

Estudio hidráulico de un tramo del arroyo La Pasión, Tizapán, Jalisco.

INDICE

| | |
|---|------------|
| INDICE | i |
| TABLAS | iii |
| FIGURAS | iv |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 2 |
| 3 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 3 |
| 4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO | 4 |
| 5 ESTUDIO HIDROLÓGICO | 5 |
| 5.1 LOCALIZACIÓN HIDROLÓGICA..... | 5 |
| 5.2 INFORMACIÓN UTILIZADA..... | 6 |
| 5.2.1 Topografía..... | 6 |
| 5.2.2 Uso de suelo..... | 7 |
| 5.2.3 Edafología..... | 11 |
| Cambisol éutrico. Otros Cambisoles. Se aceptan tres modalidades: | 12 |
| 5.2.4 Climatología..... | 13 |
| 5.2.5 Cauces y arroyos principales | 14 |
| 5.3 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DE CUENCA..... | 15 |
| 5.3.1 Parámetros de forma | 15 |
| 5.3.2 Parámetros del relieve | 16 |
| 5.3.3 Parámetros relativos a la red de drenaje de la cuenca..... | 16 |
| 5.3.4 Resultados..... | 17 |
| 5.4 ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO | 220 |
| 5.4.1 Polígonos de Thiessen..... | 20 |
| 5.4.2 Precipitación | 20 |
| 5.4.2.1 Estación Manzanilla la Paz (14086)..... | 20 |
| 5.4.2.2 Estación Mazamitla (14099). | 25 |
| 5.4.2.3 Estación Tizapan el alto (14189)..... | 29 |
| 5.4.2.4 Estación La raya (16067)..... | 32 |
| 5.4.3 Análisis probabilístico de la precipitación máxima..... | 37 |
| 5.4.3.1 Estación Manzanilla la Paz (14086)..... | 37 |
| 5.4.3.2 Estación Mazamitla (14099). | 38 |
| 5.4.3.3 Estación Tizapan el alto (14189)..... | 39 |
| 5.4.3.4 Estación La raya (16067)..... | 40 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4.3.5 | Precipitación Ponderada..... | 41 |
| 5.4.4 | Subdivisión de la cuenca..... | 42 |
| 5.4.5 | Cálculo de la pendiente..... | 43 |
| 5.4.6 | Cálculo de tiempo de concentración | 43 |
| 5.4.7 | Número de curva (CN) | 44 |
| 5.4.8 | Resumen de resultados de las características hidrológicas de la cuenca | 46 |
| 5.5 | MODELO HIDROLÓGICO DE AVENIDAS..... | 47 |
| 5.5.1 | Calculo de hidrogramas con el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) | 48 |
| 5.5.2 | Hidrogramas de cuenca en condiciones naturales | 48 |
| 6 | MODELO MATEMÁTICO DEL RÍO DE LA PASIÓN | 50 |
| 6.1 | Descripción del modelo numérico..... | 50 |
| 6.2 | Construcción del modelo numérico | 50 |
| 6.3 | Condiciones de frontera y rugosidad | 51 |
| 6.3.1 | Determinación de perfiles para la obtención de la curva Q-H..... | 51 |
| 6.4 | Resultados | 53 |
| 6.4.1 | Condiciones estacionarias | 53 |
| 7 | CURVA ELEVACIÓN GASTOS SECCIÓN DEL PUENTE | 63 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Uso de suelo | 7 |
| Tabla 2 Distancia entre la estación hidrometrica y estación climatológica | 13 |
| Tabla 3 Resumen de parámetros morfométricos. | 19 |
| Tabla 4. Altura de la lámina de agua en la estación el Manzanilla 14086. | 23 |
| Tabla 5. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099. | 27 |
| Tabla 6. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099. | 31 |
| Tabla 7. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099. | 35 |
| Tabla 8. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. | 38 |
| Tabla 9. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. | 39 |
| Tabla 10. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. | 40 |
| Tabla 11. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. | 41 |
| Tabla 12. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en todas la s estaciones utilizadas y la ponderación por área de influencia por polígonos de Thiessen | 41 |
| Tabla 13. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. | 42 |
| Tabla 14 Características geométricas de las subcuencas del río de la Pasión | 42 |
| Tabla 15. Números de curva de escorrentía para diferentes usos de suelo. | 44 |
| Tabla 16. Resumen de las características hidrológicas de la cuenca. | 46 |
| Tabla 17 Gastos máximos de los hidrogramas de salida del modelo (m3/s) | 48 |
| Tabla 18 Resumen las características hidráulicas considerando un umbral de 0 a40 m3/s | 58 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Localización y medio geográfico de Tizapán el Alto, Jalisco. | 3 |
| Figura 2 Planta del levantamiento topográfico | 4 |
| Figura 3 Sección transversal del puente peatonal y vehicular | 4 |
| Figura 4 Perfil longitudinal del cauce del Río La Pasión | 5 |
| Figura 5 Regiones hidrológicas de México | 5 |
| Figura 6 Subregiones hidrológicas del estado de Jalisco | 6 |
| Figura 7. Vista de la información topográfica empleada en el análisis hidrológico. | 7 |
| Figura 8. Uso de suelo empleado en la zona de estudio. | 11 |
| Figura 9. Edafología de la zona de estudio. | 13 |
| Figura 10. Estaciones climatológicas en la zona estudio. | 14 |
| Figura 11. Hidrografía de la zona de estudio, con la imagen de satélite. | 15 |
| Figura 12. Área de la cuenca en estudio. | 17 |
| Figura 13. Curvas hipsométricas de las subcuencas | 19 |
| Figura 14 Poligonos de Thiessen | 20 |
| Figura 15 Lámina anual acumulada | 21 |
| Figura 16 Precipitación promedio anual | 22 |
| Figura 17 Precipitación promedio mensual periodo 1950-2009 | 23 |
| Figura 18 Lámina anual acumulada | 25 |
| Figura 19 Precipitación promedio anual | 26 |
| Figura 20 Precipitación promedio mensual periodo 1947-2009 | 27 |
| Figura 21 Lámina anual acumulada | 29 |
| Figura 22 Precipitación promedio anual | 30 |
| Figura 23 Precipitación promedio mensual periodo 1964-2009 | 31 |
| Figura 24 Lámina anual acumulada | 33 |
| Figura 25 Precipitación promedio anual | 34 |
| Figura 26 Precipitación promedio mensual periodo 1948-2005 | 35 |
| Figura 27. Ajuste probabilístico de la función doble Gumbel para la estación Manzanilla la Paz. | 37 |
| Figura 28. Ajuste probabilístico de la función doble Gumbel para la estación Mazamitla. | 38 |
| Figura 29. Ajuste probabilístico de la función Gamma para la estación Tizapan . | 39 |
| Figura 30. Ajuste probabilístico de la función Doble Gumbel para la estación La Raya. | 40 |
| Figura 31 Subcuentas obtenidas para el modelo hidrológico. | 43 |
| Figura 32. Numero de Curva (CN) empleado para la zona de estudio en condiciones naturales | 46 |
| Figura 33. Topología del modelo numérico, empleada para el cálculo. | 47 |
| Figura 34. Puntos de estimación de hidrograma de Modelo Matemático. | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 35 Hidrogramas a la salida del Cuenca | 50 |
| Figura 36 Esqueleto del modelo matemático | 51 |
| Figura 37 Condiciones de frontera estacionaria | 51 |
| Figura 38 Vista del cauce y de los puentes | 52 |
| Figura 39 Vista del cauce hacia aguas arriba el puente peatonal | 52 |
| Figura 40 Vista del cauce hacia aguas abajo desde el puente peatonal. | 53 |
| Figura 41 Perfil hidráulico para un gasto de 38.79 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 2 años | 59 |
| Figura 42 Perfil hidráulico para un gasto de 86.64 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 5 años | 59 |
| Figura 43 Perfil hidráulico para un gasto de 149.67 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 10 años | 60 |
| Figura 44 Perfil hidráulico para un gasto de 374.11 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 20 años | 60 |
| Figura 45 Perfil hidráulico para un gasto de 445.35 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 50 años | 61 |
| Figura 46 Perfil hidráulico para un gasto de 604.69 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 100 años | 61 |
| Figura 47 Perfil hidráulico para un gasto de 995.73 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 500 años | 62 |
| Figura 48 Perfil hidráulico para un gasto de 1170.96 m ³ /s correspondiente a un periodo de retorno de 1000 años | 62 |
| Figura 49 Curva elevación gastos considerando un umbral de operación menor a 40 m ³ /s | 63 |
| Figura 50 Curva de elevaciones – gasto para gastos mayores a 80 m ³ /s | 64 |

1 INTRODUCCIÓN

El Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco, en la serie de Planeación Hidráulica en México y la componente de Planeación Regional y Estatal, publicado en mayo del 2009 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), contempla entre sus objetivos específicos, la promoción del manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos, así como restaurar y conservar la calidad del agua superficial y subterránea.

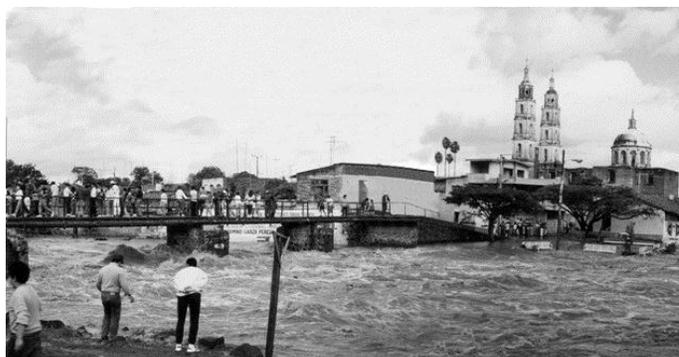
Esta estrategia consiste en promover un mejor conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de aprovechamiento, tanto en cantidad como en calidad, con el fin de mejorar su gestión. Este mejoramiento del manejo de los sistemas implica igualmente una colaboración más estrecha entre el gobierno del estado y los municipales, incorporando por estrategia a los distintos sectores de la sociedad usuaria.

En este mismo documento, se realiza un diagnóstico estatal de Infraestructura de monitoreo y se menciona que en cuanto a la red climatológica, se requiere que el estado cuente con al menos 154 estaciones adicionales para alcanzar la densidad mínima recomendada por la Organización Meteorológica Mundial.

La red hidrométrica carece de estaciones de medición en varias corrientes de la Costa de Jalisco. La estación Yurécuaro, aguas arriba de Chapala, presenta inconsistencia de sus registros en comparación con los del funcionamiento del Lago y con otras estaciones aguas arriba.

El río La Pasión es uno de los cuatro escurrimientos principales que aportan al Lago de Chapala, junto con los ríos Lerma, Duero y Zula, además de numerosas corrientes de carácter intermitente que constituyen su cuenca propia.

A pesar de ser uno de los principales afluentes al Lago de Chapala, el río La Pasión no cuenta con una estación de aforo. Históricamente se han presentado lluvias extraordinarias que han desbordado el río en algunas secciones, como se muestra a continuación:



Otras tomas más recientes muestran el río durante una avenida en donde la sección se ve a su máxima capacidad antes de desbordar.



Derivado de las necesidades arriba descritas, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha solicitado la colocación de una estación de monitoreo de niveles y caudales en el río La Pasión, y para llevar a cabo esta tarea, se ha elaborado un estudio hidrológico de la cuenca de este río, así como un levantamiento topográfico con seccionamientos a cada 20 metros, con el fin de elaborar un modelo de simulación hidráulica del río, considerando 120 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo de la sección seleccionada para la ubicación del dispositivo de medición.

Con la simulación hidráulica del río se han evaluado diferentes condiciones de caudales, relacionadas con los hidrogramas obtenidos del estudio hidrológico, para diferentes períodos de retorno, que van desde 2 hasta 1,000 años. Al final de esta evaluación se ha obtenido una curva que relaciona tirantes y caudales en la sección elegida para las mediciones. Esta curva se estará actualizando y calibrando conforme se realicen mediciones de campo durante los períodos en que se tengan escurrimientos.

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general del estudio es la determinación de la función algebraica que estime el caudal en función de la elevación de la superficie del agua, para una sección de control en el arroyo La Pasión.

Para el logro del objetivo general se plantearon xx actividades particulares:

- Levantamiento topográfico,
- Cálculo de los escurrimientos en condiciones naturales para diferentes periodos de retorno,
- Construcción de un modelo matemático unidimensional
- Determinación de la ecuación del gasto.

Las actividades planteadas se presentan como capítulos de este informe.

3 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La estación hidrométrica será instalada en el río de la Pasión, en el puente vehicular de la calle Vicente Guerrero en la población de Tizapán el Alto, estado de Jalisco.

El río de la Pasión tiene una cuenca con extensión del orden de 424 km². La cuenca forma parte de siete municipios, estos son: Tizapán el Alto, Valle de Juárez, Mazamitla, Concepción de Buenos Aires y Tuxcuaca en el estado de Jalisco; Marcos Castellanos y Cojumatlán de Régules en el estado de Michoacán.

El municipio de Tizapán el Alto se localiza al sureste del estado de Jalisco a 87 km de la ciudad de Guadalajara, en las coordenadas 20°02'40" a 20°56'15" de latitud norte y 102°36'06" a 103°09'40" de longitud oeste; a una altura de 1,532 metros sobre el nivel del mar.

El municipio colinda al norte con los municipios de Chapala y Poncitlán; al este con el estado de Michoacán; al sur con el estado de Michoacán y el municipio de La Manzanilla de la Paz; al oeste con los municipios de La Manzanilla de la Paz, Tuxcuca y Chapala.

La superficie del municipio es del orden de 273,32 km² y la población de Tizapán se encuentra a una elevación de 1532 msnm.

La vía de comunicación principal del municipio de Tizapán es la carretera federal No. 15 Morelia-Guadalajara. Las poblaciones más cercanas son Mismaloya y Villa Emilizano Zapata.



Figura 1 Localización y medio geográfico de Tizapán el Alto, Jalisco.

4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para conocer las características del río La Pasión, se realizó un levantamiento topográfico con una longitud del orden de 240 de longitud, por medio de secciones transversales con equidistancia de 20 metros. De los puentes peatonal y vehicular fueron levantadas sus características geométricas.

El levantamiento topográfico del cauce fue realizado los días 28 y 29 de febrero, los días 20 y 21 de marzo de 2012 fueron levantados los puentes vehicular y peatonal.

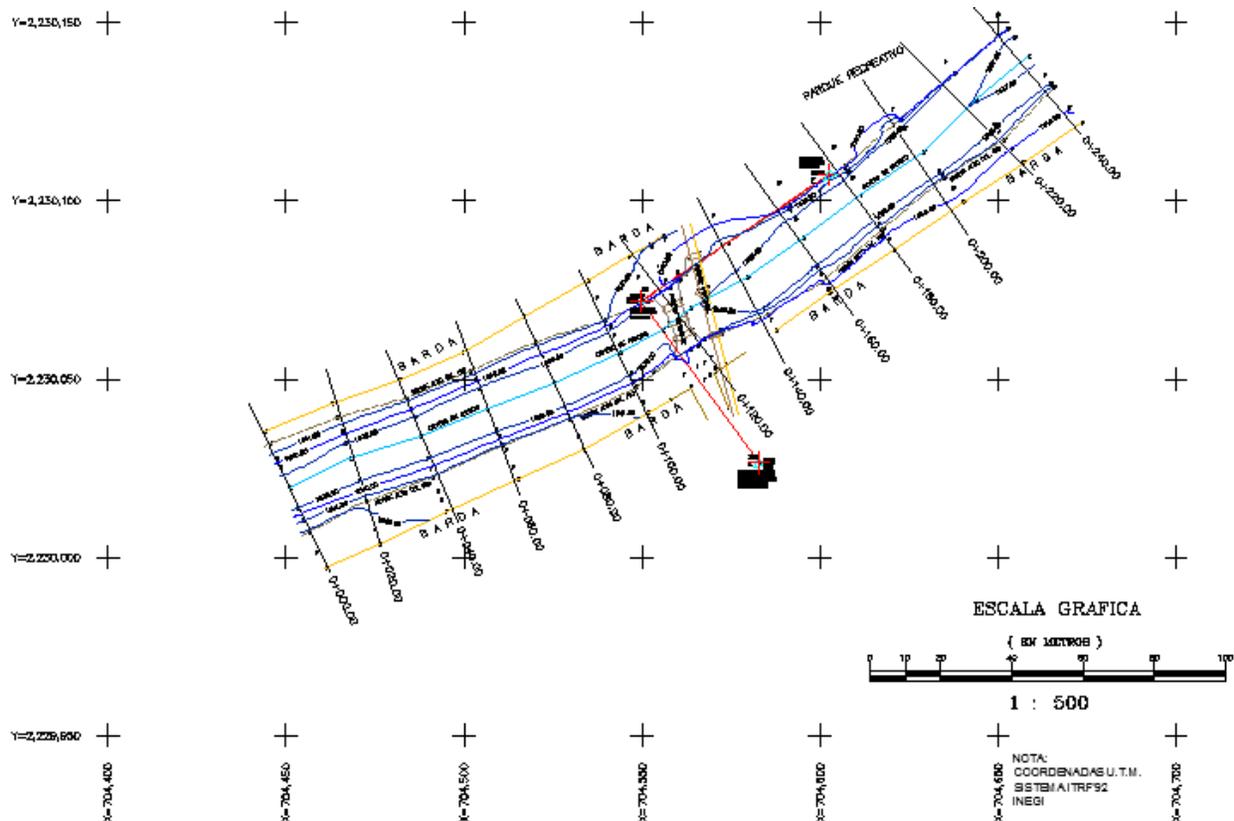


Figura 2 Planta del levantamiento topográfico

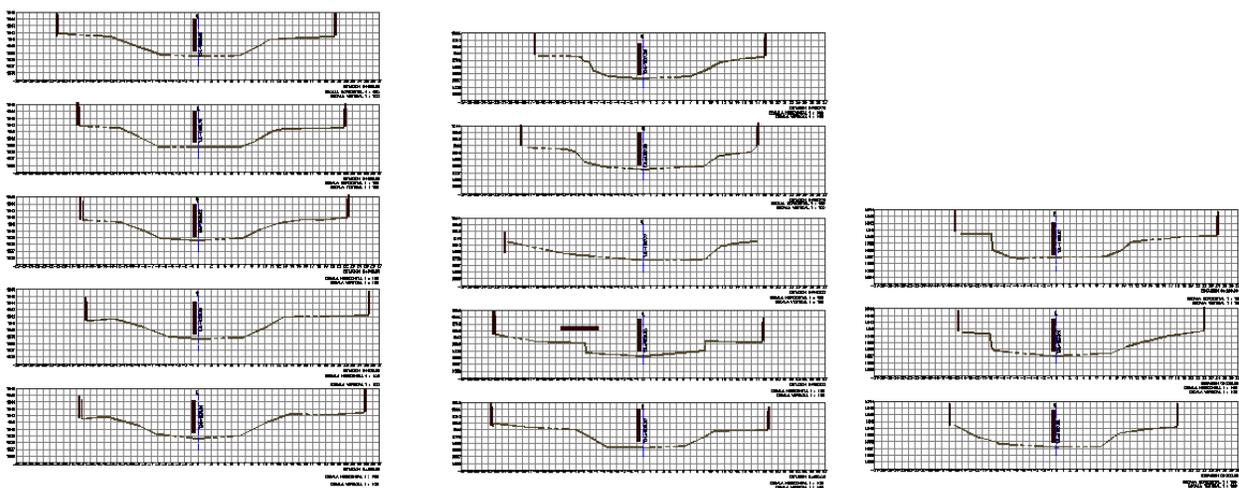
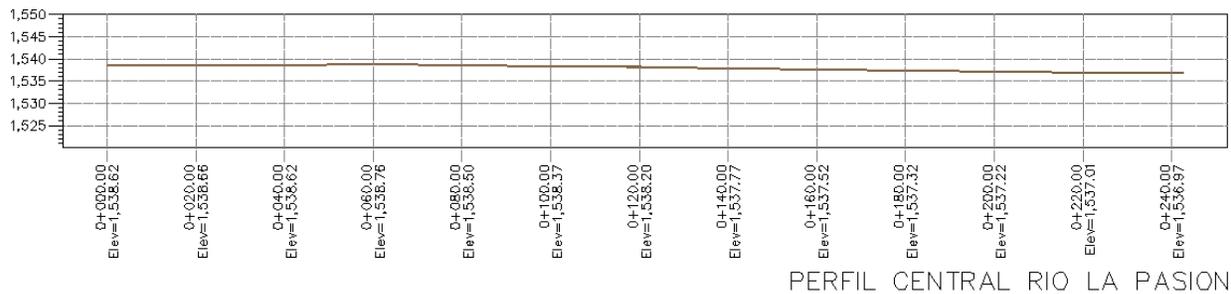


Figura 3 Sección transversal del puente peatonal y vehicular



PERFIL CENTRAL RIO LA PASION

Figura 4 Perfil longitudinal del cauce del Río La Pasión

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1 LOCALIZACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del río de la Pasión es parte de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago, la tercera más extensa del país con una superficie del orden de 132 724 km² que representa el 6.78% de la superficie de México. (Ver Figura 5).



Figura 5 Regiones hidrológicas de México

Considerando el territorio del estado de Jalisco la cuenca del río de la pasión se localiza en la subregión hidrológica 12D denominada Bajo Lerma, la cual tiene una superficie del orden de 14 033 km², correspondiente al 10.6% de la superficie de la cuenca Lerma-Santiago. Ver Figura 6.

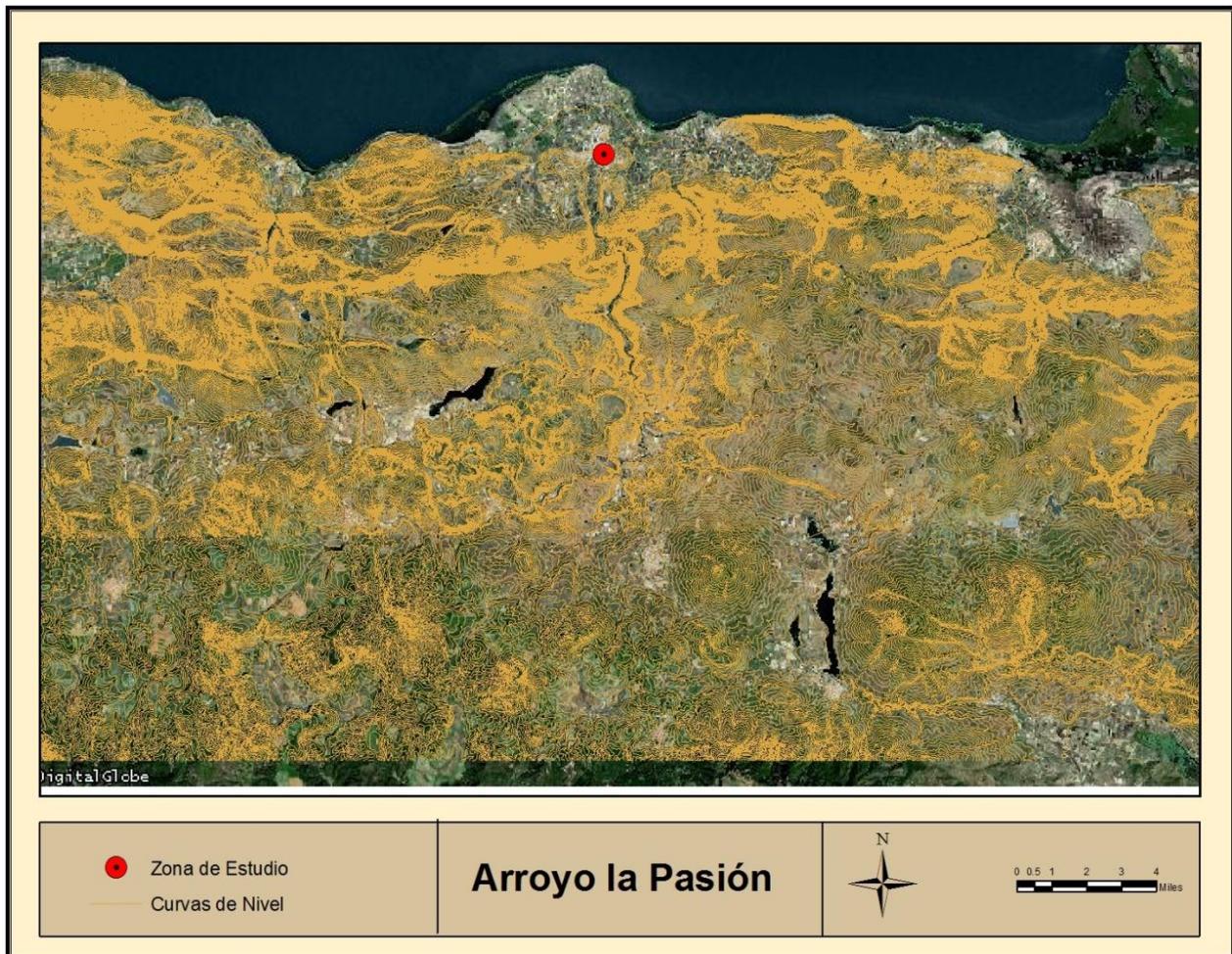


Figura 7. Vista de la información topográfica empleada en el análisis hidrológico.

5.2.2 Uso de suelo

El uso del suelo se obtuvo de información cartográfica distribuida desarrollada por la CONABIO con información de las cartas de uso de suelo de INEGI escala 1:250 000. La descripción del uso del suelo se obtuvo de INEGI y del sitio de internet <http://mapas.centrogeo.org.mx/Website/Chapala/ChapVegPrim/viewer.htm>.

Tabla 1 Uso de suelo

| VEGETACIÓN O USO DE SUELO | CLASE | DESCRIPCION |
|---------------------------|----------------------|--|
| Agricultura | | Sustitución de la vegetación natural para sembrar especies generalmente introducidas. |
| | Agricultura de riego | Labranza generalmente mecanizada; riesgo por gravedad, menos frecuentemente por aspersión y algunos otros métodos más tecnificados. Uno a dos ciclos al año. |

| | | |
|-------------------|--|---|
| | Agricultura de temporal | Labranza mecanizada o con tracción animal, en terrenos generalmente con cierta pendiente, algunas pedregosas o bien con alguna otra condición que impiden o dificulta el riego. Un solo ciclo al año. Poca tecnificación y uso de abonos químicos, herbicidas, etc. |
| Matorrales | Vegetación principalmente arbustiva, con elementos de hasta unos 5 m de altura, que no alcanza la estatura de árboles. En la zona todos los matorrales incluyen especies de cactáceas y leguminosas propias de la zona árida de México en la región se aprovechan fundamente para la ganadería extensiva de especies menores o vacunas, y la extracción de productos como la leña, frutos y otras partes de plantas, principalmente para el autoconsumo. | |
| | Matorral subtropical | Matorral con estrato arbustivo más alto de alrededor de los 4 m, en el que dominan especies no espinosas, algunas de ellas propias de las selvas secas. El casahuate (<i>Ipomea murucoides</i>) |
| | Matorral crasicaule | Matorral dominado por especies de cactáceas. En la región están representados por asociaciones de garambullo (<i>Mirtillocactus geometrians</i>), nopalera y otras opuntias; pitayos (<i>Stenocereus queretaroensis</i> y <i>S. Dumortieri</i>), junto con acacias, uñas de gato (<i>Mimosa</i> sp.), sangregao y otras especies propias de los matorrales xerófitos. En la zona está íntimamente relacionado con los matorrales subtropicales y probablemente se trate de una condición secundaria. |
| Agricultura | Sustitución de la vegetación natural para sembrar especies generalmente introducidas. | |
| | Agricultura de riego | Labranza generalmente mecanizada; riesgo por gravedad, menos frecuentemente por aspersión y algunos otros métodos más tecnificados. Uno a dos ciclos al año. |
| | Agricultura de temporal | Labranza mecanizada o con tracción animal, en terrenos generalmente con cierta pendiente, algunas pedregosas o bien con alguna otra condición que impiden o dificulta el riego. Un solo ciclo al año. Poca tecnificación y uso de abonos químicos, herbicidas, etc. |
| Bosques templados | Vegetación predominantemente arbórea, propia de climas templados, en la que dominan bien especies de encinos o robles (<i>Quercus</i> spp.), pinos u otras coníferas o asociaciones de ambos tipos de árboles. | |
| | Bosque de Pino-Encino | Se trata de una condición donde predominan los pinos sobre los encinos, propia de climas templados con heladas durante la época fría del año. Esta comunidad dominada por árboles de los géneros <i>Pinus</i> spp. y <i>Quercus</i> spp., alcanza entre 15-20 metros de altura. Ocupa las cimas de sierras y sierritas discontinuas de origen volcánico, con suelos de profundidad variable, bien drenados pero con frecuentes fases dúricas. |

| | | |
|--------------|-------------------------------|---|
| | | <p>Actualmente se encuentran modificados moderadamente, ejerciendo en ellos pastoreo, ocasionales incendios y una agricultura en pocos sitios debido a la inclinación fuerte en que se presentan.</p> <p>Algunas de las unidades cartográficas ocupadas por bosques de encino-pino posiblemente se trataron de bosques de pino-encino, pero debido a la modificación a que han sido sujetos no es posible asegurarlo, razón por la cual se han dejado en esa clase de cobertura.</p> |
| | <p>Bosque de encino</p> | <p>Esta comunidad dominada por árboles del género Quercus, mayormente caducifolios, ocupa un piso altitudinal intermedio entre las selvas bajas caducifolias y los bosques de pino y encino. Alcanzan entre 10 y 15 metros de altura. Sin duda ocupó un área muy extensa de la zona de estudio, y ha sido sujeta a una modificación severa. Así, la transformación de la misma por el pastoreo, los incendios y el abuso de la agricultura en sitios poco propicios bajo las técnicas tradicionales, han llevado a la comunidad a la pérdida de extensas áreas y erosionado. Asimismo, grandes áreas han sido invadidas por plantas agresivas secundarias, características de condiciones ligeramente más cálidas, tales como: Acacia farnesiana, Acacia pennatula, Dodonaea viscosa, Hyptis albida, Verbesina spp. y Zexmenia greggii.</p> <p>Los suelos en los que se desarrollan estos bosques son someros debido a la posición topográfica de las pendientes más inclinadas de las sierras mencionadas.</p> |
| <p>Selva</p> | <p>Selva baja caducifolia</p> | <p>Esta comunidad vegetal caducifolia cerca de 8 meses al año, con árboles de entre 8-15 m de altura, libre de heladas al igual que la de bosque de encino, ocupó extensas zonas del área de estudio, pero su modificación por parte del hombre es tan severa que en muchos sitios más parece un matorral (entre 3-5 m.) que una comunidad boscosa. En efecto, la ocupación data de hace siglos y ha sido intensa en su uso pecuario y agrícola en sitios no favorables.</p> <p>Ocupa suelos someros de drenaje rápido sobreyacentes a riolitas y andesitas. Actualmente se tienen grandes áreas erosionadas en diversos grados, siendo frecuente la pérdida del horizonte superior del suelo. Estudios recientes muestran que se trata de comunidades tropicales que llegaron a establecerse hasta la cota cercana a los 1,800 m., hecho no raro en México, donde se han reportado a altitudes cercanas e incluso ligeramente superiores.</p> |

| | | |
|----------------|---|--|
| | | Las plantas características que aún es posible observar en muchos lugares protegidos por su fuerte pendiente son: <i>Bursera</i> spp., <i>Ceiba aesculifolia</i> , <i>Lysiloma divaricata</i> , <i>Ficus petiolaris</i> , <i>Lonchocarpus</i> spp., <i>Amphipterigium</i> spp., <i>Jatropha cordata</i> y algunas cactáceas candelabrifformes. Sin embargo, la predominancia actual de plantas secundarias es con mucho superior, encontrando entre ellas: <i>Acacia farnesiana</i> , <i>A. pennatula</i> , <i>A. hindsii</i> , <i>Eysenhardtia polystachya</i> , <i>Lantana</i> sp., <i>Croton cilatoglanduliferus</i> , <i>Ipomoea intrapilosa</i> y <i>Opuntia fuliginosa</i> . |
| Urbano | Zonas con dominancias de áreas construidas que abarca las localidades de superficie mínima de unas 30 Ha. (un cuadrado de poco más de 2.5 mm de lado, aprox., a la escala 1.250,000). | |
| Áreas abiertas | Cuerpos de agua | Presas y bordos |
| | Áreas, granjas y establos. | Grandes instalaciones (más de 30 Ha continuas) para la cría de ganado, principalmente avícolas. |

En la Figura 8, se muestra la imagen de la cartografía de uso de suelo de acuerdo a las clasificaciones antes mencionadas. Es importante notar que la velocidad de crecimiento de las ciudades supera la velocidad de actualización de la cartografía temática, es por ello que se observa en la figura la clasificación de uso de suelo de agricultura de temporal y también zonas urbanizadas las cuales no alcanzan a dominar el tipo de uso de suelo.

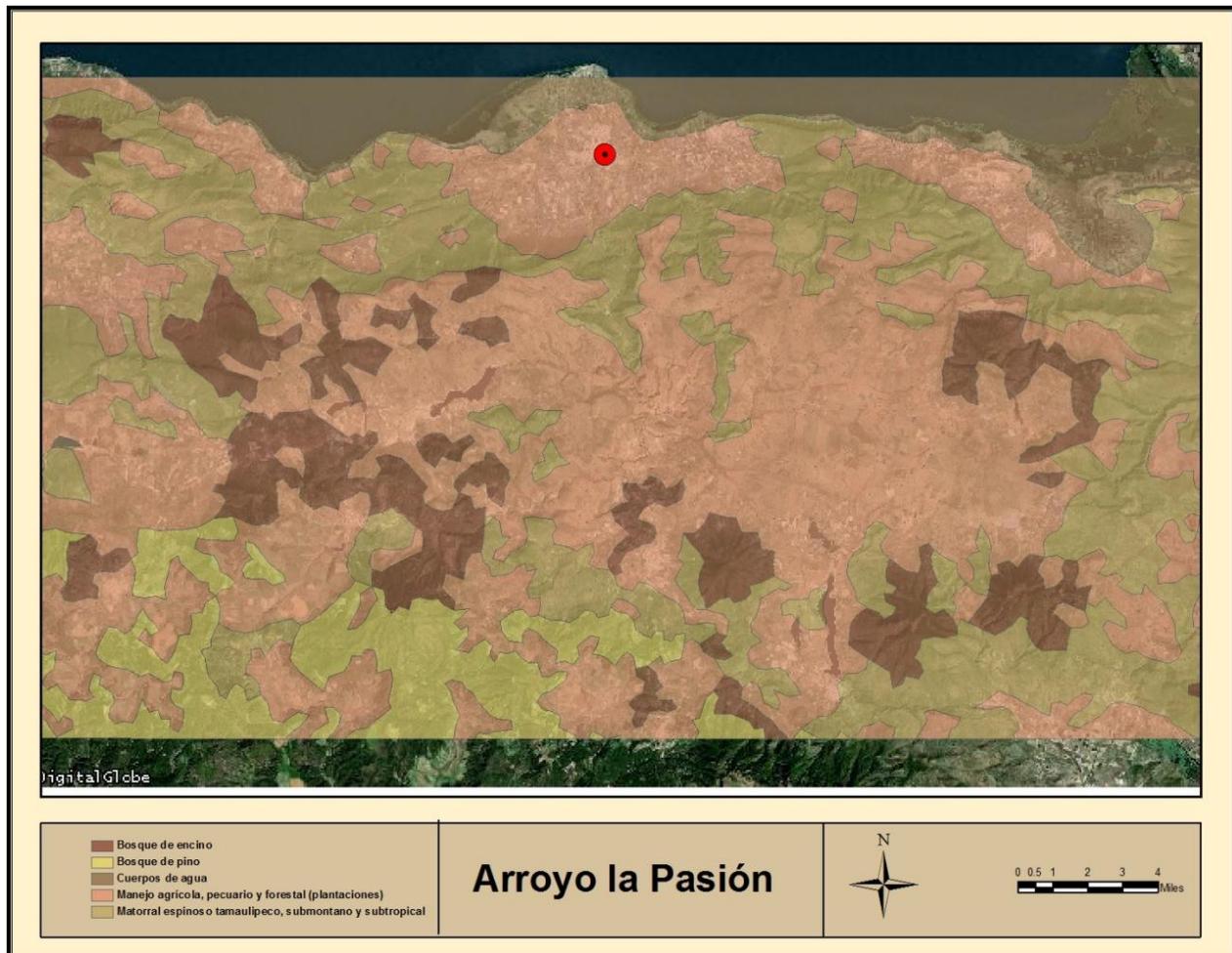


Figura 8. Uso de suelo empleado en la zona de estudio.

5.2.3 Edafología

De acuerdo a la información obtenida se encuentran en la zona de estudio suelos del tipo Vertisol (Cromico y Pelico), Feozem (Luvico y Haplico), Cambisol ((Crónico y Eutrico) y Luvisol (Cromico y vertico), a continuación se presenta sus principales características (ver Figura 9).

El término **Cambisol** deriva del vocablo latino "cambiare" que significa cambiar, haciendo alusión al principio de diferenciación de horizontes manifestado por cambios en el color, la estructura o el lavado de carbonatos, entre otros. Los Cambisoles se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de un amplio abanico de rocas, entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial. Aparecen sobre todas las morfologías, climas y tipos de vegetación. El perfil es de tipo ABC. El horizonte B se caracteriza por una débil a moderada alteración del material original, por la usencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y compuestos de hierro y aluminio, de origen iluvial. Permiten un amplio rango de posibles usos agrícolas. Sus principales limitaciones están asociadas a la topografía, bajo espesor, pedregosidad o bajo contenido en bases. En zonas de elevada pendiente su uso queda reducido al forestal o pascícola. **Cambisol crómico**. La mayor parte del horizonte B tiene un matiz de 7.5 YR y una pureza en húmedo mayor de 4, o un matiz más rojo que 7.5 YR.

Cambisol éutrico. Otros Cambisoles. Se aceptan tres modalidades:

- **Endoéutrico.** La saturación es del 50 % o mayor en la totalidad del suelo comprendido entre 50 cm y un metro.
- **Hiperéutrico.** La saturación entre 20 cm y un metro es del 80 % o superior.
- **Ortiéutrico.** La saturación es del 50 % o mayor entre 20 cm y un metro

El término **Feozem** deriva del vocablo griego "phaios" que significa oscuro y del ruso "zemlja" que significa tierra, haciendo alusión al color oscuro de su horizonte superficial, debido al alto contenido en materia orgánica. El material original lo constituye un amplio rango de materiales no consolidados; destacan los depósitos glaciares y el loess con predominio de los de carácter básico. Se asocian a regiones con un clima suficientemente húmedo para que exista lavado pero con una estación seca; el clima puede ir de cálido a frío y van de la zona templada a las tierras altas tropicales. El relieve es llano o suavemente ondulado y la vegetación de matorral tipo estepa o de bosque. El perfil es de tipo AhBC el horizonte superficial suele ser menos oscuro y más delgado que en los Chernozem. El horizonte B puede ser de tipo Cámbico o Árgico. Los Feozems vírgenes soportan una vegetación de matorral o bosque, si bien son muy pocos. Son suelos fértiles y soportan una gran variedad de cultivos de secano y regadío así como pastizales. Sus principales limitaciones son las inundaciones y la erosión.

Feozem lúvico. El suelo presenta un horizonte árgico en, cuya totalidad, la CIC es como mínimo de 24 $\text{cmol}_{(c)}/\text{kg}$ de arcilla y su saturación en bases del 50 % o superior hasta una profundidad de 100 cm

El término **Luvisol** deriva del vocablo latino "luere" que significa lavar, haciendo alusión al lavado de arcilla de los horizontes superiores para acumularse en una zona más profunda. Los Luvisoles se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de materiales no consolidados como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales. Predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados fríos o cálidos pero con una estación seca y otra húmeda, como el clima mediterráneo. El perfil es de tipo ABtC. Sobre el horizonte árgico puede aparecer un albico, en este caso son intergradados hacia los albeluvisoles. El amplio rango de materiales originales y condiciones ambientales, otorgan una gran diversidad a este Grupo. Cuando el drenaje interno es adecuado, presentan una gran potencialidad para un gran número de cultivos a causa de su moderado estado de alteración y su, generalmente, alto grado de saturación.

Luvisol crómico. La mayor parte del horizonte B tiene un matiz de 7.5 YR y una pureza en húmedo mayor de 4, o un matiz más rojo que 7.5 YR.

Los vertisoles son suelos minerales de color negro a gris oscuro, de pH ligeramente alcalino con alto contenido de arcillas expansivas (de 45 a 60%). Por tanto presentan agrietamiento y son típicamente duros y masivos cuando están secos, a menos que por efecto de las prácticas agrícolas estas características hayan mejorado. Presenta contenidos considerables de materia orgánica (de 2-8% en la zona); alta capacidad de retención de nutrientes (un promedio de más de 35 meq/100 g), que se encuentra totalmente saturada.

Es frecuente que estos suelos se encuentren sobre capas de depósitos volcánicos como tobas, que presentan en su mayoría cementación secundaria por sílice, denominada duripán

o como en el bajo sobreyaciendo a capas o consolidadas de aluvión o depósitos lacustres. En algunas áreas una cementación secundaria de carbonato de calcio se ha producido sobre este tepetate. Estos vertisoles suelen presentar pedregosidad abundante en laderas y pies de monte.

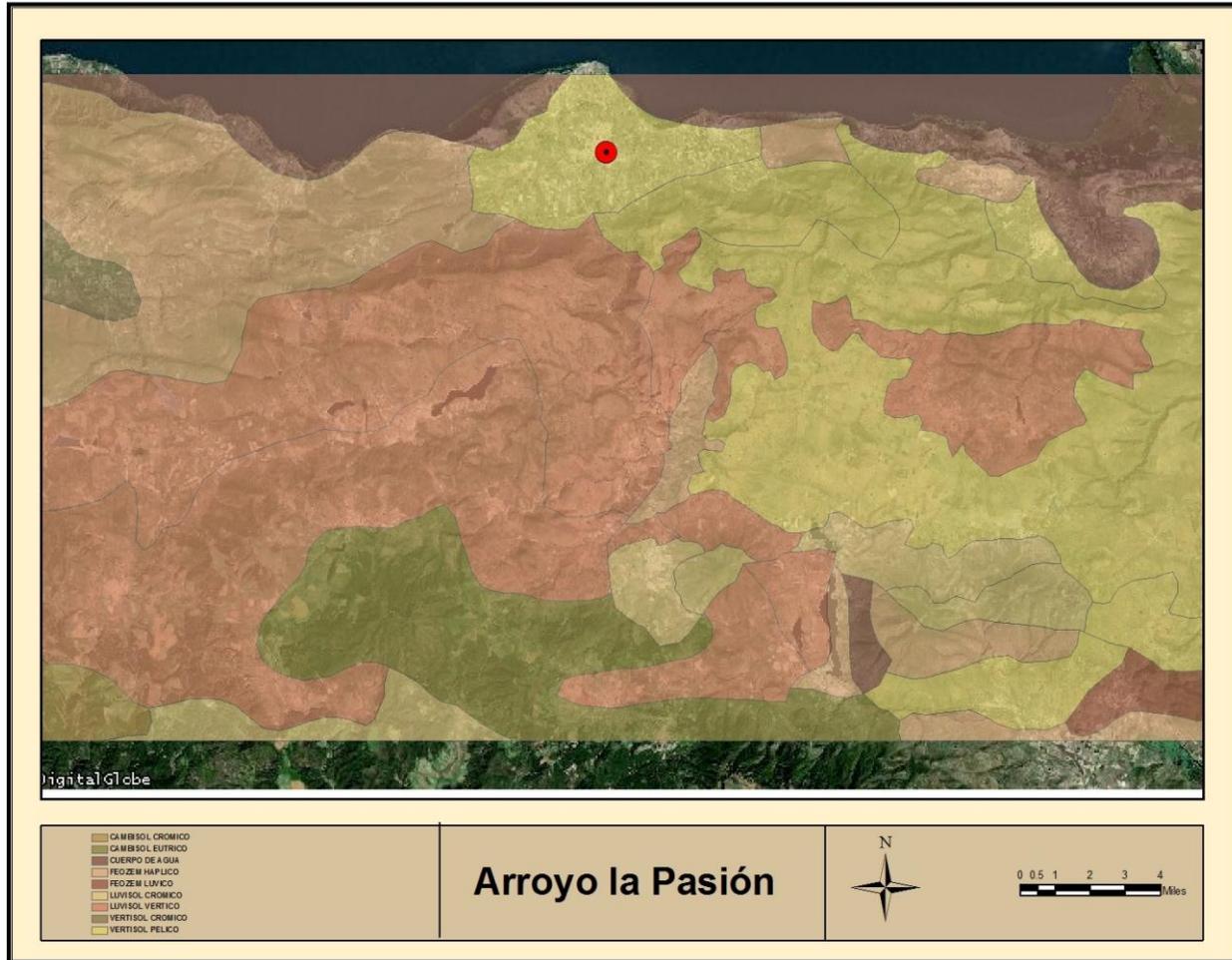


Figura 9. Edafología de la zona de estudio.

5.2.4 Climatología

Para determinar las condiciones climatológicas de la zona de estudio, se recurrió a los registros climatológicos de las principales estaciones existentes (ERIC III)¹, siendo la estación del pueblito la más cercana al sitio. En la Figura 10 se muestra el total de las estaciones con referencia al predio.

Tabla 2 Distancia entre la estación hidrometrica y estación climatológica

| ID Estación | Nombre | Estado | Distancia (m) |
|-------------|------------------------|--------|---------------|
| 14189 | TIZAPAN, TIZAPAN (DGE) | Jal. | 3,013. |
| 16067 | LA RAYA, SAHUAYO | Mich | 20,953 |

¹ ERIC III, Extractor Rápido de Información Climatológica, IMTA.

| ID Estación | Nombre | Estado | Distancia (m) |
|-------------|-------------------------|--------|---------------|
| 14086 | LA MANZANILLA DE LA PAZ | Jal. | 21,686 |
| 14099 | MAZAMITLA, MAZAMITLA | Jal. | 24,914 |



Figura 10. Estaciones climatológicas en la zona estudio.

5.2.5 Cauces y arroyos principales

Se obtuvieron los principales escurrimientos y cuerpos de agua existentes en la cartografía de INEGI. Una vez identificada la hidrografía de la zona, se puede apreciar en la superposición con la imagen de satélite, de la fidelidad de los datos obtenidos. En la Figura 11, se muestran de manera general los tramos de la red más representativos de la hidrografía empleada.

Es importante mencionar que la existencia de la carretera no interfiere con los cauces, pues existen alcantarillas para dar continuidad al flujo.

En cuanto al escurrimiento se observa que son arroyos intermitentes, solo conducen agua producto de la precipitación pluvial.

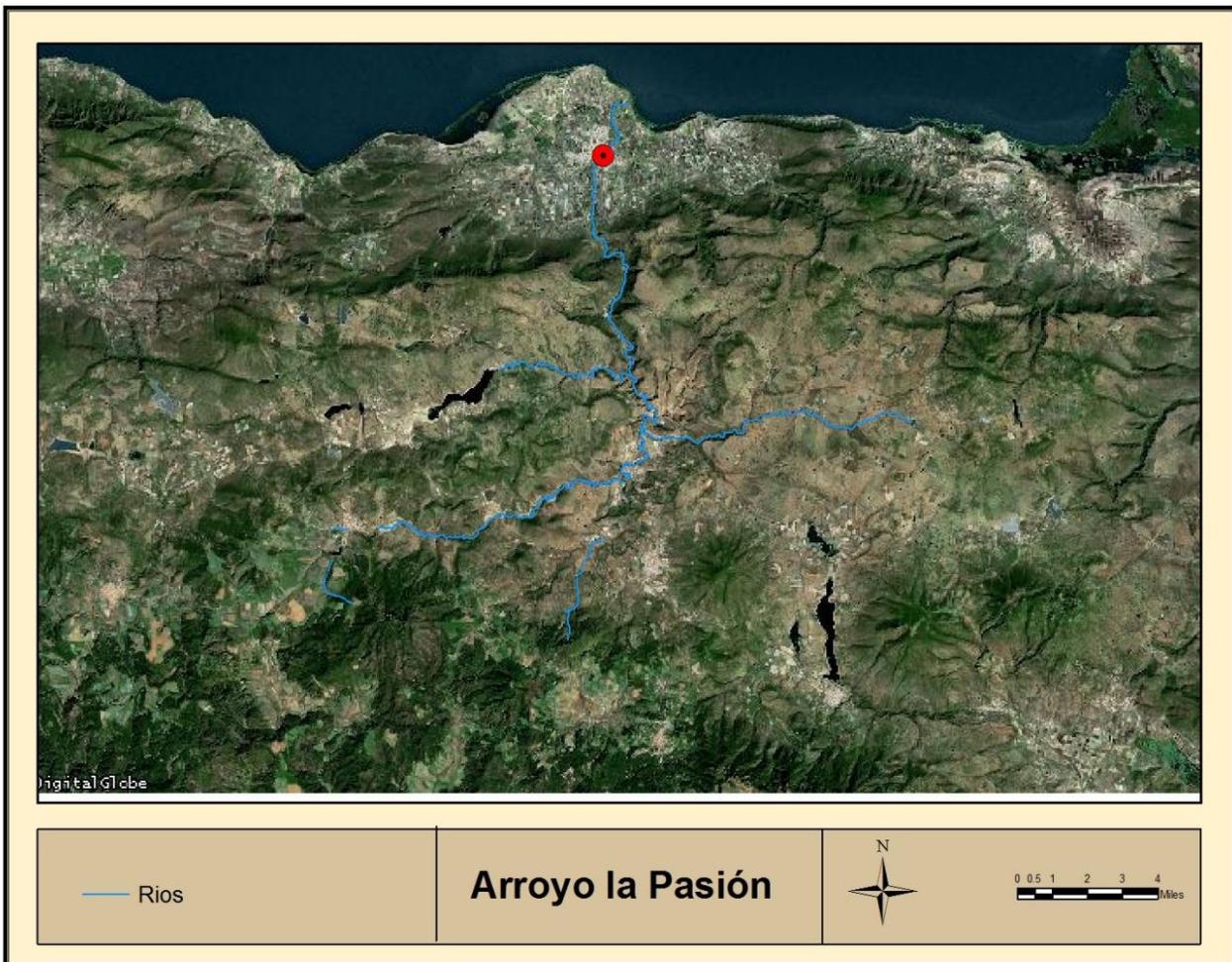


Figura 11. Hidrografía de la zona de estudio, con la imagen de satélite.

5.3 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DE CUENCA

La morfometría de cuencas hidrográficas y de drenajes, es una herramienta que permite determinar características importantes de forma y comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico, que más adelante se convierten en base para el análisis de particularidades de cada una de las cuencas y para la posterior formulación de líneas de manejo prioritarias, relativas a la red hídrica.

Los índices empleados en cuanto a morfometría de cuencas, para el presente estudio son:

5.3.1 Parámetros de forma

Para el cálculo de Forma, se aplicó el Índice de Compacidad a partir de la fórmula según Gravelius, 1914.

$$C_c = \frac{P_c}{2\sqrt{\pi A_c}}$$

Con las siguientes consideraciones a los resultados

- Si $1.00 < C_c < 1.25$ Redonda
- Si $1.25 \leq C_c < 1.50$ Ovalada
- Si $1.50 \leq C_c < 1.75$ Oblonga

El Coeficiente o Razón de Elongación, se utilizó la fórmula propuesta por Shumm, 1956:

$$Re = \frac{1.128 \sqrt{Ac}}{Lc}$$

El Alejamiento Medio, relaciona el recorrido de los cauces colectores del drenaje en el interior de la cuenca:

$$Aj = \frac{Lc}{\sqrt{Ac}}$$

Donde:

Pc = Perímetro de la cuenca

Ac= Área de la cuenca

Lc= Longitud del cauce de la cuenca.

5.3.2 Parámetros del relieve

- Curva Hipsométrica permite caracterizar el relieve, se obtiene a partir de las cotas de altitud registradas en los modelos digitales.
- Pendiente de la Cuenca. Se calcula como la media ponderada de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante.
- Diferencia de Altitud. La diferencia de altitud de la Cuenca es restando el punto más alto menos el punto más bajo de la misma.

5.3.3 Parámetros relativos a la red de drenaje de la cuenca

Para la red de drenaje, se consideran los tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de las corrientes, densidad de drenaje y frecuencia de corrientes.

Densidad de Drenaje. Está definida para una cuenca, como la longitud media de curso por unidad de superficie. Se definió mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum Lc}{Ac}$$

Pendiente Media del Cauce Principal. Se expresa con “ *i* ” y se calcula como la relación de la variación de la altura respecto a la longitud del cauce principal, mediante la fórmula propuesta por Saavedra, 2001:

$$i = \frac{Hmax - Hmin}{Lc}$$

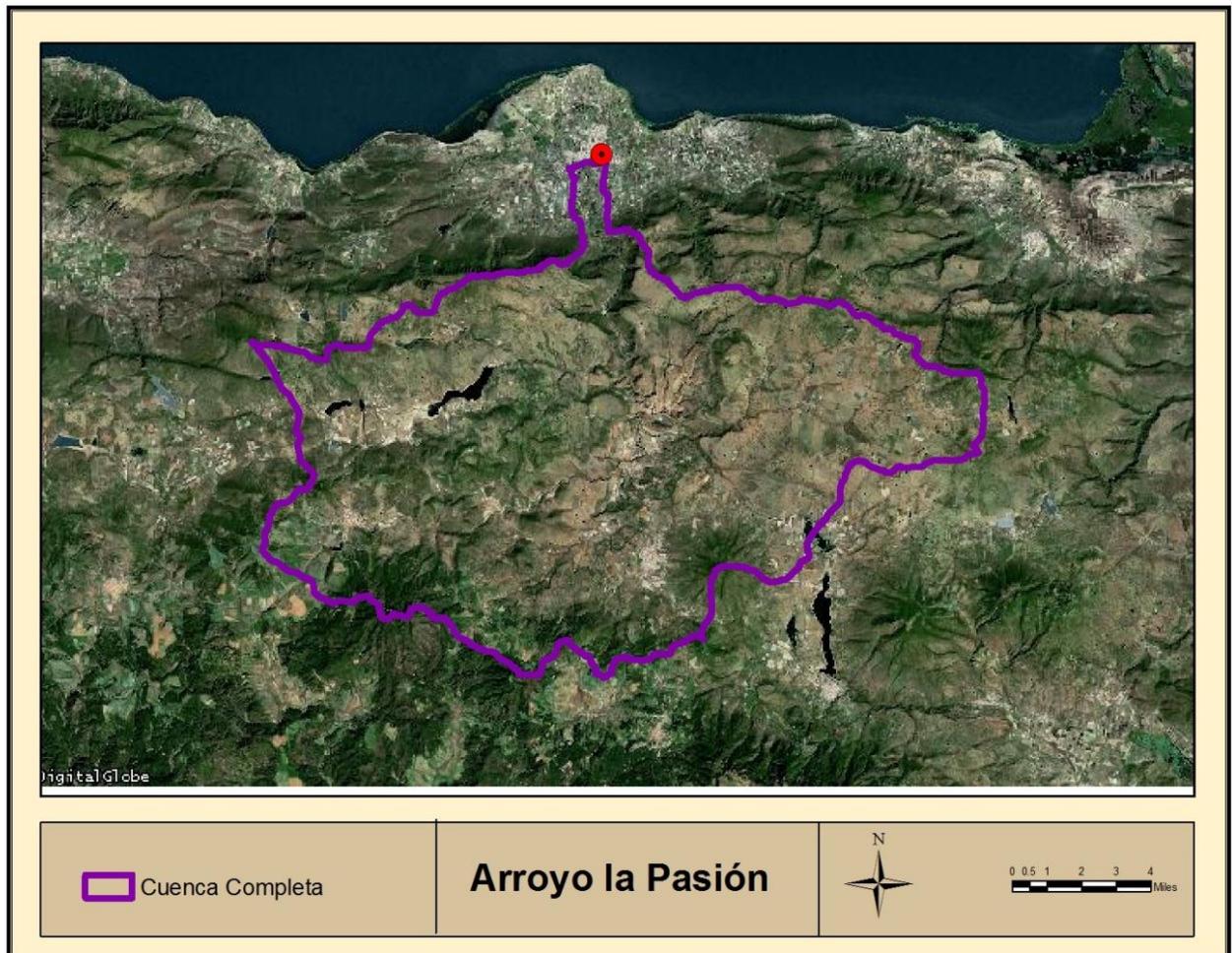
Criterio Dos de Pendiente del Cauce Principal. Se aplicó este criterio, que consiste en eliminar 15% de la longitud del cauce, desde el punto más alto ó punto superior y 10% de la longitud del cauce desde la salida (punto inferior).

$$Criterio 2 = LCP - 0.75 \times longitud$$

Tiempo de Concentración. El tiempo de concentración, es aquel que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca, determinándose mediante:

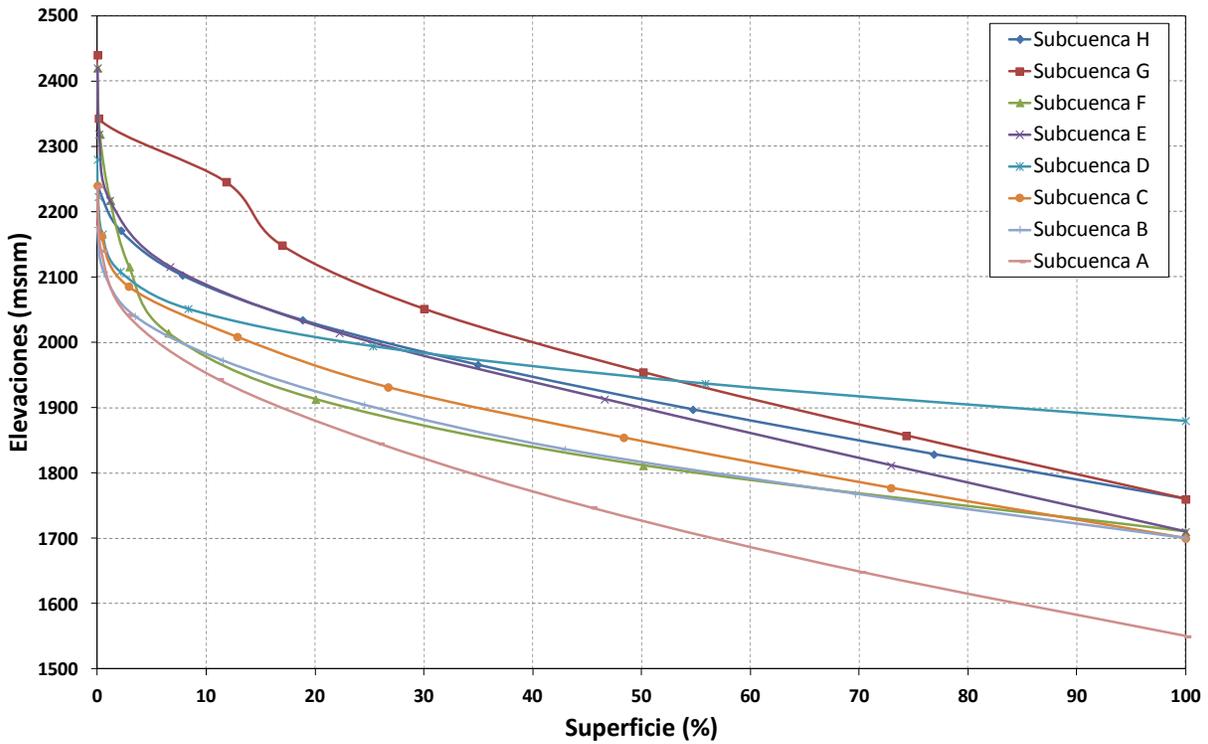
$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lc}{0.8\sqrt{Hc}}$$

Centro de Gravedad del Cauce Principal. Es la distancia media o punto medio del cauce principal.



5.3.4 Resultados

Los datos de elevación son significativos sobre todo para considerar la acción de la altitud en el comportamiento de la temperatura y la precipitación. La curva hipsométrica (Ch), refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca. De acuerdo con la clasificación de Stahler (Llamas, 1993 y Campos, 1992) la Ch obtenida para cada subcuenca, corresponde a un área en etapa de equilibrio, y además es geológicamente madura y característico de una cuenca de pie de montaña.



En

la

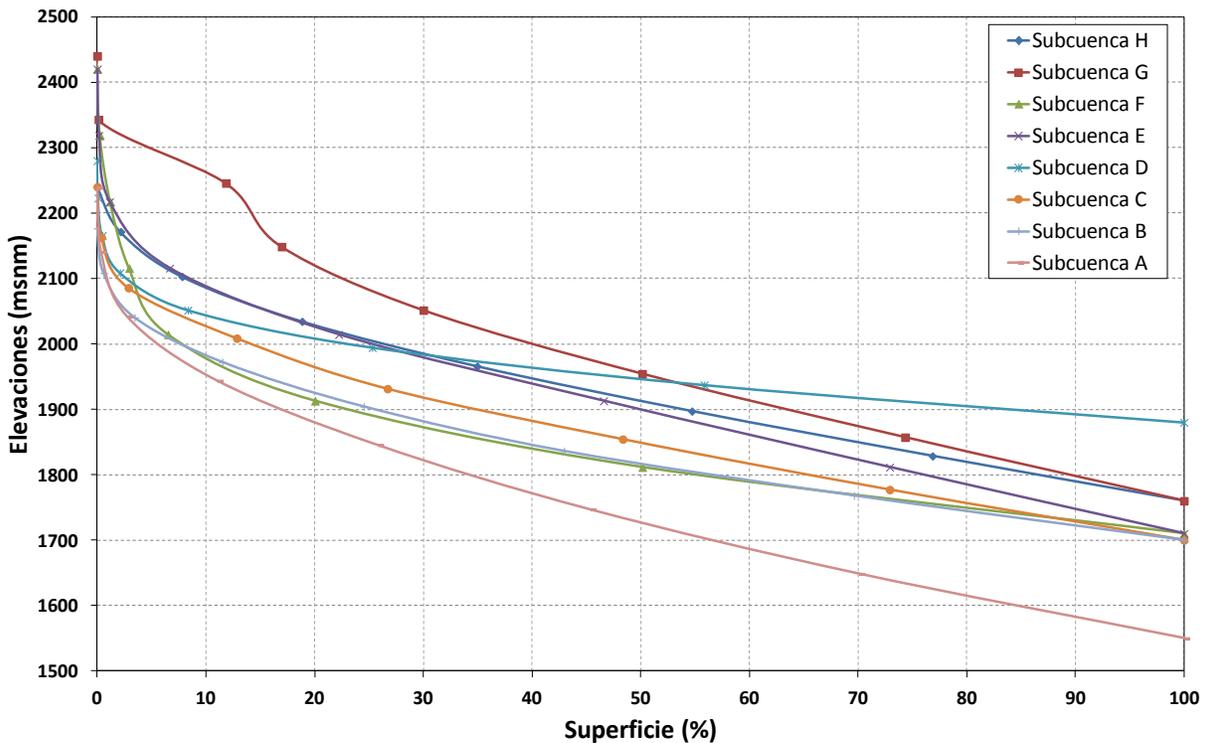


Figura 13 se presentan las curvas hipsométricas de cada subcuena identificada, es posible observar que todas las subcuencas en el del orden del 5% de la cuenca se encuentra entre las

elevaciones altas o sea de lomeríos, el resto de cuenca (95%) se encuentra en elevaciones de planicie.

Desde el punto de vista hidrológico al analizar en forma conjunta el porcentaje y el rango de elevaciones es posible observar la parte alta de la cuenca es capaz de drenar con mayor velocidad que la parte baja de la cuenca, y que estas cuencas están a penas en desarrollo.

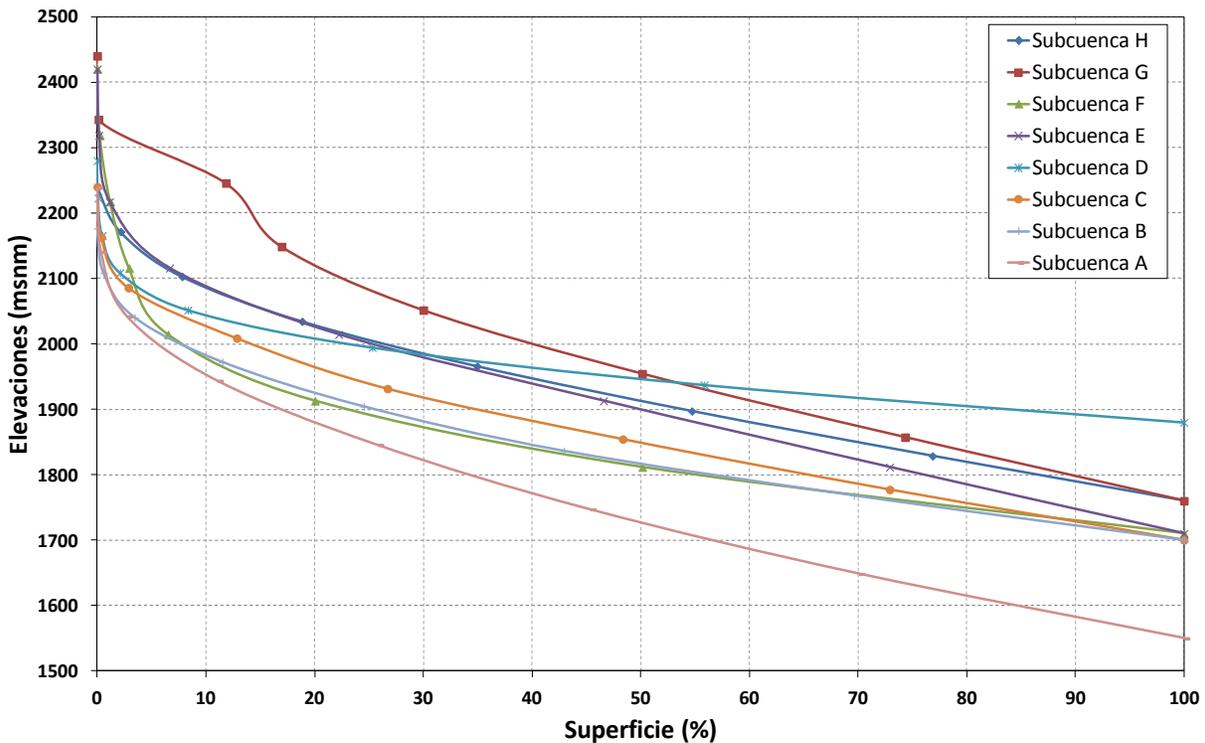


Figura 13. Curvas hipsométricas de las subcuencas

Tabla 3 Resumen de parámetros morfométricos.

| Parámetros Morfométricos | Cuenca A | Cuenca B | Cuenca C | Cuenca D | Cuenca E | Cuenca F | Cuenca G | Cuenca H |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Área (km ²) | 30.57 | 28.14 | 38.19 | 59.54 | 109.56 | 16.53 | 69.34 | 72.54 |
| Perímetro (km) | 41.10 | 32.32 | 46.10 | 49.94 | 64.70 | 31.84 | 63.52 | 57.02 |
| Sumatorio cauces (km) | 17.18 | 13.81 | 16.36 | 10.53 | 31.83 | 4.73 | 21.65 | 20.27 |
| Índice de Gravelius | 2.10 | 1.72 | 2.10 | 1.83 | 1.74 | 2.21 | 2.15 | 1.89 |
| Razón de Elongación | 0.4125 | 0.4926 | 0.4843 | 0.9395 | 0.4215 | 1.1020 | 0.4930 | 0.5387 |
| Alejamiento Medio | 3.11 | 2.60 | 2.65 | 1.36 | 3.04 | 1.16 | 2.60 | 2.38 |
| Altura max | 2238.75 | 2176.35 | 2240.00 | 2280.00 | 2420.00 | 2420.00 | 2440.00 | 2240.00 |
| Altura min | 1550.00 | 1700.00 | 1700.00 | 1880.00 | 1710.00 | 1710.00 | 1760.00 | 1760.00 |
| Long tramo + largo (m) | 11158.00 | 10217.00 | 12458.00 | 10873.00 | 18246.00 | 9689.00 | 18551.00 | 12788.00 |
| Densidad de Drenaje | 0.56 | 0.49 | 0.43 | 0.18 | 0.29 | 0.29 | 0.31 | 0.28 |
| Pendiente | 6.17% | 4.66% | 4.33% | 3.68% | 3.89% | 7.33% | 3.67% | 3.75% |

| | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Criterio 2 | -2993.26 | -2250.66 | -3712.41 | -1996.84 | -4512.15 | -4559.20 | -3971.67 | -5431.03 |
| Tiempo de concentración | 3.18 | 3.14 | 3.70 | 3.45 | 5.05 | 2.77 | 5.17 | 3.88 |
| Centro de Gravedad del Cauce Principal | 5,375.24 | 5,412.09 | 5,631.09 | 6,157.91 | 9,172.35 | 2,707.55 | 9,941.58 | 4,159.97 |

5.4 ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO

5.4.1 Polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen permiten establecer la relación entre la lámina de lluvia y la distancia a las estaciones climatológicas con influencia en la zona de estudio. En el caso del predio sólo la estación El Charape tiene influencia predio. En la Figura 14 se muestran los polígonos de Thiessen.

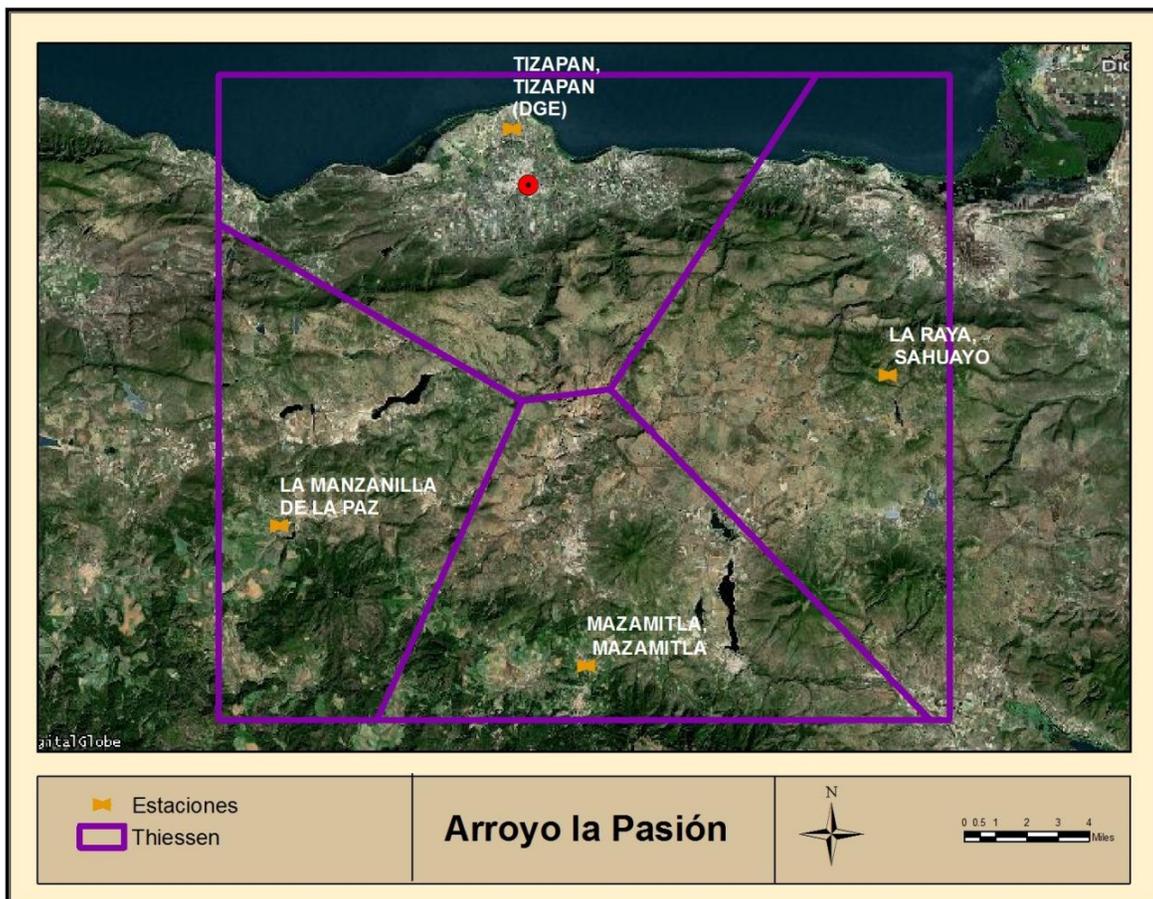


Figura 14 Polígonos de Thiessen

5.4.2 Precipitación

Al realizar en primer lugar los polígonos de Thiessen sólo se extrae y se procesa la información de la estación climatológica que tiene influencia en la cuenca en estudio, en este caso, correspondió a cuatro estaciones climatológicas, Mazamitla, La Raya, La Mazanilla de la Paz y Tizapán.

5.4.2.1 Estación Manzanilla la Paz (14086).

La estación Manzanilla cuenta con información a partir del año 1950 y hasta el año 2009, del total de datos diarios se cuenta con el 83% de información. La información de precipitación fue obtenida de la pagina "<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/14086.txt>".

En la Figura 15 se muestra los datos de la lámina de lluvia anual acumulada, para el periodo en estudio la lámina promedio fue del orden de 972 mm/año.

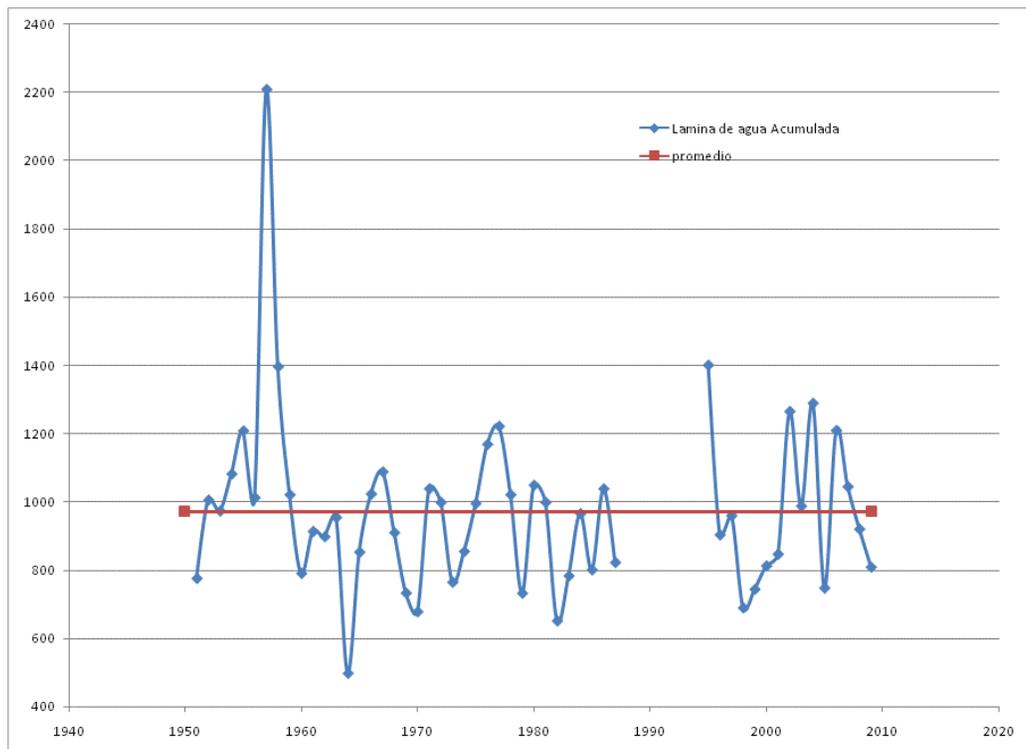


Figura 15 Lámina anual acumulada

En la Figura 16 se presenta el promedio mensual de la precipitación diaria, es posible observar que la lámina promedio supera los 80 mm y la más altas es marcada y se presento en el año 1957.

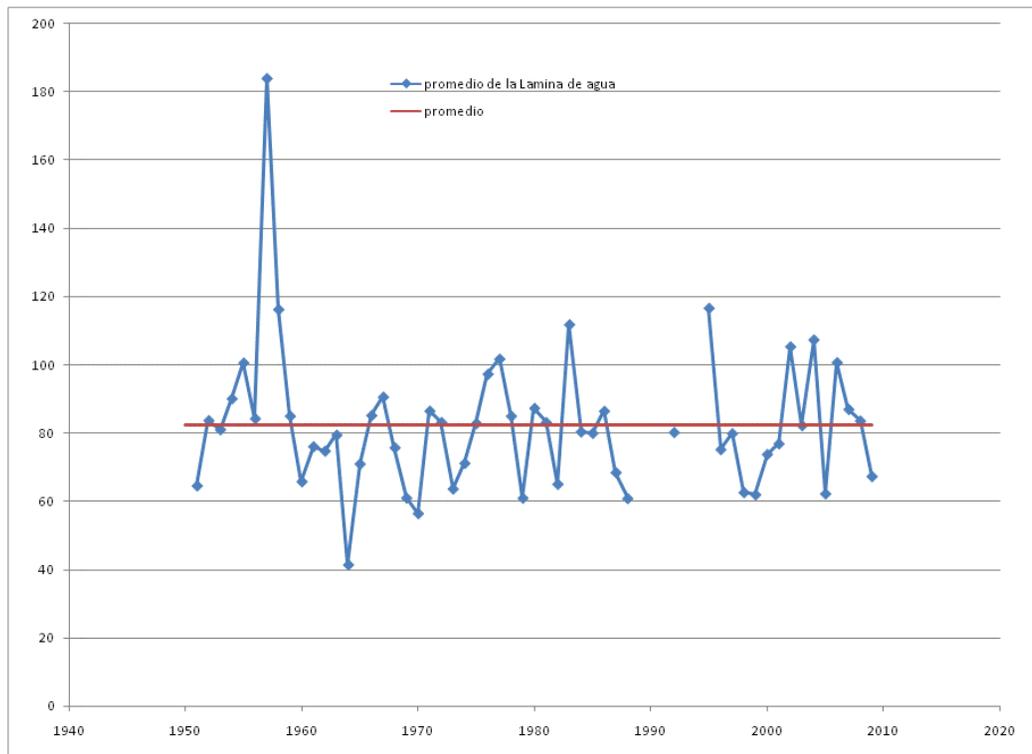


Figura 16 Precipitación promedio anual

En cuanto a la distribución anual de la lluvia, se observa que los meses con mayor precipitación es junio, julio, agosto y septiembre, mientras que los meses con menor precipitación son enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre.

Nótese que en esta estación en el mes de julio el promedio de precipitación es del orden de 220 mm lo cual representa casi la cuarta parte de la precipitación promedio anual.

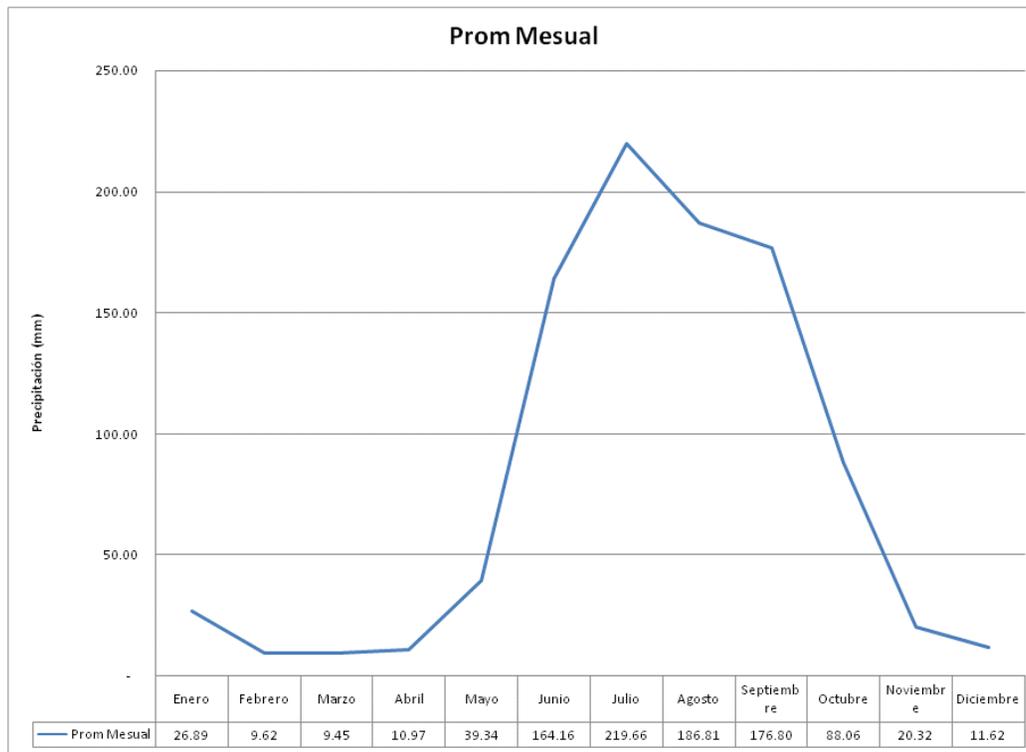


Figura 17 Precipitación promedio mensual periodo 1950-2009

En la Tabla 4 se muestra la altura de la lámina de agua precipitada en la estación Manzanilla la Paz para cada año.

Tabla 4. Altura de la lámina de agua en la estación el Manzanilla 14086.

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1950 | | | | | | | | | | 17 | 0 | 2.4 | |
| 1951 | 30 | 0 | 4 | 5 | 19.5 | 28.7 | 34.5 | 32.8 | 25.9 | 11 | 15 | 3 | 17.45 |
| 1952 | 0 | 11.7 | 5.5 | 9.6 | 20 | 58 | 43.4 | 39 | 39.5 | 3 | 20 | 6.3 | 21.33 |
| 1953 | 0 | 12.4 | 7.4 | 20 | 16.5 | 32.6 | 23.7 | 54 | 23.5 | 37 | 23.6 | 19.3 | 22.50 |
| 1954 | 14.9 | 2 | 18 | 0 | 18.6 | 45.8 | 62 | 32.6 | 30 | 43.6 | 25.3 | 1.2 | 24.50 |
| 1955 | 11.5 | 13.9 | 0 | 0 | 19.6 | 25.6 | 43.6 | 52.6 | 45.8 | 78.8 | 3.7 | 5.3 | 25.03 |
| 1956 | 0 | 3 | 0 | 11.3 | 26.7 | 36.4 | 37.4 | 34.9 | 39.7 | 25.8 | 0 | 5.5 | 18.39 |
| 1957 | 0 | 0 | 1.5 | 20 | 17.6 | 22.8 | 42.6 | 32 | 327 | 28.6 | 0 | 1.4 | 41.13 |
| 1958 | 33.6 | 1.7 | 5 | 7.7 | 22.3 | 55 | 44.6 | 62.4 | 27.9 | 33.4 | 43 | 19 | 29.63 |
| 1959 | 2.3 | 0 | 17.2 | 28 | 37.3 | 32.5 | 42 | 31.7 | 8.4 | 66.3 | 24.6 | 4.2 | 24.54 |
| 1960 | 0 | 0 | 0 | 6.4 | 12.3 | 32.8 | 31.2 | 32.7 | 22.4 | 28.7 | 1.2 | 7.2 | 14.58 |
| 1961 | 24.6 | 0 | 0 | 0 | 4.6 | 31.8 | 54.8 | 57.6 | 17.9 | 21.3 | 4.6 | 2.6 | 18.32 |
| 1962 | 1.3 | 0 | 0 | 4.2 | 0 | 51 | 43.7 | 39 | 68.5 | 44.8 | 2.3 | 0 | 21.23 |
| 1963 | 0 | 16.7 | 8.4 | 15.3 | 11.3 | 19 | 28.2 | 44.6 | 30 | 42.3 | 1.4 | 43.6 | 21.73 |
| 1964 | 19 | 0 | 0 | 1.4 | 58.4 | 12.3 | 31.4 | 21.5 | 50 | 13.2 | 20 | 0 | 18.93 |
| 1965 | 17.3 | 12.7 | 11.7 | 0 | 6.4 | 47.2 | 32.8 | 42.5 | 36 | 43.5 | 20 | 34 | 25.34 |
| 1966 | 0 | 22 | 6 | 14.5 | 35 | 45.5 | 62 | 21 | 18.7 | 18.7 | 0 | 24.6 | 22.33 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1967 | 96 | 0 | 0 | 4 | 14.5 | 26.3 | 35 | 40.2 | 64.5 | 51.5 | 0 | 18 | 29.17 |
| 1968 | 4.2 | 20 | 124 | 0 | 22 | 17 | 60 | 49 | 43.2 | 8 | 12 | 10.6 | 30.83 |
| 1969 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 47 | 22 | 28 | 32 | 65 | 0 | 5 | 17.42 |
| 1970 | 2 | 21 | 0 | 0 | 0 | 45 | 37.5 | 16.7 | 20 | 0 | 43.5 | 0 | 15.48 |
| 1971 | 8 | 0 | 23.5 | 0 | 18.6 | 18 | 38.5 | 56.5 | 31.7 | 41.5 | 25 | 0 | 21.78 |
| 1972 | 4 | 0 | 0 | 0 | 20 | 63.4 | 70 | 22 | 38.3 | 18 | 23.4 | 0 | 21.59 |
| 1973 | 24.5 | 0 | 0 | 7.5 | 39 | 54.3 | 20 | 35 | 22.7 | 27.6 | 9.3 | 0 | 19.99 |
| 1974 | 5.4 | 0 | 0 | 23.6 | 38 | 32.8 | 27 | 43.2 | 22 | 15.3 | 0 | 20 | 18.94 |
| 1975 | 13.8 | 0 | 0 | 0 | 22 | 26 | 44.3 | 26.5 | 78.2 | 0 | 0 | 6 | 18.07 |
| 1976 | 0 | 0 | 3 | 7 | 6 | 17 | 43.6 | 19.5 | 37.9 | 65 | 69 | 6 | 22.83 |
| 1977 | 4 | 0 | 0 | 46 | 27 | 22.5 | 38.4 | 34.2 | 19.7 | 33.2 | 36.4 | 22.5 | 23.66 |
| 1978 | 5.4 | 13.6 | 38.6 | 0 | 8 | 47.2 | 31.2 | 25.2 | 24.7 | 48.5 | 2 | 0 | 20.37 |
| 1979 | 0 | 26.5 | 4.5 | 6 | 8.6 | 22.7 | 26.6 | 23.8 | 24.6 | 0 | 2.5 | 28.4 | 14.52 |
| 1980 | 63.2 | 9.4 | 0 | 2.5 | 6 | 25 | 43 | 56.4 | 42.4 | 25.7 | 13.5 | 5.5 | 24.38 |
| 1981 | 38.3 | 7 | 0 | 7.5 | 21 | 54 | 38.5 | 61 | 38.2 | 9.5 | 5.5 | 15.5 | 24.67 |
| 1982 | 0 | 7.8 | 0 | 24 | 17.5 | 9 | 69.5 | 33.5 | 19.5 | 42.5 | | | 22.33 |
| 1983 | | | | | 57.1 | | 43.9 | 20 | 20.7 | 20 | 20 | 0 | 25.96 |
| 1984 | 16.3 | 1.6 | 1 | 0 | 19.4 | 42 | 44 | 20 | 7 | 50 | 4 | 0 | 17.11 |
| 1985 | 4 | | | 0 | 5.2 | 36 | 25.2 | 28 | 25.6 | 17.4 | 30 | 3.5 | 17.49 |
| 1986 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 53 | 35 | 40 | 20 | 35.6 | 2.5 | 3.2 | 16.61 |
| 1987 | 16.2 | 15.5 | 0 | 6 | 12 | 40 | 46.2 | 29 | 15 | 3 | 0 | 0 | 15.24 |
| 1988 | 12.5 | 0 | 17.1 | | 0 | 40 | 0 | 40 | | | | | 15.66 |
| 1991 | | | 9 | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 2.25 |
| 1992 | | 0 | 0 | 6.8 | 90.5 | 80.3 | 51.8 | 18.9 | 52 | | | | 37.54 |
| 1993 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | | | | - |
| 1995 | 67 | 0 | 0 | 0 | 5.5 | 24 | 78 | 78.3 | 59 | 65.5 | 4.8 | 4.8 | 32.24 |
| 1996 | 0 | 6.5 | 2.3 | 0 | 11.7 | 32.2 | 66.1 | 33.4 | 37.4 | 30.2 | 8.3 | 0 | 19.01 |
| 1997 | 3.4 | 0 | 11.6 | 10.7 | 17 | 29.5 | 44.5 | 44.5 | 35.9 | 33.2 | 41.7 | 0 | 22.67 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 22 | 29.8 | 37.8 | 20.3 | 0 | 0 | 9.99 |
| 1999 | 0 | 2.1 | 0 | 0 | 17.4 | 34.9 | 30.2 | 28.4 | 32 | 3.5 | 0 | 0 | 12.38 |
| 2000 | 0 | 3.9 | 0 | 0 | 17.3 | 28.2 | 24.2 | 27.8 | 28.1 | 17.4 | 6.8 | | 13.97 |
| 2001 | 0 | 0.3 | 29.5 | 4.5 | | 43.8 | 26.5 | 26.2 | 28.6 | 18.2 | 6.2 | 0 | 16.71 |
| 2002 | 33.9 | 20.4 | 2.7 | 0 | 18.5 | 24.4 | 68.5 | 57.3 | 37.4 | 18.2 | 21.7 | 0 | 25.25 |
| 2003 | 10.2 | 1.2 | 0 | 5.2 | 14.9 | 24 | 42.7 | 43 | 34.7 | 39.5 | 18.2 | 0 | 19.47 |
| 2004 | 16.1 | 0 | 12.5 | 3.1 | 22.1 | 51.9 | 48.5 | 19 | 30.1 | 29.1 | 0 | 19.4 | 20.98 |
| 2005 | 21.8 | 14.4 | 0 | 0 | 0 | 8.5 | 23.5 | 29.2 | 28.7 | 25.3 | 0.9 | 0 | 12.69 |
| 2006 | 21.8 | 0 | 0 | 0 | 10.4 | 38.1 | 40.5 | 40.8 | 40.3 | 50.2 | 0.3 | 40.3 | 23.56 |
| 2007 | 5.9 | 17.4 | 0 | 5.4 | 6.8 | 52.8 | 57.4 | 17.4 | 21.5 | 27.2 | 0.7 | 5.2 | 18.14 |
| 2008 | | 0 | 0 | 33.7 | 12.4 | 31.7 | 23.8 | 41.9 | 34.2 | 21.7 | 0 | 0 | 18.13 |
| 2009 | 23 | 0 | 0.5 | 0 | 20.4 | 20 | 29.3 | 53.1 | 31.2 | 30.4 | 0 | 5.9 | 17.82 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|
| Promedio | 12.99 | 5.37 | 6.75 | 6.44 | 18.00 | 34.71 | 40.27 | 35.77 | 38.26 | 29.51 | 11.79 | 7.68 | 20.43 |
| Max | 96.00 | 26.50 | 124.00 | 46.00 | 90.50 | 80.30 | 78.00 | 78.30 | 327.00 | 78.80 | 69.00 | 43.60 | 41.13 |

5.4.2.2 Estación Mazamitla (14099).

La estación Mazamitla cuenta con información a partir del año 1947 y hasta el año 2009, del total de datos diarios se cuenta con el 96% de información. La información de precipitación fue obtenida de la pagina "<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/14099.txt>".

En la Figura 18 se muestra los datos de la lámina de lluvia anual acumulada, para el periodo en estudio la lámina promedio fue del orden de 1031 mm/año.

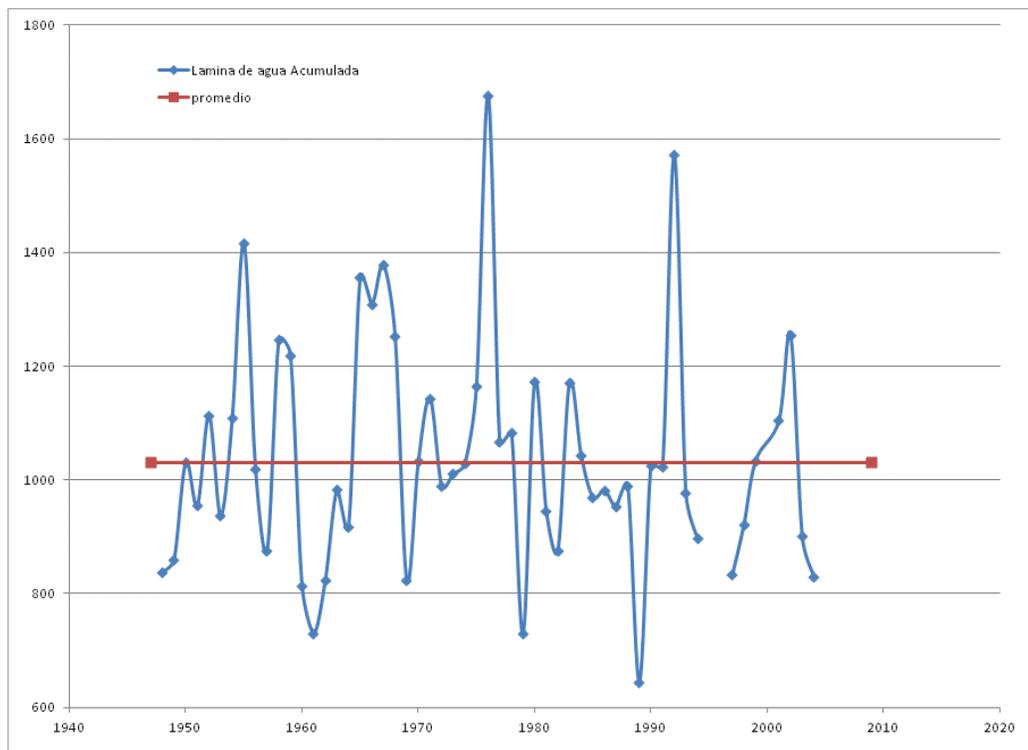


Figura 18 Lámina anual acumulada

En la Figura 19 se presenta el promedio mensual de la precipitación diaria, es posible observar que la lámina promedio supera los 86 mm y la más altas son marcadas y se presento en los año 1976 y 1992.

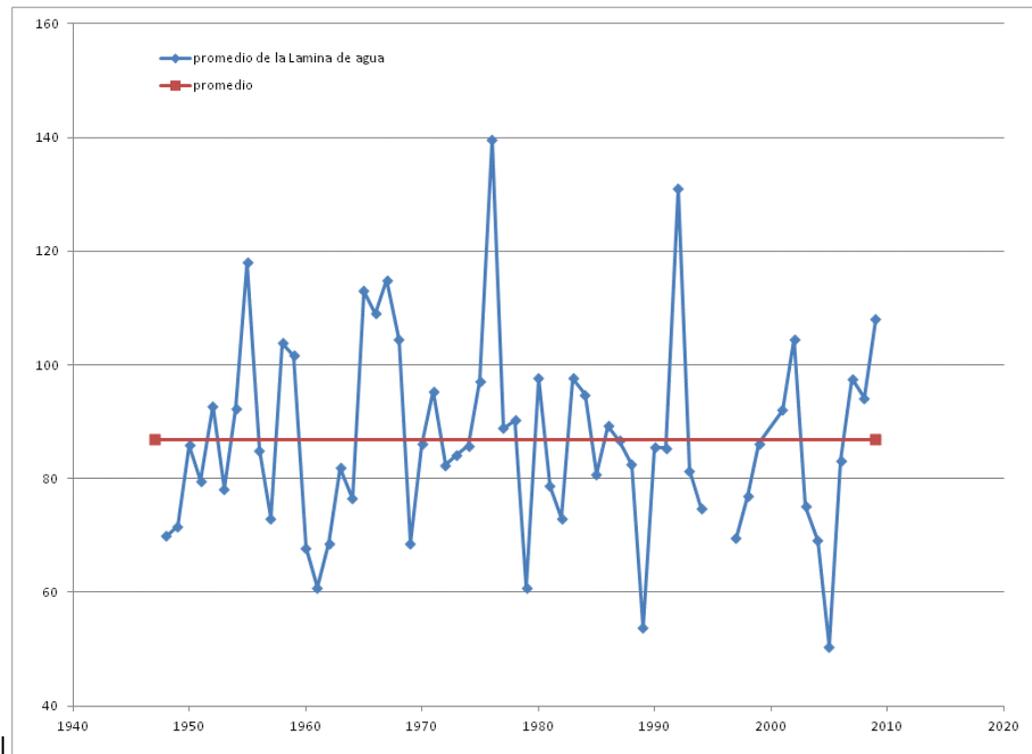


Figura 19 Precipitación promedio anual

En cuanto a la distribución anual de la lluvia, se observa que los meses con mayor precipitación es junio, julio y agosto, mientras que los meses con menor precipitación son enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre.

Nótese que en esta estación en el mes de julio el promedio de precipitación es del orden de 228 mm lo cual representa casi la quinta parte de la precipitación promedio anual.

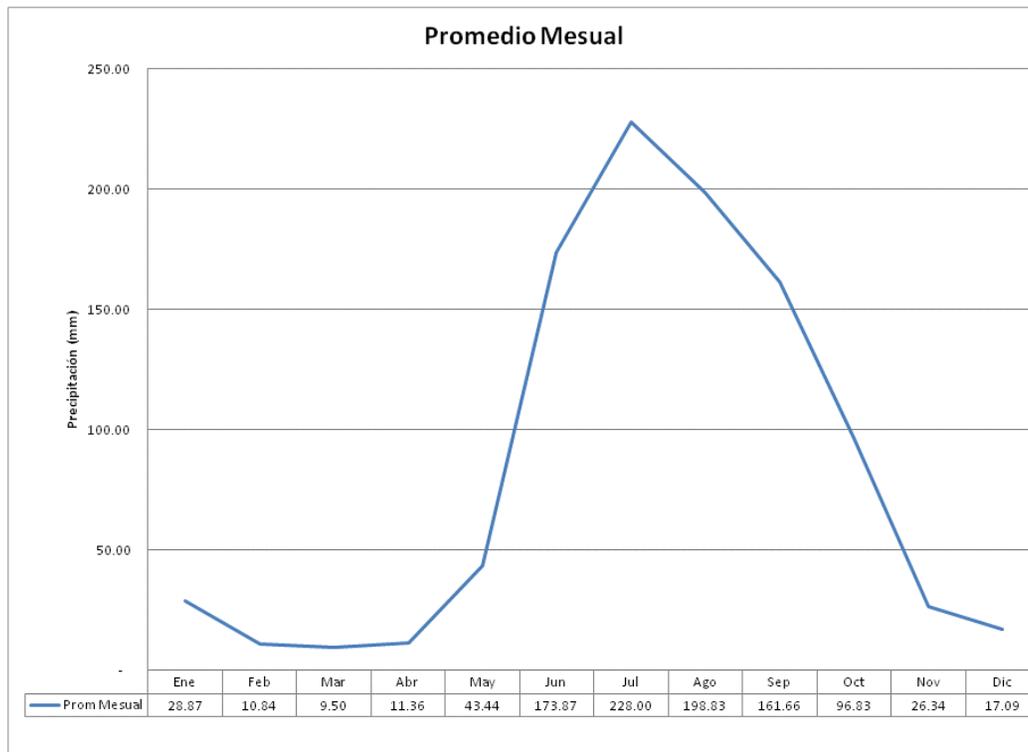


Figura 20 Precipitación promedio mensual periodo 1947-2009

En la Tabla 5 se muestra la altura de la lámina de agua precipitada en la estación Mazamitla para cada año.

Tabla 5. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099.

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1947 | | | | | | | | | | 33.8 | 0 | 24.8 | 19.53 |
| 1948 | 18.3 | 5.3 | 1.8 | 5 | 0 | 14 | 38 | 26.2 | 33.5 | 28.6 | 23 | 27.5 | 18.43 |
| 1949 | 0 | 2 | 5 | 0 | 12.5 | 22 | 45.8 | 56 | 53 | 25.7 | 0 | 2.8 | 18.73 |
| 1950 | 0 | 0 | 0 | 7.8 | 36 | 36.2 | 34.2 | 37 | 23.8 | 12 | 0 | 0 | 15.58 |
| 1951 | 7.5 | 0 | 22 | 0 | 30 | 24.9 | 32.4 | 32.6 | 25.8 | 19.5 | 22.5 | 0.4 | 18.13 |
| 1952 | 1.4 | 7.6 | 0 | 6.3 | 84.9 | 28 | 34 | 47.2 | 28.3 | 0 | 45.8 | 17.7 | 25.10 |
| 1953 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 54.1 | 35.6 | 28.3 | 46.5 | 20 | 21.3 | 40 | 21.15 |
| 1954 | 0 | 14.2 | 0 | 22 | 16.1 | 29 | 28.8 | 29.8 | 24.3 | 29.7 | 6.2 | 0 | 16.68 |
| 1955 | 1.1 | 0 | 0 | 1.2 | 8 | 33 | 32.7 | 44.4 | 45.1 | 78 | 8.6 | 12.7 | 22.07 |
| 1956 | 0.6 | 0 | 0 | 32.8 | 26.7 | 21.8 | 40 | 28.8 | 35.3 | 11.8 | 16.2 | 14.3 | 19.03 |
| 1957 | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 43.9 | 60 | 23.4 | 34.8 | 25 | 36.1 | 3.4 | 0 | 18.91 |
| 1958 | 28 | 7.9 | 0 | 0 | 20.2 | 66.6 | 27.8 | 35.8 | 30 | 17.1 | 10 | 0 | 20.28 |
| 1959 | 2.4 | 0 | 0 | 40 | 31.7 | 31.7 | 23.8 | 28.3 | 34.5 | 60.2 | 0 | 0 | 21.05 |
| 1960 | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 29.2 | 45.6 | 35 | 24 | 24.3 | 8.5 | 8.2 | 14.98 |
| 1961 | 25.4 | 2.5 | 0.4 | 10.5 | 7.2 | 18.3 | 24 | 22.1 | 38.8 | 29.8 | 20.4 | 2.2 | 16.80 |
| 1962 | 2.2 | 0 | 0 | 8.4 | 27.3 | 38.5 | 16.5 | 38.2 | 9.5 | 22.3 | 7.4 | 4.2 | 14.54 |
| 1963 | 0 | 0 | 5.2 | 5.4 | 12.2 | 37.6 | 21.4 | 37.8 | 24.5 | 32.5 | 5 | 36.6 | 18.18 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1964 | 5.5 | 2.1 | 4.2 | 5.4 | 13.2 | 5 | 36.5 | 33 | 42.3 | 84 | 18.6 | 11.8 | 21.80 |
| 1965 | 12.9 | 0 | 0 | 8.7 | 22.2 | 37.6 | 36 | 44.2 | 64.2 | 17.4 | 10.2 | 38.5 | 24.33 |
| 1966 | 7.3 | 52.2 | 18.4 | 18.5 | 19.5 | 44.2 | 38.5 | 36.4 | 33.2 | 24.7 | 3.2 | 18.4 | 26.21 |
| 1967 | 37.2 | 0 | 30 | 18.4 | 17.2 | 39.3 | 30.5 | 42.3 | 32.4 | 56.3 | 21.7 | 22.9 | 29.02 |
| 1968 | 14.8 | 32.4 | 103.4 | 18.4 | 10 | 37.6 | 21.5 | 37.8 | 24.5 | 32.5 | 10 | 22.9 | 30.48 |
| 1969 | 7.3 | 0 | 0 | 0 | 15.2 | 20 | 40.2 | 36.4 | 34.2 | 76.2 | 0 | 8.2 | 19.81 |
| 1970 | 6.4 | 3.4 | 0 | 0 | 33.2 | 68.3 | 24.2 | 31.4 | 42.2 | 12.2 | 32.2 | 0 | 21.13 |
| 1971 | 3.2 | 0 | 4.3 | 26.3 | 17.2 | 34.2 | 37.5 | 21.3 | 29.4 | 45.4 | 7.2 | 8.4 | 19.53 |
| 1972 | 12.2 | 0 | 3.2 | 7.3 | 37.2 | 56.4 | 21.2 | 21.3 | 33 | 11 | 36 | 3.5 | 20.19 |
| 1973 | 18 | 13 | 0 | 28 | 23 | 64 | 43 | 28 | 47 | 24 | 13 | 0 | 25.08 |
| 1974 | 0 | 23 | 31 | 6 | 42 | 35 | 39 | 28 | 24 | 21 | 8 | 33 | 24.17 |
| 1975 | 15 | 0 | 0 | 0 | 16 | 23 | 36 | 48 | 58 | 10 | 0 | 26 | 19.33 |
| 1976 | 5.5 | 20 | 0 | 5 | 4 | 40 | 42 | 93 | 32 | 68 | 108 | 5 | 35.21 |
| 1977 | 8 | 2.5 | 0 | 18 | 13 | 60 | 40 | 38 | 33 | 18 | 28 | 24 | 23.54 |
| 1978 | 6 | 27 | 21 | 0 | 21 | 28.3 | 16.3 | 51 | 40 | 40 | 6.5 | 1 | 21.51 |
| 1979 | 0 | 22 | 0 | 6.5 | 6 | 46.6 | 18.5 | 30 | 30 | 2.5 | 0 | 28 | 15.84 |
| 1980 | 76 | 23.2 | 0 | 12.5 | 27.5 | 25 | 34.5 | 41 | 26.5 | 37 | 11.2 | 5.5 | 26.66 |
| 1981 | 36.5 | 5.5 | 1 | 16 | 14.5 | 38 | 40 | 30 | 29 | 35.5 | 9.5 | 20 | 22.96 |
| 1982 | 1 | 4 | 0 | 44 | 20 | 29.3 | 32 | 38 | 42 | 56.5 | 68 | 22.5 | 29.78 |
| 1983 | 11.5 | 0 | 8.5 | 0 | 73 | 22 | 48.5 | 50.5 | 42 | 14.5 | 12.5 | 8 | 24.25 |
| 1984 | 20.6 | 0 | | 0 | 11.6 | 45 | 22.8 | 25 | 53 | 40 | 2.5 | 11.5 | 21.09 |
| 1985 | 5.5 | 3.5 | 3 | 0 | 3 | 30.3 | 48 | 53.6 | 19.2 | 20.2 | 26.5 | 2.5 | 17.94 |
| 1986 | 2.2 | | 0 | 3.2 | 12.1 | 41.7 | 33.4 | 35 | 24 | 26 | 17 | 3 | 17.96 |
| 1987 | 26.5 | 16 | 0 | 10 | 40.5 | 33 | 39.1 | 38 | 17.7 | 2 | 13 | | 21.44 |
| 1988 | 3 | 0 | 15 | 0 | 0 | 38 | 52 | 34 | 31.5 | 20 | 2 | 0 | 16.29 |
| 1989 | 0 | 10 | 0 | 2 | 4 | 11 | 20 | 24 | 42.5 | 15 | 3 | 26 | 13.13 |
| 1990 | 1 | 20 | 6 | 10 | 12.5 | 29 | 32 | 38 | 27 | 23 | 15 | 9 | 18.54 |
| 1991 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 34 | 49 | 23 | 29 | 28 | 23 | 23 | 18.33 |
| 1992 | 90 | 18 | 0 | 5 | 20 | 16 | 36 | 38 | 33 | 43 | 40 | 31 | 30.83 |
| 1993 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 35.5 | 22 | 18 | 43 | 19 | 0 | 16.54 |
| 1994 | 2 | 0 | 0 | 3 | 36 | 45 | 50 | 22 | 21 | 23 | 8 | 0 | 17.50 |
| 1995 | 1 | 14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.42 |
| 1996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.5 | 32.5 | 0 | 0 | 5.25 |
| 1997 | 3.5 | 0 | 28 | 5 | 22 | 34 | 34 | 18 | 20 | 72 | 44 | 1.5 | 23.50 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 33 | 40 | 58 | 13 | 6 | 0 | 15.08 |
| 1999 | 0 | 0 | 3 | 0 | 20 | 42 | 52 | 37 | 52 | 12 | 5 | 0 | 18.58 |
| 2001 | 0 | 40 | 61 | 2 | 36 | 40 | 38.5 | 40 | 26 | 35 | 0 | 1 | 26.63 |
| 2002 | 40 | 42 | 0 | 0 | 10 | 34 | 40 | 36 | 50 | 60 | 50 | 0 | 30.17 |
| 2003 | 0 | 11.5 | 0 | 0 | 20 | 35 | 36 | 55 | 31 | 39 | 0 | 0 | 18.96 |
| 2004 | 34 | 0 | 0 | 0 | 12 | 24 | 21 | 28 | 30 | 7 | 0 | 6 | 13.50 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2005 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 6 | 77 | 53 | 14 | 13 | 0 | 0 | 14.08 |
| 2006 | 0 | 0 | 0 | 3 | 21 | 27 | 45 | 31 | 30 | 64 | 11 | 27 | 21.58 |
| 2007 | 34 | 8 | 0 | 0 | 0 | 43 | 40 | 20 | 40 | 39 | 22 | 7 | 21.08 |
| 2008 | | 0 | 0 | 7 | 35 | 40 | 70 | 39 | 60 | 12 | 15 | 0 | 25.27 |
| 2009 | 38 | 0 | 0 | 0 | 52 | 54 | 58 | 78 | 24 | | | | 33.78 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Promedio | 11.75 | 7.60 | 6.32 | 7.04 | 19.49 | 33.85 | 35.12 | 35.57 | 33.15 | 30.32 | 15.15 | 10.79 | 20.62 |
| Max | 90.00 | 52.20 | 103.40 | 44.00 | 84.90 | 68.30 | 77.00 | 93.00 | 64.20 | 84.00 | 108.00 | 40.00 | 35.21 |

5.4.2.3 Estación Tizapan el alto (14189).

La estación Tizapan cuenta con información a partir del año 1964 y hasta el año 2009, del total de datos diarios se cuenta con el 84% de información. La información de precipitación fue obtenida de la pagina "<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/14189.txt>".

En la Figura 21 se muestra los datos de la lámina de lluvia anual acumulada, para el periodo en estudio la lámina promedio fue del orden de 731 mm/año.

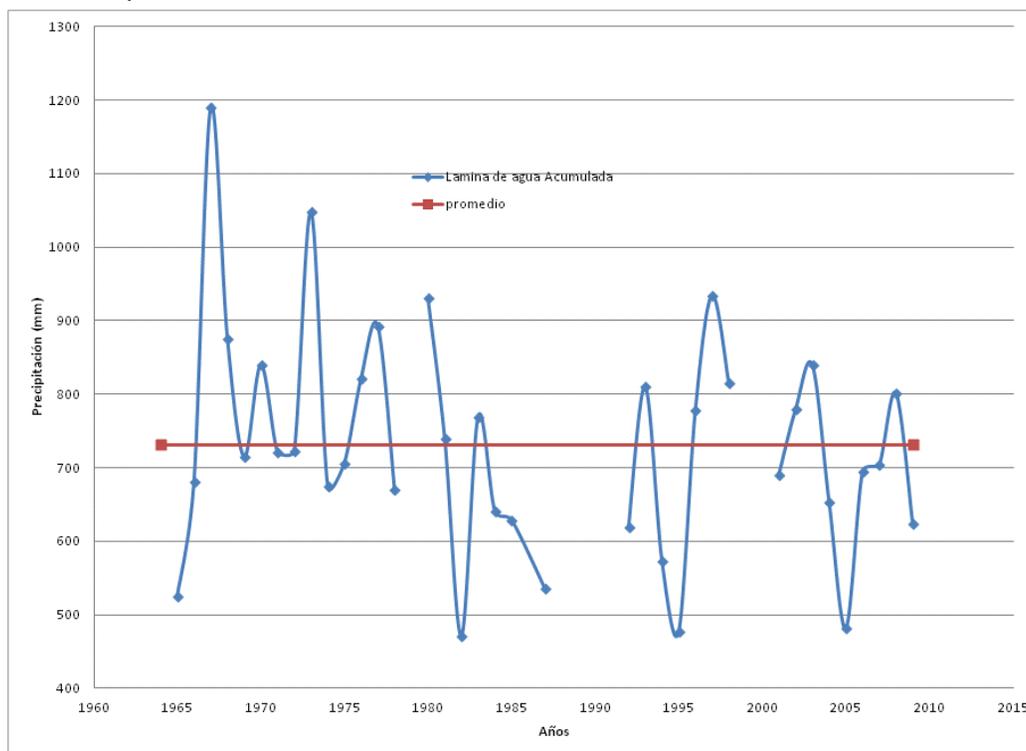


Figura 21 Lámina anual acumulada

En la Figura 22 se presenta el promedio mensual de la precipitación diaria, es posible observar que la lámina promedio supera los 61 mm y la más alta es marcada y se presentó en el año 1967.

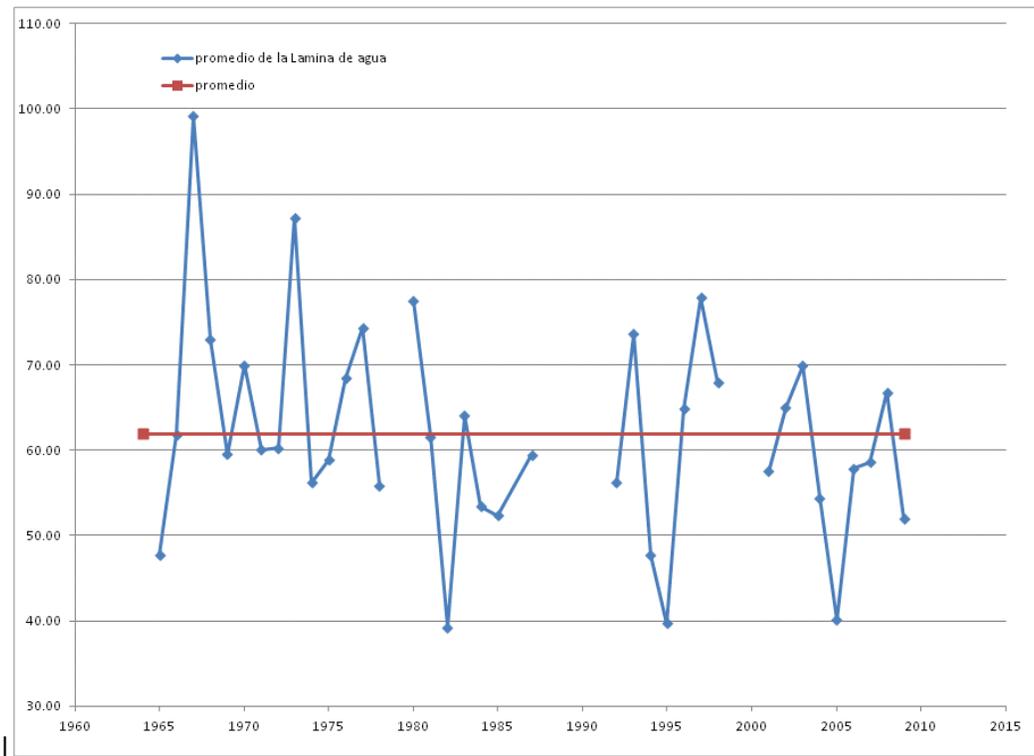


Figura 22 Precipitación promedio anual

En cuanto a la distribución anual de la lluvia, se observa que los meses con mayor precipitación es junio y julio, mientras que los meses con menor precipitación son enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre.

Nótese que en esta estación en los meses de junio y julio el promedio de precipitación es del orden de 335 mm lo cual representa casi la mitad de la precipitación promedio anual.

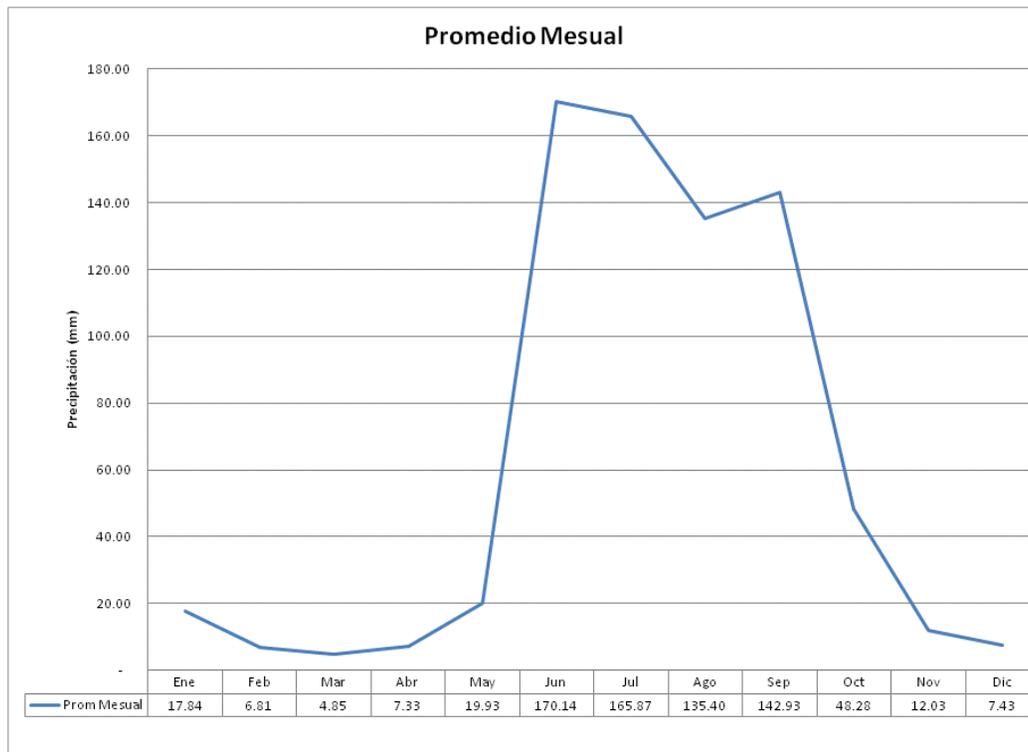


Figura 23 Precipitación promedio mensual periodo 1964-2009

En la Tabla 6 se muestra la altura de la lámina de agua precipitada en la estación Mazamitla la Paz para cada año.

Tabla 6. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099.

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1964 | | | | | | | | | | | 3.8 | 0 | 1.90 |
| 1965 | 6.5 | 20.5 | 0 | 0 | 4.3 | 35 | 13.7 | 28 | 35 | 26.6 | 0 | 20 | 15.80 |
| 1966 | 9.5 | 4.2 | 0.3 | 38.3 | 29.4 | 32.2 | 20.6 | 21.7 | 35.3 | 25 | 0 | 0 | 18.04 |
| 1967 | 62.8 | 0 | 0 | 6.8 | 22.2 | 24.9 | 38.4 | 77.4 | 76.3 | 62.5 | 5.3 | 5.5 | 31.84 |
| 1968 | 3.1 | 20.4 | 80 | 0.5 | 7.5 | 61.5 | 43.4 | 20 | 29.9 | 43.7 | 1.2 | 12.2 | 26.95 |
| 1969 | 2.3 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 31 | 23.8 | 28.4 | 74.9 | 47.6 | 0 | 4.7 | 17.97 |
| 1970 | 4.7 | 12 | 0 | 0 | 1.4 | 40.1 | 32.5 | 61.5 | 61 | 0 | 50.4 | 0 | 21.97 |
| 1971 | 8 | 0 | 0 | 0 | 12.9 | 20.5 | 27 | 40.8 | 22 | 18.3 | 0 | 0.4 | 12.49 |
| 1972 | 2.9 | 0 | 6.6 | 1.9 | 24.6 | 26 | 18.1 | 21 | 23.3 | 33.8 | 21.2 | 0 | 14.95 |
| 1973 | 17.4 | 8.1 | 0 | 9.2 | 26.9 | 41.7 | 20 | 59 | 75 | 30.5 | 8.4 | 0 | 24.68 |
| 1974 | 3 | 0.8 | 12.5 | 3.5 | 16.3 | 46.1 | 58.8 | 11.7 | 18.6 | 5.8 | 0 | 5 | 15.18 |
| 1975 | 6.3 | 0 | 0 | 0 | 15.7 | 22.5 | 33.8 | 40 | 52.3 | 16.5 | 0 | 0.6 | 15.64 |
| 1976 | 0 | 1.6 | 0 | 3.5 | 3.5 | 57.7 | 51.9 | 24.3 | 30 | 28.2 | 44.6 | 9.6 | 21.24 |
| 1977 | 4.5 | 15 | 0 | 10.5 | 16 | 65.6 | 43 | 31 | 60.4 | 16.5 | 24.6 | 19 | 25.51 |
| 1978 | 9.5 | 3.8 | 0 | 0 | 1.4 | 10.3 | 43.2 | 19.5 | 28.4 | 32.2 | 0 | 7.3 | 12.97 |
| 1979 | 0 | 10.5 | 0 | 0 | 0.5 | 20.2 | 35 | 20.2 | 20.9 | 0 | 0 | 0 | 8.94 |
| 1980 | 52 | 21.8 | 0 | 0 | 2.6 | 29.5 | 96.5 | 28.2 | 30.1 | 26.8 | 5.1 | 2.3 | 24.58 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 1981 | 38.1 | 12.6 | 2.3 | 18.2 | 3 | 50.2 | 20 | 20 | 30.4 | 14.4 | 0 | 22.8 | 19.33 |
| 1982 | 0 | 0 | 1.5 | 7.1 | 13.6 | 12 | 10.5 | 35 | 25.5 | 21.6 | 48.6 | 20 | 16.28 |
| 1983 | 4.4 | 0 | 0 | 0 | 23 | 17.2 | 47.4 | 27 | 34.6 | 16.8 | 17.5 | 0 | 15.66 |
| 1984 | 16 | 6.7 | 2 | 0 | 13.2 | 53.2 | 23 | 23 | 29 | 2.8 | 33 | 5 | 17.24 |
| 1985 | 2 | 2.5 | 3.4 | 0 | 6.5 | 68 | 21 | 21.2 | 23 | 11 | 1 | 0 | 13.30 |
| 1987 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 50 | 55 | 48 | 18 | 0 | 0 | 0 | 15.42 |
| 1991 | 72.5 | 0 | 0 | 5.4 | 2 | 15 | 20.5 | 20.7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 13.01 |
| 1992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.5 | 20 | 40 | 37 | 40 | 45 | 2 | 0 | 17.04 |
| 1993 | 8.5 | 0 | 0 | 7.1 | 12 | 60 | 65 | | 33.5 | 14 | 0 | 0 | 18.19 |
| 1994 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | 18.5 | 16.5 | 36 | 28 | 0 | 0 | 13.67 |
| 1995 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.5 | 0 | 34 | 14.5 | 5 | 0 | 4 | 8.58 |
| 1996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.3 | 80 | 25 | 66 | 0 | 3.7 | 0 | 18.50 |
| 1997 | 0 | 0 | 18.2 | 29.5 | 24.7 | 53 | 30.5 | 21 | 25 | 141.5 | 47 | 0 | 32.53 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.8 | 17.5 | 80 | 69.7 | 12.2 | 0 | 0 | 17.60 |
| 1999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26.5 | 42.5 | | | | | | | 11.50 |
| 2001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.5 | 53 | 28.5 | 25.7 | 16 | 13.2 | 0 | 0 | 13.99 |
| 2002 | 14.5 | 14 | 0 | 0 | 8 | 40 | 34.7 | 20.4 | 68.4 | 13.9 | 53 | 1 | 22.33 |
| 2003 | 4 | 6.5 | 2 | 1.7 | 10.5 | 105.8 | 96.5 | 22.5 | 36.5 | 5.7 | 0 | 0 | 24.31 |
| 2004 | 50 | 3 | 0 | 0.6 | 13 | 39 | 19.5 | 19 | 42 | 4.4 | 0 | 11.5 | 16.83 |
| 2005 | 10.5 | 15.2 | 1.8 | 0 | 0 | 20 | 33 | 19 | 23.2 | 6.7 | 0 | 0 | 10.78 |
| 2006 | 3 | 0 | 0 | 0 | 19 | 27 | 49.5 | 28 | 46.6 | 38 | 1 | 11.5 | 18.63 |
| 2007 | 12.9 | 7.2 | 0 | 0 | 3 | 28.5 | 27 | 30 | 31 | 52 | 1 | 2 | 16.22 |
| 2008 | 0 | 0 | 0 | 30 | 3 | 91 | 56 | 40 | 19 | 25.3 | 0 | 0 | 22.03 |
| 2009 | 6 | 0 | 0 | 0 | 11 | 51 | 25 | 39 | 57 | 19 | 0 | 1.5 | 17.46 |
| Promedio | 10.87 | 5.01 | 3.27 | 4.35 | 10.80 | 41.27 | 36.37 | 31.18 | 37.39 | 23.71 | 9.31 | 4.15 | 17.59 |
| Max | 72.50 | 21.80 | 80.00 | 38.30 | 31.50 | 105.80 | 96.50 | 80.00 | 76.30 | 141.50 | 53.00 | 22.80 | 32.53 |

5.4.2.4 Estación La raya (16067).

La estación La Raya cuenta con información a partir del año 1948 y hasta el año 2005, del total de datos diarios se cuenta con el 83% de información. La información de precipitación fue obtenida de la pagina "<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/16067.txt>".

En la Figura 24 Lámina anual acumulada se muestra los datos de la lámina de lluvia anual acumulada, para el periodo en estudio la lámina promedio fue del orden de 773 mm/año.

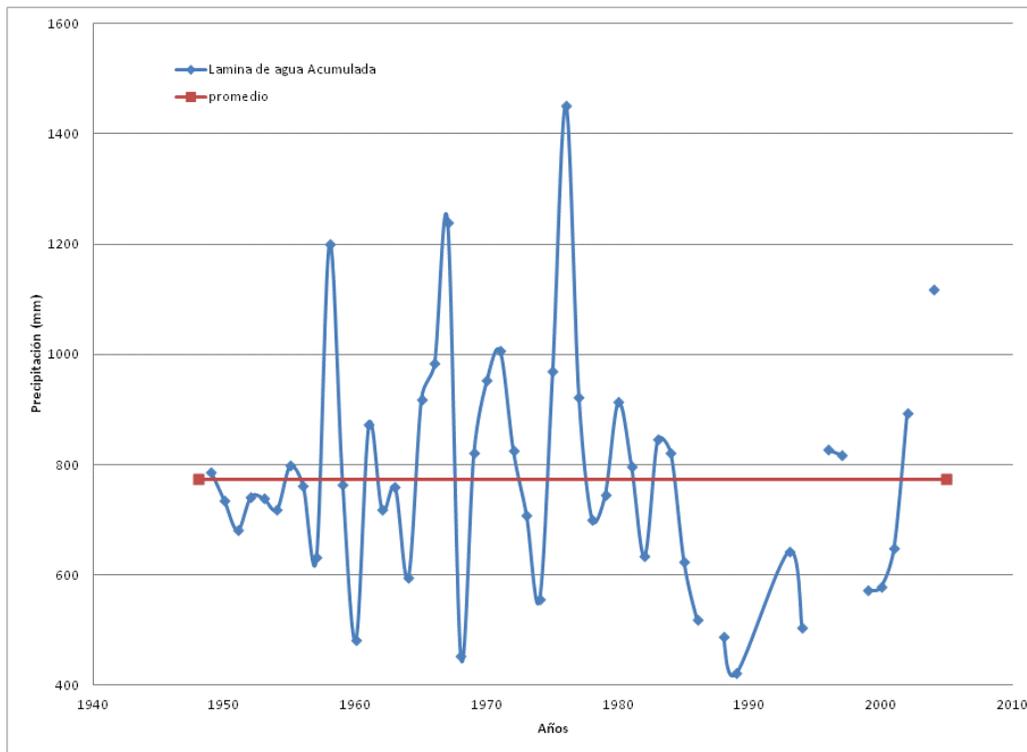


Figura 24 Lámina anual acumulada

En la Figura 25 Precipitación promedio anual se presenta el promedio mensual de la precipitación diaria, es posible observar que la lámina promedio supera los 73 mm y la más altas son marcadas y se presento en los año 1976.

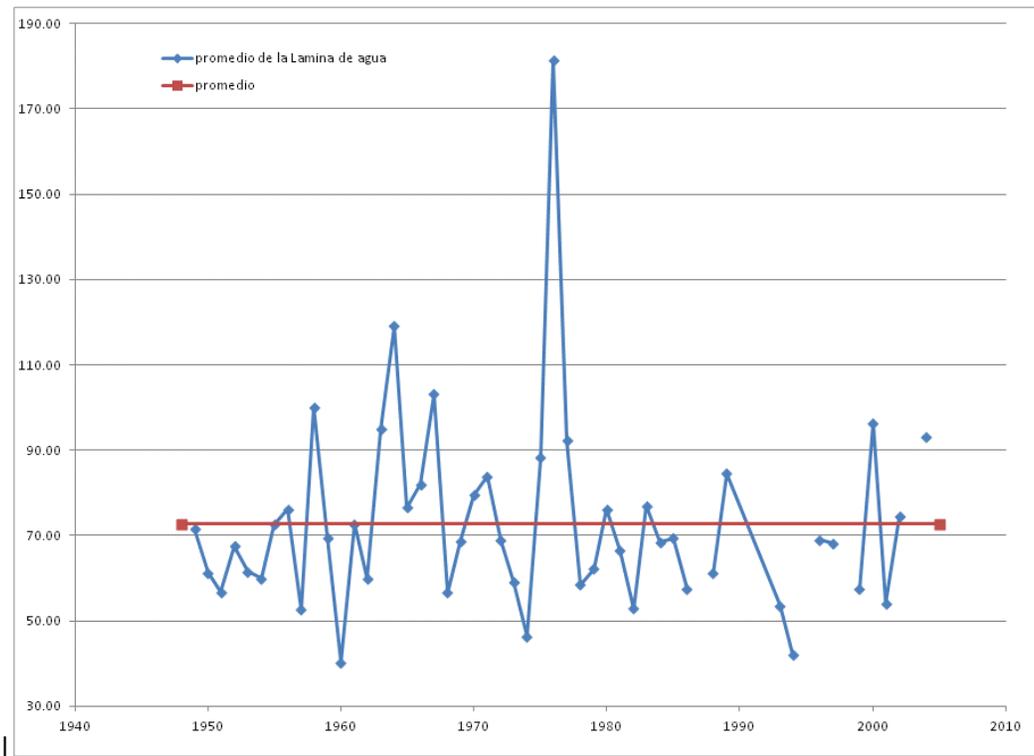


Figura 25 Precipitación promedio anual

En cuanto a la distribución anual de la lluvia, se observa que los meses con mayor precipitación es junio y julio, mientras que los meses con menor precipitación son enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre.

Nótese que en esta estación en el mes de julio el promedio de precipitación es del orden de 198 mm lo cual representa más de la cuarta parte de la precipitación promedio anual.

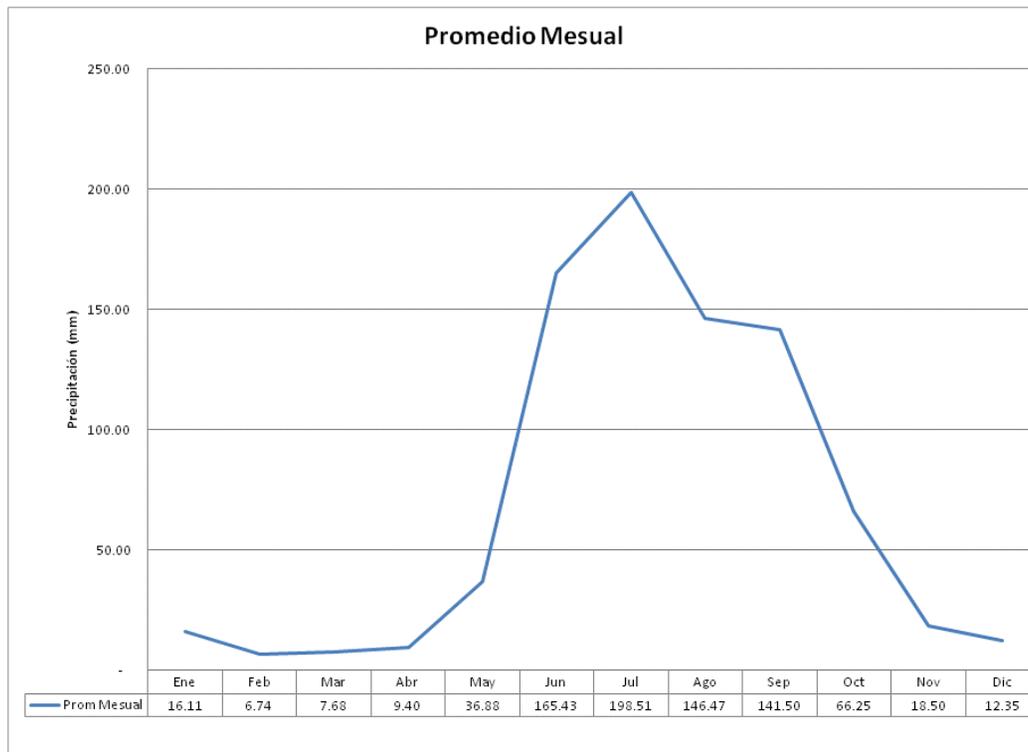


Figura 26 Precipitación promedio mensual periodo 1948-2005

En la Tabla 7 se muestra la altura de la lámina de agua precipitada en la estación Mazamitla para cada año.

Tabla 7. Altura de la lámina de agua en la estación el Mazamitla 14099.

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1948 | | | | | | | 48.9 | 21.4 | 14.9 | 10.1 | 10.5 | 18.5 | 20.72 |
| 1949 | 4.5 | 2 | 1 | 0 | 13.8 | 60 | 23.5 | 24.5 | 44.7 | 24.2 | 0 | | 18.02 |
| 1950 | 0 | 9.5 | 0 | 4.5 | 25.7 | 27.5 | 30.2 | 29.5 | 42.5 | 8.5 | 0 | 0 | 14.83 |
| 1951 | 3.2 | 0 | 5.5 | 0 | 20.7 | 20.9 | 20.7 | 40.6 | 25.5 | 10.5 | 19.5 | 0 | 13.93 |
| 1952 | 2.5 | 5.7 | 0 | 11.2 | 24.2 | 29.2 | | 28.5 | 80 | 2.1 | 20.2 | 4.5 | 18.92 |
| 1953 | 0 | 1.2 | 1.2 | 0 | 20.5 | 26.2 | 49.1 | 40.9 | 24.5 | 29.6 | 25.1 | 25.6 | 20.33 |
| 1954 | 0 | 2.1 | 0 | 0 | 8.5 | 25.5 | 42.5 | 25.2 | 21.2 | 28.9 | 11.4 | 0 | 13.78 |
| 1955 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.1 | | 25.3 | 26.6 | 40.2 | 80.9 | 2.1 | 0 | 16.84 |
| 1956 | 0 | 0 | 0 | 51.1 | 47.5 | 40.5 | 28.6 | 28.5 | | 10.5 | 3.2 | | 20.99 |
| 1957 | 0 | 5.1 | 0 | 0 | 0 | 40.7 | 25.1 | 17.8 | 35.5 | 20.5 | 20.6 | 0 | 13.78 |
| 1958 | 48.6 | 0 | 0 | 0 | 24.5 | 45.5 | 40.5 | 48.7 | 20.7 | 25 | 25 | 40.2 | 26.56 |
| 1959 | 0 | 0 | 0 | 40.2 | 40.2 | 25.1 | | 27.4 | 32.6 | 40.5 | 0 | 0 | 18.73 |
| 1960 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26.2 | 27.8 | 20.8 | 20.8 | 25.8 | 10 | 18.9 | 12.53 |
| 1961 | 20.9 | 4.5 | 31.7 | 23.7 | 3.6 | 29.6 | 40.5 | 47.9 | 20.5 | 23.6 | 12.1 | 0 | 21.55 |
| 1962 | 0 | 0 | 0 | 10.5 | 10.5 | 60.1 | 20.8 | 17 | 20.6 | 0 | 0 | 7.9 | 12.28 |
| 1963 | 0 | 4 | | 16 | 7.6 | 26 | 25 | 38 | 25 | | | | 17.70 |
| 1964 | | | | | | | | 28 | 48 | 25 | 10 | 5.5 | 23.30 |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1965 | 18.7 | 13.5 | 5.6 | 0 | 17.5 | 35 | 23 | 40 | 26 | 26 | 2 | 18.1 | 18.78 |
| 1966 | 12.5 | 8 | 0 | 0.7 | 10 | 40 | 73.5 | 30 | 15 | 35 | 0 | 15.6 | 20.03 |
| 1967 | 15.6 | 0 | 3 | 2.3 | 36.5 | 35 | 39 | 20 | 40 | 40 | 0 | 0 | 19.28 |
| 1968 | 0 | 10.9 | 77 | | | | | 18 | 29.5 | 17.5 | 9.3 | 6.2 | 21.05 |
| 1969 | 14.5 | 0 | 0 | 0 | 20.8 | 40.1 | 96.6 | 40.1 | 90.3 | 20.8 | 0 | 6.2 | 27.45 |
| 1970 | 10.4 | 20.8 | 0 | 0 | 18.7 | 52 | 50.6 | 20.8 | 90.4 | 15.6 | 15.6 | 0 | 24.58 |
| 1971 | 0 | 0 | 10.4 | 0 | 30.1 | 25.1 | 42.1 | 20.8 | 70.4 | 25.1 | 20.8 | 6.2 | 20.92 |
| 1972 | 5.2 | 0 | 10.4 | 10.4 | 35.1 | 15.6 | 20.8 | 15.6 | 31.2 | 6.2 | 5.2 | 10.4 | 13.84 |
| 1973 | 15.6 | 7.3 | 0 | 10 | 10.4 | 22.8 | 42 | 19.5 | 12 | 19.4 | 7.3 | 0 | 13.86 |
| 1974 | 0 | 0 | 38.1 | 3 | 5.1 | 50.5 | 24.3 | 15.4 | 15.4 | 8.2 | 2 | 6 | 14.00 |
| 1975 | 6.1 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 48.5 | 50 | 26.3 | 55.3 | 3.1 | 0 | | 17.96 |
| 1976 | | | | | 1 | 40 | 62 | 60 | 29.5 | 80 | 62 | 14 | 43.56 |
| 1977 | 18 | 5 | 0 | | | 49.1 | 19.9 | 20.2 | 17.4 | 20.8 | 2.3 | 20 | 17.27 |
| 1978 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 18 | 22 | 21 | 45 | 18 | 2 | 0 | 11.92 |
| 1979 | 0 | 11 | 18 | 5 | 10 | 40 | 40.7 | 40 | 25 | 5 | 0 | 34.5 | 19.10 |
| 1980 | 77 | 7 | 0 | 6 | 15.5 | 20.4 | 37 | 20.2 | 40.5 | 40.4 | 9 | 2.6 | 22.97 |
| 1981 | 26 | 12.1 | 3 | 9.7 | 29.8 | 60.9 | 29.6 | 32.9 | 14 | 18 | 0 | 17.9 | 21.16 |
| 1982 | 0 | 0 | 1.1 | 6 | 8.9 | 20.6 | 20.5 | 21.5 | 16.3 | 20.9 | 80.4 | 20 | 18.02 |
| 1983 | 17 | 0 | 4.6 | | 24 | 20 | 39 | 37.4 | 20.7 | 11 | 14.4 | 3.3 | 17.40 |
| 1984 | 24 | 8.2 | 2.2 | 0 | 18.6 | 40.9 | 20.7 | 20.7 | 31.8 | 0 | 1.4 | 4.2 | 14.39 |
| 1985 | 0 | 7.7 | 0 | 0 | 20.9 | 40.9 | 20.1 | 20.2 | 16.9 | | | | 14.08 |
| 1986 | 0 | 13.6 | 0 | 1.9 | 20.2 | 23.4 | | | 20.6 | 30.6 | | 7.6 | 13.10 |
| 1987 | | | | | | | | | | 2 | 16.7 | 0 | 6.23 |
| 1988 | 3.8 | 0 | 4 | 0 | 0 | 40.7 | 25.2 | 23 | | | | | 12.09 |
| 1989 | | 0 | 0 | | | 38.4 | 20.8 | 23.7 | | | | | 16.58 |
| 1993 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6.1 | 20.9 | 15.3 | 20.1 | 13.1 | 10.3 | 10.5 | 0 | 8.69 |
| 1994 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2.1 | 8.3 | 23.1 | 35.4 | 23 | 8.4 | 0 | 0 | 8.61 |
| 1995 | 5.4 | 7.9 | 0 | 0 | 6.9 | | | | | 9.9 | 0 | 0 | 3.76 |
| 1996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.1 | 100.6 | 22.3 | 19.1 | 60.8 | 60.6 | 0 | 0 | 23.38 |
| 1997 | 0 | 0 | 15.1 | 15.1 | 15.1 | 18.2 | 58.1 | 13.1 | 15.1 | 46.1 | 37.4 | 0 | 19.44 |
| 1998 | 0 | 0 | | | | | | | 20.1 | 20.2 | 0 | 0 | 6.72 |
| 1999 | 0 | 0 | | | 8.8 | 29.1 | 28.1 | 22.1 | 27.3 | 13 | 0 | 0 | 12.84 |
| 2000 | | | | | 25.2 | 25.2 | 24.2 | 19.1 | 18.1 | | | 25.3 | 22.85 |
| 2001 | 0 | 0 | 20 | 0 | 22 | 22 | 35 | 18 | 20 | 20.2 | 0 | 0 | 13.10 |
| 2002 | 25 | 14 | 0 | 8 | 18 | 54 | 23 | 25 | 25 | 20 | 20 | 0 | 19.33 |
| 2003 | 20 | 5 | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 0 | 4.17 |
| 2004 | 22.2 | 0 | 0 | 8.8 | 18.2 | 40.1 | 58.9 | 21.1 | 38.6 | 12.3 | 6.3 | 6.8 | 19.44 |
| 2005 | 23.3 | 15.1 | 12.8 | 0 | 0 | | | | | | | | 10.24 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Promedio | 9.10 | 4.46 | 5.63 | 5.55 | 15.71 | 35.20 | 34.58 | 26.77 | 31.91 | 21.88 | 10.30 | 7.36 | 17.03 |
| Max | 77.00 | 20.80 | 77.00 | 51.10 | 47.50 | 100.60 | 96.60 | 60.00 | 90.40 | 80.90 | 80.40 | 40.20 | 43.56 |

5.4.3 Análisis probabilístico de la precipitación máxima

Una vez obtenidos los valores de precipitación por estación climatológica de la zona de estudio, se procede a realizar el ajuste de los datos obtenidos por medio del programa computacional de Ajuste de Funciones AX desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el cual es un programa para ajuste de funciones de probabilidad univariada..

Este programa calcula el error estándar de cada una de las funciones de ajuste con respecto a la muestra, también estima la mejor función de ajuste con sus parámetros. Las funciones de probabilidad que se contemplaron en el empleo de este programa son, la Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y doble Gumbel. El análisis que se realiza de estos métodos es a partir de las modalidades de momentos y por máxima verosimilitud, con el objeto de calcular los parámetros de las funciones de probabilidad, además, las funciones Lognormal y Gamma pueden calcularse para dos o tres parámetros. Los resultados se muestran a continuación por cada una de las estaciones.

5.4.3.1 Estación Manzanilla la Paz (14086).

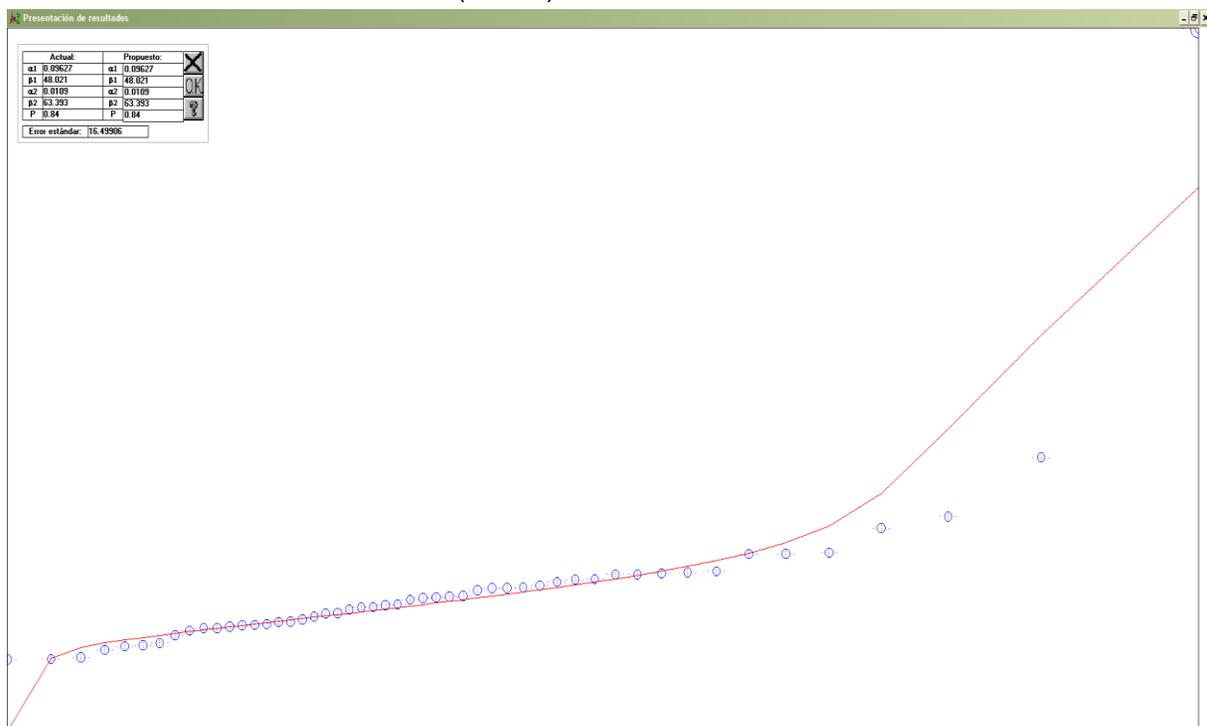


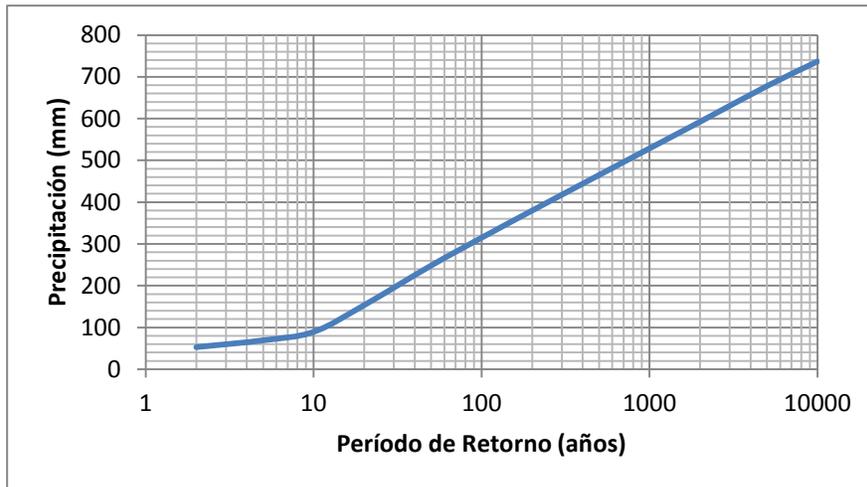
Figura 27. Ajuste probabilístico de la función doble Gumbel para la estación Manzanilla la Paz.

Con los resultados de los ajustes probabilísticos, se obtienen los resultados de precipitación que se muestran en la

se muestran en la

Tabla 8.

Tabla 8. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.



| Tr | Pm |
|------|--------|
| 2 | 52.84 |
| 5 | 69.19 |
| 10 | 89.47 |
| 20 | 153.52 |
| 50 | 248.09 |
| 100 | 314.79 |
| 200 | 379.82 |
| 500 | 464.85 |
| 1000 | 528.66 |

5.4.3.2 Estación Mazamitla (14099).

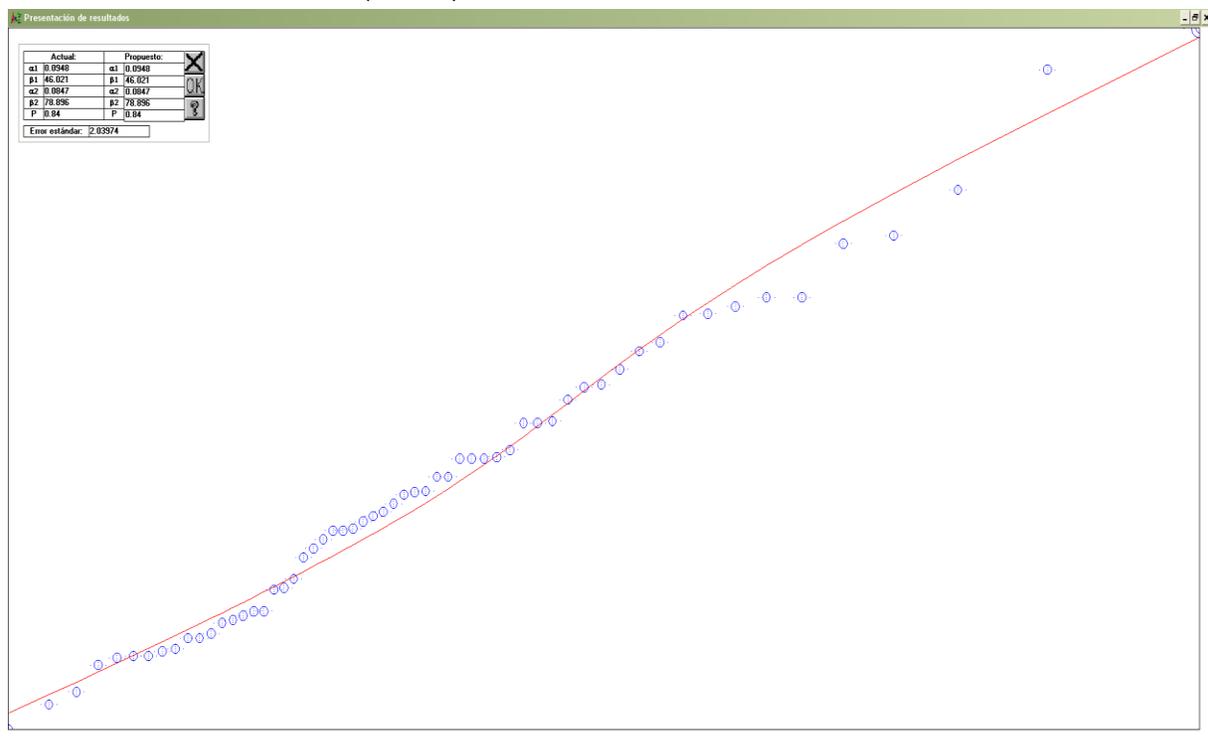
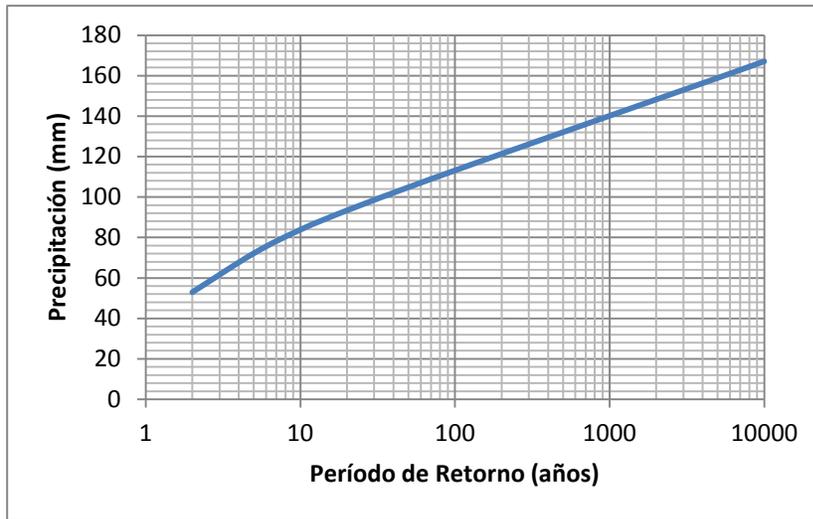


Figura 28. Ajuste probabilístico de la función doble Gumbel para la estación Mazamitla.

Con los resultados de los ajustes probabilísticos, se obtienen los resultados de precipitación que se muestran en la Tabla 9

Tabla 9. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.



| Tr | Pm |
|------|--------|
| 2 | 52.94 |
| 5 | 72.19 |
| 10 | 83.85 |
| 20 | 93.39 |
| 50 | 104.84 |
| 100 | 113.15 |
| 200 | 121.35 |
| 500 | 132.08 |
| 1000 | 140.16 |

5.4.3.3 Estación Tizapan el alto (14189).

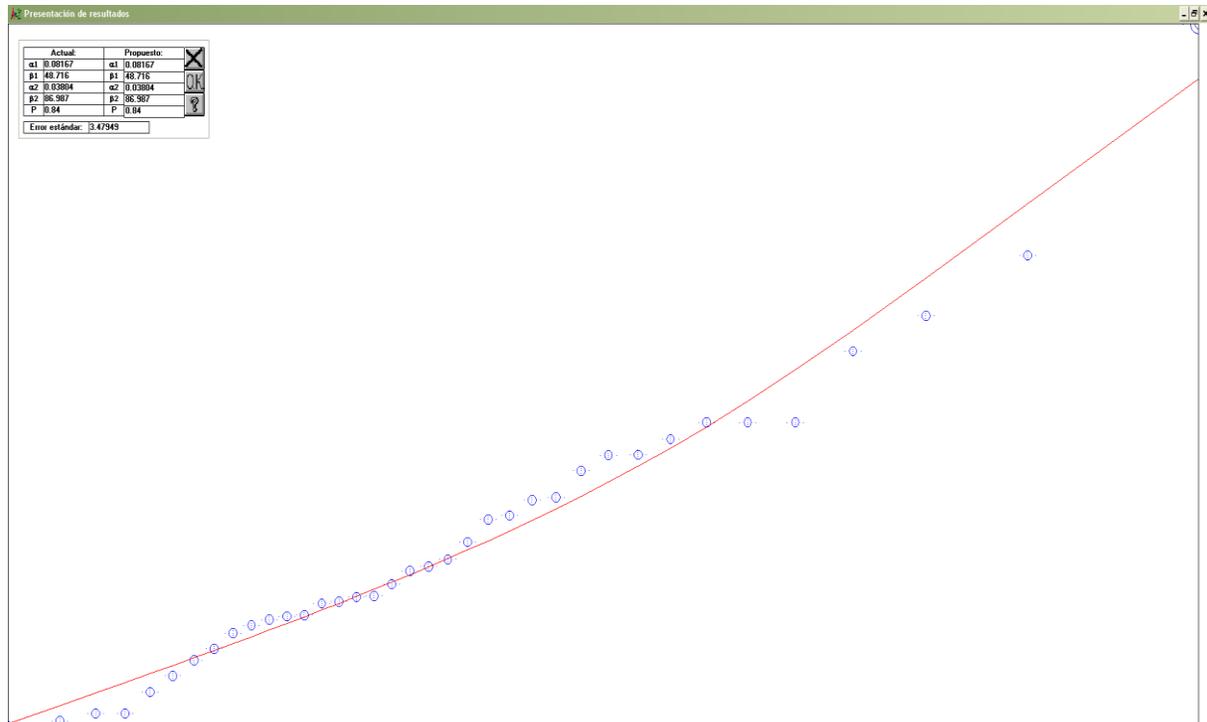
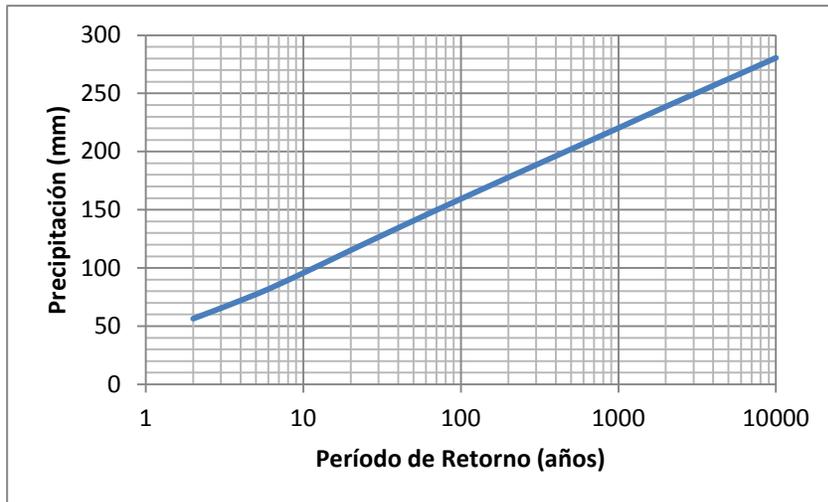


Figura 29. Ajuste probabilístico de la función Gamma para la estación Tizapan .

Con los resultados de los ajustes probabilísticos, se obtienen los resultados de precipitación que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.



| Tr | Pm |
|------|--------|
| 2 | 56.44 |
| 5 | 77.28 |
| 10 | 95.66 |
| 20 | 115.20 |
| 50 | 140.57 |
| 100 | 159.31 |
| 200 | 177.78 |
| 500 | 202.06 |
| 1000 | 220.25 |

5.4.3.4 Estación La raya (16067).

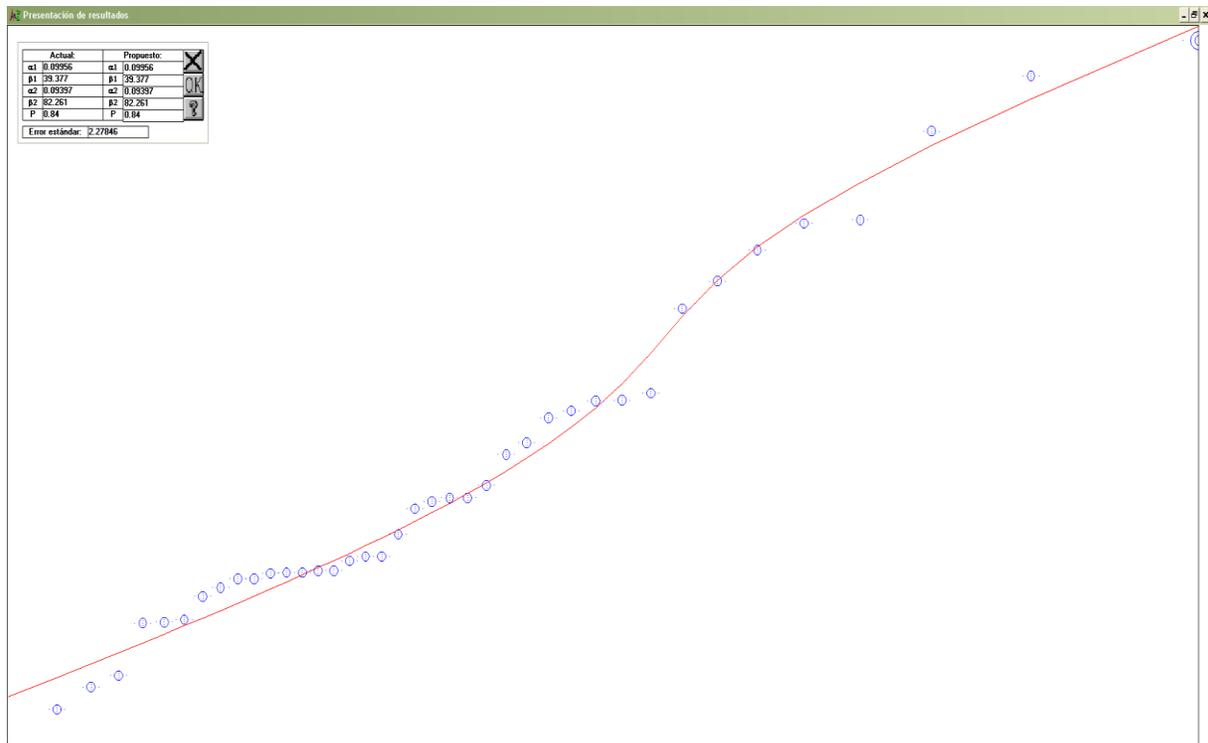
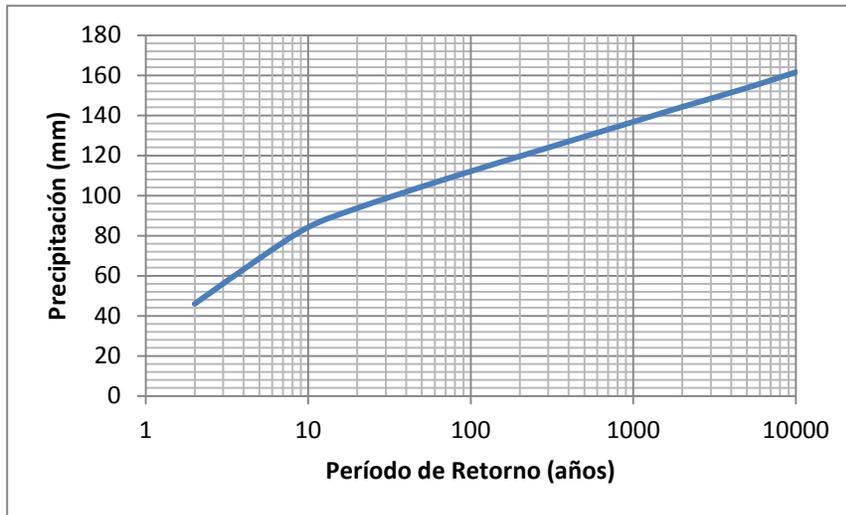


Figura 30. Ajuste probabilístico de la función Doble Gumbel para la estación La Raya.

Con los resultados de los ajustes probabilísticos, se obtienen los resultados de precipitación que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.



| Tr | Pm |
|------|--------|
| 2 | 45.97 |
| 5 | 68.64 |
| 10 | 84.22 |
| 20 | 93.71 |
| 50 | 104.44 |
| 100 | 112.11 |
| 200 | 119.60 |
| 500 | 129.40 |
| 1000 | 136.79 |

5.4.3.5 Precipitación Ponderada.

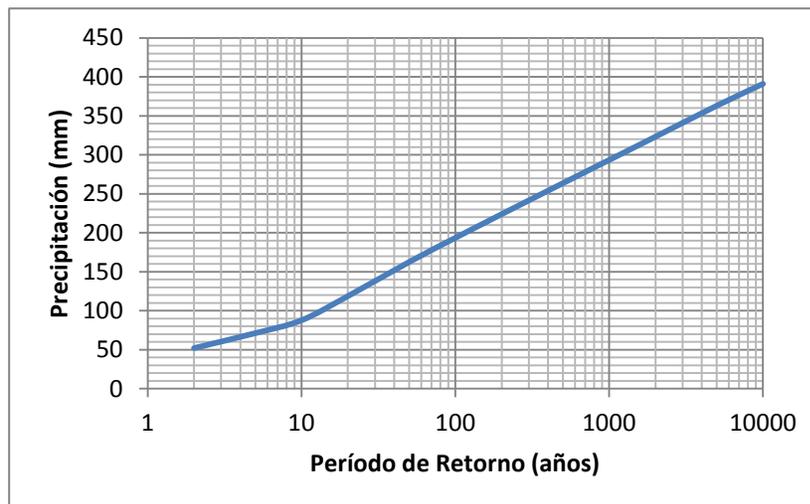
Con los resultados de precipitación ajustada para cada periodo de retorno y porcentaje de área con influencia por el con influencia por el polígono de thiennes (ver Tabla 12) se pondero la lluvia para la cuenca en cuestión que se muestran en la

Tabla 13

Tabla 12. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en todas la s estaciones utilizadas y la ponderación por área de influencia por polígonos de Thiessen

| TR | 16067 | 14189 | 14099 | 14086 | Ponderada |
|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 2 | 45.97 | 56.44 | 52.94 | 52.84 | 52.12 |
| 5 | 68.64 | 77.28 | 72.19 | 69.19 | 71.21 |
| 10 | 84.22 | 95.66 | 83.85 | 89.47 | 87.79 |
| 20 | 93.71 | 115.20 | 93.39 | 153.52 | 118.71 |
| 50 | 104.44 | 140.57 | 104.84 | 248.09 | 162.44 |
| 100 | 112.11 | 159.31 | 113.15 | 314.79 | 193.51 |
| 200 | 119.60 | 177.78 | 121.35 | 379.82 | 223.85 |
| 500 | 129.40 | 202.06 | 132.08 | 464.85 | 263.55 |
| 1000 | 136.79 | 220.25 | 140.16 | 528.66 | 293.36 |
| 2000 | 144.24 | 238.66 | 148.24 | 592.47 | 323.21 |
| 5000 | 153.72 | 262.44 | 158.88 | 677.87 | 362.88 |
| 10000 | 161.58 | 280.56 | 167.09 | 736.77 | 391.02 |
| %Area | 19% | 15% | 29% | 36% | |

Tabla 13. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.



| Tr | Pm |
|------|--------|
| 2 | 52.12 |
| 5 | 71.21 |
| 10 | 87.79 |
| 20 | 118.71 |
| 50 | 162.44 |
| 100 | 193.51 |
| 200 | 223.85 |
| 500 | 263.55 |
| 1000 | 293.36 |

5.4.4 Subdivisión de la cuenca

La subdivisión de la cuenca del predio se realizó considerando las condiciones topográficas, hidrográficas y antropogénicas que involucran la totalidad de predio.

La subdivisión fue realizada por medio de herramientas automáticas de entorno SIG, en el cual se identifican los parteaguas a partir de un punto de salida de una cuenca.

El procedimiento general fue identificar la cuenca completa del río de la Pasión, tomando en cuenta el sitio donde se pretende instalar la estación hidrométrica, después de identificaron las posibles subcuencas considerando los cauces que confluyen en el río de la Pasión.

En total se identificaron ocho subcuencas, en la tabla siguiente se presenta las características geométricas de cada subcuenca.

Tabla 14 Características geométricas de las subcuencas del río de la Pasión

| Subcuenca | Pendiente (m/m) | Longitud del Cauce (km) | Área (km ²) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Cuenca A | 0.0617 | 11.16 | 30.57 |
| Cuenca B | 0.0466 | 10.22 | 28.14 |
| Cuenca C | 0.0433 | 12.46 | 38.19 |
| Cuenca D | 0.0368 | 10.87 | 59.54 |
| Cuenca E | 0.0389 | 18.25 | 109.56 |
| Cuenca F | 0.0733 | 9.69 | 16.53 |
| Cuenca G | 0.0367 | 18.55 | 69.34 |
| Cuenca H | 0.0375 | 12.79 | 72.54 |
| | | | 424.40 |

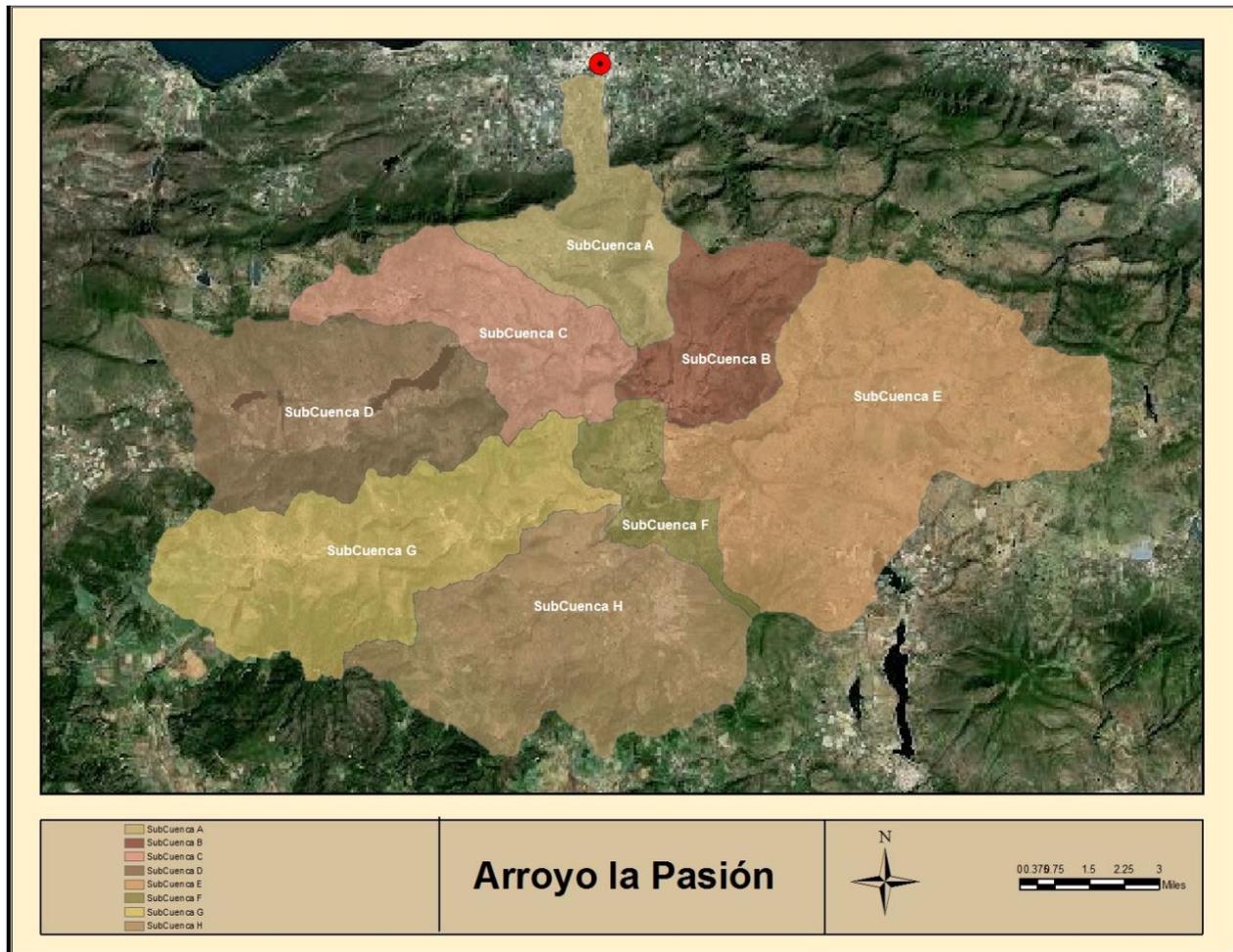


Figura 31 Subcuencas obtenidas para el modelo hidrológico.

5.4.5 Cálculo de la pendiente

El método empleado para el cálculo de la pendiente fue el de Taylor-Schwartz, el cual se define por la siguiente expresión:

$$s = \left(\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{S_n}}} \right)$$

En donde: S es la pendiente a calcular, L es la longitud del cauce, Li es la longitud i-esima en el tramo del cauce analizado.

En la Tabla 16 se presentan los valores de la pendiente calculada para el modelo.

5.4.6 Cálculo de tiempo de concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se empleó la fórmula de Kirpich, la cual es como sigue:

$$t_c = 3.97 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

En donde: t_c es el tiempo de concentración (en minutos), L es la longitud del cauce (en km) y S es la pendiente media del cauce (en m/m).

En la Tabla 16 se presentan los valores de los tiempos de concentración calculados para el modelo.

5.4.7 Número de curva (CN)

Finalmente con los usos de suelo identificados en la cuenca de estudio, se lleva a cabo la asignación de los valores del número de curva, empleando para este efecto los valores de la Tabla 15.

Cabe mencionar que la manipulación de las capas de información se lleva a cabo dentro de un Sistema de Información Geográfica, con el cual es posible asignar un valor de CN ponderado de acuerdo a los porcentuales que existan en cada subcuenca de los diferentes usos detectados en la base de datos.

En la Tabla 15 se muestran los valores de referencia de CN empleados.

Tabla 15. Números de curva de escorrentía para diferentes usos de suelo.

| Tipo de vegetación | Tratamiento | Condición Hidrológica | Tipo de suelo | | | |
|--|-------------|-----------------------|---------------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| Barbecho | Desnudo | - | 77 | 86 | 91 | 94 |
| | CR | Pobre | 76 | 85 | 90 | 93 |
| | CR | Buena | 74 | 83 | 88 | 90 |
| Cultivos alineados | R | Pobre | 72 | 81 | 88 | 91 |
| | R | Buena | 67 | 78 | 85 | 89 |
| | R + CR | Pobre | 71 | 80 | 87 | 90 |
| | R + CR | Buena | 64 | 75 | 82 | 85 |
| | C | Pobre | 70 | 79 | 84 | 88 |
| | C | Buena | 65 | 75 | 82 | 86 |
| | C + CR | Pobre | 69 | 78 | 83 | 87 |
| | C + CR | Buena | 64 | 74 | 81 | 85 |
| | C + T | Pobre | 66 | 74 | 80 | 82 |
| | C + T | Buena | 62 | 71 | 78 | 81 |
| | C + T + CR | Pobre | 65 | 73 | 79 | 81 |
| | C + T + CR | Buena | 61 | 70 | 77 | 80 |
| Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos | R | Pobre | 65 | 76 | 84 | 88 |
| | R | Buena | 63 | 75 | 83 | 87 |
| | R + CR | Pobre | 64 | 75 | 83 | 86 |
| | R + CR | Buena | 60 | 72 | 80 | 84 |
| | C | Pobre | 63 | 74 | 82 | 85 |
| | C | Buena | 61 | 73 | 81 | 84 |
| | C + CR | Pobre | 62 | 73 | 81 | 84 |
| | C + CR | Buena | 60 | 72 | 80 | 83 |
| | C + T | Pobre | 61 | 72 | 79 | 82 |
| | C + T | Buena | 59 | 70 | 78 | 81 |
| | C + T + CR | Pobre | 60 | 71 | 78 | 81 |

| Tipo de vegetación | Tratamiento | Condición | Tipo de suelo | | | |
|--|-------------|-------------|---------------|----|----|----|
| | | | 58 | 69 | 77 | 80 |
| | C + T + CR | Buena | 58 | 69 | 77 | 80 |
| Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia | R | Pobre | 66 | 77 | 85 | 89 |
| | R | Buena | 58 | 72 | 81 | 85 |
| | C | Pobre | 64 | 75 | 83 | 85 |
| | C | Buena | 55 | 69 | 78 | 83 |
| | C + T | Pobre | 63 | 73 | 80 | 83 |
| | C + T | Buena | 51 | 67 | 76 | 80 |
| Pastizales o pastos naturales | - | Pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | - | Regulares | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | - | Buenas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Pastizales | C | Pobres | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | C | Regulares | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | C | Buenas | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Prados permanentes | - | - | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante | - | Pobres | 48 | 67 | 77 | 83 |
| | - | Regulares | 35 | 56 | 70 | 77 |
| | - | Buenas | ≤30 | 48 | 65 | 73 |
| Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos | - | Pobres | 57 | 73 | 82 | 86 |
| | - | Regulares | 43 | 65 | 76 | 82 |
| | - | Buenas | 32 | 58 | 72 | 79 |
| Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales) | - | Pobres | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | - | Regulares | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | - | Buenas | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Bosques | - | I Muy pobre | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | - | II Pobre | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | - | III Regular | 36 | 60 | 70 | 76 |
| | - | IV Buena | 26 | 52 | 63 | 69 |
| | - | V Muy buena | 15 | 44 | 54 | 61 |
| Caseríos | - | - | 59 | 74 | 82 | 86 |
| Caminos en tierra | - | - | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Caminos con firme | - | - | 74 | 84 | 90 | 92 |

En donde: CR = Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año; R = Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno; C = Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel; T = Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

Con la información anterior, es decir considerando las propiedades del suelo, los tipos de cobertura de la tierra, las condiciones de humedad antecedentes y la pendiente del terreno se obtuvo el número de curva, CN, en la Figura 32 se muestra gráfica el CN asignado a cada subcuenca en condiciones naturales.

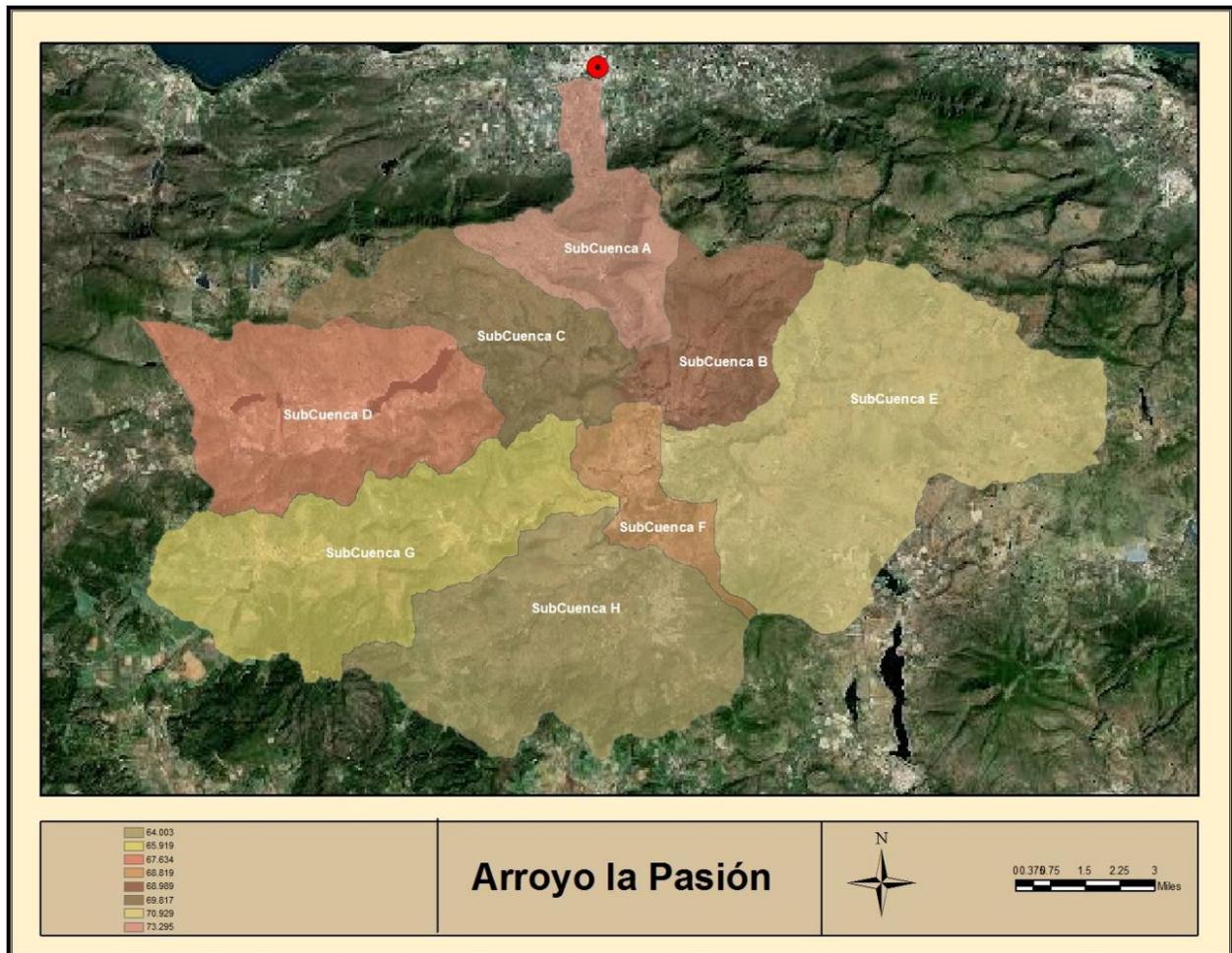


Figura 32. Numero de Curva (CN) empleado para la zona de estudio en condiciones naturales

De los valores utilizados, se aprecia que los valores más altos se presentan en la zona urbanizada y los más bajos en la zona sur de la cuenca en donde se cuenta con muy buena cobertura vegetal.

5.4.8 Resumen de resultados de las características hidrológicas de la cuenca

En la Tabla 16 se presenta el resumen de las características hidrológicas de la cuenca en condiciones naturales.

Tabla 16. Resumen de las características hidrológicas de la cuenca.

| Subcuenca | Pendiente (m/m) | Longitud del Cauce (km) | Área (km ²) | TC (h) | Tiempo de retardo (min) | CN (número de curva) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| Cuenca A | 0.0617 | 11.16 | 30.57 | 3.18 | 114.66 | 73.30 |
| Cuenca B | 0.0466 | 10.22 | 28.14 | 3.14 | 113.10 | 68.99 |
| Cuenca C | 0.0433 | 12.46 | 38.19 | 3.70 | 133.34 | 69.82 |
| Cuenca D | 0.0368 | 10.87 | 59.54 | 3.45 | 124.04 | 67.63 |

| | | | | | | |
|----------|--------|-------|--------|------|--------|-------|
| Cuenca E | 0.0389 | 18.25 | 109.56 | 5.05 | 181.88 | 70.93 |
| Cuenca F | 0.0733 | 9.69 | 16.53 | 2.77 | 99.69 | 68.82 |
| Cuenca G | 0.0367 | 18.55 | 69.34 | 5.17 | 186.29 | 65.92 |
| Cuenca H | 0.0375 | 12.79 | 72.54 | 3.88 | 139.78 | 64.00 |
| | | | 424.40 | | | |

5.5 MODELO HIDROLÓGICO DE AVENIDAS

Para obtener los valores del proceso de simulación lluvia - escurrimiento, se empleó el programa HEC-HMS, el cual fue desarrollado por el Centro de Ingeniería en Hidrología del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

HEC-HMS es capaz realizar el tránsito hidrológico de una o varias cuencas, hacer combinaciones de eventos o incluso observar el tránsito de las crecientes en cuerpos de agua de acuerdo a diversas condiciones iniciales de funcionamiento del vaso regulador.

En la Figura 33, se muestra la topología empleada para la cuenca de estudio, subdividida en 8 subcuencas.



Figura 33. Topología del modelo numérico, empleada para el cálculo.

5.5.1 Cálculo de hidrogramas con el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

Para el cálculo de los hidrogramas de la cuenca, se utilizó el método del hidrograma unitario triangular del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, también llamado método del número de curva, el cual es aplicable a cuencas homogéneas (condiciones homogéneas de uso de suelo y morfología del terreno).

Se basa principalmente en el conocimiento de las características fisiográficas de la cuenca, aplicando una duración de lluvia, de la cual se determina la precipitación en exceso, considerando para esto las características del suelo existente con un índice CN obtenido de relacionar el tipo de vegetación existente en la cuenca para los diferentes periodos de retorno empleados.

5.5.2 Hidrogramas de cuenca en condiciones naturales

Se calcularon los hidrogramas de salida de las diferentes subcuencas empleadas, para conocer las aportaciones por cada subcuenca y particularmente en la salida de la cuenca y con esto conocer los caudales máximos que se presentan en los periodos de retorno analizados.

Tabla 17 Gastos máximos de los hidrogramas de salida del modelo (m³/s)

| TR | JUC A | JUC B | JUC C | PRESA A | SALIDA |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 2 | 12.04 | 28.33 | 40.30 | 5.16 | 42.74 |
| 5 | 27.73 | 61.21 | 88.37 | 12.39 | 94.32 |
| 10 | 44.80 | 98.22 | 140.73 | 20.05 | 149.67 |
| 20 | 137.71 | 286.01 | 376.48 | 53.18 | 374.11 |
| 50 | 198.19 | 400.20 | 522.45 | 76.09 | 507.96 |
| 100 | 283.68 | 557.57 | 725.47 | 109.83 | 692.66 |
| 500 | 498.73 | 946.28 | 1230.67 | 199.21 | 1148.78 |
| 1000 | 596.17 | 1120.63 | 1458.65 | 241.10 | 1354.00 |

En la Figura 35 se presentan los hidrogramas a la salida del predio para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años.

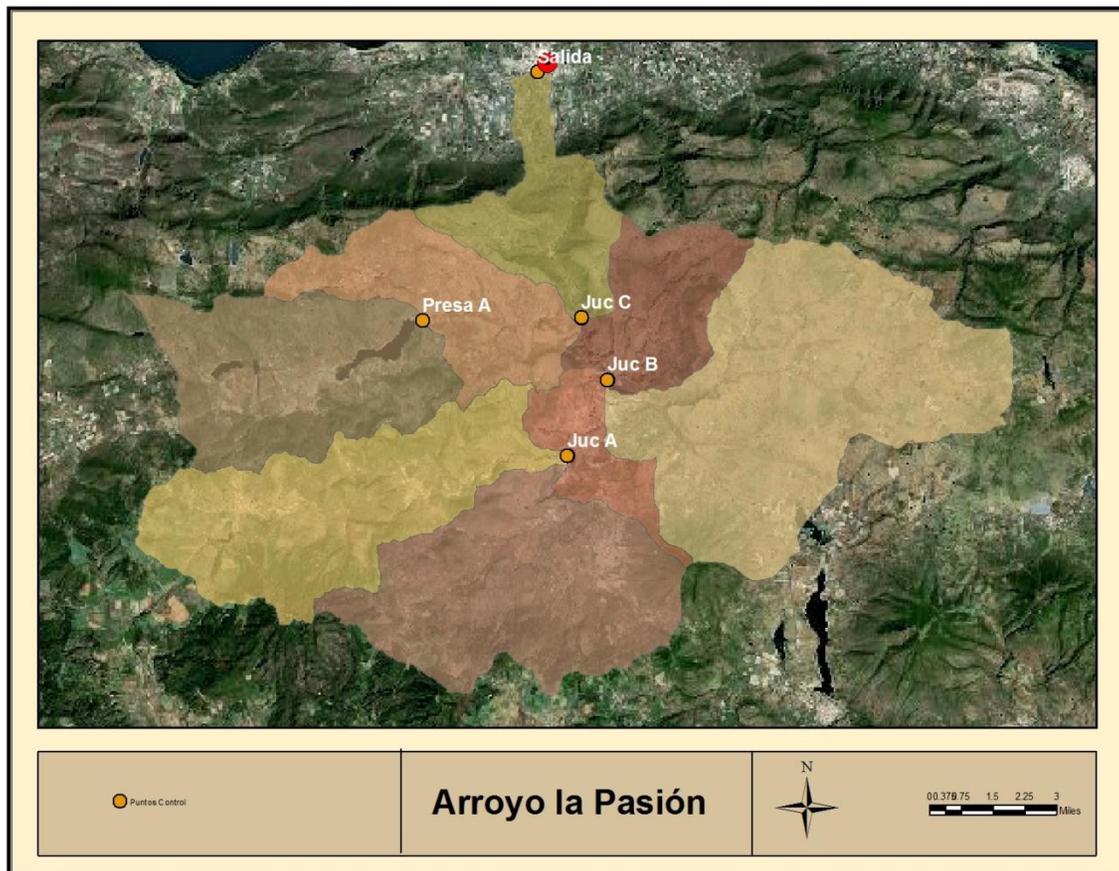


Figura 34. Puntos de estimación de hidrograma de Modelo Matemático.

Es importante notar que, el gasto máximo está asociado al periodo de retorno de 1000 años y es del orden de $1354 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el más pequeño es del orden de $42.74 \text{ m}^3/\text{s}$, asociado al periodo de retorno de 2 años.

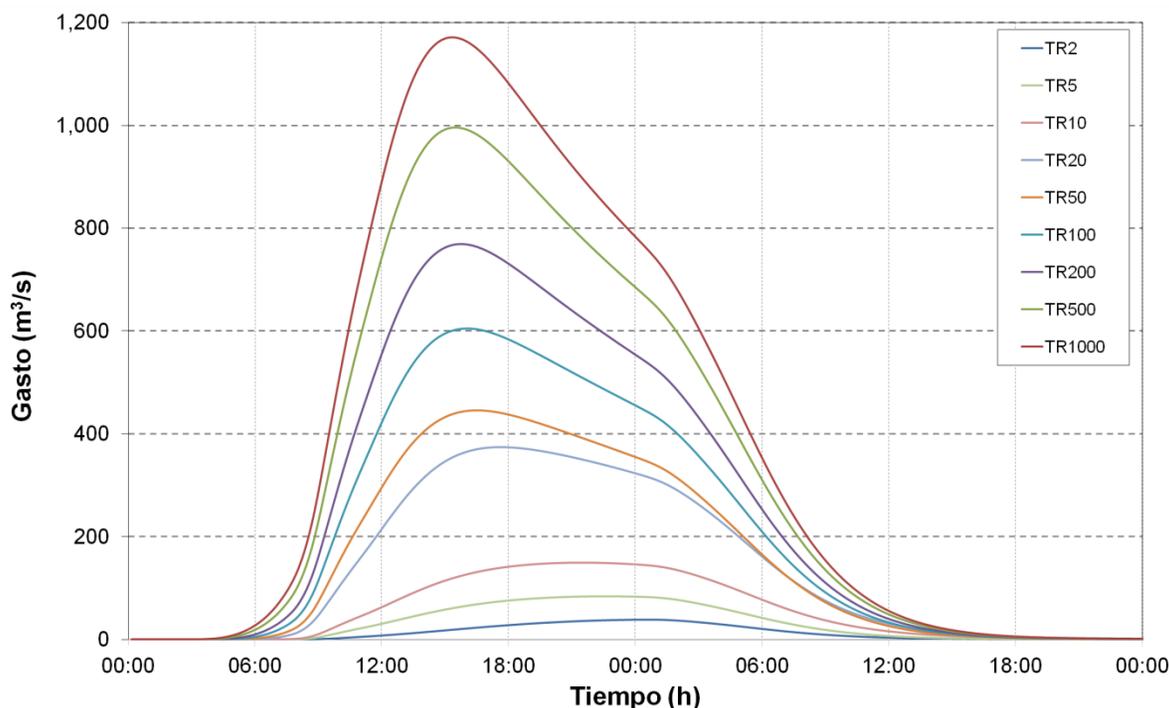


Figura 35 Hidrogramas a la salida del Cuenca

6 MODELO MATEMÁTICO DEL RÍO DE LA PASIÓN

6.1 Descripción del modelo numérico

En el cálculo del perfil hidráulico se utilizó el programa computacional HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), éste es un programa de simulación numérica que tiene la capacidad de calcular las características hidráulicas de un flujo a superficie libre en una dimensión; este modelo fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América y es de dominio público.

El sistema de simulación HEC-RAS 4.1 está compuesto por cuatro componentes para resolver (1) perfiles de la superficie del agua en estado estacionario, (2) Simulación del flujo en estado transitorio, (3) Transporte de sedimentos y fondo móvil y (4) Análisis de la calidad del agua. Es común para los cuatro componentes la información geométrica.

Perfiles de la superficie del agua.

El procedimiento computacional está basado en la solución de la ecuación de la energía, las pérdidas por fricción son calculadas por medio de la ecuación de Manning y las contracciones y expansiones por medio de la afectación de la carga de velocidad por un coeficiente.

En el cálculo de los perfiles cuando el flujo es rápidamente variado se utiliza la ecuación de conservación del movimiento o momentum.

6.2 Construcción del modelo numérico

La construcción del modelo numérico se realizó por medio de un proceso automatizado, empleando la rutina de GIS del HEC-RAS, denominada GEO-RAS. En este proceso se utiliza el eje del cauce, se indica el ancho de las secciones y el programa procesa la información topográfica contenida en un modelo digital de elevaciones, convirtiéndola en información de secciones transversales.

Una vez definido el esqueleto del modelo, este se exporta al formato de HEC-RAS para la simulación de eventos.

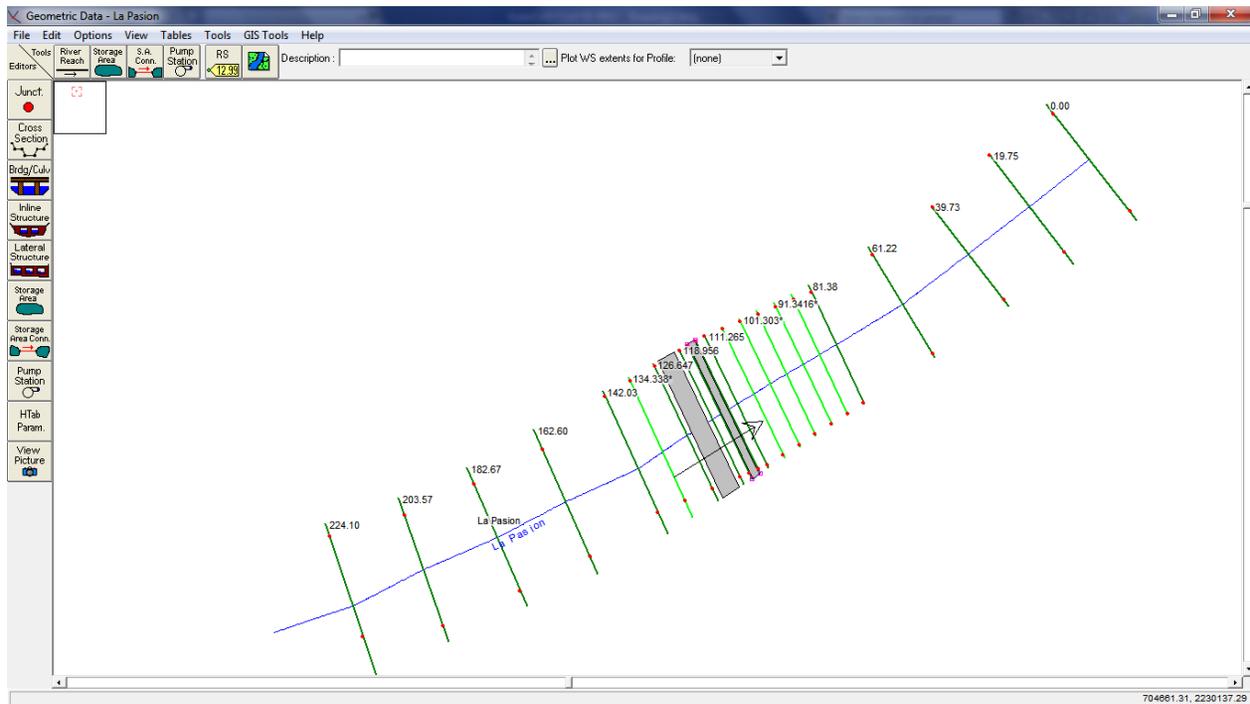


Figura 36 Esqueleto del modelo matemático

6.3 Condiciones de frontera y rugosidad

6.3.1 Determinación de perfiles para la obtención de la curva Q-H

Se construyó un archivo de condiciones de frontera en estado estacionario, en el cual se le impusieron al modelo los gastos picos de los hidrogramas de 5 a 1 000 años de periodo de retorno como condición de frontera aguas arriba, la frontera de aguas abajo fue considerada como flujo con tirante normal, calculado por el programa a partir de la pendiente del fondo entre las últimas dos secciones transversales.

En la Figura 37 se presenta la pantalla de captura en HEC-RAS de las condiciones de frontera estacionaria.

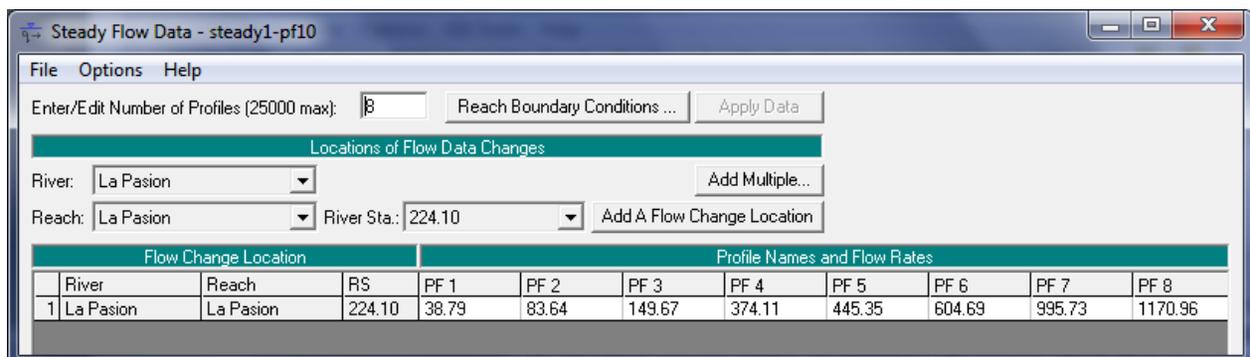


Figura 37 Condiciones de frontera estacionaria

Se utilizó un coeficiente de rugosidad (n de Manning) general para todo el dominio de cálculo de 0.04 considerando las irregularidades de las secciones y el acorazamiento del cauce en algunos

tramos (Ven Te Chow, Hidráulica de Canales, Tabla 5-6). La rugosidad será el factor a calibrar con mediciones de nivel.



Figura 38 Vista del cauce y de los puentes



Figura 39 Vista del cauce hacia aguas arriba el puente peatonal



Figura 40 Vista del cauce hacia aguas abajo desde el puente peatonal.

6.4 Resultados

6.4.1 Condiciones estacionarias

A continuación se presenta el resumen de los resultados de la simulación en condiciones estacionarias, debe observarse que se presenta la información de forma conjunta para cada sección con todos los gastos simulados.

| River Sta | Profile | Q Total (m ³ /s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | Crit W.S. (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|-----------|---------|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------|
| 224.1 | PF 1 | 38.79 | 1538.61 | 1540.22 | | 1540.38 | 0.004256 | 1.77 | 21.88 | 18.84 | 0.53 |
| 224.1 | PF 2 | 83.64 | 1538.61 | 1541.12 | | 1541.33 | 0.003346 | 2.07 | 40.43 | 22.68 | 0.49 |
| 224.1 | PF 3 | 149.67 | 1538.61 | 1541.88 | | 1542.2 | 0.003522 | 2.52 | 60.28 | 28.63 | 0.53 |
| 224.1 | PF 4 | 374.11 | 1538.61 | 1543.17 | | 1543.82 | 0.004552 | 3.7 | 110.13 | 41.76 | 0.64 |
| 224.1 | PF 5 | 445.35 | 1538.61 | 1543.49 | | 1544.23 | 0.004575 | 3.94 | 123.82 | 41.76 | 0.65 |
| 224.1 | PF 6 | 604.69 | 1538.61 | 1544.28 | | 1545.13 | 0.004168 | 4.27 | 156.53 | 41.76 | 0.64 |
| 224.1 | PF 7 | 995.73 | 1538.61 | 1545.94 | | 1547.04 | 0.003664 | 4.93 | 225.81 | 41.76 | 0.63 |
| 224.1 | PF 8 | 1170.96 | 1538.61 | 1546.61 | | 1547.83 | 0.003511 | 5.18 | 254.18 | 41.76 | 0.63 |
| 203.57 | PF 1 | 38.79 | 1538.55 | 1540.15 | | 1540.3 | 0.003581 | 1.68 | 23.12 | 18.94 | 0.48 |
| 203.57 | PF 2 | 83.64 | 1538.55 | 1541.07 | | 1541.26 | 0.002959 | 1.98 | 42.31 | 23.19 | 0.47 |
| 203.57 | PF 3 | 149.67 | 1538.55 | 1541.83 | | 1542.12 | 0.003528 | 2.37 | 64.46 | 38.26 | 0.52 |
| 203.57 | PF 4 | 374.11 | 1538.55 | 1543.14 | | 1543.71 | 0.00391 | 3.44 | 115.41 | 39.19 | 0.6 |
| 203.57 | PF 5 | 445.35 | 1538.55 | 1543.46 | | 1544.12 | 0.004027 | 3.71 | 127.94 | 39.19 | 0.62 |
| 203.57 | PF 6 | 604.69 | 1538.55 | 1544.22 | | 1545.03 | 0.003847 | 4.11 | 157.98 | 39.19 | 0.62 |
| 203.57 | PF 7 | 995.73 | 1538.55 | 1545.82 | | 1546.97 | 0.003655 | 4.91 | 220.7 | 39.19 | 0.64 |
| 203.57 | PF 8 | 1170.96 | 1538.55 | 1546.47 | | 1547.75 | 0.003593 | 5.21 | 245.98 | 39.19 | 0.64 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|--------|-------|------|
| 182.67 | PF 1 | 38.79 | 1538.6 | 1540 | | 1540.2 | 0.005469 | 1.97 | 19.73 | 17.25 | 0.59 |
| 182.67 | PF 2 | 83.64 | 1538.6 | 1540.93 | | 1541.19 | 0.003978 | 2.26 | 37.01 | 20.31 | 0.53 |
| 182.67 | PF 3 | 149.67 | 1538.6 | 1541.6 | | 1542.01 | 0.00621 | 2.85 | 52.71 | 33.07 | 0.67 |
| 182.67 | PF 4 | 374.11 | 1538.6 | 1542.8 | | 1543.59 | 0.006523 | 4.02 | 98.42 | 39.02 | 0.75 |
| 182.67 | PF 5 | 445.35 | 1538.6 | 1543.1 | | 1543.99 | 0.006548 | 4.29 | 110.1 | 39.02 | 0.76 |
| 182.67 | PF 6 | 604.69 | 1538.6 | 1543.93 | | 1544.92 | 0.005405 | 4.54 | 142.58 | 39.02 | 0.72 |
| 182.67 | PF 7 | 995.73 | 1538.6 | 1545.56 | | 1546.86 | 0.004604 | 5.25 | 206.24 | 39.02 | 0.7 |
| 182.67 | PF 8 | 1170.96 | 1538.6 | 1546.21 | | 1547.65 | 0.004418 | 5.52 | 231.62 | 39.02 | 0.7 |
| | | | | | | | | | | | |
| 162.6 | PF 1 | 38.79 | 1538.5 | 1539.89 | | 1540.09 | 0.005725 | 1.99 | 19.53 | 17.58 | 0.6 |
| 162.6 | PF 2 | 83.64 | 1538.5 | 1540.87 | | 1541.1 | 0.003701 | 2.14 | 39.04 | 22.37 | 0.52 |
| 162.6 | PF 3 | 149.67 | 1538.5 | 1541.52 | | 1541.88 | 0.004953 | 2.67 | 56.86 | 33.45 | 0.61 |
| 162.6 | PF 4 | 374.11 | 1538.5 | 1542.73 | | 1543.44 | 0.005503 | 3.82 | 104.35 | 40.4 | 0.7 |
| 162.6 | PF 5 | 445.35 | 1538.5 | 1543.04 | | 1543.84 | 0.005536 | 4.08 | 116.74 | 40.4 | 0.71 |
| 162.6 | PF 6 | 604.69 | 1538.5 | 1543.91 | | 1544.79 | 0.004537 | 4.3 | 151.72 | 40.4 | 0.67 |
| 162.6 | PF 7 | 995.73 | 1538.5 | 1545.57 | | 1546.74 | 0.0039 | 4.98 | 219.12 | 40.4 | 0.65 |
| 162.6 | PF 8 | 1170.96 | 1538.5 | 1546.24 | | 1547.52 | 0.003757 | 5.24 | 245.92 | 40.4 | 0.65 |
| | | | | | | | | | | | |
| 142.03 | PF 1 | 38.79 | 1538.27 | 1539.7 | | 1539.95 | 0.006974 | 2.21 | 17.59 | 15.57 | 0.66 |
| 142.03 | PF 2 | 83.64 | 1538.27 | 1540.73 | | 1541.02 | 0.004251 | 2.36 | 35.44 | 19.16 | 0.55 |
| 142.03 | PF 3 | 149.67 | 1538.27 | 1541.21 | | 1541.74 | 0.0074 | 3.24 | 47.39 | 29.32 | 0.74 |
| 142.03 | PF 4 | 374.11 | 1538.27 | 1542.4 | 1542.22 | 1543.28 | 0.009038 | 4.24 | 91.93 | 40.51 | 0.86 |
| 142.03 | PF 5 | 445.35 | 1538.27 | 1542.78 | | 1543.7 | 0.007829 | 4.34 | 107.3 | 40.51 | 0.82 |
| 142.03 | PF 6 | 604.69 | 1538.27 | 1543.79 | | 1544.69 | 0.005122 | 4.3 | 148.34 | 40.51 | 0.7 |
| 142.03 | PF 7 | 995.73 | 1538.27 | 1545.5 | | 1546.65 | 0.004057 | 4.88 | 217.7 | 40.51 | 0.66 |
| 142.03 | PF 8 | 1170.96 | 1538.27 | 1546.18 | | 1547.44 | 0.003841 | 5.13 | 244.97 | 40.51 | 0.65 |
| | | | | | | | | | | | |
| 134.338* | PF 1 | 38.79 | 1538.16 | 1539.7 | | 1539.89 | 0.005107 | 1.95 | 19.92 | 16.91 | 0.57 |
| 134.338* | PF 2 | 83.64 | 1538.16 | 1540.74 | | 1540.97 | 0.003652 | 2.09 | 40.06 | 23.6 | 0.51 |
| 134.338* | PF 3 | 149.67 | 1538.16 | 1541.29 | | 1541.64 | 0.00558 | 2.65 | 57.92 | 36.57 | 0.64 |
| 134.338* | PF 4 | 374.11 | 1538.16 | 1542.49 | | 1543.16 | 0.005686 | 3.69 | 105.33 | 39.89 | 0.7 |
| 134.338* | PF 5 | 445.35 | 1538.16 | 1542.86 | | 1543.59 | 0.005317 | 3.87 | 119.93 | 39.89 | 0.69 |
| 134.338* | PF 6 | 604.69 | 1538.16 | 1543.84 | | 1544.62 | 0.003959 | 3.99 | 159 | 39.89 | 0.62 |
| 134.338* | PF 7 | 995.73 | 1538.16 | 1545.54 | | 1546.59 | 0.003415 | 4.65 | 226.85 | 39.89 | 0.61 |
| 134.338* | PF 8 | 1170.96 | 1538.16 | 1546.21 | | 1547.38 | 0.003296 | 4.91 | 253.6 | 39.89 | 0.61 |
| | | | | | | | | | | | |
| 126.647 | PF 1 | 38.79 | 1538.05 | 1539.69 | 1539.16 | 1539.84 | 0.003706 | 1.71 | 22.72 | 18.55 | 0.49 |
| 126.647 | PF 2 | 83.64 | 1538.05 | 1540.77 | 1539.74 | 1540.92 | 0.002897 | 1.75 | 48.14 | 34.87 | 0.45 |
| 126.647 | PF 3 | 149.67 | 1538.05 | 1541.33 | 1540.45 | 1541.58 | 0.003402 | 2.21 | 69.11 | 39.28 | 0.51 |
| 126.647 | PF 4 | 374.11 | 1538.05 | 1542.54 | 1541.69 | 1543.09 | 0.003963 | 3.31 | 116.81 | 39.28 | 0.6 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|--------|-------|------|
| 126.647 | PF 5 | 445.35 | 1538.05 | 1542.91 | 1541.96 | 1543.52 | 0.00387 | 3.52 | 131.09 | 39.28 | 0.6 |
| 126.647 | PF 6 | 604.69 | 1538.05 | 1543.87 | 1542.49 | 1544.56 | 0.003134 | 3.73 | 169.06 | 39.28 | 0.56 |
| 126.647 | PF 7 | 995.73 | 1538.05 | 1545.57 | 1543.64 | 1546.54 | 0.002892 | 4.44 | 235.73 | 39.28 | 0.57 |
| 126.647 | PF 8 | 1170.96 | 1538.05 | 1546.24 | 1544.13 | 1547.34 | 0.002836 | 4.71 | 262.04 | 39.28 | 0.58 |
| | | | | | | | | | | | |
| 122.8015 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 118.956 | PF 1 | 38.79 | 1537.94 | 1539.4 | | 1539.58 | 0.005639 | 1.92 | 20.23 | 19.18 | 0.6 |
| 118.956 | PF 2 | 83.64 | 1537.94 | 1540.12 | | 1540.38 | 0.005679 | 2.29 | 36.56 | 26.71 | 0.62 |
| 118.956 | PF 3 | 149.67 | 1537.94 | 1540.82 | | 1541.15 | 0.005329 | 2.53 | 59.58 | 37.56 | 0.63 |
| 118.956 | PF 4 | 374.11 | 1537.94 | 1542.38 | | 1542.89 | 0.00357 | 3.2 | 119.63 | 38.66 | 0.57 |
| 118.956 | PF 5 | 445.35 | 1537.94 | 1542.77 | | 1543.35 | 0.003433 | 3.39 | 134.77 | 38.66 | 0.57 |
| 118.956 | PF 6 | 604.69 | 1537.94 | 1543.8 | | 1544.44 | 0.002713 | 3.57 | 174.77 | 38.66 | 0.53 |
| 118.956 | PF 7 | 995.73 | 1537.94 | 1545.53 | | 1546.45 | 0.002559 | 4.28 | 241.4 | 38.66 | 0.54 |
| 118.956 | PF 8 | 1170.96 | 1537.94 | 1546.21 | | 1547.24 | 0.002526 | 4.55 | 267.58 | 38.66 | 0.55 |
| | | | | | | | | | | | |
| 116.392 | PF 1 | 38.79 | 1537.9 | 1539.4 | 1539.01 | 1539.56 | 0.005091 | 1.81 | 21.4 | 20.49 | 0.57 |
| 116.392 | PF 2 | 83.64 | 1537.9 | 1540.13 | 1539.58 | 1540.36 | 0.004914 | 2.13 | 39.2 | 28.6 | 0.58 |
| 116.392 | PF 3 | 149.67 | 1537.9 | 1540.84 | 1540.19 | 1541.12 | 0.004424 | 2.37 | 63.45 | 37.88 | 0.57 |
| 116.392 | PF 4 | 374.11 | 1537.9 | 1542.39 | 1541.33 | 1542.88 | 0.003216 | 3.1 | 123.23 | 38.46 | 0.54 |
| 116.392 | PF 5 | 445.35 | 1537.9 | 1542.78 | 1541.59 | 1543.33 | 0.003156 | 3.3 | 138.15 | 38.46 | 0.55 |
| 116.392 | PF 6 | 604.69 | 1537.9 | 1543.81 | 1542.15 | 1544.43 | 0.002545 | 3.5 | 177.86 | 38.46 | 0.51 |
| 116.392 | PF 7 | 995.73 | 1537.9 | 1545.54 | 1543.33 | 1546.43 | 0.002438 | 4.22 | 244.19 | 38.46 | 0.53 |
| 116.392 | PF 8 | 1170.96 | 1537.9 | 1546.21 | 1543.8 | 1547.23 | 0.002415 | 4.49 | 270.25 | 38.46 | 0.54 |
| | | | | | | | | | | | |
| 115.11 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 113.828 | PF 1 | 38.79 | 1537.86 | 1539.08 | 1538.97 | 1539.37 | 0.011403 | 2.38 | 16.27 | 18.98 | 0.82 |
| 113.828 | PF 2 | 83.64 | 1537.86 | 1539.81 | 1539.52 | 1540.14 | 0.007965 | 2.55 | 32.78 | 26.32 | 0.73 |
| 113.828 | PF 3 | 149.67 | 1537.86 | 1540.72 | 1540.11 | 1541.02 | 0.004686 | 2.41 | 62.34 | 37.71 | 0.59 |
| 113.828 | PF 4 | 374.11 | 1537.86 | 1542.29 | 1541.24 | 1542.78 | 0.003273 | 3.11 | 122.24 | 38.25 | 0.55 |
| 113.828 | PF 5 | 445.35 | 1537.86 | 1542.67 | 1541.51 | 1543.23 | 0.003193 | 3.31 | 137 | 38.25 | 0.55 |
| 113.828 | PF 6 | 604.69 | 1537.86 | 1543.47 | 1542.05 | 1544.16 | 0.003058 | 3.69 | 167.47 | 38.25 | 0.56 |
| 113.828 | PF 7 | 995.73 | 1537.86 | 1545.21 | 1543.25 | 1546.17 | 0.002759 | 4.37 | 233.96 | 38.25 | 0.56 |
| 113.828 | PF 8 | 1170.96 | 1537.86 | 1545.92 | 1543.72 | 1547 | 0.002651 | 4.61 | 261.27 | 38.25 | 0.56 |
| | | | | | | | | | | | |
| 111.265 | PF 1 | 38.79 | 1537.83 | 1539.07 | | 1539.33 | 0.010112 | 2.24 | 17.32 | 20.36 | 0.77 |
| 111.265 | PF 2 | 83.64 | 1537.83 | 1539.83 | | 1540.11 | 0.006652 | 2.36 | 35.38 | 27.92 | 0.67 |
| 111.265 | PF 3 | 149.67 | 1537.83 | 1540.73 | | 1540.99 | 0.003879 | 2.27 | 66.14 | 37.99 | 0.54 |
| 111.265 | PF 4 | 374.11 | 1537.83 | 1542.3 | | 1542.76 | 0.00295 | 3.01 | 125.76 | 38.05 | 0.52 |
| 111.265 | PF 5 | 445.35 | 1537.83 | 1542.69 | | 1543.21 | 0.002906 | 3.21 | 140.45 | 38.05 | 0.53 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|---------|---------|---------|--|---------|----------|------|--------|-------|------|
| 111.265 | PF 6 | 604.69 | 1537.83 | 1543.49 | | 1544.14 | 0.002804 | 3.59 | 170.93 | 38.05 | 0.54 |
| 111.265 | PF 7 | 995.73 | 1537.83 | 1545.23 | | 1546.16 | 0.002579 | 4.28 | 237.17 | 38.05 | 0.54 |
| 111.265 | PF 8 | 1170.96 | 1537.83 | 1545.94 | | 1546.98 | 0.002491 | 4.52 | 264.36 | 38.05 | 0.55 |
| | | | | | | | | | | | |
| 106.284* | PF 1 | 38.79 | 1537.76 | 1539.04 | | 1539.28 | 0.009025 | 2.18 | 17.76 | 19.88 | 0.74 |
| 106.284* | PF 2 | 83.64 | 1537.76 | 1539.78 | | 1540.08 | 0.006387 | 2.41 | 34.78 | 25.85 | 0.66 |
| 106.284* | PF 3 | 149.67 | 1537.76 | 1540.69 | | 1540.97 | 0.004254 | 2.35 | 63.69 | 36.86 | 0.57 |
| 106.284* | PF 4 | 374.11 | 1537.76 | 1542.25 | | 1542.74 | 0.003183 | 3.11 | 121.99 | 37.35 | 0.54 |
| 106.284* | PF 5 | 445.35 | 1537.76 | 1542.63 | | 1543.19 | 0.003139 | 3.32 | 136.23 | 37.35 | 0.55 |
| 106.284* | PF 6 | 604.69 | 1537.76 | 1543.42 | | 1544.12 | 0.003036 | 3.71 | 165.78 | 37.35 | 0.56 |
| 106.284* | PF 7 | 995.73 | 1537.76 | 1545.15 | | 1546.14 | 0.002794 | 4.42 | 230.11 | 37.35 | 0.57 |
| 106.284* | PF 8 | 1170.96 | 1537.76 | 1545.85 | | 1546.96 | 0.002699 | 4.67 | 256.54 | 37.35 | 0.57 |
| | | | | | | | | | | | |
| 101.303* | PF 1 | 38.79 | 1537.69 | 1539 | | 1539.23 | 0.008013 | 2.12 | 18.28 | 19.49 | 0.7 |
| 101.303* | PF 2 | 83.64 | 1537.69 | 1539.74 | | 1540.05 | 0.006083 | 2.43 | 34.45 | 24.25 | 0.65 |
| 101.303* | PF 3 | 149.67 | 1537.69 | 1540.64 | | 1540.95 | 0.004697 | 2.45 | 61.09 | 35.58 | 0.59 |
| 101.303* | PF 4 | 374.11 | 1537.69 | 1542.2 | | 1542.72 | 0.003464 | 3.21 | 118.03 | 36.65 | 0.57 |
| 101.303* | PF 5 | 445.35 | 1537.69 | 1542.57 | | 1543.17 | 0.003421 | 3.43 | 131.8 | 36.65 | 0.57 |
| 101.303* | PF 6 | 604.69 | 1537.69 | 1543.36 | | 1544.1 | 0.003308 | 3.84 | 160.46 | 36.65 | 0.58 |
| 101.303* | PF 7 | 995.73 | 1537.69 | 1545.06 | | 1546.12 | 0.003048 | 4.57 | 222.8 | 36.65 | 0.59 |
| 101.303* | PF 8 | 1170.96 | 1537.69 | 1545.76 | | 1546.94 | 0.002944 | 4.83 | 248.45 | 36.65 | 0.59 |
| | | | | | | | | | | | |
| 96.3224* | PF 1 | 38.79 | 1537.62 | 1538.98 | | 1539.19 | 0.007079 | 2.06 | 18.82 | 19.06 | 0.66 |
| 96.3224* | PF 2 | 83.64 | 1537.62 | 1539.71 | | 1540.02 | 0.005799 | 2.44 | 34.27 | 22.97 | 0.64 |
| 96.3224* | PF 3 | 149.67 | 1537.62 | 1540.58 | | 1540.92 | 0.005195 | 2.57 | 58.32 | 33.49 | 0.62 |
| 96.3224* | PF 4 | 374.11 | 1537.62 | 1542.14 | | 1542.7 | 0.003816 | 3.33 | 113.81 | 35.95 | 0.59 |
| 96.3224* | PF 5 | 445.35 | 1537.62 | 1542.51 | | 1543.15 | 0.003765 | 3.56 | 127.15 | 35.95 | 0.6 |
| 96.3224* | PF 6 | 604.69 | 1537.62 | 1543.28 | | 1544.08 | 0.003641 | 3.98 | 154.86 | 35.95 | 0.61 |
| 96.3224* | PF 7 | 995.73 | 1537.62 | 1544.96 | | 1546.09 | 0.003355 | 4.74 | 215.17 | 35.95 | 0.61 |
| 96.3224* | PF 8 | 1170.96 | 1537.62 | 1545.65 | | 1546.91 | 0.00324 | 5 | 240 | 35.95 | 0.61 |
| | | | | | | | | | | | |
| 91.3416* | PF 1 | 38.79 | 1537.56 | 1538.95 | | 1539.16 | 0.006255 | 2 | 19.39 | 18.65 | 0.63 |
| 91.3416* | PF 2 | 83.64 | 1537.56 | 1539.68 | | 1539.99 | 0.005546 | 2.45 | 34.14 | 21.89 | 0.63 |
| 91.3416* | PF 3 | 149.67 | 1537.56 | 1540.52 | | 1540.89 | 0.005553 | 2.69 | 55.54 | 30.97 | 0.64 |
| 91.3416* | PF 4 | 374.11 | 1537.56 | 1542.07 | | 1542.67 | 0.004253 | 3.47 | 109.36 | 35.25 | 0.62 |
| 91.3416* | PF 5 | 445.35 | 1537.56 | 1542.43 | | 1543.12 | 0.004197 | 3.7 | 122.21 | 35.25 | 0.63 |
| 91.3416* | PF 6 | 604.69 | 1537.56 | 1543.19 | | 1544.05 | 0.004061 | 4.14 | 148.88 | 35.25 | 0.64 |
| 91.3416* | PF 7 | 995.73 | 1537.56 | 1544.84 | | 1546.06 | 0.003737 | 4.93 | 207.07 | 35.25 | 0.64 |
| 91.3416* | PF 8 | 1170.96 | 1537.56 | 1545.52 | | 1546.89 | 0.003606 | 5.2 | 231.06 | 35.25 | 0.64 |
| | | | | | | | | | | | |
| 86.3608* | PF 1 | 38.79 | 1537.49 | 1538.93 | | 1539.13 | 0.005543 | 1.95 | 19.94 | 18.21 | 0.59 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|--------|-------|------|
| 86.3608* | PF 2 | 83.64 | 1537.49 | 1539.65 | | 1539.96 | 0.005317 | 2.46 | 34.02 | 20.89 | 0.61 |
| 86.3608* | PF 3 | 149.67 | 1537.49 | 1540.45 | | 1540.86 | 0.005716 | 2.82 | 53.15 | 28.12 | 0.65 |
| 86.3608* | PF 4 | 374.11 | 1537.49 | 1541.98 | | 1542.65 | 0.004851 | 3.63 | 104.37 | 34.55 | 0.66 |
| 86.3608* | PF 5 | 445.35 | 1537.49 | 1542.33 | | 1543.09 | 0.004781 | 3.88 | 116.71 | 34.55 | 0.66 |
| 86.3608* | PF 6 | 604.69 | 1537.49 | 1543.08 | | 1544.02 | 0.004618 | 4.33 | 142.31 | 34.55 | 0.67 |
| 86.3608* | PF 7 | 995.73 | 1537.49 | 1544.7 | | 1546.03 | 0.004234 | 5.15 | 198.28 | 34.55 | 0.68 |
| 86.3608* | PF 8 | 1170.96 | 1537.49 | 1545.37 | | 1546.85 | 0.004079 | 5.44 | 221.41 | 34.55 | 0.68 |
| | | | | | | | | | | | |
| 81.38 | PF 1 | 38.79 | 1537.42 | 1538.91 | | 1539.1 | 0.004955 | 1.9 | 20.46 | 17.78 | 0.56 |
| 81.38 | PF 2 | 83.64 | 1537.42 | 1539.62 | | 1539.93 | 0.005149 | 2.47 | 33.89 | 20.04 | 0.61 |
| 81.38 | PF 3 | 149.67 | 1537.42 | 1540.38 | | 1540.82 | 0.006164 | 2.94 | 50.93 | 26.51 | 0.68 |
| 81.38 | PF 4 | 374.11 | 1537.42 | 1541.86 | | 1542.61 | 0.005728 | 3.85 | 98.58 | 33.85 | 0.71 |
| 81.38 | PF 5 | 445.35 | 1537.42 | 1542.21 | | 1543.06 | 0.005638 | 4.1 | 110.31 | 33.85 | 0.71 |
| 81.38 | PF 6 | 604.69 | 1537.42 | 1542.93 | | 1543.99 | 0.005423 | 4.58 | 134.73 | 33.85 | 0.72 |
| 81.38 | PF 7 | 995.73 | 1537.42 | 1544.51 | | 1546 | 0.004929 | 5.43 | 188.34 | 33.85 | 0.73 |
| 81.38 | PF 8 | 1170.96 | 1537.42 | 1545.17 | | 1546.82 | 0.004732 | 5.72 | 210.57 | 33.85 | 0.72 |
| | | | | | | | | | | | |
| 61.22 | PF 1 | 38.79 | 1537.35 | 1538.76 | | 1538.98 | 0.006207 | 2.09 | 18.53 | 16.28 | 0.63 |
| 61.22 | PF 2 | 83.64 | 1537.35 | 1539.4 | | 1539.8 | 0.00741 | 2.82 | 29.7 | 18.9 | 0.72 |
| 61.22 | PF 3 | 149.67 | 1537.35 | 1540.04 | | 1540.66 | 0.008823 | 3.48 | 43.01 | 22.67 | 0.81 |
| 61.22 | PF 4 | 374.11 | 1537.35 | 1541.45 | 1541.23 | 1542.45 | 0.008592 | 4.44 | 86.06 | 33.4 | 0.85 |
| 61.22 | PF 5 | 445.35 | 1537.35 | 1541.8 | 1541.52 | 1542.9 | 0.008191 | 4.69 | 97.48 | 33.4 | 0.85 |
| 61.22 | PF 6 | 604.69 | 1537.35 | 1542.51 | 1542.14 | 1543.83 | 0.007516 | 5.15 | 121.21 | 33.4 | 0.84 |
| 61.22 | PF 7 | 995.73 | 1537.35 | 1544.06 | | 1545.85 | 0.006481 | 6 | 172.99 | 33.4 | 0.83 |
| 61.22 | PF 8 | 1170.96 | 1537.35 | 1544.7 | | 1546.68 | 0.006145 | 6.3 | 194.41 | 33.4 | 0.82 |
| | | | | | | | | | | | |
| 39.73 | PF 1 | 38.79 | 1537.25 | 1538.64 | | 1538.84 | 0.00607 | 2.01 | 19.29 | 17.76 | 0.62 |
| 39.73 | PF 2 | 83.64 | 1537.25 | 1539.27 | | 1539.64 | 0.006765 | 2.7 | 31.01 | 19.58 | 0.68 |
| 39.73 | PF 3 | 149.67 | 1537.25 | 1539.87 | | 1540.46 | 0.009014 | 3.4 | 44.01 | 24.32 | 0.81 |
| 39.73 | PF 4 | 374.11 | 1537.25 | 1541.33 | | 1542.25 | 0.007621 | 4.27 | 89.53 | 32.94 | 0.81 |
| 39.73 | PF 5 | 445.35 | 1537.25 | 1541.68 | | 1542.71 | 0.007308 | 4.52 | 101.11 | 32.94 | 0.8 |
| 39.73 | PF 6 | 604.69 | 1537.25 | 1542.41 | | 1543.66 | 0.006809 | 4.99 | 124.95 | 32.94 | 0.8 |
| 39.73 | PF 7 | 995.73 | 1537.25 | 1543.97 | | 1545.7 | 0.00603 | 5.87 | 176.55 | 32.94 | 0.8 |
| 39.73 | PF 8 | 1170.96 | 1537.25 | 1544.62 | | 1546.53 | 0.005765 | 6.18 | 197.81 | 32.94 | 0.8 |
| | | | | | | | | | | | |
| 19.75 | PF 1 | 38.79 | 1536.97 | 1538.2 | 1538.2 | 1538.63 | 0.017038 | 2.89 | 13.4 | 15.75 | 1 |
| 19.75 | PF 2 | 83.64 | 1536.97 | 1538.82 | 1538.82 | 1539.42 | 0.015191 | 3.44 | 24.28 | 20.08 | 1 |
| 19.75 | PF 3 | 149.67 | 1536.97 | 1539.45 | 1539.45 | 1540.22 | 0.014062 | 3.89 | 38.44 | 24.91 | 1 |
| 19.75 | PF 4 | 374.11 | 1536.97 | 1541.3 | | 1542.07 | 0.005921 | 3.91 | 97.72 | 35.77 | 0.72 |
| 19.75 | PF 5 | 445.35 | 1536.97 | 1541.68 | | 1542.53 | 0.005547 | 4.1 | 111.37 | 35.77 | 0.71 |
| 19.75 | PF 6 | 604.69 | 1536.97 | 1542.46 | | 1543.47 | 0.005008 | 4.48 | 139.28 | 35.77 | 0.7 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|--------|-------|------|
| 19.75 | PF 7 | 995.73 | 1536.97 | 1544.14 | | 1545.48 | 0.004309 | 5.21 | 199.07 | 35.77 | 0.69 |
| 19.75 | PF 8 | 1170.96 | 1536.97 | 1544.82 | | 1546.3 | 0.004102 | 5.47 | 223.51 | 35.77 | 0.69 |
| | | | | | | | | | | | |
| 0 | PF 1 | 38.79 | 1536.55 | 1537.75 | 1537.75 | 1538.15 | 0.01763 | 2.82 | 13.74 | 16.94 | 1 |
| 0 | PF 2 | 83.64 | 1536.55 | 1538.3 | 1538.3 | 1538.95 | 0.015626 | 3.56 | 23.5 | 18.3 | 1 |
| 0 | PF 3 | 149.67 | 1536.55 | 1538.93 | 1538.93 | 1539.84 | 0.014475 | 4.24 | 35.29 | 19.47 | 1.01 |
| 0 | PF 4 | 374.11 | 1536.55 | 1540.53 | 1540.53 | 1541.86 | 0.012031 | 5.12 | 74.21 | 29.38 | 0.98 |
| 0 | PF 5 | 445.35 | 1536.55 | 1540.95 | 1540.95 | 1542.33 | 0.011182 | 5.22 | 87.56 | 32.97 | 0.96 |
| 0 | PF 6 | 604.69 | 1536.55 | 1541.58 | 1541.58 | 1543.26 | 0.010753 | 5.81 | 108.2 | 32.97 | 0.97 |
| 0 | PF 7 | 995.73 | 1536.55 | 1542.9 | 1542.9 | 1545.26 | 0.010096 | 6.91 | 151.84 | 32.97 | 0.99 |
| 0 | PF 8 | 1170.96 | 1536.55 | 1543.45 | 1543.45 | 1546.07 | 0.009835 | 7.31 | 169.68 | 32.97 | 0.99 |

De la Figura 41 a la Figura 48 se presentan los perfiles hidráulicos para los gastos pico de los hidrogramas con periodo de retorno de 2, 5, 10, 50, 100, 500 y 1000 años.

Notese que en los perfiles en la zona cercana a los puentes ocurre una elevación y remanso de la superficie del agua, esto es causado por la reducción de área hidráulica provocada por las pilas de los puentes.

Es importante hacer notar la limitada capacidad hidráulica del puente vehicular, obsérvese en la Figura 41 que para un gasto del orden de los 40 m³/s, la alcantarilla del puente vehicular casi ha llegado a su capacidad.

Considerando lo anterior determino una curva elevación gastos considerando los gastos altos, aquellos que pueden rebasar la losa del puente y para gastos bajos, menores de 40 m³/s.

A continuación sólo se incluye el resumen de resultados en la sección aguas arriba del puente vehicular, cadenamamiento 126.64 m.

Tabla 18 Resumen las características hidráulicas considerando un umbral de 0 a 40 m³/s

| River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|--------------|
| 126.647 | PF 1 | 1 | 1538.05 | 1538.31 | 1538.23 | 1538.32 | 0.005762 | 0.57 | 1.77 | 10.86 | 0.45 |
| 126.647 | PF 2 | 5 | 1538.05 | 1538.57 | 1538.42 | 1538.63 | 0.005772 | 1 | 4.99 | 12.89 | 0.51 |
| 126.647 | PF 3 | 10 | 1538.05 | 1538.8 | 1538.58 | 1538.88 | 0.005447 | 1.25 | 7.99 | 14.12 | 0.53 |
| 126.647 | PF 4 | 15 | 1538.05 | 1538.98 | 1538.71 | 1539.08 | 0.005029 | 1.4 | 10.74 | 15.09 | 0.53 |
| 126.647 | PF 5 | 20 | 1538.05 | 1539.15 | 1538.82 | 1539.27 | 0.004649 | 1.49 | 13.38 | 15.97 | 0.52 |
| 126.647 | PF 6 | 25 | 1538.05 | 1539.41 | 1538.92 | 1539.51 | 0.003269 | 1.42 | 17.55 | 17.21 | 0.45 |
| 126.647 | PF 7 | 30 | 1538.05 | 1539.55 | 1539.01 | 1539.67 | 0.003147 | 1.49 | 20.15 | 17.92 | 0.45 |
| 126.647 | PF 8 | 35 | 1538.05 | 1539.68 | 1539.1 | 1539.8 | 0.003122 | 1.56 | 22.46 | 18.5 | 0.45 |
| 126.647 | PF 9 | 40 | 1538.05 | 1539.72 | 1539.18 | 1539.88 | 0.00367 | 1.72 | 23.29 | 18.7 | 0.49 |

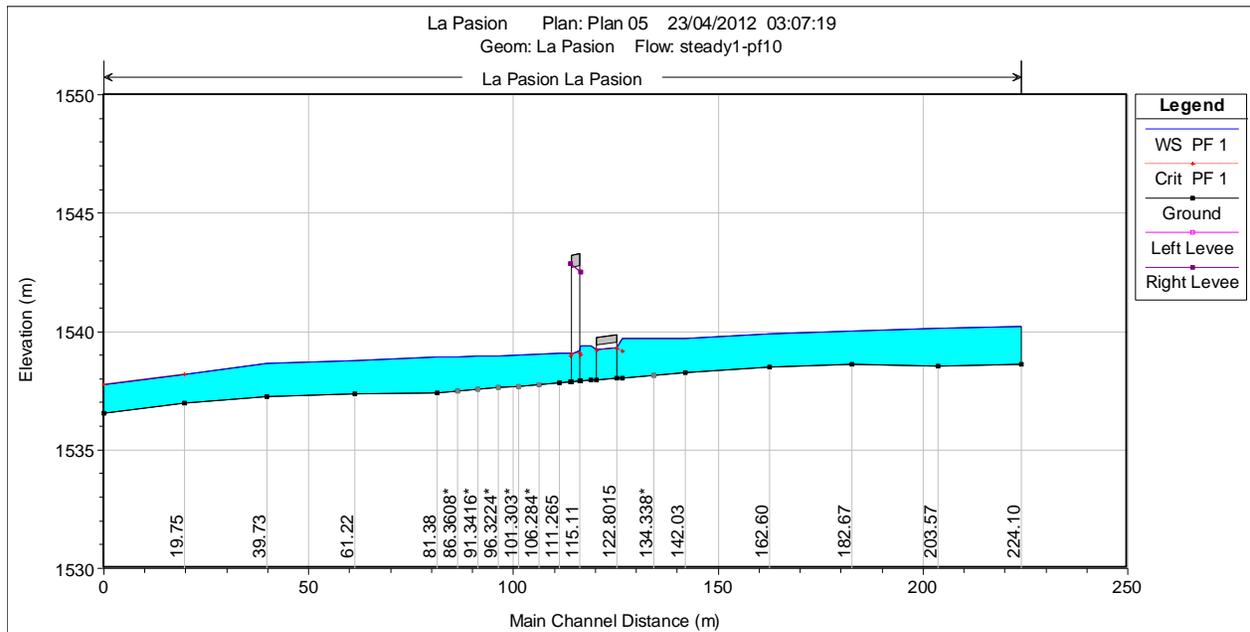


Figura 41 Perfil hidráulico para un gasto de 38.79 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 2 años

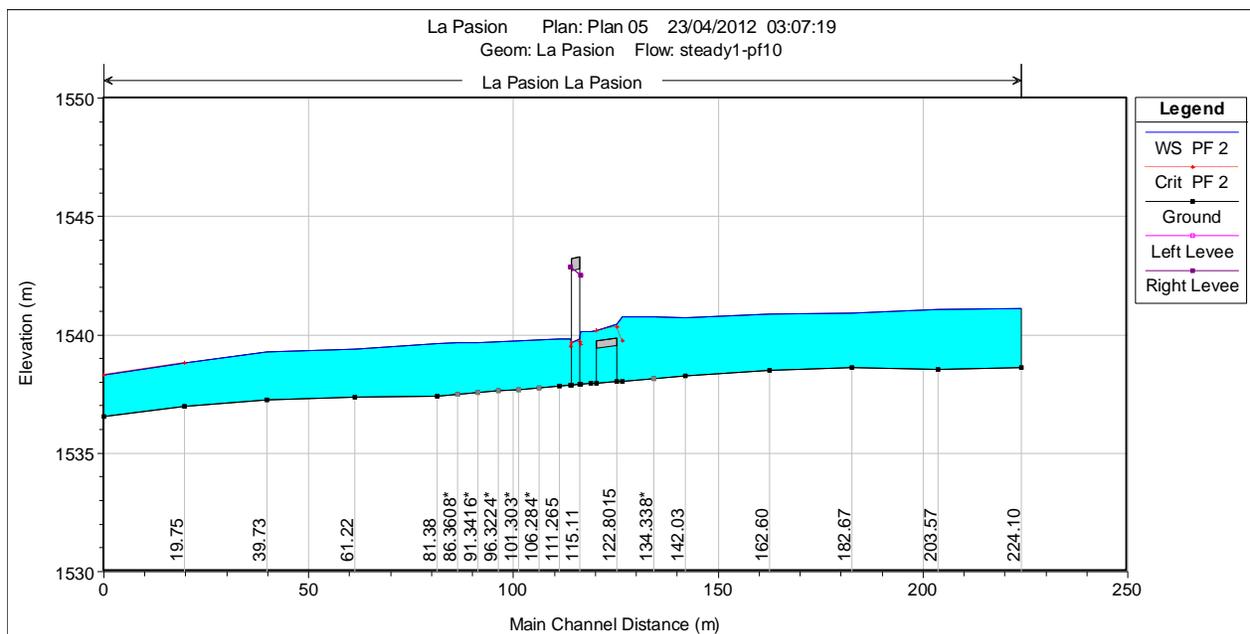


Figura 42 Perfil hidráulico para un gasto de 86.64 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 5 años

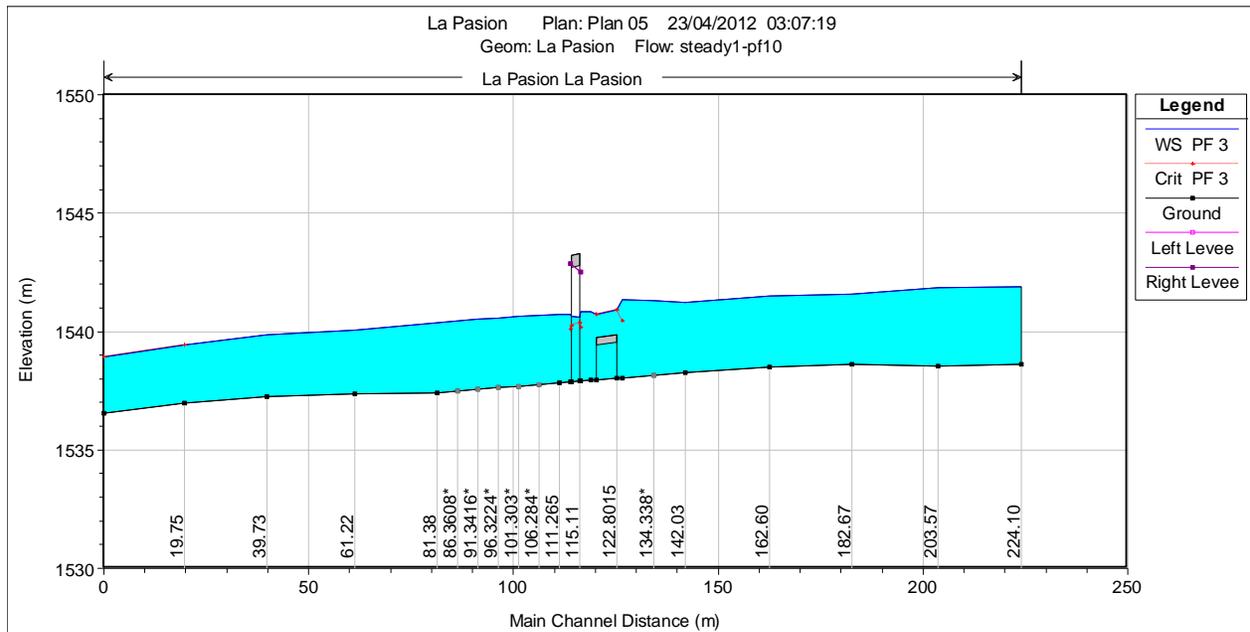


Figura 43 Perfil hidráulico para un gasto de 149.67 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 10 años

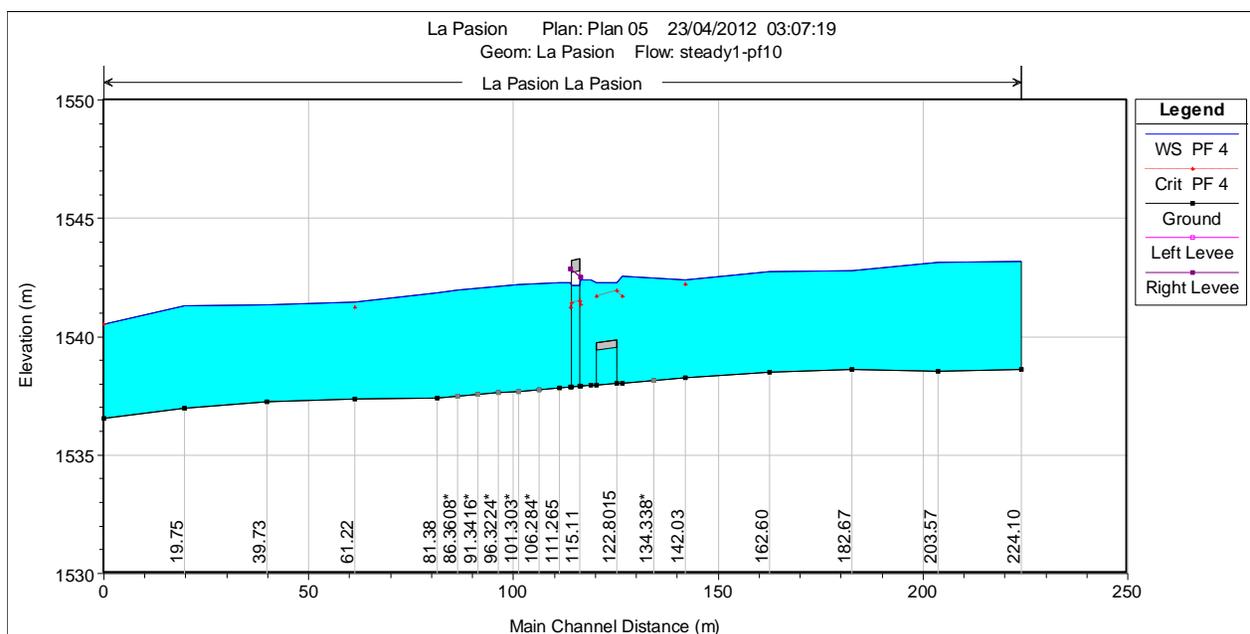


Figura 44 Perfil hidráulico para un gasto de 374.11 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 20 años

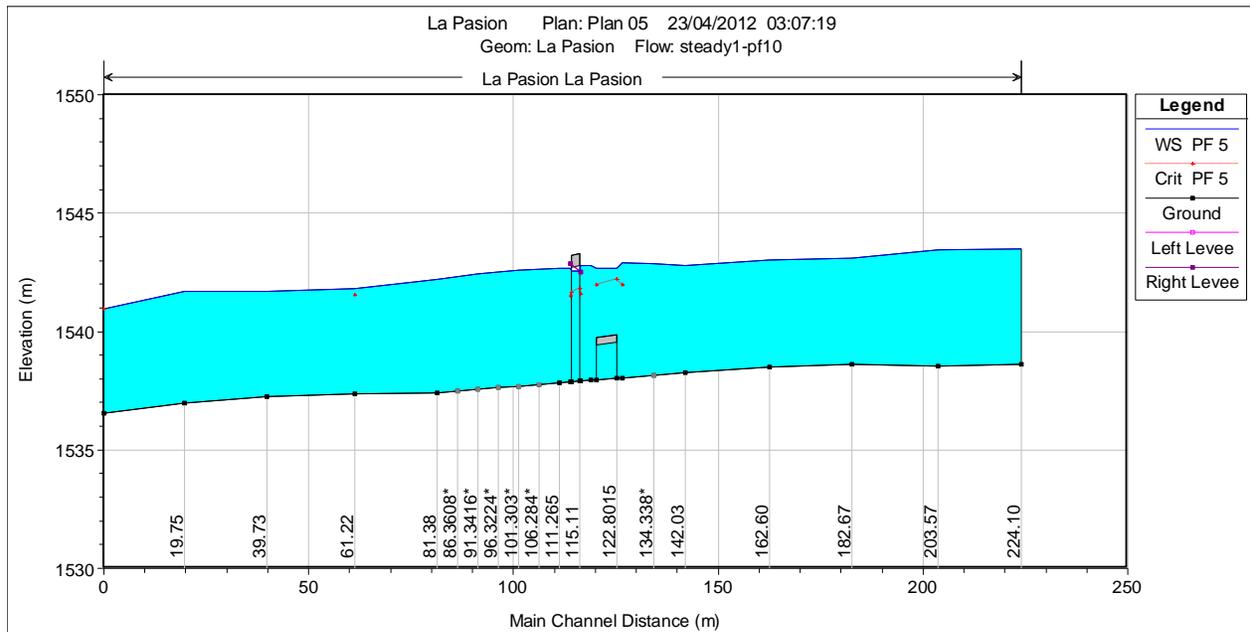


Figura 45 Perfil hidráulico para un gasto de 445.35 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 50 años

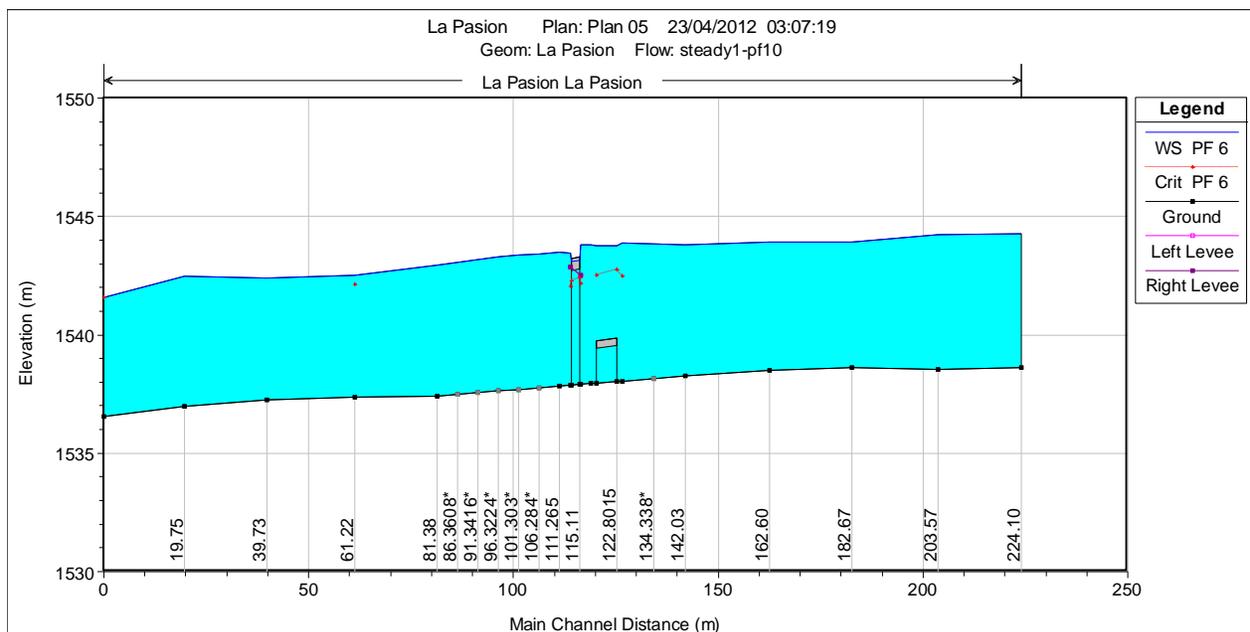


Figura 46 Perfil hidráulico para un gasto de 604.69 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 100 años

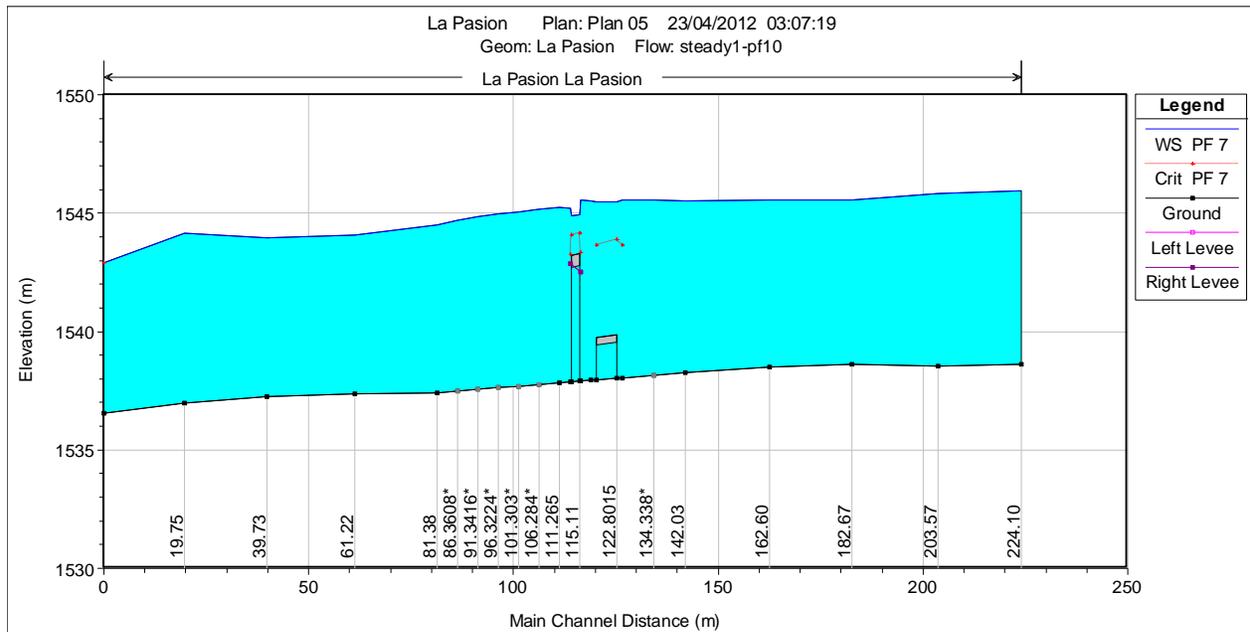


Figura 47 Perfil hidráulico para un gasto de 995.73 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 500 años

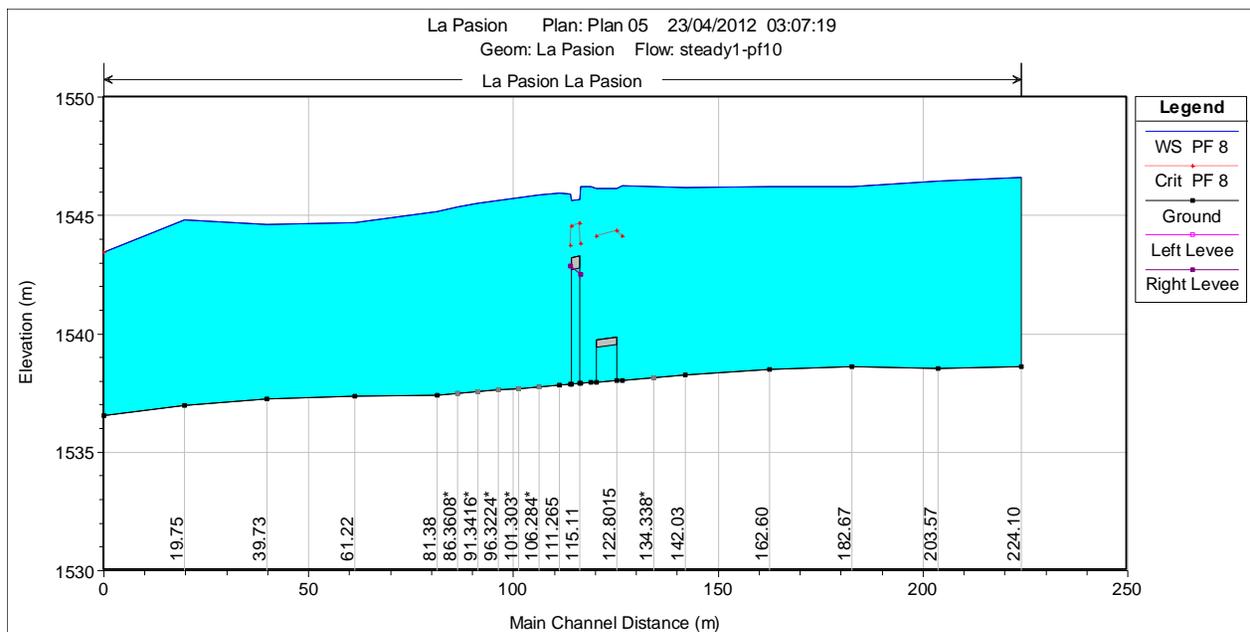


Figura 48 Perfil hidráulico para un gasto de 1170.96 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 1000 años

7 CURVA ELEVACIÓN GASTOS SECCIÓN DEL PUENTE

Como se mencionó anteriormente se determinaron dos curvas elevación gastos de la sección anterior al puente, cadenamamiento 126.xx.

A continuación se presenta la primer curva con rango de validez de 0 a 40 m³/s, esta consideración se basa que la sección del puente se comporta como alcantarilla hasta antes de que el gasto pase de orden de 40 m³/s.

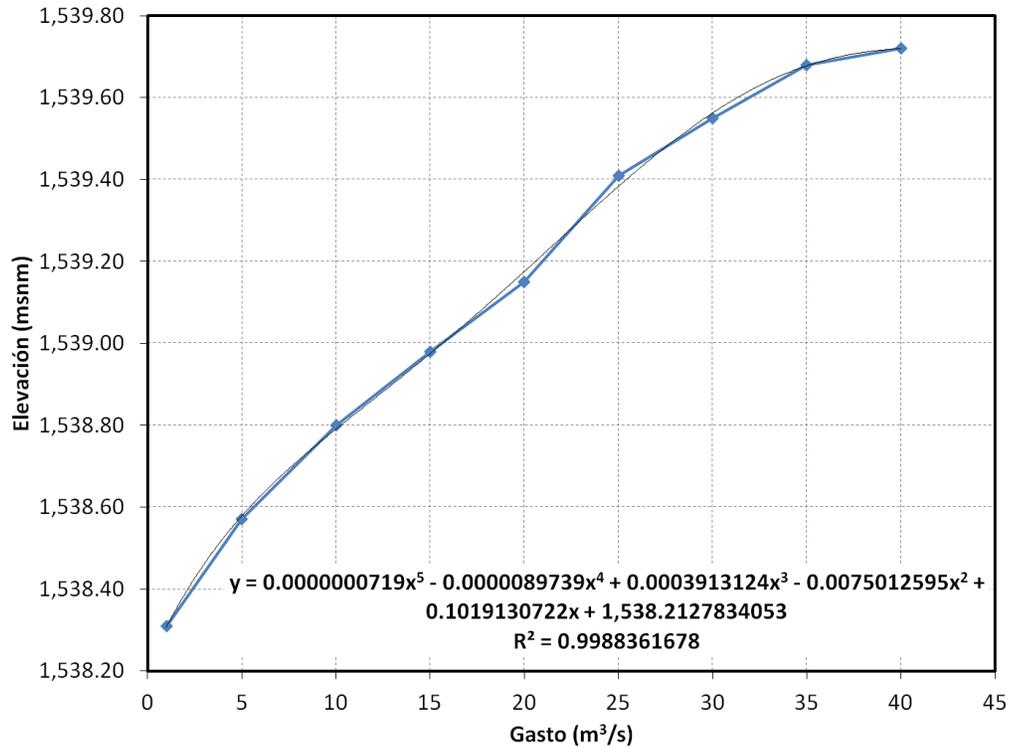


Figura 49 Curva elevación gastos considerando un umbral de operación menor a 40 m³/s

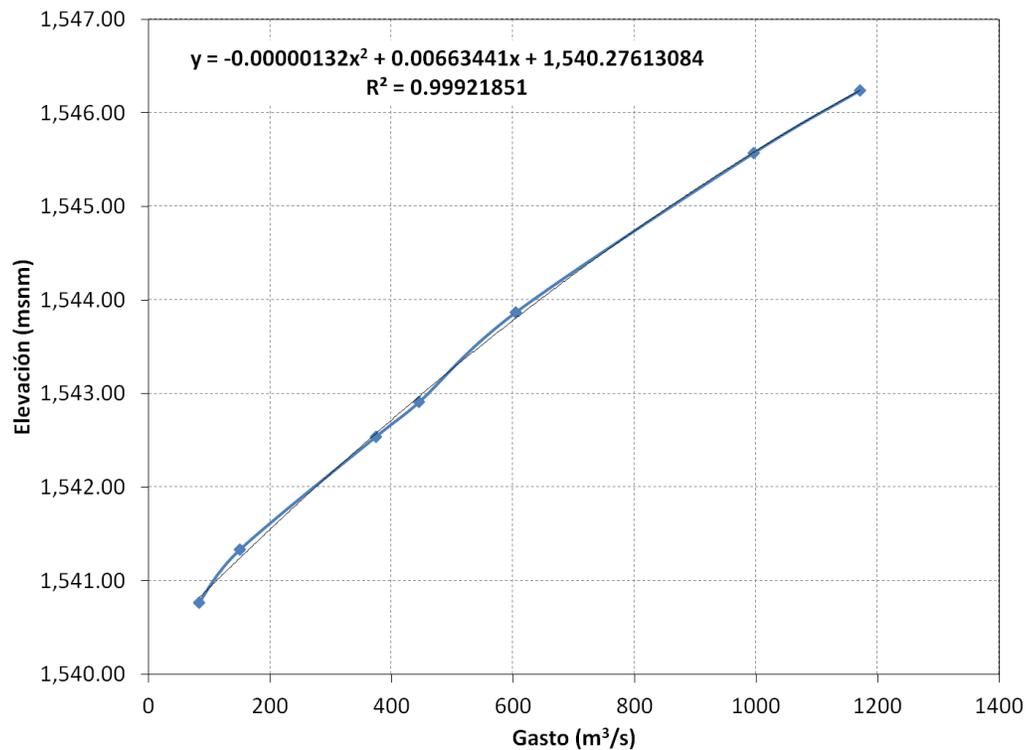


Figura 50 Curva de elevaciones – gasto para gastos mayores a 80 m³/s

A continuación se presentan las ecuaciones que relacionan la elevación de la superficie del agua y el gasto

$$h = 0.0000000719 \times Q^5 - 0.0000089739 \times Q^4 + 0.0003913124 \times Q^3 - 0.0075012595 \times Q^2 + 0.1019130722 \times Q + 1,538.2127834053$$

Para $0 < Q < 40$

$$h = -0.00000132 \times Q^2 + 0.00663441 \times Q + 1,540.27613084$$

Para $80 < Q < 1\ 170$

El río de la Pasión presenta condiciones geométricas complicadas, en la zona de los puentes, las grandes pilas generan un remanso considerable y en otros lugares del río las condiciones de la cubeta o cauce no son las óptimas para la instalación de una estación hidrométrica.

La medición de niveles en el río permitirá ajustar el coeficiente de rugosidad del modelo numérico y por consecuencia obtener el ajuste de la curva elevación-gastos de la estación hidrométrica en Tizapán el Alto.



**Estudio hidráulico de un tramo del arroyo La Pasión,
Tizapán, Jalisco.**

