de ésta hacia el suelo. En cambio, las nubes bajas y, sobre todo, nubes con gran espesor tienen el efecto de enfriar, porque reflejan o absorben la radiación solar.

➤ Humedad atmosférica. Cuando disminuye la temperatura a 0°C o menos y no existen vientos o corrientes, la humedad del aire se condensa, si la humedad es relativamente abundante este produce niebla, si la humedad es baja, ocurre la helada.

No es el objetivo de este estudio una explicación del proceso de transferencia de energía durante un evento de temperaturas bajas, pero es útil recordar que se trata de un proceso gobernado por las leyes de la termodinámica, es decir, se trata de un proceso de transferencia de energía calorífica. Las cuatro formas principales de transferencia de energía, que son importantes en la protección contra heladas, son la radiación; la conducción (o flujo de calor al suelo); la convección (i.e. la transferencia de calor sensible y calor latente en el fluido); y los cambios de fase asociados con el agua.

Método nivel 1.

*Visualización ambiental durante las heladas:*

- *Flora silvestre*
- *Fauna silvestre*
- *Agricultura*
- *Ganadería*
- *Población*
- *Registro de temperaturas*

Durante la elaboración de este Atlas de riesgos no se presentaron heladas debido a que las visitas de campo fueron programadas durante los meses de abril-mayo-junio del presente, por lo que se recurrió al método de nivel 2.

Temperaturas mínimas extremas:

*Crear una base de datos climatológicos con los valores mínimos absolutos de temperatura, de cada una de las estaciones meteorológicas de la región en estudio.*

*Determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años.*

Se generó una base de datos con las temperaturas mínimas extremas de las estaciones en estudio, la cual se anexa en la memoria técnica, con ellas se elaboraran mapas de isotermas de temperatura mínimas extremas y de zonas agrícolas afectables. Con la



misma base de datos se calculó la probabilidad de recurrencia de heladas por debajo de 0 °C como temperatura crítica.

### Análisis probabilístico de ocurrencia de heladas.

Conocer la probabilidad exacta de alcanzar una temperatura crítica específica de daño en una fecha determinada, en primavera y en otoño, es útil para determinar fechas de siembra y de cosecha en cultivos anuales y la duración deseable de la estación de crecimiento para evitar el daño por helada. El procedimiento consiste en la utilización de una función de distribución de probabilidad de valor extremo tipo I:

$$P(T - T_c) = 1 - \exp \left[ -\exp \left( \frac{T_c - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad \text{ec. 1}$$

Dónde:

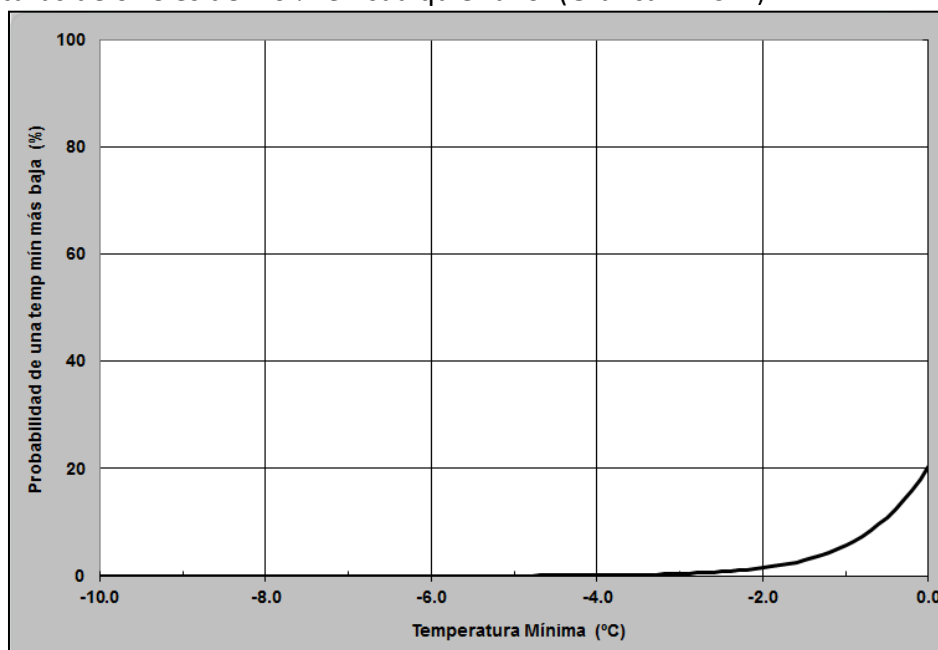
$$\alpha = \sigma / 1.283; \quad \beta = \mu + 0.45 \times \alpha$$

$\mu$  = temperatura media mínima

$\sigma$  = Desviación típica de las temperaturas mínimas en los años registrados.

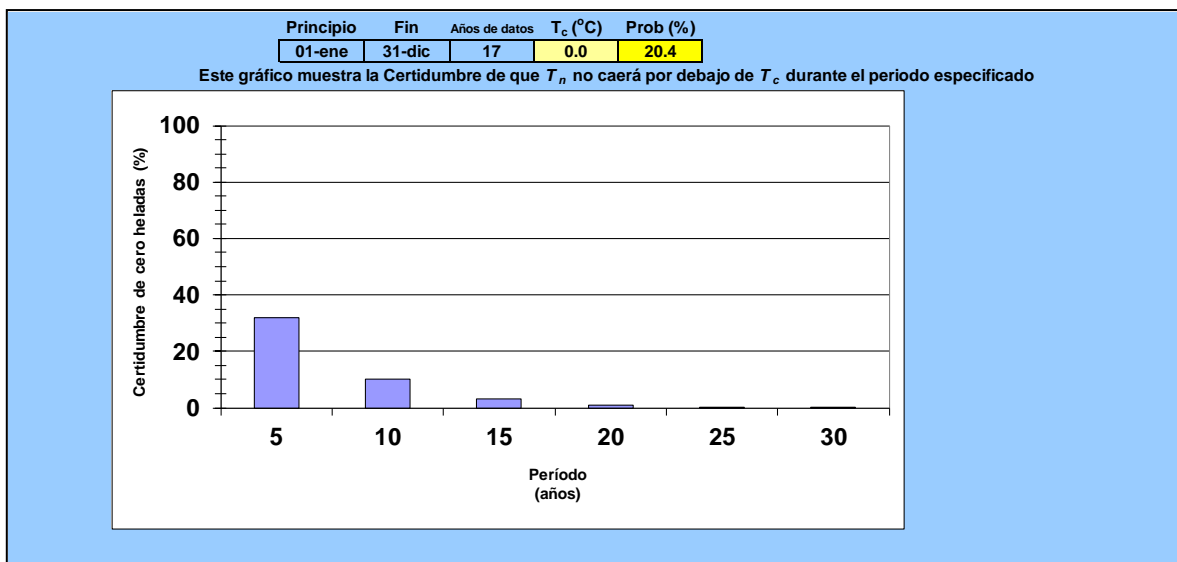
La FAO, a partir de este procedimiento desarrolló el programa TempRisk, para el que se requieren mínimo 20 años de información diaria de temperaturas mínimas.

TempRisk nos da la probabilidad y el riesgo de que la temperatura caiga por debajo de un nivel crítico cuando se ha establecido la sensibilidad del cultivo al daño. Los datos que se pueden ingresar son hasta 50 años de datos de temperatura mínima, las fechas de inicio y de finalización para el período a evaluar y la temperatura crítica, en este caso 0° C. Según los datos de la estación Ciudad Guzmán, las probabilidades de una helada con temperaturas de 0 °C es del 20 % en cualquier año. (Gráfica 4.2.3.1.).



**Gráfica 4.2.3.1.** Probabilidad de ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C.

La certidumbre de que la temperatura mínima no caerá por debajo de la temperatura crítica durante el periodo especificado  $T_r$  (5,10, 25 y 50 años) se muestra en la siguiente (Gráfica 4.2.3.2.).



**Gráfica 4.2.3.2.** Certidumbre de no ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C

En la imagen anterior, los valores para cada columna son: (Tabla 4.2.3.1.).

Tr, años	Certidumbre de cero heladas, %
5	31.97
10	10.22
15	3.27
20	1.05
25	0.33
30	0.11

**Tabla 4.2.3.1.** Certidumbre de cero heladas menores a 0 °C

#### 4.2.4. Nevadas.

Las nevadas son una de las manifestaciones en que puede ocurrir una precipitación. Éstas se presentan cuando la temperatura en la atmósfera, al nivel superficial, es igual o menor de los 0° centígrados, además de otros factores, como es el viento, principalmente su componente vertical, y la humedad, entre otras. Su estructura consiste en cristales de hielo que se unen para formar los copos de nieve, los cuales sufren transformaciones desde su precipitación hasta su fusión, por lo que las características tanto físicas como químicas de la nieve varían con respecto al tiempo.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



Las bajas temperaturas y los fenómenos que se les relacionan pueden ocasionar diferentes problemas en las regiones afectadas, principalmente en la salud de la población, cultivos, animales domésticos y de granja, así como volver inseguro el tránsito por caminos y carreteras, y consecuente incomunicación de las localidades.

En Jalisco existe sólo una región con nevadas recurrentes: El nevado de Colima a 4260 msnm.

### Parámetros y características de las nevadas

Los parámetros determinantes de la formación de nevadas, como ya se ha mencionado en otros apartados, son la *radiación solar* la cual está en función de la latitud, la *altitud sobre el nivel del mar*, los vientos y la *advección* (el desplazamiento horizontal de una masa de aire hacia una zona en que las propiedades térmicas o de humedad son distintas).

Si la temperatura del aire transportado por el viento es más alta que la de su alrededor se llama advección de aire caliente, en caso contrario es advección de aire frío), la nubosidad y la reflexión de la luz solar. Con respecto a este último parámetro se agrega que en el caso de la nieve, su albedo es muy alto (0.80 - 0.90), es decir, gran parte de la radiación solar es reflejada por ella.. Además, por su capacidad de conducción calórica relativamente alta de (2090 J/Kg °K), la radiación solar que absorbe la nieve está repartida en una capa gruesa, por esta razón la superficie de la nieve está muy fría. Si la temperatura en la atmósfera se incrementa hasta más de 0 °C, la superficie de la nieve permanece a 0 °C hasta que toda la nieve se derrite.

Existe una correlación entre la presencia de nieve y las bajas temperaturas en una región:

Antes de una nevada las temperaturas bajan. Por el albedo alto de la nieve se refleja gran parte de la radiación solar, lo que provoca que las temperaturas descendan más, favoreciendo la caída de más nieve. Cuando la temperatura aumenta, la nieve se funde. Entonces baja el albedo del suelo, así que una mayor parte de la radiación solar es absorbida, lo que conduce a un incremento de la temperatura.

Para que se origine una nevada es necesario que se enfríe el aire húmedo, lo que normalmente ocurre al presentarse una corriente ascendente, logrando una sobresaturación del aire con vapor de agua (es decir, que la humedad relativa esté por arriba del 100%), pero varios estudios han mostrado que no puede condensarse el agua pura hasta que la humedad relativa alcance valores de aproximadamente 800%, cantidad que no se puede dar en la naturaleza. Entonces, es necesario que existan partículas fijas en el aire apropiadas para que se pueda congelar el agua en las capas altas de la atmósfera. El valor de la humedad relativa necesario para la condensación y formación de gotitas de agua depende de la existencia, la forma y el número de estas partículas. Normalmente existen suficientes partículas para que el vapor de agua condense alrededor de una humedad relativa de 100%. Una vez formados los cristales de hielo, como el que se muestra en la figura siguiente, estos crecen rápidamente.





**Figura 4.2.4.1.** Cristal de agua, unidad de un copo de nieve. Fuente: imagen tomada de internet.

El vapor de agua subenfriado se congela por sublimación en torno a los cristales de hielo. (Figura 4.2.4.1). A través de las irregularidades de la superficie de los cristales de hielo estos se van engarzando y creciendo. Se forman, así, copos de nieve. La temperatura óptima para la formación de copos de nieve es de entre los 0 y los -5 °C. Cuando el tamaño de los copos de nieve es suficientemente grande como para vencer la convección comienzan a caer. Si en su descenso alcanzan temperaturas superiores a los 0 °C se convierte en gotas de agua.

#### Método nivel 1

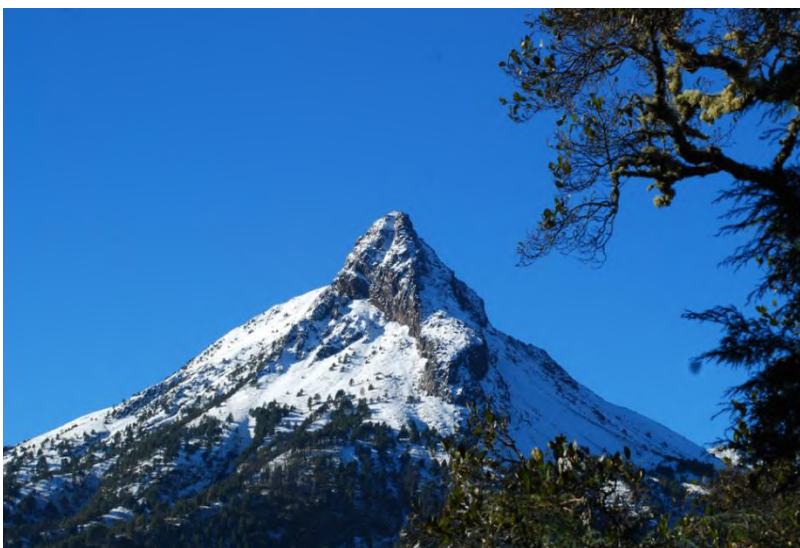
*Visualización ambiental: Durante la época fría del año se observan las regiones donde precipitan las nevadas para definir coberturas y alturas de ocurrencia*

Para la determinación de las alturas de nieve a partir de la precipitación se acepta generalmente que 1 mm de precipitación equivale a 1 cm de nieve. A partir de lo anterior y con los datos de precipitación durante la temporada invernal se han calculado los espesores de nieve en el Nevado de Colima. (Figura.4.2.4.2.).

Mediante un análisis estadístico de 25 años datos de las estaciones meteorológicas de la región se obtuvo (Tabla 4.2.4.1.).

Parámetro	Valor en cm.
Altura máxima de nieve	123
Media	16.6
Mínimo	2

**Tabla 4.2.4.1.** Alturas máximas, media y mínima de nieve en Nevado de Colima. Elaboración propia.



**Figura 4.2.4.2** Imagen tomada en enero del 2014. ( Fuente: Milenio Diario ).

#### 4.2.5. Tormentas Eléctricas

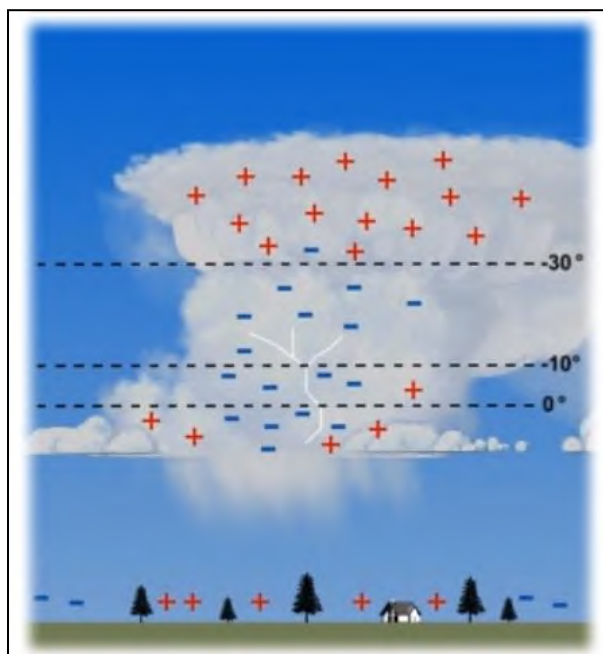
Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados. El rayo es la descarga eléctrica que ocurre entre dos centros de carga de signo opuesto en el interior de la nube de una tormenta (en el caso de los rayos intranube) o entre las cargas opuestas de la nube y del suelo (los rayos nube a tierra). En promedio, los destellos intranube representan casi el 75% de todos los rayos que ocurren a nivel mundial, aunque llegan a constituir el 99% de las descargas eléctricas que producen algunas tormentas. La mayor parte del 25% restante son destellos de rayos a tierra. Los rayos son responsables de muchos de los accidentes debidos a fenómenos atmosféricos, incendios forestales, retrasos e interrupciones de vuelos lo que implica graves pérdidas para las compañías aeronáuticas, muerte de ganado, interrupción de servicios de comunicación y energía eléctrica, así como de un gran porcentaje de accidentes catastróficos en almacenes de combustible. Según CENAPRED “en México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Secretaría de Salud, 2007). En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que en el Estado de México se localiza el mayor número de casos, con

1,140.” Según la Organización Mundial de la Salud, México es el país donde más muertes ocurren debido a este fenómeno con 223 muertes en promedio por año, siendo los niños y jóvenes entre los 10 y los 19 años los más afectados.

### Características

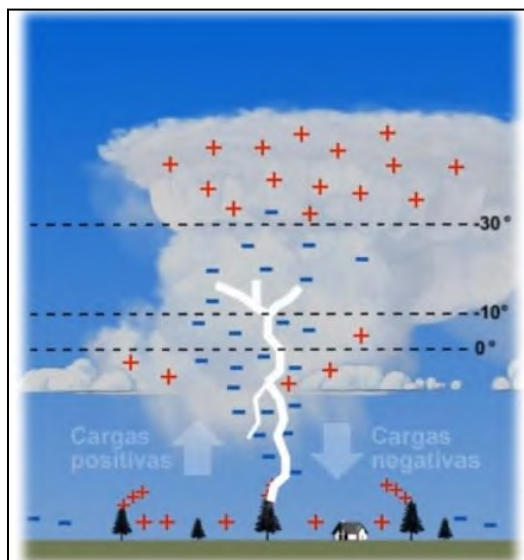
La electrificación de una nube puede ocurrir ya sea por convección o por precipitación. Cuando se forma una nube de tormenta, la fricción producida en su interior por los cristales de hielo, el granizo blando y las gotitas líquidas producen intercambio de cargas negativas y positivas. Cuanto más vigorosas sean las corrientes ascendentes y descendentes (proceso convectivo) tanto mayor será la concentración de partículas en su seno, el número de colisiones que ocurren entre ellas y las cargas negativas y positivas que se acumulan.

Los cristales de hielo más ligero y de carga positiva son transportados por la corriente ascendente mientras que el granizo blando de carga negativa permanece suspendido o precipita. El resultado es que en la parte superior de la nube se concentran las cargas positivas y en la central e inferior las negativas. Pueden concentrarse también cargas positivas en la porción inferior de la nube donde la temperatura es superior a los  $-10^{\circ}\text{C}$ . Normalmente la carga eléctrica de la tierra es negativa. Cuando se forma una nube de tormenta, la región de carga negativa en la nube produce dos efectos simultáneos: atraer las cargas positivas a la superficie del suelo y repeler las negativas, de tal manera que la superficie del suelo bajo la nube de tormenta adquiere carga positiva. (Figura 4.2.5.1.).



**Figura 4.2.5.1.** Estructura eléctrica de una nube de tormenta

El aire no es buen conductor de electricidad, pero si la diferencia de potencial entre las cargas negativas de la nube y las positivas del suelo sigue aumentando, las cargas negativas de la nube empiezan a avanzar (trazador descendente) a una velocidad promedio de 150 km/seg hacia el suelo hasta que logran abrir un canal conductor buscando establecer contacto con un objeto o región de carga positiva. Las cargas eléctricas acumuladas entre la punta del trazador descendente y el suelo ionizan el aire encima de los objetos más altos, aumentando su capacidad conductora, entonces la carga negativa fluye del aire circundante a los objetos más altos los cuales, a su vez, posibilitan la formación de un trazador ascendente. Una vez que ambos trazadores hacen contacto, aproximadamente a 50 metros sobre la superficie de la tierra, se cierra el canal trazador y las cargas negativas empiezan a descender desde la nube a tierra hasta que son drenadas y las cargas positivas ascienden hacia la nube, formando lo que se llama descarga de retorno. (Figura 4.2.5.2.).



**Figura 4.2.5.2.** Descarga de retorno en una tormenta eléctrica

### Método

*Registros históricos de tormentas eléctricas:*

*Calcular los valores medios de las tormentas de un periodo determinado, que puede ser un mes, una estación del año o los valores medios anuales.*

*Trazar isopletas de un espacio dado o pueden usarse rangos representados de varios colores para mostrar la distribución espacial del hidrometeoro.*

*Determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años.*

En la norma NMX-J-549-ANCE-2005, se encuentran mapas del promedio anual de densidad de rayos a tierra por Estados. Para el Estado de México, este índice va de 9 a 4 rayos por km<sup>2</sup> por año, considerando la extensión en la que incide el límite superior del intervalo, es el más alto a nivel nacional. El más bajo corresponde a la península de Baja



California. Este índice se tomará como muy alto para ponderar la intensidad del fenómeno. Así la escala que se propone es la siguiente (Tabla 4.2.5.1.).

Intensidad	Descargas directas a tierra
Muy Alto	< 9
Alto	< 7.2
Medio	< 5.2
Bajo	< 3.6
Muy Bajo	< 1.8

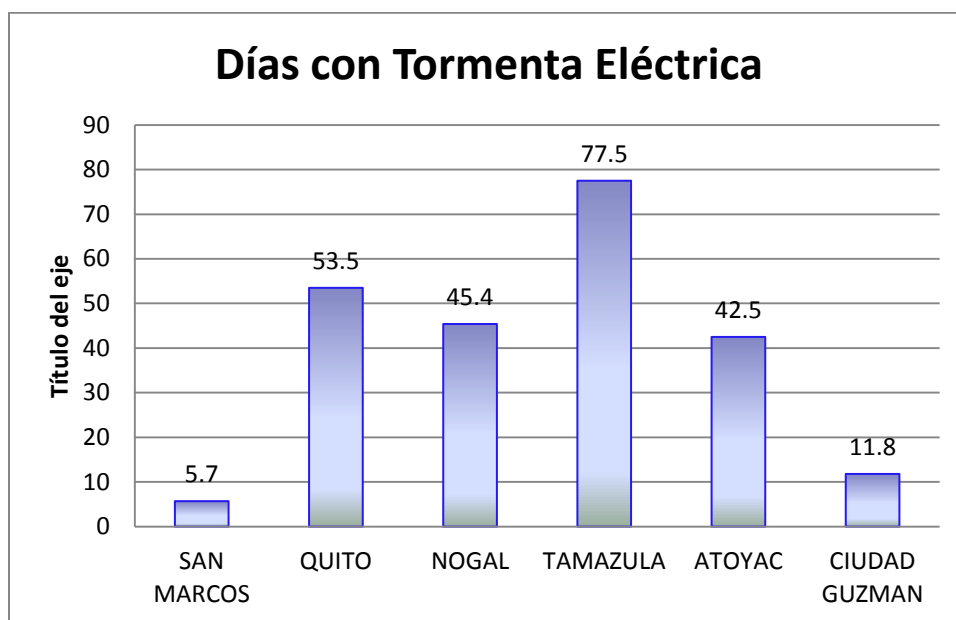
Tabla 4.2.5.1. Intensidades de descargas directas a tierra

La información regional con la que se cuenta es la siguiente: (Tabla 4.2.5.2. y Gráfica 4.2.5.1.).

ID	X	y	z	NOMBRE	Días con tormenta eléctrica
1	657027.7	2150748.8	1131	SAN MARCOS	5.7
2	664386.1	2159676.88	1059	QUITO	53.5
3	626951.7	2200566.9	2004	NOGAL	45.4
4	682622.1	2177841.26	1409	TAMAZULA	77.5
5	655313.9	2213245.89	1383	ATOYAC	42.5
6	660900	2181014	1508	CIUDAD GUZMAN	11.8

Tabla 4.2.5.2. Días al año con tormenta eléctrica, fuente SMN.





**Gráfica 4.2.5.1.** Días con tormenta eléctrica por estación.

Se empleará una forma analítica para determinar el número de descargas directas a tierra (*ddt*) a partir de los datos de día de tormenta eléctrica (*Td*). Para México se ha propuesto la relación:

$$ddt = 0.024Td^{1.12} \text{ ec. 1}$$

Sin embargo, los datos disponibles en la norma NMX citada, por ejemplo, para la zona donde se encuentra la estación meteorológica La Troja Vieja, es de 9 descargas directas a tierra, y el SMN reporta para esta estación 54.7 días con tormenta eléctrica. Utilizando este último valor, la ecuación 1 nos daría 2.12 *ddt* y no nueve. Debido a lo anterior se propone un ajuste a la ecuación 1 para quedar como sigue: (Tabla 4.2.5.3.).

$$ddt = 0.1017Td^{1.12} \text{ ec. 2}$$

Donde *ddt* está en descargas por km<sup>2</sup> por año.

ID	X	y	z	NOMBRE	Días con tormenta eléctrica	ddt km <sup>2</sup> - año
1	657027.7	2150748.8	1131	SAN MARCOS	5.7	0.71
2	664386.1	2159676.88	1059	QUITO	53.5	8.77
3	626951.7	2200566.9	2004	NOGAL	45.4	7.3
4	682622.1	2177841.26	1409	TAMAZULA	77.5	13.28
5	655313.9	2213245.89	1383	ATOYAC	42.5	6.77
6	660900	2181014	1508	CIUDAD GUZMAN	11.8	1.67

**Tabla 4.2.5.3.** Descargas directa a tierra por km<sup>2</sup>-año



Considerando lo anterior y dado que la región presenta índices aceptables de homogeneidad como se ha demostrado en otros apartados, se procedió a determinar los promedios por mes para toda la región, con los cuales se calcula la intensidad para los diferentes periodos de retorno. (Tabla 4.2.5.4.).

Tr	En	Fe	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
5	1.5	1.1	1.3	1.1	2.7	7.4	9.2	9.3	7.7	5.2	2.3	1.2
10	2	1.5	1.6	1.5	3.5	3.5	11.9	12	10	6.7	3.0	1.6
25	2.5	1.9	2.1	1.9	4.5	4.5	15.3	15.5	12.9	8.6	3.8	2
50	3	2.2	2.5	2.2	5.2	5.2	17.9	18.1	15.0	10.1	4.5	2.4

**Tabla 4.2.5.4.** Días al año de tormenta eléctrica por periodo de retorno.

#### 4.2.6. Sequía

El riesgo de un desastre por eventos de sequía, ha sido definido como el producto de la exposición de la región afectada y el grado de vulnerabilidad de ésta frente al evento (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). Por otro lado, otros autores ponen mayor énfasis en el término vulnerabilidad, definido como el grado en el cual los sistemas humanos y ambientales son susceptibles de experimentar daño debido a una perturbación o estrés (Luers et al, 2003; Adger, 2006; Smith and Wandel, 2006; Downing and Patwardhan, 2004, Scheneider et al, 2007).

Entre las múltiples amenazas naturales que pueden llegar a convertirse en desastres, una de las más importantes es la sequía, resultado de una deficiencia en la precipitación, respecto a lo considerado “normal”, de modo que, cuando se extiende a través de una estación o más tiempo, es insuficiente para satisfacer las demandas humanas y del ambiente (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005; Seth, 2003).

Las sequías han sido catalogadas como el peligro individual y natural más grande en el planeta (Patrick, 2003; Askew y Rodda, 1996). De hecho, según Below et al (2007), las sequías causaron más del 50% del total de muertes debidas a desastres naturales entre el 1900 y el 2004 y representaron el 35% de la población afectada por desastres y el 7% de las pérdidas económicas, después de las inundaciones y los terremotos. Sin embargo, el impacto económico de las sequías puede ser mayor, debido a que se presume que los impactos indirectos son mayores y generalmente son mucho más complejos de evaluar que los impactos directos (Ponvert-Deslisles, 2007).

En este contexto, las sequías, cuyo estudio se pretende abordar en términos de su probabilidad de ocurrencia mediante la estadística hidrológica, son consideradas como *“un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”* (Lapinel y Báez, 2007). De éste modo, y considerando que las principales propiedades de la sequía que son de interés determinar, se refieren a su duración, intensidad, distribución y especialmente su frecuencia; el tratamiento



probabilístico resulta fundamental en la estimación del periodo de recurrencia medio de esta amenaza natural.

### **Nivel 1**

*Determinar índices de aridez de acuerdo al método utilizado por María Engracia Hernández. Consultar mapas de sequía del país a nivel municipal del CENAPRED.*

*Determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años.*

### **Evidencia**

*Mapa de índices de aridez*

### **Registro histórico para Zapotlán el Grande.**

Se localizaron registros completos para los años 2008 y 2009 en el sitio [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=74](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=74) del SMN, consultados en mayo del 2015. (Tabla 4.2.6.1.).

Mes	2008	2009
Enero	Moderada	Moderada
Febrero	Moderada	Moderada
Marzo	Moderada	Moderada
Abril	Moderada	Moderada
Mayo	Moderada	Moderada
Junio	Moderada	Moderada
Julio	Moderada	Moderada
Agosto	Moderada	Severa
Septiembre	Anormalmente seco	Severa
Octubre	Anormalmente seco	Severa
Noviembre	Anormalmente seco	Severa
Diciembre	Anormalmente seco	Severa

**Tabla 4.2.6.1.** Registro histórico de sequías en Zapotlán el Grande. Elaboración propia con datos del SMN

### **Desarrollo**

Antes de iniciar el desarrollo del apartado se hace notar que los conceptos de aridez y sequía no son equivalentes: la aridez se define como un estado climático permanente. Para definir el término de aridez se debe de partir de las características de la superficie terrestre, tales como geomorfología y vegetación, las cuales afectan el clima hasta presentar las condiciones comunes de desertización, mientras que una sequía es un periodo considerado como anormalmente seco, el cual persiste a través del tiempo y puede producir graves cambios en los balances hidrológicos en una determinada región. En comunicación directa con la M.C. María Engracia Hernández, afirma que el método que ella ha desarrollado se refiere al uso no de un índice de aridez, sino de severidad de sequía meteorológica(I.S.), y se calcula con la expresión:

$$I.S. = \frac{SUMY - SUMX}{SUMX} \text{ ec. 1}$$

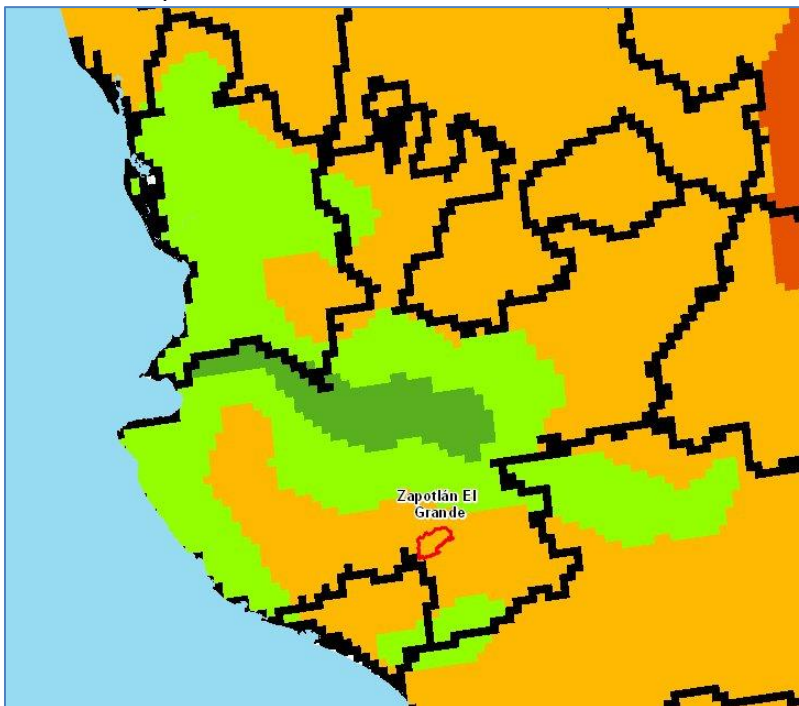
$SUMY < SUMX$

Y = Precipitación mensual registrada

X = Precipitación media mensual normal

Si  $SUMY - SUMX$  es menor de 0.0, hay sequía meteorológica.

El modelo obtenido mediante este método se muestra en la siguiente (Figura 4.2.6.1.) en el que a Zapotlán le corresponde un nivel medio.



**Figura 4.2.6.1.** Índice de severidad de la sequía, modelo CCC (Canadian Climate Center).

Una vez determinado el I.S. de sequía, se utilizará para generar el mapa de escenario base. Se consideraron las estaciones (Tabla 4.2.6.2.).

Estaciones		Coordenadas WGS 84 UTM 13 N	
Nombre	Clave	x	y
San Marcos	14129	657027.70	2150748.8
Quito	14118	664386.10	2159676.88
Ciudad Guzmán	14030	660897.92	2181010.77
El Nogal	14052	626951.70	2200566.9
Atoyac	14018	655313.34	2213247.27
Ingenio Tamazula	14141	682622.1	2177841.26

**Tabla 4.2.6.2.** Datos de estaciones meteorológicas ubicadas en la cercanía de Zapotlán el Grande. Elaboración propia.

Dado que el registro de los datos es variable y la estación Ciudad Guzmán, la de mayor peso en la zona, sólo tiene datos completos a partir de 1995, se considera el lapso 1995-2014, 20 años.



El índice de severidad de sequía meteorológica se ha clasificado en siete grados (Tablas 4.2.6.3. y 4.2.6.4. y Mapa 4.2.6.2.).

Índice Valor absoluto	Grado	Guía SEDATU
mayor de 0.8	extremadamente severo	Muy alto
0.6 a 0.8	muy severo	Muy alto
0.5 a 0.6	severo	alto
0.4 a 0.5	muy fuerte	Medio
0.35 a 0.4	fuerte	bajo
0.2 a 0.35	Leve	Muy bajo
< 0.2	Ausente	No aplica

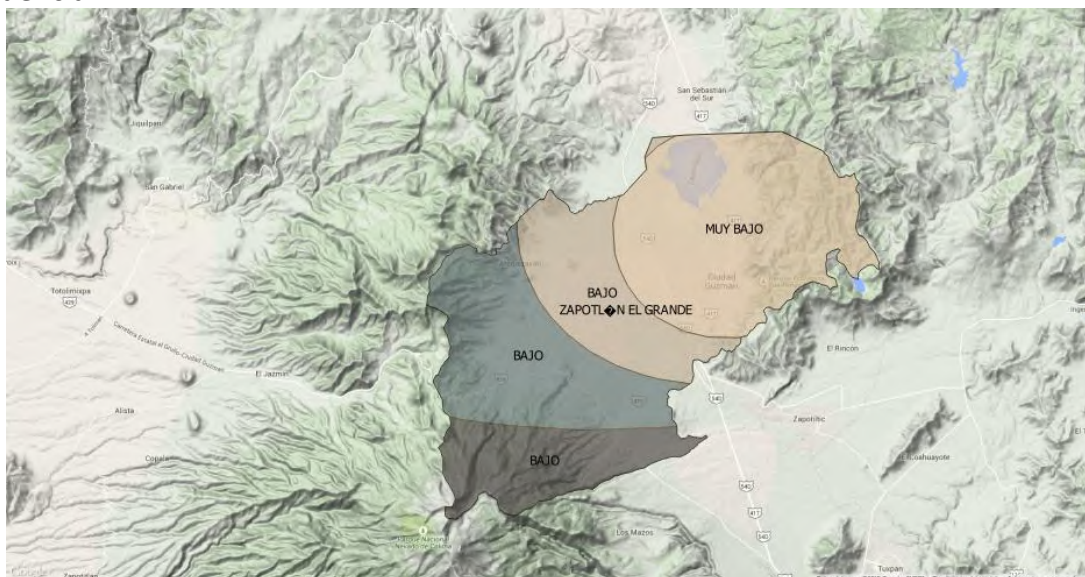
**Tabla 4.2.6.3.** Índice de Severidad de sequía. Elaboración propia

*Resultados:*

Estaciones		Coordenadas WGS 84 UTM 13 N		I.S	Grado
Nombre	Clave	x	y		
San Marcos Tonila	14129	657027.70	2150748.8	-0.370	leve
Quito	14118	664386.10	2159676.88	-0.448	muy fuerte
Ciudad Guzmán	14030	660897.92	2181010.77	-0.330	leve
El Nogal	14052	626951.70	2200566.9	-0.393	fuerte
Atoyac	14018	655313.34	2213247.27	-0.431	muy fuerte
Ingenio Tamazula	14141	682622.1	2177841.26	-0.297	leve

**Tabla 4.2.6.4.** Índice de severidad y grado de sequía para las diferentes estaciones. Elaboración propia.

**Evidencia**



**Figura 4.2.6.2.** Mapa de grados de sequía. (Fuente: Elaboración propia, 2015).

**Determinación de periodos de retorno.**





Considerando que las principales propiedades de la sequía que son de interés determinar, se refieren a su duración, intensidad, distribución y especialmente su frecuencia; el tratamiento probabilístico resulta fundamental en la estimación del periodo de recurrencia medio de esta amenaza natural. El método que se empleara será el análisis regional de frecuencia (ARF) mediante la teoría de los L-momentos y empleando el software libre ICI-RAFT<sup>2</sup> vr. 1 El procedimiento consiste en definir regiones estadísticamente homogéneas a partir del análisis de los datos de las estaciones en una determinada región. El ARF se caracteriza por aumentar la cantidad de datos disponibles para el análisis en una determinada región de estudio utilizando datos de diferentes estaciones, con lo que se obtiene mayor precisión en la estimación de los cuantiles. Sin embargo, al utilizar mayor información es necesario establecer las relaciones entre las diferentes distribuciones de frecuencias de las diferentes estaciones. Para lo anterior se utilizan los indicadores de discordancia, los cuales identifican una o más estaciones altamente discordantes respecto a un grupo de estaciones.

Valores Críticos del indicador de discordancia Di basado en L-momentos. (Tabla 4.2.6.5.).

No. de estaciones en la región	Valor Crítico de Di
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.140
9	2.329
10	2.491
11	2.632
12	2.757
13	2.869
14	2.971
≥ 15	3

**Tabla 4.2.6.5.** Tabla de valores críticos del indicador de discordancia.

Los resultados obtenidos mediante ICI-RAFT para las estaciones consideradas en el estudio son: (Tabla 4.2.6.6.).

Sitio	L-media (L1)	L-escala (L2)	L-CV (L1/L2)	L-Skew (L3)	L-Kurtosis (L4)	Discordancia
Quito	802.211	110.643	0.1379	-0.0034	0.200	1.1786
El Nogal	624.052	75.848	0.1215	0.0717	-0.024	1.2804

<sup>2</sup> Disponible en:

<http://www.iwr.usace.army.mil/Missions/Hydrology/ICIRAF%28ICIWaRMRegionalAnalysisofFrequencyT.aspx>, recuperado el 01/05/2015

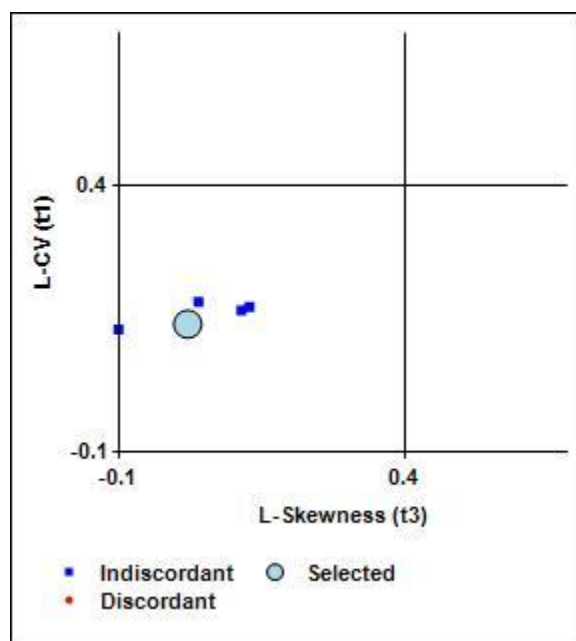


Sitio	L-media (L1)	L-escala (L2)	L-CV (L1/L2)	L-Skew (L3)	L-Kurtosis (L4)	Discordancia
Ing. Tamazula	941.441	80.416	0.0854	-0.1433	0.214	1.0001
Atoyac	560.600	71.879	0.1282	0.0858	0.114	1.0688
San Marcos	1130.755	108.367	0.0958	-0.0223	0.106	0.4718

**Tabla 4.2.6.6.** Medidas de estadística descriptiva basada en L-momentos. Elaboración propia.

El primer L-momento es el promedio o una medida de localización y puede tomar cualquier valor. El segundo L-momento es una medida de dispersión de los datos respecto a la media y toma valores mayores o igual a cero. L-CV es el valor análogo del coeficiente de variación en los L-Momentos.

Una representación del factor de discordancia basado en los L-momentos L-CV y L-skew, para el sitio San Marcos, se muestra en la siguiente (Gráfica 4.2.6.1.).



**Gráfica 4.2.6.1.** Factor de discordancia basado en L-CV y L-Skewness. Elaboración propia

Después de formar agrupaciones de estaciones, es necesario confirmar la homogeneidad de cada región, para determinar, por ejemplo si dos o más estaciones se pueden unir para formar otra región.

El criterio de homogeneidad (H) utilizado aquí se basa en Wallis *et al* (2007) quienes sugieren los siguientes rangos: (Tabla 4.2.6.7.).

Heterogeneidad	Wallis et al (2007)
Homogénea	$H < 2$



Heterogeneidad	Wallis et al (2007)
Posiblemente heterogénea	$2 < H < 3$
heterogénea	$H > 3$

**Tabla 4.2.6.7.** Tabla de criterios de homogeneidad basada en Wallis et al (2007). Elaboración propia.

Los datos arrojados para el conjunto de estaciones agrupadas en la región son: (Tabla 4.2.6.8.).

Región	L-media (L1)	L-escala (L2)	L-CV (L2/L1)	L-Skew (L3)	L-Kurtosis (L4)	Homogeneidad H
Ciudad Guzmán	810.9255	89.3943	0.1139	-0.0027	1.1232	1.36

**Tabla 4.2.6.8.** Datos de estadística descriptiva regionales. Elaboración propia

### Selección de distribuciones de probabilidad y cálculo de magnitudes de sequía.

En esta etapa se procedió al cálculo y selección de la distribución de probabilidad que mejor se ajustara a cada combinación de eventos de precipitación mensual a partir del mes de mayo con duración de 6 meses. Las distribuciones utilizadas son las que más comúnmente se utilizan en L-momentos: Logística Generalizada y Generalizada de Valores Extremos

ICI-RAFT también calcula los valores del coeficiente de correlación de Pearson y las puntuaciones **Z** para cada distribución, que dan una indicación de la cercanía de ajuste de cada distribución estándar de los datos de la muestra del sitio que se está analizando. Valores de R de Pearson cercanos a 1 y un **Z** cercano a 0 indican un buen ajuste. Este último se basa en los L-momentos L-sesgo y L-curtosis (Anli et al., 2007). Mediante una prueba de bondad de ajuste basada en el estadígrafo Z se comprueba objetivamente cuando un conjunto de distribuciones se ajusta aceptablemente a los datos (Álvarez, et al., 1999). De esta forma se puede desestimar el uso de ciertas distribuciones que no se ajusten aceptablemente, pero este indicador por sí solo no tiene la capacidad para identificar a una distribución como la mejor (Hosking y Wallis, 1997).

Según lo planteado por Hosking y Wallis (1997), se considera que el ajuste de una distribución es aceptable o adecuado si el valor de **Z** es cercano a cero. En este contexto, un valor razonable es el asociado al grado significancia del 90%, es decir,  $|Z| \leq 1.64$ .



#### Resultados por estación meteorológica (Tabla 4.2.6.9.).

Sitio	Periodos de retorno, años				
	5	10	20	50	100
	*Precipitación en mm				
14118	649	559	475	369	290
14052	516	462	416	360	321
14141	841	759	675	555	455
14018	451	404	371	334	311
14129	982	891	805	694	611

Tabla 4.2.6.9. Descenso de la precipitación media anual en mm por estación meteorológica.  
Elaboración propia.

\*Precipitación media anual.

La disminución de la precipitación con respecto a la media anual, en % es:

Sitio	Pma* mm	Periodos de retorno, años				
		5	10	20	50	100
		Disminución en % con respecto a la media anual				
14118	833	77.91	67.10	57.02	44.29	34.81
14052	697	70.03	66.28	59.68	51.64	46.05
14141	990	84.94	76.66	68.18	56.06	45.95
14018	576	78.29	70.13	64.4	57.98	53.99
14129	1180	83.22	75.50	68.22	58.81	57.77

Tabla 4.2.6.10. Descenso de la precipitación en % con respecto a la media anual. Elaboración propia.

#### Análisis de correlación

Sitio	Función de Distribución de Probabilidad	Coef. de Pearson	Tipo y grado de correlación según Pearson	z
14118	Logística Generalizada	0.6056	Positiva moderada	-0.59
14052	Logística Generalizada	-0.1129	Negativa débil	0.14
14141	Logística Generalizada	0.5964	Positiva Moderada	0.1
14018	General de valores extremos	0.5763	Positiva Moderada	-3.77
14129	Logística Generalizada	0.2314	Positiva débil	-0.74

Tabla 4.2.6.11. Resultados de correlación para las diferentes funciones de distribución probabilísticas exploradas. Elaboración propia.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA

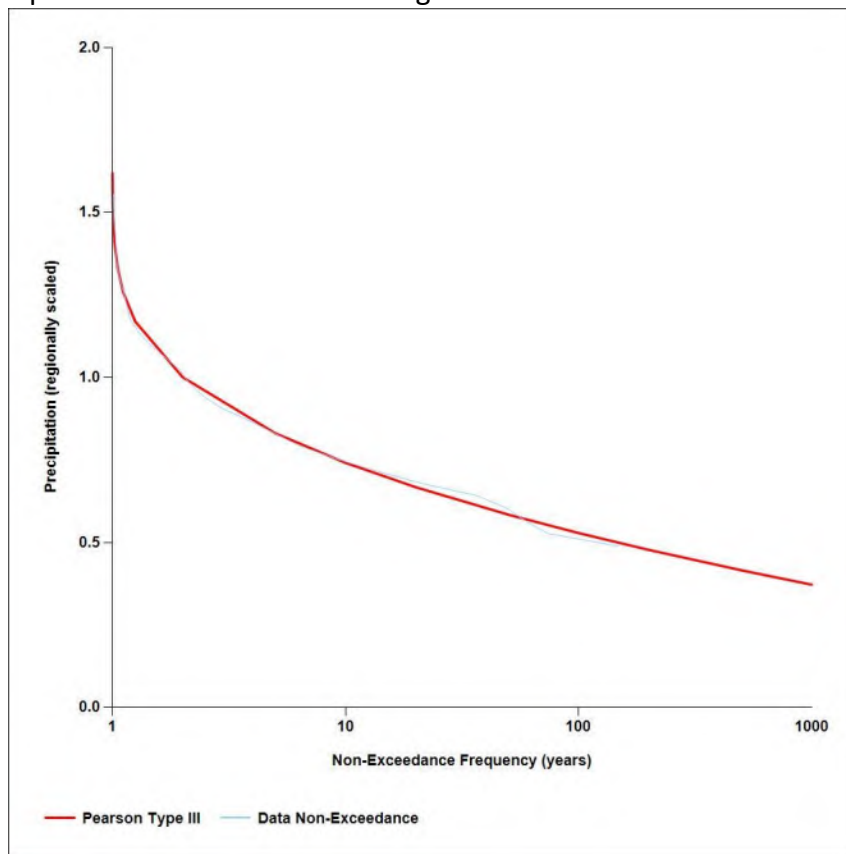


**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



### Resultados regionales

En la siguiente (Gráfica 4.2.6.2.) se muestra la tendencia de la intensidad de la sequía para los diferentes periodos de retorno a nivel regional.



**Gráfica 4.2.6.2.** Disminución de la precipitación a nivel regional según una distribución tipo Pearson III. Elaboración propia.

Región	Periodos de retorno, años				
	5	10	20	50	100
Precipitación en mm					
Ciudad Guzmán	782	698	628	550	497
Disminución en % con respecto a la media regional anual					
	91.44	81.61	73.43	64.31	58.11

**Tabla 4.2.6.12.** Disminución regional de la precipitación en mm. Elaboración propia.

### Análisis de correlación a nivel regional.

Región	Función de Distribución de Probabilidad	Coef. de Pearson	Tipo y grado de correlación según Pearson	z
Ciudad Guzmán	Gumbel tipo III	0.826	Positiva fuerte	0





**Tabla 4.2.6.13.** Análisis de correlación. Elaboración propia.

## Nivel 2

*Determinar los porcentajes de sequía intraestival (disminución de las lluvias durante el verano) de acuerdo a método de Pedro Mosiño y Enriqueta García, el cual consiste en la utilización de cuatro ecuaciones que representan los grados de sequía.*

### Evidencia

*Gráficas de comportamiento de la sequía intraestival.*

*Mapa de grados de intensidad de la sequía intraestival.*

### Sequía Intraestival.

En la mayor parte de México, el régimen de precipitación presenta dos comportamientos durante el año, por lo que se tiene una época de lluvias y una época de estiaje (en este tiempo hay poca o ninguna lluvia. La sequía intraestival o canícula se define como la disminución de la precipitación, durante la época de lluvia respecto a su promedio.

### Desarrollo (Método de Pedro Mosiño y Enriqueta García)

Se tomaran datos de precipitación de junio a octubre con los datos de las estaciones ya mencionadas en el nivel 1. Las expresiones para 3, 4, 5 y 6 meses son:

$$A_3 = 0.5 * Y_1 - Y_2 + 0.5 * Y_3 \text{ ec. 2}$$

$$A_4 = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4 \text{ ec. 3}$$

$$A_5 = \left(\frac{3}{2}\right)Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + \left(\frac{3}{2}\right)Y_5 \text{ ec. 4}$$

$$A_6 = 2 * Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2 * Y_6 \text{ ec. 5}$$

$$SI\% = \frac{A_n}{\sum P(j - o)} \text{ ec. 6}$$

### Resultados

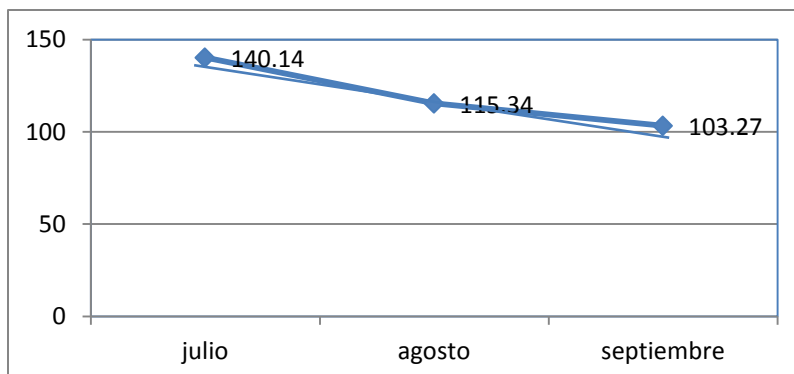
La aplicación del método a los datos de las estaciones involucradas muestra que en la zona del proyecto no se presenta la sequía intraestival: (Tabla 4.2.6.14.).

Polígono	C. G	Quito	El Nogal	Tamazula	Atoyac	San Marcos
A3	-10.60	-19.98	6.36	-8.82	-53.50	-24.65
A4	-26.59	-62.92	-16.82	-55.97	-58.49	-142.05
A5	-136.67	-227.77	-177.16	-281.62	-225.92	-360.52
A6	-406.35	-429.11	-287.40	-527.44	-334.36	-692.23

**Tabla 4.2.6.14.** Áreas negativas por la aplicación de las ecuaciones 2 a 5, demuestra que no hay sequía intraestival. Elaboración propia.



Los valores negativos calculados para las áreas de los polígonos A3, A4, A5 y A6 muestran que no existe sequía intraestival en la zona del proyecto, excepto para la estación El Nogal para los meses julio-agosto-septiembre, del cual se presenta el polígono. (Gráfica 4.2.6.3.).



**Gráfica 4.2.6.3.** Área de polígono para la precipitación de julio-septiembre. Elaboración propia.

Para este caso: (Tabla 4.2.6.15.).

$$SI\% = \frac{6.36}{358.75} = 0.017(100) = 1.7 \%$$

Estación	Sequía intraestival en %			
	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
San Marcos	0	0	0	0
Quito	0	0	0	0
Ciudad Guzmán	0	0	0	0
El Nogal	1.7	0	0	0
La Yerbabuena	0	0	0	0
Atoyac	0	0	0	0
Ingenio Tamazula	0	0	0	0

**Tabla 4.2.6.15.** Sequía intraestival en la región. Elaboración propia

### Aplicación del Índice de Precipitación Estandarizado.

En diciembre del 2009 se aprobó la Declaración de Lincoln sobre los índices de sequía, que recomendó que, para describir las características de las sequías meteorológicas, todos los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) utilizaran el Índice normalizado de precipitación (SPI) además de los otros índices de sequías utilizados en esos Servicios. La Declaración de Lincoln también recomendó que se elaborara un exhaustivo manual del usuario del SPI. En junio de 2011 el Decimosexto Congreso Meteorológico Mundial aprobó una resolución en la que se ratificaron ambas recomendaciones. El Congreso solicitó asimismo que el manual del SPI se publicara y distribuyera en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas.



El SPI se calcula con base en la utilización de un registro de datos de precipitación de un lugar, que es ajustado a una función de probabilidad gamma que se transforma a una distribución de probabilidad normal estandarizada. De modo que el valor medio del SPI para ése lugar es cero y varianza uno; valores positivos de SPI son mayores a la mediana, valores negativos son menores a la mediana.

La función de frecuencia se expresa por la fórmula:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \text{ ec. 7}$$

Donde:

$\alpha$  = es un parámetro de forma de la curva

$\beta$  = es un parámetro de escala.

$x > 0$  es la variable, en este caso la precipitación.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \text{ ec. 8} \quad \Gamma(\alpha) = \text{es la función gamma}$$

Además, se utilizan las soluciones de máxima verosimilitud para estimar óptimamente  $\alpha$  y  $\beta$ :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \text{ ec. 9}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \text{ ec. 10}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \text{ ec. 11}$$

$n$  = número de datos de precipitación.

El interés principal de la aplicación de la función gamma en análisis climáticos no es la aplicación de la ecuación (21), que es una función de frecuencias, sino su integral de la que se obtiene la probabilidad acumulativa de ocurrencia de una precipitación menor o igual que una precipitación (X) determinada, la cual se expresa como:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta} \hat{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \text{ ec. 12}$$

Escribiendo  $t = x/\hat{\beta}$ , la ecuación anterior deriva en la función gamma incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \text{ ec. 13}$$

Dado que la función gamma esta indefinida para  $x = 0$ , y los datos de precipitación pueden contener a ceros, la probabilidad acumulativa será:

$$H(x) = q + (1 - q)H(x) \text{ ec. 14}$$



Donde:

$q = m/n$ , y  $m$  es el número de ceros en la serie de datos.

Para calcular SPI computacionalmente se utiliza una aproximación proporcionada por Abramowitz y Stegun (1965) que convierte probabilidad acumulada en una variable aleatoria normal estandarizada  $Z$ :

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad \text{ec. 15}$$

$$Z = SPI = \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0.5 < H(x) < 1 \quad \text{ec. 16}$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad \text{ec. 17}$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right)} \quad \text{para } 0.5 < H(x) < 1 \quad \text{ec. 18}$$

Donde

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

Los periodos de tiempo para los que normalmente se calcula el SPI son 1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses.

Los periodos cortos de 3 y 6 meses se emplean cuando se presenta el fenómeno de sequía intraestival, para sequía meteorológica se emplean los periodos de 12 y 24 meses. Los valores de SPI de esta escala de tiempo están relacionados con escurrimientos, nivel de reservorios y aún con niveles de agua subterránea.

Dado que en la región no se ha presentado el fenómeno de sequía intraestival, se calcula el SPI para periodos de 12 meses con ayuda de los softwares Excel y Matlab 14, con el que se calculó la función gamma incompleta mediante el comando  $\text{gammainc}(x, A)$ .

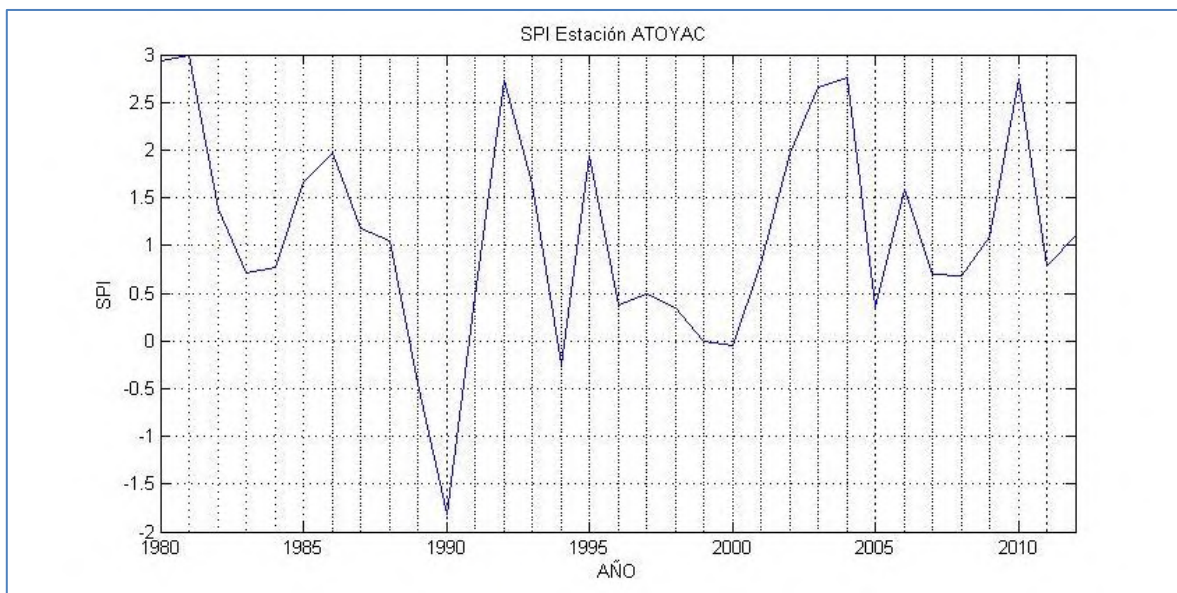
La clasificación de SPI señala que un evento de sequía ocurre cuando los valores de SPI son negativos continuamente y la intensidad de la sequía asume valores menores de -1.0. El evento de sequía termina cuando el SPI alcanza valores positivos. (Tabla 4.2.6.16. y Gráficas 4.2.6.4, 4.2.6.5., 4.2.6.6., 4.2.6.7., 4.2.6.8.).



Valor SPI	Categoría de sequía
2 o mayor	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2 o menor	Extremadamente seco

**Tabla 4.2.6.16.** Valor de SPI y categoría de sequía.

## Resultados



**Gráfica 4.2.6.4.** SPI estación Atoyac. Elaboración propia.

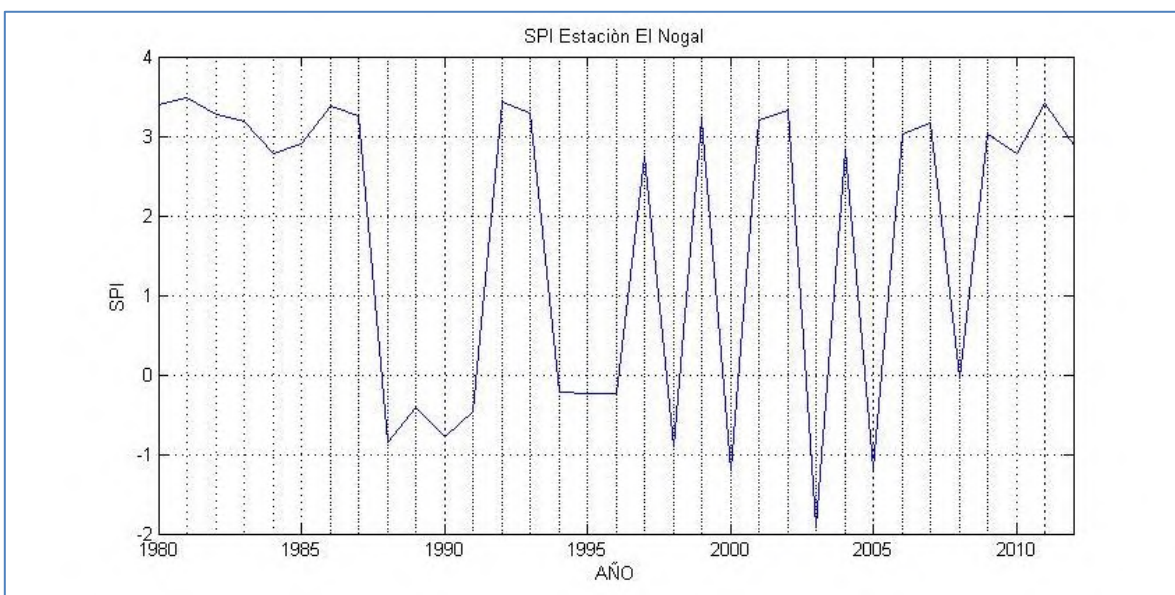




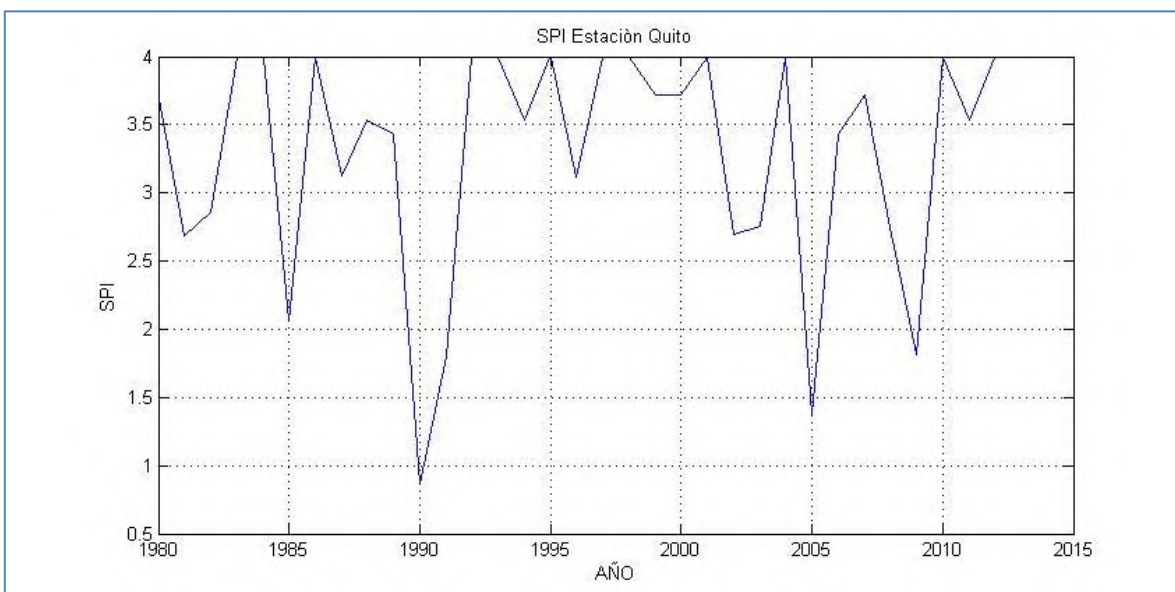
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



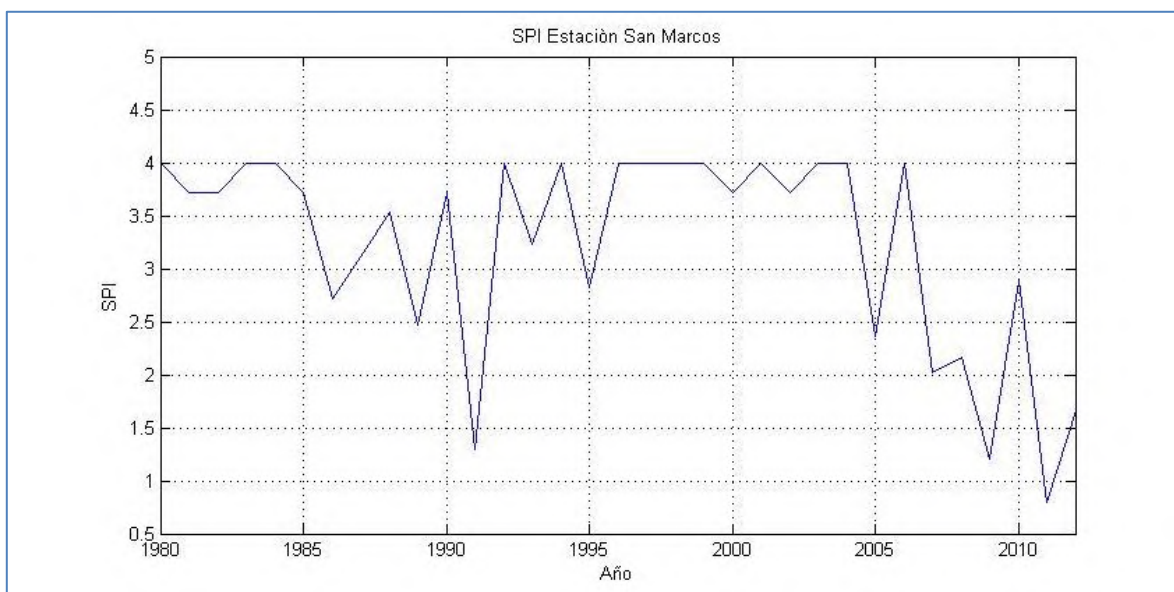
**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



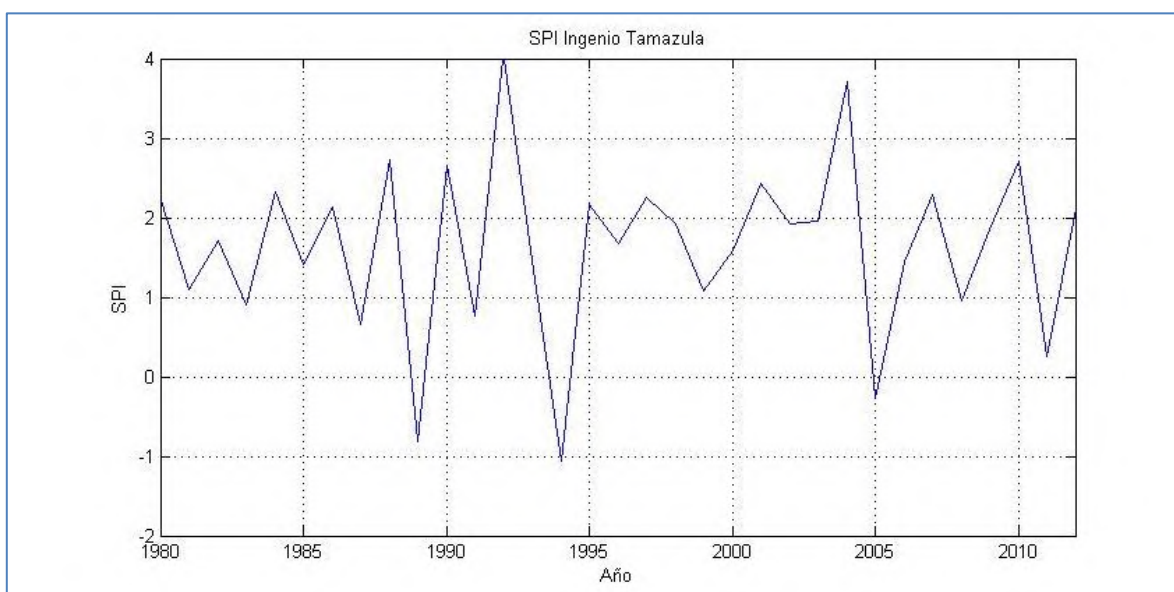
**Gráfica 4.2.6.5.** SPI Estación Elaboración propia. El Nogal.



**Gráfica 4.2.6.6.** SPI estación Quito. Elaboración propia.



**Gráfica 4.2.6.7.** SPI Estación San Marcos. Elaboración propia.



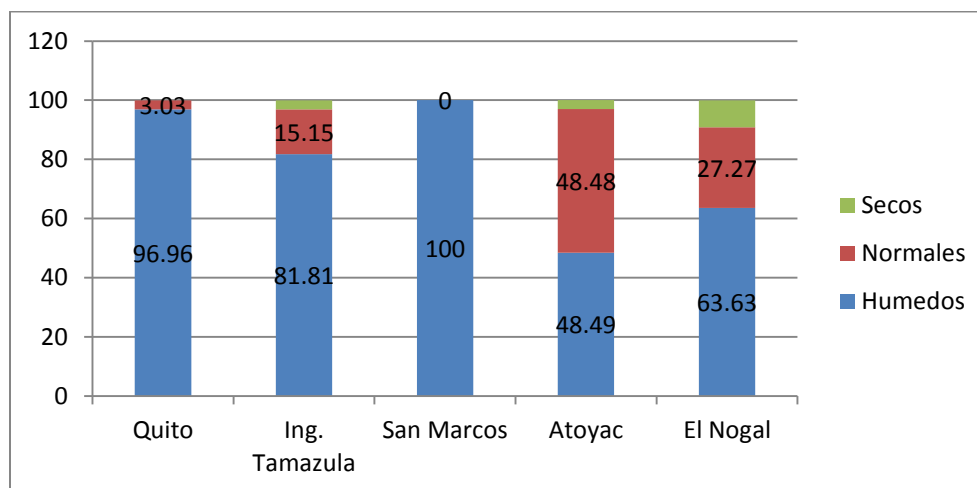
**Gráfica 4.2.6.8.** SPI estación Ingenio Tamazula. Elaboración propia.

Para representar cartográficamente lo anterior, todos los valores  $> 1$ , se consideraron húmedos, los valores  $< -1$ , se tomaron como secos, y los valores entre  $-1$  y  $1$  se tomaron como normales y se calcularon los porcentajes obteniéndose que: (Tabla 4.2.6.17. y Gráfica 4.2.6.9.).



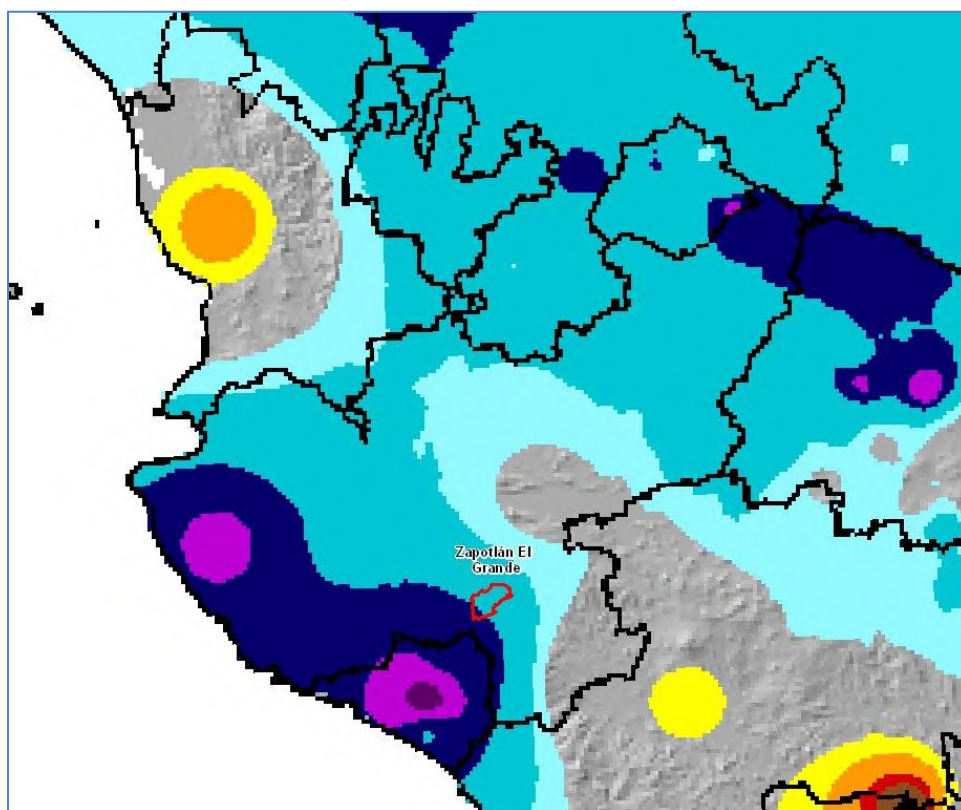
Condición	Quito	Inge. Tamazula	San Marcos	Atoyac	El Nogal
húmedos %	96.96	81.81	100	48.49	63.63
normales %	3.03	15.15	0	48.48	27.27
secos %	0	3.03	0	3.03	9.09

**Tabla 4.2.6.17.** Condiciones de humedad en las diferentes estaciones. Elaboración propia.



**Gráfica 4.2.6.9.** Porcentajes de años secos, normales y húmedos según el índice SPI calculado. Elaboración propia.

Para el año 2013-2014, el SMN presenta la siguiente imagen del territorio nacional, en la que se aprecia una condición moderadamente húmeda y muy húmeda para Zapotlán el Grande. (Figura 4.2.6.3.).



**Figura 4.2.6.3.** Condición muy húmeda y húmeda para el municipio de Zapotlán el Grande para el año 2013-2014. (Fuente: SMN, 2015).

#### **Sequía meteorológica y variación de la superficie agrícola en Zapotlán el Grande.**

Dado que la información sobre la superficie para la agricultura en Zapotlán el Grande, fue muy escasa y difícil de obtener, se estableció el período 1993-2014 para realizar el análisis de su variación.

##### **Objetivos:**

- Describir la variación de la superficie agrícola para los años 1993-2014.
- Determinar la influencia del fenómeno de la sequía meteorológica en la variación de la superficie agrícola vegetal utilizando la capa de la serie II de Uso de suelo y Vegetación de INEGI (1993) y la superficie cultivada actual

##### **Variación de la superficie agrícola.**

Para determinar la variación de la superficie se emplea la siguiente formula:

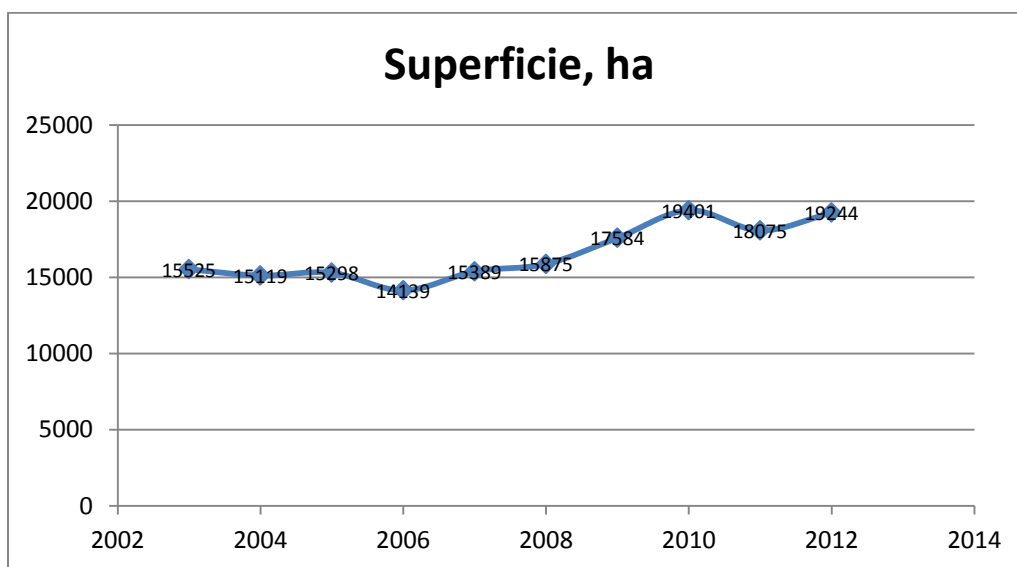
$$IDA = \frac{S_2 - S_1}{S_2} * 100 \text{ ec. 19}$$

Donde:

$S_2$  = corresponde a la superficie del año más reciente.

$S_1$  = corresponde a la superficie del año anterior

La evolución de la superficie sembrada (2003-2012) se presenta en la siguiente gráfica:



**Gráfica 4.2.6.10.** Superficie total cultivada por año

Año	Superficie, ha	Variación %
1993	14586	0.00
2003	15525	6.048
2004	15119	-2.69
2005	15298	1.17
2006	14139	-8.20
2007	15389	8.12
2008	15875	3.06
2009	17584	9.72
2010	19401	9.37
2011	18075	-7.34
2012	19244	6.07
2015	23495.57	18.095
1993-2015		37.92

**Tabla 4.2.6.18.** Variación anual de superficie cultivada.

Para el análisis de los resultados del Índice de Severidad de Sequía y del IDAM y determinar la influencia entre la sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola, es necesario contar con un período de estudio en común. Debido a la carencia de datos de superficie agrícola, se utilizó la información de la capa de Uso de Suelo y Vegetación Serie II de INEGI con lo que se determinaron las áreas en las que la sequía meteorológica ha influido y la variación de la superficie encontrada.





Dos años de disminución de la superficie cultivada destacan en la tabla anterior: 2006 y 2011. Los datos de precipitación para esos años son los siguientes: (Tabla 4.2.6.19.).

Año	Cd. Guzman	Quito	Nogal	Ing. Tamazula	Atoyac	San Marcos
2006	991	858	859.6	981.67	666.6	1490
2011	S/D	882.4	705	796.1	561.1	732.80

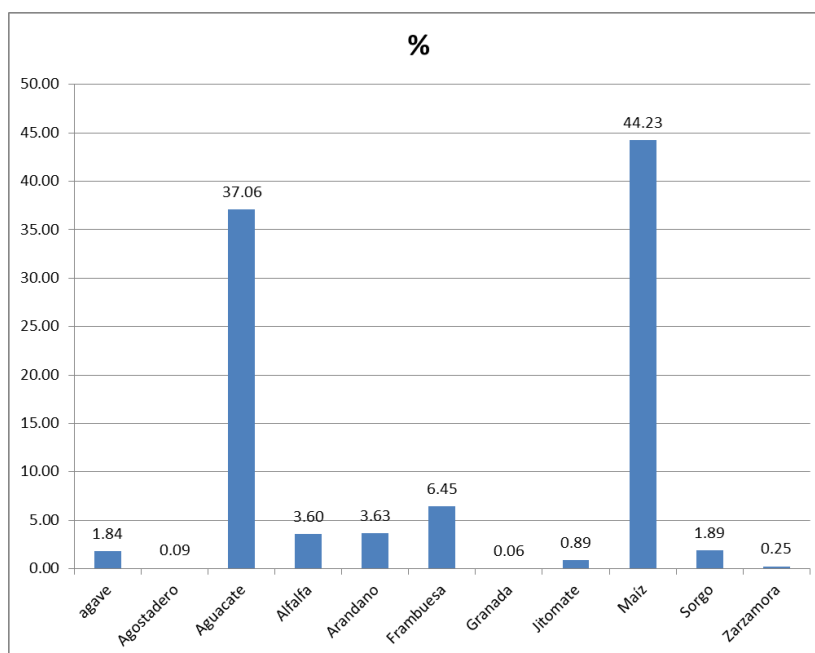
**Tabla 4.2.6.19.** Disminución de superficie cultivada y precipitación en el mismo año.

Por lo cual no se aprecia que la disminución de la superficie sembrada se deba a sequía. En concreto, el incremento de la superficie desde 1993 al 2015 es de 8909.57 hectáreas lo que representa un 37.92 %.

Estas 8909.57 nuevas hectáreas abiertas al cultivo están distribuidas de la siguiente forma: (Tabla 4.2.6.20. y Gráfica 4.2.6.11.).

Cultivo	Hectáreas	%
Agave	163.64	1.84
Agostadero	8.36	0.09
Aguacate	3301.63	37.06
Alfalfa	321.13	3.60
Arandano	323.43	3.63
Frambuesa	574.25	6.45
Granada	5.70	0.06
Jitomate	79.58	0.89
Maíz	3940.80	44.23
Sorgo	168.54	1.89
Zarzamora	22.50	0.25
Total	8909.57	100

**Tabla 4.2.6.20.** Incrementos de superficie cultivada en hectáreas por cultivo



**Gráfica 4.2.6.11.** Incremento de superficie cultivada por cultivo.

#### 4.2.7. Temperaturas máximas extremas.

Existen varias definiciones de ondas de calor, según la OMS la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy cálido, sobre una zona extensa que suele durar unos días e, incluso, semanas.

En México, Jáuregui (2009) delimita a la onda de calor como la ocurrencia de tres o más días con temperaturas que exceden ciertos umbrales, los cuales varían geográficamente, por ejemplo, para el caso de la Ciudad de México se adopta el umbral de 30°C, sin embargo, en Mexicali y Hermosillo, la temperatura debe exceder los 40°C. En ambos casos, los mayores eventos ocurren entre marzo a julio. De manera similar, Vidal y Ortiz (2010) indican que una onda cálida está determinada por un período de tres o más días cuando la temperatura excede cierto umbral, que para el caso de México sería 26°C, debido a que es el límite de la temperatura entre los climas templados y cálidos.

#### Impactos de las ondas de calor.

Las temperaturas máximas podrían generar un escenario crítico y dar lugar a una mayor incidencia de casos como el golpe de calor, el agotamiento por calor, el síncope y los calambres por calor. Las olas de calor también incrementan la morbilidad y mortalidad asociadas a otras enfermedades que ocurren aún en ausencia del estrés del calor, por ejemplo, el infarto al miocardio, malestares cardiovasculares y de padecimientos



gastrointestinales por la ingesta de agua contaminada, sin embargo, el golpe de calor es el único con una letalidad importante (Kilbourne, 2000).

Las personas más vulnerables a las ondas de calor son los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 años (porque tienen mayor probabilidad de enfermedades crónicas), los trabajadores agrícolas y los migrantes. También los enfermos y las personas con sobrepeso son los más vulnerables al calor extremo.

Los efectos en la salud también son notables en las áreas de bajo nivel socioeconómico, por carecer de recursos para la instalación de aire acondicionado e, incluso, estar en un ambiente rodeado de abundancia de árboles y arbustos que proporcionan sombra, mientras que el acceso al cuidado sanitario es mínimo (Kilbourne, 2000).

#### Método

Obtener los registros de datos climatológicos de varias décadas de temperaturas máximas extremas mensuales.

Establecer los rangos para las isotermas de acuerdo a la distribución del sistema.

Obtener la frecuencia de masas de aire cálido en la zona de estudio.

Determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años.

#### Análisis de las ondas de calor.

Se analizaron series completas de datos diarios de temperaturas de estaciones cercanas o que estén en el municipio de Zapotlán el Grande. La zona en estudio tiene temperatura máxima promedio de 29.16 °C para los meses cálidos (abril-septiembre), según el Atlas Climático Nacional de México, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM<sup>3</sup>, siendo mayo el de mayor temperatura. Posteriormente se definen el percentil 90 y a partir de este dato elabora el mapa de temperaturas máximas extremas.

Por ejemplo, para la estación Ciudad Guzmán con 15 años de datos el percentil 90 es de 33°C.

Los resultados del resto de estaciones analizadas se muestran en la siguiente (Tabla 4.2.7.1.).

Estación	Percentil 90, en °C	Años de datos
Ciudad Guzmán	33	17
Atoyac	35.5	25
Ingenio Tamazula	39	25
Quito	35	25
San Marcos	39	25
El Nogal	28	25

**Tabla 4.2.7.1.** Percentil 90 de temperaturas máximas extremas

<sup>3</sup> Disponible en <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/> consultado el 01 de agosto del 2015-08-12.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

La recurrencia de temperaturas mayores o iguales al percentil 90 para la estación Ciudad Guzmán en la serie de datos estudiada que pudiesen representar ondas cálidas, es decir con duración mayor a 2 días, es la siguiente (Tabla 4.2.7.2.).

Estación Cd. Guzmán	Año	Mes	Tem. Prom.	Tem. Max.	Tem. Min.	Duración Días
1	1989	Abril	33.46	33.9	33	3
2	1989	Mayo	33.87	34.8	33	4
3	1991	Abril	33.5	34	33	2
4	1991	Abril	34.78	36.4	33	10
5	1991	Mayo	34.66	36.9	33.5	3
6	1991	Mayo	33.33	34	33	3
7	1991	Mayo	33	33	33	2
8	1991	Mayo	33.8	36	33	5
9	1991	Junio	34.8	35	33	6
10	1992	Abril	33.6	34	33	3
11	1992	Junio	33.41	35	33	10
12	1993	Abril	33.86	35	33	7
13	1993	Mayo	33.95	35.8	33	9
13	1993	Junio	33.6	34.2	33	2
14	1994	Marzo	34.25	34.5	34	2
15	1994	Abr-May	33.83	35.5	33	12
16	1994	Mayo	34	34	34	2
17	1994	May-Jun	34	34	34	14
18	1994	Junio	33.5	34	33	2
19	1995	Abril	34.67	36	33.2	4
20	1995	Mayo	33.9	35	33	5
21	1995	May-Jun	33.58	36.5	33	32
22	1996	Abril	33.41	34.7	33	7
23	1996	Mayo	33.67	35	33	12
24	1997	Mayo	34.18	36.2	33	7
25	1997	Mayo	34.3	36	33.2	4
26	1997	junio	34.04	35.2	33	5
27	1998	Abril	35.27	36.8	33.8	4
28	1998	May-Jun	34.33	39	33	48
29	1998	julio	33.25	33.5	33	2
30	1999	Marzo	33.8	34.7	33	3
31	1999	Abril	34.84	36	33.8	5
32	1999	Abril	33.57	34.2	33	4
33	1999	Mayo	33.38	35	33	7
34	1999	Mayo	35	35.4	34.6	2
35	2000	Abril	34.21	35.7	33.1	7



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Estación Cd. Guzmán	Año	Mes	Tem. Prom.	Tem. Max.	Tem. Min.	Duración Días
36	2001	Abril	34.1	34.7	33.2	4
37	2001	Abril	34.16	35	33	3
38	2001	Mayo	34.86	35.2	34.4	3
39	2001	Mayo	35.04	36.2	33.3	11
40	2001	Marzo	34.14	36	33	7
41	2002	Abril	33.9	35	33.2	3
42	2002	Abr-May	34.45	36.6	33	26
43	2002	May	34.35	35	33.7	2
44	2002	May	33.64	34.5	33	5
45	2003	Abr-May	34.44	37.6	33	46
46	2005	Abr-Jun	34.67	38.7	33	74

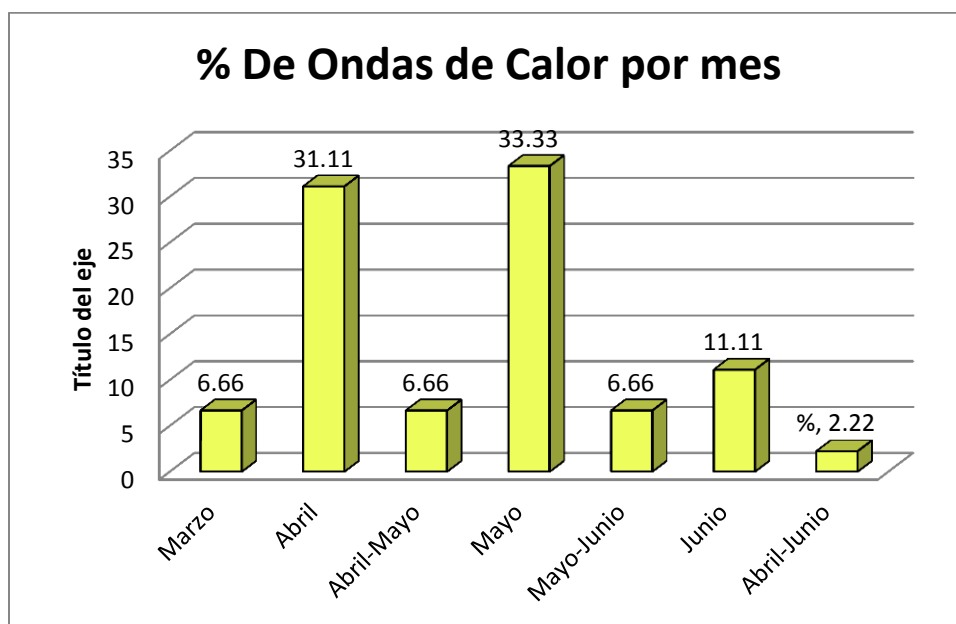
**Tabla 4.2.7.2.** Características de las ondas de calor registradas en el estación Ciudad Guzmán.

De la tabla anterior se puede ver que abril y mayo son los meses con más eventos. Así mismo, que el evento de mayor duración se presentó en el 2005 durante 75 días a lo largo de los meses de abril a junio.(Tabla 4.2.7.3. y Gráfica 4.2.7.1.).

Mes	No. de Eventos	%
Marzo	3	6.66
Abril	14	31.11
Abril-Mayo	3	6.66
Mayo	15	33.33
Mayo-Junio	3	6.66
Junio	5	11.11
Abril-Junio	1	2.22

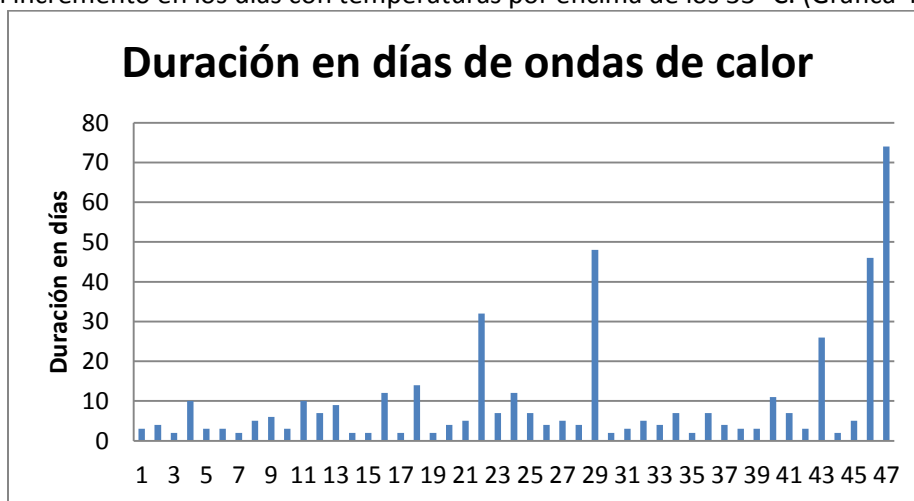
**Tabla 4.2.7.3.** Meses con más eventos de ondas de calor





Gráfica 4.2.7.1 % de ondas de Calor

Finalmente, aun cuando el registro de temperaturas en la estación en estudio solo llega al 2005, se aprecia un incremento en los días con temperaturas por encima de los 33 °C. (Gráfica 4.2.7.2.).



Gráfica 4.2.7.2. Incremento de la duración de ondas de calor a través del tiempo.

#### Periodos de Retorno.

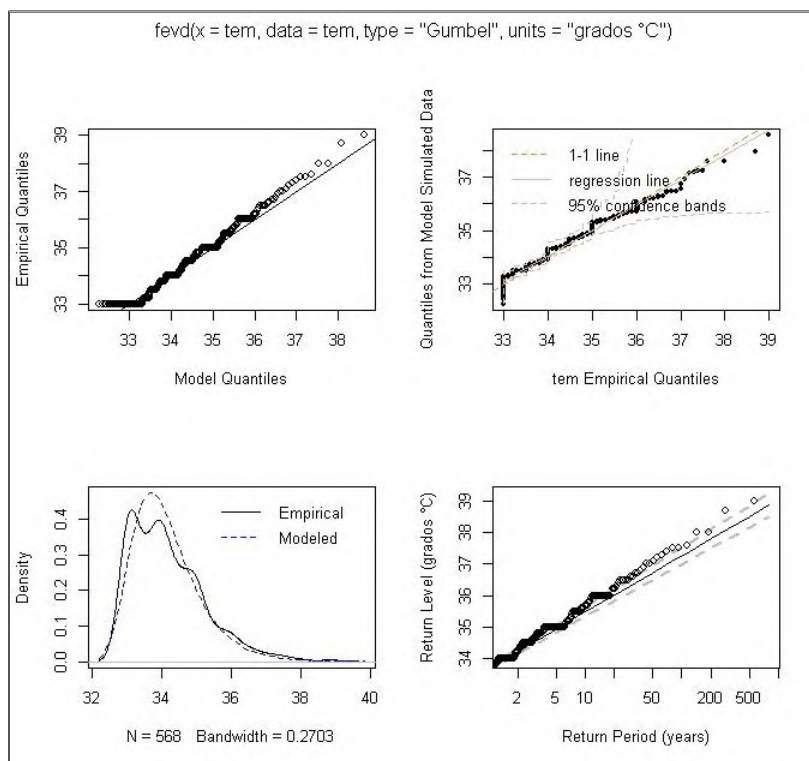
Para determinar el periodo de retorno se utilizó el software libre **R**<sup>4</sup> vr. 3.2.1, el paquete **extRemes** y una función de distribución de Gumbel en los valores del percentil 90 de la estación Ciudad Guzmán, los resultados se muestran en la siguiente (Tabla 4.2.7.4. y Gráfica 4.2.7.3).

<sup>4</sup> R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.



Tr años	Temperatura °C
2	34.05
10	35.6
20	36.2
50	36.95
100	37.5

**Tabla 4.2.7.4.**Valores de temperatura para diferentes periodos de retorno.



**Gráfica 4.2.7.3.** Periodos de retorno de ondas de calor y grado de correlación con la distribución probabilística empleada.

En la gráfica de cuantiles del modelo y los empíricos se muestra que hay un buen ajuste pues los datos están más o menos bien dispuestos sobre la línea de 45°.

#### 4.2.8. Vientos.

##### Introducción

Se sabe que la radiación solar llega a la tierra de manera muy uniforme, sin embargo la curvatura terrestre, los océanos, los continentes y el tipo de superficie, ríos, montañas, hielo, bosque, etc., hacen que la energía reflejada por la superficie terrestre (radiación infrarroja de onda larga de baja energía que afecta principalmente a la atmósfera



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



superficial) será muy heterogénea. La distribución irregular del calor en la baja atmósfera da por consecuencia la formación de gradientes de temperatura, de densidad y de presión, los cuales inducen las fuerzas que mueven la atmósfera. El efecto neto del movimiento atmosférico es la distribución de masa y energía en todo el mundo. Por ejemplo, las masas de aire en las regiones tropicales transportan el calor desde las zonas ecuatoriales hacia latitudes altas, tratando siempre de hacer un calor entre los polos y el ecuador. Este transporte de calor crea las circulaciones meridionales como la Celda de Hadley y la de Ferrel.

Aunque en teoría se pueden describir completamente los fenómenos meteorológicos mediante la Segunda Ley de Newton (establece que en un sistema de referencia inercial, el cambio en el tiempo de momento en un cuerpo sólido es igual la suma total de fuerzas que actúa sobre el mismo) no se puede solucionar para todas las condiciones iniciales y de frontera pues se genera una expresión matemática (ecuación diferencial) extremadamente compleja para la que no se tienen soluciones completas. En la práctica, se simplifica y se han desarrollado modelos sencillos para explicar los movimientos en la atmósfera, definiendo distintos vientos derivados del balance entre las fuerzas importantes que controlan el movimiento, son los vientos que existirían si la atmósfera se comportara de manera ideal. Estos vientos son: viento inercial, geostrófico, gradiente, ciclostrofico, termal y el efecto de la fricción del viento.

Ahora bien, dentro de la estructura de la circulación atmosférica, están inmersos un gran número de fenómenos de diferentes escalas, tales como de escala local y de mesoescala, los cuales varían desde unos cuantos milímetros hasta varias decenas de kilómetros. En general, se usa el término de convección para denotar la transferencia de calor o alguna otra propiedad por medio del movimiento vertical del fluido, ya sea aire o agua; en consecuencia, los océanos y la atmósfera transmiten calor por medio de los procesos de convección, la cual se observa en forma de turbulencia del viento y de corrientes del mismo fluido. La actividad atmosférica en estas escalas está directamente relacionada con los procesos convectivos de las parcelas de aire afectadas por fenómenos térmicos o dinámicos; esta actividad convectiva de la atmósfera está presente en todo momento y en cualquier lugar del mundo. La convección en la atmósfera puede generarse a partir de diferencias en la densidad de las parcelas de aire, las que a su vez se pueden originar del diferente calentamiento o por el esfuerzo del viento sobre la superficie de la tierra.

### **Metodología**

Identificar los patrones dominantes de los vientos, conociendo su dirección y velocidad. Hacer uso de esquemas de circulación conforme a las celdas de Hadley, Ferrel, corrientes monzónicas, anabáticos y katabáticos.

Tomar en cuenta los boletines del tiempo atmosférico, relacionados con la distribución de patrones de vientos.



### **Vientos anabáticos**

Cuando las condiciones de escala sinóptica son de relativa calma y no se tienen grandes concentraciones de nubosidad, las condiciones del viento estarán principalmente afectadas y controladas por el calentamiento local, generándose las circulaciones de viento de montaña y valle, con un ciclo diurno muy bien definido. Durante las primeras horas de la mañana, las isotermas son prácticamente horizontales y el aire se encuentra en equilibrio neutro. Conforme el día avanza y el sol calienta mas las laderas montañosas, para un cierto nivel de altura, el aire en contacto directo será mayormente calentado que el aire sobre el valle, produciendo una relativa inestabilidad de las parcelas de aire y una mayor fuerza de flotabilidad entre el aire frío sobre el valle y el aire relativamente cálido sobre las laderas. Con esto se favorece que el aire en contacto aumente su temperatura y se expanda, disminuyendo su densidad y ascendiendo, a lo largo de las laderas, desde los valles y zonas bajas hacia las cimas, generando los vientos **anabáticos**.

Si los vientos anabáticos llevan consigo una considerable humedad, entonces se podrán formar nubes convectivas sobre las montañas; mientras que sobre los valles, el cielo se mantendrá despejado.

Es común ver sobre las cimas de las regiones montañosas que, alrededor de las 10-12 am, se formen nubes convectivas, especialmente cuando el aire tiene una fuente de humedad cercana, como el mar, lagos o ríos.

### **Vientos katabáticos**

Durante la noche y la madrugada, la superficie del suelo en la alta montaña pierde calor por emisión de radiación infrarroja hacia el espacio, enfriando el aire en contacto; este aire frío será más denso y tenderá a descender de las montañas hacia los valles, produciendo los conocidos vientos katabáticos.

Los factores que influyen en ambos procesos son:

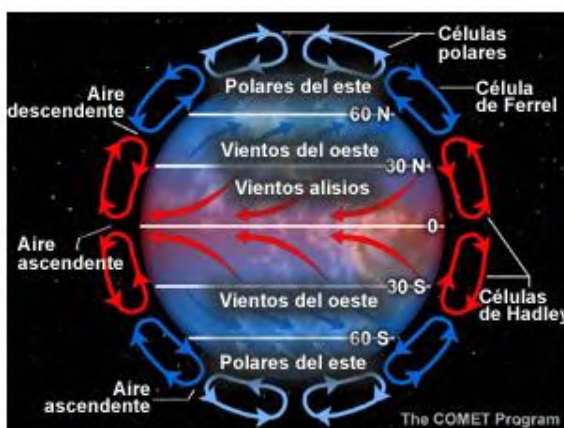
1. la orientación de las montañas, con respecto a la dirección de los rayos solares.- las laderas que dan la cara al sol, serán mayormente calentadas que las laderas ocultas al sol;
2. La topografía de la pendiente entre los valles y las cimas.- si la pendiente es muy grande, los movimientos de convección forzada serán más importantes que cuando la pendiente es pequeña;
3. El tipo y cantidad de la cobertura de la vegetación.- el suelo rocoso y arenoso calienta más rápidamente el aire, que el suelo cubierto de vegetación, además de que esta última evita la erosión y disminuye la intensidad de los vientos;
4. Las condiciones de humedad del suelo.- cuando el aire es muy seco, la atmósfera será relativamente más inestable que cuando el aire es húmedo. En particular, si se forman nubes alrededor de la cima de la montaña, estas disminuirán la entrada de radiación solar (durante el día) o la pérdida de radiación infrarroja (durante la noche), dando como

consecuencia que los gradientes de temperatura sean menores y también la intensidad de los vientos de montaña resultantes.

### Celda de Hadley.

El desigual calentamiento del planeta da lugar a la formación de varias zonas o cinturones de presión: baja ecuatorial (del ecuador hasta los 30° de latitud), alta subtropical (desde los 30° a los 55° de latitud), baja subpolar desde los 55° hacia los casquetes polares) y finalmente en los casquetes polares existe una zona de alta presión.

Dichas zonas de presión determinan la convergencia del viento en el ecuador y su ascenso, para después dirigirse hacia los polos. De este modo se forman tres células de circulación: la *célula ecuatorial* o de Hadley, la de *latitudes medias* o de Ferrel y la célula del *frente polar*. Debido a la rotación de la Tierra, los vientos de superficie de la primera célula se desvían; son del NE en el hemisferio Norte y del SE en el hemisferio sur, y se les llama *vientos alisios*. (Figura 4.2.8.1.)



**Figura 4.2.8.1.** Circulación del viento a nivel planetario. (Fuente [//www.meted.ucar.edu/](http://www.meted.ucar.edu/))

A partir del equinoccio de primavera, del hemisferio Norte, se inicia el desplazamiento de la zona subtropical de alta presión hacia el norte, y queda la mayor parte del país bajo la influencia de los alisios del NE, los que adquieren elevada humedad en su paso por el Golfo de México. Estos vientos penetran hasta la sierra Madre Occidental y originan parte de las lluvias que se registran en verano y parte del otoño.

Por su parte, la célula de Ferrel los vientos desviados son del SW o del WSW, en el hemisferio norte, se les llama *vientos predominantes del oeste*.

### Monzones.

La circulación tipo monzón se debe a la diferencia de calentamiento que experimentan los océanos respecto de los continentes. Durante el verano los océanos se calientan más lentamente que los continentes los cuales alcanzan mayor temperatura. Esta diferencia de temperaturas determina que se formen zonas de alta presión en los continentes durante

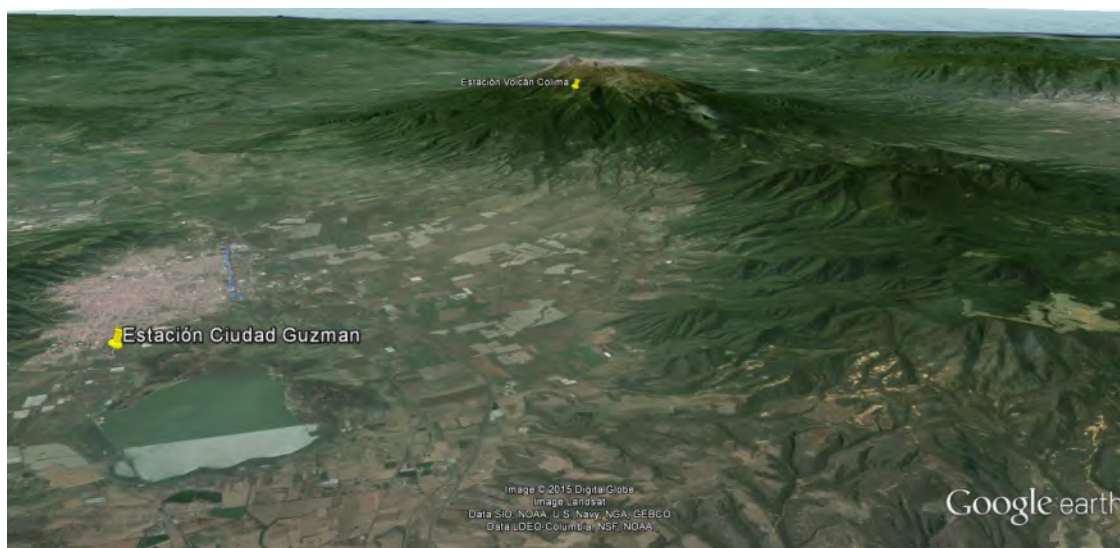




el verano y de baja presión en los océanos, haciendo que el viento fluya desde tierra hacia el mar, durante el invierno los continentes se enfrían más rápidamente que los océanos (debido a que la energía solar se transmite hasta unos 300 metros debajo de la superficie marina mientras que en los continentes penetra apenas una capa de 8 a 10 metros) haciendo que el viento fluya desde los océanos hacia los continentes.

### **Patrones del viento en Zapotlán el Grande.**

Utilizando las bases de datos proporcionada por el SMN de las estaciones automáticas localizadas en el municipio (Figura 4.2.8.2.) se elaboraron patrones de flujo e intensidad del viento en las zonas de montaña y valle del municipio. Las bases contienen, entre otras, mediciones de velocidades y dirección del viento cada 10 minutos. La información se depuró tomando el dato por hora y mediante software libre se elaboraron rosas de viento y graficas de distribución de intensidades para cada mes y estación.



**Figura 4.2.8.2.** Ubicación de las estaciones meteorológicas automáticas en el municipio de Zapotlán el Grande.

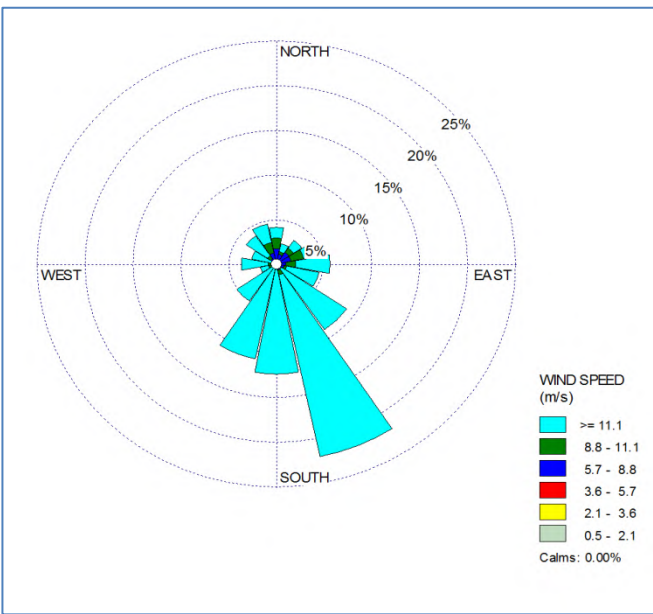
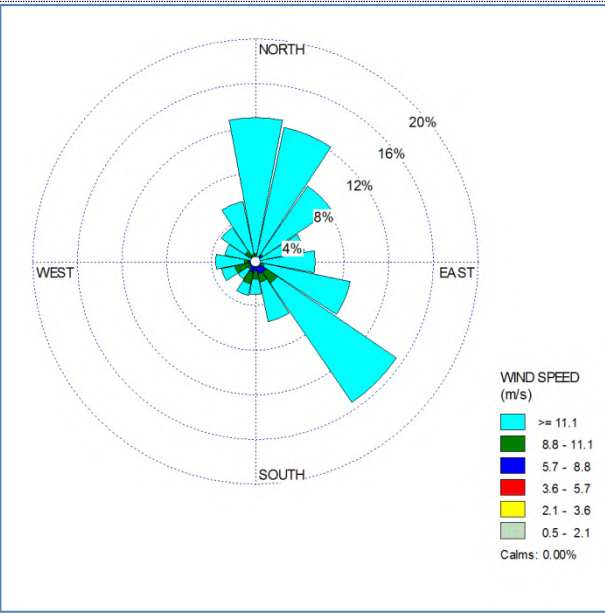
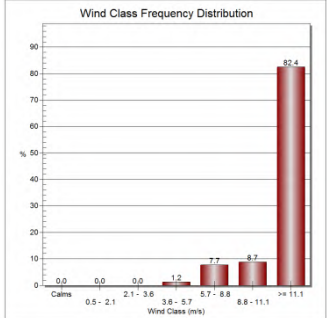


## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Los resultados se muestran a continuación

Estación Volcán Colima

Fuente: *Elaboración propia con datos del SMN*

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.
Enero		
febrero		
	<p>Enero: vientos con dirección sur-sureste, velocidades iguales o superiores a 11.1 m/s. Febrero: vientos con dirección norte.noreste y sureste, velocidades iguales o superiores a 11.1 m/s.</p>	<p>Enero: Febrero: 82.4 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s</p>



# Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
Marzo	<p>Resultant Vector 60 deg - 12%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 0.00%</li></ul>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frequency (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.4</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>1.3</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>7.4</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>8.8</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>82.2</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	Frequency (%)	0.0	0.0	0.5 - 2.1	0.0	2.1 - 3.6	0.4	3.6 - 5.7	1.3	5.7 - 8.8	7.4	8.8 - 11.1	8.8	>= 11.1	82.2
Wind Class (m/s)	Frequency (%)																	
0.0	0.0																	
0.5 - 2.1	0.0																	
2.1 - 3.6	0.4																	
3.6 - 5.7	1.3																	
5.7 - 8.8	7.4																	
8.8 - 11.1	8.8																	
>= 11.1	82.2																	
Abril	<p>Resultant Vector 47 deg - 13%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 0.00%</li></ul>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frequency (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.7</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>3.6</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>6.7</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>12.6</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>74.4</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	Frequency (%)	0.0	0.0	0.5 - 2.1	0.0	2.1 - 3.6	0.7	3.6 - 5.7	3.6	5.7 - 8.8	6.7	8.8 - 11.1	12.6	>= 11.1	74.4
Wind Class (m/s)	Frequency (%)																	
0.0	0.0																	
0.5 - 2.1	0.0																	
2.1 - 3.6	0.7																	
3.6 - 5.7	3.6																	
5.7 - 8.8	6.7																	
8.8 - 11.1	12.6																	
>= 11.1	74.4																	
	<p>Marzo: Dirección a noroeste (predominante), norte, noreste y sureste (predominante)</p> <p>Abril: Dirección sureste(predominante), norte, noroeste y noreste.</p>	<p>Marzo: 82.2 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p> <p>Abril: : 74.4 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p>																



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
Mayo	<p>Resultant Vector 288 deg - 38%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 0.00%</li></ul>	<table><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frequency (%)</th></tr><tr><td>Calms</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.4</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.3</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>2.2</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>9.8</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>10.9</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>76.7</td></tr></table>	Wind Class (m/s)	Frequency (%)	Calms	0.0	0.5 - 2.1	0.4	2.1 - 3.6	0.3	3.6 - 5.7	2.2	5.7 - 8.8	9.8	8.8 - 11.1	10.9	>= 11.1	76.7
Wind Class (m/s)	Frequency (%)																	
Calms	0.0																	
0.5 - 2.1	0.4																	
2.1 - 3.6	0.3																	
3.6 - 5.7	2.2																	
5.7 - 8.8	9.8																	
8.8 - 11.1	10.9																	
>= 11.1	76.7																	
junio	<p>Resultant Vector 108 deg - 38%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 0.00%</li></ul>	<table><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frequency (%)</th></tr><tr><td>Calms</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.3</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.4</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>3.6</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>7.8</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>10.2</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>77.6</td></tr></table>	Wind Class (m/s)	Frequency (%)	Calms	0.0	0.5 - 2.1	0.3	2.1 - 3.6	0.4	3.6 - 5.7	3.6	5.7 - 8.8	7.8	8.8 - 11.1	10.2	>= 11.1	77.6
Wind Class (m/s)	Frequency (%)																	
Calms	0.0																	
0.5 - 2.1	0.3																	
2.1 - 3.6	0.4																	
3.6 - 5.7	3.6																	
5.7 - 8.8	7.8																	
8.8 - 11.1	10.2																	
>= 11.1	77.6																	
	<p>Mayo: Dirección predominate noroeste, en menor grado oeste</p> <p>Junio: Dirección predominate sureste, menor grado este.</p>	<p>Mayo: 76.7 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p> <p>Junio: 77.6 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p>																





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
julio	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 0.00%</li></ul> <p>Resultant Vector 315 deg - 56%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.7</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>2.7</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>10.0</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>8.6</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>78.2</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	0.0	0.5 - 2.1	0.0	2.1 - 3.6	0.7	3.6 - 5.7	2.7	5.7 - 8.8	10.0	8.8 - 11.1	8.6	>= 11.1	78.2
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	0.0																	
0.5 - 2.1	0.0																	
2.1 - 3.6	0.7																	
3.6 - 5.7	2.7																	
5.7 - 8.8	10.0																	
8.8 - 11.1	8.6																	
>= 11.1	78.2																	
Agosto	<p>WIND SPEED (Knots)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 22</li><li>17 - 21</li><li>11 - 17</li><li>7 - 11</li><li>4 - 7</li><li>1 - 4</li><li>Calms: 0.00%</li></ul> <p>Resultant Vector 299 deg - 67%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>0.0</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>0.0</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>0.6</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>2.8</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>3.5</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>93.1</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	0.0	0.5 - 2.1	0.0	2.1 - 3.6	0.0	3.6 - 5.7	0.6	5.7 - 8.8	2.8	8.8 - 11.1	3.5	>= 11.1	93.1
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	0.0																	
0.5 - 2.1	0.0																	
2.1 - 3.6	0.0																	
3.6 - 5.7	0.6																	
5.7 - 8.8	2.8																	
8.8 - 11.1	3.5																	
>= 11.1	93.1																	
	<p>Julio: Dirección predominate noroeste.</p> <p>Agosto: Dirección predominante noroeste con mayor intensidad</p>	<p>Julio: 78.2 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p> <p>Agosto: 93.1 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s.</p>																





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.
Septiembre		
Octubre		
	<p>Septiembre: Distribución de oeste hacia el norte, maxima intensidad noroeste.</p> <p>Octubre: Distribución de oeste hacia el norte, maxima intensidad noroeste.</p>	<p>Septiembre: 79.7 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s</p> <p>Octubre: 79.1 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s</p>



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.
Noviembre	<p>Resultant Vector 340 deg - 47%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;= 11.1</li> <li>8.8 - 11.1</li> <li>5.7 - 8.8</li> <li>3.6 - 5.7</li> <li>2.1 - 3.6</li> <li>0.5 - 2.1</li> <li>Calms: 0.00%</li> </ul>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p>
Diciembre	<p>Resultant Vector 359 deg - 37%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;= 11.1</li> <li>8.8 - 11.1</li> <li>5.7 - 8.8</li> <li>3.6 - 5.7</li> <li>2.1 - 3.6</li> <li>0.5 - 2.1</li> <li>Calms: 0.00%</li> </ul>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p>
	<p>Noviembre: Predominante noroeste 340°.</p> <p>Diciembre: Predominante al norte, 359°</p>	<p>Noviembre: 82.4 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s</p> <p>Diciembre: 76.9 % de vientos con velocidades superiores o iguales a 11.1 m/s</p>

**Tabla 4.2.8.1.** Direcciones predominantes por mes y distribución de frecuencias de velocidad.  
(Fuente: Datos de estación meteorológica automática de Ciudad Guzmán, elaboración propia).



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



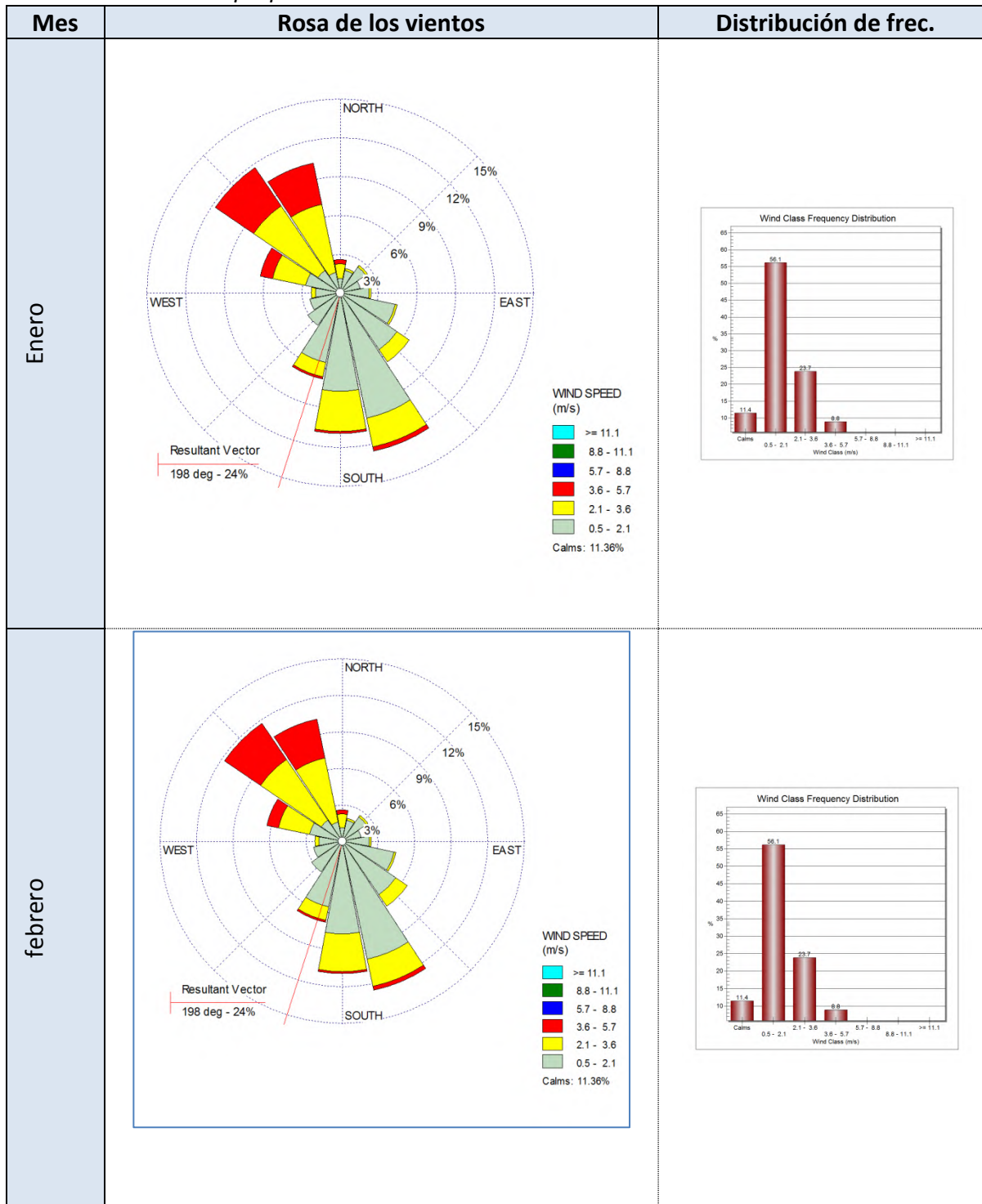
SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Estación Ciudad Guzmán

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
	Enero: Direcciones noroeste y sureste, vector resultante a 198°. Febrero: Direcciones noroeste y sureste, vector resultante a 198°.	Enero: 56.1 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s. Febrero: 56.1 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s.																
Marzo	<p>Resultant Vector 195 deg - 15%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 7.25%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>7.3</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>55.5</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>20.9</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>15.7</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0.7</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	7.3	0.5 - 2.1	55.5	2.1 - 3.6	20.9	3.6 - 5.7	15.7	5.7 - 8.8	0.7	8.8 - 11.1	0.0	>= 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	7.3																	
0.5 - 2.1	55.5																	
2.1 - 3.6	20.9																	
3.6 - 5.7	15.7																	
5.7 - 8.8	0.7																	
8.8 - 11.1	0.0																	
>= 11.1	0.0																	
Abril	<p>Resultant Vector 316 deg - 13%</p> <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 8.38%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>8.5</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>48.5</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>17.8</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>23.9</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>1.3</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	8.5	0.5 - 2.1	48.5	2.1 - 3.6	17.8	3.6 - 5.7	23.9	5.7 - 8.8	1.3	8.8 - 11.1	0.0	>= 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	8.5																	
0.5 - 2.1	48.5																	
2.1 - 3.6	17.8																	
3.6 - 5.7	23.9																	
5.7 - 8.8	1.3																	
8.8 - 11.1	0.0																	
>= 11.1	0.0																	
	Marzo: Direcciones noroeste y sureste, vector resultante a 195° Abril: Dirección predominante noroeste, vector resultante a 316°	Marzo: 55.5 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s Abril: 48.5 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 23.9 % entre 3.6 -5.7 m/s.																





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
Mayo	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>≥ 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 5.12%</p>	<table><caption>Wind Class Frequency Distribution</caption><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>5.2</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>52.5</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>23.6</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>17.7</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>1.0</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>≥ 11.1</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	5.2	0.5 - 2.1	52.5	2.1 - 3.6	23.6	3.6 - 5.7	17.7	5.7 - 8.8	1.0	8.8 - 11.1	0.0	≥ 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	5.2																	
0.5 - 2.1	52.5																	
2.1 - 3.6	23.6																	
3.6 - 5.7	17.7																	
5.7 - 8.8	1.0																	
8.8 - 11.1	0.0																	
≥ 11.1	0.0																	
junio	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>≥ 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 4.24%</p>	<table><caption>Wind Class Frequency Distribution</caption><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>4.3</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>52.3</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>22.4</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>20.3</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0.7</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>≥ 11.1</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	4.3	0.5 - 2.1	52.3	2.1 - 3.6	22.4	3.6 - 5.7	20.3	5.7 - 8.8	0.7	8.8 - 11.1	0.0	≥ 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	4.3																	
0.5 - 2.1	52.3																	
2.1 - 3.6	22.4																	
3.6 - 5.7	20.3																	
5.7 - 8.8	0.7																	
8.8 - 11.1	0.0																	
≥ 11.1	0.0																	
	<p>Mayo: Direcciones noroeste y sureste, vector resultante a 293°</p> <p>Junio: Dirección predominante noroeste, vector resultante a 324°</p>	<p>Mayo: 52.5 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 17.7% entre 3.6 - 5.7 m/s.</p> <p>Junio: 52.3 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 20.3 % entre 3.6 - 5.7 m/s.</p>																





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
Agosto	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 5.07%</li></ul>	<table><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr><tr><td>Calms</td><td>5.1</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>63.3</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>28.5</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>5.0</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0.1</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0.0</td></tr></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	5.1	0.5 - 2.1	63.3	2.1 - 3.6	28.5	3.6 - 5.7	5.0	5.7 - 8.8	0.1	8.8 - 11.1	0.0	>= 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	5.1																	
0.5 - 2.1	63.3																	
2.1 - 3.6	28.5																	
3.6 - 5.7	5.0																	
5.7 - 8.8	0.1																	
8.8 - 11.1	0.0																	
>= 11.1	0.0																	
Septiembre	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li><li>Calms: 3.84%</li></ul>	<table><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>%</th></tr><tr><td>Calms</td><td>3.9</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>60.5</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>28.9</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>9.3</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0.4</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0.0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0.0</td></tr></table>	Wind Class (m/s)	%	Calms	3.9	0.5 - 2.1	60.5	2.1 - 3.6	28.9	3.6 - 5.7	9.3	5.7 - 8.8	0.4	8.8 - 11.1	0.0	>= 11.1	0.0
Wind Class (m/s)	%																	
Calms	3.9																	
0.5 - 2.1	60.5																	
2.1 - 3.6	28.9																	
3.6 - 5.7	9.3																	
5.7 - 8.8	0.4																	
8.8 - 11.1	0.0																	
>= 11.1	0.0																	
	<p>Agosto: Direcciones predominantes: Sur y noroeste, vector resultante, 253°.</p> <p>Septiembre: Direcciones predominantes: Sur y noroeste, vector resultante, 296°.</p>	<p>Agosto: 63.3 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 5.0 % entre 3.6 -5.7 m/s.</p> <p>Septiembre: 60.5 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 9.3 % entre 3.6 -5.7 m/s.</p>																



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.																
Octubre	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 6.10%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frec (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>6.2</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>61.9</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>28.2</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>3.6</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	Frec (%)	Calms	6.2	0.5 - 2.1	61.9	2.1 - 3.6	28.2	3.6 - 5.7	3.6	5.7 - 8.8	0	8.8 - 11.1	0	>= 11.1	0
Wind Class (m/s)	Frec (%)																	
Calms	6.2																	
0.5 - 2.1	61.9																	
2.1 - 3.6	28.2																	
3.6 - 5.7	3.6																	
5.7 - 8.8	0																	
8.8 - 11.1	0																	
>= 11.1	0																	
Noviembre	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>&gt;= 11.1</li><li>8.8 - 11.1</li><li>5.7 - 8.8</li><li>3.6 - 5.7</li><li>2.1 - 3.6</li><li>0.5 - 2.1</li></ul> <p>Calms: 9.99%</p>	<p>Wind Class Frequency Distribution</p> <table><thead><tr><th>Wind Class (m/s)</th><th>Frec (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calms</td><td>10.2</td></tr><tr><td>0.5 - 2.1</td><td>59.0</td></tr><tr><td>2.1 - 3.6</td><td>26.4</td></tr><tr><td>3.6 - 5.7</td><td>4.5</td></tr><tr><td>5.7 - 8.8</td><td>0</td></tr><tr><td>8.8 - 11.1</td><td>0</td></tr><tr><td>&gt;= 11.1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	Wind Class (m/s)	Frec (%)	Calms	10.2	0.5 - 2.1	59.0	2.1 - 3.6	26.4	3.6 - 5.7	4.5	5.7 - 8.8	0	8.8 - 11.1	0	>= 11.1	0
Wind Class (m/s)	Frec (%)																	
Calms	10.2																	
0.5 - 2.1	59.0																	
2.1 - 3.6	26.4																	
3.6 - 5.7	4.5																	
5.7 - 8.8	0																	
8.8 - 11.1	0																	
>= 11.1	0																	
	Octubre: Direcciones predominantes: Sur , sureste noroeste, vector resultante, 232°. Noviembre: : Direcciones predominantes: Sur , sureste noroeste, vector resultante, 201°.	Octubre: 61.9 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 3.6 % entre 3.6 -5.7 m/s Noviembre: 59% intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 4.5 % entre 3.6 -5.7 m/s																



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



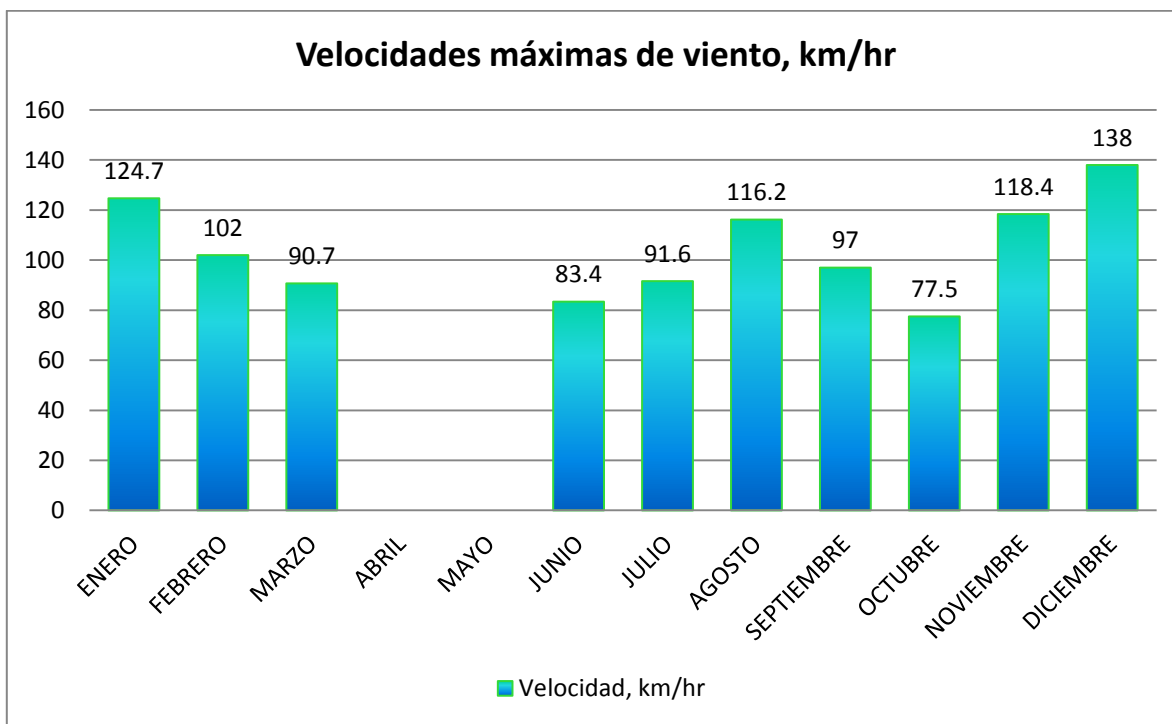
## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Rosa de los vientos	Distribución de frec.
Diciembre	<p>Resultant Vector 190 deg - 25%</p>	
	Diciembre: : Direcciones predominantes: Sur , sureste noroeste, vector resultante, 190°.	Diciembre:59.8 % intensidad entre 0.5 – 2.1 m/s, 5% entre 3.6 -5.7 m/s

**Tabla 4.2.8.2.** Direcciones de viento predominantes y distribución de frecuencias de velocidades de viento. (Fuente: Datos de estación meteorológica automáticas del Nevado de Colima. Elaboración propia).

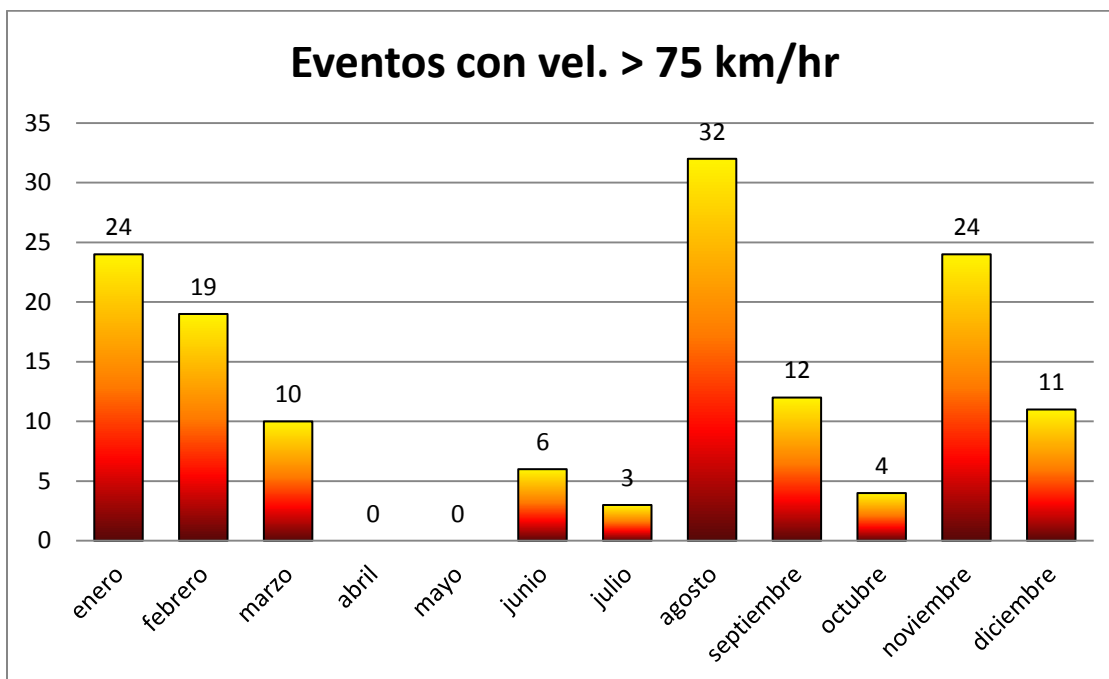
### Observaciones generales:

Se aprecia claramente un cambio de dirección hacia el norte y noroeste a partir del mes de julio y hasta diciembre. En enero hay un cambio de dirección hacia el sur. En los meses siguientes se generan corrientes cruzadas en las direcciones sureste-noroeste. En la zona de la montaña del Nevado de Colima, los vientos en su mayoría superan 40 km/hr de velocidad llegando a alcanzar hasta 138 km/hr, en diciembre del 2013. Una gráfica representativa de lo anterior para las velocidades máximas por mes del año (todos, excepto abril y mayo) km/hr es la siguiente.(Gráfica 4.2.8.1.).



**Gráfica 4.2.8.1.** Velocidades máximas por mes registradas en estación Nevado de Colima

Por otra parte, considerando un registro con datos tomados cada 60 minutos, el número de eventos por mes con velocidades iguales o mayores de 75 km/hr (*temporal fuerte* según la escala de Beaufort), se presenta en la siguiente (Gráfica 4.2.8.2.).



**Gráfica 4.2.8.2.** Numero de eventos con velocidades mayores a 75 km/hr, (temporal fuerte) por mes, en estación Nevado de Colima

Además se aprecia claramente un cambio de dirección hacia el norte y noroeste a partir del mes de julio y hasta diciembre. En enero hay un cambio de dirección hacia el sur. En los meses siguientes se generan corrientes cruzadas en las direcciones sureste-noroeste. De las gráficas se desprende que agosto es el mes con más ocasiones de temporal intenso y diciembre con el evento de velocidad más alta.

Las direcciones de origen de estos eventos se presentan en las siguientes gráficas polares en las que el norte se debe tomar en 0°, este 90°, etc. En el eje vertical se graficó velocidad en km/hr (Tabla 4.2.8.3.).





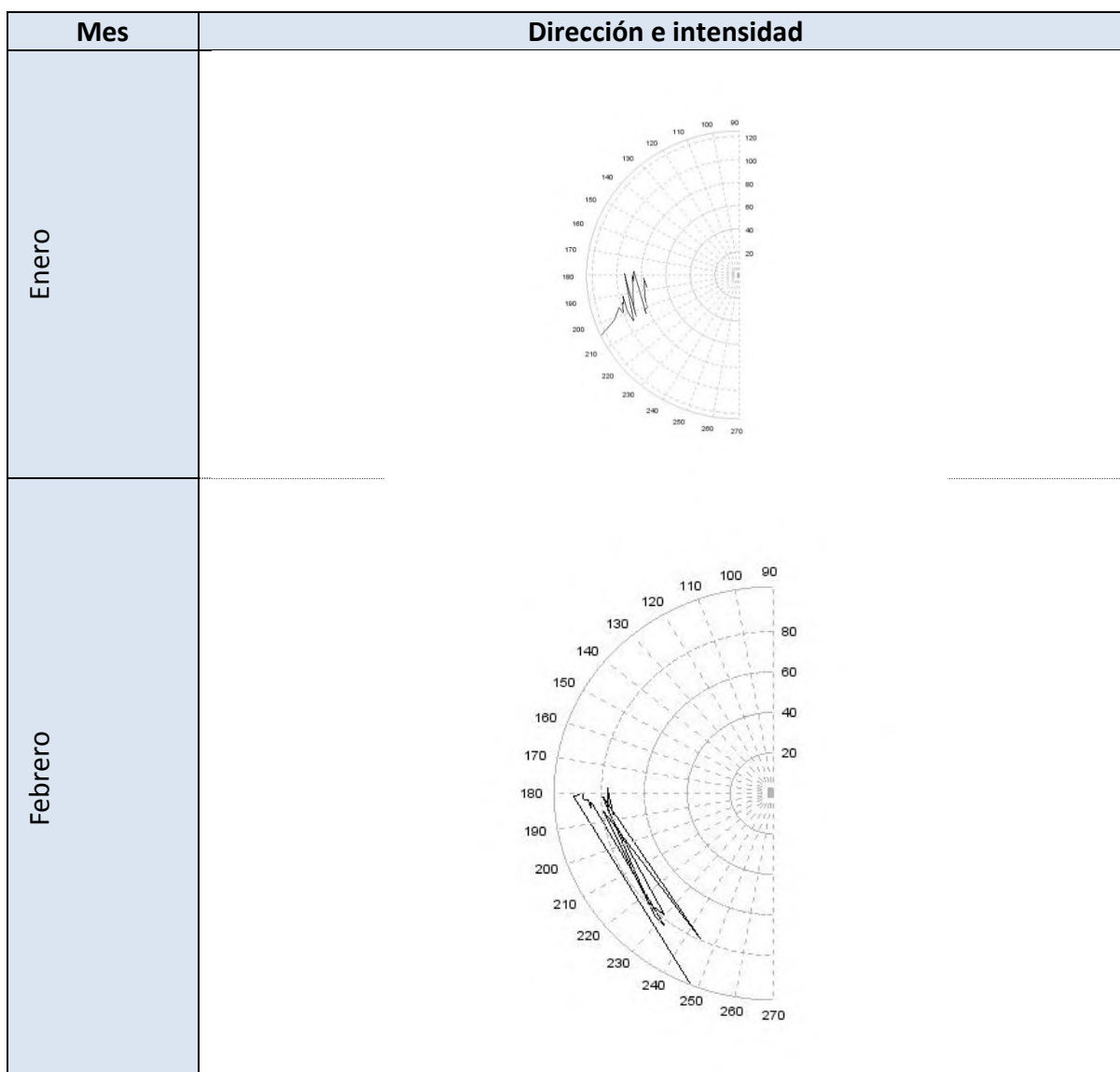
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRIARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande





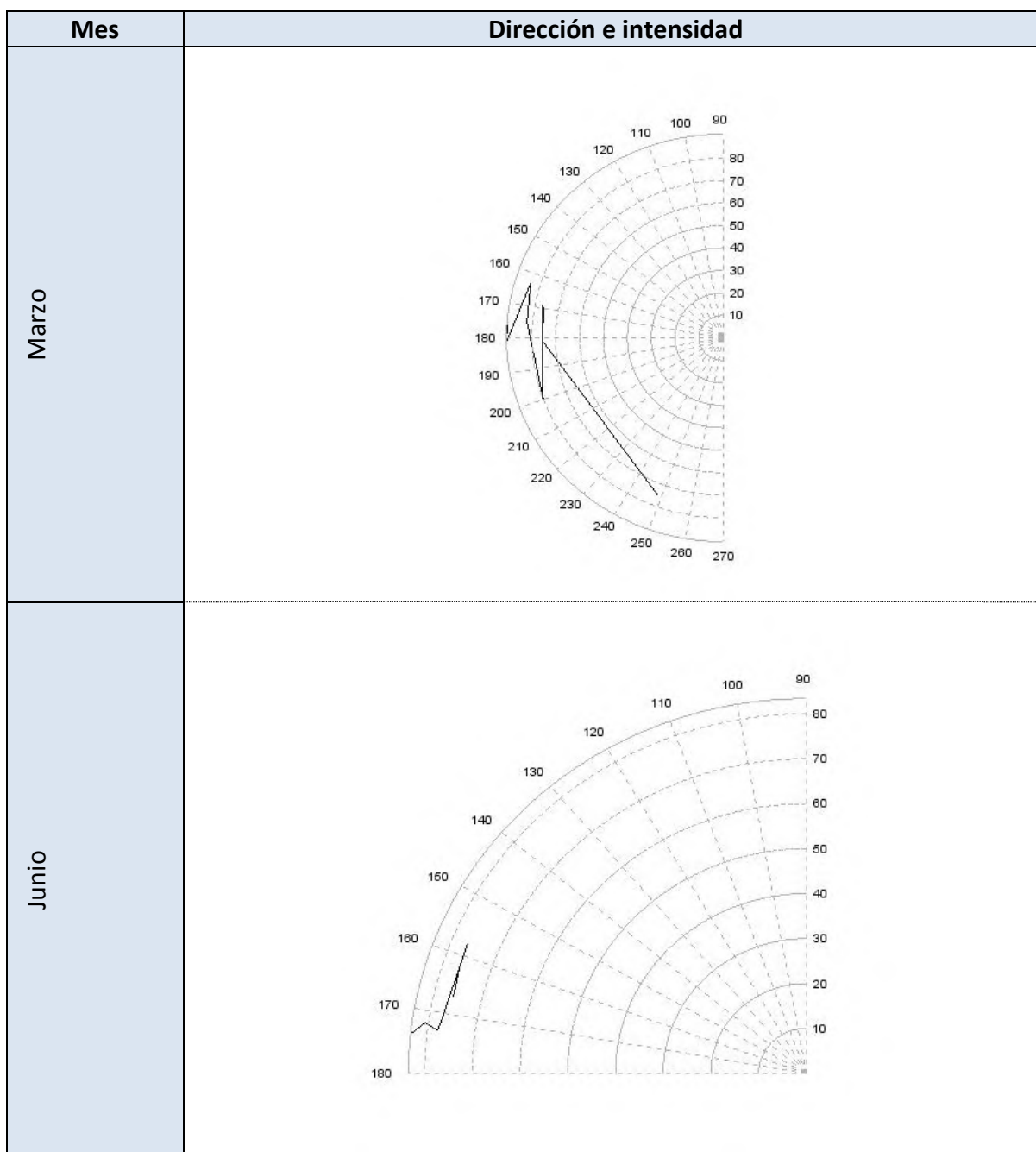
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande





INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



# Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Mes	Dirección e intensidad
Julio	
Agosto	



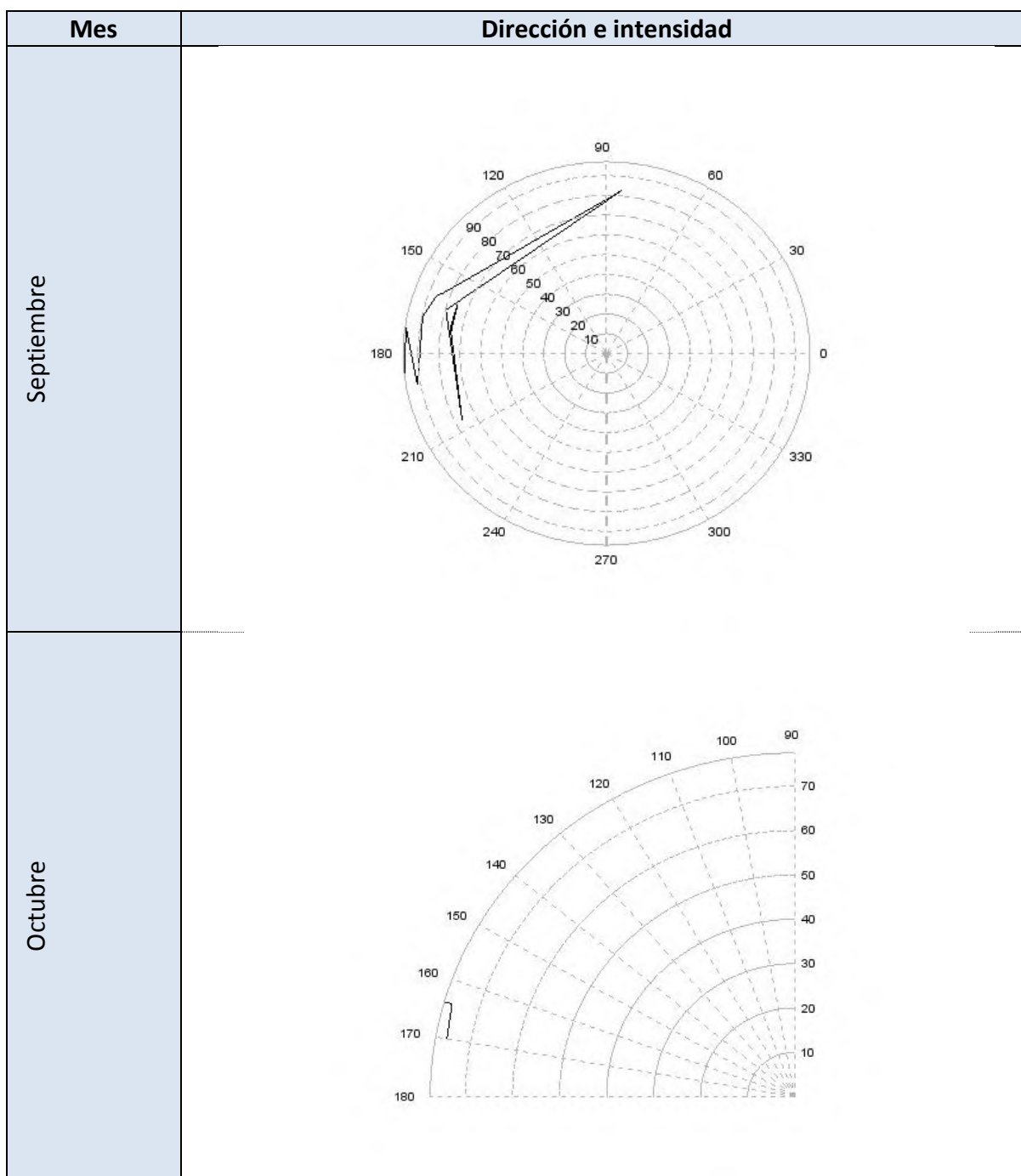
INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

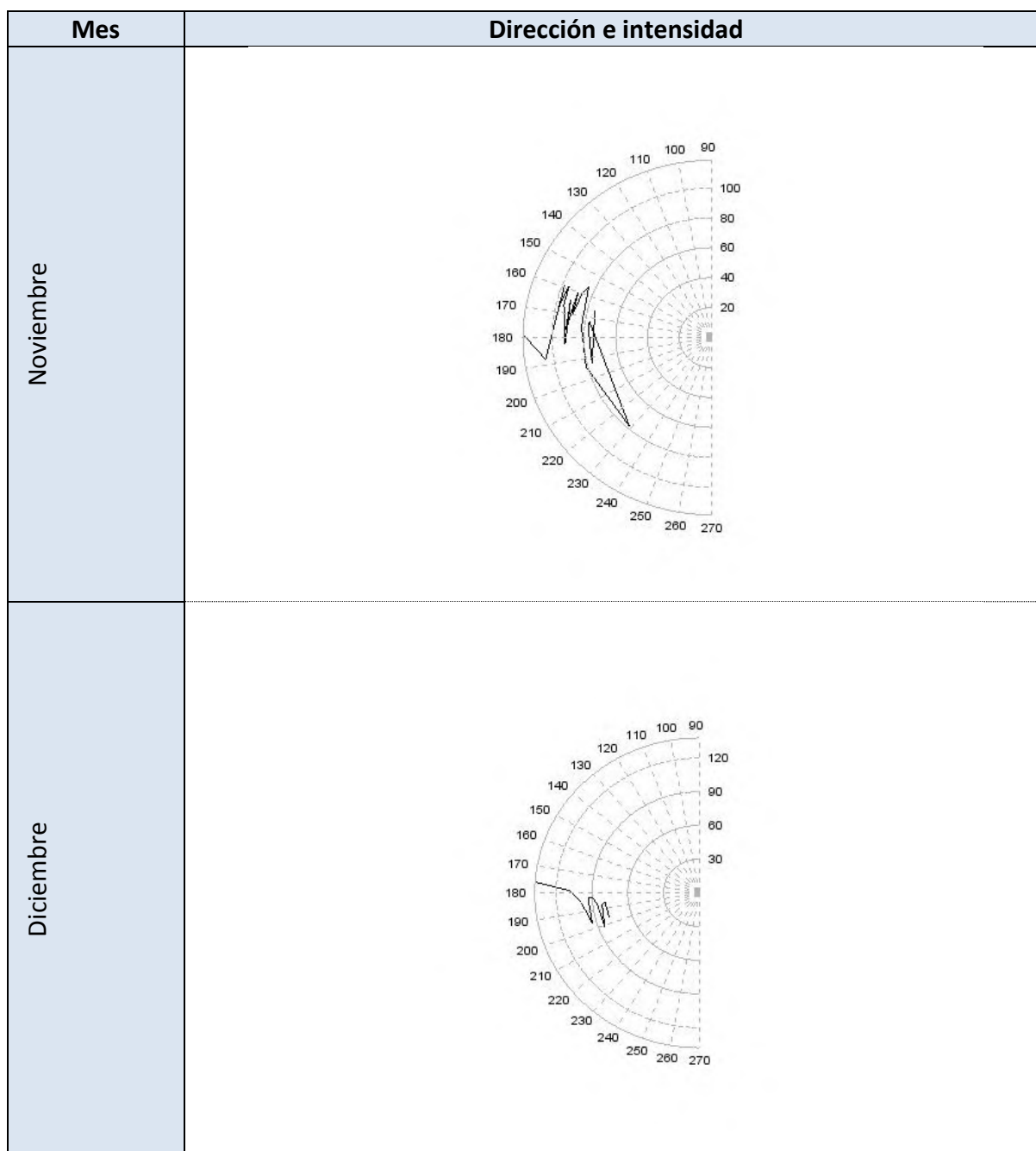


## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande





# Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande



**Tabla 4.2.8.3.** Direcciones de origen y velocidades de vientos iguales o superiores a 75 km/hr .  
Fuente: Datos estación Nevado de Colima, SMN. Elaboración propia.

Finalmente, en la zona del valle predominan el flujo cruzado en la dirección noroeste-sureste casi todo el año, excepto en los meses de abril a junio donde claramente la trayectoria es hacia el noroeste. Además, los vientos son significativamente más lentos predominado los que se encuentran en el rango 0.5 a 2.1 m/s en el registro de datos proporcionado por el SMN.





Sin embargo, para la Ciudad de Ciudad Guzmán, el *Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento*, México, 2008, de la CFE, en el apéndice 4C de Velocidades Regionales establece que para los diferentes periodos de retorno, la velocidad en km/hr del viento es: (Tabla 4.2.8.4.).

Ciudad	No. de Obs.	Lat.	Log.	Tr10	Tr50	Tr200	Q <sub>5</sub>	Q <sub>15</sub>
Cd. Guzmán	14030	19.7	-103.47	120	140	150	160	170

**Tabla 4.2.8.4.** Velocidades de viento para Ciudad Guzmán y diferentes Tr, según CFE.

Dónde:

Q = 15 valor para el diseño de las estructuras del Grupo A

Q = 5 valor para las del Grupo B.

No. de Obs. = Número de observatorio.

#### 4.2.9. Inundaciones

El análisis de lluvias y la distribución de su intensidad en una región constituyen el primer paso de varias evaluaciones del peligro, en particular, el peligro de inundación por desbordamiento de causas debido al exceso de lluvia que se relaciona directamente con la intensidad de la precipitación, la topografía y la infraestructura de la zona analizada. El municipio se encuentra localizado en la cuenca Lerma-Chapala, la cual cubre el 89.3 % de su territorio con la subcuenca Laguna de Zapotlán, y en la cuenca Rio Coahuayana en el resto del territorio municipal con la subcuenca Rio Tuxpan. Particularmente, la subcuenca cerrada o endorreica Laguna de Zapotlán cuenta con 460 km<sup>2</sup>, cubre también parte de los municipios de Gómez Farías y San Gabriel principalmente, además de pequeñas franjas de Atoyac, Zapotiltic, Zapotitlán de Vadillo y Sayula.

La subcuenca Laguna de Zapotlán es la responsable de los eventos históricos de inundación registrados en el municipio y la principal aportadora del recurso agua superficial ya que descarga la totalidad de sus escurrimientos en la laguna de Zapotlán.

#### Método de Análisis

Cartografía general de inundaciones históricas. Se realiza una encuesta entre la población y un levantamiento general de infraestructura dañada y se registra en un mapa con escala a detalle. La cartografía deberá tener un detalle suficiente para poder llegar a estimar los daños ocasionados. La escala de información deberá ser de por lo menos 1: 50000 con curvas de nivel a cada metro. Se realiza el análisis estadístico de las variables precipitación máxima y caudal máximo (en caso de existir datos de este último).

Se obtienen los valores de Precipitación y caudal máximo para los periodos de retorno de 2,10, 50, 100 y 200 años. Elaboración de cartografía de zonas inundables. Análisis y resumen de los otros datos encuestados.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

### Evidencia

Cartografía general de inundaciones históricas. Se realiza una encuesta entre la población y un levantamiento general de infraestructura dañada y se registra en un mapa con escala a detalle.

La cartografía deberá tener un detalle suficiente para poder llegar a estimar los daños ocasionados. La escala de información deberá ser de por lo menos 1: 50000 con curvas de nivel a cada metro. Se realiza el análisis estadístico de las variables precipitación máxima y caudal máximo (en caso de existir datos de este último). Se obtienen los valores de Precipitación y caudal máximo para los periodos de retorno de 2,10, 50, 100 y 200 años. Elaboración de cartografía de zonas inundables. Análisis y resumen de los otros datos encuestados

### Análisis histórico de inundaciones en Zapotlán el Grande.

Del análisis histórico de las inundaciones en el municipio se desprenden tres áreas que son principalmente afectadas: la cabecera municipal, la planicie de inundación generada por el crecimiento de la laguna de Zapotlán y la zona poniente del municipio que va de los 1740 metros hacia los 1540 (según reportes del departamento agropecuario del municipio), la cual es una zona con uso de suelo predominantemente agrícola, misma característica de la planicie de inundación generada alrededor de la laguna de Zapotlán. Para la zona urbana existen estudios previos en los que se ha determinado que precipitaciones de 40 mm pueden generar tirantes de agua superiores a los 0.35 m.

Las montañas ubicadas al oriente de la ciudad, las cuales en conjunto representan un área de captación de 4,707 hectáreas, vierten sus escurrimientos a la zona urbana, principalmente por los arroyos Los Guayabos y Chuluapan. En los últimos años la problemática se ha venido agudizando debido a los cambios de uso de suelo en esas zonas, incrementándose las áreas dedicadas a fines agrícolas en detrimento de las boscosas, contribuyendo también a la pérdida de suelos, el arrastre de sedimentos y el asolvamiento de la laguna de Zapotlán lo que repercute en el aumento de la planicie de inundación. Una medida realizada para mitigar las inundaciones en la zona urbana fue la construcción del canal el cual tiene una extensión de 8.115 km, aproximadamente.

Por el lado poniente del municipio, inciden los arroyos intermitentes Salto de Cristo, El Capulín y Piedra Ancha, así como dos arroyos más de los que se desconocen sus nombres. En conjunto estos cauces drenan 11,892 hectáreas. (Figuras 4.2.9.1. y 4.2.9.2.).

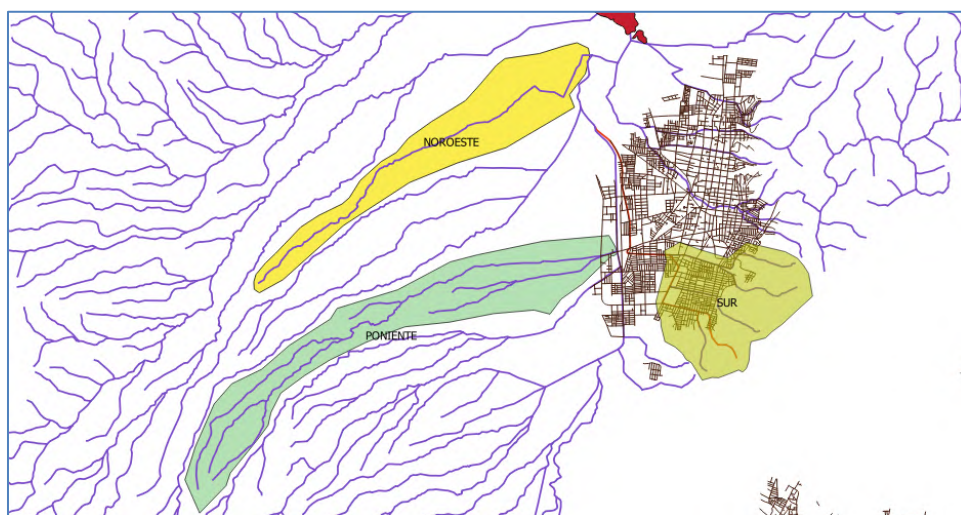


Figura 4.2.9.1. Arroyos sin nombre, descienden del Nevado de Colima

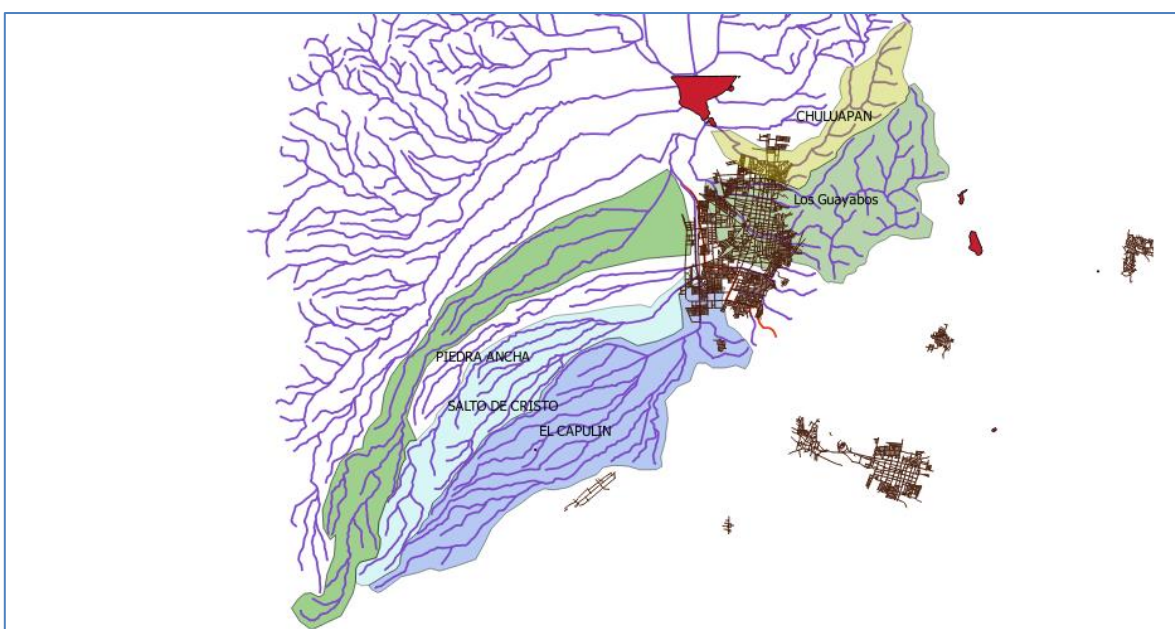


Figura 4.2.9.2. Cuencas de Arroyos El Capulín, Salto de Cristo y Piedra Ancha

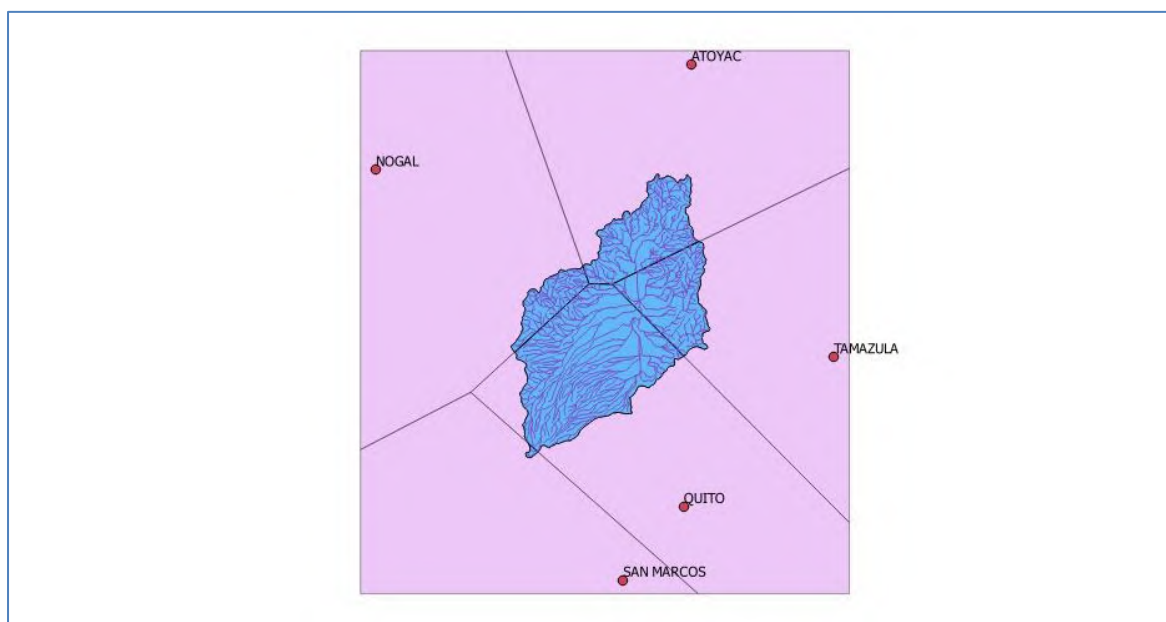
#### Análisis estadístico de precipitación máxima y caudal máximo.

Dado que la estación meteorológica 14030 Ciudad Guzmán no tiene datos suficientes para ser empleados en el cálculo de las variables precipitación máxima y caudal máximo, se empleara la precipitación media calculada por medio de polígonos de Thiessen para toda la subcuenca Laguna de Zapotlán con los datos de las estaciones El Nogal, Ingenio Tamazula, Atoyac, San Marcos (Tonila) y Quito. Cabe mencionar que las estaciones automáticas Volcán de Colima y Ciudad Guzmán sólo cuentan con datos de los años 2013 y 2014.

La obtención de los polígonos de Thiessen se realizó con el software Qgis vr. 2.8.2-Wien. Las áreas de influencia en km<sup>2</sup> se obtuvieron mediante un geoproceso de las capas de los polígonos y el área de la cuenca con el mismo software dando como resultado: (Tabla 4.2.9.1. y Figura 4.2.9.3.).

ID	X	y	Nombre	Area, km <sup>2</sup>
14141	682622.1	2177841.26	Tamazula	86.56
14118	664386.1	2159676.88	Quito	238.54
14052	626951.7	2200566.9	Nogal	36.09
14018	655313.9	2213245.89	Atoyac	97.85
14129	657027.7	2150748.8	San marcos	1.11
Total				460.15

**Tabla 4.2.9.1.** Coordenadas de estaciones meteorológicas en la zona de Zapotlán el Grande



**Figura 4.2.9.3.** Polígonos de Thiessen

La expresión para el cálculo de la precipitación media es:

$$\overline{h_p} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n h_{pi} A_i$$

Donde  $A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$  y  $A_T$  es el área total de la cuenca.

Los datos de precipitación máxima en 24 horas para los años 1980-2012 obtenidos son: (Tabla 4.2.9.2.).



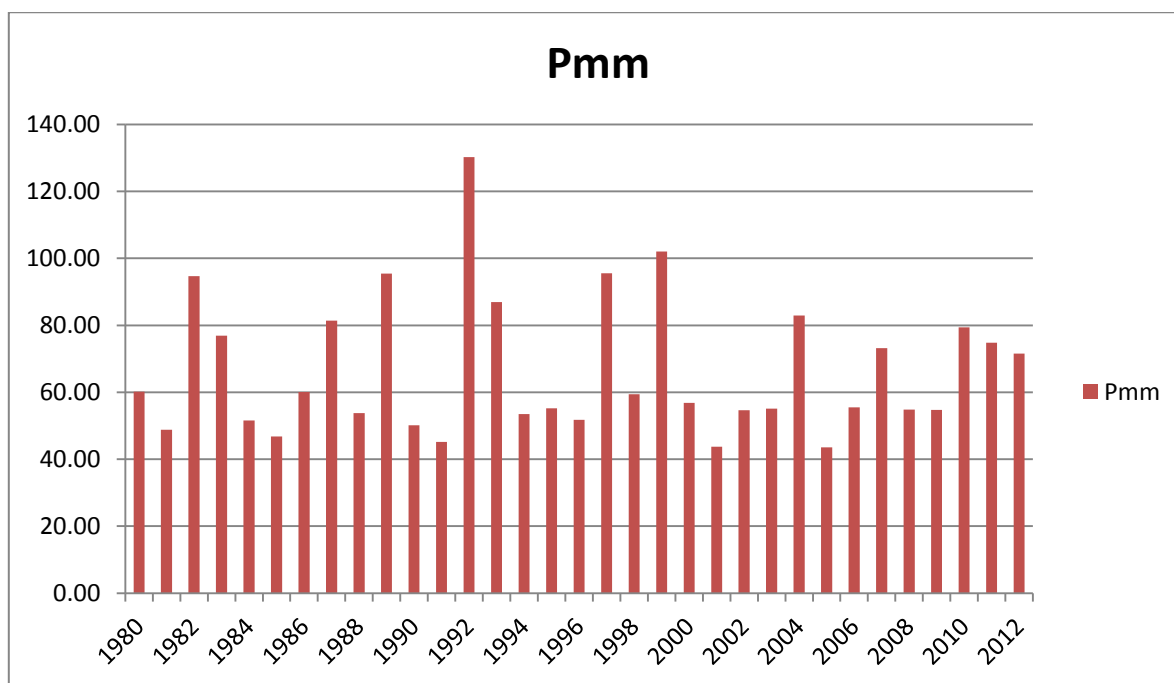
Año	P mm	Año	Pmm	Año	Pmm
1980	60.13	1991	45.20	2002	54.63
1981	48.81	1992	130.23	2003	55.15
1982	94.69	1993	86.96	2004	82.95
1983	76.87	1994	53.53	2005	43.54
1984	51.62	1995	55.17	2006	55.45
1985	46.75	1996	51.80	2007	73.21
1986	60.10	1997	95.49	2008	54.80
1987	81.43	1998	59.38	2009	54.69
1988	53.74	1999	101.99	2010	79.41
1989	95.46	2000	56.84	2011	74.83
1990	50.18	2001	43.70	2012	71.56

**Tabla 4.2.9.2.** Precipitación máxima en 24 horas

Con los siguientes parámetros estadísticos.

Desviación estándar	20.1363286
Media Armónica	61.7960955
Mediana	56.84
Kurtosis	1.35218997
Coeficiente de Asimetría	1.22655532
Máximo	130.23
Mínimo	43.54

**Tabla 4.2.9.3.** Parámetros estadísticos de lluvia máxima en 24 horas



**Gráfica 4.2.9.1.** Precipitación máxima en mm, 24 horas.





**Determinación de la altura de precipitación y caudal máximo para los periodos de retorno (Tr) 2, 10, 50, 100 y 200 años.**

**Altura de precipitación para los Tr 2, 10, 50, 100 y 200 años (Tabla 4.2.9.4.).**

Los datos de precipitación máxima se procesaron en el software AX de CENAPRED para ajustarlos a una función de distribución de probabilidad y obtener los periodos de retorno deseados. La función que arroja el menor error estándar fue la función Doble Gumbel:

Tr	Dato	Calculado	Error^2
34	130.23	116.16	197.9649
17	101.99	107.08	25.9081
11.33	95.49	101.26	33.2929
8.5	95.46	96.66	1.44
6.8	94.69	92.59	4.41
5.67	86.96	88.68	2.9584
4.86	82.96	84.65	2.8561
4.25	81.43	80.42	1.0201
3.78	79.41	76.34	9.4249
3.4	76.87	72.97	15.21
3.09	74.83	70.3	20.5209
2.83	73.21	68.12	25.9081
2.62	71.56	66.28	27.8784
2.43	60.13	64.68	20.7025
2.27	60.1	63.25	9.9225
2.13	59.38	61.94	6.5536
2	56.84	60.74	15.21
1.89	55.45	59.61	17.3056
1.79	55.17	58.55	11.4244
1.7	55.15	57.53	5.6644
1.62	54.8	56.55	3.0625
1.55	54.63	55.59	0.9216
1.48	54.59	54.65	0.0036
1.42	53.74	53.72	0.0004
1.36	53.53	52.79	0.5476
1.31	51.8	51.85	0.0025
1.26	51.62	50.89	0.5329
1.21	50.18	49.89	0.0841
1.17	48.81	48.84	0.0009
1.13	46.75	47.69	0.8836
1.1	45.1	46.39	1.6641
1.06	43.7	44.82	1.2544
1.03	43.54	42.63	0.8281

**Tabla 4.2.9.4. Precipitación máxima para Tr determinado**

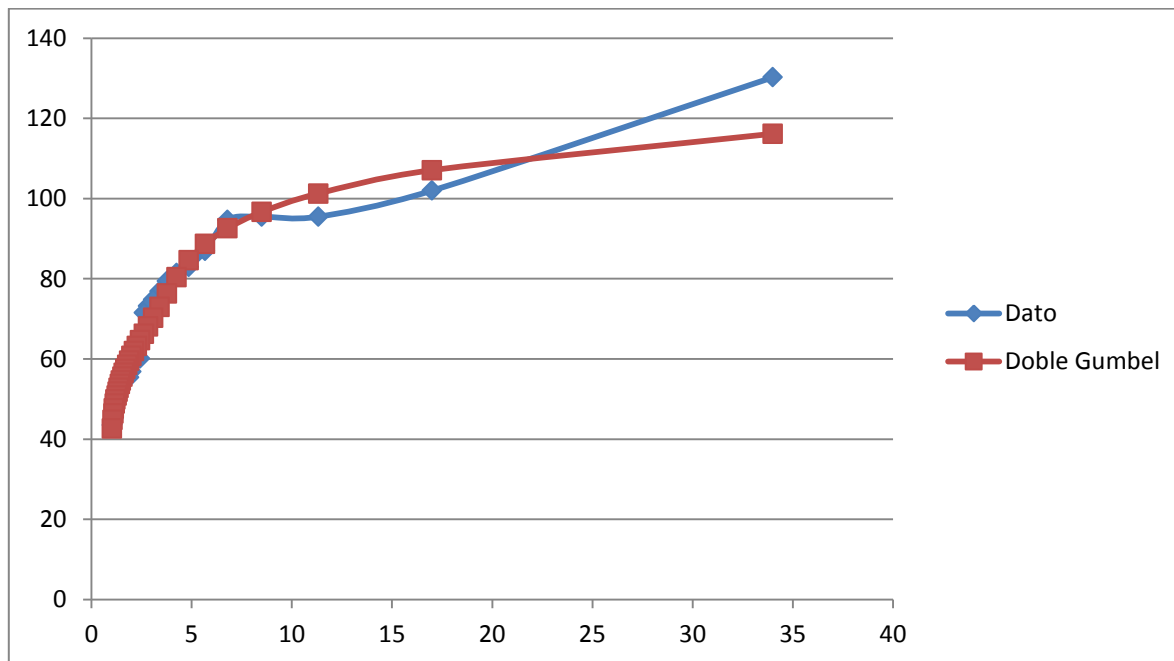


Parámetros de la función Doble Gumbel

Parámetro	Alfa 1	Beta 1	Alfa 2	Beta 2	P
Valor	0.107686	53.7288	0.084451	93.9695	0.8

Tabla 4.2.9.5. Parámetros de la función doble Gumbel

Error estándar: 4.075



Gráfica 4.2.9.2. Gráfico de datos de precipitación calculados e históricos

Al extrapolar los resultados anteriores, el software AX arroja para precipitaciones máximas en 24 horas los resultados: (Tabla 4.2.9.6.).

No	Tr	Dato cal
1	2	60.74
2	5	85.48
3	10	99.33
4	20	109.38
5	50	120.98
6	100	129.42
7	200	137.72

Tabla 4.2.9.6. Extrapolación de Tr para lluvias máximas en 24 horas

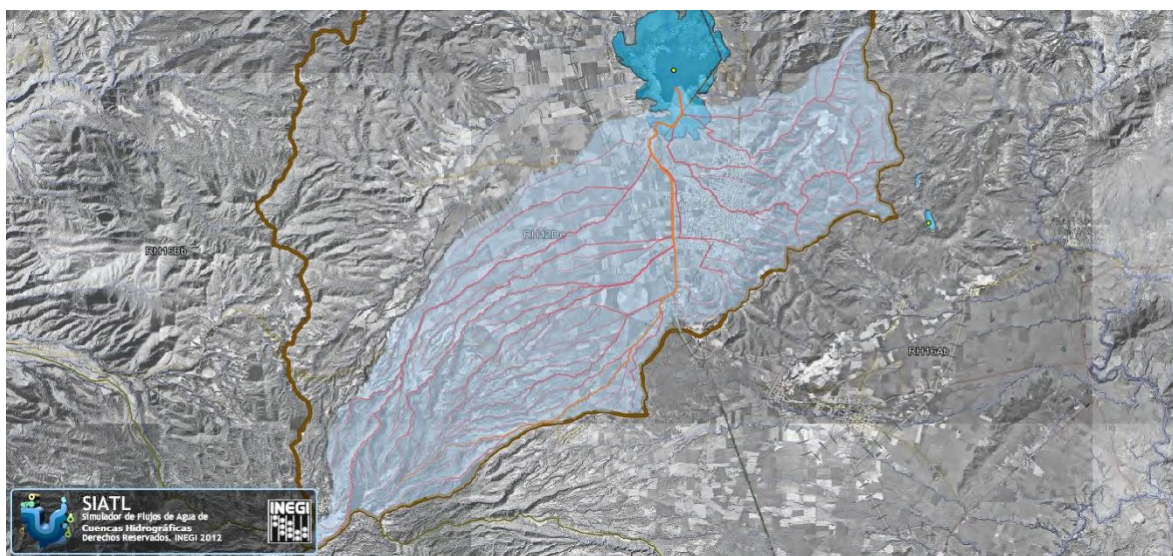


**Determinación de parámetros fisiográficos de la cuenca y subcuencas por tributario de orden 2 en la clasificación de Horton- Strahler. (Tabla 4.2.9.7.)**

Parámetros fisiográficos de la subcuenca

Propiedad	Valor
Perímetro (km)	115.04
Área (km <sup>2</sup> )	460.25
Densidad de Drenaje	2.0806
Coeficiente de Compacidad	1.5122
Longitud Promedio de flujo superficial de la Subcuenca (km)	0.12015765
Elevación Máxima en la Subcuenca (m)	3900
Elevación Mínima en la Subcuenca (m)	1500
Pendiente Media de la Subcuenca (%)	24.01
Elevación Máxima en Corriente Principal (m)	2989
Elevación Mínima en Corriente Principal (m)	1498
Longitud de Corriente Principal (m)	24463
Pendiente de Corriente Principal (%)	6.094
Sinuosidad de Corriente Principal	1.25288117
Area drenada por cauce principal	173.65 km <sup>2</sup>

**Tabla 4.2.9.7.** Fisiografía de la cuenca



**Figura 4.2.9.4.** Cuenca de arroyos que inciden en la zona urbana de Zapotlán el Grande



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

### Parámetros fisiográficos de las subcuencas por orden de Strahler 2

Arroyo Piedra Ancha	
Característica	Valor
Elevación máxima,	3427 m
Elevación mínima,	1498m
Elevación media,	2462 m
Pendiente media	7.4851 %
Longitud	25771 m
Tiempo de concentración	128.68 minutos

**Tabla 4.2.9.8.** Fisiografía arroyo Piedra Ancha

Arroyo El Capulín	
Característica	Valor
Elevación máxima,	2026
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1762
Pendiente media	2.5346 %
Longitud	20831
Tiempo de concentración	164.41

**Tabla 4.2.9.9.** Fisiografía de Arroyo El Capulín

Arroyo Salto de Cristo	
Característica	Valor
Elevación máxima,	2457
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1977
Pendiente media	4.03
Longitud	23759
Tiempo de concentración	153

**Tabla 4.2.9.10.** Fisiografía de Arroyo Salto de Cristo

Arroyo Poniente	
Característica	Valor
Elevación máxima,	1820
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1659
Pendiente media	1.82
Longitud	17668
Tiempo de concentración	164.72

**Tabla 4.2.9.11.** Fisiografía de Arroyo Poniente.



Arroyo Noroeste	
Característica	Valor
Elevación máxima,	
Elevación mínima,	
Elevación media,	
Pendiente media	
Longitud	
Tiempo de concentración	

**Tabla 4.2.9.12.** Fisiografía de Arroyo Noroeste

Arroyo Los Guayabos	
Característica	Valor
Elevación máxima,	1858
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1678
Pendiente media	2.34
Longitud	15372
Tiempo de concentración	135

**Tabla 4.2.9.13.** Arroyo Los Guayabos

Arroyo Chuluapan	
Característica	Valor
Elevación máxima,	2033
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1765
Pendiente media	4.44
Longitud	12029
Tiempo de concentración	89.35

**Tabla 4.2.9.14.** Fisiografía Arroyo Chuluapan

Arroyo Pastor	
Característica	Valor
Elevación máxima,	1548
Elevación mínima,	1498
Elevación media,	1523
Pendiente media	0.4465
Longitud	11198
Tiempo de concentración	202

**Tabla 4.2.9.15.** Fisiografía de Arroyo Pasto





### Caudal Máximo en cauces que inciden en la zona urbana.

#### a) Pendiente gobernadora y tiempos de concentración de la lluvia

Con el objetivo de calcular la rapidez de llegada del escurrimiento a la zona en estudio se calcularon las pendientes medias de escurrimiento por medio de la expresión:

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad ec. 1$$

Además, se empleó la carta topográfica 1:50000 de INEGI.

La siguiente es la tabla generada para el Arroyo El Capulín. El resto se incluyen en la memoria de cálculo.(Tabla 4.2.9.16.).

No	H	L	S	raiz(S)	L/ raíz(S)
1	100	504	0.1984127	0.4454354	1131.47719
2	100	321	0.31152648	0.55814557	575.118779
3	100	367	0.27247956	0.52199575	703.070857
4	100	563.8	0.17736786	0.42115064	1338.71339
5	100	269	0.37174721	0.60971076	441.192804
6	100	345	0.28985507	0.5383819	640.809059
7	100	395	0.25316456	0.50315461	785.046973
8	200	662	0.3021148	0.54964971	1204.40344
9	200	422	0.47393365	0.68842839	612.990408
10	200	772	0.25906736	0.5089866	1516.73934
11	200	2102	0.09514748	0.30845985	6814.50116
12	200	3401	0.05880623	0.24249997	14024.7442
13	100	3957	0.02527167	0.15897066	24891.3858
L <sub>Total</sub> = 14080.8			Suma de L/raiz(S) = 54680.1934		
S = 0.06631237					

**Tabla 4.2.9.16.** Pendiente gobernadora para arroyo El Capulín

#### Tiempo de Concentración

Para la obtención del tiempo de concentración, que corresponde al tiempo que tarda en llegar el escurrimiento desde la parte más alejada hasta el punto más bajo de la cuenca se utilizó el método de Kirpich, que se define como: (Tabla 4.2.9.17.).

$$t_c = 0.0003245 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} \quad ec. 2$$



Nanocuenca	El Capulín	Salto de Cristo	Piedra Ancha	A. Noroeste	A. Poniente	Los Guayabos	Chuluapán	A Pastor
Pendiente %	6.63	6.12	5.72	2.57	4.1	5.23	10.28	26.25
L	14080.8	16397	21338	9268	10941	7225	4829.94	738
t <sub>c</sub> horas	1.44	1.67	2.10	1.51	1.43	1.09	0.535	0.087
t <sub>c</sub> minutos	86.60	100.42	126.25	90.39	85.81	56.86	32.09	5.27

**Tabla 4.2.9.17.** Tiempo de concentración t<sub>c</sub> para los diferentes arroyos

Las tormentas de diseño tendrán una duración igual al tiempo de concentración mayor para cada una de las zonas poniente y oriente de la ciudad, esto es, de 126.25 y 56.86 minutos respectivamente.

**b) Cálculo de intensidad para una tormenta con duración igual a t<sub>c</sub> y 2, 10, 50, 100 y 200 años de Tr.**

Utilizaremos los datos obtenidos a partir de las expresiones de Powell y de Bell, respectivamente:

$$D = K(t \cdot T)^{1/4}$$

Donde:

D = profundidad de lluvia.

t = Duración en horas

T = periodo de retorno

K = constante que depende de la localidad.

Esta ecuación es una referencia conveniente para estimar otras cantidades de **profundidad-duración**.

Para determinar K, se utiliza el valor calculado para una tormenta con Tr = 10 años y duración de 24 horas:

$$K = \frac{D}{(t \cdot T)^{0.25}} = \frac{99.33}{(24 \cdot 10)^{0.25}} = 25.23 \text{ ec. 3}$$

Para una tormenta con duración de 1 hora y 10 años de periodo de retorno la ecuación de Powell da:

$$D = 25.23(1 \cdot 10)^{0.25} = 44.86 \frac{mm}{hr} \text{ ec. 4}$$

La expresión de F.C. Bell permite estimar la altura de precipitación para cualquier periodo T < 100 años de retorno y para cualquier duración d < 120 min, de preferencia. Esta



relación lluvia-duración-periodo de retorno es directamente proporcional a la lluvia horaria con un periodo de retorno igual a 10 años.

$$I_d^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54d^{0.25} - 0.50)I_{60}^{10} \text{ ec. 5}$$

Los resultados que se obtienen con esta expresión son:

Tr	P mm/hr Poniente	Pmm/hr Oriente
2	39.11	29.35
10	59	44.26
50	78.84	59.16
100	87.4	65.58
200	96	72.00

Tabla 4.2.9.18. Intensidad para una tormenta con duración igual a  $t_c$

#### c) Calculo de los coeficientes de escurrimiento.

Para estimar la altura de lluvia efectiva a partir de la total y las características de la cuenca, se emplea el método propuesto por el *U.S. Soil Conservation Service*. Por otra parte, se tomaran como referencia los datos proporcionados por el INEGI.

La ecuación propuesta para la Altura de lluvia efectiva es:

$$Pe = \frac{\left[ P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32} \text{ ec.6}$$

Donde:

N = número de escurrimiento

P = Altura de precipitación en cm.

La distribución de tipos de suelo y vegetación se clasifica en la siguiente (Tabla 4.2.9.19.).

Nanocuenca(s)	Tipo de suelo
El Capulín Salto de Cristo Piedra Ancha Arroyo Noroeste Arroyo Poniente	<p><b>Regozol Eutrico:</b> Suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmblico, no son muy someros ni muy ricos en gravas, arenosos o con materiales flúvicos. Suelos con menos del 25 % de arcilla. 1.3 % de materia orgánica.</p> <p><b>Feozem Haplico:</b> Suelos oscuros ricos en materia orgánica; Material parental: Materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos y otros.</p> <p>Ambiente: Cálido a fresco (e.g. tierras altas tropicales) regiones moderadamente continentales, suficientemente húmedas de modo que la mayoría de los años hay alguna percolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se</p>



	seca; tierras llanas a onduladas; la vegetación natural es pastizal como la estepa de pastos altos y/o bosque. 26 % de arcilla.
Piedra Ancha	<b>Litosol:</b> Suelo con menos de 10 cm. De espesor sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Los litosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas. 26 % arcilla
Los Guayabos Chuluapan A. Pastor	<b>Feosem Haplico</b> <b>Cambisol Cromico:</b> Los Cambisoles combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. 22 % de arcilla.

**Tabla 4.2.9.19.** Clasificación de suelos por nanocuenca.

Nanocuenca(s)	Tipo de suelo	Vegetación	Area km <sup>2</sup>	No. de escurrimiento
El Capulín	Regosol Eutrico, Feozem Haplico	Bosque de oyamel	0.17	60
		Bosque de pino-encino	4.58	60
		Bosque de encino-pino	0	60
		Agricultura de riego anual y semipermanente	5.4	90
		Agricultura de temporal anual	17.01	85
		Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	8.57	75
		Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	2.24	75
Salto de Cristo		Bosque de oyamel	0.12	60
		Bosque de pino-encino	4.69	60



Nanocuenca(s)	Tipo de suelo	Vegetación	Area km <sup>2</sup>	No. de escurrimiento	
		Agricultura de riego anual y semipermanente	3.79	92	
		Agricultura de temporal anual	9.3	85	
		Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	6.6	75	
Arroyo Noroeste		Cuerpo de agua	0.13	N/A	
		Agricultura de riego anual y semipermanente	6.28	92	
		Agricultura de temporal anual	2.43	85	
Arroyo Poniente		Agricultura de riego anual y semipermanente	3.44	92	
		Agricultura de temporal anual	9.04	85	
Piedra Ancha		Regosol Eutrico, Feozem Haplico Litosol	Bosque de oyamel	0.5	60
			Bosque de oyamel	1.12	60
	Bosque de pino-encino		6.43	60	
	Agricultura de riego anual y semipermanente		9.41	92	
	Agricultura de temporal anual		13.43	85	
	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino		0.93	75	
	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino		0.21	75	
	Pradera de alta		0.96	58	





Nanocuenca(s)	Tipo de suelo	Vegetación	Area km <sup>2</sup>	No. de escurrimiento
		montaña		
Los Guayabos	Feosem Haplico Cambisol Cromico	Asentamientos humanos	0.58	90
		Bosque de pino-encino	12.33	60
		Agricultura de riego anual y semipermanente	0.73	92
		Agricultura de temporal anual	3.04	85
		Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	1.11	75
		Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	3.84	75
		Zona urbana	6.19	92
		Chuluapan	Bosque de pino-encino	6.88
Bosque de encino-pino			0.27	60
Cuerpo de agua			0.27	NA
Pastizal inducido			0.73	61
Agricultura de riego anual y semipermanente			1.01	92
Agricultura de temporal anual			0.58	85
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia			0.03	75
Zona urbana			1.01	92
A Sureste		Asentamientos humanos	0.42	92
		Asentamientos humanos	0.01	92
		Bosque de encino-	0.18	60



Nanocuenca(s)	Tipo de suelo	Vegetación	Area km <sup>2</sup>	No. de escurrimiento
		pino		
		Agricultura de riego anual y semipermanente	1.51	92
		Agricultura de temporal anual	1	85
		Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	0.07	75
		Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	2.44	75
		Zona urbana	1.73	92

**Tabla 4.2.9.20.** Clasificación de vegetación por nanocuenca.

El resultado para cada Tr al cruzar las capas de suelo y el área cubierta por cada tipo de vegetación se calculó como un promedio pesado de los coeficientes de escurrimiento, usando como peso el área del tipo de vegetación. (Tabla 4.2.9.21.).

$$C_e = \frac{P_e}{P} \text{ ec. 7}$$

Nanocuencas	Ce				
	Tr 2	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 200
Chuluapan	0.06	0.10	0.14	0.17	0.19
El Capulín	0.24	0.36	0.45	0.48	0.51
Los Guayabos	0.05	0.12	0.18	0.21	0.24
Noroeste	0.48	0.60	0.68	0.70	0.72
Piedra Ancha	0.29	0.39	0.47	0.50	0.52
Poniente	0.37	0.51	0.59	0.62	0.65
Salto de Cristo	0.23	0.35	0.43	0.46	0.49
Pastor	0.18	0.32	0.39	0.42	0.45

**Tabla 4.2.9.21.** Coeficiente de escurrimiento por nanocuenca y Tr



#### d) Cálculo del caudal máximo.

En el presente apartado se calcula el caudal máximo para los cauces que ingresan directamente en la zona urbana de Zapotlán el Grande. Para los arroyos Chuluapan, Los Guayabos y Pastores, se calcula en primer término el caudal sin considerar la aportación de la zona urbana, el cual se calcula en una segunda etapa.

### Métodos hidrológicos

#### Hidrograma Unitario Triangular

Método de base hidrológica que permite calcular la forma del escurrimiento a lo largo del tiempo. El método asume una forma triangular en el hidrograma dado por una relación biunívoca en función de la relación de la superficie de la cuenca y el tiempo en el cual se presenta el gasto pico. Este método considera una altura de precipitación efectiva uniforme. Los resultados de caudal máximo obtenidos por este método y por el propuesto por el Soil Conservation Service (SCS) de E.U.A, son exactamente los mismos.

Para este estudio se consideraron los siguientes aspectos:

- Lluvia efectiva uniforme en el tiempo.
- Duración de la lluvia igual al tiempo de concentración de la cuenca hasta el punto de salida.
- Lluvia efectiva calculada a partir de los números de escurrimiento.
- Área de la cuenca en kilómetros

$$q_p = 0.208 \frac{A}{t_p} \text{ ec. 8}$$

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c \text{ ec. 9}$$

$$t_r = 1.67t_p \text{ ec. 10}$$

$$q_p = m^3/s/mm$$

Para obtener el hidrograma de escurrimiento directo se debe multiplicar las ordenadas del hidrograma unitario por la lluvia en exceso, expresada en milímetros.

Así, por ejemplo, el gasto para un área de 4.58 km<sup>2</sup> con bosque de pino encino en la nanocuenca de arroyo El Capulín, será:

$$t_p = \sqrt{2.10} + 0.6 * 2.10 = 2.70 \text{ hr}$$

$$q_p = 0.208 \frac{4.58}{2.70} = 0.353 \text{ m}^3/s/mm$$

$$Q_p = 0.353 * 0.1574812 \\ = 0.0555 \text{ m}^3/s$$



## Resultado

En la (Tabla 4.2.9.22.) se muestran los resultados de caudal máximo.

Subcuenca	Caudal Máximo, Hidrograma unitario triangular, m <sup>3</sup> /s				
	Tr 2	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 200
Chuluapan	2.43	5.38	10.97	14.02	17.40
El Capulín	27.24	61.71	102.64	121.64	141.34
Los Guayabos	6.02	14.32	29.51	40.67	49.83
Noroeste	12.48	23.66	35.61	40.91	46.30
Piedra Ancha	28.32	58.69	94.05	110.37	127.26
Poniente	14.01	28.58	44.70	51.95	59.36
Salto de Cristo	17.21	38.43	63.83	75.68	88.00
Pastor	5.31	10.59	16.33	19.51	22.82
Totales	113.02	241.37	397.65	474.75	552.31

**Tabla 4.2.9.22.** Caudal máximo determinado por hidrograma unitario triangular.

## Método Racional

Este modelo toma en cuenta, además de la intensidad, el área de la cuenca y un coeficiente de escurrimiento y es muy utilizado.(Tabla 4.2.9.23.).

Subcuenca	Caudal Máximo, método racional m <sup>3</sup> /s				
	Tr 2	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 200
Chuluapan	4.53	11.12	22.64	28.94	35.92
El Capulín	98.62	223.44	371.64	440.43	511.79
Los Guayabos	9.66	30.96	62.61	83.97	102.87
Noroeste	45.20	85.67	128.95	148.14	167.63
Piedra Ancha	102.53	212.52	340.56	399.63	460.79
Poniente	50.73	103.49	161.86	188.11	214.94
Salto de Cristo	62.33	139.14	231.12	274.02	318.63
Pastor	7.75	20.74	33.71	40.28	47.12
Totales	381.34	827.08	1353.10	1603.52	1859.68

**Tabla 4.2.9.23.** Caudal máximo calculado según método racional.

## Método de Chow

Chow desarrolló un método para el cálculo del gasto pico de hidrogramas de diseño de alcantarillas y otras estructuras de drenaje pequeñas. Este método solo proporciona el gasto pico y es aplicable a cuencas no urbanas con un área menor de 25 km<sup>2</sup>. Se utilizará aquí, excepto para las subcuencas El Capulín y Piedra Ancha pues rebasan los 25 km<sup>2</sup>. (Tabla 4.2.9.24.).

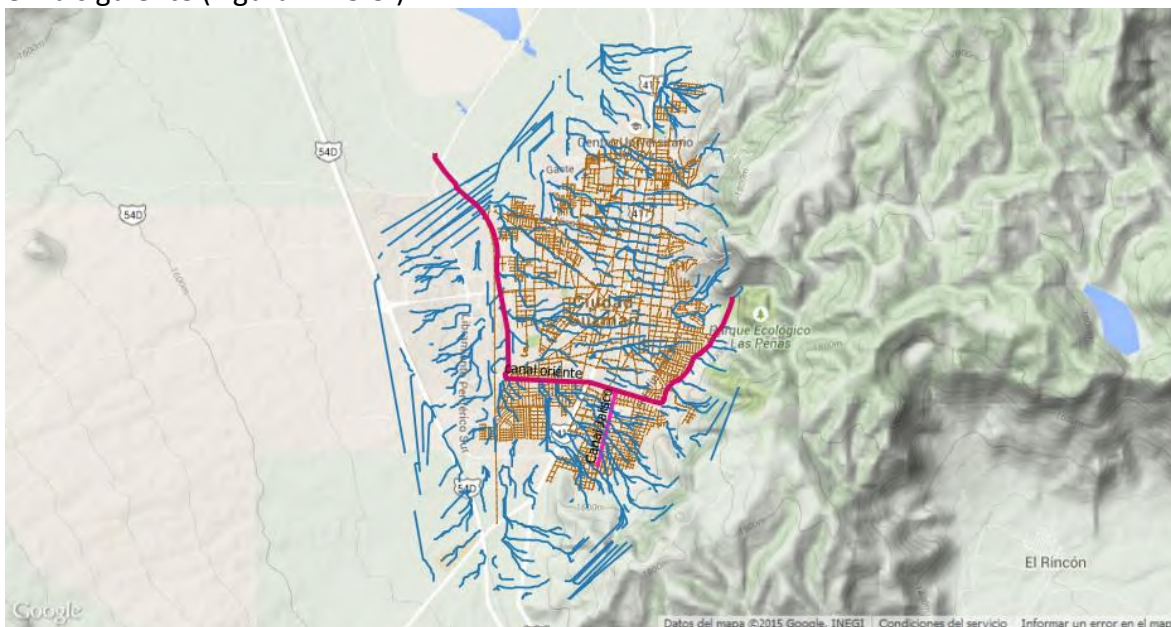
## Resultados

Subcuenca	Caudal Máximo, método Chow m <sup>3</sup> /s				
	Tr 2	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 200
Chuluapan	4.74765968	11.073852	20.7225648	27.9363312	34.22736
El Capulín	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Los Guayabos	11.7694177	30.256095	60.6625818	78.5728775	98.4382666
Noroeste	19.3696291	36.7357937	55.6341803	63.4885836	71.7281938
Piedra Ancha	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Poniente	21.7433085	44.740907	69.1641785	80.572292	92.7827383
Salto de Cristo	26.7125493	60.27735	98.9576028	117.355476	137.30976
Pastor	10.3949253	19.396726	31.5980161	37.7789148	44.3723116

**Tabla 4.2.9.24.** Caudal máximo según metodo de Chow

### Delimitación de cuencas urbanas en función de la red de colectores existente.

La red de colectores actuales y las líneas de escurrimientos urbanos es la que se muestra en la siguiente (Figura 4.2.9.5.).



**Figura 4.2.9.5.** Red de colectores, canales y escurrimientos

Las cuencas urbanas se delimitaron de la siguiente forma:





**Figura 4.2.9.6. Cuencas urbanas.**

Se debe mencionar que la información digital de la red de drenaje con que cuenta el municipio no está actualizada, razón por la cual se analizará solo la zona en la que si se tiene información. Así, en función de los colectores y la infraestructura hidráulica, se dividió la zona urbana en 4 cuencas cada una con las siguientes características: (Tabla 4.2.9.25.).

Cuenca	Área, km <sup>2</sup>	Drenaje, m	Puntos de Análisis
Pastores	3.176	65171.77	Calle Cuba, Canal Jalisco El Grullo (entre Diamante y Pavo Real), Alberto Cárdenas J.
Centro	3.945	65421.68	Hermenegildo Galeana, Emiliano Zapata.
Guayabos Urbana	5.22	95026.01	General Nicolás Bravo, Quintana Roo, Ignacio Allende, Apolo, Del Venado
Chuluapan Urbana	1.33	28961.61	Azucena, San Francisco, Tenochtitlan.
Total	14	254580.45	

**Tabla 4.2.9.25. Red de Colectores**

### **Inventario de la infraestructura hidrológica.**

Características de la red de colectores.

Según información proporcionada por SAPAZA (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Zapotlan) se cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, la planta No. 2 recibe agua residual de cuatro colectores: Volcanes, Los Guayabos, Manuel M. Diéguez y



Bravo Sur; mientras que a la planta No. 1 descargan los colectores: Bravo Norte y Morelos, las características de los colectores son las siguientes:

- Volcanes: Tubería de concreto, inicia en la cabeza de atarjea con un diámetro de 18" y varía a lo largo de toda la línea con diámetros de 24", 30", 36" y llega a la planta de tratamiento con un diámetro de 42".
- Los Guayabos: Tubería de concreto inicia en la cabeza de atarjea con un diámetro de 10" y varia a lo largo de la línea con diámetros 16", 24", 30" y finalmente llega a la planta con un diámetro de 36".
- Manuel M. Diéguez: Tubería de concreto inicia en su cabeza de atarjea con diámetro de 24" y llega a la planta con un diámetro de 36".
- Bravo Sur: Tubería de PVC inicia en su cabeza de atarjea con diámetro de 18" y llega a la planta con un diámetro de 36".
- Bravo Norte: Tubería de concreto con diámetro constante de 24".
- Morelos: Tubería de concreto con diámetro constante de 30".

Los colectores principales se encuentran saturados en horas pico. La tubería es muy antigua y no garantiza la hermeticidad requerida.

El sistema de alcantarillado es combinado, es por ello que en época de lluvias resulta insuficiente.

Además, Existen asentamientos humanos irregulares y hay tramos de calle en donde no hay tubería alguna, el agua residual corre por cuevas o cavernas. (Tabla 4.2.9.26.).

Clasificación	Material	Diámetro, pul.	Longitud, m	Simbología
Emisor	Concreto	42	1920	
Colector	Concreto	38	614	
Colector	Concreto	36	1071	
Colector	Concreto	30	543	
Colector	Concreto	28	783	
Subcolector	Concreto	24	848	
Subcolector	Concreto	18	3722	
Atarjea	Concreto	12	Resto	
Atarjea	concreto	8	Resto	

**Tabla 4.2.9.26.** Longitud de red de colectores

El porcentaje total de población con cobertura de servicio de alcantarillado en la cabecera municipal, según datos proporcionados por el organismo operador, es de 95. 53 %.



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA

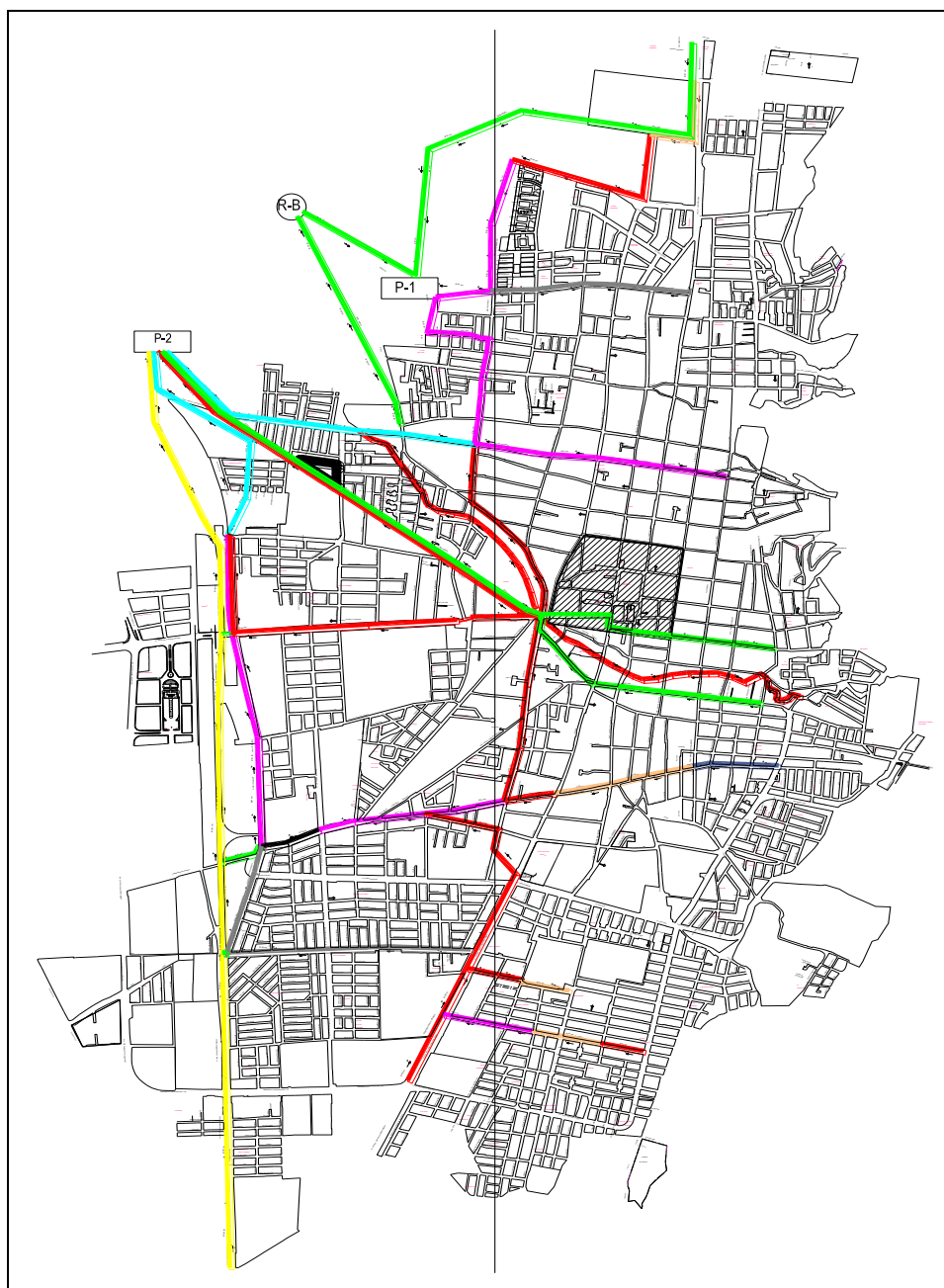


SEDATU  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Tomando en cuenta el número de conexiones a la red de drenaje y el número de personas por vivienda, el índice de cobertura es de 92.27 % de la población total. (Figura 4.2.9.7.).



**Figura 4.2.9.7.** Red de Colectores de Zapotlán el Grande

**Plantas de tratamiento de agua.**

El SAPAZA opera dos plantas de tratamiento biológico nivel secundario, diseñadas para cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, mediante lodos activados sin sedimentación primaria, proceso convencional.

#### Planta de tratamiento No.1

La Planta de tratamiento No.1 se localiza al noroeste de la ciudad, en la prolongación de la calle Manuel Doblado. Dicha planta fue construida en el año de 1999 para una capacidad de 50 litros por segundo, entrando en operación en el año 2000. En el año 2008 se llevó a cabo una rehabilitación y ampliación de la misma, teniendo actualmente una capacidad instalada de 65 litros por segundo, para un cobertura del 25% de la población.

#### Planta de tratamiento No.2

La Planta de tratamiento No.2 se ubica al noroeste de la ciudad, en la prolongación de la calle Manuel M. Diéguez y Nicolás Bravo, a una distancia aproximada de un kilómetro con respecto a la planta de tratamiento No.1. La planta fue construida en el año de 2003 para una capacidad de 153 litros por segundo, entrando en operación en el año 2004. En el año 2008 se llevó a cabo una rehabilitación de la misma, sin embargo no fue ampliada en su capacidad. Actualmente esta planta atiende al 75% de la población.

#### Características de canales.

##### Canal Jalisco.

Se trata de un canal de sección rectangular con las características: (Figuras 4.2.9.8., 4.2.9.9. y Tablas 4.2.9.27., 4.2.9.28.).

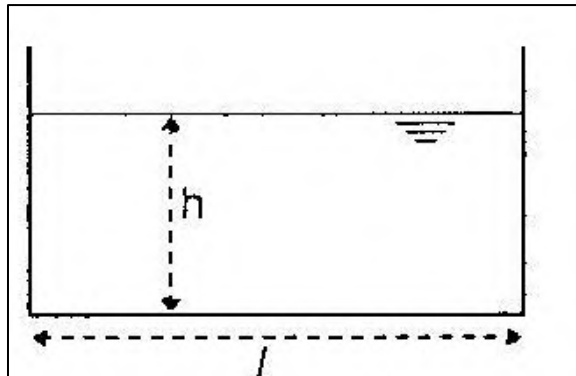


Figura 4.2.9.8. Canal Rectangular.

Parámetro	Expresión	Canal Jalisco
Área, m <sup>2</sup>	$h \cdot l$	$1.10 \cdot 3 = 3.3$
Perímetro mojado, m	$l + 2 \cdot h$	$3 + 2 \cdot 1.10 = 5.2$
Radio hidráulico	$h \cdot l / l + 2 \cdot h$	$3.3 / 5.2 = 0.6346$
Ancho de la superficie libre	$b$	3
Longitud, m.	1161	-
Material	Concreto	-
Fondo	suelo	-
Tiempo de viaje, $t_{v3}$	Kirpich	8.28 minutos

Pendiente	h/l	0.01029
Q, m <sup>3</sup> /s	según Manning	7.71
Velocidad, m/s	Manning	2.336

Tabla 4.2.9.27. Parámetros de canal rectangular

#### Canal Trapezoidal Zapotlán El Grande

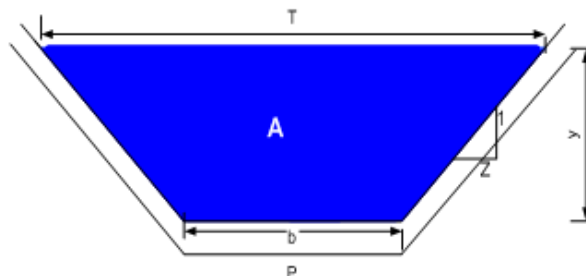


Figura 4.2.9.9. Canal Trapezoidal

Parámetro	Expresión	Canal ZG
Área, m <sup>2</sup>	$(b+zy)y$	$(2.5+1.625*2)2 = 11.5$
Perímetro mojado, m	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$2.5 + 2 * 2\sqrt{(1 + 1.625^2)} = 10.132$
Radio hidráulico, m	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{11.5}{10.132} = 1.13$
Ancho de la superficie libre, m	$b+2zy$	9
Longitud, m.	8115	-
Material	Concreto	-
Fondo	Concreto	-
Tiempo de viaje, t <sub>v</sub>	Kirpich	88.98, minutos
Pendiente	Promedio	0.0778
Q, m <sup>3</sup> /s	según Manning	17.48
Velocidad, m/s	Manning	1.52

Tabla 4.2.9.28. Parámetros de canal trapezoidal.

### Análisis hidrológico en cuencas urbanas

#### Pastores, calle Mirlo

En el cruce de Mirlo y Cuba termina el arroyo conocido como Pastores de arriba, con una velocidad calculada de 1.97 m/s para incidir casi en forma directa al Centro de Integración Juvenil, y discurrir posteriormente sobre la calle Mirlo. Esta calle se modelo con SWMM, considerándola como un canal rectangular abierto de 10 metros de ancho por 0.15 cm como altura máxima, para verter libremente sobre el canal rectangular de la calle Jalisco. El informe de la simulación para Tr 2 años se presenta (resumido) como ejemplo. Cabe hacer notar que cuando la simulación se completa con éxito, los errores totales de continuidad se muestran en la ventana de estado de la simulación. Estos errores representan la diferencia en % entre el almacenaje inicial más el flujo que entra y el





almacenamiento final más el flujo que sale. Si esta diferencia excede un nivel razonable (10%) los resultados de la simulación son cuestionables. (Figura 4.2.9.10. y Tabla 4.2.9.29.).

Nivel

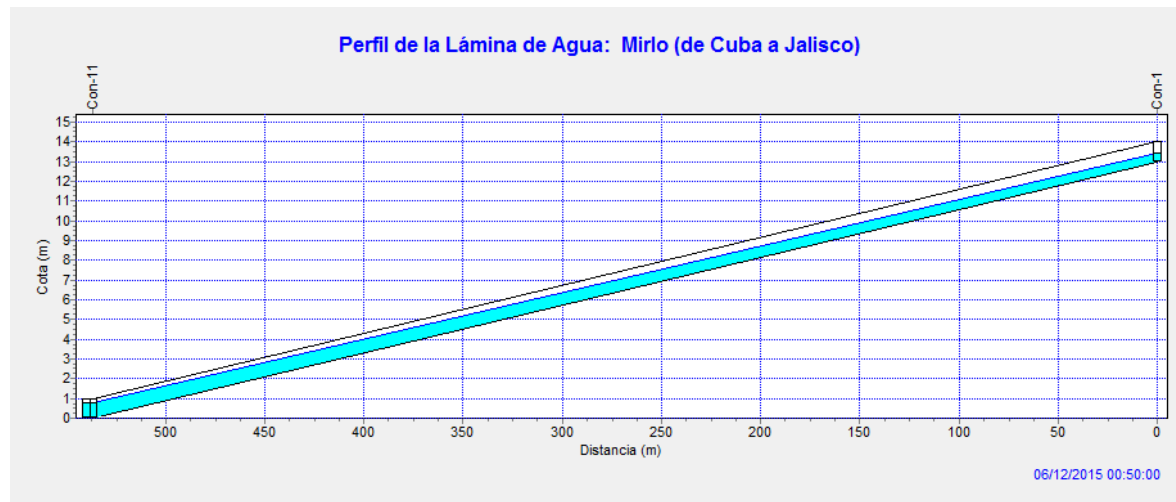


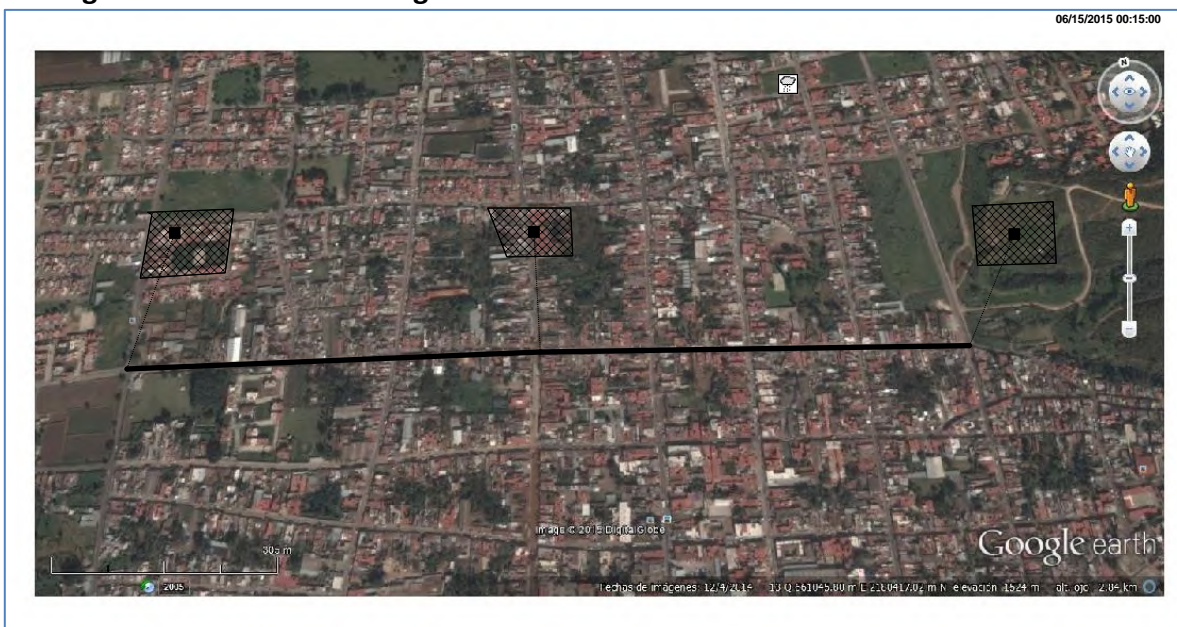
Figura 4.2.9.10. Lámina de agua calle Mirlo

Días	Horas	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)	N. Froude
0	00:10:00	19.46	0.41	4.72	2.35
0	00:20:00	8.12	0.37	2.17	1.13
0	00:30:00	7.35	0.3	2.42	1.4
0	00:40:00	4.14	0.22	1.85	1.25
0	00:50:00	24.74	0.63	3.92	1.58
0	01:00:00	5.78	0.31	1.87	1.08
0	01:10:00	0.29	0.06	0.5	0.66
0	01:20:00	0.15	0.04	0.43	0.72
0	01:30:00	0.09	0.03	0.33	0.65
0	01:40:00	0.06	0.02	0.27	0.59
0	01:50:00	0.04	0.02	0.23	0.53
0	02:00:00	0.03	0.02	0.19	0.49
0	02:10:00	0.02	0.01	0.16	0.45
0	02:20:00	0.02	0.01	0.14	0.41
0	02:30:00	0.01	0.01	0.13	0.38
0	02:40:00	0.01	0.01	0.11	0.36
0	02:50:00	0.01	0.01	0.1	0.34
0	03:00:00	0.01	0.01	0.09	0.32
0	03:10:00	0.01	0.01	0.09	0.31
0	03:20:00	0.01	0.01	0.08	0.29

Tabla 4.2.9.29. Velocidades, caudal y tirante en calle Mirlo



### Calle Ignacio Allende-Darío Vargas



**Figura 4.2.9.11.** Calle Ignacio Allende-Darío Vargas

Calles	tr	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
<b>M. Hidalgo Cuauhtémoc</b>	10	9.68	0.19	4.98
	50	12.95	0.23	5.58
	100	14.36	0.25	5.8
	200	15.77	0.26	6.02
<b>Abasolo-M. Hidalgo</b>	2	6.28	0.23	2.69
	10	9.52	0.3	3.16
	50	12.76	0.36	3.54
	100	14.16	0.38	3.68
	200	15.55	0.41	3.82

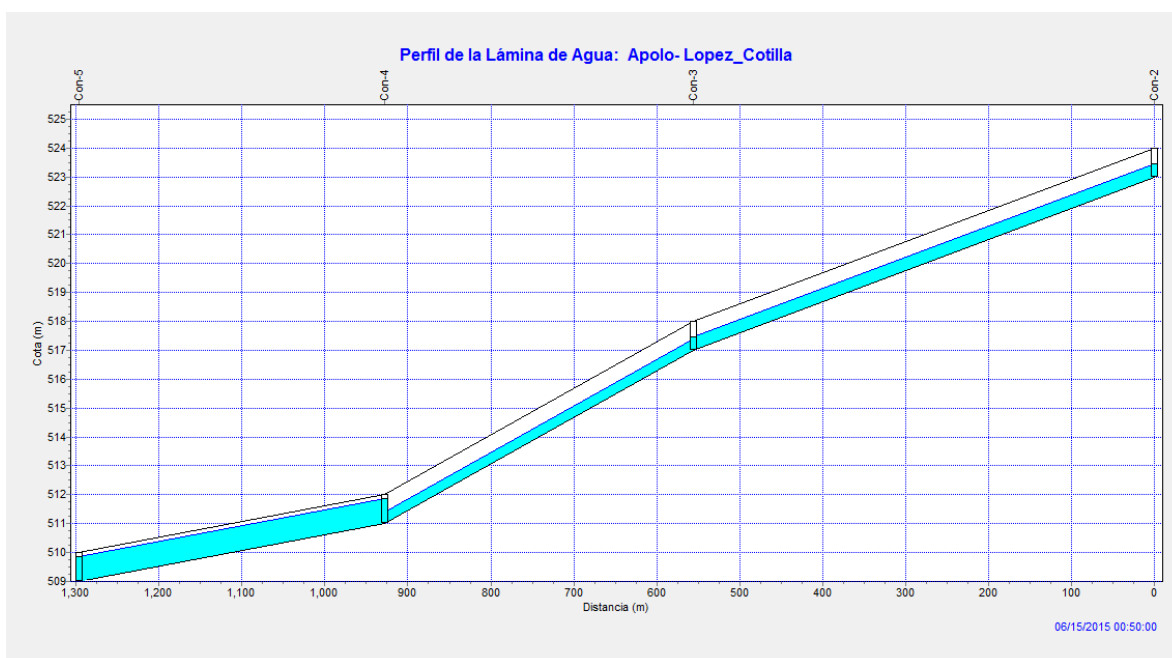
**Tabla 4.2.9.30.** Velocidades, caudal y tirante a lo largo de la calle Ignacio Allende



**Calle Nicolás Bravo**

<b>Calles</b>	<b>Tr, años</b>	<b>Caudal (CMS)</b>	<b>Nivel (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
López Cotilla- Colón	2			
	10	10.33	0.28	3.66
	50	13.82	0.34	4.09
	100	15.32	0.36	4.26
	200	16.83	0.38	4.41
Morelos- Cristóbal Colón	2	6.21	0.25	2.47
	10	10.08	0.34	2.98
	50	13.52	0.41	3.34
	100	15.01	0.43	3.47
	200	16.49	0.46	3.6
Ignacio Mejía- Morelos	2	6.09	0.22	2.78
	10	9.94	0.3	3.36
	50	13.35	0.35	3.77
	100	14.82	0.38	3.92
	200	16.3	0.4	4.07
Apolo-Ignacio Mejía	2	12.31	0.47	2.6
	10	20.04	0.64	3.13
	50	26.9	0.77	3.49
	100	29.86	0.82	3.63
	200	32.82	0.87	3.76

**Tabla 4.2.9.31.** Velocidades, caudal y tirante a lo largo de la calle Nicolás Bravo

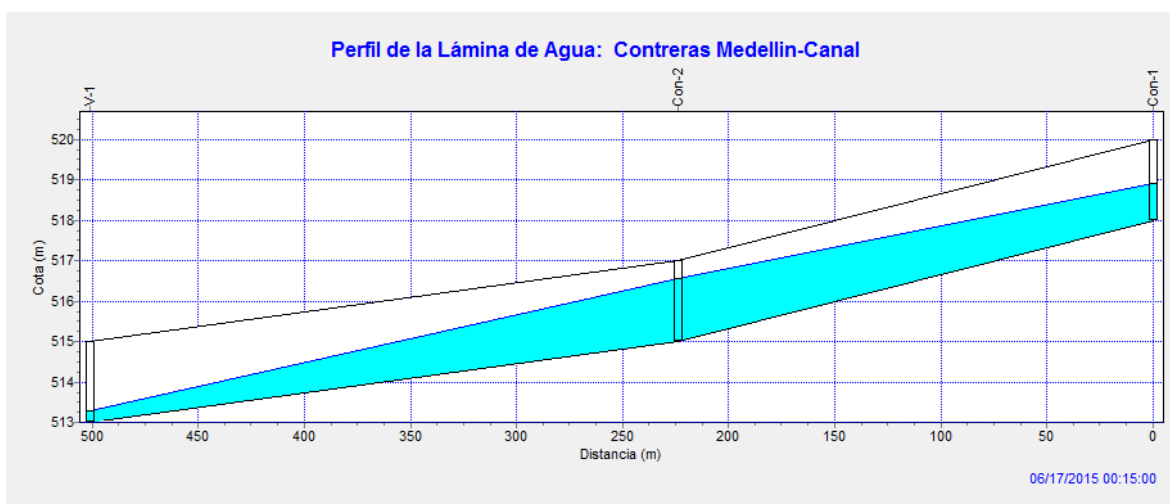


**Figura 4.2.9.12.** Perfil de la lámina de agua: Apolo-López Cotilla

#### Canal Galeana

Calles	Tr, años	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
Contreras Medellin -C. Paes	2	1.5	0.68	0.74
	10	1.5	0.68	0.74
	50	1.5	0.68	0.74
Carlos Paes- Canal H.	2	1.5	0.94	0.53
	10	1.5	0.94	0.53
	50	1.5	0.94	0.53

**Tabla 4.2.9.32.** Velocidades, caudal y tirante a lo largo en el Canal Galeana.



**Figura 4.2.9.13.** Perfil de lámina de agua: Contreras Medellín-Canal Galeana

### Canal Jalisco

Calles	Tr, años	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
Serefin Vezques Mirlo	2	6.42	0.78	2.74
	10	8.84	0.99	2.97
	50	8.84	0.99	2.97
	100	8.84	0.99	2.97
	200	8.84	0.99	2.97
Mirlo-Grullo	2	6.34	0.88	2.4
	10	9.14	1.07	2.84
	50	9.15	1.15	2.65
	100	9.15	1.15	2.65
	200	9.15	1.15	2.65
Grullo Gómez Farías	2	6.28	0.93	2.25
	10	7.74	1.08	2.38
	50	9.38	1.25	2.5
	100	9.39	1.25	2.5
	200	9.39	1.25	2.5
Gómez Farías Tonila	2	6.2	1.01	2.05
	10	7.74	1.08	2.38
	50	9.65	1.38	2.34
	100	9.65	1.38	2.34
	200	9.65	1.38	2.34
Tonila Sociedad de Uniones	2	5.53	0.97	1.91
	10	8.71	1.32	2.19
	50	8.71	1.32	2.19



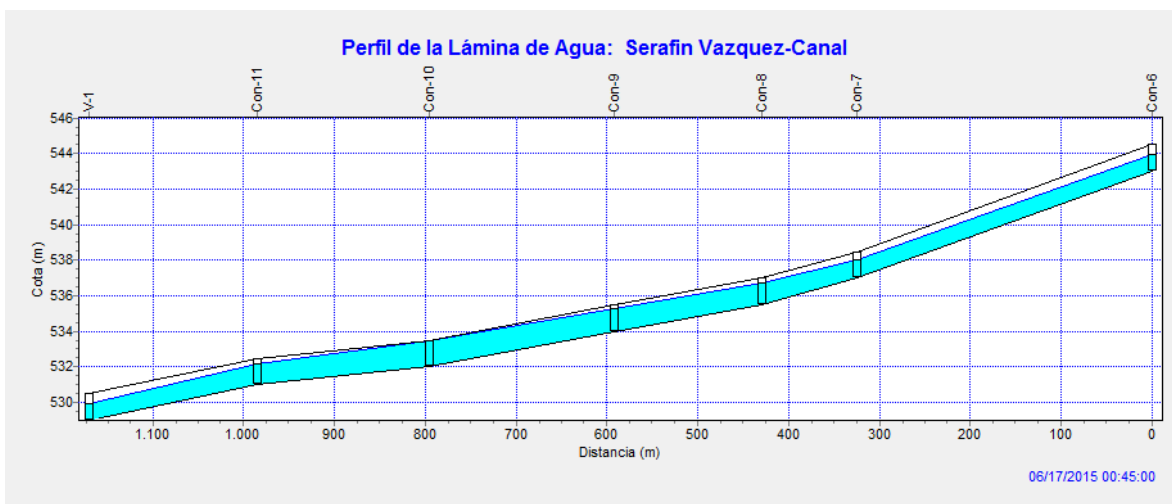


Calles	Tr, años	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
Sociedad de uniones Canal	100	8.71	1.32	2.19
	200	8.71	1.32	2.19
	2	5.53	0.77	2.4
	10	8.71	1.05	2.77
	50	8.71	1.05	2.77
	100	8.71	1.05	2.77
	200	8.71	1.05	2.77

**Tabla 4.2.9.33.** Parámetros de Canal Jalisco.



**Figura 4.2.9.14.** Canal Jalisco y puntos de análisis



**Figura 4.2.9.15.** Perfil de lámina de agua: Serafín Vázquez-Canal.



### Calle Leona Vicario

Calles	Tr, años	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
Josefa Ortiz de Dmgz. Vallarta	2	6.31	0.20	3.15
	10	9.21	0.25	3.75
	50	9.21	0.25	3.75
	100	9.22	0.25	3.75
	200	9.22	0.25	3.75
Vallarta-Cisne	2	6.24	0.23	2.71
	10	9.47	0.29	3.23
	50	9.49	0.29	3.23
	100	9.49	0.29	3.23
	200	9.5	0.29	3.23
Cisne-Clavel	2	5.84	0.30	1.92
	10	9.57	0.40	2.37
	50	9.59	0.4	2.38
	100	9.6	0.4	2.38
	200	9.6	0.4	2.38

Tabla 4.2.9.34. Parámetros Calle Leona Vicario

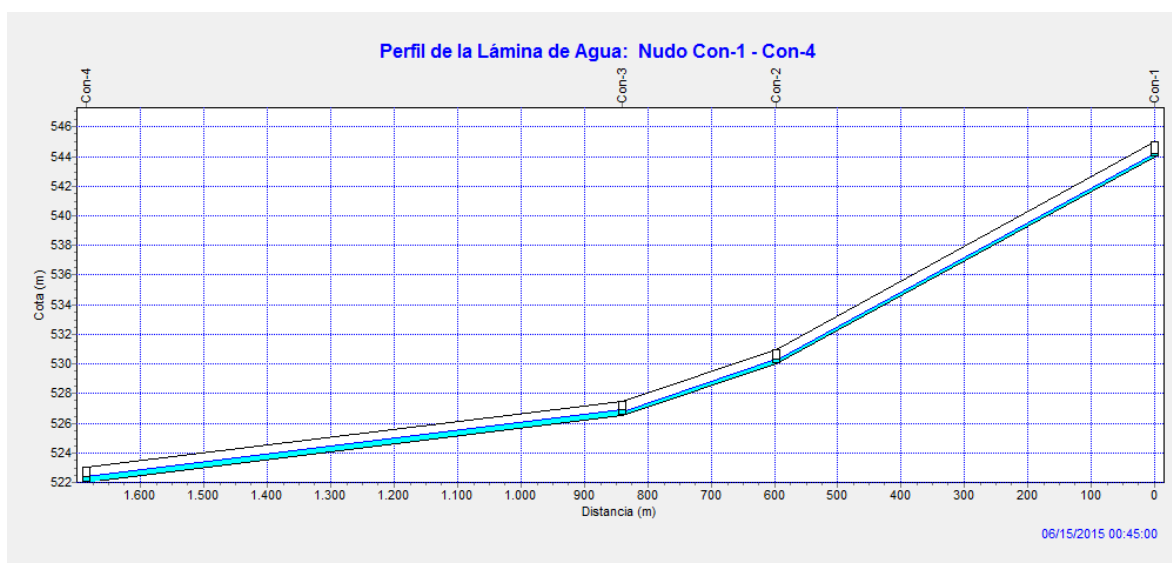


Figura 4.2.9.16. Perfil de lámina de agua en calle Leona Vicario

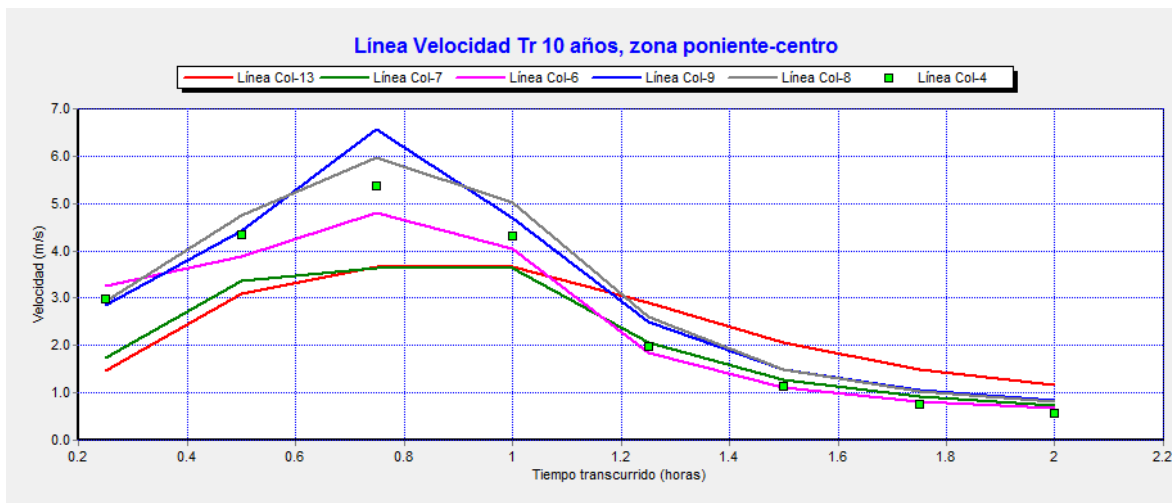


### Calle Emiliano Zapata

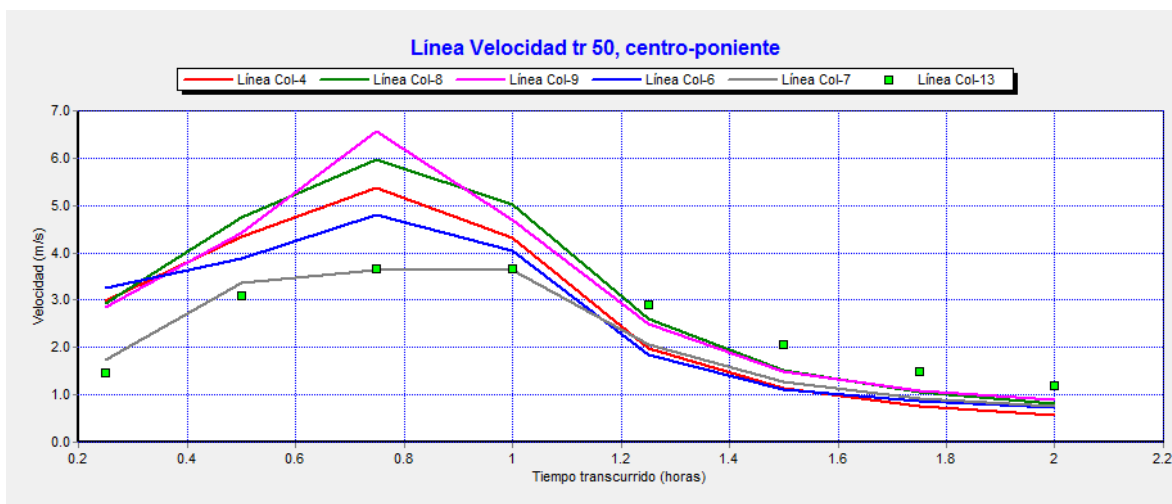
Calles	Tr, años	Caudal (CMS)	Nivel (m)	Velocidad (m/s)
Emiliano Zapata	2	6.21	0.58	1.06
	10	9.08	0.72	1.27
	50	9.08	0.72	1.27
	100	9.08	0.72	1.27
	200	9.08	0.72	1.27

**Tabla 4.2.9.35.** Parámetros de Calle Emiliano Zapata

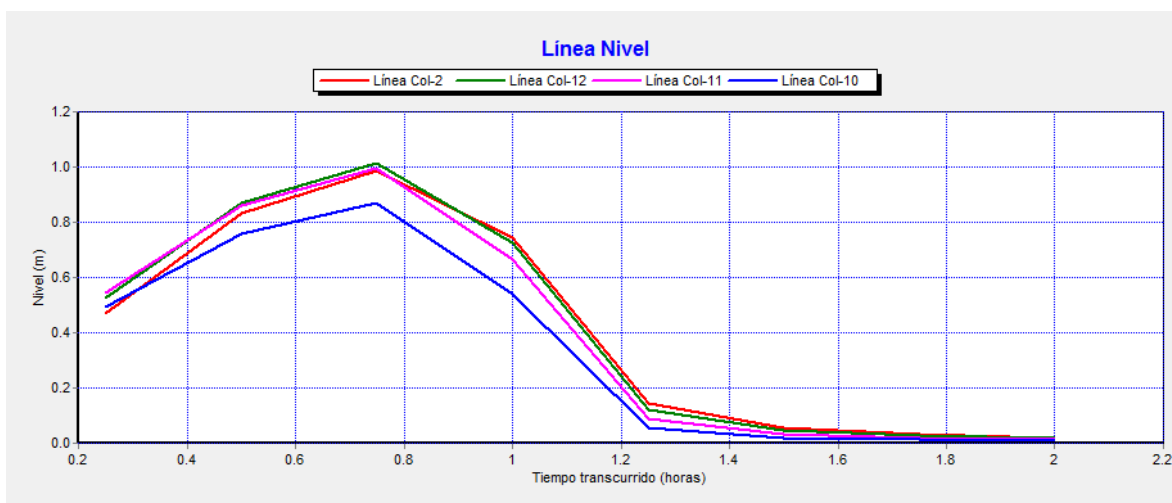
### Canal hidráulico Trapezoidal. Velocidad.



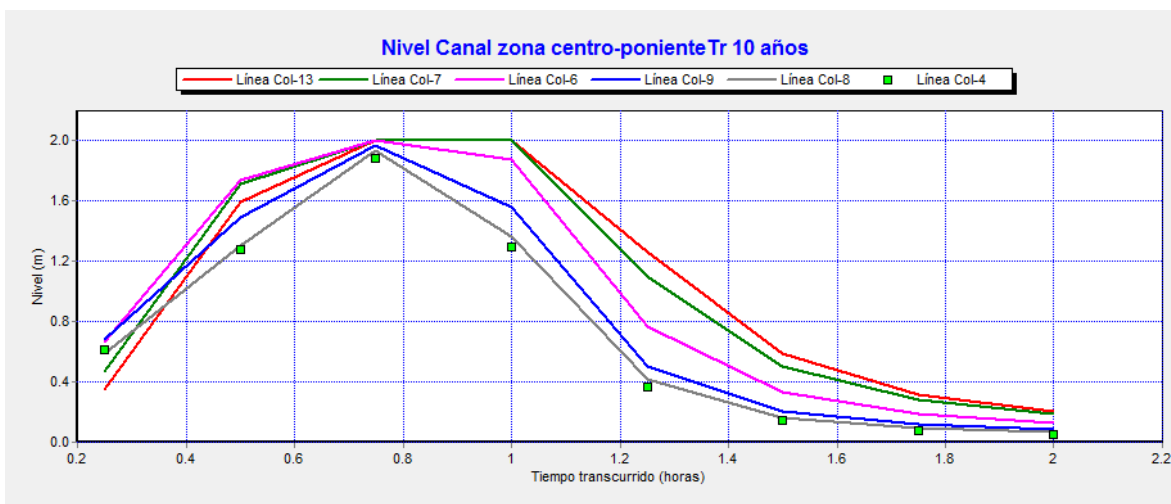
**Gráfica 4.2.9.3.** Velocidad Tr 10 años zona poniente-centro, canal trapezoidal.



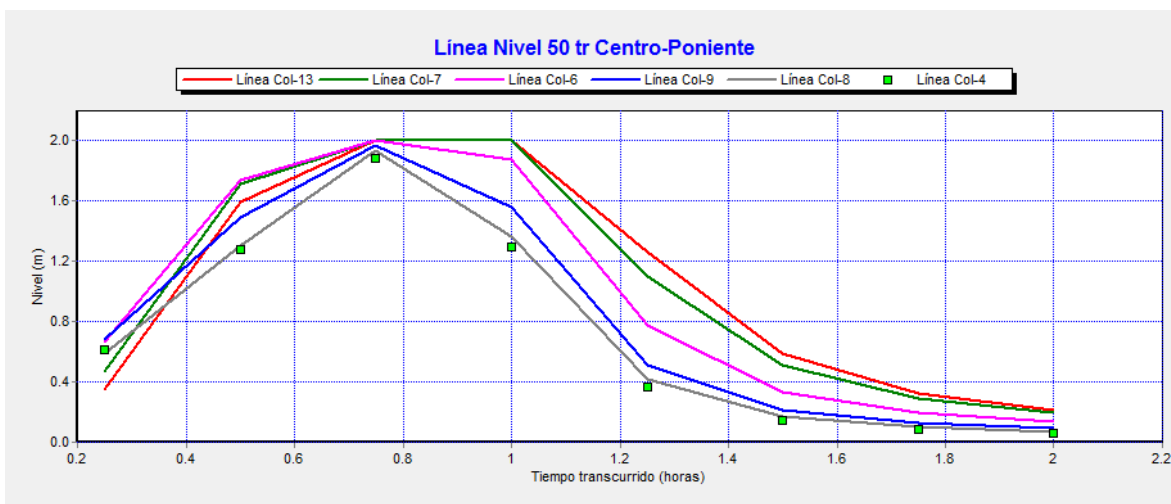
**Gráfica 4.2.9.4.** Velocidad Tr 50 años, tramo centro-poniente.



**Gráfica 4.2.9.5.** Tirante Tr 50 años, tramo centro-poniente.

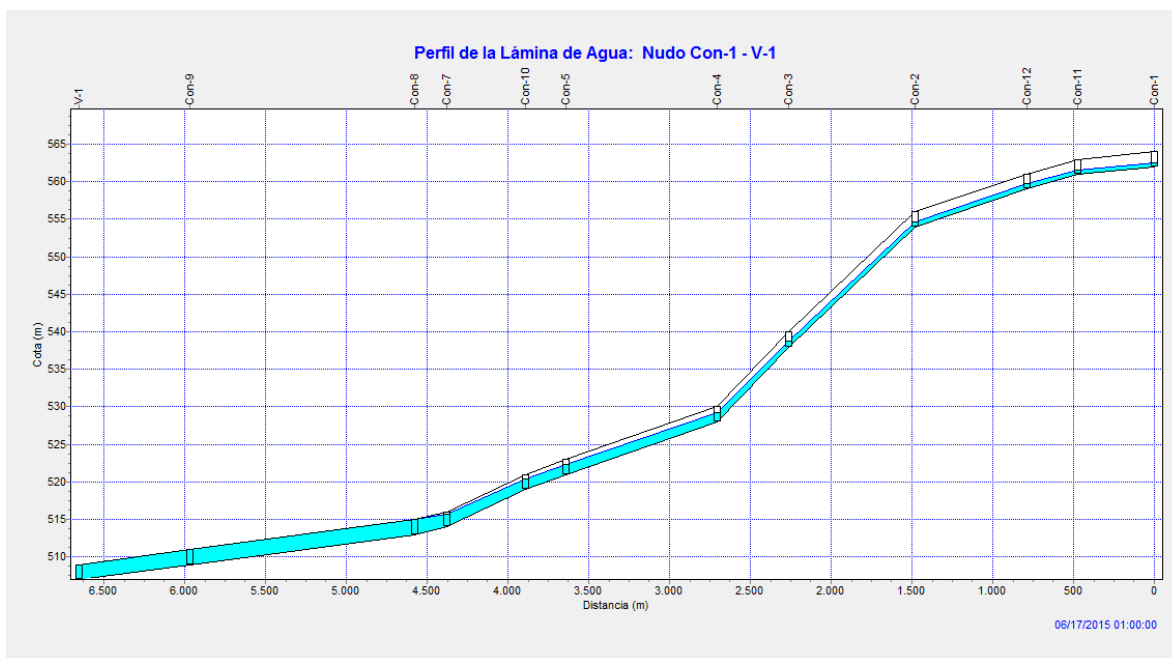


**Gráfica 4.2.9.6.** Nivel de agua en tramo de colector centro poniente 10 años.

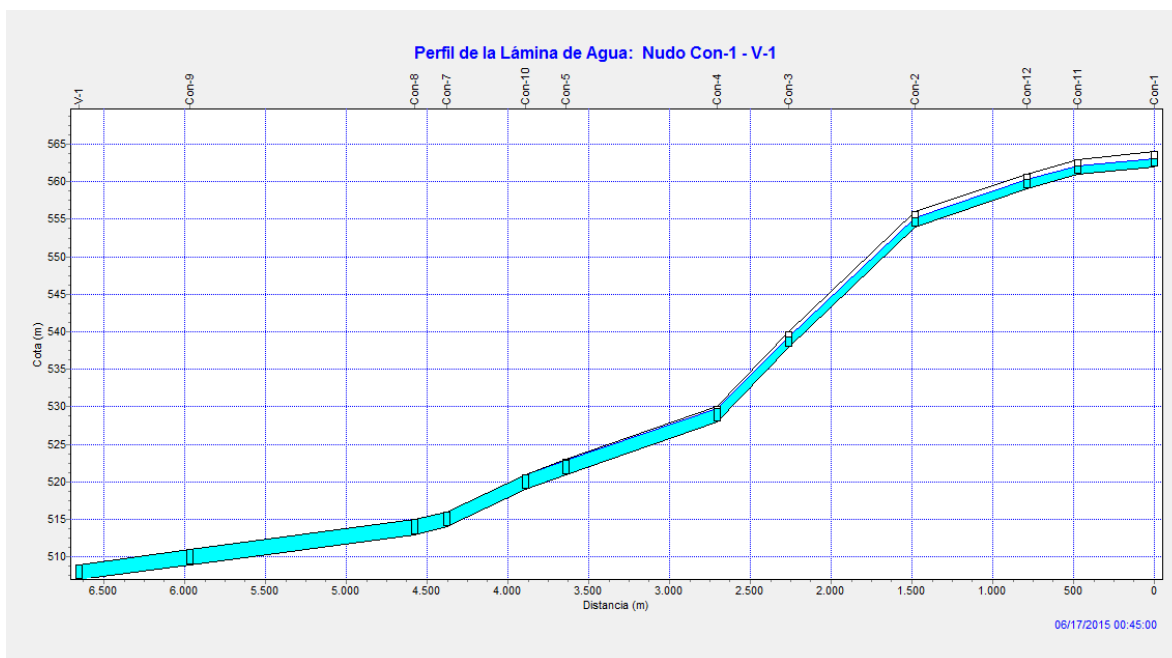


**Gráfica 4.2.9.7.** Tirante para Tr 50 años en sección centro-Poniente del colector trapezoidal





**Figura 4.2.9.17.** Perfil de lámina de agua en colector trapezoidal Tr 10 años.



**Figura 4.2.9.18.** Lámina de agua en canal trapezoidal Tr 50 años

### Análisis mediante Hec-Ras en modo estacionario de canal trapezoidal

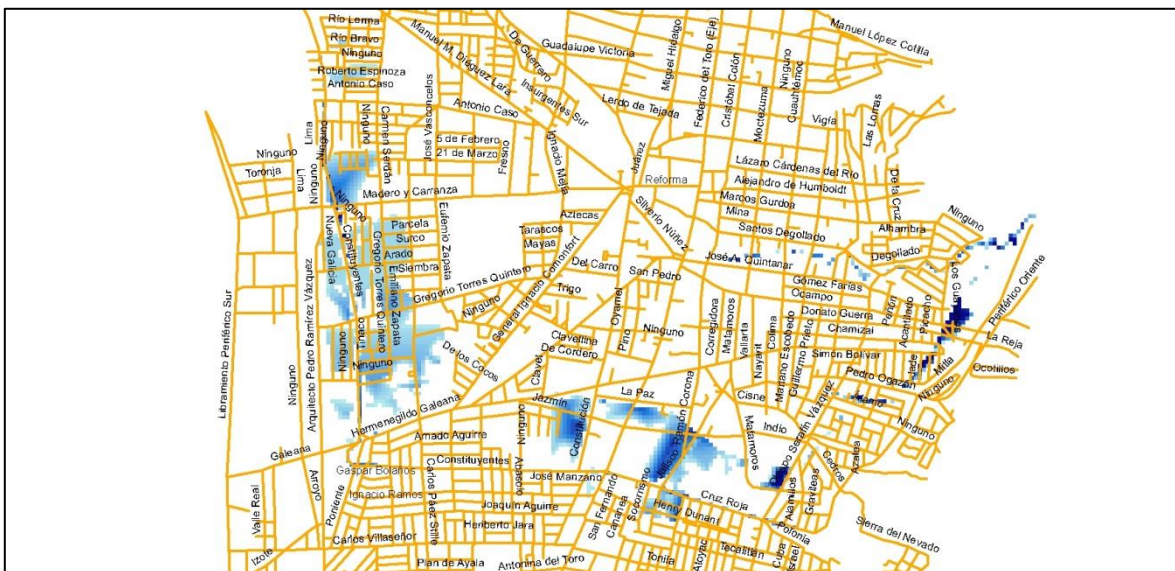
El resultado obtenido con este software, considerando caudales del canal Jalisco y el Canal de la Av. Galeana, muestra las zonas potenciales de sufrir inundación. Cabe hacer notar que el resultado es solamente indicativo y es susceptible de mejorarse siempre que se cuente con datos de campo para su calibración, tales como niveles y topografía del mismo canal. (Figura 4.2.9.19.).



**Figura 4.2.9.19.** Zonas de Inundación en la zona urbana

Los resultados obtenidos para los diferentes periodos de retorno muestra que las zonas inundables coinciden con los registros históricos: la zona del cruce del canal Jalisco con el canal hidráulico, prolongándose la inundación del otro lado del canal, con profundidades que pueden rebasar 2 metros.

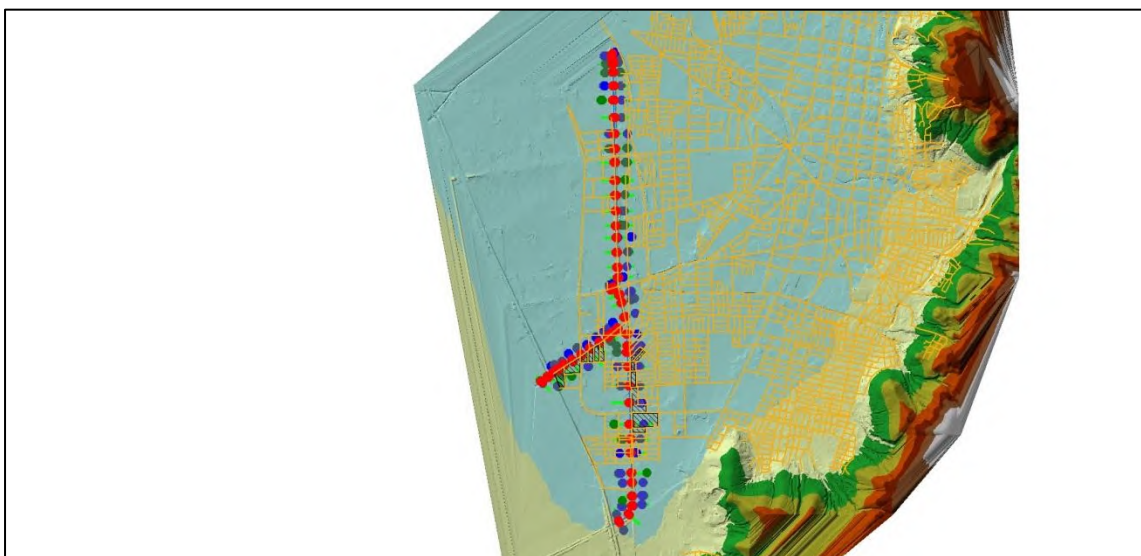
En la Calle Emiliano Zapata desde Villa Olimpica hasta Parcela, Carlos Pérez y Poniente, con profundidades de más de 2 metros. Así mismo las calles Del Nevado y La Laguna con las mismas profundidades. También, las calles de Roberto Esparza y Mercedes Madrigal. En el lado oriente la zona de las calles De Ocampo, De la Reja, Jade, Turquesa y Simón Bolívar, con zonas más reducidas pero con las mismas profundidades. Finalmente la prolongación del arroyo Los Guayabos hacia la zona urbana muestra posibilidades de alcanzar profundidades desde 0.46 a los 1.05 metros en zonas aisladas del mismo cauce. (Figura 4.2.9.20.).



**Figura 4.2.9.20.** Zonas susceptibles de inundación por canal hidráulico e insuficiencia de capacidad en red de alcantarillado

### **Posibles zonas de inundación provocadas por los cauces de los arroyos Capulín, Salto de Cristo y Poniente.**

Se analizaron el comportamiento hidrológico de los arroyos mencionados con el software Hec-Ras y Hec-GeoRas en régimen estacionario, ya que se trata de cuencas no aforadas. La zona analizada es cercana a la cabecera municipal, específicamente de la coordenada WGS84 UTM Z 13: (658988, 2175752) a (658918, 2180261): (Figura 4.2.9.15.)



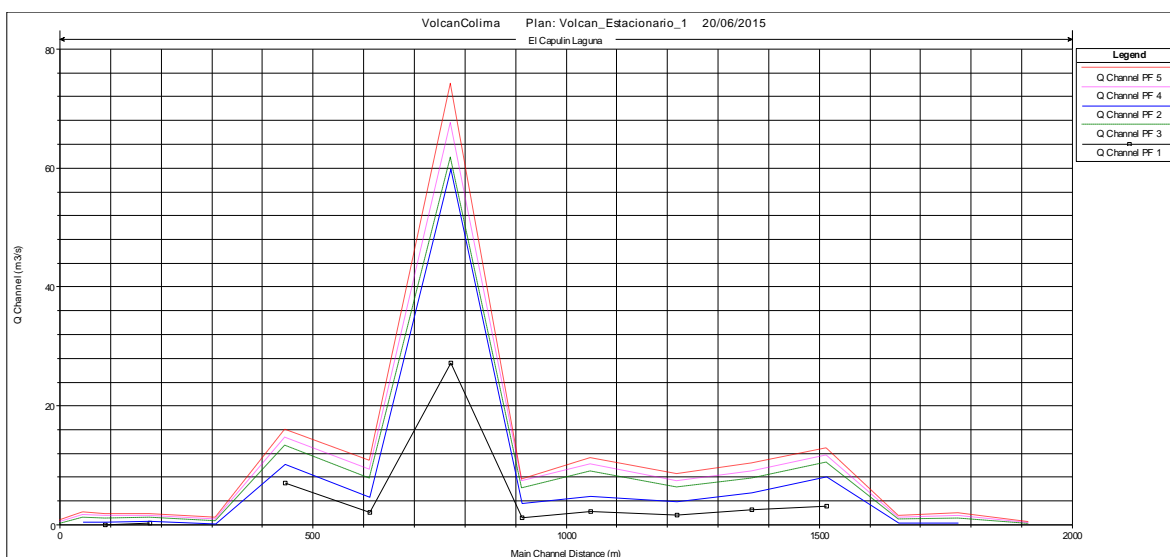
**Figura 4.2.9.15.** Esquema general de la simulación en HEC-GEORAS



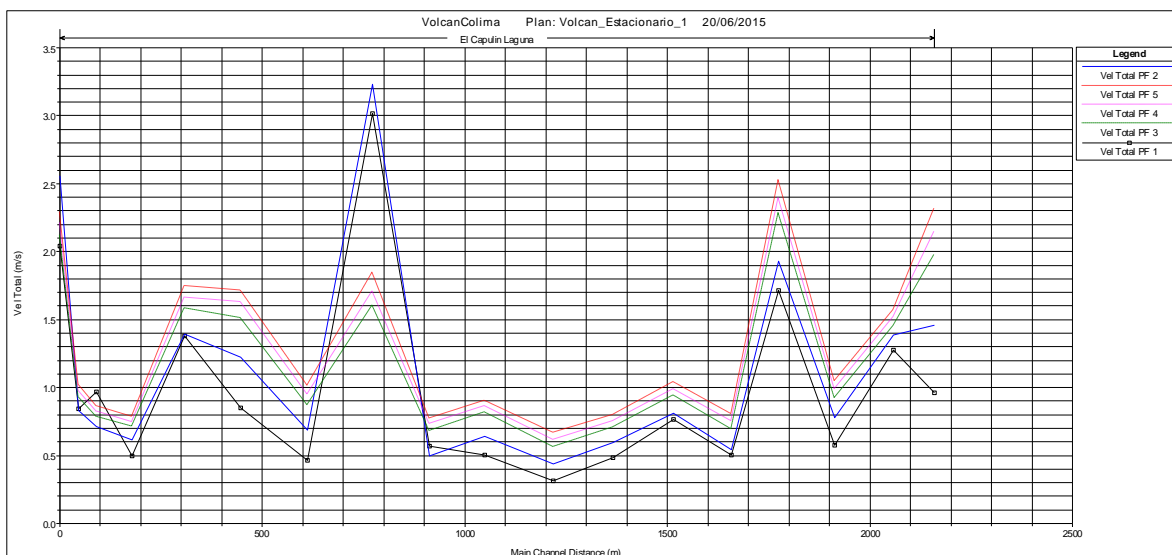
Las condiciones de la simulación y los resultados obtenidos en Hec-Ras, fueran las siguientes. (Tabla 4.2.9.36. y Gráficas 4.2.9.8., 4.2.9.9., 4.2.9.10., 4.2.9.11. y 4.2.9.12.).

Río	Rama	Tr2	Tr10	Tr50	T100	Tr200
El Capulín	Volcán	27.24	61.71	102.64	121.64	141.34
El Capulín	Centro	27.24	61.71	102.64	121.64	141.34
El Capulín	Laguna	27.24	61.71	102.64	121.64	141.34
Poniente		14.01	28.58	44.7	51.95	59.36
Salto de Cristo		17.21	38.43	63.83	75.68	88

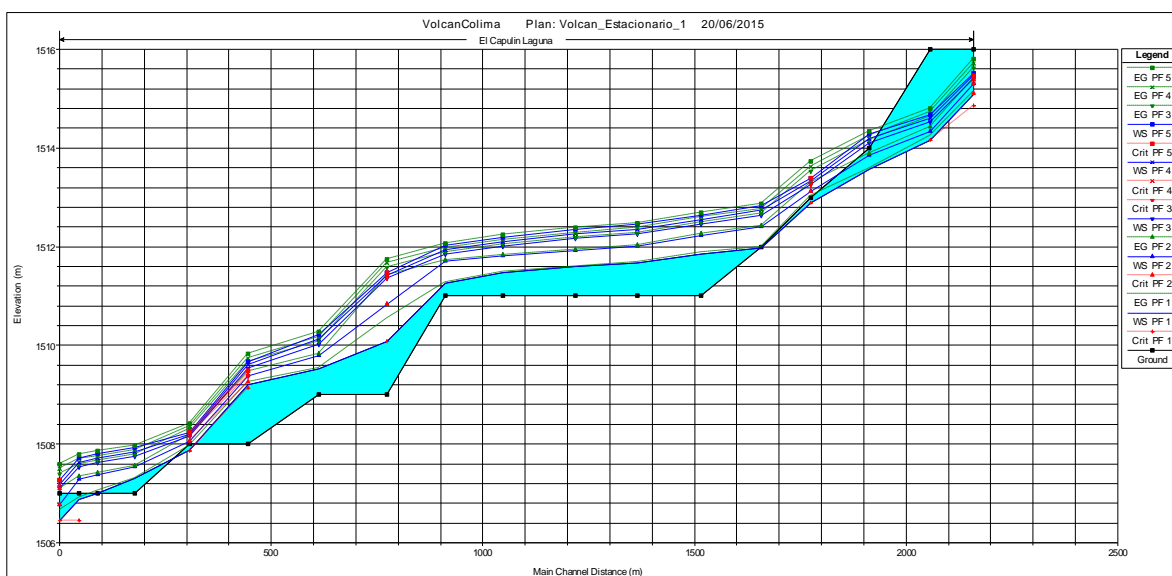
**Tabla 4.2.9.36.** Caudales pico para simulación en Hec-Ras



**Gráfica 4.2.9.8.** Caudal pico en Arroyo El Capulín para diferentes Tr



**Gráfica 4.2.9.9. Velocidades en Arroyo El Capulín para diferentes Tr.**

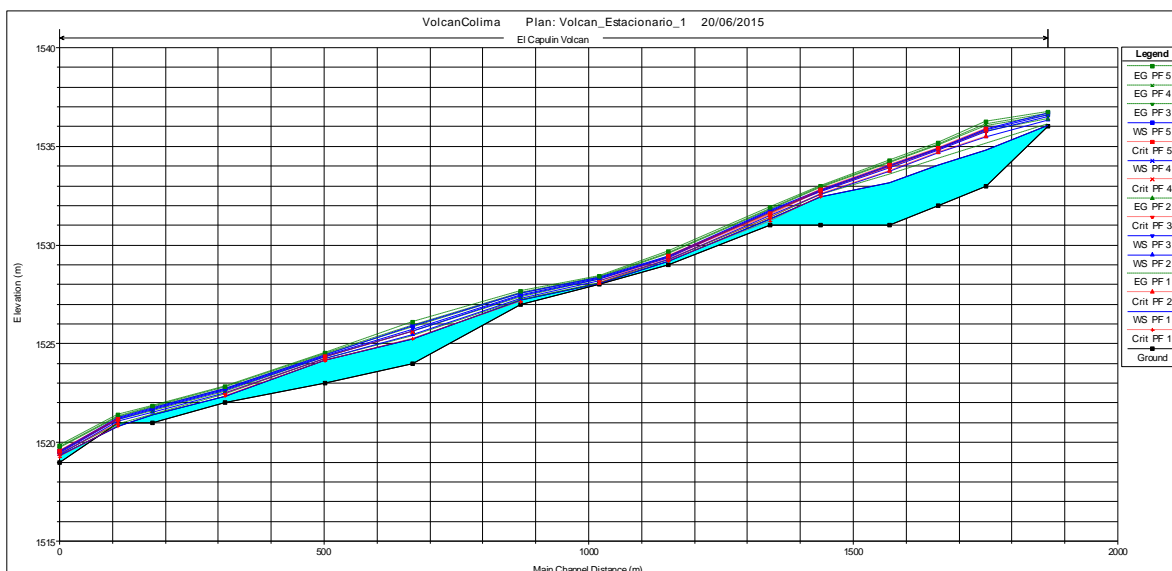


**Gráfica 4.2.9.10. Perfiles de superficie de agua arroyo El Capulín-Laguna**



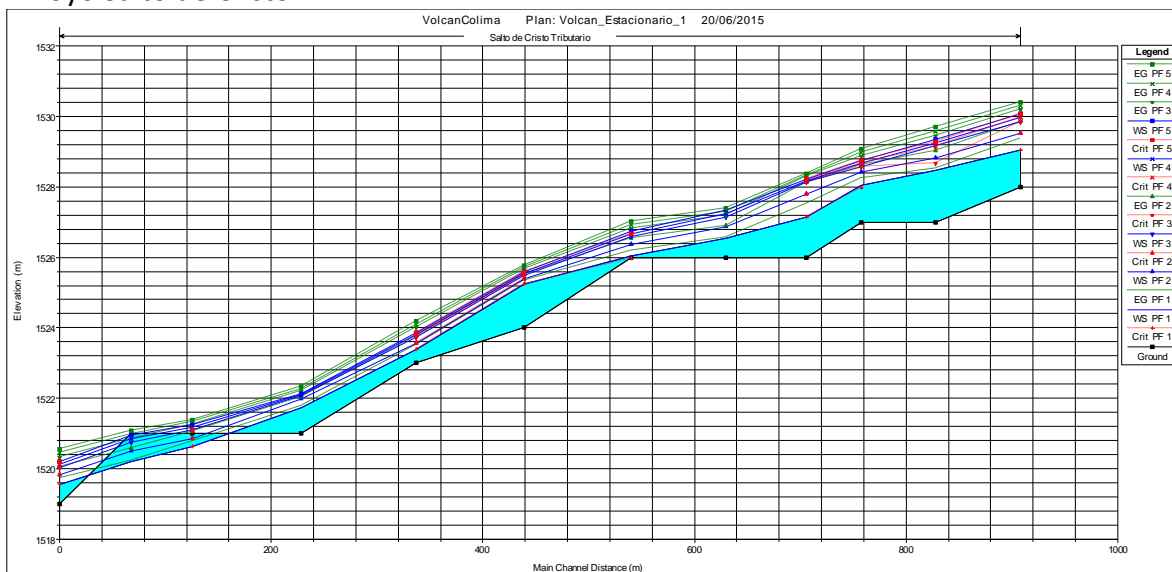


### Arroyo el Capulín, rama volcán.



Gráfica 4.2.9.11. Elevaciones de agua Arroyo El Capulín, lado Nevado.

### Arroyo Salto de Cristo



Gráfica 4.2.9.12. Elevaciones de superficie de agua en Arroyo Salto de Cristo

Una vez modelado se trasladó a HEC-GeoRas, los resultados de posibles inundaciones se muestran en la siguiente imagen, para los diferentes periodos de retorno.(Figuras 4.2.9.22., 4.2.9.23, 4.2.9.24.).



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRICOLA, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande



**Figura 4.2.9.22. Zonas de inundación Tr 10 años**



**Figura 4.2.9.23. Zonas de inundación Tr 50 años**



INSTITUTO DE  
INFORMACIÓN  
ESTADÍSTICA Y  
GEOGRÁFICA



**SEDATU**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO  
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

Periodo de retorno 100 años



**Figura 4.2.9.24.** Zonas de inundación Tr 100 años





## **Bibliografía**

- **Allan, J. 1986.** Geology of the Northern Colima and Zacoalco Grabens, SW México: Late Cenozoic Rifting in the Mexican Volcanic Belt. Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 97.
- **Arreola, J.M., 1915.** Catálogo de las erupciones antiguas del Volcán de Colima. *Memorias de la Soc. Antonio Alzate*, tomo, 32: 443-481.
- **ASA, 1982.** Soil erosion and conservation in the tropics. Special publication No. 43. USA.
- **Atkinson, G., 1984.** Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. *Earthquake Spectra*, 1 (1): 107-123.
- **Audemard, A. y De Santis, F., 1991.** Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. *Bulletin International Association Engineering Geol.*, nº 44: 4-16.
- **Bárcena, M., 1887.** Informe sobre el estado actual del volcán de Colima. *Anales del Ministerio de fomento de México*.p. 328-365.
- **Barrera, D. , Gutiérrez, C., Mondragón, J., Pérez, G. Rosas, J. y Zárate, P. 1995.** Estudio geológico y estructural, hidrológico y sísmico de Ciudad Guzmán, Jalisco, Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad de Guadalajara.
- **Bodenbender, G., 1894.** El terremoto argentino. Del 27 de octubre de 1894. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba. Tomo XIV: 293-329.
- **Breton, 2002.** Summary of the historical eruptive activity of Volcan de Colima, M.xico 1519-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V.117, p. 21-46.
- **Bufaliza M. A., 1984.** Atenuación de intensidades sísmicas con la distancia en sismos mexicanos. Tesis de Maestría. División de estudios de posgrado. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- **Cenapred, 1994.-** Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.
- **Cenapred, 2001.** Inestabilidad de Laderas. Serie Fascículos.
- **Cenapred, 2005-** Tsunamis. CENAPRED, Fascículo No. 12.



- **Colegio de postgraduados, 1977.** Manual de conservación del suelo y agua. Chapingo, Méx.
- **Comisión Federal de Electricidad, 1993.-** Manual de diseño de obras Civiles. Diseño por Sismo. Sección C, Tomo 2, Tema 1, Cap. 3.
- **Courboux, F., S.K. Singh, J. F. Pacheco and C. J. Ammon, 1997.** The 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquakes ( $M_w = 8.0$ ): A Study of the rupture process. *Geophys Res. Letter.* 24(9): 1019-1022.
- **Corapcioglu, M.Y., 1984.** Land subsidence a state of the art review. *Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media.* En: Bear and M. Y. Corapcioglu (Ed.), *NATO ASI Series E.82*, Martinus Nijhoff Publishers, 369-444
- **Cruz, H. A.G, 1996.-** Evaluación preliminar de los riesgos naturales de Ciudad Guzmán, Jalisco. Universidad de Guadalajara. CUCBA. División de Ciencias Biológicas y Ambientales. Tesis
- **Cuanalo O. y Melgarejo G. 2002.** Inestabilidad de laderas Sierras Norte y Nororiental del estado de Puebl. Universidad Autónoma de Puebla.
- **Cuanalo O, Oliva A y Flores C. 2005.** Factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos de laderas en las Sierras Norte y Nororiental de Puebla, México. *Memorias del VI Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables.* Valencia, España.
- **Cuanalo, O., Oliva, A. y González, C. 2007 .**Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *Revista IngeoPress* 164 . 38-44.
- **De La Cruz S., 1993.** The historical eruptive activity of Colima Volcano, Mexico. *Journal Volcanology and Geothermal Research*, v. 55, p. 51-68.
- **Delgado V.M.A. Y Vázquez R.R., 1992.** Sexto Informe Técnico sobre Monitoreo Sísmico del Río Santiago. Inédito. C.F.E.
- **Delgado, M.A., 1994.** Informe Sismotectónico Preliminar P.H. El Cajón, Nayarit; Informe Interno, Inédito. C.F.E.
- **Delgado Vázquez M.A., 1995.** Zonificación Sísmica para la zona urbana de Guadalajara. Tesis. Licenciatura U.N.A.M. Inédito.





- **Delgado, M.A., Sánchez, A. E., Vázquez, R. R., Malagón, M. A. 1997.** Informe del Riesgo Sísmico P.H. Vallarta, Estado de Jalisco. Informe, Interno, Inédito. C.F.E.
- **De Pablo A. 1996.** Ingeniería Ambiental: Contaminación y Soluciones. Editorial Alfaomega. México.
- **Dolfus, A., Monserrat, E., 1867.** *Archive de la commission scientifique du Mexique* Ministère de L'instruction Publique., tomo III: 7-55
- **Eissler H. Y McNally K., 1984.** Seismicity and tectonics of Rivera Plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico. Earthquake. J. Geophys. Res. Vol. 89, pp 4520-4530. Eissler y McNally, 1984.
- **Escobar C., 2001.** La degradación de las laderas urbanas y su relación con la pobreza. *Revista Electrónica Luna Azul*  
[http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)
- **Fernández, L. A., A. R. Crumley, 2007.** Estudio del riesgo de licuación para la represa de Río Blanco. Comparación entre metodologías existentes. Geoconsul, Inc.- Geotechnical Engineers, Puerto Rico.
- **Farreras, S. F., and A. J. Sánchez, 1987.** Generation, wave form and local impact of the September 1985 Mexican Tsunami. Science of Tsunami Hazard, 5(1): 3-13.
- **Ferrari L., J. Rosas-Elguera, 1994.** Structure, Kinematics and rate of deformation of the Tepic-Zacoalco Rift, Western, EOS.
- **González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. 2002.** *Ingeniería Geológica*. Ed. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- **Galván Ortiz, L. M. 2007.** *Aplicación del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en la detección de sequías históricas en México (1920-2000)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.
- **García J.F., Fuentes M.O., Matías R.L.G. 2014.** *Sequías*. México: CENAPRED.
- Organización meteorológica mundial (2012) *Índice Normalizado de Precipitación, Guía del usuario*. Ginebra, Suiza.
- **Guanca, A.V. 2010** "Determinación de la Erosión Hídrica de los suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo- Salta"



- **Gutiérrez, Martínez, C. A. 2014.-** Análisis cuantitativo de eventos sísmicos registrados en Ciudad Guzmán, Jalisco con fines de evaluación de efecto de sitio. Instituto de Geofísica. Sismología y Física del Interior de la Tierra.
- **Guzmán R. A, C., 2013.** Estudio Geofísico a lo largo de la traza de falla geológica que afecta a Ciudad Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, estado de Jalisco. Unidad estatal de protección civil y Bomberos, Comandancia Regional de Ciudad Guzmán.
- **Guzmán, A, C, 2013.** Estudio geofísico a lo largo del trazo de la falla geológica que afecta a Ciudad Guzmán Municipio de Zapotlán el Grande, Estado de Jalisco. Exploraciones Geofísicas. Guadalajara, Jalisco
- **Hernández C.M.E., Azpra R.E., Carrasco A.G., Delgado D. O., Villicaña C. F. 2001.** *Los Ciclones tropicales de México I.6.1.* México: Plaza y Veldez.
- **Herrera Alanís José L., 2012.** *Análisis de las Olas de Calor en la República Mexicana.* Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.
- **Herrera G., Tomás, R., López-Sánchez, J.M., Delgado, J., Mallorequí, J.J., Duque, S. y Mulas, J. 2007.** Advanced DInSAR analysis on mining areas: La Union case study (Murcia, SE Spain). *Engineering Geology*, 90, 148-159.
- **Hungr O., J. Corominas and E. Eberhardt 2001.** Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity
- **Ibáñez Rosales, A. 2011.** *Análisis Estadístico de Valores Extremos y Aplicaciones.* Trabajo de Investigación. Universidad de Granada. Granada. España.
- **IIEG, 2015.** Geomorfología del municipio de Zapotlán El Grande, Jalisco, Méx.
- **INPRES 1993.** La verdadera dimensión del problema sísmico en la provincia de San Juan. Publicación Técnica Nº 18, 46 pp. San Juan. La Unión (1894).Diario de la tarde. San Juan. Año XVI, Nros. 2 al 20 de noviembre de 1894.
- **Jiménez E, M.M., Ramírez .L.G., García J., F., Vázquez C.M.T., Mendoza E.D.R., Renner, S. 2006.** Capítulo III en *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos.* MEXICO: CENAPRED.
- **Jiménez E.M.M., Ramírez, L.G., Fuentes M.O., Prieto G.R. 2014** (versión electrónica) *Ciclones Tropicales.* México: CENAPRED.



- **Koseki, Junichi. Matsuo, Osamu.1997.** Third Asian Young Geotechnical Engineers Conference 1997. Institute of Industrial Science, University of Tokio and Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan
- **Lazcano, D, del C., S., 2013.** Estudio de escalonamiento en el terreno a lo largo de un trazo. Unidad estatal de protección civil y Bomberos, Comandancia Regional de Ciudad Guzmán.
- **Lazcano Días del Castillo Salvador, 2013.** Estudio del escalonamiento del terreno a lo largo de un Trazo. SUELO-ESTRUCTURA. Consultoría Geotécnica y Sísmica.
- **Leopold, L.B. Wolman, M.G. and Miller J.P. 1964.** Fluvial Processes in Geomorphology. 522 p
- **Lobeck, A.K. 1939.** Geomorphology. McGraw-Hill, 731 p
- **Luhr, J.F. and Carmichael, I.S.E., 1990.** Geology of Volcán de Colima Universidad Nacional Autónoma de México, *Instituto de Geología. Boletín 107.* Mexico DF.
- **Macías, J. L. 2005.** Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Departamento de Vulcanología. Instituto de Geofísica. UNAM.
- **Macías, J. L. y Capra, L. 2005.-** Los volcanes y sus peligros: Situación actual en México y Latinoamérica. Fondo de Cultura Económica, 132 p.
- **Maciel, R., 1994.** Estudio Geológico en apoyo al ordenamiento ecológico de la cuenca de la Laguna de Zapotlán, UDG. México.
- **Malagón M. A., 2004.-** Catálogo de sismos Instrumentales ocurridos en el estado de Jalisco. Instituto de Ingeniería Sísmica, Universidad de Guadalajara.
- **Malagón M. A.,2004.-** Catálogo de sismos históricos ocurridos en el estado de Jalisco. Instituto de Ingeniería Sísmica, Universidad de Guadalajara.
- **Malagón M. A. y Lopez, E., 2006.-** Ley de atenuación de Intensidades sísmicas con la distancia para sismos ocurridos en el estado de Jalisco. Instituto de Ingeniería sísmica. Universidad de Guadalajara.



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

- **Malagón, M. A., 2009.-** Estimación del Peligro sísmico para el Atlas de Riesgos del Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit. Instituto de Ingeniería Sísmica. Universidad de Guadalajara.
- **Manteca, J. I. y Ovejero, G. 1992.** Los yacimientos Zn, Pb, Ag - Fe del distrito minero de La Unión - Cartagena, Bética Oriental. Recursos Minerales en España, ed.). CSIC, 5: 1085-1102.
- **Mendez, Matias. V. 2010.** Regional Aspects of Prolonged Meteorological Droughts over Mexico and Central America. En *Journal Of Climate*, Vol. 23. Recuperado el 10/05/2015, Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JCLI3080.1>
- **Matías R.L.G. y Fuentes M.O.A., García J.F.2001.** *Heladas*. México: CENAPRED.
- **Matías Ramírez, L.G.2014.** *Actualización del índice de riesgo por ondas de calor en México*. México: CENAPRED.
- **Martín Del Pozzo, A. L., Romero, V. H. Ruiz – Kitcher. R. E.,1987.** Los flujos piroclásticos del Volc.n de Colima. México, *Geofísica Internacional*, 26-2: 291-307.
- **Martín Del Pozzo, A. L., Sheridan, M.F. and Barrera, D., Hubp,**
- **J.L. Vázquez, L., 1995.** Mapa de peligros, Volcán de Colima. *Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México*, México DF.
- **Montiel González Y, Loaiza C y Gouveia E. 2008.** Inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín, Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. Vol. 24, julio-diciembre (2008).
- **Mosiño P.A., García E. 1968.** *Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana*. Instituto de Geografía (UNAM), Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- **Naranjo Toledo Raúl. 2011.** *Análisis regional de frecuencia mediante el método de los I-momentos En las regiones de Valparaíso y metropolitana para la generación de Cartografía probabilística de sequía meteorológica*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- **Navarro, C., A. Cortés, A., y A. Téllez, 2003.** *Mapa de peligros del Volcán de Fuego de Colima*. Universidad de Colima, México.



- **Nishio, N. 1994.** Journal of Pressure Vessel Technology. Damage Ratio Prediction for Buried Pipelines on the Deformability of Pipelines and the Nonuniformity of Ground. Vol. 116. Tokyo, Japan.
- **Nishio, N. 1997.** Earthquake Eng., JSCE, Vol 14, No 1. Mechanism of Pipeline Failures Caused by Soil Liquefaction During The Nihonkai-Chubu Earthquake. Japan Society of Civil Engineers.
- **Nuñez-Cornu, F. y M. Rutz 2004.-** Sismotectónica del Norte y Oeste del Bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales. Centro de sismología y vulcanología de Occidente. Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- **Nuñez, Cornú , F, J. 2011.** Peligro sísmico en el Bloque de Jalisco, México. Centro de Sismología y Vulcanismo de Occidente, Universidad de Guadalajara. Puerto Vallarta, Jalisco.
- **Nuñez, Cornú F.J., Suárez, P. C., Escalona A. F., Rutz, L. M., Díaz T. J., Elizalde T. K., 2005.** Atlas de Riesgos. Primera Fase, Modulo II. Ayuntamiento Constitucional de Zapotlán el Grande
- **Obermeier, S., 1994.** Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. En: Using ground-failure features for paleoseismic analysis (Ed. Obermeier, S. y Jibson, W.) Geological Survey Open-File Report, 94-633: A1-A98.  
-Youtube, Wikipedia.
- **Okal E. A., Borrero J. C., 2011.** The tsunami earthquake of 22 June 1932 in Manzanillo, México: seismological study and tsunami simulations, Geophys, J. Int. 187, 1443-1459.
- **Ortiz, S.G., 1994.** La zona volcánica "Colima" del Estado de Jalisco. *Monografía del Instituto de Geografía de la Universidad de Guadalajara*, 44 p.
- **Pacheco J., Singh, S.K., Domínguez, J., Hurtado, A., Quintanar, L., Jiménez, Z., Yamamoto, J., Gutiérrez, C., Santoyo, M., Guzmán, M., Kostoglodov, V., Reyes, G. and Ramírez, C., 1997.** The october 9, 1995 Colima-Jalisco, earthquake (Mw 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932, Geophys. Res. Lett., 24, 2223-2226.
- **Peligro Sísmico Mexicano, 2004.** Sistema de Información Geográfica, para obtener el Peligro Sísmico de México. Patrocinado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas, noviembre, 2004.





- **Prieto G.R., Avendaño G.M.A., Matías R.L.G., Eslava M.H., 2014.** *Tormentas Severas*. México. CENAPRED.METED COMET, (2014) El GLM del GOES-R: introducción al sensor de rayos geoestacionario. Consultado 02/06/2015.
- **Prokopovich, N.P. 1979.** Genetic classification on land subsidence. En: Saxena, S.K. (ed.). Evaluation and prediction of subsidence. *Proc. of the Int. Conf.*, Pensacola Beach, Florida, January 1978, Am. Soc. Civil Eng., New York, 389-399.
- **Raymundo V. G.** “Uso de SIG para el diagnóstico integral de cuencas hidrológicas” Universidad de Guadalajara, 2013.
- **Rentería G.S.A., Martínez A.J., Sanz R.R., 2015.** *Reclasificación de huracanes en Sinaloa, México, por vientos y Precipitación asociada al riesgo por inundaciones*, Revista Digital Tlaloc, No. 67, abril-junio del 2015.
- **Reyes Chávez, L. 2001.** *Análisis Regional de sequías*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. México.
- **Reyes, G. V., Monzalvo, H.,J., Dominguez, G. J., 2006.-.** Estudios Sismotectónicos del P.H. La Yesca. Inédito, CFE
- **Rodríguez-Elizarraraga, S.R., Siebe, C., Komorowski, J.C., Espindola, J.M., and Saucedo, R., 1991.** Field observation of pristine block-and-ash-flow deposits emplaced April 16-17, 1991 at Volc.n de Colima, M.xico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48:399-412.
- **Rodriguez-Estella, T., Manteca, J. L. y García, C. 2000.** Subsistencia minera, en relación con sismotectónica, en La Unión (Murcia). *Geotemas* 1, 150-153.
- **Rosas J., Nieto J. AND Urrutia J., 1993.** Ambiente estructural en la frontera norte del Bloque Jalisco, in: Delgado L., and Barajas M., eds. Contribuciones a la tectónica del Occidente de México; Unión Geofísica Mexicana. Vol.1,p 175-192.
- **Rosenblueth, E., y M. Ordaz, 1987.** Use of seismic data from similar regions. *Earthq. Engnrng Dyn.*, 15, 619-634.
- **Rosengaus M.M., Jiménez E.M., Vázquez C.M.T. 2002.** *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. México: CENAPRED.



- **Rutz, L. M. 2004.** Microsismicidad del noroeste del Bloque de Jalisco (México). Aplicación a la Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica de la Zona. Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada (España). Universidad de Guadalajara (México).
- **Sánchez-Devora, A. J., 1980.** Tsunamis en la costa occidental de México. Tesis de maestría, CICESE, Ensenada, México.
- **Sánchez, A. J., and S. F. Farreras, 1988.** Tsunami threat to the mexican Pacific Ocean coast-Summary, Proc. 1987. Intern. Tsunami Symp., I.U.G.G., E. N. Bernard (ed), NOAWMEL, Seattle, WA. : 215-219.
- **Sánchez Devora, A. J., y S. F. Farreraz Sanz, 1993:** Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México. World Data Center A for Solid Earth Geophysics Publication SE 50.
- **Sánchez D., A. J., S. F., Ferreras S. 1993.** Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México (Catalog of tsunamis on the Western coast of Mexico) Worl Data Center A Pub. SE-50, U.S. Dept. of Commerce, Boulkder. Co, 79.
- **Santana, T. E., 2002.-** Geología del Complejo Volcánico San Miguel, al Sur Poniente de la Cuenca de México, Tesis de Licenciatura UNAM, 40 p.
- **Sartorius, C., 1869.** Eruption of the volcano of Colima in June 1869. *Smithsonian Report*, pp. 423.
- **Saucedo, G.R., 1997.** Reconstrucción de la erupción de 1913 del volcán de Colima: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, *Tesis de Maestría*, 185p.
- **Saucedo, R., Macias, J.L., Bursik, M.I., Mora, J.C., Gavilanes, J.C., Cort.s, A., 2002.** Emplacement of pyroclastic flows during the 1998-1999 eruption of Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 177, p. 129-153.
- **Scott, R.F. (1979).** Subsidence – A review. En: Saxena, S.K. (ed.). Evaluation and prediction of subsi-dence. *Proc. of the Int. Conf.*, Pensacola Beach, Florida, January 1978, Am. Soc. Civil Eng., New York, 1-25



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

- **SEMARNAT, 2007.** Gaceta ecológica “La conservación de suelos: un asunto de interés público” Cotler *et al.* Distrito federal, México. (83)
- **Servicio Geológico Mexicano, 2007.** Visita de inspección a zonas de riesgo geológico en Cd. Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Estado de Jalisco.
- **Servicio Sismológico Nacional, 2015.** *Sismicidad ocurrida en el territorio nacional en el periodo 1900-2015*, Instituto de Geofísica UNAM, México.
- **Sheridan, M.F., Macías, J.L., 1995.** Estimation of risk probability for gravity-driven pyroclastic flows at Volcan Colima, M.xico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 66, 251-256.
- **Singh, S.K., Ponce, L. and Nishenko, S.P. 1985.** “The great Jalisco,Mexico, earthquakes of 1932: subduction of the Rivera plate. *Bull.Seismol. Soc. Am.* Vol. 75, 1985, pp 1301-1313.
- **Singh, S. K., M. Rodríguez and J. M. Spindola, 1988.** A catalog of shallow earthquakes of Mexico, 1900-1981. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 74 ,, 267-279.
- **Singh S.K. V. Kostoglodov, . F. Pacheco 2000.** Interslab earthquakes in the subducting oceanic plates below Mexico. *GEOS* Vol. 20, No. 3, p. 347.
- **Skinner, B.J. & Porter, S.C., 1992.** The Dynamic Earth: an introduction to physical Geology, II edition, John Wiley & Sons, Inc. New York. 570 p.p.
- **Snyder R.L., De Melo-A.J.P., 2010.** *Protección contra las Heladas: Fundamentos, Práctica y Economía, Volumen 2.* ROMA: FAO.
- **Suárez Plascencia, C., y Martín del Pozzo, A.L., 1989.** Volcanic Risk at Colima Volcano: Economic and Geographic Aspects. *Continental Magmastidm Abstracts. IAVCEI Bull.* 131:260.
- **Thorpe, R. S., Gibson, I. L., and Vizca.no. J. S., 1977.** Andesitic pyroclastic flows from Colima Volc.n o: *Nature*, v. 265,p. 724-725.
- **Tomás, R. 2009.** *Estudio de la ciudad de Murcia mediante Interferometría SAR diferencial avanzada.* Tesis doctoral. Universidad de Alicante. 480 pp.
- **Tomás, R., Herrera G., Delgado, J., y Peña, F. , 2009.** *Subsidencia del terreno*



- **Topete P. Á.** Artículos científicos “Diagnostico de una microcuenca” Universidad de Guadalajara, 2013.
- **Torres-Sánchez, H. 2010** ¿Qué Rayos Sabemos? En REV. ACAD. COLOMB. CIENC.: Volumen XXXIV, Número 131-junio de 2010. Recuperado 31/07/2015. Disponible en: [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_34/131/193-208.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_34/131/193-208.pdf)
- NMX-J-549-ANCE-2005, (2005) *Sistema de Protección contra tormentas eléctricas - Especificaciones, materiales, métodos de medición*. ANCE, A.C. D.F. MÉXICO.
- **Twiss, J. R. and Moores, M. E. 1992.-** Structural Geology. Ed. W. H. Freeman. First Edition.
- **USGS,2009.** ISOLS- *Internacional Survey on Land Subsidence*. Base de datos de ejemplos de subsidencia en el mundo: <http://isols.usgs.gov>
- **Valiente Óscar M. 2001** Sequia: definiciones, tipología y métodos de cuantificación. En *Investigaciones Geográficas (Esp) julio-diciembre, num. 26*, Universidad de Alicante, Alicante, España.
- **Varnes, D. J. 1978.** Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- **Vélez, A. 1992.** Degradación del Medio Ambiente. Omega Ediciones. España
- **Vélez, F. F., A. Meléndez y H. García 2007.** Algunas consideraciones política agropecuaria. Universidad Iberoamericana, México.
- **Vizcaíno, J. Crónicas de Zapotlán de 1543 a 1985.** Historia de los temblores. Archivo Municipal de Ciudad Guzmán, 1985.
- **Vizcaino,J. 1991.** Semblanzas del Volcán " El Colima". Archivo Municipal. Cd. Guzmán, Jalisco.
- **Waitz, P., 1915.** El estado actual de los volcán es de México y la última erupción del Volcán de Colima (1913). *Revista Volcanológica*; 259-268.
- **Yagi, Y, T Mikumo, J Pacheco y G Reyes, 2004.** Source rupture process of Tecomán, Colima, México earthquake of January 22, 2003, determined by joint inversion of teleseismic body-wave and near-source data. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 5,pp. 1795-1807.



- **Zárate P., y A. Martínez, 1993.-** La geología aplicada a los riesgos naturales y antropogénicos como antecedente en un ordenamiento territorial. Universidad de Guadalajara, Centro de Ciencias de la Tierra.
- **Zúñiga, R. and M. Guzmán 1994.** Main seismogenic source zones in Mexico. Technical Report, Seismic Hazard Project, IPGH.

## Fuentes electrónicas:

### Caracterización de las cuencas, 2015.

[www.chapingo.mx/irrigación/planest/documentos/.../CUENCAS.pdf](http://www.chapingo.mx/irrigación/planest/documentos/.../CUENCAS.pdf)

**SEMARNAT, 2007.** Gaceta ecológica “La conservación de suelos: un asunto de interés público” Cotler *et al* <http://redalyc.org/articulo.oa?id=53908302>

Recuperada el 12/07/2015 Disponible en:

<http://usuario.cicese.mx/~sreyes/LIBRO%20METEOROLOGIA/Meteo7.pdf>. Comet

*Meted Ondas tropicales del Este*. Recuperada el 10 de julio del 2015. Disponible en:

[https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=1120#.VemnmPZ\\_Oko](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=1120#.VemnmPZ_Oko).

CRESPO PICHARDO, Guillermo (S. F) *Comparación de dos metodologías para el cálculo del índice de severidad de sequía para doce reservas de la biosfera mexicana*. Colegio de Posgraduados, Texcoco, México. Recuperado 12/05/2015. Disponible en:

[http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/crespo\\_becamab.pdf](http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/crespo_becamab.pdf)

HERNÁNDEZ CERDA, María Engracia, TORRES TAPIA Laura Angélica, VALDEZ MADERO Gonzalo ( ) *Sequía Meteorológica*. Recuperado el 29/04/2015, Disponible en:

[www.atmosfera.unam.mx/cclimat/publicaciones/cambio.../sequia.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/publicaciones/cambio.../sequia.pdf)

## Índice de Figuras, Fotografías, Gráficas, Mapas y Tablas

### Figuras

<b>Figura 4.1.1.1.</b> Esquema de los tipos de fallas (Fuente: Twiss y Moores, 1992).	IV-4
<b>Figura 4.1.2.1.1.</b> Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano (Fuente Ritz, 2004).	IV-21
<b>Figura 4.1.2.1.2.</b> Máximas intensidades sísmicas originadas en el Municipio de Zapotlán por tres sismos, 1875, 1911 y 1995. (Fuente: Delgado, 1992).	IV-22
<b>Figura 4.1.2.1.3.</b> Mapa sismotectónico de la costa del Bloque Jalisco, zonas de rupturas de los grandes terremotos y brechas (gaps) sísmicos existentes (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).	IV-23
<b>Figura 4.1.2.4.1.1.</b> Regionalización Sísmica de México (Fuente: CFE, 1993).	IV-36
<b>Figura 4.1.2.4.3.1.</b> Mapa Global de Intensidades. (Fuente: <a href="http://www.seismo.ethz.ch/">http://www.seismo.ethz.ch/</a> ).	IV-40





<b>Figura 4.1.2.4.4.1.</b> Aceleraciones máximas de México (Fuente: PSM 2004).	IV-42
<b>Figura 4.1.2.4.5.1.</b> Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (Fuente: CFE, 2004). La escala del lado derecho tiene valores en años.	IV-43
<b>Figura 4.1.2.5.1.</b> Corte esquemático del subsuelo en Ciudad Guzmán, Jal. Y posible explicación del escalonamiento del terreno superficial. (Fuente: Lazcano, 2013).	IV-52
<b>Figura 4.1.3.1.</b> Esquema de generación y propagación de un tsunami (Fuente: Ferraras <i>et al.</i> , 2005).	IV-56
<b>Figura 4.1.3.2.</b> Zonas costeras susceptibles de afectación por tsunamis (Fuente: CENAPRED, 2005).	IV-57
<b>Figura 4.1.4.1.</b> Localización del Eje Volcánico Transmexicano (superior) y Volcán de Colima (inferior) (Fuente: Saucedo, <i>et al.</i> , 2004).	IV-60
<b>Figura 4.1.4.1.1.</b> Localización de los principales volcanes de México (Fuente: Macías, 2005).	IV-61
<b>Figura 4.1.4.1.2.</b> Esquema de la porción oeste de de la CVTM. Las estructuras volcánicas son: 1) San Juan, 2) Sanganguey, 3) Tepetitlic, 4) Ceboruco 5) Tequila, 6) Caldera de la Primavera, Complejo Volcánico, Cantaros, 8) Nevado de Colima, 9) Volcán de Colima. Las abreviaciones son: RTZ-rift Tepic-Zacoalco, GCH-graben de Chápala, GCi graben de Citala y TM- Trinchera Mesoamericana (línea discontinua). Las líneas delgadas representan fracturas. (Fuente: Macias, 2005).	IV-62
<b>Figura 4.1.5.1.</b> Factores que indican deslizamientos. Una topografía accidentada, con manantiales, árboles inclinados o curvos y desprendimientos localizados, caracterizan terrenos donde hay arrastre del suelo (Fuente: Cruz, 1996).	IV-74
<b>Figura 4.1.7.1.</b> Flujo de avalancha de detritos (Fuente: Skinner & Porter, 1992).	IV-87
<b>Figura 4.1.7.8.1.</b> Caídos o derrumbes ( <a href="http://rouseelcabrera.blogspot.mx/p/semana-7.html">http://rouseelcabrera.blogspot.mx/p/semana-7.html</a> )	IV-93
<b>Figura 4.1.8.1.</b> Hundimiento en Fosa tectónica o Graben (Fuente: Lazcano, 2013).	IV-97
<b>Figura 4.2.1.1.</b> Temperatura del océano pacífico para abril (Fuente: NOAA, 2015).	IV-139
<b>Figura 4.2.1.2.</b> Temperatura del océano pacífico para junio (Fuente NOAA, 2015).	IV-139
<b>Figura 4.2.1.3.</b> Trayectoria registrada más antigua de huracán incidente en Zapotlán el Grande (Fuente NOAA, 2015).	IV-142
<b>Figura 4.2.1.4</b> Trayectoria de Bridget (14-20 junio de 1971) (Fuente: NOAA 2015)	IV-143
<b>Figura 4.2.1.5.</b> Trayectoria de "Aletta" (28-29 mayo, 1974) (Fuente: NOAA 2015).	IV-144
<b>Figura 4.2.1.6.</b> Trayectoria de "Eleonor" (10 al 12 de julio de 1975). (Fuente: NOAA 2015)	IV-145
<b>Figura 4.2.1.7.</b> Trayectoria de "Virgil" (1 al 5 de octubre de 1992) (Fuente: NOAA 2005).	IV-145
<b>Figura 4.2.1.8.</b> Trayectoria de "Winnifred" (06-10 de Octubre de 1992). Fuente: NOAA	IV-147
<b>Figura 4.2.1.9.</b> Huracán "Boris" (27 junio-01 julio, 1996). (Fuente: NOAA 2015).	IV-148
<b>Figura 4.2.1.10.</b> Trayectoria huracán "Boris".(Fuente: SMN 2015).	IV-149
<b>Figura 4.2.1.11.</b> Trayectoria Huracan "Pauline" Categoría IV (05 - 10 octubre 1997).(Fuente: NOAA 2015).	IV-151
<b>Figura 4.2.1.12.</b> Trayectoria tormenta tropical "Julio"	IV-152
<b>Figura 4.2.1.13.</b> Huracán "Olaf", categoría I (3 al 8 de octubre del 2003). (Fuente NOAA 2015)	IV-153
<b>Figura 4.2.1.14.</b> Trayectoria huracán "Olaf". (Fuente NOAA 2015).	IV-154
<b>Figura 4.2.1.15.</b> Trayectoria tormenta tropical "Dora"	IV-155
<b>Figura 4.2.1.16.</b> Trayectoria tormenta tropical "Norman". (Fuente NOAA 2015).	IV-157
<b>Figura 4.2.1.17.</b> Imagen de satélite de huracán "Jova" entrando en tierra en Jalisco. (Fuente SMN 2015).	IV-158
<b>Figura 4.2.1.18.</b> Trayectoria del huracán "Jova".(Fuente: NOAA, 2015)	IV-159
<b>Figura 4.2.1.19.</b> Trayectoria de huracán "Manuel" (13-19 de septiembre del 2013). (Fuente NOAA, 2015).	IV-162



<b>Figura 4.2.1.20.</b>	Imagen satelital de "Manuel" en el Pacífico e "Ingrid" en el Atlántico. ....	IV-162
<b>Figura 4.2.2.1.</b>	Imagen de ondas tropicales. (Fuente: SMN 2015).....	IV-164
<b>Figura 4.2.4.1.</b>	Cristal de agua, unidad de un copo de nieve. Fuente: imagen tomada de internet.....	IV-170
<b>Figura 4.2.4.2</b>	Imagen tomada en enero del 2014. ( Fuente: Milenio Diario ). ....	IV-171
<b>Figura 4.2.5.1.</b>	Estructura eléctrica de una nube de tormenta.....	IV-172
<b>Figura 4.2.5.2.</b>	Descarga de retorno en una tormenta eléctrica .....	IV-173
<b>Figura 4.2.6.1.</b>	Índice de severidad de la sequía, modelo CCC (Canadian Climate Center).....	IV-178
<b>Figura 4.2.6.2.</b>	Mapa de grados de sequía. (Fuente: Elaboración propia, 2015).....	IV-179
<b>Figura 4.2.6.3.</b>	Condición muy húmeda y húmeda para el municipio de Zapotlán el Grande para el año 2013-2014. (Fuente: SMN, 2015). ....	IV-193
<b>Figura 4.2.8.1.</b>	Circulación del viento a nivel planetario. (Fuente //www.meted.ucar.edu/) ..	IV-204
<b>Figura 4.2.8.2.</b>	Ubicación de las estaciones meteorológicas automáticas en el municipio de Zapotlán el Grande.....	IV-205
<b>Figura 4.2.9.1.</b>	Arroyos sin nombre, descienden del Nevado de Colima .....	IV-227
<b>Figura 4.2.9.2.</b>	Cuencas de Arroyos El Capulín, Salto de Cristo y Piedra Ancha .....	IV-227
<b>Figura 4.2.9.3.</b>	Polígonos de Thiessen.....	IV-228
<b>Figura 4.2.9.4.</b>	Cuenca de arroyos que inciden en la zona urbana de Zapotlán el Grande .....	IV-232
<b>Figura 4.2.9.5.</b>	Red de colectores, canales y escurrimientos.....	IV-244
<b>Figura 4.2.9.6.</b>	Cuencas urbanas.....	IV-245
<b>Figura 4.2.9.7.</b>	Red de Colectores de Zapotlán el Grande .....	IV-247
<b>Figura 4.2.9.8.</b>	Canal Rectangular. ....	IV-248
<b>Figura 4.2.9.9.</b>	Canal Trapezoidal.....	IV-249
<b>Figura 4.2.9.10.</b>	Lámina de agua calle Mirlo .....	IV-250
<b>Figura 4.2.9.11.</b>	Calle Ignacio Allende-Darío Vargas .....	IV-251
<b>Figura 4.2.9.12.</b>	Perfil de la lámina de agua: Apolo-López Cotilla .....	IV-253
<b>Figura 4.2.9.13.</b>	Perfil de lámina de agua: Contreras Medellín-Canal Galeana .....	IV-254
<b>Figura 4.2.9.14.</b>	Canal Jalisco y puntos de análisis.....	IV-255
<b>Figura 4.2.9.15.</b>	Perfil de lámina de agua: Serafín Vázquez-Canal. ....	IV-255
<b>Figura 4.2.9.16.</b>	Perfil de lámina de agua en calle Leona Vicario .....	IV-256
<b>Figura 4.2.9.17.</b>	Perfil de lámina de agua en colector trapezoidal Tr 10 años. ....	IV-260
<b>Figura 4.2.9.18.</b>	Lámina de agua en canal trapezoidal Tr 50 años.....	IV-260
<b>Figura 4.2.9.19.</b>	Zonas de Inundación en la zona urbana .....	IV-261
<b>Figura 4.2.9.20.</b>	Zonas susceptibles de inundación por canal hidráulico e insuficiencia de capacidad en red de alcantarillado .....	IV-262
<b>Figura 4.2.9.15.</b>	Esquema general de la simulación en HEC-GEORAS .....	IV-262
<b>Figura 4.2.9.22.</b>	Zonas de inundación Tr 10 años .....	IV-266
<b>Figura 4.2.9.23.</b>	Zonas de inundación Tr 50 años .....	IV-266
<b>Figura 4.2.9.24.</b>	Zonas de inundación Tr 100 años .....	IV-267

## Fotografías

<b>Fotografía 4.1.1.2.1.</b>	Fallas en el área de estudio. Con línea continua se muestra una falla normal con bloque caído. Con línea punteada se muestra la traza de falla cubiertas por sedimentos y cuya traza no fue observada (Fuente: Nuñez-Cornú, 2005).....	IV-8
<b>Fotografía 4.1.1.3.1.</b>	Zona de cultivo afectada por fracturamiento (Fuente: SGM, 2007). ....	IV-11



<b>Fotografía 4.1.1.3.2.</b> Fracturamiento tapado por zona de cultivo (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-11
<b>Fotografía 4.1.1.3.3.</b> Evidencia actual en la zona de agrietamiento (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-12
<b>Fotografía 4.1.1.3.4.</b> Traza de antigua grieta (fractura geológica) que se abrió antes de 1995. (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-13
<b>Fotografía 4.1.1.4.1.</b> Daños en banquetas y casas-habitación (Fuente: IIEG, 2015). ....	IV-15
<b>Fotografía 4.1.1.4.2.</b> Daños en vialidades por fallamiento generando desplazamientos hasta de 50 cm (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-15
<b>Fotografía 4.1.1.4.3.</b> Daños en vialidades por falla y reparadas constantemente (Fuente: IIEG, 2015). ....	IV-16
<b>Fotografía 4.1.2.5.1.1.</b> Desplazamiento aprox. de 1 m, en la Calle Vicente Guerrero (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-54
<b>Fotografía 4.1.7.8.1.</b> Arroyo desarrollado a lo largo de una falla normal (Fuente Nuñez-Cornú <i>et al.</i> , 2005). ....	IV-94
<b>Fotografía 4.1.7.8.2.</b> Bloque caído y estación sísmica de monitoreo (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-95
<b>Fotografía 4.1.7.8.3.</b> Otro ángulo de bloque caído (Fuente: IIEG, 2015). ....	IV-95
<b>Fotografía 4.1.8.2.1.</b> Afectaciones a viviendas por hundimientos en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-101
<b>Fotografía 4.1.8.2.2.</b> Daños en casa-habitación observados (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-103
<b>Fotografía 4.1.9.3.1.</b> Erosión en cárcava influenciada directamente por el alto grado de pendiente sobre suelo con estructura desfavorable, en la cual aumenta de la profundidad de disección y el área afectación. (Fuente: IIEG, 2015) .....	IV-124
<b>Fotografía 4.1.9.5.1.</b> Arroyuelo el cual representa una vía potencial para el transporte de los geomateriales. (Fuente: IIEG 2015).....	IV-127
<b>Fotografía 4.1.9.5.2.</b> Área de transporte de rocas de gran tamaño localizada sobre la parte alta de la cuenca, donde la capacidad es mayor. (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-128
<b>Fotografía 4.1.9.6.1.</b> Área de recepción de los geomateriales transportados por los escurrimientos superficiales, en una zona con poco grado de pendiente. (Fuente IIEG, 2015).IV-	131
<b>Fotografía 4.1.9.6.2.</b> Área de recepción de geomateriales, que provoca el asolve de una línea de drenaje transformando su condición. (Fuente: IIEG, 2015).....	IV-132

## Gráficas

<b>Gráfica 4.1.9.1.1.</b> Porcentajes de la intensidad de tipos de erosión hídrica en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de Imágenes Landsat, 2015). ....	IV-108
<b>Gráfica 4.1.9.c.1.</b> Porcentaje de la cobertura vegetal presente en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Carta de Uso de suelo y vegetación, serie V INEGI 2013).....	IV-112
<b>Gráfica 4.1.9.e.1.</b> Porcentaje de las zonas potenciales a erosión. (Fuente: Elaboración propia a partir de la red de flujos SIATL, 2004). ....	IV-118
<b>Gráfica 4.2.1.1.</b> Velocidad contra tiempo de desarrollo en horas, huracán Bridget, Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA. ....	IV-143
<b>Gráfica 4.2.1.2.</b> Velocidad de Aletta contra tiempo de desarrollo, en horas. Elaboración propia, datos de NOAA. ....	IV-144
<b>Gráfica 4.2.1.3.</b> Velocidades de "Eleonor" contra tiempo de desarrollo. Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-145
<b>Gráfica 4.2.1.4.</b> Velocidades de "Virgil" contra tiempo de desarrollo en horas. Fuente: elaboración propia con datos de NOAA. ....	IV-146



<b>Gráfica 4.2.1.5.</b> Presiones de "Virgil" contra tiempo de desarrollo en horas. Fuente: elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-146
<b>Gráfica 4.2.1.6.</b> Velocidades desarrolladas por "Winnifred" contra tiempo. Elaboración propia con datos de NOAA .....	IV-147
<b>Gráfica 4.2.1.7.</b> Presión de "Winnifred" contra tiempo de desarrollo. Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-148
<b>Gráfica 4.2.1.8.</b> Velocidad del viento desarrollado por Boris en km/hr, a partir de las 00:00 del 26/06/1996, datos cada 6 horas. ....	IV-149
<b>Gráfica 4.2.1.9.</b> Presión en mb contra horas a partir de las 00:00 del 26/06/1996, datos cada 6 horas.....	IV-150
<b>Gráfica 4.2.1.10.</b> Velocidad, tormenta tropical "Julio" .....	IV-152
<b>Gráfica 4.2.1.11.</b> Presión en hPa de Tormenta tropical "Julio" .....	IV-152
<b>Gráfica 4.2.1.12.</b> Velocidades de viento desarrolladas por "Olaf". Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-154
<b>Gráfica 4.2.1.13.</b> Presiones desarrolladas por "Olaf". Elaboración propia con datos de NOAA Tormenta Tropical "Dora" (03-06 julio del 2005) .....	IV-155
<b>Gráfica 4.2.1.14.</b> Velocidad, tormenta tropical "Dora". Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-156
<b>Gráfica 4.2.1.15.</b> Presión desarrollada por "Dora". Elaboración propia con datos de NOAA. ....	IV-156
<b>Gráfica 4.2.1.16.</b> Velocidades del viento desarrolladas por "Norman". Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-157
<b>Gráfica 4.2.1.17.</b> Velocidades desarrolladas por "Jova". Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-160
<b>Gráfica 4.2.1.18.</b> Presiones desarrolladas por "Jova". Elaboración propia con datos de NOAA.....	IV-160
<b>Gráfica 4.2.3.1.</b> Probabilidad de ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C. ....	IV-167
<b>Gráfica 4.2.3.2.</b> Certidumbre de no ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C.....	IV-168
<b>Gráfica 4.2.5.1.</b> Días con tormenta eléctrica por estación. ....	IV-175
<b>Gráfica 4.2.6.1.</b> Factor de discordancia basado en L-CV y L-Skewness. Elaboración propia ....	IV-181
<b>Gráfica 4.2.6.2.</b> Disminución de la precipitación a nivel regional según una distribución tipo Pearson III. Elaboración propia. ....	IV-184
<b>Gráfica 4.2.6.3.</b> Área de polígono para la precipitación de julio-septiembre. Elaboración propia.....	IV-186
<b>Gráfica 4.2.6.4.</b> SPI estación Atoyac. Elaboración propia. ....	IV-189
<b>Gráfica 4.2.6.5.</b> SPI Estación Elaboración propia. El Nogal. ....	IV-190
<b>Gráfica 4.2.6.6.</b> SPI estación Quito. Elaboración propia. ....	IV-190
<b>Gráfica 4.2.6.7.</b> SPI Estación San Marcos. Elaboración propia. ....	IV-191
<b>Gráfica 4.2.6.8.</b> SPI estación Ingenio Tamazula. Elaboración propia.....	IV-191
<b>Gráfica 4.2.6.9.</b> Porcentajes de años secos, normales y húmedos según el índice SPI calculado. Elaboración propia. ....	IV-192
<b>Gráfica 4.2.6.10.</b> Superficie total cultivada por año .....	IV-194
<b>Gráfica 4.2.6.11.</b> Incremento de superficie cultivada por cultivo. ....	IV-196
<b>Gráfica 4.2.7.1</b> % de ondas de Calor .....	IV-200
<b>Gráfica 4.2.7.2.</b> Incremento de la duración de ondas de calor a través del tiempo. ....	IV-200
<b>Gráfica 4.2.7.3.</b> Periodos de retorno de ondas de calor y grado de correlación con la distribución probabilística empleada.....	IV-201
<b>Gráfica 4.2.8.1.</b> Velocidades máximas por mes registradas en estación Nevado de Colima ...	IV-218
<b>Gráfica 4.2.8.2.</b> Numero de eventos con velocidades mayores a 75 km/hr, (temporal fuerte) por mes, en estación Nevado de Colima.....	IV-219
<b>Gráfica 4.2.9.1.</b> Precipitación máxima en mm, 24 horas. ....	IV-229
<b>Gráfica 4.2.9.2.</b> Gráfico de datos de precipitación calculados e históricos .....	IV-231



<b>Gráfica 4.2.9.3.</b>	<b>Velocidad Tr 10 años zona poniente-centro, canal trapezoidal.....</b>	<b>IV-257</b>
<b>Gráfica 4.2.9.4.</b>	<b>Velocidad Tr 50 años, tramo centro-poniente.....</b>	<b>IV-258</b>
<b>Gráfica 4.2.9.5.</b>	<b>Tirante Tr 50 años, tramo centro-poniente. ....</b>	<b>IV-258</b>
<b>Gráfica 4.2.9.6.</b>	<b>Nivel de agua en tramo de colector centro poniente 10 años.....</b>	<b>IV-259</b>
<b>Gráfica 4.2.9.7.</b>	<b>Tirante para Tr 50 años en sección centro-Poniente del colector trapezoidal.....</b>	<b>IV-259</b>
<b>Gráfica 4.2.9.8.</b>	<b>Caudal pico en Arroyo El Capulín para diferentes Tr .....</b>	<b>IV-263</b>
<b>Gráfica 4.2.9.9.</b>	<b>Velocidades en Arroyo El Capulín para diferentes Tr.....</b>	<b>IV-264</b>
<b>Gráfica 4.2.9.10.</b>	<b>Perfiles de superficie de agua arroyo El Capulín-Laguna .....</b>	<b>IV-264</b>
<b>Gráfica 4.2.9.11.</b>	<b>Elevaciones de agua Arroyo El Capulín, lado Nevado. ....</b>	<b>IV-265</b>
<b>Gráfica 4.2.9.12.</b>	<b>Elevaciones de superficie de agua en Arroyo Salto de Cristo .....</b>	<b>IV-265</b>

## Mapas

<b>Mapa 4.1.1.1.1.</b>	<b>Rasgos tectónicos del oeste México (Fuente: Datos tomados de Núñez-Cornú, 2011). ....</b>	<b>IV-6</b>
<b>Mapa 4.1.1.2.1.</b>	<b>Mapa de fallas y fracturas a nivel Municipal (IIEG, 2015).....</b>	<b>IV-10</b>
<b>Mapa 4.1.1.4.1.</b>	<b>Zona de afectación por falla en Ciudad Guzmán (Datos tomados de Barrera, et al., 2015). Ratificado por IIEG, 2015.....</b>	<b>IV-14</b>
<b>Mapa 4.1.2.1.</b>	<b>Sismicidad en el límite de placas tectónicas (Fuente: Sismológico Nacional 1900-2015). ....</b>	<b>IV-17</b>
<b>Mapa 4.1.2.1.1.</b>	<b>Localización de sismos históricos e instrumentales de magnitud mayor a 6.0 grados entorno al Municipio de Zapotlán el Grande (Fuente: Malagón, 2004). ....</b>	<b>IV-27</b>
<b>Mapa 4.1.2.1.2.</b>	<b>Sismos históricos en el Bloque de Jalisco: Color Rojo (19 – 26) tipo A, sismos instrumentales; Color azul, (12-18) tipo B, algunos datos instrumentales descripciones macrosísmicas extensas; Color verde (1-11) tipo C, descripciones macrosísmicas limitadas. (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).....</b>	<b>IV-30</b>
<b>Mapa 4.1.2.2.1.</b>	<b>Mapa epicentral de los terremotos registrados en el período 1996-1998 (Fuente: Delgado, 1994).....</b>	<b>IV-31</b>
<b>Mapa 4.1.2.2.2.</b>	<b>Zonas sismogenéticas entorno al Municipio de Zapotlán (Fuente: Malagón, 2009). ....</b>	<b>IV-32</b>
<b>Mapa 4.1.2.2.3.</b>	<b>Actividad sísmica en el Occidente de México (Fuente: SSN y CFE).....</b>	<b>IV-33</b>
<b>Mapa 4.1.2.3.1.</b>	<b>Evento registrado dentro los límites del Municipio de Zapotlán (Fuente: Servicio Geológico Mexicano). ....</b>	<b>IV-34</b>
<b>Mapa 4.1.2.3.2.</b>	<b>Dada la escasas de eventos sísmicos en el Municipio de Zapotlán el Grande se trabajaron modelos probabilísticos para determinar la sismicidad local (Fuente: IIG, 2015). ....</b>	<b>IV-35</b>
<b>Mapa 4.1.2.4.8.1.</b>	<b>Valores de aceleración máximas teóricas, obtenidas para el Municipio de Zapotlán el Grande (IIEG, 2015). ....</b>	<b>IV-48</b>
<b>Mapa 4.1.2.5.1.1.</b>	<b>Localización de Sondeos Geotécnicos (Fuente: Lazcano, 2013). ....</b>	<b>IV-52</b>
<b>Mapa 4.1.2.5.1.2.</b>	<b>Fosa tectónica o graben delimitada por dos sistemas de fallas paralelas (Líneas color fucsia) (Fuente: Lazcano, 2013). ....</b>	<b>IV-53</b>
<b>Mapa 4.1.2.5.2.1.</b>	<b>Zonas potencialmente susceptibles a Licuefacción de suelos en Ciudad Guzmán (Fuente IIEG, 2015). ....</b>	<b>IV-55</b>
<b>Mapa 4.1.4.3.1.</b>	<b>Dispersión de cenizas del Volcán de Colima. (Fuente: CENAPRED/PC/SEGOB). ....</b>	<b>IV-66</b>
<b>Mapa 4.1.4.3.2.</b>	<b>Distribución del Peligro en Caída de Cenizas para el Municipio de Zapotlán el Grande (Fuente: IIEG, 2015).....</b>	<b>IV-67</b>





<b>Mapa 4.1.4.3.3.</b> Poblados en peligro por flujos piroclásticos, Lahares y derrames (Fuente: CENAPRED <i>et al.</i> , 2004).	IV-71
<b>Mapa 4.1.4.3.4.</b> Avalanchas y derrames gigantes originados por las erupciones del volcán colima en los últimos 18,000 años.(Fuente: CENAPRED/PC/SEGOB).	IV-71
<b>Mapa 4.1.4.4.1.</b> Peligros del Volcán de Colima (Fuente: Saucedo <i>et al.</i> , 2004).	IV-72
<b>Mapa 4.1.5.1.1.</b> Deslizamientos en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).	IV-76
<b>Mapa 4.1.5.1.2.</b> Mapa de deslizamientos antiguos en Ciudad de Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).	IV-77
<b>Mapa 4.1.5.2.1.</b> Mapa de zonas propensas a deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-78
<b>Mapa 4.1.5.3.1.</b> Mapa de trayectoria de movimientos de deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-79
<b>Mapa 4.1.5.4.1.</b> Mapa de zonas emisoras de material en los deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-80
<b>Mapa 4.1.5.5.1.</b> Mapa de transporte de material en los deslizamientos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-81
<b>Mapa 4.1.5.6.1.</b> Zonas de recepción de material en un deslizamiento (Fuente: IIEG, 2015).	IV-82
<b>Mapa 4.1.6.1.</b> Flujos de Lodo, tierra y suelo antiguos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-84
<b>Mapa 4.1.6.1.1.</b> Mapa de flujos de lodo propensos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-85
<b>Mapa 4.1.6.2.1.</b> Mapa de trayectoria de Movimientos de flujos de lodo (IIEG, 2015).	IV-86
<b>Mapa 4.1.7.1.1.</b> Flujos de Avalanchas de Detritos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-88
<b>Mapa 4.1.7.2.1.</b> Zonas antiguas de avalanchas de detritos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-89
<b>Mapa 4.1.7.3.1.</b> Zonas propensas a Flujos de Avalanchas de detritos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-90
<b>Mapa 4.1.7.4.1.</b> Mapa de trayectoria de movimientos de Flujos de avalanchas de detritos (Fuente: IIEG, 2015).	IV-91
<b>Mapa 4.1.8.2.1.</b> Hundimientos antiguos generados en Ciudad Guzmán (Fuente: IIEG, 2015).	IV-104
<b>Mapa 4.1.8.3.1.</b> Áreas propensas a generarse hundimientos en Ciudad Guzmán (IIEG,2015).	IV-105
<b>Mapa 4.1.9.1.1.</b> Intensidad de tipos de erosión en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).	IV-109
<b>Mapa 4.1.9.b.1.</b> Distribución del coeficiente de erodabilidad en suelos dominantes de la cuenca. (Fuente: Elaboración propia a partir de WRB, 2006, INEGI, 2010).	IV-111
<b>Mapa 4.1.9.c.1.</b> Grado de vulnerabilidad de la vegetación ante los procesos erosivos municipales. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI 2013, SEGOB 1998).	IV-114
<b>Mapa 4.1.9.d.1.</b> Distribución de las clases pendientes en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de ODIN, IITEJ 2013).	IV-116
<b>Mapa 4.1.9.e.1.</b> Valores de la red de drenaje en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004, INEGI, 2010).	IV-118
<b>Mapa 4.1.9.1.1.</b> Geoformas hídricas presentes en el municipio de Zapotlán. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010, 2013, IITEJ, ODIN 2013, SIATL, 2004).	IV-120
<b>Mapa 4.1.9.2.1.</b> Intensidad de la erosión de tipo laminar en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).	IV-123
<b>Mapa 4.1.9.3.1</b> Intensidad de la erosión de tipo vertical en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes SPOT, LANSAT 2015).	IV-126
<b>Mapa 4.1.9.5.1</b> Áreas de transporte de materiales en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004).	IV-130
<b>Mapa 4.1.9.6.1.</b> Áreas de recepción de geomateriales en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de SIATL, 2004).	IV-134
<b>Mapa 4.1.9.7.1.</b> Erosión potencial en al municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir de FAO, 1990).	IV-137



## **TABLAS**

<b>Tabla 4.1.2.1.2.</b> Relación de daños y efectos en Zapotlán por sismos históricos (Fuente: Nuñez-Cornú, 2011).....	IV-29
<b>Tabla 4.1.2.4.4.1.</b> Aceleraciones máximas para diferente periodo de Retorno en el Municipio de Zapotlán (Fuente: CENAPRED, 2004) .....	IV-42
<b>Tabla 4.1.2.4.6.1.</b> Aceleración Teórica Máxima ante sismos a diferentes distancia epicentral. IV-44	
<b>Tabla 4.1.2.4.7.1.</b> Relación de los Índices de Calidad para Peligro sísmico (Fuente: Malagón, 2009) .....	IV-46
<b>Tabla 4.1.2.4.7.2.</b> Relación de la aceleración teórica máxima con los índices de calidad de peligro (Malagón, 2009) .....	IV-47
<b>Tabla 4.1.8.1.1.</b> Tipos de hundimientos o subsidencia del terreno. (Fuente: Corapcioglu, 1984.)IV-100	
<b>Tabla 4.1.9.1.1.</b> Valores de la intensidad de tipos de erosión. (Fuente: Elaboración propia a partir de Imágenes Landsat, 2015).....	IV-108
<b>Tabla 4.1.9.b.1.</b> Porcentaje de unidades de suelo dominante presentes el municipio. (Fuente: Elaboración propia a partir de Carta Geológica INEGI, 2010). .....	IV-110
<b>Tabla 4.1.9.c.1.</b> Efectos del uso del suelo y tipos de cobertura en los procesos erosivos de Zapotlán El Grande. (Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de SEGOB, 1998). .....	IV-113
<b>Tabla 4.1.9.c.2.</b> Porcentaje de vulnerabilidad de la vegetación. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI 2013, SEGOB 1998).....	IV-113
<b>Tabla 4.1.9.d.1.</b> Clasificación de pendientes. (Fuente: Elaboración propia a partir de ODIN, IITEJ, 2013). .....	IV-115
<b>Tabla 4.1.9.e.1</b> Clasificación de la red de drenaje de la microcuenca. (Fuente: Clasificación de la forma y textura de la red de drenaje WAY, 1978).....	IV-117
<b>Tabla 4.1.9.1.1.</b> Valores de erodabilidad de las geoformas hídricas. (Fuente: Lobeck 1963,1964). .....	IV-119
<b>Tabla 4.1.9.2.1.</b> Clasificación de las variables que determinan la intensidad de la erosión laminar. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010).....	IV-121
<b>Tabla 4.1.9.2.2.</b> Valores de la intensidad de áreas con erosión laminar. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010). .....	IV-122
<b>Tabla 4.1.9.3.1.</b> Clasificación de las variables que determinan la intensidad de la erosión vertical. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010). .....	IV-125
<b>Tabla 4.1.9.3.2.</b> Valores de la intensidad de áreas con erosión vertical. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010). .....	IV-126
<b>Tabla 4.1.9.5.1.</b> Valores de las variables para medir la intensidad de las áreas de transporte. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010, FIRCO 2012). .....	IV-129
<b>Tabla 4.1.9.6.1.</b> Clasificación de variables para determinan la intensidad en las de recepción. (Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI, 2010). .....	IV-133
<b>Tabla 4.1.9.7.1.</b> Superficies y volúmenes estimados de suelo perdido en el municipio de Zapotlán El Grande. (Fuente: A partir de metodología propuesta por FAO, 1990) .....	IV-135
<b>Tabla 4.2.1.1.</b> Categoría Saffir-Simpson.....	IV-141
<b>Tabla 4.2.1.2.</b> Clasificación propuesta por precipitación acumulada potencial. ....	IV-141
<b>Tabla 4.2.1.3.</b> Categorías de ciclones con base en viento y lluvia. ....	IV-142
<b>Tabla 4.2.3.1.</b> Certidumbre de cero heladas menores a 0 °C .....	IV-168



<b>Tabla 4.2.4.1.</b> Alturas máximas, media y mínima de nieve en Nevado de Colima. Elaboración propia. ....	IV-170
<b>Tabla 4.2.5.1.</b> Intensidades de descargas directas a tierra.....	IV-174
<b>Tabla 4.2.5.2.</b> Días al año con tormenta eléctrica, fuente SMN. ....	IV-174
<b>Tabla 4.2.5.3.</b> Descargas directa a tierra por km <sup>2</sup> -año .....	IV-175
<b>Tabla 4.2.5.4.</b> Días al año de tormenta eléctrica por periodo de retorno.....	IV-176
<b>Tabla 4.2.6.1.</b> Registro histórico de sequías en Zapotlán el Grande. Elaboración propia con datos del SMN .....	IV-177
<b>Tabla 4.2.6.2.</b> Datos de estaciones meteorológicas ubicadas en la cercanía de Zapotlán el Grande. Elaboración propia. ....	IV-178
<b>Tabla 4.2.6.3.</b> Índice de Severidad de sequía. Elaboración propia .....	IV-179
<b>Tabla 4.2.6.4.</b> Índice de severidad y grado de sequía para las diferentes estaciones. Elaboración propia.....	IV-179
<b>Tabla 4.2.6.5.</b> Tabla de valores críticos del indicador de discordancia. ....	IV-180
<b>Tabla 4.2.6.6.</b> Medidas de estadística descriptiva basada en L-momentos. Elaboración propia.....	IV-181
<b>Tabla 4.2.6.7.</b> Tabla de criterios de homogeneidad basada en Wallis et al (2007). Elaboración propia.....	IV-182
<b>Tabla 4.2.6.8.</b> Datos de estadística descriptiva regionales. Elaboración propia.....	IV-182
<b>Tabla 4.2.6.9.</b> Descenso de la precipitación media anual en mm por estación meteorológica. Elaboración propia. ....	IV-183
<b>Tabla 4.2.6.10.</b> Descenso de la precipitación en % con respecto a la media anual. Elaboración propia.....	IV-183
<b>Tabla 4.2.6.11.</b> Resultados de correlación para las diferentes funciones de distribución probabilísticas exploradas. Elaboración propia. ....	IV-183
<b>Tabla 4.2.6.12.</b> Disminución regional de la precipitación en mm. Elaboración propia. ....	IV-184
<b>Tabla 4.2.6.13.</b> Análisis de correlación. Elaboración propia.....	IV-185
<b>Tabla 4.2.6.14.</b> Áreas negativas por la aplicación de las ecuaciones 2 a 5, demuestra que no hay sequía intraestival. Elaboración propia. ....	IV-185
<b>Tabla 4.2.6.15.</b> Sequía intraestival en la región. Elaboración propia .....	IV-186
<b>Tabla 4.2.6.16.</b> Valor de SPI y categoría de sequía. ....	IV-189
<b>Tabla 4.2.6.17.</b> Condiciones de humedad en las diferentes estaciones. Elaboración propia. ....	IV-192
<b>Tabla 4.2.6.18.</b> Variación anual de superficie cultivada. ....	IV-194
<b>Tabla 4.2.6.19.</b> Disminución de superficie cultivada y precipitación en el mismo año.....	IV-195
<b>Tabla 4.2.6.20.</b> Incrementos de superficie cultivada en hectáreas por cultivo.....	IV-195
<b>Tabla 4.2.7.1.</b> Percentil 90 de temperaturas máximas extremas.....	IV-197
<b>Tabla 4.2.7.2.</b> Características de las ondas de calor registradas en el estación Ciudad Guzmán.....	IV-199
<b>Tabla 4.2.7.3.</b> Meses con más eventos de ondas de calor .....	IV-199
<b>Tabla 4.2.7.4.</b> Valores de temperatura para diferentes periodos de retorno.....	IV-201
<b>Tabla 4.2.8.1.</b> Direcciones predominantes por mes y distribución de frecuencias de velocidad. (Fuente: Datos de estación meteorológica automática de Ciudad Guzmán, elaboración propia).....	IV-211
<b>Tabla 4.2.8.2.</b> Direcciones de viento predominantes y distribución de frecuencias de velocidades de viento. (Fuente: Datos de estación meteorológica automáticas del Nevado de Colima. Elaboración propia).....	IV-217
<b>Tabla 4.2.8.3.</b> Direcciones de origen y velocidades de vientos iguales o superiores a 75 km/hr . Fuente: Datos estación Nevado de Colima, SMN. Elaboración propia. ....	IV-224
<b>Tabla 4.2.8.4.</b> Velocidades de viento para Ciudad Guzmán y diferentes Tr, según CFE.....	IV-225
<b>Tabla 4.2.9.1.</b> Coordenadas de estaciones meteorológicas en la zona de Zapotlán el Grande.....	IV-228



## Atlas Municipal de Peligros y Riesgos naturales, Zapotlán el Grande

<b>Tabla 4.2.9.2.</b>	<b>Precipitación máxima en 24 horas .....</b>	<b>IV-229</b>
<b>Tabla 4.2.9.3.</b>	<b>Parámetros estadísticos de lluvia máxima en 24 horas .....</b>	<b>IV-229</b>
<b>Tabla 4.2.9.4.</b>	<b>Precipitación máxima para Tr determinado .....</b>	<b>IV-230</b>
<b>Tabla 4.2.9.5.</b>	<b>Parámetros de la función doble Gumbel .....</b>	<b>IV-231</b>
<b>Tabla 4.2.9.6.</b>	<b>Extrapolación de Tr para lluvias máximas en 24 horas .....</b>	<b>IV-231</b>
<b>Tabla 4.2.9.7.</b>	<b>Fisiografía de la cuenca .....</b>	<b>IV-232</b>
<b>Tabla 4.2.9.8.</b>	<b>Fisiografía arroyo Piedra Ancha .....</b>	<b>IV-233</b>
<b>Tabla 4.2.9.9.</b>	<b>Fisiografía de Arroyo El Capulín .....</b>	<b>IV-233</b>
<b>Tabla 4.2.9.10.</b>	<b>Fisiografía de Arroyo Salto de Cristo .....</b>	<b>IV-233</b>
<b>Tabla 4.2.9.11.</b>	<b>Fisiografía de Arroyo Poniente .....</b>	<b>IV-233</b>
<b>Tabla 4.2.9.12.</b>	<b>Fisiografía de Arroyo Noroeste .....</b>	<b>IV-234</b>
<b>Tabla 4.2.9.13.</b>	<b>Arroyo Los Guayabos .....</b>	<b>IV-234</b>
<b>Tabla 4.2.9.14.</b>	<b>Fisiografía Arroyo Chuluapan .....</b>	<b>IV-234</b>
<b>Tabla 4.2.9.15.</b>	<b>Fisiografía de Arroyo Pasto .....</b>	<b>IV-234</b>
<b>Tabla 4.2.9.16.</b>	<b>Pendiente gobernadora para arroyo El Capulín .....</b>	<b>IV-235</b>
<b>Tabla 4.2.9.17.</b>	<b>Tiempo de concentración <math>t_c</math> para los diferentes arroyos .....</b>	<b>IV-236</b>
<b>Tabla 4.2.9.18.</b>	<b>Intensidad para una tormenta con duración igual a <math>t_c</math> .....</b>	<b>IV-237</b>
<b>Tabla 4.2.9.19.</b>	<b>Clasificación de suelos por nanocuenca. ....</b>	<b>IV-238</b>
<b>Tabla 4.2.9.20.</b>	<b>Clasificación de vegetación por nanocuenca. ....</b>	<b>IV-241</b>
<b>Tabla 4.2.9.21.</b>	<b>Coeficiente de escurrimiento por nanocuenca y Tr .....</b>	<b>IV-241</b>
<b>Tabla 4.2.9.22.</b>	<b>Caudal máximo determinado por hidrograma unitario triangular. ....</b>	<b>IV-243</b>
<b>Tabla 4.2.9.23.</b>	<b>Caudal máximo calculado según método racional. ....</b>	<b>IV-243</b>
<b>Tabla 4.2.9.24.</b>	<b>Caudal máximo según metodo de Chow .....</b>	<b>IV-244</b>
<b>Tabla 4.2.9.25.</b>	<b>Red de Colectores .....</b>	<b>IV-245</b>
<b>Tabla 4.2.9.26.</b>	<b>Longitud de red de colectores .....</b>	<b>IV-246</b>
<b>Tabla 4.2.9.27.</b>	<b>Parámetros de canal rectangular .....</b>	<b>IV-249</b>
<b>Tabla 4.2.9.28.</b>	<b>Parámetros de canal trapezoidal. ....</b>	<b>IV-249</b>
<b>Tabla 4.2.9.29.</b>	<b>Velocidades, caudal y tirante en calle Mirlo .....</b>	<b>IV-250</b>
<b>Tabla 4.2.9.30.</b>	<b>Velocidades, caudal y tirante a lo largo de la calle Ignacio Allende .....</b>	<b>IV-251</b>
<b>Tabla 4.2.9.31.</b>	<b>Velocidades, caudal y tirante a lo largo de la calle Nicolás Bravo .....</b>	<b>IV-252</b>
<b>Tabla 4.2.9.32.</b>	<b>Velocidades, caudal y tirante a lo largo en el Canal Galeana. ....</b>	<b>IV-253</b>
<b>Tabla 4.2.9.33.</b>	<b>Parámetros de Canal Jalisco .....</b>	<b>IV-255</b>
<b>Tabla 4.2.9.34.</b>	<b>Parámetros Calle Leona Vicario .....</b>	<b>IV-256</b>
<b>Tabla 4.2.9.35.</b>	<b>Parámetros de Calle Emiliano Zapata .....</b>	<b>IV-257</b>
<b>Tabla 4.2.9.36.</b>	<b>Caudales pico para simulación en Hec-Ras .....</b>	<b>IV-263</b>