



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO**

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

**“PELIGRO POR INUNDACIÓN EN LA ZONA HABITACIONAL
GEOVILLAS EL NEVADO EN SAN FRANCISCO
TLALCILALCALPAN, ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

VERÓNICA LETICIA SÁMANO CORRALES

ASESOR:

DR. LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

REVISORES:

MTRA. DOLORES MAGAÑA LONA

DR. YERED GYBRAM CANCHOLA PANTOJA

Toluca, México; Junio 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres. Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este y muchos más. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final me motivaron constantemente para alcanzar mis metas y todos mis triunfos que, aunque algunas veces hubo duras caídas, nunca dudaron de en qué volverá a levantarme.

*A la **Universidad Autónoma del Estado de México** que, en coordinación con la **Facultad de Geografía**, por haberme permitido formarme en ella durante este tiempo, gracias a todas los maestros y personas que fueron participes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad*

*A mi asesor y revisores En primer lugar, quiero brindarle mi sincero agradecimiento a mi asesor al **Dr. Luis Miguel Espinosa Rodríguez** por su esfuerzo, exigencias y dedicación en todo este largo camino para culminar este proyecto, llevándome una gran satisfacción por lo aprendido.*

*A la **Mtra. Dolores Magaña Lona** y al **Dr. Yered Gybram Canchola Pantoja** por sus valiosas aportaciones, en tiempo dedicado, persistencia y paciencia, que ante cualquier circunstancia hubo tiempo para completar esta fase que hoy culmina.*

“Gracias” por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado el culminar este proyecto tan importante.

DEDICATORIAS

*A **Dios** por ser el guía en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar con mis logros.*

*A **mis padres** quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento, especialmente a mi **madre** quien me ha enseñado que no importan los obstáculos que aparezcan en el camino, siempre hay que luchar por salir adelante, “es mi mayor admiración” ya que siempre ha sabido enseñarme con sus acciones a salir adelante sin importar lo mal que vallan las cosas.*

*A **mis hermanos**, Vanesa y Guillermo por todo el apoyo brindado durante este recorrido quienes siempre estuvieron apoyándome en todo en quienes siempre he encontrado un respaldo incondicional, en los momentos más difíciles, quienes les deseo el mejor de los éxitos en sus estudios.*

RESUMEN

Con el paso del tiempo, las inundaciones se han convertido en un tema de análisis para muchos, debido a los daños sociales y económicos que produce. Es común encontrar asentamientos irregulares en muchas zonas de riesgo de diferentes tipos, ya sea por establecimiento de viviendas en zonas de laderas, a un costado de los cauces de los ríos o en zonas con pendientes pronunciadas, entre otras, que en muchas ocasiones son la única alternativa para la construcción de muchos habitantes.

En este trabajo considero primordial el análisis de la incidencia a inundaciones en una zona habitacional, mediante la caracterización física, determinación de las características morfométricas con las que se identificaron aspectos relevantes del curso de la precipitación lo largo de la misma, también se calcularon las lluvias máximas en 24 horas con ayuda de 8 estaciones meteorológicas aledañas, de las cuales se obtuvieron los datos de precipitación y temperatura importantes para el desarrollo de este proceso, con las que al final se determinaron las curvas de Precipitación Duración Periodo de Retorno que nos revelan un aproximado en la cantidad de agua que puede precipitar, durante un periodo de tiempo en la microcuenca.

Palabras Clave: Vulnerabilidad, Riesgo, Inundación, Precipitación.

ABSTRACT

Over time, flooding has become a subject of analysis for many, due to the social and economic damages it produces. It is very common to find irregular settlements in many risk areas of diverse types, either by establishing homes in hillside areas, along riverside banks or in areas with steep slopes, among others, which are often. The only alternative for the construction of many inhabitants.

In this work the main objective is the analysis of the incidence to floods in a residential area, the physical characterization was carried out, the morphometric characteristics were determined with which relevant aspects of the precipitation course were identified throughout it, Calculated the maximum rains in 24 hours with the help of 8 nearby meteorological stations, from which the precipitation and temperature data important for the development of this process were obtained, with which the precipitation curves were determined. Reveal an approximate amount of water that can precipitate over a period of time in the basin.

Key words: Vulnerability, Risk, Flood, precipitation.

Índice

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1. METODOLOGÍA.....	14
1.1 Procedimiento para análisis de inundaciones en la zona habitacional Geovillas el Nevado... 17	
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....	18
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	28
3.1 Inundación.....	28
3.2 Sistema de drenaje.....	32
3.3 Infiltración.....	35
3.4 Teoría general de sistema.....	37
3.5 Vulnerabilidad y riesgo	39
3.6 Clima y sus variaciones.....	43
3.7 Grupo de climas de Köppen	49
3.8 Ciclo del agua.....	54
CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA.....	58
4.1 Geología	61
4.2 Clima	62
4.3 Edafología	69
4.4 Hidrología	72
4.5 Uso de suelo y vegetación.....	76
CAPÍTULO 5. GEOSISTEMA PERTURBADOR.....	79
5.1 Características morfométricas de la cuenca	80
5.2 Morfometría hidrográfica o del cauce principal.....	86
5.3 Recopilación de información	92
5.4 Método estadístico de estimación de la precipitación máxima probable	97
5.5 Metodología de David M. Hershfield.....	98
5.6 Calculo de precipitaciones máximas en 24 horas.....	105
5.7 Curvas Precipitación – Duración – Periodo de Retorno a partir de Registros de Lluvia Máxima Diária.	111
ANÁLISIS DE RESULTADOS	114
CONCLUSIONES	129

Índice de Imágenes

Imagen 3.1	Patrones de drenaje originados por ríos erosionables	33
Imagen 3.2	Patrones de drenaje originados por ríos deposicionales.....	34
Imagen 3.3	Factores de riesgo de desastre.....	42
Imagen 3.4	Movimiento de rotación y traslación de la Tierra.....	45
Imagen 3.5	Posición de la Tierra durante solsticios y equinoccios.....	46
Imagen 3.6	Influencia de la latitud.....	51
Imagen 3.7	Ciclo del Agua.....	55
Imagen 4.1	Localización de la zona de estudio.....	60
Imagen 4.2	Oscilación de la temperatura durante el periodo 1958-2000.....	63
Imagen 4.3	Precipitación promedio mensual durante el periodo 1958-2000.....	65
Imagen 4.4	Variación de las temperaturas Máximas, Mínimas durante el año 2011.....	67
Imagen 4.5	Perfil de suelo.....	70
Imagen 4.6	Hidrología	75
Imagen 4.7	Uso de Suelo y Vegetación	77
Imagen 4.8	Vegetación endémica.....	78
Imagen 5.1	Área.....	81
Imagen 5.2	Perímetro.....	82
Imagen 5.3	Factor forma.....	83
Imagen 5.4	Altura media de la cuenca.....	85
Imagen 5.5	Pendiente media del cauce principal.....	87
Imagen 5.6	Forma ideal de una cuenca.....	88
Imagen 5.7	Curva Hipsométrica.....	89
Imagen 5.8	Cauce principal y sus afluentes.....	92
Imagen 5.9	Gráfica de correlación ejemplo, estación Agua Bendita	96
Imagen 5.10	Km En función de la duración de la lluvia y de su valor medio anual.....	99
Imagen 5.11	Ajuste de lluvia media anual por lluvia máxima observada.....	100
Imagen 5.12	Ajuste a la media y desviación típica de la serie anual de lluvias máximas...	101
Imagen 5.13	Ajuste por intervalo fijo de observación.....	102
Imagen 5.14	Ajuste de PMP máxima probable puntual por magnitud de cuenca.....	103
Imagen 5.15	Ajuste de lluvia puntual por área.....	110
Imagen 5.16	Factor de reducción areal	110
Imagen 5.17	Curva P-D-PTr ejemplo estación San Francisco	113

Índice de Tablas

Tabla 3.1	Factores que influyen en la variabilidad de climas.....	47
Tabla 3.2	Temperatura y Precipitación.....	50
Tabla 3.3	Escala Universal Termal.....	50
Tabla 3.4	Influencia de la latitud sobre el clima.....	52
Tabla 3.5	Influencia de la altitud sobre el clima.....	53
Tabla 3.6	Influencia de la vegetación en el clima.....	54
Tabla 4.1	Escala de acidez del suelo	71
Tabla 4.2	Condiciones de PH y requerimiento de agua	76
Tabla 5.1	Pendiente y tipo de Terreno	90
Tabla 5.2	Estaciones meteorológicas.....	93
Tabla 5.3	Tabla de correlación. Ejemplo estación San Francisco	95
Tabla 5.4	Tabla de excedentes anuales (ejemplo)	107
Tabla 5.5	Tabla de corrección (Ptr*1.13)	109
Tabla 5.6	Corrección Periodo de retorno.....	111
Tabla 5.7	Periodos de retorno (ejemplo)	112
Tabla 5.8	PMP de las variables máxima, media y mínima	113

Imágenes y Tablas de Conclusiones

Imagen 1	Perfil aéreo de la zona.....	114
Imagen 2	Perfil de terrazas y llanura de inundación	115
Imagen 3	Infiltración y encharcamientos	116
Imagen 4	Afectación a centro educativo	117
Imagen 5	Afectación en calles por encharcamientos	117
Imagen 6	Vulnerabilidad estructural	117
Imagen 7	Abandono de viviendas	117
Imagen 8	Medidas estructurales	118
Imagen 9	División de zonas en la microcuenca	119
Imagen 10	Temperatura Mínima histórica	124
Imagen 11	Temperatura Máxima histórica	125
Imagen 12	Precipitación diaria histórica	127
Imagen 13	Precipitación Máxima Probable	128
Tabla 1	División de zonas en la microcuenca	118
Tabla 2	Precipitación Máxima Probable	120
Tabla 3	Precipitación Media Probable	121
Tabla 4	Precipitación Mínima Probable	122

INTRODUCCIÓN

En México como en cualquier parte del mundo, los procesos naturales ponen en riesgo a la población, en gran medida por el acelerado crecimiento demográfico y el asentamiento de viviendas en zonas no aptas para su ocupación.

Durante los últimos 60 años en México la población ha crecido cinco veces, según el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (s/f); en 1950 había 25.8 millones de habitantes, para el 2010 se reportó 112.3 millones, según el Censo de Población y Vivienda 2010, realizado por el mismo, lo anterior pone al país dentro de las 11 naciones más pobladas del mundo, que a su vez cuenta con estados de la República Mexicana con mayor densidad población entre los cuales se encuentra el Estado de México con 15,175, 862 de habitantes seguido del Distrito Federal con 8,851,080 y Veracruz con 7,643,194 habitantes.

Los datos recopilados del Censo de Población y Vivienda para la localidad San Francisco Tlalcilcalpan localizada en el Estado de México y es objeto de estudio de esta investigación, contaba con un total de 9,936 habitantes; diez años más tarde se registró un aumento a 16,509 habitantes según la fuente oficial mexicana, este aumento es derivado a su vez del establecimiento de una zona habitacional llamada “Geovillas el Nevado” que proporciona hogar a personas originarias de diferentes partes del municipio, y migrantes del Estado y otras partes del país.

Como se mencionó anteriormente este aumento en la población en la localidad se debe, a que en la actualidad se está estableciendo otra zona habitacional a un costado de nuestra zona de estudio denominada Lomas de San Francisco, la cual sigue recibiendo a más gente proveniente de muchas partes del territorio estatal e incluso nacional, esto genera el ascenso de población más notorio en tan pocos años.

El aumento de la tasa de población y la presión antrópica genera el consecuente crecimiento de la mancha urbana, acompañado con cambios estructurales en paisaje observados a través de cambios de uso de suelo que a su vez generan erosión del relieve, deforestación, disminución de la cobertura vegetal; el cambio en la respuesta hídrica pluvial-fluvial y la

generación de inundaciones; todo ello en conjunto representa un rompimiento del equilibrio y estabilidad del sistema natural y la pérdida de hemerobia.

De manera particular en la zona referida las obras de infraestructura se caracterizan por la delimitación urbana del conjunto que de manera intencional interrumpe el flujo de drenaje de una microcuenca que proviene desde un sistema fluvial generado en el piedemonte nororiental del volcán Nevado de Toluca; por otra parte, en las instalaciones del fraccionamiento se han construido casas habitación de interés social dentro de los márgenes de los ríos que cruzan el nuevo sector urbanizado así como, sobre un territorio que cumplía la función de acumulación de agua a través de una represa.

La obstrucción del flujo de agua al exterior del conjunto habitacional y la localización de infraestructura en áreas inundables -por las condiciones topográficas- al interior de éste, propician inundaciones desde el año 2011, incrementándose la superficie y periodo de afectación de éstas en el año 2013 y 2014, periodo en el cual se completa la segunda etapa de construcción. En tiempo actual las inundaciones representan un proceso común en la zona de estudio observándose consecuencias de orden natural, social y económico aún y a pesar de las medidas estructurales construidas para controlar el flujo y acumulación de agua generados por escurrimientos torrenciales.

Planteamiento del problema

Mencionado previamente las inundaciones son un problema que afecta de manera directa ya sea de tipo económica o social a diversas porciones de la población, en especial aquellas que se encuentran más vulnerables a sufrir daños, debido a que se sitúan cerca de cuerpos de agua, ríos o zonas que funcionaban como espacios de captación de agua, este sector de la población se encuentra en peligro permanente, pero las consecuencias reales aparecen en el momento se desencadena el proceso (*Saavedra, 2001*).

Es por eso que en esta investigación se plantea el estudio de los factores que intervienen en el proceso de acumulación de agua, en el área perteneciente a la zona habitacional Geovillas el Nevado que, debido a las características de ubicación, características físico geográficas y a sus antecedentes incrementan las posibilidades de ocurrencia de inundación.

Para realizar el estudio referido, se consideran las variables de influencia para que se genere la captación de flujos de agua por precipitación y escorrentía, de las cuales, se valorará el peso que posee cada una de ellas en la zona de estudio como los son el tipo de suelo, convergencia de afluentes y vegetación entre otras.

Para conocer las posibilidades de ocurrencia de inundación, se recurrirá al análisis hidrológico de la microcuenca, en donde se trabajará con aspectos tales como: longitud de la microcuenca, la curva hipsométrica que permitirá conocer las características morfológicas y la dinámica hidrológica dentro de la microcuenca como el periodo de retorno entre otros aspectos.

La integración de variables y la lectura de éstas se realizará bajo los principios teóricos establecidos en la Teoría General de Sistema y para correlacionar los factores de inundación versus los de tipo hidrológico se plantea el uso de los conceptos de la Ecuación general de riesgo propuesta por Espinosa y Hernández (2015).

Justificación

Resulta importante hacer esta investigación, debido a que aportará elementos que ayude a las autoridades a concienciar al sector de población afectada, y a los gobiernos y dependencias corresponsables como Protección civil, INEGI y CONABIO entre otras, para la aplicación de planes y estrategias de prevención, que disminuyan los impactos de las crecidas, de acuerdo a las necesidades del sector de la población afectada.

Con el estudio de caso, se darán las bases que podrán sustentar propuestas y estrategias de reubicación o creación de infraestructura de retención de aguas, que confluyen de manera natural en la zona, y que generan daños microcuenca abajo; así como obras específicas que garanticen la seguridad de los residentes del área.

- Aplicación futura de la investigación

Como ya se mencionó, la población que habita en esta zona está expuesta a peligro latente debido, a que geográficamente está ubicada en la zona de desemboque, donde se observa la

confluencia de aguas provenientes microcuenca arriba por lo que es necesario que la población esté consiente y preparada para enfrentar inundaciones futuras.

Por ello es de importancia mantener informada a la población y en primera estancia al sector afectado, para que sepa cuáles son los periodos en que se presentan las precipitaciones, las medidas preventivas que deben de tomar antes, después y durante el proceso y el grado de exposición al que están sometidos.

Para que lo anterior se lleve a cabo es importante el apoyo de los Gobiernos y dependencias correspondientes para que en conjunto puedan tomarse las medidas adecuadas que ayuden a mitigar los daños causados por las inundaciones.

Que los gobiernos y dependencias, de acuerdo con la descripción y características de la zona puedan proponer o gestionar la creación de un sistema de alerta temprana que sirva como instrumento de estrategias a través de avisos oportunos que anticipen la presencia y con mayor importancia la ocurrencia de un peligro o amenaza para prevenir consecuencias graves en la población expuesta.

- Perspectiva geográfica

Para la generación del análisis es necesario identificar las variables condicionantes con mayor influencia en el desarrollo del proceso dentro de nuestra área de estudio, que proporcionen información sobre el origen y desarrollo del mismo, entre las que destacan: morfología, suelo, cobertura vegetal, hidrología, entre otras.

Para poder realizar y entender lo citado en el punto anterior es de importancia conocer las características físico-geográficas en las que se desenvuelve el proceso, dentro del área de estudio, por medio de la caracterización de las variables que condicionan el origen del mismo, con el fin de conocer su ubicación, desarrollo y dinámica a lo largo de la microcuenca, que dan pauta a la interrelación de factores.

De la misma forma es importante mencionar que la forma de distribución espacial en el medio físico, implica la existencia de distintos grupos expuestos a diversos riesgos ambientales

provocados muchas veces por los mismos, derivado del desarrollo y urbanización en zonas no aptas.

La ocurrencia a este tipo de procesos depende de la cantidad de agua precipitada durante un periodo de tiempo, también dependen de las condiciones físicas del terreno, de los suelos y la cantidad de afluentes que aportan agua a la zona, de esta forma las inundaciones pueden presentarse de manera lenta o espontánea que causan daños a la población. Las características de la dinámica de los procesos descritos se relacionan con los periodos de retorno ante este proceso; es por ello que esta investigación podrá aportar elementos de juicio para valorar los alcances que pueden tener las inundaciones en el futuro, y así puedan generarse estrategias acordes con el medio ambiente y las necesidades de la población.

Es importante recalcar que el objetivo principal es el estudio de los factores que intervienen en el proceso de acumulación de agua en la zona habitacional Geovillas el Nevado, San Francisco Tlalcalilcalpan, Estado de México, así como también los objetivos particulares son:

- 1) Caracterización física de la zona de estudio.
- 2) Determinar características y criterios particulares del área de estudio, por medio de métodos estadísticos de estimación de precipitación, para generar un análisis y relación de las variables que conforman el geosistema perturbador que provocan inundaciones.
- 3) Evaluar la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en la zona, por medio de análisis de periodos de retorno durante un periodo máximo de 50 años.

CAPÍTULO

METODOLOGÍA

1

“Nunca consideres el estudio como una obligación, si no como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein.

CAPÍTULO 1. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos de la investigación en primer lugar se realizará la localización del área de estudio así como la identificación de los procesos que en ésta se desarrollan; para la generación de este análisis es indispensable hacer la identificación de la cuenca hidrográfica donde se localiza el área de afectación, para así deliberar si es conveniente trabajar a nivel cuenca o en definitiva establecer los límites de nuestra subcuenca o microcuenca, sobre la cual se basará el trabajo.

Derivado de lo anterior es pertinente reconocer aquellas características físico geográficas más importantes de nuestra área de estudio, que permitirán identificar y describir cuáles fueron las causas que propiciaron el desarrollo de este proceso, entre los que destacan, localización, suelos, hidrología, clima, uso de suelo, entre otras.

Para generar lo estipulado, es necesario usar herramientas bibliográficas que servirán de soporte para entender la evolución y desarrollo de los procesos que intervienen en las inundaciones, de la misma forma proporcionan las bases necesarias para generar el análisis, y herramientas cartográficas como son cartas escala 1:50,000 de uso de suelo, topográficas, vegetación, las cuales permitan conocer y determinar el área de estudio, uso de plataformas en línea (*Google Earth*) y la plataforma cartográfica como ArcMap para realizar la

delimitación, caracterización y demás procesos que nos permitirán analizar el espacio geográfico desde otra perspectiva.

En segundo lugar, con la generación de este proceso se darán a conocer las cualidades con las que cuentan cada una de estas características, en la microcuenca, para conocer su desarrollo a lo largo de la misma, y destacar cuales de estas son las más importantes o las que influyen en mayor medida en el desarrollo de este proceso.

En tercer lugar, se realizará el análisis de las variables que conforman el geosistema perturbador que provoca inundaciones, en el que se plantean el estudio de aquellos factores que intervienen en este proceso, es indispensable conocer las características de ubicación, características físico geográficas y a sus antecedentes, que nos dan pauta a las posibilidades de ocurrencia de inundación en la zona.

Para la elección de las variables suelo, convergencia de afluentes, vegetación, hidrología, precipitación y tipo de suelo, se consideran las de mayor influencia, aquellas que, de acuerdo a sus características, generen la mayor captación de flujos de agua microcuenca abajo.

Con el apoyo de la caracterización de la zona se tomarán en cuenta aquellas características físico geográficas que contribuyen en mayor medida a el desarrollo del proceso, de la misma forma se toman en cuenta características de ubicación como pendiente del terreno y llanuras aluviales las cuales favorecen e incrementan la incidencia al proceso, así como la descripción y caracterización de cada una de ellas.

Con la finalidad de conocer la interrelación de variables que inciden y trabajan en conjunto para el desarrollo del proceso, el objetivo primordial es, proporcionar una explicación clara del cómo y porque se desarrolla este proceso, cuales fueron aquellas características y factores que aumentan la posibilidad de ocurrencia de inundaciones.

En cuarto lugar, se realizará la evaluación de la posibilidad de ocurrencia de inundaciones en la zona, por medio de análisis de periodos de retorno. Para ello se empleará información concerniente a la precipitación máxima en 24 horas producida durante el periodo de tiempo 1980-2009, para identificar en qué meses se suelen producir las precipitaciones máximas. Con ayuda del método estadístico propuesto por David M. Hershfield (1960), el cual es

aplicado para nuestro país, debido a que solo existen registros de lluvias máximas diarias, el cual permitirá conocer la PMP (Precipitación máxima probable) en un día. De la misma forma también se realizaron cálculos para conocer el Coeficiente de escurrimiento utilizado por la Dirección general de obras hidráulicas para el desarrollo rural (S.A.R.H, 1975). El estudio se complementará con el análisis de las precipitaciones máximas probables y sus períodos de retorno.

- a. Identificación de la microcuenca de estudio y obtención de las características significativas de las mismas. Para la generación de este proceso se necesitarán calcular los datos de caudal de escorrentía directa, intensidad de lluvia, tiempo de duración de la lluvia y área de drenaje.
- b. Selección de la estación (es) meteorológica (s) de referencia para la obtención de los datos de precipitaciones máximas diarias en 24 horas de cada año,
- c. Obtención de la precipitación máxima correspondiente a distintos períodos de retorno según el método de Gumbel, por medio del cálculo de los datos como son: media de la serie dada de valores máximos, desviación respecto a la media, desviación estándar y desviación típica de los valores extremos.

Por último, de acuerdo a la información y datos arrojados del análisis de periodos de retorno, valorar la posibilidad de incidencia, cómo y en cuanto tiempo se presentará y abarcar todas las posibilidades de magnitud y alcance. Identificar cuáles son las zonas y el sector de la población más vulnerables y de acuerdo a sus características, sería encaminar las estrategias al sector de la población vulnerable, lo idóneo para que los gobiernos y dependencias correspondientes en conjunto propongan estrategias de alerta temprana para alertar a la población con tiempo anticipado de reacción, en caso de que se desencadene este proceso y pueda causar daños personales y materiales.

1.1 Procedimiento para análisis de inundaciones en la zona habitacional Geovillas el Nevado.

<p>Localización y delimitación de la zona de estudio</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la cuenca hidrográfica por medio de la localización del área de afectación, y establecer los límites de la microcuenca, sobre la cual se basará el trabajo.
<p>Identificación de características físico – geográficas</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Identificar y describir las causas que propiciaron el desarrollo de este proceso (localización, suelos, hidrología, clima, uso de suelo) • Conocer las cualidades con las que cuentan cada una de estas características, de manera local y a nivel microcuenca, para conocer su desarrollo a lo largo de la misma, y poner mayor énfasis en las que influyen mayor medida en el desarrollo de este proceso.
<p>Análisis de variables del geosistema perturbador</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Analizar aquellos factores que intervienen en el proceso, para conocer las características de ubicación y físico geográficas, así como sus antecedentes, que nos dan pauta a las posibilidades de ocurrencia de inundación en la zona. • Por medio de la interrelación de variables que inciden y trabajan en conjunto para el desarrollo del proceso, proporcionar una explicación del cómo y porque se desarrolla este proceso, cuales fueron aquellas características y factores que aumentan la posibilidad de ocurrencia del proceso.
<p>Evaluación de la posibilidad de ocurrencia</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Se empleará información de la precipitación máxima en 24 horas producida entre los años 1980-2009. • Con ayuda del método estadístico propuesto por David M. Hershfield en 1960, el cual es aplicado para nuestro país, nos permitirá conocer la PMP (Precipitación máxima probable) en un día. • Cálculo para la generación de curvas de Precipitación Duración (P-D-PTr) periodo de Retorno por medio del método propuesto por Gumbel.
<p>Análisis de resultados</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Valorar la posibilidad de incidencia, cómo y en cuanto tiempo se presentará y abarcar todas las posibilidades de magnitud y alcance.

CAPÍTULO

MARCO DE REFERENCIA

2

*Cuida tus pensamientos porque se volverán actos,
Cuida tus actos porque se volverán costumbres,
Cuida tus costumbres porque se volverán tu
carácter,
Cuida tu carácter porque se volverán tu destino,
Y tu destino será tu vida.*

Gandhi

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

Para la elaboración de este análisis es importante conocer aquellos trabajos e investigaciones con los que se relaciona este estudio, los cuales van a servir de referencia para reconocer aquellas características en las que se han desarrollado y en lo que han culminado estos trabajos, identificar aquellas similitudes que se tiene con el área de estudio de este análisis y conocer sobre el empleo de metodologías empleadas en cada caso y conocer cuáles han sido las mejores alternativas tomadas por los autores para aminorar los impactos que ocasiona este proceso en la sociedad.

Trabajos con problema de investigación similar

En Vásquez *et al.* (2000) Generaron un estudio enfocado en los procesos recurrentes de inundación en la ciudad de Tapachula, Chiapas México, por medio de la caracterización, procesamiento de datos y análisis de características físicas, que dieron como resultados que las condiciones físico-geográficas (hipsometría, clima, relieve, suelos) favorecen al desarrollo del proceso de inundación en la ciudad de Tapachula.

En Garnica *et al.* (2004) generaron un estudio de Riesgo por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz, por medio de la caracterización física, búsqueda de antecedentes de inundación, realizaron el cálculo de gastos máximos y delimitación de zonas vulnerables, que dieron como resultado mapas de susceptibilidad a inundación y el análisis de la vulnerabilidad por AGEB. Flores (*et al.*) elaboraron una propuesta para la evaluación de riesgos por inundaciones urbanas en Xalapa (México), por medio de caracterización de la zona, revisión de datos periodísticos y evaluación por colonia, obteniendo la evaluación del riesgo social económico.

En Aguirre *et al.* (2006) realizan un estudio en el que examina la distribución de las alertas y de los servicios hacia los damnificados de las inundaciones de 1999 en Veracruz, México, aplicando una metodología mixta, la cual incluye conocimientos geográficos e históricos; trabajo de campo con entrevistas y encuestas a los damnificados, con el fin de proponer estrategias de evacuación, evacuación vertical y albergues para la asistencia de las víctimas.

En Barbabosa *et al.* (2008) realizaron una evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loiza Puerto Rico, por medio de la caracterización físico geográfica de la zona, se generó el procesamiento de información de tipo alfanumérica, se realizó análisis estadístico dio como resultado la generación de mapa de inclinación de pendientes, mapa de inundaciones y el de vulnerabilidad.

En Montoya *et al.* (2008) realizaron una investigación de Vulnerabilidad y riesgo por inundación en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, utilizando un modelo digital de elevación y aplicando encuestas, dando como resultado la simulación de varios de los escenarios que suelen presentarse en un periodo de lluvia normal en función de conocer cuáles son las áreas urbanas con mayor grado de vulnerabilidad y riesgo.

En Morales *et al.* (2009) realizaron un diagnóstico del riesgo de inundación en la cuenca del Yaque del Norte a través de la caracterización, análisis de peligrosidad, análisis de exposición y análisis de vulnerabilidad; como resultado un mapa de riesgo de inundación, uno de mitigación y un último que representa las zonas de mayor riesgo.

En Lemus *et al.* (2009) realizaron un análisis por amenaza de inundaciones en la parte media de la cuenca del río Guarenas (Venezuela), por su recurrencia y por la existencia de emplazamientos urbanos vulnerables en acelerado crecimiento y expansión, por medio de caracterización física y caracterización de lluvias medias mensuales, con lo que se identifican relieves de denudación asociados a montañas, colinas y lomas de piedemonte, la distribución de la precipitación media mensual y la obtención de la distribución del nivel de riesgo por inundación.

Para Gutiérrez *et al.* (2010) generaron un trabajo de evolución de períodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas. A través de la evaluación de los riesgos sobre los posibles desastres que ocasionan utilizando el Método de Función de Distribución de Gumbel, concluyendo que, en los diez periodos de retorno estudiados, se identificó que las áreas propensas a registrar un máximo de precipitación diaria extrema, se localizan en dos porciones del sur del estado de Tamaulipas.

En Sauri *et al.* (2010) elaboraron un estudio enfocado a la percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en Costa Brava, con el objetivo de indagar en la percepción y valoración social ante las inundaciones de la población residente, mediante la aplicación de encuestas que dieron como resultado, que la condición de haber sido afectado o no por un episodio de inundación determina la percepción que los residente y la valoración sobre las medidas de gestión a emprender para minimizar los daños.

En Vergara *et al.* (2011) en el trabajo “Conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental”, en el que realizo la identificación de las cuencas hidrográficas de las zonas de estudio, se enfocó en el análisis geográfico de las superficies susceptibles a inundación en las partes bajas de las cuencas y en la evaluación de las condiciones socioeconómicas, las consecuencias directas de las inundaciones, dando como resultado la zonificación de áreas susceptibles y una evaluación de vulnerabilidad, condiciones socioeconómica y percepción del riesgo.

En Fernández *et al.* (2011) elaboraron un análisis de la gestión de riesgo de desastre por inundación en Santo Domingo de Heredia, donde se identificó el riesgo de inundación, se investigaron las medidas y acciones para reducir dicho riesgo y se analizó la respuesta ante

los más recientes eventos que han afectado el área de interés. El trabajo se basó en encuestas, análisis de fotografía aéreas y en los informes sobre las inundaciones más recientes, concluyendo que la solución al problema de inundación es la reubicación del barrio, desarrollar actividades forestales y evitar que la gente se reubique en esa zona.

En Vásquez *et al.* (2011) en su trabajo “Vulnerabilidad de los asentamientos en espacios no urbanizables en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México”, en el que emplea todas las bases teóricas para analizar la vulnerabilidad ante este proceso, generan caracterización de la zona, dando como resultado mapas de vulnerabilidad y crecimiento urbano, establecen que el riesgo es construido por los individuos que deciden asentarse en lugares no aptos para ser urbanizados, por presentar condiciones naturales poco favorables, tal es el caso de los lugares potencialmente inundables.

En Fuentes *et al.* (2012) en “Análisis de vulnerabilidad, peligro y riesgo en una zona de planicie de inundación al sur de México”, en el que realizaron la caracterización de la zona, mediante análisis de vulnerabilidad, análisis de inundaciones y análisis de riesgo, donde se propone una herramienta para la obtención de mapas de peligro y análisis de riesgo, se desarrolla la aplicación para el período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años a zonas inundables de centros urbanos con pendiente del terreno menores al 1% mediante el uso del nomograma que relaciona la velocidad con la profundidad.

En Ellis *et al.* (2012) realizaron una Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, con relación a distintos periodos de retorno, se integraron técnicas de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de gastos máximos, aplicando el método Ven Te Chow en cada microcuenca. Adicionalmente, se empleó el modelo hidráulico de cauces abiertos, para modelar la superficie inundada. Los resultados indican una superficie de inundación que varía entre 522 km² para periodos de retorno de dos años y hasta 554 km² para periodos de retorno de 100 años.

Escribano (2013) realiza un Análisis de riesgo de inundación en montilla del Palancar (cuenca, España), dividiendo la metodología en dos partes, la primera recopilación de información y en segunda el diagnóstico de la información generando mapa de peligrosidad, donde se analizan las zonas más propensas a presentar daños.

En Sedano *et al.* (2013) realizaron un análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia, mediante la revisión y síntesis de información sobre diferentes enfoques para el manejo de inundaciones, en armonía con la visión ecosistémica y de gestión integral de los recursos hídricos. Los resultados indican que las temporadas de lluvias y el fenómeno La Niña de abril de 2010 a diciembre de 2011 dejaron 5,2 millones de personas afectadas y 683 muertos

En Solís *et al.* (2014) en su trabajo Sistema para estimación de daños económicos por inundación en zonas, mediante el uso de la metodología propuesta por Baró (2011), dieron como resultado la definición de acciones de mitigación y respuesta, para la preparación, planificación a mediano y largo plazo en el manejo de emergencias, así como proponer políticas públicas al respecto.

En Mendoza *et al.* (2014) elaboraron un Análisis multicriterio de los factores físico-naturales de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), con la finalidad de definir el índice biofísico de exposición a los riesgos por inundación. Para la elaboración del trabajo se utilizó información institucional e información de campo, la cual fue procesada a través de los métodos estadísticos y multicriterio con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica y de percepción remota. Los resultados obtenidos mostraron que el índice de riesgo alto, con un valor de 52,41% comprende los municipios de Lerma, Toluca, San Mateo Atenco y Metepec y cubre una superficie de 1032,73 km²; el índice bajo cubre el 13,71% del territorio y una superficie 13,71 km²; por último, el riesgo biofísico medio abarca 687,20 km² o 33,88% del territorio metropolitano.

En Cortes *et al.* (2014) elaboran un análisis de inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010, en el que se realizó la caracterización física y revisión de inundaciones históricas, con el fin de generar una herramienta para apoyar el ordenamiento territorial.

En Sánchez *et al.* (2014) generaron una propuesta de un nuevo enfoque para evaluar la peligrosidad por inundaciones pluviales, en el que utilizó el método de Zonensein, Miguez, De Magalhães, & Valentin, (2008), generando el mapa de peligrosidad para calcular la peligrosidad o amenaza en zonas urbanas.

Trabajos de la zona de estudio

En la búsqueda de información sobre trabajos de investigación que antecederan al realizado, solo encontró el Atlas de Riesgo Municipal de Almoloya de Juárez, en el cual no se encuentra identificada el área de estudio, en la sección encontrada dentro del Atlas de Riesgo denominada “Identificación de riesgos”, las zonas que de acuerdo al municipio presentan el desarrollo de este proceso, apenas se identifica por un mapa general donde ubica el área afectada y una fotografía, los cuales son elementos insuficientes para realizar los objetivos planteados en este análisis.

En cuanto a información bibliográfica no fue posible encontrar trabajo alguno debido a que aún no se han realizado trabajos o estudios que enfoquen sus objetivos en la creación de una herramienta que explique el porqué del proceso y desarrollo de las inundaciones en esta zona, es por eso que esta investigación se convertirá en el primer trabajo que se genere.

Marco Legal

En este apartado se aborda el Marco Legal bajo el que rige el Estado Mexicano, permitiendo así conocer las bases legales de actuación, obligatoria para las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, Estatal y Municipal que, en el ámbito de sus atribuciones, participen en coordinación con los tres órdenes de gobierno en materia de Protección Civil, asentamientos humanos y agua en el Estado y sus Municipios, para un correcto manejo de los recursos en caso de desastres.

De igual forma existe una amplia normativa enfocada a la reducción del riesgo, atención a emergencias y desastres, donde el principal objetivo es brindar las herramientas necesarias a las organizaciones gubernamentales y municipales, lograr el bienestar de la población en caso de algún proceso y generar estrategias que mitiguen aquellos daños ocasionados a los mismos.

Ley General de Cambio Climático

Por lo que en el Artículo 30° establece que las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal Centralizada y paraestatal, las entidades federativas y los municipios, en el

ámbito de sus competencias, implementarán acciones para la adaptación conforme a las disposiciones siguientes, establecidas en las siguientes fracciones:

IV. Establecer planes de protección y contingencia ambientales en zonas de alta vulnerabilidad, áreas naturales protegidas y corredores biológicos ante eventos meteorológicos extremos;

VII. Formar recursos humanos especializados ante fenómenos meteorológicos extremos;

IX. Mejorar los sistemas de alerta temprana y las capacidades para pronosticar escenarios climáticos actuales y futuros;

X. Elaborar los diagnósticos de daños en los ecosistemas hídricos, sobre los volúmenes disponibles de agua y su distribución territorial;

XI. Promover el aprovechamiento sustentable de las fuentes superficiales y subterráneas de agua.

XII. Fomentar la recarga de acuíferos, la tecnificación de la superficie de riego en el país, la producción bajo condiciones de prácticas de agricultura sustentable y prácticas sustentables de ganadería, silvicultura, pesca y acuicultura; el desarrollo de variedades resistentes, cultivos de reemplazo de ciclo corto y los sistemas de alerta temprana sobre pronósticos de temporadas con precipitaciones o temperaturas anormales.

Ley General de Protección Civil

De acuerdo con el Artículo 14° establece que el Sistema Nacional es un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos, normas, instancias, principios, instrumentos, políticas, procedimientos, servicios y acciones, que establecen corresponsablemente las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los diversos grupos voluntarios, sociales, privados y con los Poderes Legislativo, Ejecutivo y Judicial, de los organismos constitucionales autónomos, de las entidades federativas, de los municipios y las delegaciones, a fin de efectuar acciones coordinadas, en materia de Protección Civil.

En el Artículo 15° establece que el objetivo general del Sistema Nacional es el de proteger a la persona y a la sociedad y su entorno ante la eventualidad de los riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y la vulnerabilidad en el corto, mediano o largo plazo, provocada por fenómenos naturales o antropogénicos, a través de la gestión integral de riesgos y el fomento de la capacidad de adaptación, auxilio y restablecimiento en la población.

Ley General de Asentamientos Humanos

En el Artículo 1° Fracción II indica la fijación de las normas básicas para planear y regular el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.

En el Artículo 3° el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderá a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, en sus Fracciones:

XI. La estructuración interna de los centros de población y la dotación suficiente y oportuna de infraestructura, equipamiento y servicios urbanos.

XII. La prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población.

El Artículo 48° establece que la Federación, las entidades federativas y los municipios promoverán acciones concertadas entre los sectores público, social y privado, que propicien la participación social en la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.

En el Artículo 49° fracción IV indica que la participación social en materia de asentamientos humanos comprenderá el financiamiento, construcción y operación de proyectos de infraestructura, equipamiento y prestación de servicios públicos urbanos

Según el Artículo 51° Fracción XII establece que la Federación, las entidades federativas y los municipios fomentarán la coordinación y la concertación de acciones e inversiones entre

los sectores público, social y privado para la aplicación de tecnologías que protejan al ambiente, reduzcan los costos y mejoren la calidad de la urbanización.

Ley de Asentamientos Humanos del Estado de México

En su Artículo 1° establece que las disposiciones de esta Ley son de orden público e interés social y tienen por objeto:

I. Fijar las disposiciones básicas para planear, ordenar y regular los asentamientos humanos en el Estado y la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.

II. Establecer la concurrencia y coordinación de los municipios y del Estado, así como la concertación de estos con los sectores social y privado para la ordenación y regulación de los asentamientos humanos en el territorio estatal.

III. Establecer las bases conforme a las cuales el Estado y los municipios ejercerán sus atribuciones para zonificar el territorio y determinar las correspondientes provisiones, usos, reservas y destinos de áreas y predios.

Ley del Agua para el Estado de México y Municipios

En el Artículo 18° establece que la Comisión gozará de autonomía de gestión, financiera y operativa, y tendrá las siguientes atribuciones:

IX Verificar que los desarrollos a que se refiere la fracción anterior se ubiquen en predios con vocación no inundable, debiendo emitir opinión negativa, en su caso, o condicionada a que se realicen las obras necesarias para evitar la inundación;

XXVIII. Emitir el atlas de inundaciones para el Estado;

XXIX. Administrar la infraestructura hidráulica que le sea entregada por el Gobierno Federal, los gobiernos municipales, los organismos operadores, y/o por los titulares de una concesión.

XXX. Implementar, operar y mantener la red estatal de estaciones meteorológicas e intercambiar información con redes afines

Según el Artículo 51° La infraestructura hidráulica para los servicios de drenaje, alcantarillado, saneamiento y tratamiento de aguas residuales para su reúso, comprende los colectores, subcolectores, cárcamos de bombeo, emisores, las plantas de tratamiento de aguas residuales, lagunas de oxidación, humedales, líneas moradas y las obras hidráulicas para la prevención de inundaciones, misma que será de jurisdicción Estatal cuando reciba descargas de aguas residuales o pluviales de más de un municipio.

De acuerdo con el Artículo 76° establece que el municipio o, en su caso, el organismo operador determinará la factibilidad de otorgamiento del servicio de agua potable a nuevos fraccionamientos, conjuntos habitacionales, comerciales, industriales, mixtos o de otro uso, así como en los casos de ampliación o modificación del uso o destino de inmuebles, previo la satisfacción de los requisitos que para ello señala el Reglamento de esta Ley, y considerando la infraestructura hidráulica para su prestación y la disponibilidad del agua.

En el caso de otorgamiento de factibilidad, el municipio o, en su caso, el organismo operador determinará y, en su caso, aprobará, y supervisará, en los términos del Reglamento, las obras necesarias para la prestación del servicio a cargo del desarrollador, mismas que se considerarán para el cálculo del cobro de conexión a la red de distribución correspondiente, o en su caso condicionar la factibilidad al desarrollo de la infraestructura.

Para el otorgamiento de la factibilidad, el municipio o, en su caso, el organismo operador, deberá verificar que el desarrollo habitacional, no se encuentre en un predio cuya vocación natural sea inundable, en cuyo caso deberá negar la factibilidad o condicionarla a que se realicen las obras necesarias para evitar la inundación, conforme al procedimiento que determine la Comisión

CAPÍTULO

MARCO TEÓRICO

3

“Queda prohibido no sonreír a los problemas, no luchar por lo que quieres, abandonarlo todo por miedo, no convertir en realidad tus sueños”

Pablo Neruda

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

En este apartado se describen y desarrollan los principios básicos de las teorías y propuestas metodológicas que se emplean en la investigación, que de acuerdo con el problema se ordenan por fecha de aparición en el que se encuentran los temas de: inundación, Teoría general de sistema, vulnerabilidad y riesgo, importantes para el desarrollo y análisis de la investigación.

3.1 Inundación

Con el paso del tiempo las inundaciones han tomado relevancia por el nivel de daños e impactos negativos que genera en la sociedad, ya sean de carácter económico, físico o social, estos factores se desencadenan principalmente por factores físicos, la actividad humana y los medios de subsistencia que llevan a la población a localizarse en áreas rurales y urbanas que son propensas a inundaciones y el número de personas vulnerables se aumenta a medida que la población crece y la falta de lugares alternativos de asentamientos, lo que ubica a mucha gente en terrenos inundables.

Los procesos de urbanización suelen configurar estructuras con altas externalidades negativas que socavan los equilibrios ambientales y propician cambios climáticos, al desencadenar ciclos que afectan a la población asentada en zonas vulnerables, con riego y

amenaza diferenciados y que se traducen a alteraciones sociales y económicas (*Gómez et al, 1996*).

Matías, *et al.* (1998) indica que el impacto socioeconómico causado por las inundaciones, convirtiéndose en un problema cuando el hombre invade el curso de los ríos y altera la esencia natural de las llanuras de inundación, el interés por estos espacios radica en su potencial económico, porque en general son rentables para cualquier tipo de desarrollo.

De modo que la vulnerabilidad a las inundaciones es en parte, un producto de ambientes creados por el hombre, aunque los riesgos se experimentan en varios grados entre diferentes grupos de personas.

Debido a esto las inundaciones se han vuelto un problema que es necesario estudiar, muchos investigadores a lo largo del tiempo y de acuerdo a sus experiencias proponen diferentes términos que se mencionan a continuación.

Por ejemplo, Cruickshank, (1974) se refieren a que una inundación se produce cuando en alguna zona terrestre queda momentáneamente cubierta por agua, esto se debe principalmente al almacenamiento de agua de lluvia por el escaso drenaje, a mareas de viento o bien al desbordamiento de ríos o arroyos

Por su parte Franco, (1998), sugiere que las inundaciones son eventos “naturales” en muchos casos exacerbados por el hombre, debido a su efecto sobre el territorio. Es decir, el inadecuado urbanismo, tanto pasado como presente, ha expandido las ciudades de lugares más o menos seguros a lugares en definitiva inseguros, generan problemas ambientales.

Lugo *et al.* (2002) sugieren que las inundaciones son un incremento del agua en un cauce fluvial que se debe a lluvias voluminosas ya sean torrenciales de corta duración o prolongadas.

Para Keller, (2004) una inundación es un “proceso por el cual el flujo rebasa su cauce, debido a la cantidad y distribución de las precipitaciones en la cuenca”

En el caso de México también existen autores como Olcina, (2002) que a las inundaciones las denomina como “crecidas” las cuales son perjudiciales para los bienes y servicios

utilizados por el hombre. Por su parte Bassols, (2004) indica que las precipitaciones permiten la formación de poderosas corrientes pendiente abajo las cuales llegan con fuerza a las partes más bajas que provocan inundaciones a orillas de los ríos.

Torres, (1996) propone que una inundación es un flujo o invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o acumulación en terrenos planos, derivado de la insuficiencia del drenaje tanto natural, generada por la pérdida de suelos descubiertos y las divide en dos categorías:

1. *Pluviales*, son aquellas que se generan por exceso de lluvias en una zona que tenga topografía plana y suelos aluviales fáciles de inundar, debido a la cantidad de agua que puede contener y permanece horas o días.

De acuerdo con la Dirección General de Protección Civil, es la que se genera por la acumulación de agua de lluvia, nieve o granizo en áreas de topografía plana, que se encuentran secas, pero que han llegado a su máximo grado de infiltración y que poseen insuficientes sistemas de drenaje natural o artificial

Las inundaciones pluviales se deben a la acumulación de la precipitación que se concentra en terrenos de topografía plana o en zonas urbanas con insuficiente o nulo drenaje (*Bremer y Laura, 2001.*)

2. *Fluviales*, son aquellas que se originan en cualquier parte de la cuenca, pero gracias a los escurrimientos superficiales producen la inundación en la parte más baja de la cuenca.

Se forman cuando el agua que se desborda de los ríos, queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. En este tipo de inundación el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a la lluvia que se presenta en la zona afectada. (CENAPRED)

Es importante observar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces, aumenta con el área de aportación de la cuenca, por lo que las inundaciones de este tipo se presentarán en los ríos más desarrollados.

Por su parte Kepler *et al.* (1997) señalan que las inundaciones también ofrecen funciones de servicio y beneficios para los suelos en los que se desarrolla, a continuación, se mencionaran las más importantes como, por ejemplo:

- Proporciona tierras fértiles las cuales se generan por el transporte de materia orgánica provocada por las avenidas que contribuyen a tener zonas agrícolas más fértiles y productivas
- En algunos casos las inundaciones son importantes porque ayudan a mantener los niveles de elevación de una zona denominada Suministro de sedimentos¹.

Origen de las inundaciones

Estos procesos se han producido a lo largo de la historia del hombre, pero de acuerdo con las condiciones sociales en que se desarrolla la población en el medio natural, la probabilidad de que acontezca este proceso se ha incrementado en las últimas décadas; en este sentido, López, (2002) cifra una serie de variables que se combinan entre las cuales sobresalen:

- Acelerado crecimiento de la población.
- Mal manejo de las cuencas altas de los ríos, asociada con deforestación, incendios forestales, mal uso del suelo, infraestructura de comunicación y transporte inapropiadas, impermeabilización de los suelos en áreas urbanas que alteran los regímenes hídricos de los ríos e infiltración de agua al subsuelo.
- Los eventos de lluvias extremas, que superan la capacidad de amortiguación de la cuenca, lo que acarrea como consecuencias el desbordamiento del cauce.
- Forma del relieve en las que se encuentran asentamientos humanos.
- Tipo de suelo (capacidad de infiltración de los suelos)
- Clima

¹ Partículas procedentes de rocas o suelos, que son acarreadas por las aguas que escurren, todos estos materiales finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en presas, lagos, planicies y hasta el mar. (Castillo s/f)

3.2 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje se conforma por un área determinada, está relacionada directamente con la topografía del terreno, y las propiedades físicas del suelo o roca donde transita el lecho del río. La forma en que están agrupados los componentes del suelo, determina la capacidad de infiltración del suelo y sus características para el escurrimiento. Estos dos factores determinan el sistema de drenaje que se formará en un material determinado (Heano, 2006).

Los patrones de drenaje están desarrollados por un sistema de corrientes y tributarios depende, en parte, de la naturaleza de las rocas subyacentes y en parte de la historia de las corrientes. Casi todas las corrientes siguen una especie de ramificaciones, hacia el sentido en que reciben sus tributarios; estos tributarios tienen, a su vez, otros más pequeños; pero la forma en que se desarrolla la ramificación varía sensiblemente y es lo que se llama patrón de drenaje. (UNICAUCA, 2004; referido en Geomorfología Fluvial, 2010)

Heano (2006) identifica patrones de drenaje originados por ríos erosionales (Imagen 3.1) y patrones de originados por ríos deposicionales basados en la forma y características. (Imagen 3.2)

1. Patrones de drenaje originados por ríos erosionales

- a) *Dendrítico*: Es el conjunto de corrientes que semejan las ramificaciones de un árbol frondoso. Se forma normalmente en materiales y formaciones con granulación fina, material homogéneo, permeabilidad baja, topografía horizontal o pendiente leve, roca dura con resistencia a erosión y el drenaje corre en todas direcciones.
- b) *Subdendrítico*: Este sistema es una modificación del sistema dendrítico en el cual existe un control de pendientes en los cauces de segundo y tercer orden
- c) *Párralelo*: Se desarrolla generalmente en formaciones con pendientes fuertes o también en terrenos inclinados, constituidos por materiales de grano grueso.
- d) *Radial*: se generan principalmente en zonas donde los fenómenos geológicos han formado elevaciones cónicas como es el caso de volcanes.
- e) *Anular*: Se forma exclusivamente en estructuras anulares, producidas por extrusiones ígneas que han causado elevamiento de las formaciones sedimentarias.

- f) *Enrejado o rastrillado*: Se desarrolla principalmente en rocas plegadas inclinadas, donde hay una serie de fallas paralelas. Es el tipo de drenaje en el que pequeños tributarios, casi todos del mismo tamaño, vienen de lados opuestos de un valle largo a una corriente central.
- g) *Rectangular o angular*: La formación de este sistema de drenaje depende de la estructura de la formación rocosa sobre la cual corren las aguas. Un drenaje rectangular pone en evidencia la angularidad de las fracturas de la roca, se caracteriza por cambios bruscos de dirección, tanto en ríos como en sus tributarios.

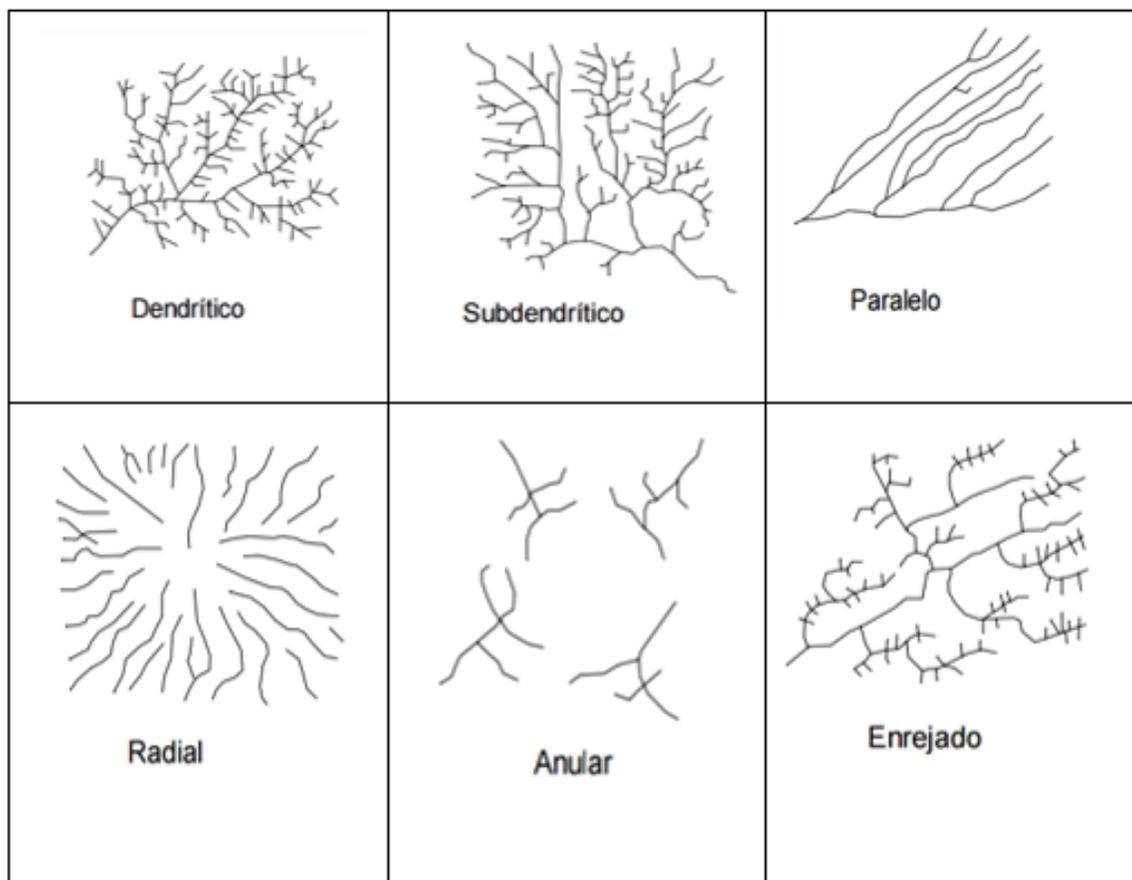


Imagen 3.1 Elaboración propia. Consultado en “Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas” Henao, 2006. Patrones de drenaje originados por ríos erosionales.

2. Patrones de drenaje originados por ríos deposicionales

- a) *Meándricos o anastomático*: Es un sistema característico del drenaje en lechos de crecientes en proceso de estabilización. Los meandros del cauce han dejado características en el valle como cauces abandonados, betas.

- b) *Trenzados*: Se caracteriza por fuertes bifurcaciones en su lecho de diferentes canales que se unen de nuevo aguas abajo.
- c) *Colineal*: Se presenta cuando un río se desarrolla libre en forma recta, durante una distancia más grande que diez veces su anchura.
- d) *Dicotómicos o distributarios*: Se caracteriza por la ramificación de un cauce en varios distributarios, los cuales a su vez pueden dividirse. Este sistema es característico de las zonas de deltas aluviales.

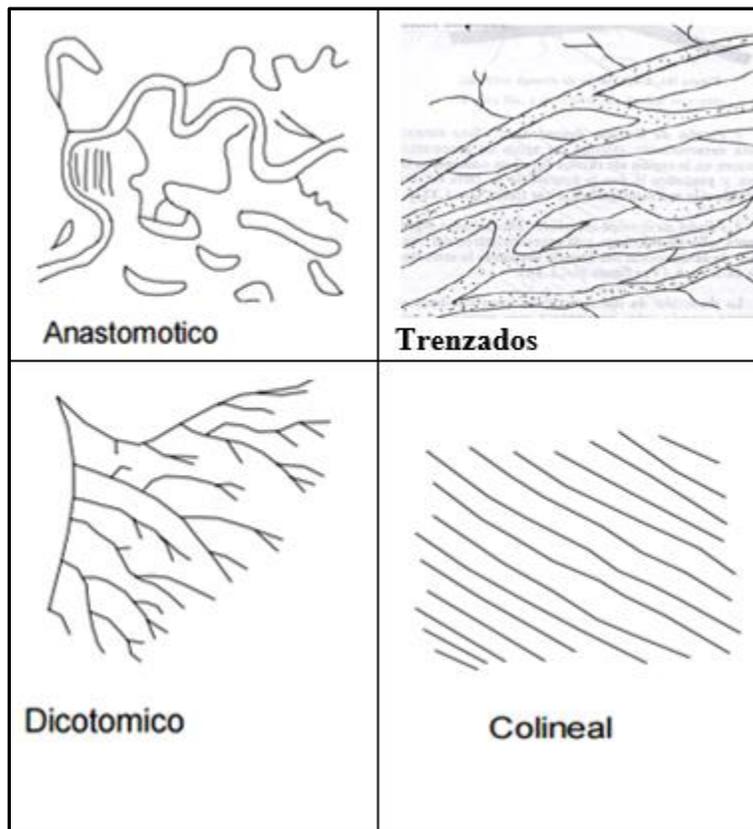


Imagen 3.2 Elaboración propia. Consultado en “Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas” Henao,2006. 1.Patrones de drenaje originados por ríos deposicionales.

Escurrimiento superficial:

La escorrentía superficial, consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre, comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y

se mueve libre por la superficie del terreno de igual forma la escorrentía de una corriente que puede ser alimentada por pequeños ríos tributarios.

De acuerdo a Monsalves, (1999) existen factores que influyen en la escorrentía superficial dividiéndolos en tres tipos:

1. Los de naturaleza climática (relacionados con la precipitación)

-*Intensidad de precipitación*: cuanto mayor sea la precipitación más rápido el suelo satura su capacidad de infiltración aumentando el escurrimiento.

-*Duración de la precipitación*: cuanto más dure la precipitación habrá mayor oportunidad de escorrentía.

-*Precipitación antecedente*: Precipitación que ocurre cuando el suelo está húmedo debido a una lluvia anterior.

2. Los de naturaleza fisiográfica (relacionados con las características físicas de la cuenca)

-*Área*: La extensión del área está relacionada con la mayor cantidad de agua de escorrentía que la cuenca que puede generar debido a la cantidad e afluentes presentes.

-*Permeabilidad*: cuanto más permeable es el suelo, mayor será la cantidad de agua que puede absorber, disminuyendo el exceso de precipitación

3. De naturaleza humana (relacionados con la intervención humana)

- *Obras hidráulicas construidas en la cuenca*: construcciones que acumulen y disminuyan los caudales máximos de escorrentía, retardando la propagación.

3.3 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo, distinguiéndose el proceso de percolación², este movimiento genera que la lluvia que cae se consuma en su totalidad por medio de los procesos de intercepción, detención o

² Paso lento de fluidos a través de materiales de consistencia porosa, principalmente en el proceso de infiltración de agua y lixiviación, generando corrientes subterráneas. (Fraiman, 2005)

almacenamiento, humedad del suelo precipitación directa sobre la corriente de agua que sirve de drenaje, flujo superficial y escorrentía superficial (*Monsalve, 1999*).

Asociada con la degradación del medio ambiente tal como es la deforestación, la erosión, actividades humanas las cuales modifican la respuesta hidrológica de los ríos e infiltración de agua al suelo e incrementa la ocurrencia y la magnitud de la inundación.

Para González, (2001) la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Ésta se considera como uno de los procesos naturales que se relaciona con la precipitación y el escurrimiento, esto implica que la modificación en el relieve, va a implicar cambios en punto de llegada del agua infiltrada, causando daños en infraestructura o encharcamientos en zonas habitables, con mayor presencia en temporada de precipitaciones.

Factores que influyen en la infiltración

- La precipitación es la causa de que exista Infiltración siempre y cuando se supere un cierto umbral mínimo exigible.
- La temperatura, si la temperatura del suelo es suficientemente baja para producir la congelación del agua recibida, la capa helada impide o dificulta la Infiltración.
- Humedad. Si el terreno es seco, a la acción de la gravedad, se une una fuerte tensión capilar con lo que aumenta la Infiltración. A medida que el terreno se humedece se hinchan las arcillas y coloides y se reduce el tamaño de los poros y la capacidad del suelo para infiltrar.

Un suelo seco tiene mayor capacidad de infiltración, por el hecho de que se suman fuerzas gravitacionales y de capilaridad.

- La permeabilidad es la velocidad de infiltración para un gradiente unitario de carga hidráulica en un flujo saturado a través de un medio poroso. La permeabilidad puede

ser afectada por factores como: cobertura vegetal, compactación del suelo, infiltración de agua, entre otras.

- Las condiciones de la superficie del terreno. La permanencia estática del agua en el terreno favorece la Infiltración, debido a que se da tiempo para que el agua se infiltre, por ello factores que eviten esa permanencia de agua en forma de Detención Superficial en el terreno perjudicarán a la Infiltración. Así, pues, la pendiente del terreno favorece el tránsito del agua caída en forma de Escorrentía

3.4 Teoría general de sistemas

La fuente de la teoría general de sistema puede remontarse probablemente a los orígenes de la ciencia y la filosofía, en el año de 1954, cuando se organizó la *Society for the Advancement y General Systems* (Sociedad para el avance de la teoría general de sistemas) que en 1957 cambio su nombre a *Society for General Systems Research* (Sociedad para la investigación general de sistemas) (Gigc, 2006).

La Teoría de sistema o Teoría general de los sistemas (TGS) es el estudio interdisciplinario de los sistemas en general. Su propósito es estudiar los principios aplicables a los sistemas en cualquier nivel en todos los campos de investigación. Esta teoría fue desarrollada por Ludwig Bertalanffy en 1950.

Su propuesta metodológica sobre el “análisis por unidades” y los “niveles de análisis” es en realidad un enfoque sistémico, en un sentido moderno, en tanto que sustenta su teoría e investigaciones en una visión integral y anti-reduccionista.

La teoría tiene una función integradora, se ha visto unificación de las ciencias para la resolución de final de todos los fenómenos sucedidos en el medio físico (Bertalanffy, 1989).

Uno de los objetivos del enfoque de la teoría general de sistemas, es buscar similitudes de estructura y de propiedades, así como fenómenos comunes que ocurren en sistemas de diferentes disciplinas.

De acuerdo a Gigc, (2006), un sistema es una reunión o un conjunto de elementos relacionados; éstos pueden ser estructurados por conceptos, objetos y sujetos, como

elementos. Por lo tanto, un sistema es un agregado de entidades viviente o no viviente, un sistema se compone de otros sistemas a los que llamamos subsistemas.

Conforme al autor citado la caracterización de un sistema es:

“Es la unión de partes o componentes, conectados en una forma organizada. Las partes se afectan por estar en el sistema y se cambian si lo dejan. La unión de sus partes hace algo (es decir, esta muestra conducta dinámica). Un sistema puede existir como un agregado natural de partes componentes encontradas en la naturaleza, o esta puede ser un agregado inventado por el hombre- una forma de ver el problema que resulta una decisión deliberada de suponer que un conjunto de elementos, están relacionados y constituyen una cosa llamada sistema.

La TGS a través del análisis de las totalidades y las interacciones internas de éstas y las externas con su medio, es, ya, una poderosa herramienta que permite la explicación de los fenómenos que suceden en la realidad y también hace posible la predicción de la conducta futura de esa realidad (*Bertoglio, 1985*).

Uno de los problemas al tratar de sistemas se deriva de nuestra incapacidad para saber que tanto “descomponer un sistema” un sistema en componentes o que tanto “componer” u “organizar” un sistema en sistemas más grandes (*Gigc, 2006*).

La ciencia moderna se caracteriza por la especialización siempre creciente, impuesta por la inmensa cantidad de datos, la complejidad de las técnicas y de las estructuras teóricas dentro del campo (*Bertalanffy, 1989*).

Es el estudio de un fenómeno complejo a través del análisis de sus elementos o partes constitutivas, Lurt Lewin, señalaba que lo importante en la teoría es la forma en que se procede al análisis.” En vez de tomar uno u otro elemento aislado dentro de una situación, la teoría del campo encuentra ventajas, como regla, de comenzar por la caracterización de la situación como un todo” (*Bertoglio, 1985*).

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistema (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo,

como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias.

La TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades. (*Arnold, 1998*).

El enfoque que permite enfrentar las situaciones anteriores se conoce como: enfoque sistémico, y fue desarrollado por varios autores (Von Bertalanffy, Beer, Ackoff, Forrester, Checkland, entre otros), pero fue estructurado por Peter Senge, y lo explícito como:

Leyes del pensamiento sistémico:

1. Los problemas de hoy provienen de las soluciones de ayer
2. Cuanto más se presiona al sistema, este más reacciona
3. La causa y efecto no necesariamente están relacionadas en el tiempo y espacio
4. Pequeños cambios producen grandes resultados
5. El comportamiento mejora antes de empeorar
6. El camino fácil usualmente lleva al mismo lugar

3.5 Vulnerabilidad y riesgo

La mayoría de la población crece con la idea de que los ecosistemas y el medio ambiente es el principal causante de las afectaciones y pérdidas económicas que surgen a partir de la aparición de un desastre natural, estos procesos no solo afectan a la población a nivel estructural y económico sino también pone en peligro las vidas humanas siendo estos daños que no pueden repararse. (*Vargas, 2002*).

No obstante, los ecosistemas son el conjunto de relaciones existentes entre comunidades de seres vivos (plantas, animales, personas) y el medio físico en el que se desarrollan. La estabilidad de un ecosistema es dinámica, porque el territorio se encuentra en constante transformación lo cual puede expresarse en fenómenos naturales que pueden poner en peligro

a la estabilidad y vida de la población. La estabilidad de los ecosistemas depende de su capacidad para resistir, adaptarse o evolucionar ante la presencia de un fenómeno.

Los ecosistemas se enfrentan día a día a los efectos irreversibles de la interacción humana con los ecosistemas, provocan grandes cambios en la morfología del relieve, degradación de los suelos, contaminación (agua, suelo, aire), los que ponen diariamente en riesgo a la población, genera modificaciones en los procesos naturales que lleva a cabo el ecosistema a corto y largo plazo se generen procesos que pongan en peligro las vidas humanas.

Riesgo

Respecto al concepto de riesgo, este se define como la combinación de una probabilidad de presentación de un determinado evento, llamado peligro, y las potenciales consecuencias adversas que tendría este evento para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas. Estas consecuencias se denominan vulnerabilidad. Por lo tanto, el riesgo tiene dos componentes principales, la amenaza y la vulnerabilidad. (*Escuder et al, 2008*).

Por un lado, la amenaza representa un evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañina, puede causar pérdida de vidas, heridos, daño a la propiedad, trastornos sociales y económicos, o degradación medioambiental. (*Jonkman, 2007*).

Por otro lado, la vulnerabilidad se define como las condiciones, determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y medioambientales, que causan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de una amenaza. Por ello, el análisis de vulnerabilidad se centra en la descripción de las potenciales consecuencias producidas por la amenaza considerada. (*Escuder et al, 2008*).

Según Jorge Enríquez Vargas en “Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio – naturales” el riesgo es la magnitud probable de daño de un ecosistema específico o algunos de sus componentes, en un determinado periodo de tiempo ante la presencia de una actividad potencialmente peligrosa, así entonces establece que el riesgo está regido por dos variables:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} + \text{Vulnerabilidad}$$

- a) **Amenaza:** es el fenómeno peligro que se define como la magnitud y la duración de la fuerza o energía potencialmente peligrosa por su capacidad de destruir y desestabilizar un ecosistema (*Enríquez, 2002*).

Tiene tres componentes:

1. *Energía potencial:* magnitud de la actividad o cadena de actividades que podrían desencadenarse
2. *Susceptibilidad:* predisposición de un sistema para generar, liberar energía potencialmente peligrosa.
3. *Detonador o desencadenante:* evento externo con capacidad para liberar la energía potencial.

$$\text{Amenaza} = (\text{Energía potencial, Susceptibilidad, Detonador})$$

- b) **Vulnerabilidad:** Es la disposición interna a ser afectado por una amenaza. Propensión de un ecosistema o sus componentes a sufrir algún daño ante la presencia de una fuerza o energía potencialmente peligrosa. (*Enríquez, 2002*).

Incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o a su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse al cambio.

De acuerdo al autor la vulnerabilidad depende de:

1. *Grado de Exposición:* Tiempo y modo de sometimiento de un ecosistema a los efectos de una actividad con potencial destructivo.
2. *Protección:* Defensa del ecosistema y de sus elementos que reducen o eliminan la afectación que le puede causar una actividad con potencial destructivo.

3. *Reacción Inmediata*: Capacidad del ecosistema y de sus elementos para reaccionar, protegerse y evitar el daño en el momento en el que se desencadena la energía potencialmente peligrosa
4. *Recuperación Básica*: Restablecimiento de las condiciones esenciales de subsistencia (agua, luz, alimento, comunicación)
5. *Reconstrucción*: Recuperación del equilibrio y las condiciones normales de vida a una nueva condición más evolucionada y menos vulnerable.

Vulnerabilidad = (Grado de exposición. Resiliencia)

En el siguiente esquema se muestra resumido lo anterior, el riesgo de desastre y las variables bajo las cuales se rige, las cuales son amenaza y la vulnerabilidad y al mismo tiempo cada uno de los factores que rigen a estos mismos y las variables que surgen en la interacción de cada uno de estos.

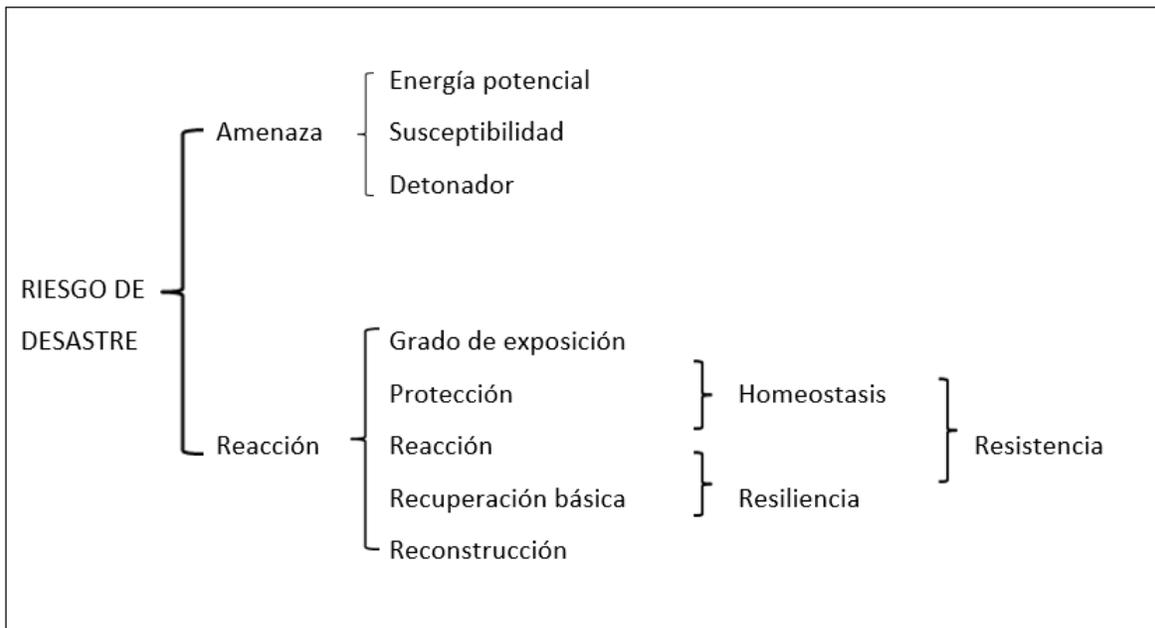


Imagen 3.3: Factores del riesgo de desastre. En el cuadro se muestran los componentes que intervienen en el riesgo de desastre, desde lo general a lo particular (Fuente: Políticas públicas para la reducción de vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales Autor: Vargas, 2002).

Instrumentos para reducir la vulnerabilidad

Para reducir de manera integral y eficaz la vulnerabilidad ante las amenazas es necesario enfrentar cada uno de los cinco factores mencionados mediante el uso de políticas públicas.

- Para reducir el grado de exposición, el principal es el ordenamiento territorial, establecer mecanismos de protección y el uso de seguros brindados por las compañías que puedan estimular actividades preventivas.
- Para reducir los riesgos por incapacidad de reacción inmediata, es indispensable establecer sistemas de alerta temprana para cada tipo de amenaza y desarrollar capacidad de reacción mediante el conocimiento del peligro y el entrenamiento para reaccionar de manera adecuada, la creación de refugios o áreas de protección especial.
- Para reducir la vulnerabilidad por incapacidad de recuperación básica, contar con planes y organizaciones de contingencia, con capacidad de actuar de manera eficaz en el menor tiempo.
- Para reducir la vulnerabilidad por incompetencia para la recuperación del ecosistema afectado, la disponibilidad de mecanismos que permitan formular planes de reconstrucción y desarrollo

3.6 Clima y sus variaciones

Hann, (1908) establece que el clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre.

Para López, (1922) el clima es un estado medio de las variables condiciones dinámicas del aire que controlan el tiempo. Para Llamas, (1989) es conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo en un lugar determinado.

Como se ha mencionado el clima está sometido a variaciones más o menos periódicas, es por eso que las condiciones climáticas tienen una influencia decisiva sobre las condiciones hidrológicas, siendo la energía solar el factor determinante de todos los elementos climáticos.

Para entender un poco más sobre el cómo se presentan los diferentes climas y sus variaciones es necesario explicar este proceso desde su origen.

Calor que llega a la Tierra desde su origen

De acuerdo a los estudios realizados por Enriqueta García, (1978)³ establece que cierta cantidad de energía proviene de la superficie de la Tierra desde el interior de la misma, pero la cantidad de calor irradiado por la Tierra es uniforme de día que, de noche, por lo que no interviene en la variación de las temperaturas. Por consiguiente, el Sol es el origen de toda la energía que ocasiona la variación de la temperatura de la atmosfera. Sin embargo, muchos fenómenos físicos y biológicos que se producen se deben a esta pequeña fracción de energía recibida.

La cantidad de energía del Sol que llega a cualquier punto de la superficie terrestre depende de varias circunstancias:

- Del tiempo que este el sol en el horizonte a una latitud en una época determinada del año (duración día - noche)
- Distancia de la Tierra al Sol
- Del ángulo de incidencia de los rayos solares (latitud y estación de año)
- De la transparencia de la atmosfera
- De la continuidad de la radiación

Movimientos de la Tierra

La Tierra está animada por varios movimientos, los dos más importantes son el movimiento de rotación y el movimiento de traslación.

El movimiento de rotación la Tierra jira sobre su eje polar, este movimiento es uniforme, es decir la Tierra gira con la misma velocidad, efectúa una vuelta en un día (24 horas) con dirección de Oeste a Este.

³ Apuntes de Climatología (Enriqueta García de Miranda, 1978)

El movimiento de traslación, es el movimiento por el cual la Tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo un camino o trayectoria de forma elíptica que se llama órbita, da una vuelta completa alrededor del Sol en un año. (Imagen 3.3)

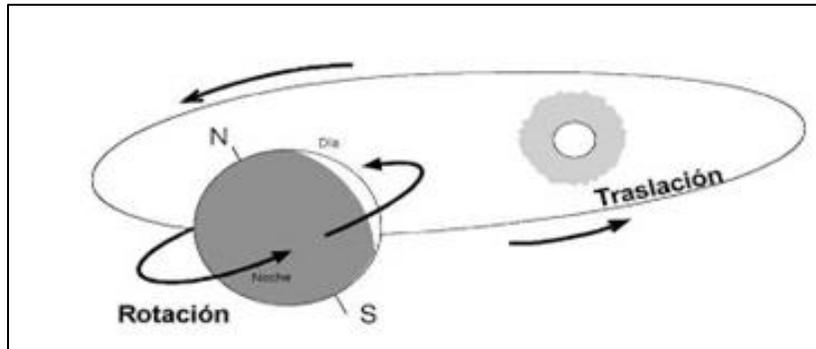


Imagen 3.4 Fuente: ALE en Red, 2012. Consultado 08 de marzo del 2017.
Movimiento de rotación y traslación de la Tierra

Como ya se dijo, a causa de la distancia que separa la Tierra del Sol, los rayos solares llegan a estar paralelos entre sí, y puesto que la Tierra es redonda, la vertical varía en sus diferentes puntos, por lo que el ángulo que forman los rayos solares no es el mismo en todos los lugares.

Esta diferencia en el ángulo de incidencia de los rayos solares al suelo, es una de las causas de que el calentamiento de la Tierra no sea uniforme

En su movimiento de traslación alrededor del Sol la Tierra, va cambiando de posición, y puesto que el eje polar no es perpendicular al plano de la órbita, la inclinación de los rayos varía y solo dos veces al año el círculo de iluminación corta la Tierra según los meridianos.

En la siguiente imagen se representa la posición de la Tierra durante las fechas del 21 de junio que corresponde a los inicios del Solsticio de Verano, en específico al inicio de esta fecha los rayos del Sol van cayendo verticales sobre los paralelos situados entre El Trópico de Cáncer y el Ecuador, hasta el 23 de septiembre vuelven a ser verticales.

En esta fecha los rayos solares caen sobre los diferentes paralelos de la Tierra con un ángulo de incidencia igual a su longitud.

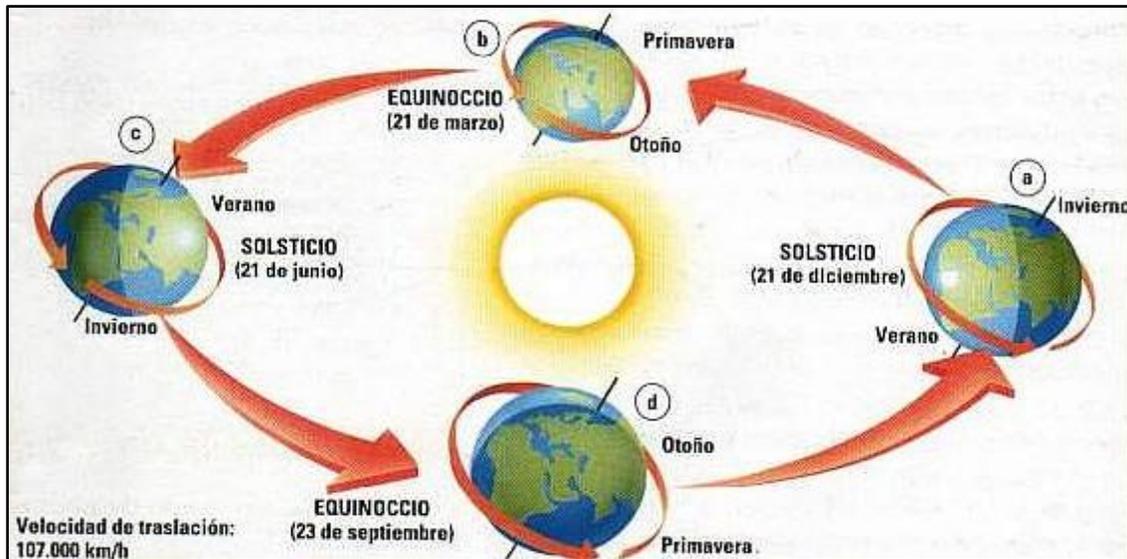


Imagen 3.5 Disponible en <https://astrologiaarquetipica.wordpress.com>.

Consultado 08 de marzo del 2017. Se representa la posición de la Tierra durante: a) solsticio 21 de diciembre HN invierno – HS verano, b) equinoccio 21 de marzo HN primavera – HS otoño, c) solsticio 21 de junio HN verano – HS invierno, d) equinoccio 23 de septiembre HN otoño – HS primavera.

Variación del día y la noche

En la fecha comprendida entre el 21 de marzo el día es de la misma duración que la noche en todos los lugares de la Tierra: 12 horas de día y 12 horas de noche.

Después del 21 de junio los días empiezan a decrecer en el hemisferio norte, pero se conservan todavía más largos que las noches hasta el 23 de septiembre, fecha en la que el día se vuelve de la misma duración que la noche en todos los lugares del mundo. Del 23 de septiembre al 21 de diciembre a medida que los rayos solares van siendo menos inclinados en el hemisferio Sur, el día va siendo mayor que la noche, lo contrario sucede en el hemisferio Norte en donde en esta fecha se tiene el día más corto del año. Del 21 de diciembre al 21 de junio, los días empiezan a decrecer en el hemisferio sur, pero se conservan todavía mayores que las noches, hasta que el 21 de marzo fecha en la que el día y la noche tienen igual duración en todos los lugares de la Tierra.

Factores y elementos determinantes del clima

Algunos de estos factores son, altitud sobre el nivel del mar, las características geográficas, la intensidad de radiación, duración de insolación, temperatura del aire, presión atmosférica,

viento, evaporación, humedad, nubosidad y precipitación lo que lo hace dinámico y cambiante variando de un lugar a otro. (Llamas, 1989).

El clima de un lugar determinado, se define por un cierto número de elementos o partes, tales como la temperatura, humedad del aire, lluvia, velocidad del viento, entre otros. Estos elementos son resultantes de la acción reciproca de diversos factores o causas determinantes, por ejemplo, la latitud, altitud, relieve, naturaleza, suelo, vegetación, entre otros más. (Antich et al, 1975).

En la siguiente tabla se desglosan algunos de los factores que influyen en la variabilidad de los climas, elementos importantes que intervienen en la dinámica y características propias de los ya mencionados y de aquellas causas que los determinan.

<i>Factores</i>	<i>Elementos</i>	<i>Causas que lo determinan</i>
*Cósmicos Insolación	*Termodinámicos Temperatura	Insolación Temperatura
*Geográficos Altitud Latitud Distribución de las tierras y aguas Corrientes marinas Relieve Vegetación	Presión Vientos *Acuosos Humedad Nubosidad Precipitación	Vientos Gravedad

Tabla 3.1 Fuente: "Geografía Física" Vivó, 1987.

Como se mencionó la dirección de los vientos también es factor importante para determinar el clima, pero en ciertos aspectos es también un elemento del clima, la velocidad del viento es indudable un elemento, pero también puede obrar como un factor controlando la precipitación según la proporción en que acarree humedad procedente del mar.

Un factor importante es la duración del día y el tiempo durante el cual el Sol este por encima del horizonte, ya que contribuye a determinar la temperatura, pero el tiempo de exposición a la luz solar es un elemento de importancia para la vida vegetal y animal.

Estos factores y elementos del clima son de dos clases, unos son constantes y otros variables e inciertos, entre los primeros encontramos la latitud, factor que determina la duración del

día en las diversas épocas del año, también determina la intensidad de insolación, que junto con la duración del día influyen en la temperatura, elemento que también está influido por otros factores, como son los vientos y la influencia marina. (*Antichy et al, 1975*).

Es importante mencionar que existen formas de pérdida de agua gracias al clima, este por medio de la evapotranspiración, que expulsa o evapora las reservas de agua del suelo, aumentando la capacidad de almacenamiento de este para precipitaciones siguientes. De igual forma la temperatura reduce la viscosidad del agua e incrementando la conductividad hidráulica. Cuando la temperatura es elevada la evapotranspiración es más intensa y si el suelo está frío o en congelación la infiltración se vuelve nula, los poros del suelo se encuentran saturados de agua (*Vivó, 1987*).

Por la cantidad de características físicas presentes no solo en México sino en todo el mundo, se ha tenido la necesidad de generar sistemas de clasificación de climas, con la finalidad de dar una idea de la variedad y características propias en las que se presentan los ya señalados. El sistema que se ha utilizado en el mundo es el sistema Köppen, divide los climas en cinco grupos, en el caso de la República Mexicana están representados los de tipo A, B y C, los D no existen en un país tropical y los E se encuentran en áreas reducidas a montañas de altitud superior a los 4000m⁴. (Tabla 3.2)

⁴ Consultado en Apuntes de Climatología de Enriqueta García de Miranda, México D, F, 1978.

3.7 Grupo de climas de Köppen

Grupo de climas A	<p>Calientes húmedos:</p> <ul style="list-style-type: none">*En el Pacífico desde el paralelo 24°N hacia el sur y abarca desde el nivel del mar hasta una altitud de 800 o 1000m.Por el Golfo de México comprende desde el paralelo 23°N hacia el sur a lo largo de la llanura costera.*Con temperaturas del mes más frío mayor a los 18°C.*Dentro del grupo A puedes encontrar tres tipos principales:<ul style="list-style-type: none">Af (caliente húmedo con lluvias todo el año)Am (caliente húmedo con lluvias en verano)Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano)
Grupo de climas B	<p>Secos:</p> <ul style="list-style-type: none">*En nuestro país, en su mitad norte, amplias zonas con climas bastante secos o desérticos (BW) y climas seco esteparios (BS)*En los que la evaporación excede la precipitación, por lo que está no es suficiente para alimentar corrientes de agua permanentes.*Hay dos subdivisiones principales: BW (áridos o desérticos) y BS (semiáridos o esteparios).
Grupo de climas C	<p>Templados Húmedos</p> <ul style="list-style-type: none">*De acuerdo a México los climas C, se localizan en áreas montañosas o mesetas de altitud superior a los 300 o 1000m.* Estos climas dependen de la altitud, la latitud y de la exposición a los vientos húmedos, en lugares que se encuentran expuestos a la influencia de los vientos húmedos.*Temperatura media del mes más frío inferior a 18°C, pero superior a -3°C.*La temperatura del mes más caliente superior a 10°C.*Se dividen en tres tipos principales:<ul style="list-style-type: none">Cf (Templado húmedo con lluvias todo el año)Cw (Templado subhúmedo con lluvias en verano)Cs (Templado húmedo con lluvias en invierno o clima mediterráneo)
Grupo de climas D	<p>Subárticos húmedos</p> <ul style="list-style-type: none">*Temperatura media del mes más frío inferior a -3°C*Temperatura media del mes más caliente mayor a 10°C.
Grupo de climas E	<p>Fríos o Polares</p> <ul style="list-style-type: none">*Temperatura media del mes más caliente menos de 10°C.

PRECIPITACIONES (Segunda Letra)
<p>S. Climas de Estepa (para Climas Tipo B). Clima semiárido, con precipitación anual de 380 a 760 mm.</p> <p>W. Climas Desérticos (para Climas Tipo B). Precipitación anual inferior a 250 mm.</p> <p>T. Para Climas Tipo E. TMM del mes más cálido <10°C, pero >0°C.</p> <p>F. Para Climas Tipo E. TMM es <0°C todos los meses.</p> <p>f. Húmedo (para Climas Tipo A, C y D). Precipitación todos los meses. No hay estación seca.</p> <p>w. Estación seca en el invierno del respectivo hemisferio (para Climas Tipo A, C y D). Mes más seco del invierno con menos de 1/10 de precipitación que el mes más húmedo del verano.</p> <p>s. Estación seca en el verano del respectivo hemisferio (para Climas Tipo C). Mes más húmedo del invierno recibe el triple o más precipitaciones que el mes más seco del verano.</p> <p>m. Clima de bosque lluvioso (para Climas Tipo A). Con estación seca corta en el ciclo de precipitación de tipo monzónico.</p>
TEMPERATURAS (Tercera Letra)
<p>a. Con verano caluroso (Climas Tipo C y D). TMM del mes más cálido >22°C.</p> <p>b. Con verano cálido (Climas Tipo C y D). TMM del mes más cálido <22°C. Al menos 4 meses con medias >10°C.</p> <p>c. Con verano corto y fresco (Climas Tipo C y D). Menos de 4 meses con TMM >10°. Mes más frío con TMM >-38°C.</p> <p>d. Con invierno extremadamente frío (Clima Tipo D). TMM del mes más frío <-38°C.</p> <p>h. Caluroso y seco (Clima Tipo B). TMA >18°C.</p> <p>k. Frío y seco (Clima Tipo B). TMA <18°C. TMM del mes más cálido >18°C</p>

Tabla 3.2 Disponible en: Precipitaciones y temperaturas de los climas
[http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/citla/Cuadernillo Practicas Köppen Meteo-Clima.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/citla/Cuadernillo_Practicas_Köppen_Meteo-Clima.pdf) ,
 Consultado el 22 de febrero, 2017.

Escala Universal Termal

En la siguiente tabla se incluye información de ambos mese más cálidos y más fríos para cada clima agregado.

i: severamente caluroso ≥ 35 °C.	k: fresco, de 0 a 10 °C
h: muy caluroso, de 28 a 35 °C	o: frío, de -10 a 0 °C
a: caluroso, de 23 a 28 °C	c: muy frío, de -25 a -10 °C
b: templado, de 18 a 23 °C	d: severamente frío, de -40 a -25 °C
l: medio, de 10 a 18 °C	e: excesivamente frío: ≤ -40 °C.

Tabla 3.3. Escala Universal Termal se agrega una tercera y cuarta letra respectivamente para cada clima.

Influencia de la latitud

La influencia de la latitud en la temperatura es grande. El ángulo de incidencia de los rayos solares determina la cantidad de calor que recibe una superficie. La latitud y la curvatura terrestre determinan ese ángulo. La zona intertropical (entre ambos trópicos) es la que recibe mayor cantidad de calor porque los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre ella. A medida que nos alejamos del ecuador, los rayos solares inciden con mayor oblicuidad sobre la superficie terrestre. (Imagen 3.6)

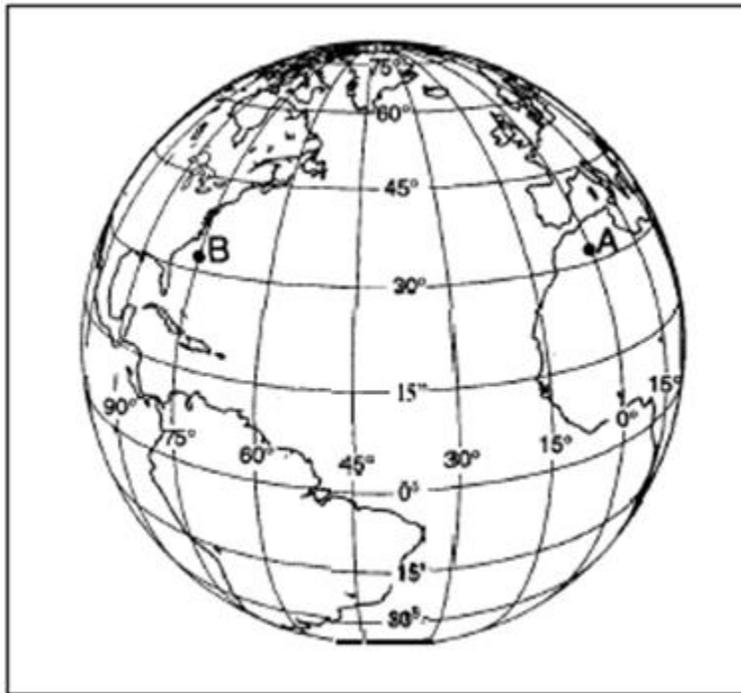


Imagen 3.6 Disponible en <http://www.edusolution.com>.
Consultado 08 de marzo del 2017.

En el solsticio que tiene lugar en el mes de junio, los rayos solares llegan verticales al trópico de Cáncer y, aunque el ecuador celeste del planeta la Tierra está más alejado del Sol, empieza el verano en el hemisferio norte, que coincide con el comienzo del invierno en el hemisferio sur. En el solsticio de diciembre, los rayos solares llegan verticales al otro trópico, el de Capricornio, y entonces es cuando empieza el verano en el hemisferio sur y el invierno en el hemisferio norte (Vivó, 1987).

Los rayos solares, al ser curva la Tierra, tienen que calentar mayor superficie cuanto más hacia los polos caen (el mismo haz de rayos tiene que extenderse y distribuirse por mayor superficie terrestre) y, como consecuencia, el Sol calienta menos al alejarse de las zonas tropicales. Así pues, las temperaturas son más elevadas en el ecuador y descienden progresivamente hacia los polos. En general, cuanto mayor es la latitud, más frío hace, es decir, en las latitudes altas hace menos calor que en las latitudes medias y bajas

De acuerdo a la tabla 3.4 puede apreciarse como la latitud influye sobre los distintos elementos del clima⁵.

Latitud	Temperatura (en °C)	Presión (en mm)	Nubosidad (en tanto %)	Precipitación (en mm)
80°	-16.7	760.5	-	350
60°	- 10	758.7	61	480
40°	14	762.0	49	530
20°	25.2	759.2	40	820
0°	26.3	758.0	58	1950
20°	23	761.7	48	750
40°	12	760.5	56	940
60°	-0.7	743.4	75	1020

Tabla 3.4 Tabla basada en E. de, según Spitaler y Batchelder, Ferrel Murray, Hann y otros. En "Geografía Física" Vivó, 1987

Influencia de la altitud del terreno

La altura sobre el nivel del mar ejerce una profunda acción en el clima, van con signo la presión y la temperatura.

De manera general en el primer de los casos, la disminución de la presión con la altitud se presenta más rápida en climas fríos que en climas cálidos.

El decrecimiento de la temperatura con la altitud está sujeto a variaciones debidas a causas locales. La principal causa de la baja temperatura sucede al aumentar la altura, debido a que existe escasa densidad de aire. En niveles más bajos el aire es más denso, en ocasiones las nubes forman una pantalla que obstaculiza la pérdida de radiación. (*Antichi, et al 1975*).

⁵ Jorge A. Vivó "Geografía Física"

La altitud del suelo sobre el nivel del mar influye sobre los elementos del clima de acuerdo la siguiente tabla:

<i>Altitud</i>	<i>Insolación</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Presión</i>	<i>Vientos</i>	<i>Humedad</i>	<i>Nubosidad</i>	<i>Precipitaciones</i>
Baja	Baja	Alta	Baja	De montaña	Menor	Menor	Menor
Elevada	Alta	Baja	Alta	De valle	Mayor	Mayor	Mayor

Tabla 3.5 (Tabla basada en E. de Martonne)
En "Geografía Física "Vivó, 1987.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, en las bajas latitudes la insolación es más baja, porque es mayor la depresión, y la temperatura es más alta porque el aire es más denso y absorbe más calor. Por el contrario, en las grandes latitudes la insolación es más alta por que la depresión es menor y la temperatura es más baja por que el aire es menos denso y absorbe menos calor.

Las montañas como divisoras de climas

Las montañas tienden a coincidir con la línea que separa las zonas climáticas, debido a que interrumpen el libre curso de los vientos y la insuficiencia en la distribución de las lluvias y la temperatura.

Los pequeños accidentes del relieve también desempeñan un papel importante en la distribución de los climas, la orientación de las líneas del relieve contribuye en la dirección de los vientos que tienden a seguir el curso de las líneas orográficas sin atravesarlas. (*Antichi, et al 1975*).

El suelo y el clima

La naturaleza de los suelos figura también dentro de los factores determinantes del clima en menor importancia, debido a que la superficie de colores oscuros absorbe los rayos del Sol más que la de colores claros y están por lo general más calientes durante el día, calentando el aire que se encuentra encima de ellos.

Los terrenos secos tales como las arenas tienen un calor específico bajo y varían rápidamente la temperatura, mientras que los húmedos como es el caso de los arcillosos encontrados en la

zona de estudio retienen la humedad y tienden a conservar el calor y el frío, además si no tienen buen drenaje favorecen a la formación de nieblas. (*Antichi, et al 1975*).

Influencia de la vegetación

El clima es el principal determinante de la vegetación, la presencia de bosques o de prados, se decide en general por la cantidad de precipitación, pero a su vez la vegetación obra poderosamente sobre el clima.

Pueden resumirse las influencias de la vegetación sobre los elementos del clima, según las investigaciones de Emmanuel de Martonne en la tabla siguiente:

<i>Vegetación</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad</i>	<i>Precipitaciones</i>
Arboles (bosque)	Más baja	Máxima	Aumenta
Plantas (pastizal)	Más alta	Media	Media
Plantas clima seco (xerófila)	Variación térmica	Mínimo	Disminuye

Tabla 3.6 Tabla basada en E. de Martonne
En "Geografía Física" Vivó Jorge, 1987.

En el bosque las temperaturas son más bajas, la humedad es máxima y aumentan las precipitaciones. En el pastizal las temperaturas son más altas, la humedad y la precipitación son medias En las regiones xerófilas es notable la oscilación térmica, la humedad es mínima y disminuyen las precipitaciones.

3.8 Ciclo del agua

Sarmiento, (2006) establece que el agua es una de las necesidades básicas de la vida y el eje en el que gira el manejo de las cuencas hidrográficas, es fundamental conocer como es su movimiento en la Tierra, para saber en qué parte de este movimiento puede influir en el hombre, el agua está en movimiento siempre viaja de la atmosfera y regresa a la Tierra repetidas veces en un ciclo denominado como el "ciclo del agua". (Imagen 3.7)

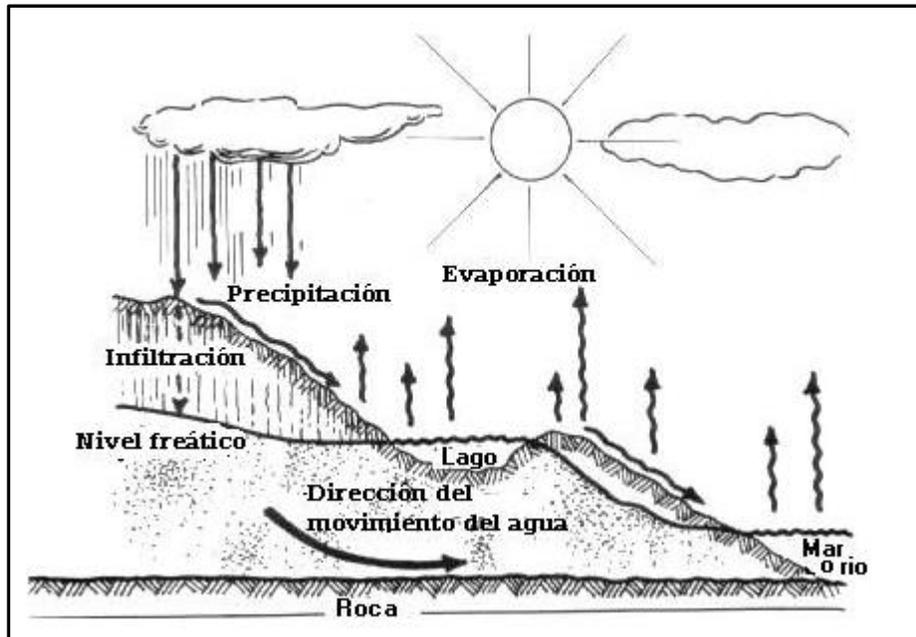


Imagen 3.7 Disponible en: <http://www.jmarcano.com>; Consultado el 18 enero de 2017.

Como se puede apreciar el ciclo hidrológico es importante en el manejo de una cuenca, pueden deducirse las pérdidas (evaporación, transpiración de plantas) y ganancias de agua (almacenamiento por retención del suelo, agua freática, lagos y represas) dentro de la cuenca,

Como ya se mencionó, el agua superficial puede estar almacenada o en movimiento en forma de flujo, la escorrentía es parte de la precipitación que se dirige en forma de flujo superficial pendiente abajo, hacia cuerpos de agua durante la tormenta, es decir por exceso de precipitación (Muñoz, et al, 2005).

Existen factores que afectan la escorrentía:

- a) *Intercepción por vegetación*: En cubiertas vegetales densas o bosques donde alcanza valores de hasta un 25% del agua total precipitada anualmente o un máximo de 10 mm por tormenta.
- b) *Evaporación*: Extracción de humedad del suelo, por el cual el agua vuelve a la atmósfera en forma de vapor.

- c) *Infiltración*: Todos los factores que afectan a infiltración y directamente a la escorrentía: tipo de suelo (textura, conductividad), contenido inicial de humedad, presencia de horizontes, cubierta superficial y precipitación.

Henao Sarmiento, (2006) establece otros criterios que influyen en la escorrentía:

1. *Superficie del suelo*: Mientras más liso sea el suelo, el agua fluye con mayor facilidad aumentando el volumen de escorrentía, velocidad y energía.
2. *Capacidad de infiltración del suelo*: Está determinada por la textura, la estructura, la presencia de grietas y raíces, a mayor capacidad de infiltración habrá menor porcentaje de escorrentía.
3. *Intensidad de lluvias*: Es la cantidad de lluvia caída en un minuto, cuando la intensidad sobrepasa la velocidad de infiltración de los suelos, escurre un alto porcentaje de lluvia, el volumen de escorrentía está regido por el grado de saturación del suelo.
4. *Porcentaje de humedad del suelo*: En el momento de ocurrir la lluvia, si el suelo está seco, tendrá mayor capacidad de absorber agua y si se encuentra húmedo se saturará más rápidamente.
5. *Pendiente y micro relieve*: A mayor grado de longitud de pendiente habrá menos tiempo de infiltración y aumento del volumen y velocidad de escorrentía. La irregularidad del relieve favorece la infiltración formando encharcamientos.

Todos estos factores no actúan independientes, la escorrentía es una resultante de la acción simultánea de ellos.

Almacenamiento del agua en el suelo

Los suelos están formados por partículas sólidas que constituyen de un 40 a 50% del volumen del suelo y de espacios o poros llenos de agua o de aire, el tamaño, forma, distribución y continuidad de estos poros determinan la velocidad del movimiento hídrico y la cantidad de agua queda retenida en el suelo, presentándose dos clases de almacenamientos:

1. *Almacenamiento de retención temporal o capilar*: Los poros más pequeños (capilares) retienen el agua que es absorbida por las raíces y evaporación del suelo.

El agua retenida en esta forma no alimenta el caudal de las corrientes, ni el nivel freático, pero su humedad es aprovechada por la vegetación.

Los factores que afectan el almacenamiento de agua capilar son: la textura, la estructura, la profundidad y el contenido de materia orgánica en el suelo.

2. *Almacenamiento de retención temporal o de detención*: Es el formado por el agua que se mueve en los poros no capilares debido a la fuerza de gravedad, alimentando corrientes subterráneas.

En cuencas hidrográficas, su principal objetivo es suministrar agua permanentemente, la vegetación por medio de la capacidad radicular favorece al movimiento del agua formando canalillos verticales, aumentando la capacidad de almacenamiento (*Henaó, 2006*).

CAPÍTULO

CARACTERIZACIÓN FÍSICA

4

“Nadie está a salvo de las derrotas, pero es mejor perder algunos combates en la lucha de nuestros sueños, que ser derrotados sin saber siquiera porque se está luchando”

Paulo Coelho

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

En este capítulo se identifican aquellas características físico geográficas de mayor importancia dentro del área de estudio, que permitirán describir y analizar aquellas causas y características con las que cuenta la zona, que sean las más aptas para el desarrollo de las crecidas en la zona.

Para esto es necesario realizar la localización espacial del área de estudio, la cual nos proporcionara la información requerida de usos de suelo, vegetación, edafología, clima, entre otras para su posterior correlación y análisis.

De acuerdo a Futuro, (2008), el desarrollo y consecuencias que originan los procesos naturales dependen del nivel de desarrollo de la zona en la que se presente el proceso, las características y la localización, de acuerdo a estas determinan la magnitud y el tipo de fenómenos que pueden presentarse, entre los que podemos encontrar los factores políticos, económicos, sociales y ambientales, siendo estos los últimos a los que este trabajo pondrá mayor hincapié para lograr los objetivos de estudio.

Para la elaboración del análisis se recurrió a la delimitación de una microcuenca derivada de la subcuenca del río Tejalpa, la cual se encuentra dentro de los límites territoriales de los municipios de: Zinacantepec, Almoloya de Juárez y Toluca. Dentro de estos municipios podemos encontrar localidades como San Juan de las Huertas, San Cristóbal Tecolít, San Miguel Zinacantepec, San Luis Mextepec, Tecaxic, San Francisco Tlalcilcalpan, Calixtlahuaca, San Diego Linares y Jicaltepec.

El Arroyo Tejalpa, es el principal escurrimiento de esta subcuenca, el cual se convirtió en un colector de aguas negras de los municipios por los que atraviesa. De los municipios que integran esta subcuenca, sólo Temoaya carece de Plan de Centro de Población por lo que no existe una planeación que permita ordenar el crecimiento urbano de manera eficiente, dando como resultado un daño severo a los escurrimientos⁶

Más específicamente el área de estudio se ubicada en la porción Noroeste de la antes mencionada, se localiza entre los límites municipales de los municipios de Almoloya de Juárez en su porción Suroeste y Zinacantepec en la porción Noreste.

Las coordenadas extremas son las siguientes:

Latitud Norte, 19° 17' 23"

Longitud Este, 99° 42' 07"

Latitud Sur, 19° 33' 01"

Longitud Oeste, 99° 48' 36"

La zona tiene colindancia hacia el norte con el poblado de San Mateo Tlachichilpan y Cañada de Guadarrama ambos pertenecientes al municipio de Almoloya de Juárez, al Sur con la localidad de San Antonio Acahualco, al Este con el municipio de San Miguel Zinacantepec y San Francisco Tlalcilcalpan y al Oeste con el poblado de Santa María del, y los barrios denominados Barrio de Guadalupe y Loma de Sn Francisco, los dos primeros pertenecientes al municipio de San Miguel Zinacantepec. (Imagen 4.1)

⁶ Atlas Urbano de la Cuenca Hidrológica del Río Lerma, 2002.

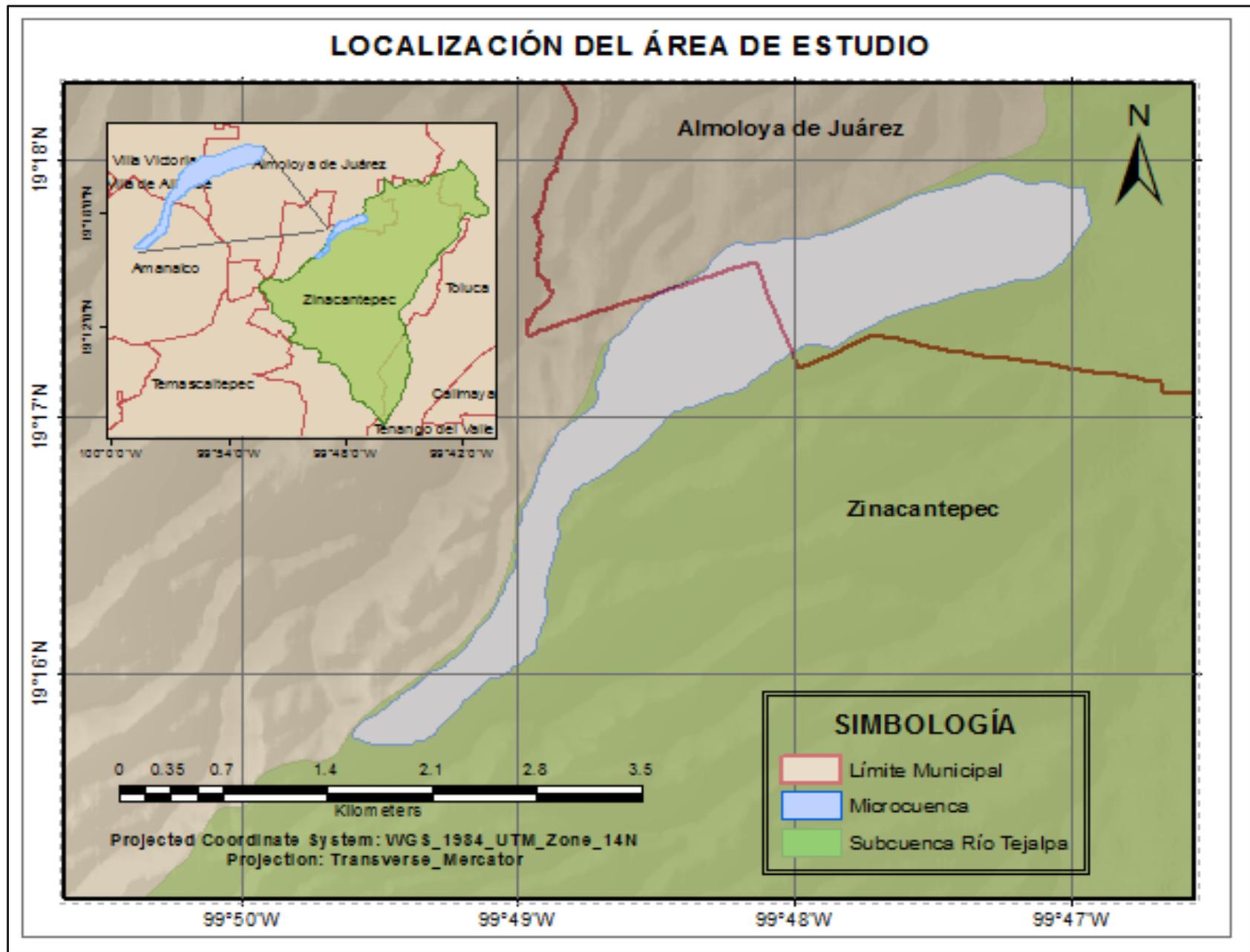


Imagen 4.1 Localización de la zona de estudio. Fuente: Modificado de INEGI, 2010

4.1 Geología

El material originario constituye un elemento pasivo en edafogénesis⁷ sobre el que actúan otros factores que lo transforman, e intervienen en su organización, este material representa el estado inicial del sistema, que puede ser una roca consolidada, un depósito no consolidado, el suelo en el momento cero. (*J. Porta, et al, 1999*).

Jenny, (1941) define como materia original a “el estado del sistema de suelos en el tiempo cero de su formación”.

De acuerdo a los estudios realizados por De la Torre, (2003) la zona se encuentra dentro del Sistema Volcánico Transversal, el cual se extiende desde el Volcán de Colima Hasta el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, atravesando los estados de Veracruz, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Morelos, Guanajuato, Michoacán, Guerrero, Colima, Nayarit y México en el que destaca el Nevado de Toluca.

De los datos recopilados en el Atlas de Riesgos del municipio de Almoloya de Juárez, (2010), la zona se encuentra dentro del Sistema Volcánico Transversal, en el que se encuentran depósitos de arenas y cenizas dispersas entre extensas llanuras, destacan amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos o por depósitos de lagos antiguos.

También se encuentran unidades litológicas como el aluvial, que debe su formación al arrastre de material detrítico que es transportado a lo largo del río, depositado a lo largo de las llanuras de inundación, compuesto en su mayoría por arenas y gravas pequeñas, encontrada en la parte Noreste de la microcuenca, o bien el punto de desfogue de la misma, esta zona está sujeta a inundaciones sobre todo cuando las precipitaciones pluviales rebasan la capacidad de infiltración de los suelos, provocando que en esta zona se generen inundaciones que producen daños económicos a los residentes de esta área.

⁷ Proceso de formación y evolución del suelo (Martínez, 2000)

4.2 Clima

Como ya sabemos el planeta es el encargado de muchos de los procesos que condicionan la estabilidad del mismo, este está compuesto de factores físicos que forman el medio ambiente tales como el clima, la vegetación, el relieve, el suelo, entre otros. El *clima* es uno de los más importantes porque actúa sobre los otros modificándolos, de tal manera que en grandes áreas con clima semejante pueden tener enorme parecido en cuanto a vegetación y suelos. (García ,1978).

De acuerdo a los datos vectoriales serie II del INEGI y al grupo de climas de Köppen en la zona el clima predominante es el Templado Subhúmedo C(w2) (w), donde este clima se caracteriza por:

- Localizarse en áreas montañosas o mesetas de altitud superior a los 300 o 1000m.
- Estos climas dependen de la altitud, la latitud y de la exposición a los vientos húmedos, en lugares que se encuentran expuestos a la influencia de los vientos húmedos.
- Temperatura media del mes más frío inferior a 18°C, pero superior a -3°C.
- La temperatura del mes más caliente superior a 10°C
- Presenta temperaturas entre los 8° y los 22°

Como se puede observar el clima está influenciado por variables que lo determinan y que son importantes para el desarrollo del mismo.

En el caso de la zona de estudio de acuerdo a los datos extraídos de CONABIO la temperatura más elevada se presenta durante el solsticio de verano, en el mes de mayo y la más baja en el mes de enero. Estos meses también coinciden con el registro de temperaturas máximas y mínimas extremas del año, cuyos valores oscilan entre los 5.5°C bajo cero hasta los 28 °C. En cuanto a la precipitación CONAGUA observa registros de precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año. En tanto que CONABIO registra precipitaciones entre los 2,000 a 4,000 mm anuales.

En la siguiente tabla se presentan las temperaturas medias mensuales para el periodo 1958 – 2000 de la estación San Francisco.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

(Grados centígrados)

ESTACIÓN Y CONCEPTO	PERIODO	MES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
SAN FRANCISCO													
TLALCILALCALPAN	2000	10.5	12.2	13.8	15.2	14.9	14.7	14.3	14.0	14.2	13.2	12.6	9.9
PROMEDIO	De 1958 a 2000	10.7	11.7	13.7	15.0	15.7	15.3	14.4	14.4	14.2	13.4	12.1	11.0
AÑO MÁS FRÍO	1975	8.1	9.8	12.9	14.4	11.9	12.1	11.0	12.0	11.2	11.4	10.5	9.7
AÑO MÁS CALUROSO	1972	14.2	14.8	16.1	17.6	19.0	18.3	18.0	18.4	15.4	17.1	16.6	13.3

Temperatura Media mensual (1958- 2000)

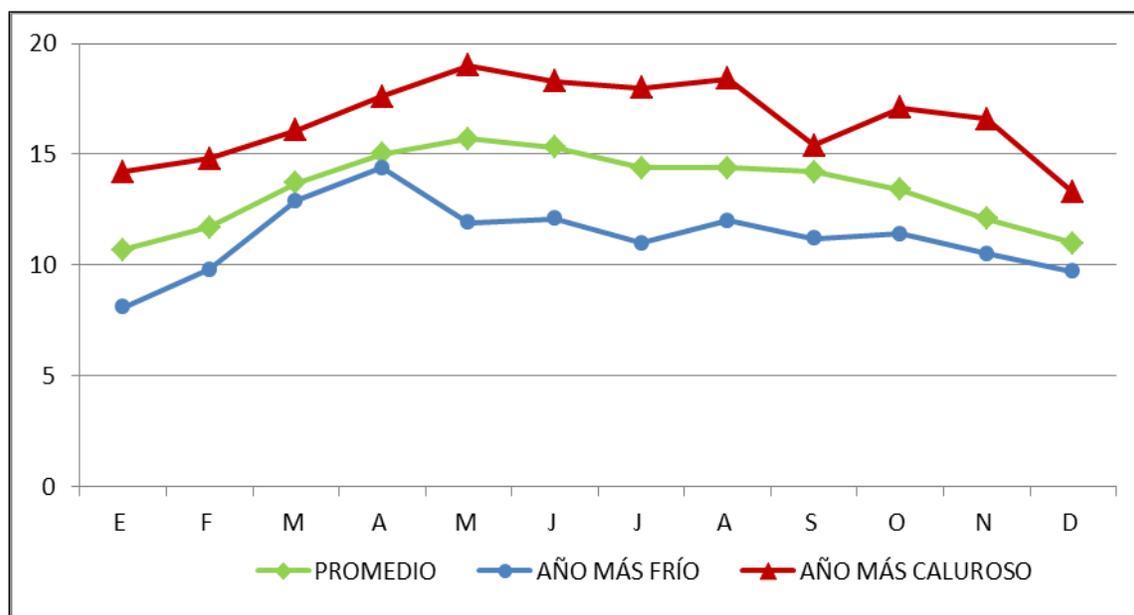


Imagen 4.2: Oscilación de temperatura durante el periodo 1958-2000

Fuente: CNA. Registro mensual de temperatura en °C. Inédito.

Estación San Francisco Tlalcilcalpan

De acuerdo al Registro Mensual de Temperatura Media, (Imagen 4.2) el promedio de temperatura durante este periodo, se mantuvo constante, va de los 10 a los 15°C como temperatura máxima, la cual se presenta durante los meses de abril a junio, bajando a los

14°C en los meses siguientes de julio a septiembre. Se presenta la mayor disminución de la temperatura en los meses de diciembre y enero debido a la temporada invernal, los meses restantes la temperatura va de los 11°C hasta los 13°C.

El año más frío se presenta en 1975, en comparación con el promedio y las temperaturas para el año 2000, en este año se presentan temperaturas por debajo de los 10°C, principalmente en los meses de Diciembre a Febrero, con temperaturas que oscilan entre los 8°C a los 9°C por ser temporada invernal, como ya sabemos esta estación es la más fría del año, sus características son inevitablemente definidas en contraste con las otras estaciones del año; esto se debe a que durante los días invernales las temperaturas son más bajas y hay menos horas de luz solar. Durante esta estación los días aún son menores que las noches, los rayos solares caen bastante inclinados considerado como periodo de enfriamiento para este hemisferio. Estas características se acentúan a medida que nos alejamos de los trópicos y nos acercamos a los círculos polares, esta comienza el 21 de diciembre culminando el 21 de marzo⁸.

Las temperaturas más altas se presentan en el transcurso de los meses de marzo a junio, justo cuando se presenta la primavera, no rebasando temperaturas de 14°C, el resto de los meses se presenta una temperatura constante que va por encima de los 10°C a los 12°C como máxima, no importando la estación del año que transcurre.

El año más caluroso se presenta durante el tiempo comprendido en el año 1972, justo tres años después que se presenta el año más frío, las temperaturas más bajas se presentan naturalmente en la época invernal, del mes de Diciembre que es la más baja en todo el año de 13°C a Febrero con una constante de 14°C en estos dos meses, en Marzo se empiezan a elevar a las la temperaturas, estas van de los 16°C a la máxima durante esta estación que es de 18°C, en este periodo los rayos solares disminuyen en el hemisferio Norte, es decir los rayos solares caen menos inclinados en este hemisferio, por lo que los días se van haciendo más largos que las noches, por consecuencia existe un periodo de calentamiento mayor o a lo que llamamos la entrada de la Primavera (21 marzo – 21 de Junio) para este hemisferio.

⁸ “Apuntes de Climatología”. Autora: Enriqueta de García de Miranda, 1978.

También se observa que durante el verano (21 junio – 23 septiembre) las temperaturas también son elevadas en la mayor parte de los meses con una temperatura mayor a los 18°C y la mínima se presenta en el mes de septiembre con 15°C, en esta estación los rayos al igual que en la primavera siguen cayendo menos inclinados siendo un segundo periodo de calentamiento para este hemisferio provocando altas temperaturas durante todo el año.

A continuación, se presenta un hidrograma el cual mide el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo, que pasa de manera continua durante todo el año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores contra el tiempo. (Aparicio,2004).

PRECIPITACIÓN PERIODO

1958– 2000

(Milímetros)

ESTACIÓN Y
CONCEPTO

PERIODO MES

E F M A M J J A S O N D

SAN FRANCISCO

TLALCILALCALPAN 2000 0.0 9.6 0.9 22.3 140.4 218.5 153.4 158.2 129.0 95.9 3.8 5.0

PROMEDIO De 1958 a 17.2 7.6 12.0 34.1 75.5 128.1 152.6 133.1 123.8 67.5 15.2 12.0

AÑO MÁS SECO 1974 0.0 2.0 40.0 23.0 44.5 95.5 168.5 37.2 86.0 4.2 19.0 0.0

AÑO MÁS LLUVIOSO 1958 133.5 5.5 0.0 0.0 99.5 81.5 181.0 117.5 186.0 121.5 88.0 41.4

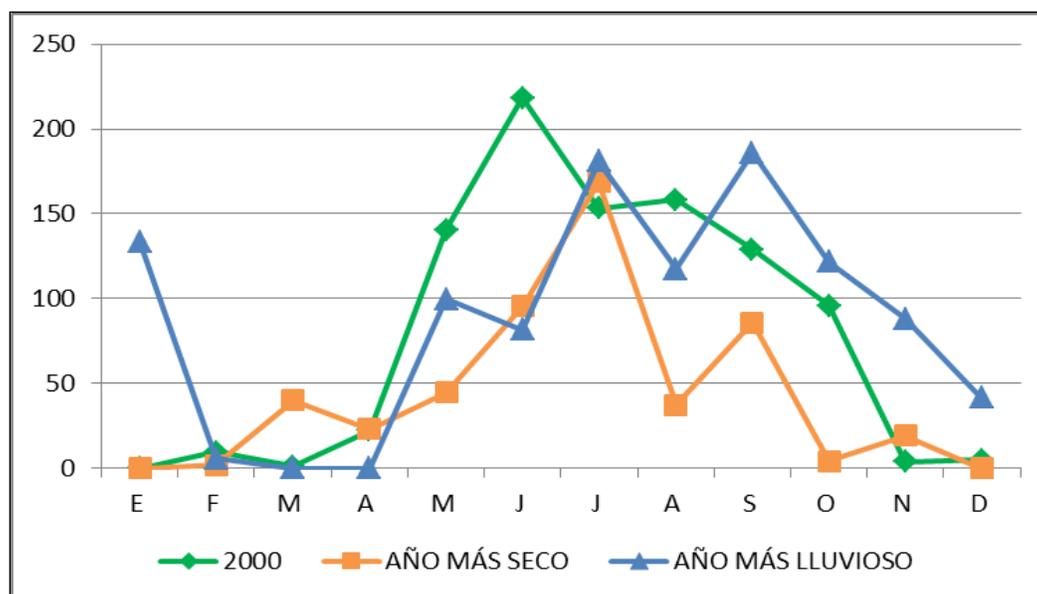


Imagen 4.3 Precipitación promedio mensual durante 1958-2000

Fuente: CNA. Registro mensual de temperatura en °C. Inédito.

Estación San Francisco Tlalcilcalpan

De acuerdo a la figura 4.3 en el año 2000 la mayor cantidad de agua que precipitó se presentó durante los meses de mayo a septiembre, a mediados de la primavera y durante el otoño, el total de agua precipitada oscilo entre los 96 mm en el mes de octubre con la menor presencia de precipitación y los 218 mm en el mes de junio que es el mes que precipitó con mayor intensidad.

El resto del año en algunos meses no se obtuvo registro de precipitaciones debido a que, en temporada invernal, es temporada seca, y las precipitaciones suelen presentarse uno a dos días, pero en proporciones milimétricas bajas.

Para 1958 existe mayor presencia de precipitación durante la mayor parte del año, lo que se considera año lluvioso, es curioso pues uno de los meses con mayor presencia de la misma, se observa durante el mes de Enero con una precipitación de casi 134 mm, los meses de Febrero a Abril disminuya drásticamente de tal forma que no existe registro de precipitación para esta zona en estos meses, posteriores a ellos vuelve a incrementar la precipitación de 99 mm hasta su máximo registro en los meses de Julio a Septiembre con un registro de 186 mm.

De acuerdo al Registro Mensual de Precipitación el año de 1974 fue el más seco durante el periodo que comprenden los años de 1958 – 2000, en este año se presenta mayor, escases de precipitación en el mes de octubre con 4.2 mm de agua y el transcurso de los meses de diciembre a febrero, algunos sin dato de registro de precipitación.

En la gráfica se observa como los primeros meses de este año la precipitación es escasa, incrementándose hacia los meses de marzo a octubre teniendo mayor presencia en el mes de Julio, precisamente en el mes que se presentan las inundaciones en la zona de estudio

Visualizando los datos en la gráfica se puede observar que, no importando el año, la estación y si el año es seco lluvioso, la mayor presencia de agua precipitada para estos tres años se presenta en el mes de Julio, en la gráfica se observa que en esta fecha los datos son similares

Variación de temperatura y precipitación año 2011.

AÑO 2011

CONCEPTO	MES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T MÁX	22.5	24	25	27	28	25	22	23.5	24	23	24	23
T MIN	-1	2	3	7	7	1.5	9	10	2	0	1	0
PRECIPITACIÓN	0.7	2.2	1.5	28.5	23.5	25.7	25.5	31	17.5	20.5	8	0.5

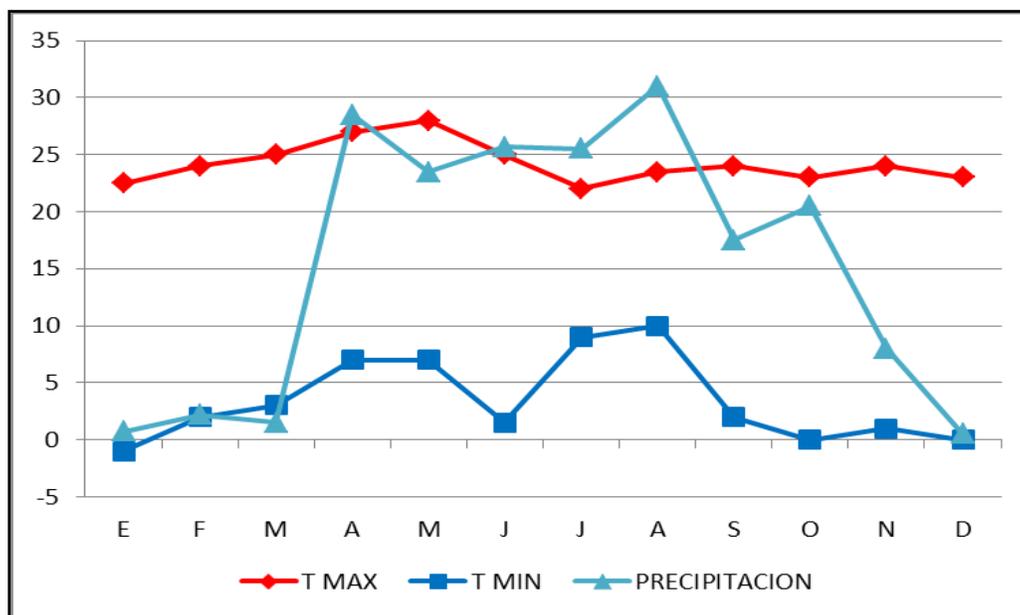


Imagen 4.4 Variación de la temperatura Máxima, Mínima y Precipitación, durante el año 2011. Fuente: CLICOM, Datos 2011

Para los habitantes de la zona habitacional, el año 2011 se convirtió en un año trágico, en su mayoría, les dejó importantes daños económicos a muchos de ellos, debido a la presencia de la primera inundación suscitada en la zona.

En la Figura 4.4 muestra los datos de precipitación, temperatura máximas y mínimas que fueron recabados durante el 2011, año en que se presentó por primera vez este proceso, de la estación meteorológica 15089 – San Francisco Tlalcilcalpan.

La temperatura máxima como se puede observar es constante debido a que no hay cambios drásticos de aumento o disminución de la misma durante todo el año, como se puede observar

las temperaturas oscilan entre los 22°C, como mínima en el mes de Julio y de la máxima de 28 en el mes de mayo en el transcurso de la primavera.

La temperatura más baja se presenta durante el otoño y el invierno, con temperaturas mínimas que disminuyen de los 2° hasta la temperatura más baja -1°C en el mes de enero incrementando paulatinamente hasta el mes de agosto, mes que se presenta la temperatura más alta de 10°.

Como se observa la precipitación es casi nula en los primeros tres meses del año y el último del mismo, en esta época y en este hemisferio la Tierra se enfría y los rayos solares tienen un ángulo de inclinación menor que no permite que la Tierra se caliente y genere todos los procesos que permitan la precipitación.

En el mes de abril se incrementa la presencia de lluvias, con una presencia constante en los siguientes meses con una máxima de agua precipitada en el mes de agosto de 31 mm, seguido de abril con 28mm. En el mes de Julio se presentó un total de precipitación de 25.5 mm, justo a finales de este se presentó la inundación en la zona que produjo años económicos y estructurales en las viviendas de los habitantes de la zona.

4.3 Edafología

Para la **FAO** los suelos están compuestos por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.

Para J. Porta, *et al*, (1999) los factores formadores de los suelos son: la roca madre o material original (r), el clima (cl), los organismos vivos (o), la geomorfología (g) y el tiempo (t). Su acción determina la dirección, velocidad y duración de los procesos formadores.

Es importante recalcar que los suelos van a influir en el proceso de escorrentía, son importantes su naturaleza, su color y su tipo de vegetación. Entre más impermeable es el suelo, más rápida es la escorrentía. Así como las precipitaciones dependen de las condiciones climatológicas y meteorológicas de la cuenca, la escorrentía y la pérdida de precipitación, dependen de las características físicas de la misma, los suelos desempeñan un papel importante, dependen del grado de infiltración a lo largo del cauce, la escorrentía y las pérdidas van a determinar el volumen de agua aportado en la cuenca y la manera como este volumen de agua se distribuye cuenca abajo (*Monsalve, 1999*).

Cabe recalcar que en el momento en que el agua de lluvia entra al suelo se escurre por encima se va regulado hasta cierto punto, por el relieve, la textura, la porosidad y el potencial de contracción y dilatación de la Tierra, y que solo una porción de las lluvias totales se desplaza por el perfil completo de los suelos, se producen pérdidas de agua del suelo por evaporación de la superficie o por medio de las plantas (transpiración) (*S.W. Buol. et al. 1990*).

De acuerdo al conjunto de datos vectoriales edafológico, serie II del INEGI, la unidad de suelo predominante en la microcuenca es de tipo Andosol (T), los cuales son suelos derivados de cenizas volcánicas, son ligeros con alta capacidad de retención de agua y nutrientes, son idóneos para utilizarse en explotación forestal y son permeables. (*Carlos Silva, 1981*).

De acuerdo a la FAO Unesco, el término *andosol* deriva de los vocablos japoneses "an" que significa negro y "do" que significa suelo, haciendo alusión a su carácter de suelos negros de formaciones volcánicas.

El material original lo constituyen, cenizas volcánicas, pero también pueden aparecer sobre tobas, pumitas, lapillis y otros productos de eyección volcánica.

La mayoría de los andosoles esta cultivados de manera intensiva con una variedad de plantas.

El perfil de tipo A (B) C (Imagen 4.5) tienen casi siempre dos horizontes:

A1 Color oscuro friable, notable espesor (de 15 a 60 cm), estructura grumosa fina.

(B) a veces es espeso (de 30 a 100 cm), color pardo amarillento, cuya textura al tacto se parece al limo.



Imagen 4.5. Disponible en: <http://geografi-geografi.blogspot.mx>
Consulado el 20 de febrero del 2017

El horizonte de un suelo es “una capa paralela a la superficie, con características impartidas por los procesos de formación del suelo” (*Soil Survey Staff, 1962*). Su densidad aparente es baja (0.8), pero el contenido de agua del suelo *in situ* puede alcanzar el 200%, el PH es ácido, de 4.6. (Tabla 4.1) la propiedad de estos suelos para la retención de agua y de las bases quedan profundamente modificadas con su desecación. *Georges (1982)*.

Morfología de los suelos: Se encuentra en su superficie hojarasca suelta, humoso de color pardo de oscuro a negro que puede tener hasta 30cm de espesor.

Génesis: Es resultante de ceniza volcánica, que es el material materno, genera dos procesos el, proceso de hidrolisis y humificación parcial de materia orgánica.

Hidrología: estos suelos se desarrollan en condiciones aeróbicas, tienen un flujo hacia abajo, debido al alto contenido de alófono tienen una elevada capacidad de retención de agua. (E.A.Fitz Patrick, 1987).

Escala de acidez del suelo

PH	Acidez
4.0	Fuerte acidez
5.0	Moderada acidez
6.0	Ligera acidez
7.0	Ligera alcalinidad
8.0	Moderada alcalinidad
9.0	Fuerte alcalinidad
10.0 – 11.0	Muy fuerte alcalinidad

Tabla 4.1 Escala de acidez (Ortiz et al, 1987)

Los suelos de las regiones húmedas son ácidos y aquellos de las regiones acidas son alcalinos, en los suelos ácidos la solución del suelo contiene más iones de hidrogeno (H+) que hidroxilos (OH-), mientras que los suelos alcalinos, la solución del suelo contiene más OH- que H+ (Henry D. Foth, 1987).

Puede desarrollarse en un ambiente ondulado a montañoso, o en pendientes con poca inclinación y poca humedad con un amplio rango de tipo de vegetación, en la zona encontramos arbustos de estatura baja y pastizales utilizados para el pastoreo de ganado.

Presenta una textura arenosa-franca fina o más gruesa en la totalidad de los primeros 50 cm. influye en la velocidad de infiltración de los suelos, texturas arenosas tienen velocidades de infiltración rápida. Texturas arcillosas originan más encharcamientos en las cuencas.

4.4 Hidrología

La Hidrología proviene del griego “*hydor*”-agua, es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases. El objetivo primario de la hidrología es el estudio de las interrelaciones entre el agua y su ambiente.

La hidrología se interesa principalmente en el agua localizada cerca de la superficie del suelo, particularmente en aquellos componentes del ciclo hidrológico que se presentan como lo es, precipitación, evapotranspiración, escorrentía y agua en el suelo. Los diferentes aspectos de estos fenómenos son estudiados en sus varias subdisciplinas. La hidro meteorología, por ejemplo, se concentra en el agua localizada en la capa inferior de la atmósfera, mientras que la hidrometría se encarga de las mediciones del agua superficial, en especial precipitación y flujo corrientes.

La hidrografía involucra la descripción y la confección de mapas de los grandes cuerpos de agua, tales como lagos, mares interiores y océanos. Por el otro lado, la hidrología del suelo, en la que se pondrá mayor énfasis para el estudio de nuestra zona se centra en el agua que se encuentra en la zona saturada debajo de la superficie del suelo, y en la física suelo-agua en la zona no saturada. (*Hidrología, s/f*).

El movimiento del agua en respuesta al gradiente de temperatura requiere un flujo de agua continuo, el agua en los suelos se evapora de las partes más calientes, pasa a través de los poros y se condensa en las partes más frías, este proceso se denomina transporte de vapor (*Ortiz et al, 1987*).

Aparicio (1996) sugiere que el ciclo hidrológico visto desde nivel cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, a la que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida, entre estímulo y respuesta existen varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otro, caracterizados por las características morfológicas de la cuenca (del cual se hablara más ampliamente en el siguiente capítulo) y

su urbanización. Estableció que “la hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su escorrentía, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, así como su relación con el medio ambiente y los seres vivos”.

Escurrimiento

Se define como el agua que proviene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre, que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (*Aparicio, 1997*).

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores se saturan, comenzando a llenarse las depresiones del terreno y al mismo tiempo el agua comienza a escurrir sobre la superficie. El escurrimiento llamado flujo en la superficie del terreno se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos. En su trayectoria hacia la corriente más próxima el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades

Lo que determina el flujo anual en el exutorio de una cuenca son, las condiciones climáticas de la zona y el suelo, la pendiente del terreno, los ríos tienen un efecto importante en el tiempo de respuesta de la cuenca y la vegetación que controla la evaporación de agua en los suelos (*Lamas, 1989*).

En la zona el afluente de agua más importante dentro de la microcuenca, que aportaba este valioso recurso, el cual era ocupado para las actividades de: riego de pastizales, cultivos y pastoreo de animales de los pobladores de las zonas aledañas, se produce del flujo de drenaje generado por las precipitaciones y el escurrimiento que nace del piedemonte de la porción nororiental del volcán Nevado de Toluca; en la ranchería denominada San Pedro Tejalpa, pasando por los poblados de: San Juan de las Huertas, San Pedro Tejalpa, San José el Contadero, San Antonio Acahualco, Zinacantepec, San Francisco Tlalcilcalpan donde estos cauces se unen en la parte Sur de la Zona habitacional en el río San Pedro y se dirige hacia el Noroeste hacia el poblado de San Isidro Reservado y Salitre de miñones.

A lo largo del curso del cauce principal, o de 1er orden, se derivan de varios ríos tributarios de 2do y 3er orden, en la porción Noroeste de la zona, que según la Ley de Hórton del número de ríos, llama al escurrimiento de primer orden aquel que carece de tributarios, el de segundo orden, aquel afluente que recibe al menos uno o varios tributarios de primer orden, finalmente llama *talweg* de tercer orden al curso de agua que le confluyen uno o varios afluentes de segundo orden (*Henao, 2006*).

De acuerdo a las características en que se desarrolla el cauce a lo largo de la microcuenca se puede deducir que el Patrón de drenaje es de tipo ***Dendrítico*** es el más común de los patrones de drenaje. Se desarrolla libremente en todas direcciones, sobre rocas de resistencia uniforme y sobre cualquier tipo de material litológico, lo cual pone de manifiesto la falta de control estructural; la estructura puede ser simple o compleja. Se puede presentar por lo general en pendientes suaves.

El patrón de drenaje indica condición homogénea del área drenada, se forma normalmente sobre materiales de formaciones con las siguientes características:

*Granulación fina

*Material homogéneo

*permeabilidad relativamente baja

* Topografía horizontal y con pendientes muy leves

*Roca dura y homogénea, con resistencia uniforme a erosión

*El drenaje corre en todas direcciones.

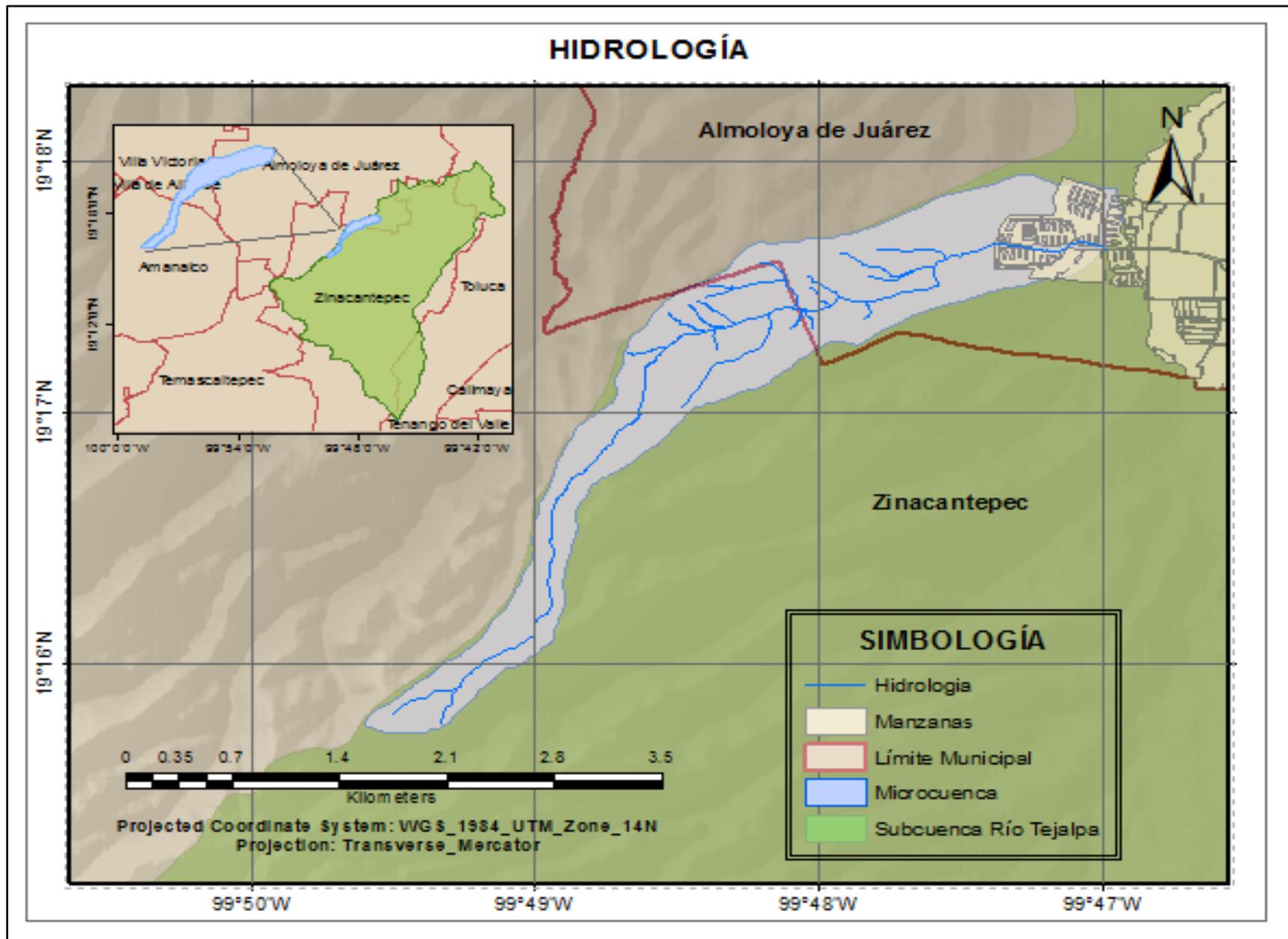


Imagen 4.6 Hidrología del área de estudio
 Fuente: Elaboración propia con base en cartografía de INEGI 2010.

4.5 Uso de suelo y vegetación

La mayor parte del uso de suelo dentro de nuestra area de estudio, es la agricultra de temporal, en su mayoría maíz, avena y trigo, este tipo de agricultura está limitada por la precipitación, esta práctica es observada en zonas con diferentes características morfológicas, ya sea en laderas, pies de monte o zonas planas, se encuentra en la parte suroeste de la microcuenca.

Cultivo	PH	Requerimiento ideal de agua por año (mm)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	6 - 7	600 – 800
Avena (<i>Avena sativa</i>)	5 - 6.5	400 – 600
Trigo (<i>Triticum vulgane</i>)	6 - 8	450 – 650

Tabla 4.2 Se indica en que condiciones de ph y requerimiento de agua que , necesita cada uno de los cultivos para su desarrollo (*Ortiz et al,1987*).

Las actividades como la agricultura de riego, encontrada en la parte Suroeste de la microcuenca, consistía de igual forma en la siembra de maíz, avena, trigo y en algunos casos haba, en la parte baja o de desfogue de la microcuenca se encontraba el pastizal inducido, que era la primera fuente de alimento para el ganado ovino y bobino, este tipo de actividad se podía realizar debido al abasto de la presa (bordo) que captaba una imporante cantidad de agua que escurre de las partes altas de la microcuenca, hoy en dia esta presa desaparecio debido al establecimiento de casas habitacion en la zona, lo que hizo imposible el seguir practicando esta actividad.

En la actualidad se construyen casas habitación, sobre las *llanuras aluviales* en las que estaba anteriormente el bordo o bien en la zona de esfogure de la microcuenca lo que les ocasiona inundaciones en temporada de lluvias.

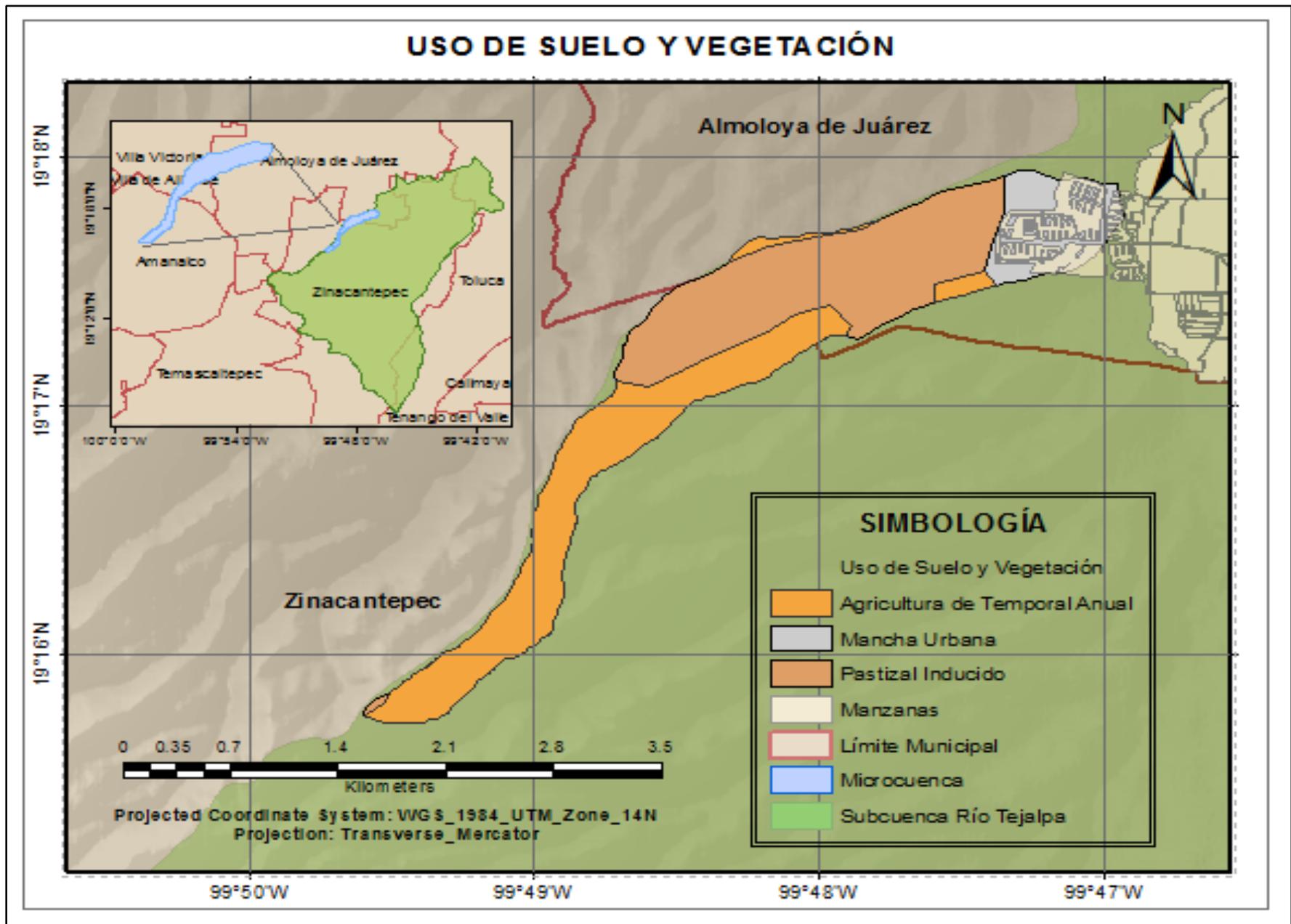


Imagen 4.7 Uso de suelo del área de estudio
Fuente: Elaboración propia con base en cartografía de INEGI 2010

El suelo como medio de crecimiento de las plantas proporciona ambiente para la germinación de semilla, a floración de plantas y funcionamiento del sistema de raíces. El suelo no solo debe suministrar los nutrientes necesarios para los procesos, sino que también debe proveer de un régimen favorable de aire y agua para el correcto funcionamiento de las plantas. (*Gardner, 1980*).

En cuanto a la vegetación encontramos vegetación secundaria consistente en arbustos de tala baja en su mayoría madroño, escobilla y jarilla que son de uso doméstico convirtiéndose en fuente de calor en temporada invernal, y pastizales que se convierten en una buena fuente de alimento para el ganado en tiempo de lluvias, también bosque de pino y encino de donde se extrae el ocote ya sea para uso doméstico o forestal, ilustrados en la siguiente imagen.



Imagen 4.8 Bosque de pino y encino con presencia de vegetación secundaria arbustiva, encontrado en la porción sureste de la microcuenca. A) Escobilla (*Baccharis conferta*), B) Madroño (*Arbutus* sp.), C) Laurelillo (*Quercus laurina*), D) Jarilla (*Dodonaea viscosa*) Fuente: Elaboración propia (2016)

CAPÍTULO

GEOSISTEMA PERTURBADOR

5

“Siento una enorme gratitud por todos los que me dijeron “No”. Gracias a ellos, lo hice yo mismo.”

Albert Einstein.

CAPÍTULO 5. GEOSISTEMA PERTURBADOR

En este capítulo se realiza la evaluación de la posibilidad de ocurrencia de inundaciones, por medio del análisis morfométrico descrita por Hórton, (1945) de la microcuenca el cual nos proporciona aquellas características físicas y de comportamiento a lo largo de la microcuenca. Posteriormente se llevará a cabo el análisis de periodos de retorno, mediante el método de precipitaciones máximas en 24 horas propuesta por Hershfield, (1960), y cálculo de periodos de retorno con ayuda de la metodología empleada por Gumbel, con la información de las estaciones meteorológicas, concerniente a la precipitación máxima en 24 horas producida durante el periodo (1980-2009) obtenido de Aranda, (2006, “Procesos del Ciclo Hidrológico”). El estudio se complementa con el análisis de las precipitaciones máximas probables y sus períodos de retorno.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para lograr lo estipulado anteriormente:

- 1) Delimitación del área de estudio (microcuenca) y obtención de las características morfométricas de la misma. (Hórton, 1945).
- 2) Selección de la estación (es) meteorológica (s) de referencia para la obtención de los datos de precipitaciones máximas diarias en 24 horas de cada año.
- 3) Obtención de la precipitación máxima correspondiente a distintos períodos de retorno según el método de David M. Hershfield, por medio del cálculo de los datos como son:

media de la serie dada de valores máximos, desviación respecto a la media, desviación estándar y desviación típica de los valores extremos.

- 4) Generación de cálculos de Periodos de Retorno, así como las curvas de precipitación, duración periodo de retorno (P-D-PT_r), con apoyo de la metodología propuesta por Gumbel.
- 5) Análisis y resultados

5.1 Características morfométricas de la cuenca

De acuerdo a Llamas, (1989) una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materia solidas transportadas por el agua forman un punto espacial único, una desembocadura o exutorio. Diez años después Monsalves, (1999) emplea el término *hoya hidrográfica* y la define como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal es descargado a través de una salida simple. Finalmente, para Aparicio, (1997) Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera permeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

El ciclo hidrológico, visto desde nivel de cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, construido por la precipitación, a la que esta responde mediante el escurrimiento, entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la reacción entre una y otra, los cuales están controlados por las características morfométricas de la cuenca y su urbanización. (Aparicio,1997)

En este apartado se describen las características físicas o morfométricas de la microcuenca, las cuales desempeñan un papel importante para nuestro estudio, entre las que se encuentran:

a) La cuenca

- Área
- Perímetro
- Ancho promedio de la cuenca
- Forma

b) El río principal

- Densidad de drenaje
- Pendiente media del cauce principal
- Densidad de corrientes de una cuenca
- Umbral de escurrimiento

- Factor forma
- Coeficiente de compacidad
- Pendiente media de la cuenca
- Tiempo de concentración
- Red de drenaje

Desde 1945 Hórton llevó a cabo la descripción cuantitativa de las cuencas y redes de drenaje y formuló algunos de los principios que rigen el desarrollo de los mismos, ideó un estudio de la red fluvial en la que los parámetros principales son: clasificación jerárquica, longitud de los cauces, área, anchura, relieve, entre otros, de los que a partir es posible la determinación de varias características del sistema fluvial. Sala Sanjaume *et al*, (1999) Que a continuación se describen:

Área

El área de la es una de las características morfométricas más importantes de una cuenca, de acuerdo a esta se puede definir o catalogarse como grande, mediana o pequeña. El área afecta las crecidas, el flujo mínimo y la corriente media. (Sarmiento, 2006). De igual forma regula la intensidad de varios fenómenos hidrológicos tales como el caudal y volumen de precipitación. (Llamas, 1989).

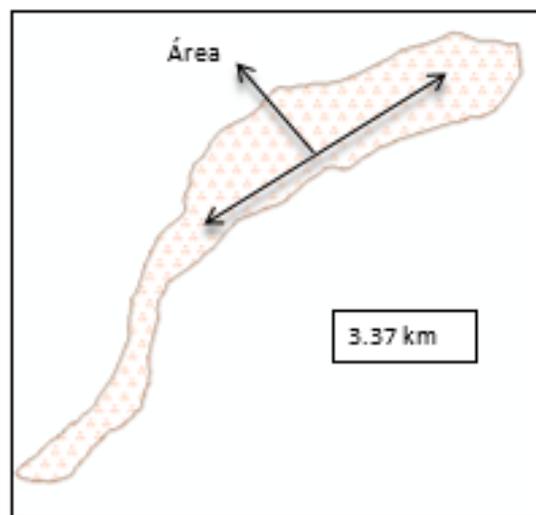


Imagen 5.1: Elaboración propia. Área

Perímetro

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. Llamas, (1989) lo describe como la longitud de su límite exterior, su magnitud depende de la superficie y de la forma

de la cuenca. Y Sarmiento en 2006 lo define como el perímetro se considera como la medición de la línea envolvente del área.

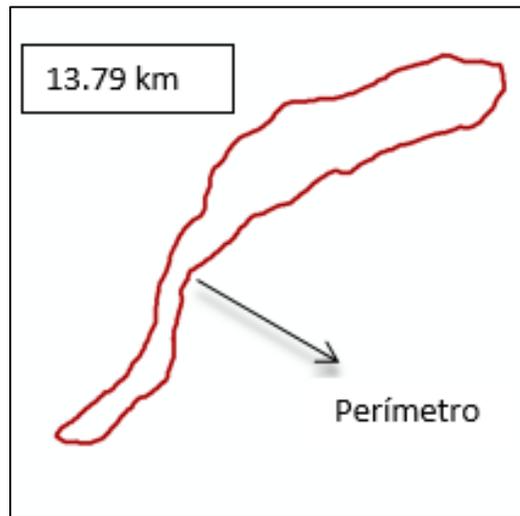


Imagen 5.2: Elaboración propia. Perímetro

Ancho Promedio de la cuenca

Es difícil distinguir entre una cuenca grande y una pequeña basándose únicamente en el tamaño, por que frecuentemente dos cuencas del mismo tamaño pueden comportarse de diferente manera desde el punto de vista de su respuesta hidrológica.

Se ha demostrado que en cuencas pequeñas la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas por las condiciones físicas del suelo y la cobertura, en cambio para las cuencas grandes el efecto de almacenamiento en el cauce llega a ser pronunciado.

En Aranda, (1992) el ancho promedio de la cuenca se obtiene dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial, en la cual se aplica la siguiente formula:

$$\text{Ancho Promedio} = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud del cauce principal}}$$

$$Ap = \frac{3.37}{6.31} = 0.53$$

Forma de la cuenca

La forma de la cuenca es un factor importante que interviene fuertemente en los procesos de inundación, esta forma según Sarmiento, (2006) controla la velocidad con la que el agua llega al cauce principal, sigue el curso, desde el origen hasta su desembocadura.

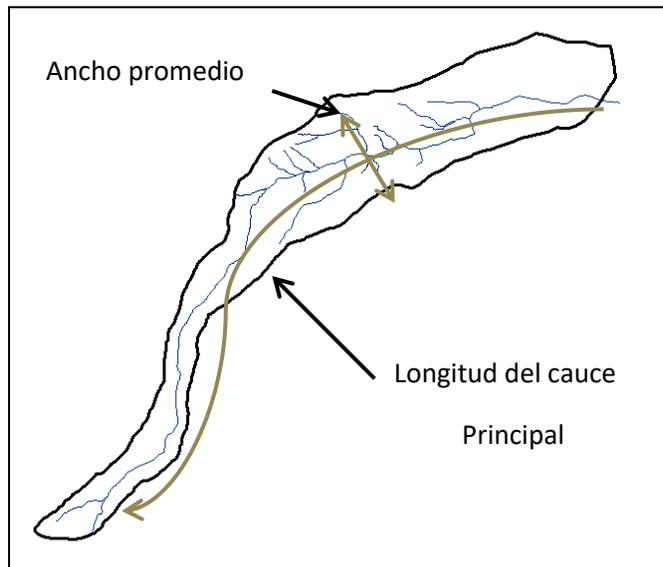
La forma de un sistema corresponde a la distribución o arreglo geométrico de los tributarios que integran la hidrografía. De acuerdo a Campos Aranda, (1992) la forma de la cuenca afecta las características de la descarga d la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo.

La forma de la cuenca influye en el escurrimiento superficial del cauce, principalmente en épocas de avenidas cundo se presentan precipitaciones grandes. (UNAM, *s/f*).

Factor Forma

Este índice morfométrico expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca. Monsalves, (1999) considera que es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la hoya, la longitud axial se mide siguiendo el curso d agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la hoya.

Para sacar este parámetro se emplea la siguiente formula:



$$\mathbf{Ff} = \frac{\mathbf{Ancho\ promedio}}{\mathbf{Longitud\ axial}}$$

$$\mathbf{Ff} = \frac{0.53}{6.31} = 0.085$$

Imagen 5.3: Elaboración propia. Factor forma

Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma.

En este caso nuestra microcuenca tiene una forma alargada que va de Sureste (parte superior de la microcuenca) a Noroeste donde desemboca su cauce en la zona habitacional.

El ancho promedio de la microcuenca es de 0.53 el cual refleja que no es una microcuenca de grandes extensiones, lo cual indica que es poco probable que se presenten inundaciones de acuerdo a este factor y al tamaño de la misma, se puede apreciar un solo cauce que a su vez recibe el agua de otros pequeños ríos tributarios, los cuales dependen de la cantidad de agua que precipita la cual en ocasiones rebasa la capacidad de infiltración de los suelos y generan las inundaciones que se han presentado en la zona.

Coefficiente de Compacidad (Grávelas)

Elevación sobre el nivel del mar del punto más alto y más bajo de la cuenca hidrográfica, o bien definida como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo equivalente.

Se define así al valor resultante de dividir el perímetro de la cuenca, por el perímetro de un círculo de igual área que la de la cuenca, para hallarlo se aplica la siguiente fórmula (*Sarmiento, 2006*):

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$$

$$K_c = 3.1416 (3.37) = 10.60$$

$$K_c = \sqrt{10.60} = 6.51$$

$$K_c = (6.51)^2$$

$$K_c = 2.12$$

Pendiente Media de la cuenca

La pendiente del terreno es un factor importante en el proceso de flujo, en hoyaas pequeñas, donde los procesos de flujo pueden ser el factor dominante (Linsey, 1997). Es el cociente entre la diferencia de elevación máxima, medida entre el punto más alto del límite de la cuenca y la desembocadura delri principal y la mitad del perímetro de la cuenca. (Llamas, 1989).

$$P_m = \frac{D \cdot l}{S}$$

P_m = Pendiente media
 l = Pendiente vertical entre curvas de nivel
 S = Área de la cuenca
 D = Longitud total de las curvas de nivel

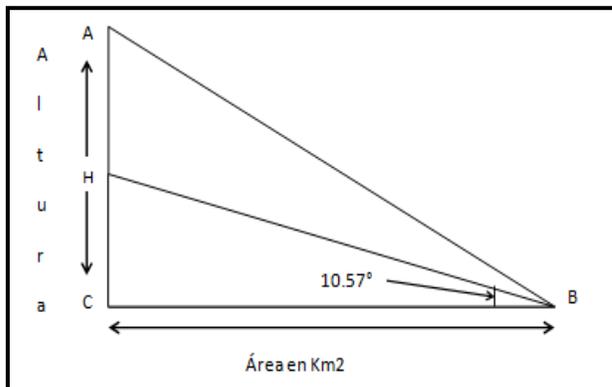
$$P_m = \frac{(51.2711) (0.01)}{3.37}$$

$$P_m = 0.15$$

$$\% = 15.20$$

Para Sarmiento, (2006) esta medida se obtiene relacionando las diferentes alturas por donde pasa un río (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros.

Para sacar este parámetro se emplea la siguiente formula:



$$A = 3.37 \text{ km}$$

$$P_m = 10.57^\circ$$

$$\text{Altura} = 3050 \text{ msnm}$$

$$ABC = \text{Área de la cuenca}$$

$$H = \text{Altura media}$$

Imagen 5.4: Altura media de la cuenca, Tomada de Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas, Sarmiento, 2006.

5.2 Morfometría hidrográfica o del cauce principal

Densidad de Drenaje

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la microcuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. (Ibáñez *et al.* 1999).

Densidad de drenaje (Dd): Está definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma (López y Mintegui, 1987). Caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, por medio del grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante (Henaó, 1988). Cabe mencionar que se denomina red hidrográfica a la totalidad drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluye el escurrimiento superficial.

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la misma frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento (Gaspari, *et al.*, 2012).

Se calcula dividiendo la longitud total de todos los cauces encontrados en la cuenca entre el área total que las contiene:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

A

L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perenes de la cuenca en km.

A: Superficie de la cuenca en km.

$$Dd = \frac{13.24}{3.3} = 3.92$$

3.3

Pendiente media del cauce principal

La topografía o relieve de la cuenca puede tener más influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma misma, la curva hipsométrica representan gráficamente las elevaciones del terreno en función de la superficie, la utilidad de la curva permite calcular la elevación media de la cuenca. (Aranda 1992).

La curva hipsométrica es una curva que indica el porcentaje del área de la cuenca, o bien la superficie km² que existe por encima de una cota determinada. Una curva hipsométrica hacia arriba indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas y de lo contrario indica valles profundos y zonas planas. (EGRH, 2004).

De acuerdo a Linsley, (1997), la pendiente del cauce principal o canal influye en la velocidad de flujo, ésta pendiente es la que nos indica la inclinación que tienen el cauce principal des de su origen hasta la desembocadura, también nos ayudará a deducir e interpretar cómo será el comportamiento del agua a lo largo de la cuenca.

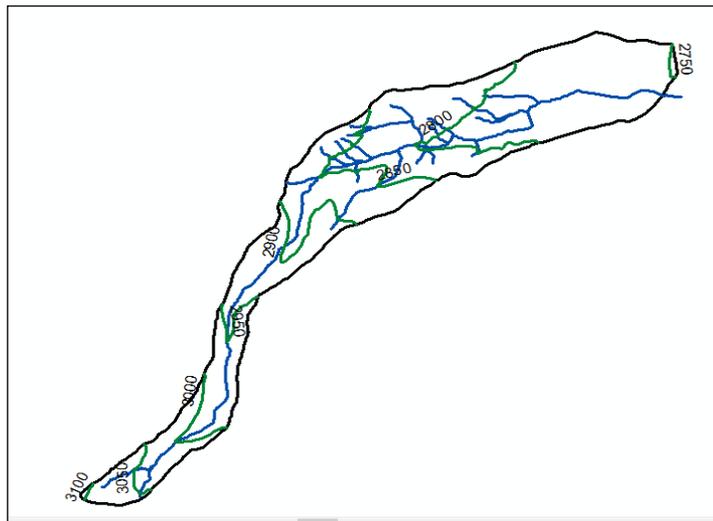


Imagen 5.5: Elaboración propia. Pendiente media del cauce principal en la imagen se observa la red hidrológica junto con las curvas de nivel que pasan a lo largo de la microcuenca, importantes para determinar la inclinación del cauce principal.

Para estudiar la topografía de áreas drenadas, Longbien en 1947, introdujo la curva hipsométrica, la curva traza el porciento del área (el área dividida entre el área de la cuenca) de la cuenca sobre una determinada curva de nivel. El porcentaje de elevación se define como la elevación entre la

altura total de la cuenca. Según Strahler la curva hipsométrica es un reflejo del estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca. En la Imagen 5.6 se muestran las diferentes formas ideales de elevación de una cuenca.

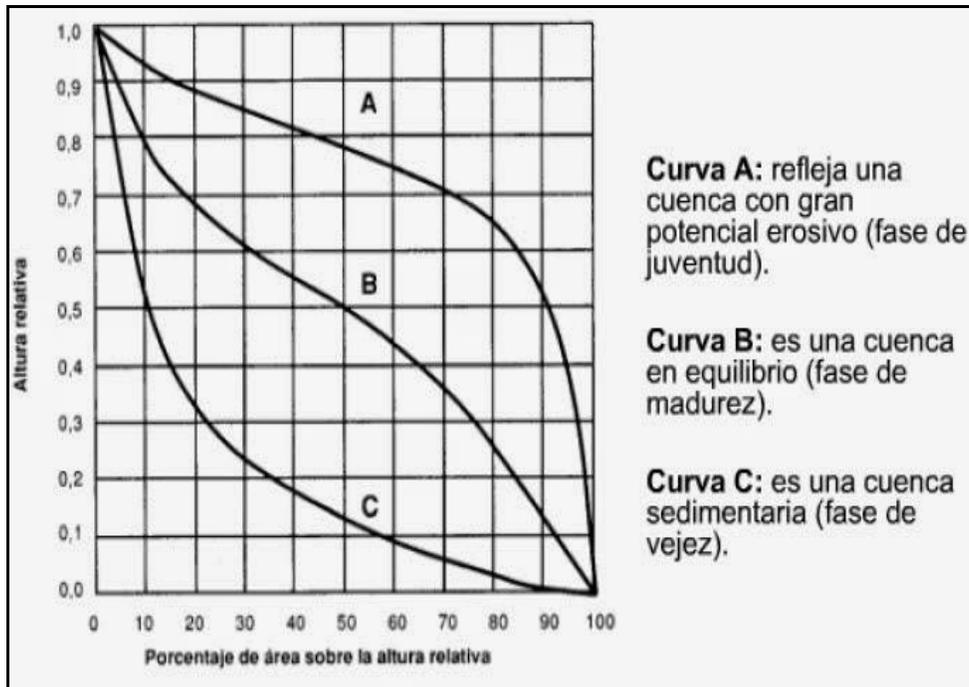


Imagen 5.6 Disponible en: <http://ah-geosoluciones.blogspot.mx>, consultado el 01 de marzo del 2017.

Para la obtención de este parámetro se empleó la siguiente fórmula:

$$H = \frac{\sum(c_i * a_i)}{A}$$

H= altura media de la cuenca

C_i= Cota media del área entre dos curvas de nivel

A_i= Área entre curvas de nivel

A= Área entre curvas de nivel

Dando como resultado, un cauce con un pendiente de 10.57°, lo que indica que de acuerdo al valor obtenido, las características de este son de tipo accidentado medio, de acuerdo a los valores propuestos por R. Heras R. de la la (Tabla 5.1).

Derivados de los datos de elevación de la microcuenca, se obtuvo la gráfica 5.1 en la cual se observa que en comparación con lo ideal (Imagen 5.6), la microcuenca está en desarrollo, equilibrio o también llamada fase de madurez, ya que en general la forma obtenida aún no refleja un nivel de desarrollo definido en la totalidad de la microcuenca, el cual nos indique el nivel de actividad o poder erosivo o sedimentario, debido al tipo de suelo, pendiente, vegetación e infiltración, que son los que condicionan la velocidad del agua microcuenca bajo.

Observando el gráfico, la microcuenca de los 2900 a más de los 3050msnm está más equilibrada, indicando que a lo largo de esta zona aún no se observa algún tipo de actividad generada por la precipitación, sin embargo, a una altura que va de los 2850 a los 2900msnm, la microcuenca comienza a tener acumulación sedimentaria, debido al arrastre de materiales derivado de la precipitación, la pendiente y la forma del relieve en forma cóncava.

A partir de los 2700 a los 2800 msnm se puede observar que existe mayor potencial erosivo esto puede deberse a que el agua proveniente microcuenca arriba baje con rapidez y que el suelo en esta zona no esté lo suficientemente consolidado y el agua al chocar desprenda y arrastre partículas de suelo y termine depositándose en lo que era la llanura aluvial o la zona donde se retenía el agua

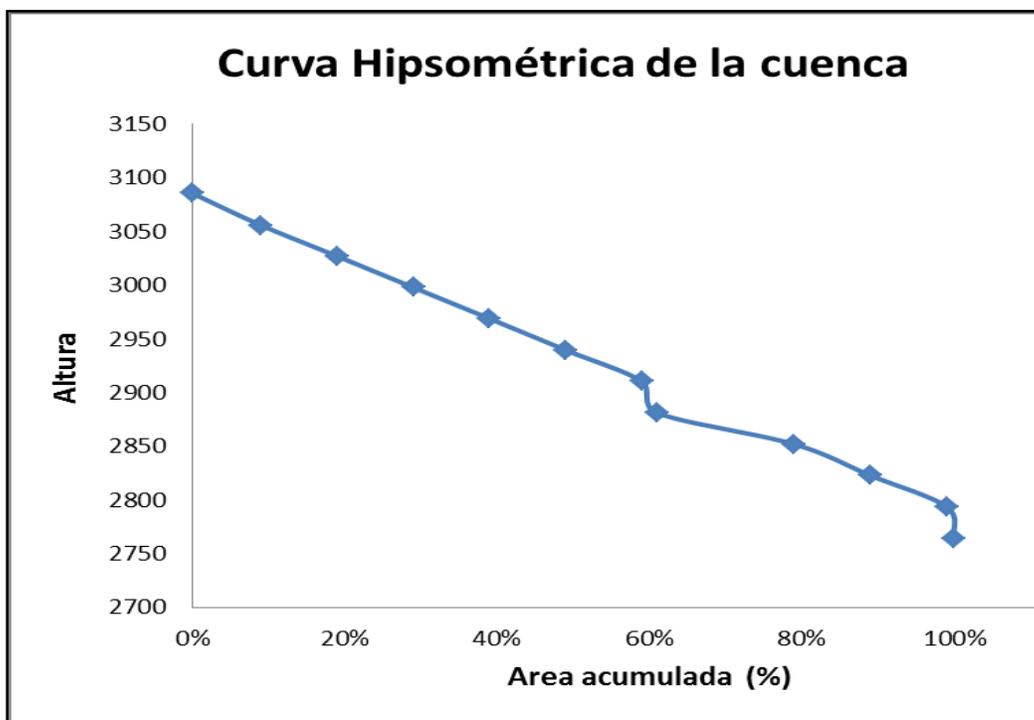


Imagen 5.7 Fuente: Elaboración propia. Curva Hipsométrica

<i>PENDIENTE EN PORCENTAJE %</i>	<i>TIPO DE TERRENO</i>
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Tabla 5.1 Fuente: Procesos del Ciclo Hidrológico, D. F. Campos Aranda, 1992.

Densidad de Corrientes por Cuenca

Esta densidad de drenaje es la longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividida por el área total de drenaje, una densidad alta refleja una cuenca bien drenada que debería responder relativamente rápido al flujo de la precipitación y una cuenca de baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica lenta. (*Linsley, 1997*)

Esta dada por la relación entre los números de ríos de un orden dado y el área de la cuenca, utilizando a siguiente formula:

$$F_x = \frac{N_x}{A}$$

Nx = Número de ríos de un orden dado
A = Área de la cuenca

$$F_x = \frac{19}{3.37} = 5.63$$

3.37

Umbral de Esguerrimiento

De acuerdo a Sarmiento, (2006) es el are mínima necearía para que haya un gasto total que produzca esguerrimiento concentrado. Es el área mínima necesaria para que haya un gasto total que produzca esguerrimiento concentrado.

Factores que influyen en el Coeficiente de Escurrimiento

-Intensidad de las lluvias

- a) La pendiente de la superficie del suelo la cual influye en los escurrimientos.
- b) La naturaleza de los suelos y de las rocas, las cuales determinan la permeabilidad.
- c) La densidad y las características de la cobertura vegetal que influyen en la concentración de la escorrentía. (*Sarmiento, 2006*).

$$A_o = A 1/s$$

A_o = Superficie umbral de escurrimiento concentrado

A = Área de la cuenca

S = Orden talweg superior

$$A_o = 3.37 (1/4)$$

Red de Drenaje

Para asignarle un número de orden de un cauce surgió la clasificación de cauces de acuerdo al número de orden de un río, como una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica. (*Linsley, 1997*).

De acuerdo a Schumm, el orden de corrientes se determina de acuerdo a la figura (3.0), le da el orden número 1, al escurrimiento menor, o sea, aquel que no pasa de ser tributario, el de 2° orden se forma de la unión de dos afluentes de primer orden, a la confluencia de dos cursos de segundo orden surge uno de tercer orden.

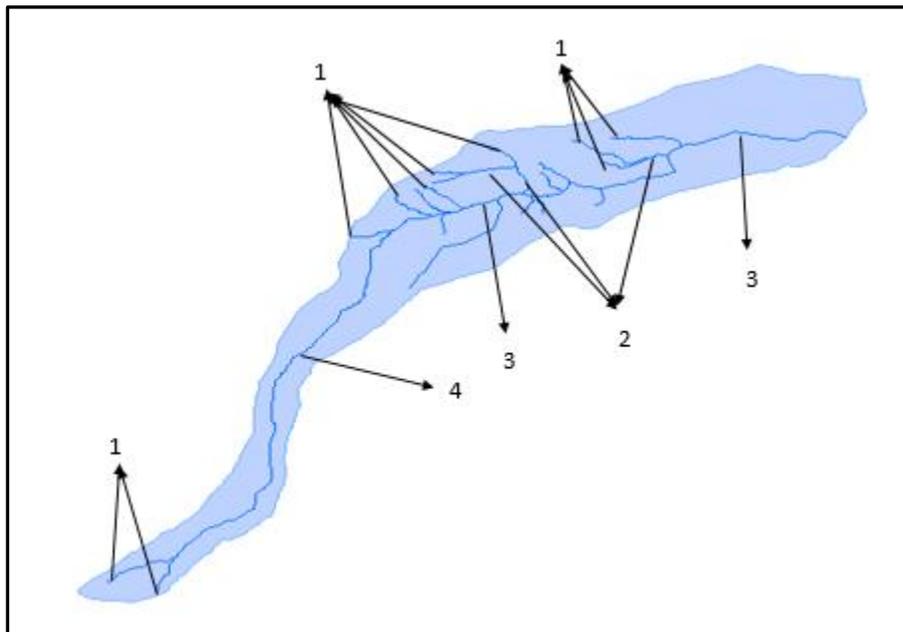


Imagen 5.8: Elaboración propia. En la imagen se identificó el cauce principal y sus afluentes de acuerdo a la clasificación de tributarios según Schumm.

5.3 Recopilación de información

Al paso del tiempo se han desarrollado una cuantiosa variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de precipitación, los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la misma son los más importantes, en el sistema métrico con el que se mide este proceso es en milímetros y decimo de milímetros. (*Linsley, 1997*).

Debido a que no existe estación meteorológica dentro de la microcuenca, de la cual se pudieran obtener los datos requeridos para este análisis, se recurrió a identificar aquellas estaciones cercanas a la zona para la obtención de los datos.

La información requerida para realizar la investigación, se obtuvo de 8 estaciones hidrométricas encontradas dentro de los municipios de Almoloya de Juárez, Toluca y Zinacantepec, pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

La información requerida es de tipo pluviométrico, correspondiente a series de tiempo de aproximadamente 30 años (1980-2009), esto debido a que no todas las estaciones presentan registro de datos de precipitación de años atrás, debido a la falta e insuficiencia de instrumental disponible en los distintos puntos de control operativos en la región, los cuales se han ido implementando con los años.

En el siguiente cuadro se enlistan las estaciones de las que se recaudaron los datos.

ESTACIÓN	UBICACIÓN		ALTITUD (m.s.n.m)	OPERADOR
	Latitud	Longitud		
15089 San Francisco Tlalcilcalpan	21°33'33"	41°93'29"	2,773	CONAGUA-SMN
15108 Santa María del Monte	21°34'90"	41°33'58"	2,839	CONAGUA-DGE
15276 San José Contadero	21°26'96"	41°50'65"	3,045	CONAGUA-DGE
15174 Palo Mancornado	21°20'09"	44°19'61"	3,000	CONAGUA-DGE
15374 Agua Benita	21°18'65"	44°00'53"	2,817	CONAGUA-DGE
15282 Tres Barrancas	21°23'32"	45°00'24"	2,682	CONAGUA-DGE
15203 Calixtlahuaca	21°23'22"	45°68'68"	2,630	CONAGUA-DGE
15126 Toluca	21°20'00"	45°53'04"	2,726	CONAGUA-SMN

Tabla 5.2. En este cuadro se muestran aquellas estaciones meteorológicas (normales meteorológicas) empleadas para la realización de este estudio (FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional) Elaboración propia.

Datos de Precipitación

Como ya se mencionó, debido a la ausencia de datos anuales en algunas estaciones hidrométricas, se recurrió a la reconstrucción de datos por medio del método propuesto por el U.S, Weather Bureau, en el cual las cantidades de precipitación se estiman a partir de las observaciones realizadas en tres estaciones cercanas, espaciadas en lo posible y situadas uniformemente alrededor de la estación cuyo registro no existe) (*Linsley, 1997*).

Procedimiento:

En nuestro caso se recurrió a empleo de ocho estaciones, ejemplificando con la estación Agua Bendita (15374)

a) Primero se identificaron todas aquellas estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio debido a que dentro de la microcuenca no existe estación de la cual se puedan obtener los datos requeridos, en seguida se descartaron todas aquellas que contaban con ausencia excesiva en el número de registros, en un rango mínimo de 30 años, lo que nos dio un total de 8 estaciones las cuales nos sirvieron para la reconstrucción de algunos datos (Precipitación, T. Máx. y T. Min) faltantes en las estaciones seleccionadas. Las cuales se enlistaron en la Tabla 5.2.

b) Después con aquellas estaciones seleccionadas, se prosiguió a identificar datos faltantes en cada estación para su posterior reconstrucción, en un rango de registro de 30 años.

En el caso de las estaciones con la totalidad registros se generó una base de datos que nos permitió correlacionar cada una de las estaciones con la totalidad de datos, con cada una de las estaciones con datos faltantes, con la finalidad de poder identificar el coeficiente de correlación de cada estación y elegir la más apta para la reconstrucción. (En este caso la de mayor correlación con la estación fue la San Francisco)

<i>AÑO</i>	<i>Sta. María</i>	<i>Caixtlahuaca</i>	<i>Agua</i>		
	(x)	(x)	<i>San Fco. (x)</i>	<i>Toluca (x)</i>	<i>Bendita (Y)</i>
1988	10	28.8	25.2	13.5	21.3
1989	19	30.7	25.5	29.8	23.2
1990	19.5	30.8	28	29.8	25
1991	19.6	32.4	28.3	31.7	28.5
1992	20	33.3	28.5	32.4	28.5
1993	20	34	31.2	34.7	31.9
1994	27.7	35	33.1	35.1	33.5
1995	32.2	35.4	34.1	35.2	33.5
1996	33	35.5	34.9	41.5	33.6
1997	35	35.6	35.2	45.1	33.9
1998	35.5	36	39	46	36.1
1999	38.5	36.5	39.5	47.7	40.7
2000	39	38.5	39.7	52.3	44.6
2001	39.4	43.5	40	52.5	45.5
2002	41	46	45	52.7	46.8
2003	49.7	47	46	55.5	50.7
2004	50	47	47.7	71.8	56.6
2005	75	56.3	49	73.4	60.9
	0.94663217	0.964493046	0.974443259	0.967221261	

Tabla 5.3: Tabla de correlación Ejemplo con estación San Francisco.

c) Ya identificada la estación que más correlación tiene con la de los datos faltantes, (en este caso la estación San Francisco) se genera una gráfica de dispersión, donde los datos se representan en forma de línea de tendencia de manera ascendente (en el caso de la precipitación).

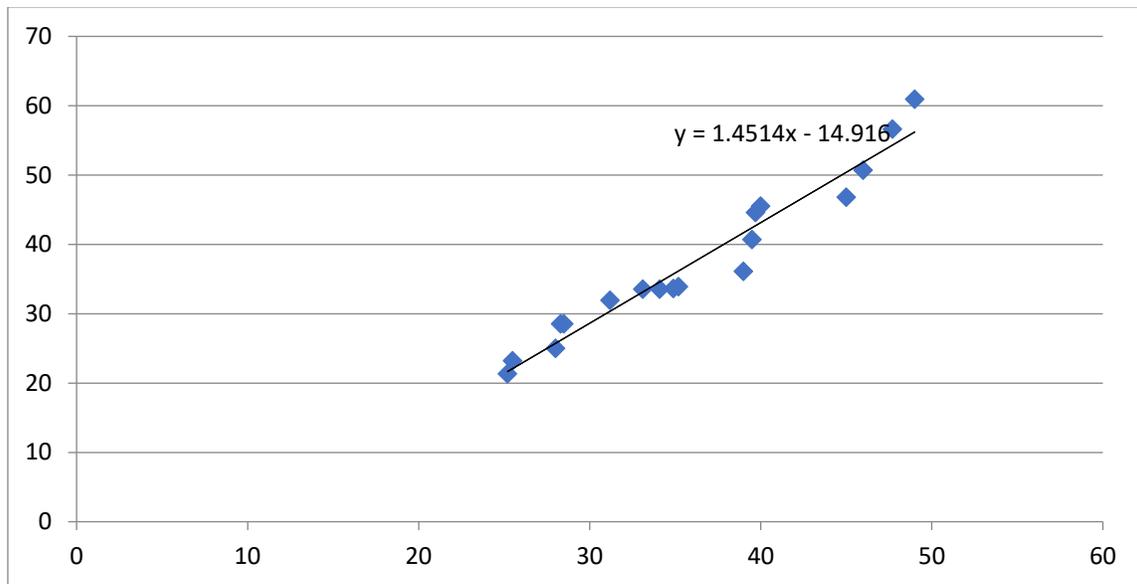


Imagen 5.9: Gráfica de correlación estación: Agua Bendita - San Francisco

d) Finalmente de la representación gráfica se obtiene la ecuación que nos permitirá realizar la reconstrucción de los datos. En este caso se ejemplifica con la estación Agua Bendita Donde la ecuación: $y = 1.4514x - 14.916$.

En el siguiente cuadro se representa X que son los datos de la estación con mayor correlación (San Francisco) y Y que representa los faltantes en la estación Agua Bendita.

Sn Fco.	Agua Bendita
X	Y
35.1	36.0
47.6	54.2
35.4	36.5
75.8	95.1
32	31.5

Le ecuación $y = 1.4514x - 14.916$ se emplea de esta manera:

$$(1.4514 \cdot 35.1) - 14.916 = 36.0$$

Y así para cada uno de los datos faltantes

5.4 Método estadístico de estimación de la precipitación máxima probable

Este método fue desarrollado alrededor de 1960 por David M. Hershfield, es útil para realizar estimaciones de la precipitación máxima en 24 horas. El método es específicamente aplicable a nuestro país debido a que solo emplea los registros de lluvia máxima diaria (Aranda, 1992).

La PMP es aquella relación “altura de precipitación – área - duración” crítica para un área determinada, a través del año, que puede resultar una precipitación o tormenta, producto de las condiciones meteorológicas consideradas más críticas con alta probabilidad de ocurrencia, proporciona no solo la oportunidad de valorar los sucesos extraordinarios que han acontecido históricamente en una superficie dada, sino también su relevancia radica en que facilita medir el riesgo que implica este fenómeno.

-El método de Hershfield es aplicable a México en cuencas no mayores a 1000 km².

-Es útil donde no hay o no son suficientes los datos históricos de punto de rocío y registros de viento.

-Para cada año, se colectan las precipitaciones máximas en 24 horas. Cuando menos 10 años. Ideal 20 años de la serie anual. (Chapingo s. f)

Precipitación máxima probable: Es la cantidad de precipitación que constituye el límite superior físico para una duración determinada sobre una cuenca en particular.

La precipitación máxima probable (PMP) se define como la mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible, para una determinada duración, en un área afectada por un temporal y en una época del año. (Montero s. f).

Para la realización de este apartado fue de vital importancia el empleo de esta metodología la cual se describe a continuación:

Bases del Método

El método está basado en la ecuación general de análisis hidrológico de frecuencia, de la cual el factor de frecuencia K_m fue evaluado a través de los registros de lluvias en 24 horas.

$$\mathbf{PMP = X_n + K_m S_n}$$

(Se basa en la ecuación general de frecuencia de Chow.)

PMP = Precipitación máxima probable diaria en milímetros

X_n, S_n = Media y desviación típica, de la serie anual de lluvias máximas diarias.

K_m = Factor de frecuencias, función de la lluvia media anual de las máximas diarias y de la duración en horas (24 h) de la PMP que se estima.

La media y la desviación estándar de la serie anual de lluvias se corrigen previamente por el valor máximo observado en la serie y por longitud de registro.

K es factor de frecuencia que depende de la duración de la PMP (24 horas) y la media anual de los valores máximos.

5.5 Metodología de David M. Hershfield⁹

Se integra una serie anual, en base al registro de lluvias máximas diarias mensuales.

1. A la serie anual se le suprime el evento máximo, formando dos series (n) y ($n-m$). A cada serie se le calcula media (X_n, X_{n-m}) y desviación típica (S_n, S_{n-m}).
 - Media aritmética que es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

⁹ Metodología propuesta por David M. Hershfield y desarrollada en su libro Introducción la Hidrología del Campos Aranda, 1992.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- Desviación estandar Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

2. Se determina el valor de frecuencia o Km (factor frecuencia) en base a la media de la serie anual (X_n) y a la duración que se analiza (24 h), por medio de a grafica de Promedio anual de lluvias máximas en milímetros. (Imagen 5.8)

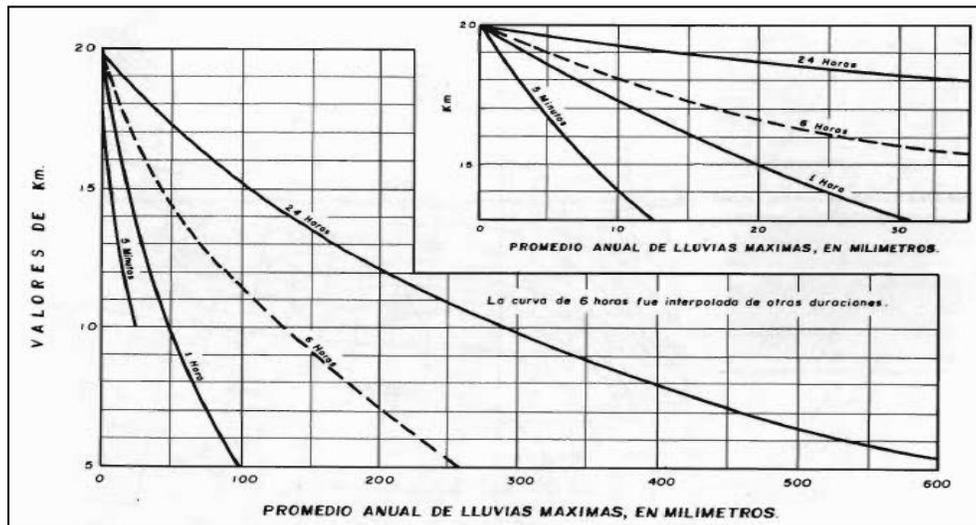


Imagen 5.10: Km En función de la duración de la lluvia y de su valor medio anual (D. M. HERSHFIELD)

3. A continuación, se ajustan o corrigen la media $(X_n - m) / (X_n)$ y la desviación típica $(S_n - m) / (S_n)$ de la serie anual por máxima de lluvia observada, en función de la longitud de registro (n) .

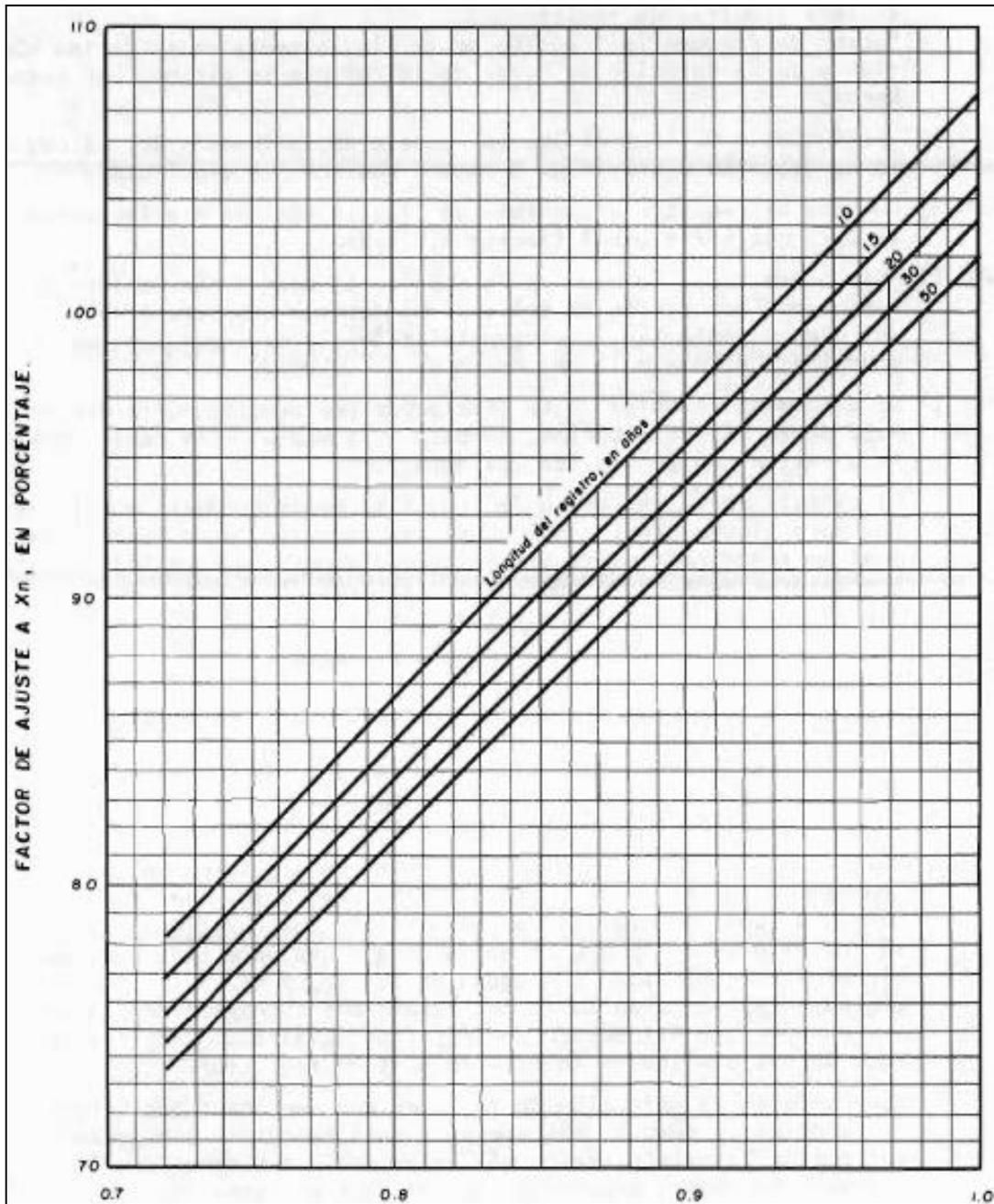


Imagen 5.11: Ajuste de lluvia media anual (x_n) por lluvia máxima observada (D. M. HERSHFIELD)

4. Ahora con la siguiente imagen se ajusta o corrigen la media y la desviación típica de la serie anual por tamaño de muestra, teniendo en cuenta solo el número de años (n).

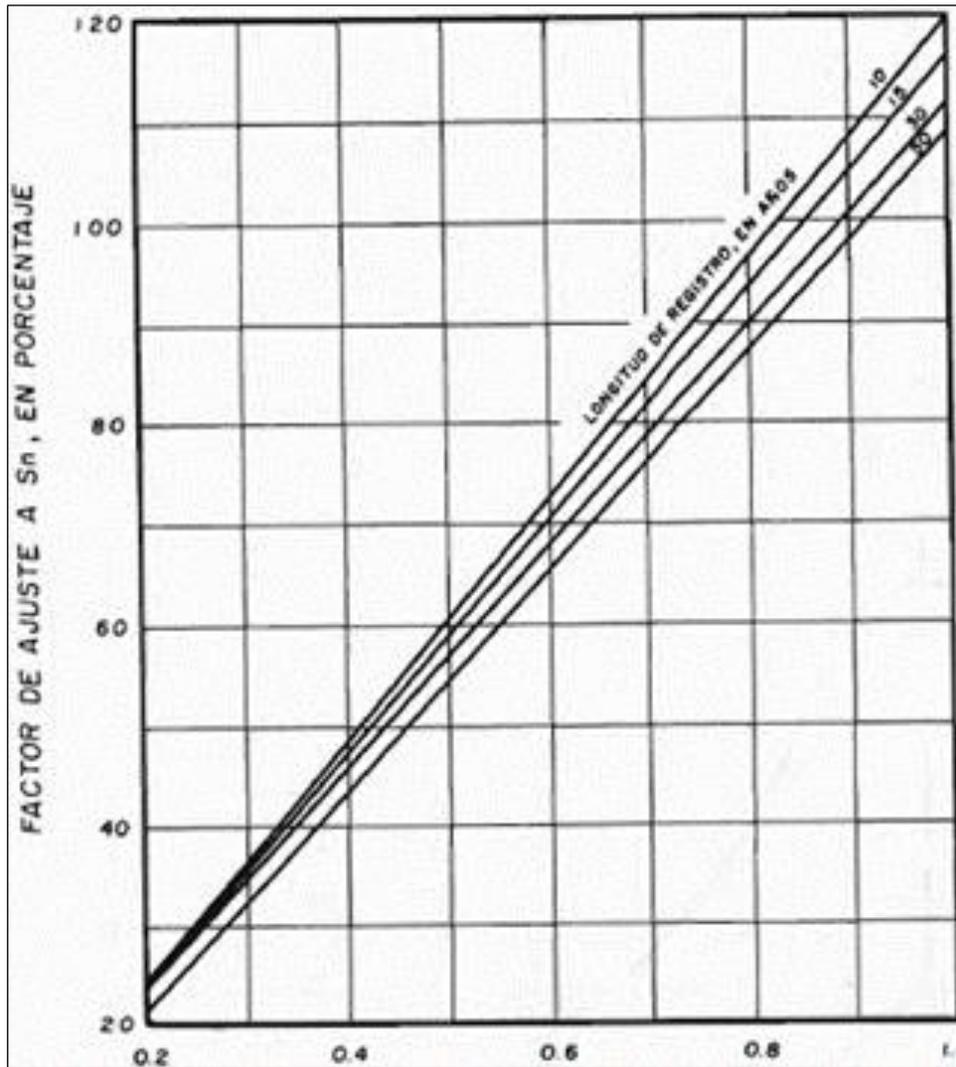


Imagen 5.12: Ajuste a la media y desviación típica de la serie anual de lluvias máximas (D. M. HERSHFIELD)

5. Los valores de la media (X_n) y la desviación típica (S_n) corregidos conducen a los valores X_n y S_n , pudiéndose calcular la magnitud de la precipitación máxima probable en un día.

$$PMP = X_n + K_m S_n$$

6. En seguida la precipitación máxima calculada se corrige por intervalo fijo, entonces el valor calculado en el paso anterior se debe multiplicar por 1.13, los datos (lluvias máximas diarias) fueron medidos en un intervalo único.

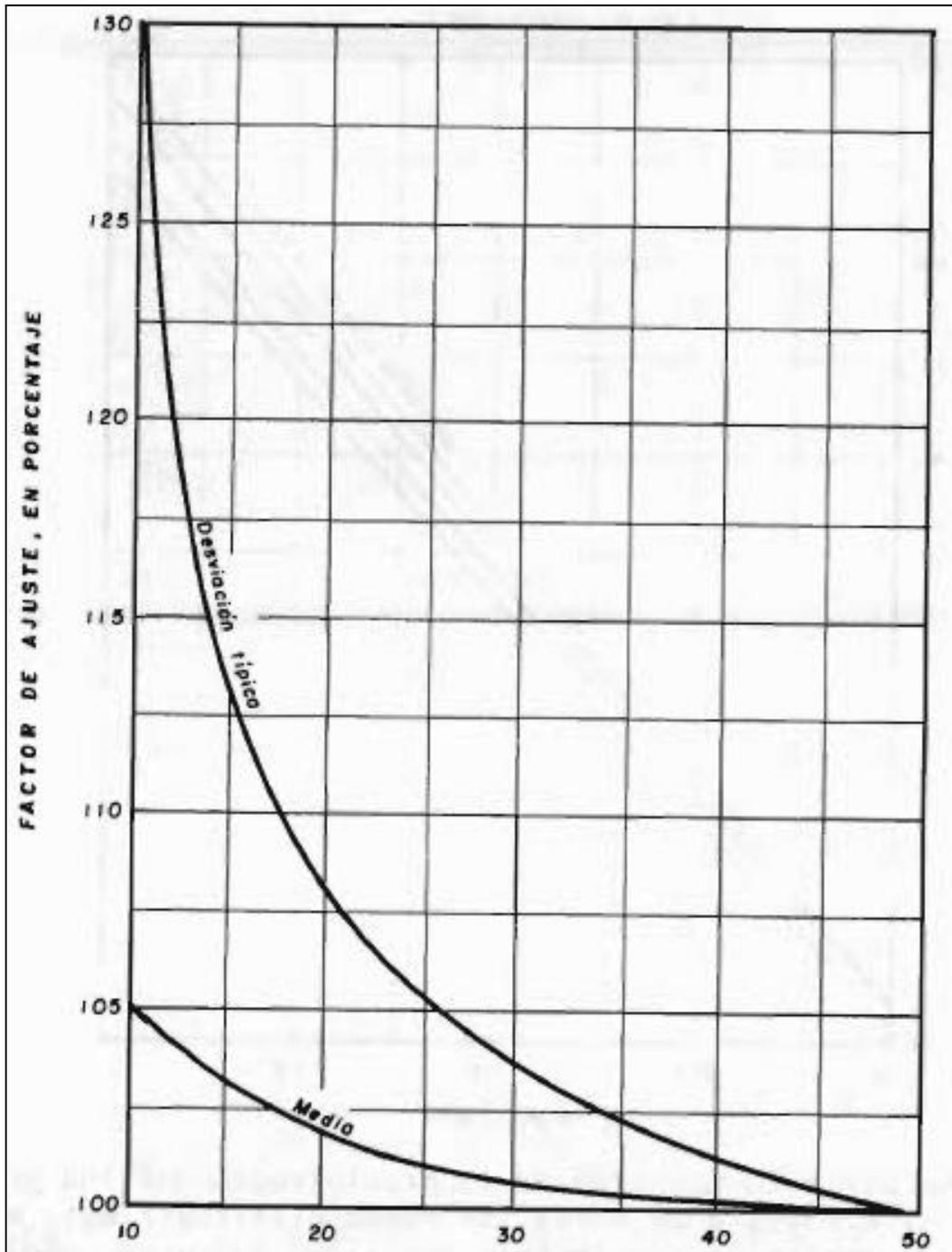


Imagen 5.13: Ajuste por intervalo fijo de observación

(L.L. WEISS)

7. Por último, se realiza el ajuste o corrección de la precipitación máxima probable puntual por magnitud de cuenca, tomando en cuenta la duración y la magnitud de la cuenca en Km².

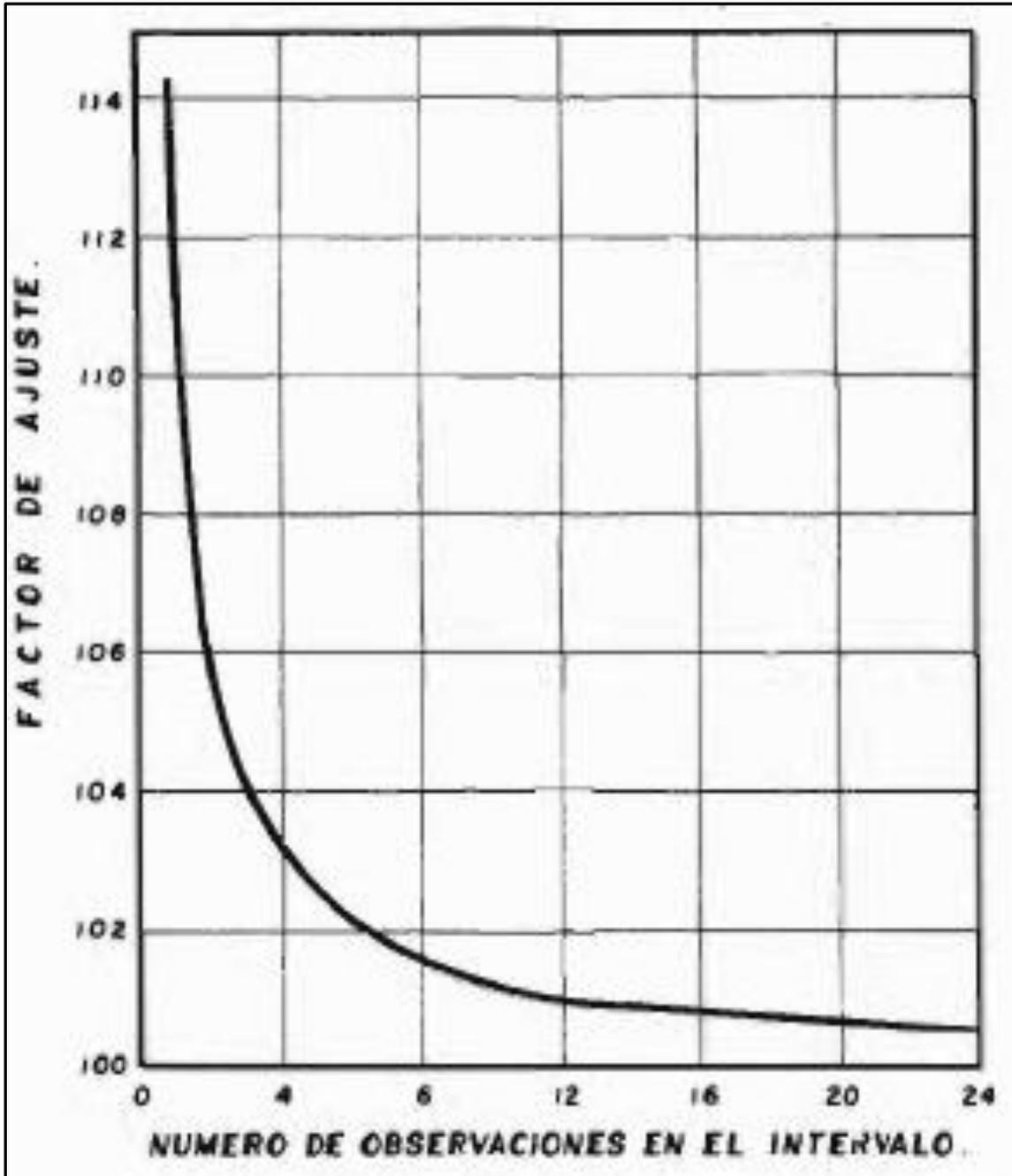


Figura 5.14: Curvas área – reducción para la precipitación máxima probable

Ejemplo: Estación San Francisco

AÑO	N	n-m	1	n	n-m	
	Estación San Francisco			Media	38.2	36.9
				Desviación	9.8	6.9
1980	25.2	25.2				
1981	25.5	25.5				
1982	28	28				
1983	28.3	28.3	2	Km	17.8	
1984	28.5	28.5				
1985	30.9	30.9				
1986	31.2	31.2	3	Xn/Xn-m	0.97	
1987	31.7	31.7		Sn/Sn-m	0.7	
1988	32	32				
1989	33.1	33.1		Corrección	Media	1.00
1990	34.1	34.1			Desviación	0.78
1991	34.9	34.9				
1992	35.1	35.1				
1993	35.2	35.2	4	Corrección por tamaño de muestra	Media	1.02
1994	35.4	35.4			Desviación	1.04
1995	38.9	38.9				
1996	39	39		Xn	38.961	
1997	39.1	39.1		Sn	7.986	
1998	39.5	39.5				
1999	39.7	39.7	5			
2000	40	40	PMP diaria	Xn+Km (Sn)	181.106311	
2001	40.7	40.7				
2002	41.9	41.9	6	Corrección por intervalo Único	204.650132	PMP (1.3)
2003	45	45				
2004	46	46				
2005	46.9	46.9				
2006	47.6	47.6				
2007	47.7	47.7	7	Corrección tamaño de Cuenca	Área	3.37 km ²
2008	49	49				
2009	75.8					

5.6 Calculo de precipitaciones máximas en 24 horas

Para finalizar se determinan los periodo de retorno utilizando la metodologia propuesta por Gumbel, el cual Aranda, (2006) define al periodo de retorno (T_r), como el lapso promedio entre la ocurrencia de un evento de igual o mayor a un a magnitud dada, el objetivo primordial del analisis estadistico de los datos de cierto evento hidriologico. De acuerdo al autor una exedencia es un evento con una magnitud igual o mayorque un cierto valor. Algunas veces el tiempo real entre exedencias es llamado “intervalo de recurrencia”.

Procesamiento estadístico de lluvias máximas diarias

El procesamiento de los datos de los registros disponibles tendra como objetivo cuantificar las lluvias máximas en 24 horas de diversos periodos de retorno (2, 5, 10, 25 y 50 años), estos se determinan de manera que cubran la necesidades de la investigacion, utilizando las lluvia máximas en 24 horas, con la realizaciòn de las Curvas Precipitacion – Duraciòn – Period de Retorno¹⁰. (Todo esto aplicado para cada una de las estaciones utilizadas en este análisis).

Cabe destacar que se tomaran periodos de terorno menores a 10 años, utilizando una serie anual de excedentes anuales, como amplitud de registro ($n=30$) empleando el criterio de interpolaciòn.

Posterior para llevar a cabo el procesmiento estadistico de los registros, se sigule la siguiente secuencia, cullo desarrollo se describe a continuacion:

- 1- Analisis del registro: Se seleccionan las estaciònes, de las cuales se va a extraer la informaciòn.
- 2- Generaciòn de serie anual de Máximos: Esta serie se integra por los registros máximos mensuales, de los cuales destaca el evento màximo de los doce valores anteriores, esta serie es la más utilizada debido a la rapidez y facilidad de integraciòn, (En caso que ea necesario obtener datos faltantes de algun registro,se recoienda utilizar los métodos del U.S.National Weather Service. Este método relaciona el registro de la estaciòn incompleta con otras estaciones cercanas para la obtenciòn de los valores faltantes con la estaciòn con la que tuvo mayor correlaciòn), para evaluar la probabilidad del los periodos de retorno, serà estimado en la serie empleando la siguiete formula:

¹⁰ Metodología de referencia tomada de: Procesos del Ciclo Hidrológico, Campos Aranda (1998)

$$Tr = \frac{n + 1}{M}$$

Tr = Periodo de retorno en la serie anual de máximos años
n = Número total de eventos en la serie anual, igual al número de años de registro.
m = Número de orden de evento, arreglados en forma descendente, es decir, uno para el mayor y n para el menor.

- 3- Serie de Exedentes Anuales: Esta serie está integrada por datos cuya magnitud es mayor que el valor base, el cual es determinado de manera que el número de eventos de la serie integrada sea igual al número de años de registro.

Para el caso de la serie de excedentes anuales, el periodo de retorno T_e se va a determinar con ayuda de la ecuación siguiente:

$$T_e = \frac{n}{M}$$

T_e = Excedentes Anuales
n = Número total de eventos en la serie anual, igual al número de años de registro.
m = Número de orden de evento, arreglados en forma descendente, es decir, uno para el mayor y n para el menor.

En la siguiente tabla se presenta la serie anual de excedentes (segunda columna) ordenada en forma descendente, en base a los calculos referidos.

Registro de máximas anuales de la estación: San Francisco Tlalcilcalpan, Edo. Méx.

<i>Orden (m)</i>	<i>P</i>	<i>Te=n/m</i>	<i>Log Te</i>	<i>P Log Te</i>	<i>(Log Te)2</i>	<i>P2</i>
1	75.8	38.000	1.580	119.748	2.496	5745.64
2	49	19.000	1.279	62.659	1.635	2401
3	47.7	12.667	1.103	52.597	1.216	2275.29
4	47.6	9.500	0.978	46.540	0.956	2265.76
5	46.9	7.600	0.881	41.310	0.776	2199.61
6	46	6.333	0.802	36.875	0.643	2116
7	45	5.429	0.735	33.061	0.540	2025
8	41.9	4.750	0.677	28.353	0.458	1755.61
9	40.7	4.222	0.626	25.460	0.391	1656.49
10	40	3.800	0.580	23.191	0.336	1600
11	39.7	3.455	0.538	21.374	0.290	1576.09
12	39.5	3.167	0.501	19.774	0.251	1560.25
13	39.1	2.923	0.466	18.214	0.217	1528.81
14	39	2.714	0.434	16.913	0.188	1521
15	38.9	2.533	0.404	15.704	0.163	1513.21
16	35.4	2.375	0.376	13.298	0.141	1253.16
17	35.2	2.235	0.349	12.297	0.122	1239.04
18	35.1	2.111	0.325	11.390	0.105	1232.01
19	34.9	2.000	0.301	10.506	0.091	1218.01
20	34.1	1.900	0.279	9.505	0.078	1162.81
21	33.1	1.810	0.258	8.525	0.066	1095.61
22	32	1.727	0.237	7.596	0.056	1024
23	31.7	1.652	0.218	6.912	0.048	1004.89
24	31.2	1.583	0.200	6.227	0.040	973.44
25	30.9	1.520	0.182	5.619	0.033	954.81
26	28.5	1.462	0.165	4.697	0.027	812.25
27	28.3	1.407	0.148	4.200	0.022	800.89
28	28	1.357	0.133	3.714	0.018	784
29	25.5	1.310	0.117	2.993	0.014	650.25
30	25.2	1.267	0.103	2.587	0.011	635.04

Tabla 5.4: Tabla de excedentes anuales (ejemplo)

- 4- Criterio de Interolación para el Procesamiento Estadístico: Este criterio se emplea cuando el número de años de registro es igual o mayor a los periodos de retorno, en las que se requieren los registros de lluvias máximas en 24 horas. Para la obtención de los datos, se deduce a partir de una ecuación de regresión lineal entre las magnitudes de los eventos y los logaritmos decimales de los periodos de retorno correspondientes.

$$\mathbf{PTr = A + B (\log Tr)....a}$$

$$\mathbf{PTe = A + B (\log Te)....b}$$

PTr, PTe = Lluvia máxima diaria del periodo de retorno Tr o Te en milímetros

A, B = Parametros de ajuste de la regresión lineal.

Tr, Te = Periodos de retorno, de la serie anual de máximos o de la serie de excedentes anuales en años.

Si **PTr = y, log Tr = x, A = b** y **B = m** en las ecuaciones anteriores, cuyos parametros de ajuste **m** y **b** se determinan con las siguientes fórmulas.

$$\mathbf{m = Sxy/Sx^2.... A}$$

Siendo:

$$Sxy = 1/n \sum x_i y_i - (x)(\bar{y}) \quad \text{Covarianza}$$

$$S^2x = \sum x^2/n - (x)^2 \quad \text{Varianza de las x}$$

$$x = \sum x_i/n \quad \text{Media de las x}$$

$$\bar{y} = \sum y_i/n \quad \text{Media de las y}$$

La ordenada al origen b se calcula con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{b = \bar{y} - m x B}$$

Ejemplo: Etación San Francisco Tlalcilcalpan

$$S_{xy} = 1/30 (671.83) - (14.96/30)(1149.9/30) = 3.33470$$

$$S_{x^2} = 11.425/30 - (14.969/30)^2 = 0.1318$$

$$B = m = S_{xy}/S_{x^2} = 3.33470/0.1318 = 25.288$$

$$A = b = (11.45.900/30) - 25.288 (11.89/30) = 28.1739$$

Por lo tanto la ecuación buscada es: **PTr = A+B (Log Te)**

5- Obtención de Valor representativo para la Cuenca: Cuando más de dos estaciones fueron empleadas, los valores calculados para lluvia máxima diaria de los periodos de retorno, fueron ponderados para obtener el valor representativo para la cuenca.

Finalmente se deben relizar dos correcciones al valor anterior:

- a) Corrección por Intervalo fijo de Observación: El análisis de los resultados con lluvias máximas, por intervalo fijo de observación para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, debe ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo de observacion, con esta correccion se convietre en lluvias máximas en 24 horas.

Factor de corrección				
Para Te =	log Te	PTr	1.13	PTr * 1.13
2	0.301	36.24	1.13	40.96
5	0.699	40.17	1.13	45.39
10	1.000	43.14	1.13	48.74
25	1.398	47.06	1.13	53.18
50	1.699	50.03	1.13	56.53

Tabla 5.5 Factor de coreccion

- b) Reducción por Magnitud de Cuenca: Para este inciso se presentan la siguientes gráficas para hacer la corrección de los valores resultantes de las lluvias máximas en 24 horas, y hacer la adecuación para la cuenca de estudio.

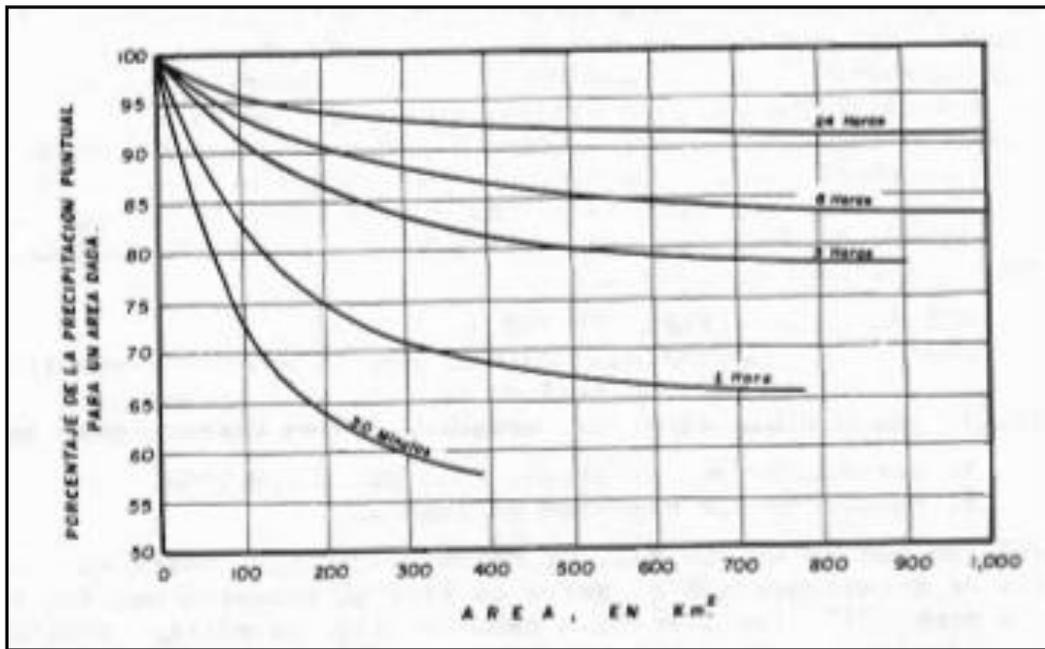


Imagen 5.15 Ajuste de Lluvia Puntual por área (U. S Weather Buredu)
 Recomendada para adecuar los valores de lluvias en 24 horas para cuencas pequeñas

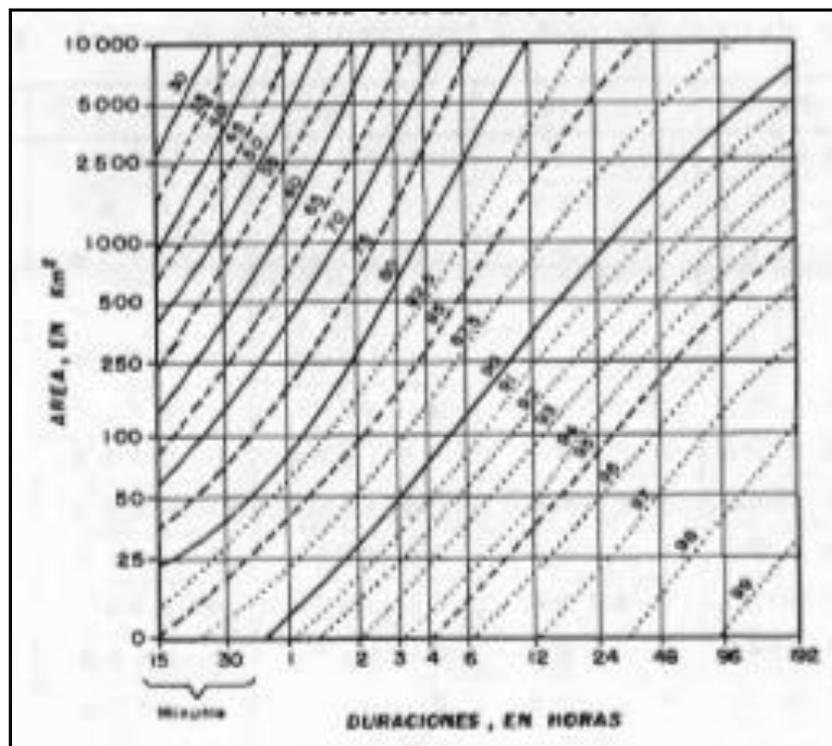


Imagen 5.16 : Factor de reducción areal (Flood Studies Report, 1975)
 Se emplea para el análisis y estimación de avenidas.

Por lo tanto la ecuación que se aplica es : $PTr = 25.6 + 30.8 (\text{Log } Te)$ Representada en la siguiente tabla:

<i>Para Te =</i>	<i>log Te</i>	<i>Ptr</i>	<i>1.13</i>	<i>Ptr * 1.13</i>
2	0.30103	36.24	1.13	40.96
5	0.69897	40.17	1.13	45.39
10	1	43.14	1.13	48.74
25	1.39794001	47.06	1.13	53.18
50	1.69897	50.03	1.13	56.53

Tabla 5.6: Correccion PTr

5.7 Curvas Precipitación – Duración – Periodo de Retorno a partir de Registros de Lluvia Máxima Diária.

Las curvas de Precipitación – Duración – Periodo de Retorno, son representaciones gráficas en la cual se representan las características de la precipitación en la zona con respecto a las variables: magnitud, duración y frecuencia. La magnitud representa la lámina total en milímetros, la frecuencia se expresa por el periodo de retorno o recurrencia, que es el tiempo promedio en años en el que el evento puede ser igualado o excedido. La metodología propuesta para la obtención de las curvas, se basa en el procesamiento estadístico de los datos de las lluvias máximas disponibles, para reflejar los periodos de retorno en forma de curvas.

Bell combinó las relaciones duración – lluvia y los cocientes de frecuencia – lluvia, para obtener la relación general de Precipitación – Duración - Periodo de Retorno, representada por la ecuación siguiente:

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_{10}^{60}$$

si $2 \leq T \leq 100$ años
 $5 \leq t \leq 120$ minutos

Siendo:
t
PT = Precipitación de duración t minutos y retorno T, en milímetros.
60
P10 = Precipitación de duración 60 minutos y periodo de retorno 10 años, en milímetros.

Para obtener la lluvia de duración una hora y periodo de retorno 2 años (P2 60), Bell presenta la siguiente ecuación, en función de dicha precipitación:

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_2^{60}$$

Siendo:

PtT = precipitación de duración t minutos y periodo de retorno T en años, en milímetros.

El uso de esta fórmula se aplica para cada uno de los periodos de retorno, los cuales se acomodaron de la siguiente forma:

Tr	Duracion en minutos							
	5	10	20	40	60	100	120	1440 (24 h)
2	7.40	11.08	15.45	20.65	24.13	29.06	30.97	40.39
5	9.77	14.62	20.39	27.25	31.85	38.35	40.88	51.96
10	11.56	17.30	24.13	32.25	37.69	45.38	48.38	60.71
25	13.92	20.84	29.07	38.85	45.41	54.68	58.29	72.29
50	15.71	23.52	32.80	43.85	51.25	61.71	65.78	81.04

Tabla 5.7: Periodos de Retorno (ejemplo)

Posterior a esto, con la información derivada de la tabla anterior, se representa en forma de gráfica que a su vez incorpora curvas que simbolizan la posibilidad de precipitaciones en un lapso de tiempo. (Esto se realizó para cada una de las estaciones, en este caso generando 9 gráficas de Precipitación - Duración - Periodo de retorno.)

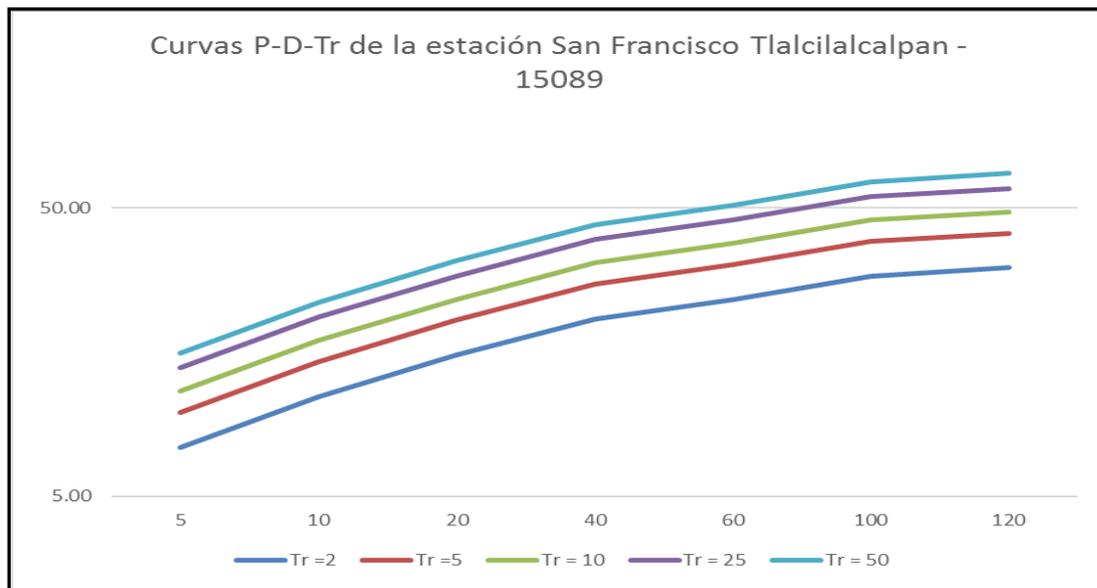


Imagen 5.17: Curvas de P – D - PTr (Ejemplo)

Para finalizar y estimar los periodos de retorno y la precipitación en minutos, se recurrió a identificar en cada uno de los gráficos la precipitación máxima probable (PMP), versus minutos (120min) la cual en la mayoría de los casos rebasaba los 75mm de precipitación impidiendo la estimación de estos datos, ya que sobre pasan el tiempo de estimación (120 min) y los años de los periodos de retorno (50 años), obteniendo solo el dato de dos estaciones, las cuales no arrojaban mucha información.

Para determinar estos datos faltantes, se recurrió al empleo de los registros de precipitaciones mínimas y medias, con ayuda de las gráficas plasmadas en papel con los cuales se obtuvo parte de la información requerida.

Para los datos de PMP media y mínima no se tuvo mayor problema, ya que las medidas se concentraron mayormente en estas dos variables.

Estación / Precipitación	Máxima	Media	Mínima
San José Contadero	90	29	15
Palo Mancornado	97	39	19
Agua Bendita	95	41	21
Santa María	75	36	10
San Francisco	75	38	25
3Barrancas	90	40	15
Toluca	73	40	12
Calixtlahuaca	62	38	27

Tabla 5.8 PMP de las variables máxima, media y mínima

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con las características de la zona y el relieve se pudo determinar que el área donde actualmente se estableció una sección de estas casas habitación, están asentadas sobre lo que conocemos como llanuras de inundación o bien sobre suelos aluviales, debido a su topografía plana, los suelos están conformados de material depositado, no consolidado, encontrándose precisamente en el punto de desfogue de la microcuenca, donde toda el agua que escurre cuenca arriba se deposita provocando inundaciones, se puede observar material transportado aguas abajo a lo largo de la microcuenca y en los pies de monte. Para reforzar lo descrito anteriormente se sacaron dos perfiles o imágenes, con el objetivo de mostrar cuales son las condiciones físicas del terreno, las cuales facilitan el desarrollo de las inundaciones.

En la primera (Imagen 1) se visualiza la zona de estudio vista desde arriba, esta va en dirección Sureste, atravesando la zona de estudio, se puede observar que en la parte Oeste de la zona existía un cuerpo de agua el cual captaba el agua proveniente del río Tejalpa y sus ríos tributarios, también se observan los suelos aluviales en los cuales, como vemos están construidas las casas habitación, también se muestra que de este bordo se derivaba un afluente que llevaba los excesos de agua provenientes de la microcuenca, los cuales llegaban al río Tejalpa y que en la actualidad no existe debido a la colocación de una calle por la cual el agua fluye sobre esta en tiempo de lluvias.



Imagen 1. Fuente: elaboración propia con apoyo de la plataforma Google Heart (2003), donde se muestra el curso original del río, el asentamiento de las casas sobre terrenos aluviales o bien los límites en donde se encontraba el bordo.

En la segunda (Imagen 2) se observa un perfil de la zona en la cual anteriormente se encontraba el cuerpo de agua o bien la llanura de inundación, que para el año 2014 ya no existía, donde se realizó la construcción de una segunda sección de casas habitación (Colinas de San Francisco), más específicamente las terrazas que se fueron generando durante el paso del tiempo debidos a la erosión hídrica, que con el paso de los años y a falta de esta zona de retención y las lluvias extraordinarias en el año 2011 causaron inundaciones en la zona habitacional Geovillas el Nevado.

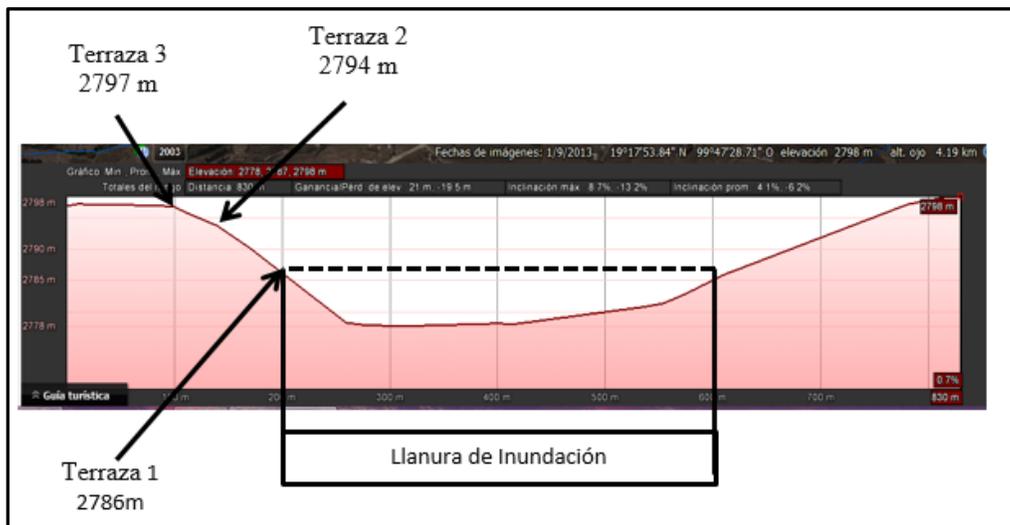


Imagen 2. Fuente: elaboración propia, con ayuda de la plataforma Google Heart (2003). Perfil del punto de desfogue de la microcuenca en la cual se observan las terrazas 1, 2,3 las que se enumeran de acuerdo al orden de aparición y desarrollo

Derivado de esto...Se generó infiltración de agua en la zona, ya que se realizaron cortes en la geoforma, lo que causa que, en tiempo de lluvias, el agua que se infiltra a través de esta, debido al suelo presente, de tipo andosol y a su textura arenosa-franca fina o más gruesa en la totalidad de los primeros 50 cm, influye en la velocidad y capacidad de infiltración de agua, siguiendo esta su curso natural, e invada afectando de manera directa la infraestructura de las viviendas de esta zona.

También se observa pérdida de cobertura vegetal, generando que los suelos sean más propensos a sufrir cambios, buscando salidas o formas de llevar a cabo sus procesos de manera natural. De acuerdo a estos cambios me pude percatar durante el recorrido en campo, que la geoforma que corre de Este a Oeste de la zona habitacional, presenta suelos que tienen una capacidad de infiltración mayor, lo que da como resultado, que el agua acumulada se infiltre, provocando que la misma corra a lo ancho de la calle (Imagen 4.4) dañando no solo las viviendas situadas a un costado de la geoforma, sino también en aquellas viviendas aledañas a la zona en las cuales se pueden apreciar encharcamientos en las afueras de las viviendas. (Imagen 3)



Imagen 3. Fuente: Elaboración propia tomada el 20 de septiembre del 2014

Una de las deficiencias importantes que frecuentemente hace que la población, sea cada vez más vulnerable a cualquier tipo de proceso, es la mala planeación de las empresas constructoras, debido a los bajos precios del terreno situados en zonas de difícil acceso o a orillas de los ríos, de igual forma la mala función de los gobiernos, al otorgar permisos sin ningún tipo de estudio previo que indique que la zona es apta para esta actividad.

En el recorrido pude observar que, existe un plantel educativo situado a un costado de la geoforma la cual ocasiona daños a la infraestructura de la escuela, a causa de la infiltración de agua que se presenta en temporada de lluvias, dando como resultado que el agua fluya dentro de la misma provocando encharcamientos dentro de la institución.

En una de las rejas que brinda acceso y salida de la institución, se encuentra una zona donde el agua que entra por la parte trasera atraviese el patio y salga por la reja que da a la calle principal, el agua que se infiltra invade parte de la calle para terminar su curso en las viviendas que se encuentran en frente de la escuela y desembocan en el sistema de drenaje, como se muestra en las siguientes imágenes. (Imágenes 4 y 5)



Imagen 4 y 5. Fuente: Elaboración propia tomada el 20 de septiembre del 2014

Debido a la acción de la infiltración en las viviendas, surgió la vulnerabilidad estructural, la cual consiste en identificar los daños generados en las viviendas a causa de este proceso, observar cuales son las principales afectaciones que presentan las casas y poder buscar alternativas que ayuden a aminorar los daños ocasionados en las viviendas.

Durante el recorrido observe los daños ocasionados por infiltración en las viviendas, (Imágenes 6 y 7) debido a la modificación de la geoforma, lo que ocasiona que las casas construidas a un costado o en lo que algún día constituyeron las laderas de la ya mencionada, están sujetas a humedad lo que les da una coloración verdosa a las paredes y cimientos de las casas, también se observa que en el área designada como estacionamiento de cada una de las viviendas, existen encharcamientos de agua derivados de la infiltración, que generan el crecimiento de pastos y pequeños arbustos dejando algunas casas vacías o inhabitables generando vandalismo, basura, malos olores y por supuesto pedias económicas.



Imagen 6 y 7. Fuente: Elaboración propia tomada el 20 de septiembre del 2014

Como medida estructural, se colocaron a lo largo de la calle afectada, un sistemas de tuberías (PVC) (Imagen 8), que van de la parte trasera de la casa a la calle, en la cual se encuentra un pequeño canal que dirige el agua infiltrada hacia estos tubos, los cuales sirven como drenes para que el agua que se infiltrada pueda salir por estos tubos y que el agua no se encharque más en las viviendas, lamentablemente esta medida no da abasto a la cantidad de agua infiltrada, los encharcamientos en los patios de las viviendas y humedecimiento de paredes y cimientos es evidente, las vivienda lucen una coloración negra y verdosa generada por la humedad.



Imagen 8. Fuente: Elaboración propia tomada el 20 de septiembre del 2014

Analisis de datos Precipitación

Para generar el análisis de los datos se recurrió a dividir la microcuenca en tres zonas: zona baja, media y alta, en la cuales se colocaron las estaciones utilizadas, e interpretar de manera local los datos de las precipitaciones de las estaciones y así poder estimar el desarrollo de las crecidas a lo largo de la microcuenca. Se optó por este proceso ya que por el tamaño de la microcuenca no se encontró estación meteorológica dentro de la cual se obtuvieran los datos. (Imagen 9, Tabla 1)

Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
15276 -San José Contadero	15108 - Santa María	15089 - San Francisco
15174 - Palo Mancornado		15282 - 3 Barrancas
15374 - Agua Bendita		15126 - Toluca
		15203 - Calixtlahuaca

Tabla 1. División de zonas en la microcuenca

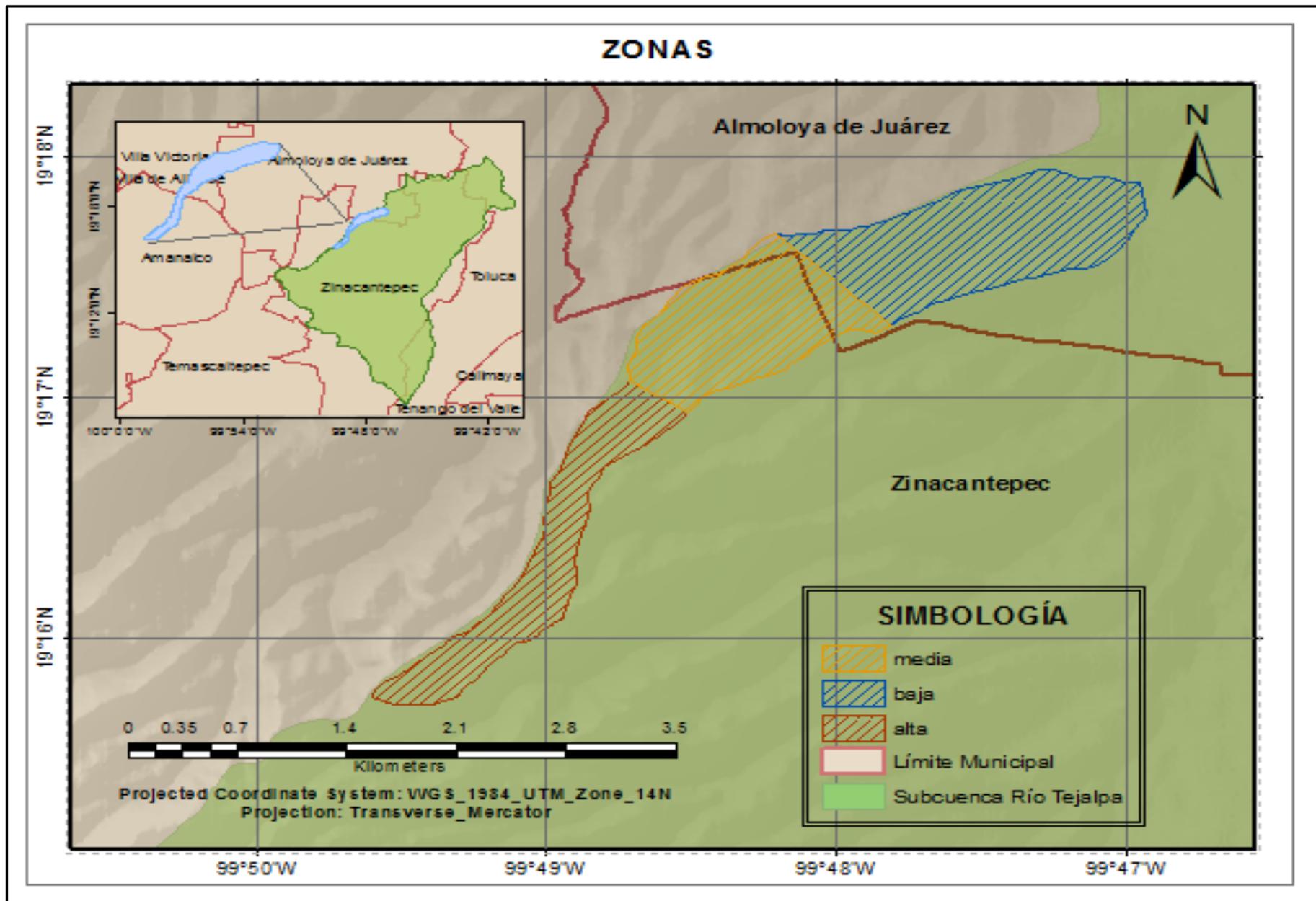


Imagen 9. División en zonas de la microcuenca.
Fuente: Elaboración propia con cartografía del INEGI 2010.

En las tablas resultantes se identificaron con color rojo las mayores precipitaciones en milímetros, con su respectivo periodo de retorno para cada estación.

Para la interpretación de las tablas, se muestra en la parte superior el nombre de la estación a la que corresponden los datos, de bajo de estos se coloco la precipitación máxima probable (PMP) en milímetros ya sea máxima, mínima o media, en la columna de la Izquierda los periodos de retorno (PTr) o años, y en cada columna de la derecha se coloco la duración en milímetros de la cantidad de precipitación probable para cada periodo de retorno, por ejemplo:

Para el caso de la **Precipitación Máxima Probable**, los resultados de las estaciones en las que se pudo medir esta variable, (Tabla 2) (Toluca y Calixtlahuaca) indicaron que en el caso del periodo de retorno de 50 años, se estima una precipitación en la estación Toluca de 73 mm en 110 minutos.

En la estación Calixtlahuaca se obtiene una precipitación de 62 mm que en un periodo de 50 años puede presentarse en un lapso de 98 minutos y en un periodo de 25 años esta precipitación puede ser alcanzada en los 130 minutos. Siguiendo el mismo procedimiento se sigue para la precipitación media y mínima.

Como se menciono, los datos de precipitación de las demás estaciones y zonas (media y alta) sobrepasan los años estimados de los periodos de retorno, los cuales se consideraron 50 años y el tiempo estimado de concentración de agua de 120 minutos, representados por el signo (>50) u otro número en la tabla.

PMP Máxima

Estación	San José C	Palo M	Agua B	Sta. María	Sn. Fco	3 Barrancas	Toluca	Calixtlahuaca
PTr/PMP	90 mm	97 mm	95 mm	75 mm	75 mm	90 mm	73 mm	62 mm
50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	110	98
25	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>60	130
10	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
5	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>42	>42
2	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>32	>32

Tabla 2. Precipitación Máxima Probable

En el caso de la **Precipitación Media Probable**, (Tabla 3) los datos nos permitieron conocer las probabilidades de precipitación en la mayoría de los periodos de retorno, centrándose en los 5 y 10 años.

Por ejemplo: para la zona alta la estación con mayor precipitación es la estación Agua Bendita con 41 mm, la cual en un periodo de 5 años puede presentarse en un periodo de tiempo de 112 minutos y en el caso de 10 años se estima que se presente en 75 minutos.

En la Zona Media la estación Santa María presenta una precipitación de 36 mm, que en un periodo de 10 años puede presentarse en un lapso de tiempo de 70 minutos y para los 5 años en 116 minutos

Para la Zona Baja, las estaciones de 3 Barrancas y Toluca presentan una precipitación de 40mm la cual en un periodo de 10 años es posible que alcance los 70 minutos, para el periodo de 5 años esta precipitación se generaría en un tiempo aproximado de 108 minutos en ambas estaciones.

PMP Media

Estación	San José C	Palo M	Agua B	Sta. María	Sn. Fco.	3 Barrancas	Toluca	Calixtlahuaca
PTr /PMP media	29 mm	39 mm	41 mm	36 mm	38 mm	40 mm	40 mm	38 mm
50	34	34	34	32	28	32	32	30
25	40	46	48	42	36	42	40	38
10	70	75	75	70	58	70	70	60
5	108	114	112	116	90	108	108	95
2	>22	>30	>32	>26	>30	>32	>32	>32

Tabla 3. Precipitación Media Probable

Para la **Pecipitación Mínima Probable** los periodos de retorno se concentran en 2 y 5 años, para la zona alta de nuevo la estación Agua Bendita vuelve a precentar el mayor dato de precipitación con 21 mm dentro de las mínimas en esta zona, que en un lapso de 5 años se presentaria en un tiempo de 34 minutos, y en 2años en 40 minutos.

En la zona media el dato solo se tomó el de periodo de retorno de 2 años ya que la estación registró solo 10 milímetros los cuales se estiman puedan caer en un lapso de 9 minutos.

En la zona baja la estación Calixtlahuaca registro una precipitacion de 27mm, los cuales en un periodo de 5 años puesden caer en un lapso de 38 minutos y para periodo de retorno de 2 años esta puede enerarse en 80 minutos.

PMP Mínima

Estación	San José C	Palo M	Agua B	Sta. María	Sn. Fco.	3 Barrancas	Toluca	Calixtlahuaca
PTr /PMP min	15 mm	19 mm	21 mm	10 mm	25 mm	15 mm	12 mm	27 mm
50	7	7	7	>14	10	>16	>16	15
25	9	9	9	>12	13	5	>14	18
10	13	13	12	>10	20	7	5	26
5	19	20	20	7	28	10	6	38
2	40	40	34	9	50	18	10	80

Tabla 4. Precipitación mínima probable

En la tabla 4 se centran en los periodos de 2 y 5 años, no en todos los casos como se puede apreciar, de igual manera se tomó el promedio de precipitación para estas estaciones de la misma zona, la cual es de 65 mm, que en un periodo de retorno de 5 años se estima que puede presentarse en un periodo de 16 minutos, lo que en dos años aumenta la probabilidad ya que es menor el periodo de retorno.

ISOYETAS E ISOTERMAS

Para complementar el análisis, se recurrió a la generación de una red de isoyeas e isotermas de la zona, en base a información de temperaturas (máximas y mínimas) y de precipitación (diarias e históricas), la generación de estos es complementario para poder analizar el comportamiento que han tenido los climas y las precipitaciones en la zona a lo largo de la serie de tiempo, y poder analizar la forma de distribución a lo largo de la microcuenca.

Temperatura mínima histórica vs Temperatura máxima histórica

Como se mencionó estas imágenes tanto de temperatura como de precipitación se realizaron tomando como base los años de registro 1980 – 2009, para las dos variables, con las cuales se realiza una comparación de los datos con respecto a la zona de estudio.

Dando como resultado la Imagen 10, representa las temperaturas mínimas, en la que se observa a la zona de afectación, dentro del área que presenta las temperaturas más bajas, las cuales oscilan dentro del rango de los 0.5 sobrepasando los 1.6 de temperaturas, la porción media de la microcuenca se encuentra dentro de los rangos medios que van de 1.6 a 2.5 de temperatura, la porción N-E o alta de la misma presentan las temperaturas más altas dentro de la mínima que alcanza los 2.9 de temperatura.

Al igual que en el caso anterior, la Imagen 11, representa las temperaturas máximas históricas, en la que de nuevo se presentan las temperaturas más bajas dentro del área de estudio, al igual que en la parte alta donde anteriormente, se presentaron temperaturas altas dentro de las bajas (siendo la Máx. de 2.9°), estas temperaturas oscilan entre los 21 y 27° , en su porción N-O la temperatura asciende a un rango medio alto, que va de los 30 a los 33° , observando que en las mínimas la temperatura se mantenía constante.

Con lo que puede deducirse que a menores temperaturas existe menor cantidad de evaporación de agua a lo largo del día, en el que influye el clima y sus condiciones ambientales, de acuerdo a la orientación del cauce principal que en mayor medida corre de S-O a N-E debido a su inclinación no recibe de manera uniforme la cantidad de insolación en sus vertientes a lo largo del día, lo que influye en la evaporación, insolación, transpiración de manera diferente.

TEMPERATURA MÍNIMA HISTÓRICA (°C)

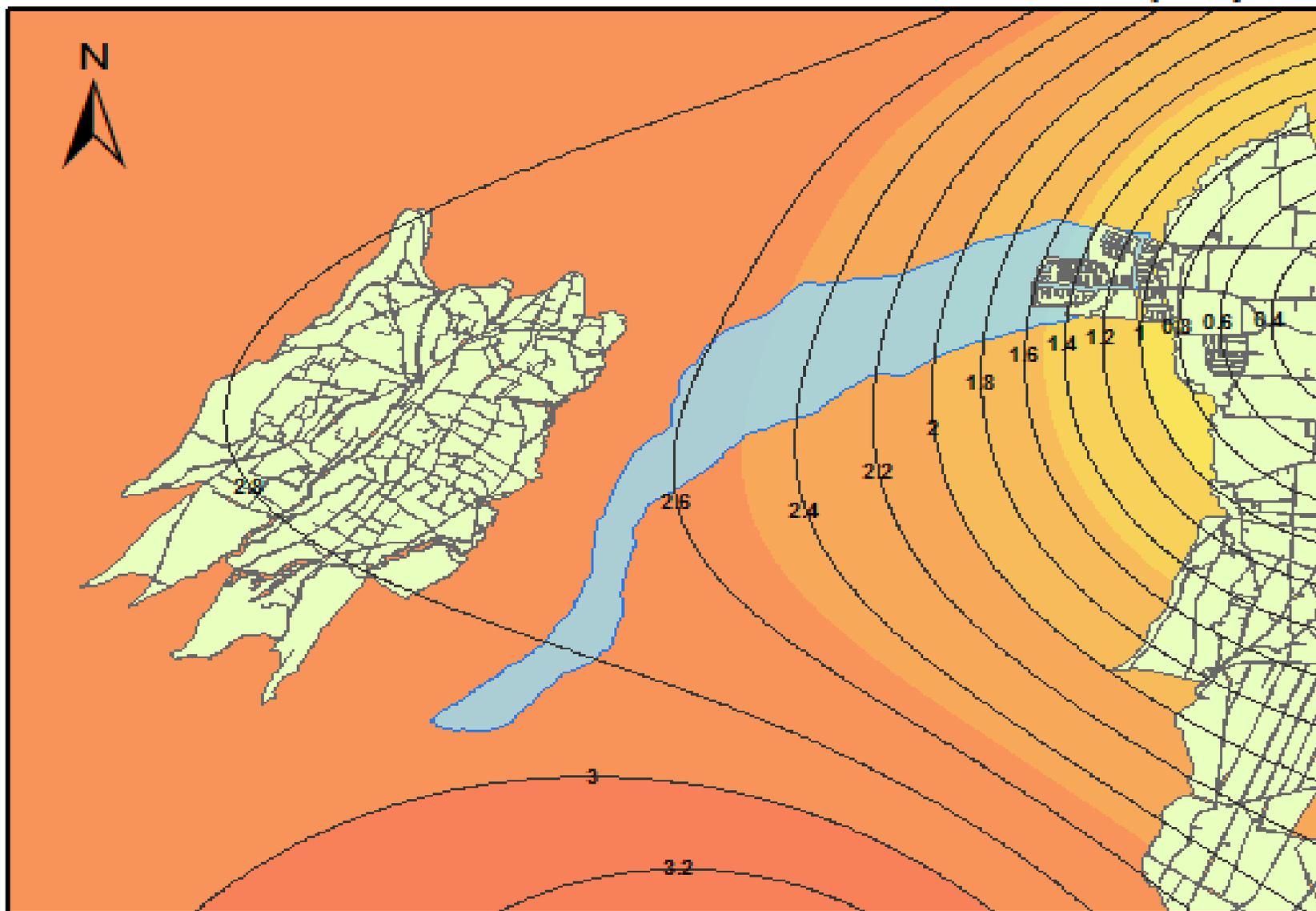


Imagen 10. Temperatura Mínima histórica

TEMPERATURA MÁXIMA HISTÓRICA (°C)

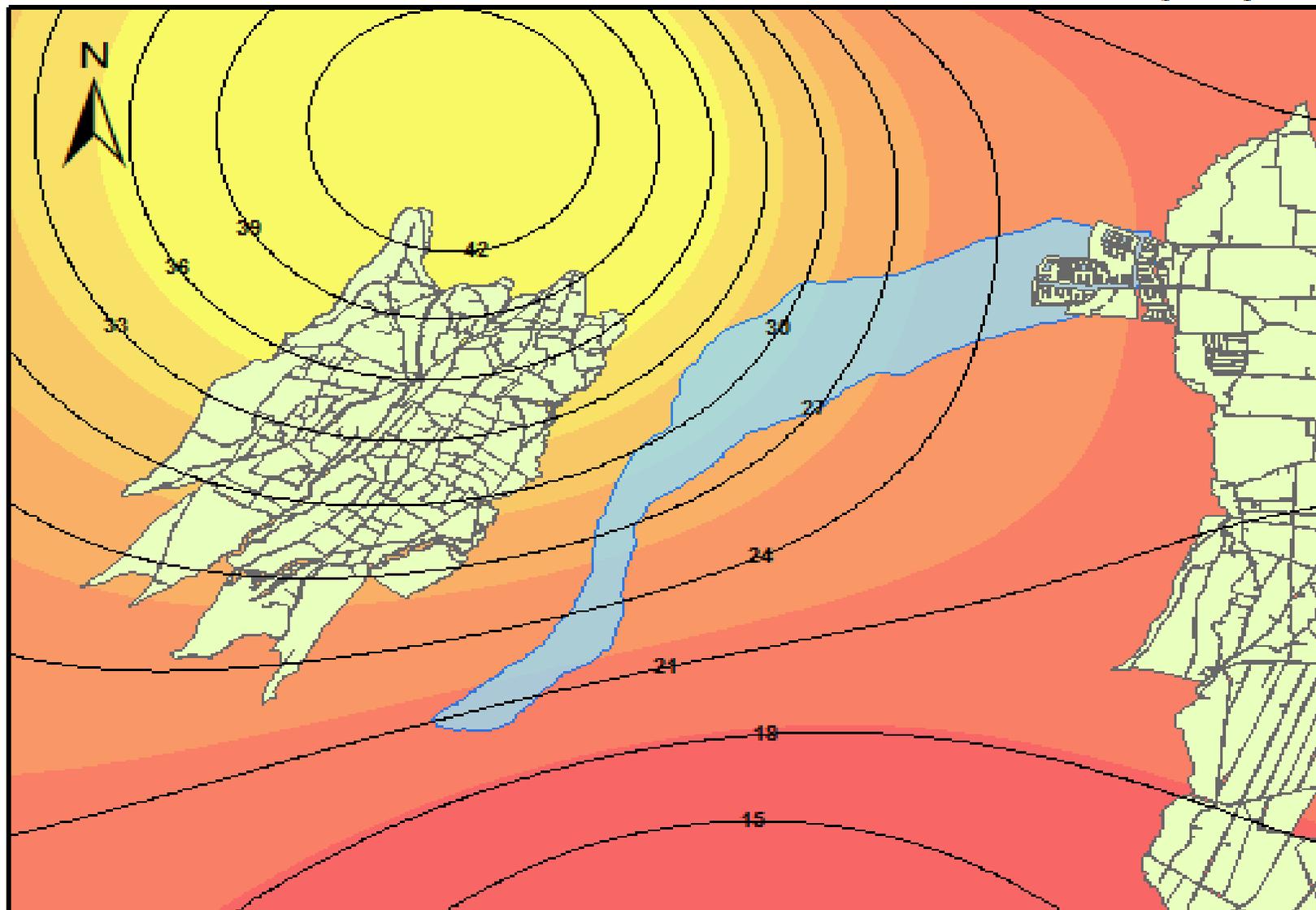


Imagen 11. Temperatura Máxima histórica

Precipitación diaria histórica vs Precipitación máxima probable

Para el caso de la precipitación de igual forma se sacaron dos mapas con los mismos años de registro que en el caso de la temperatura los cuales se analizaron de la misma manera:

En la primera Imagen 12, se representa la precipitación diaria histórica, observando que la cantidad de precipitación presente tan solo en la zona de afectación es de aproximadamente 10 a 11 mm, un valor bajo para que se presente este proceso por precipitación en esta zona, observando microcuenca arriba la precipitación aumentó, pero no de manera considerable, ya que la cantidad de agua precipitada es de los 12 mm de agua.

En caso de la Precipitación máxima probable (PMP) Imagen 13, el caso es similar ya que como se observa la cantidad de agua precipitada va de los 57 a los 63mm de agua precipitada, en este caso con forme observamos microcuenca arriba, la precipitación va aumentando gradualmente hasta llegar a los 81 mm de precipitación.

Concluyendo que es probable que la mayor cantidad de agua que llega a la zona de afectación provenga directamente microcuenca arriba, pudiéndose darse el caso que algunos otros excedentes de precipitación lleguen de otros afluentes más cercanos externos a la microcuenca aportando y aumentando así la cantidad de agua, acumulándose durante el trayecto llegando a la zona de desfogue una cantidad considerable de agua, que en conjunto con el arrastre de material no consolidado afecte a los habitantes de esta zona.

PRECIPITACIÓN DIARIA HISTÓRICA (mm)

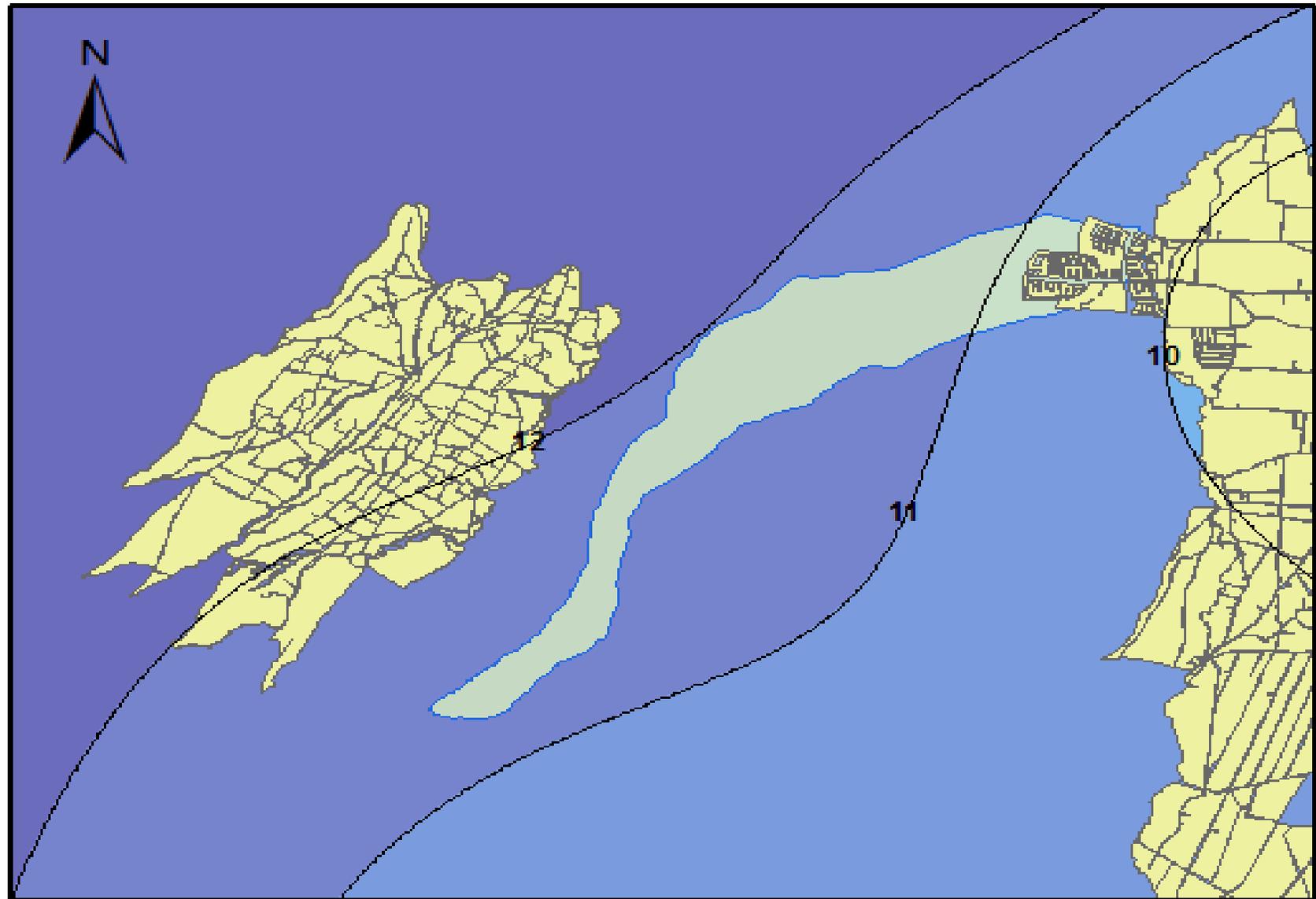


Imagen 12. Precipitación diaria histórica (mm)

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE (mm)

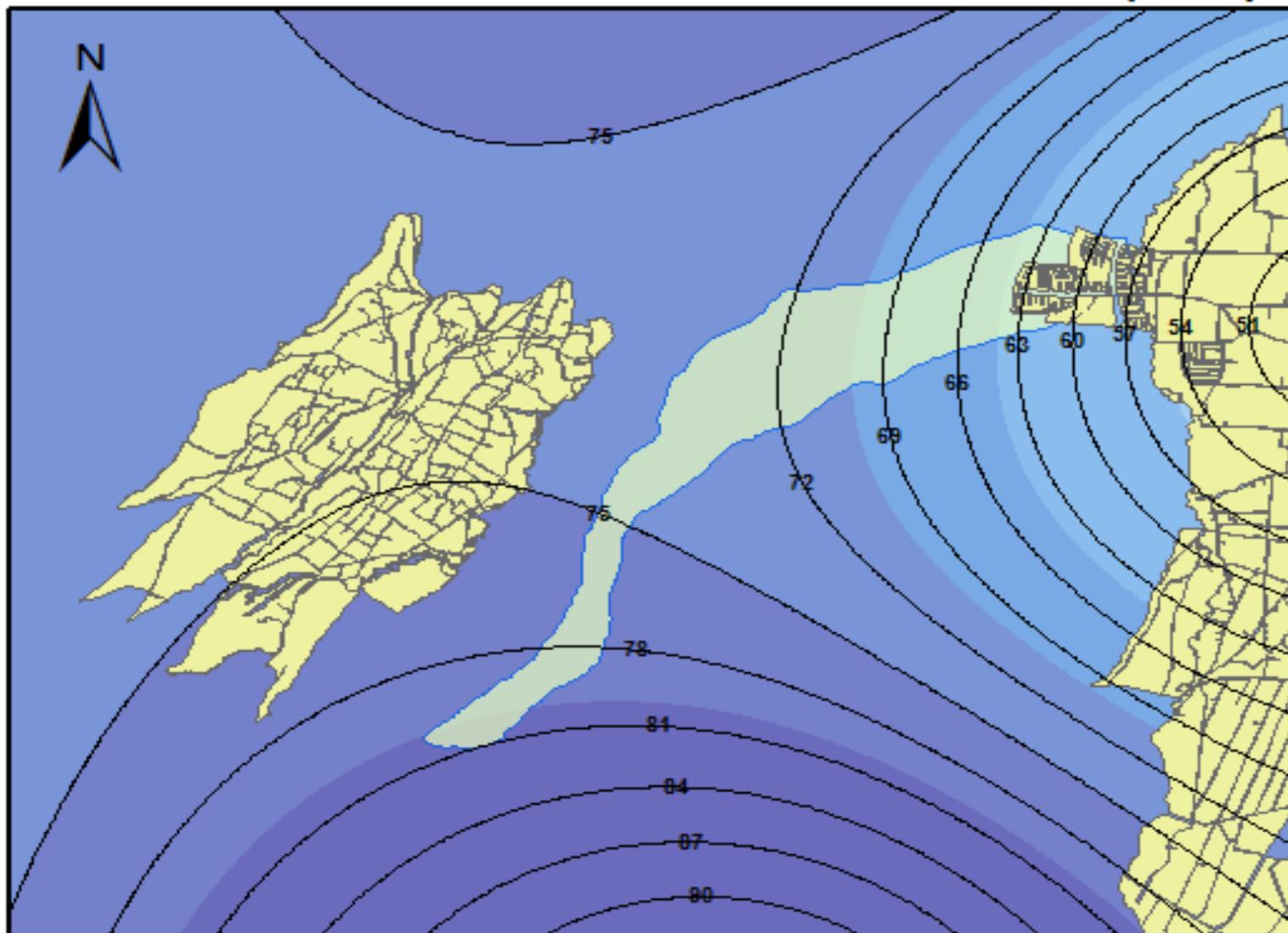


Imagen 13. Precipitación máxima probable (mm)

CONCLUSIONES

Como se mencionó las inundaciones al paso de los años han tomado relevancia debido a los daños económicos y sociales que causa, la aparición de estos procesos, en parte ocurren por asentamiento de viviendas en zonas no aptas o de riesgo, también porque en algunas circunstancias no se tiene otra opción ya que es el único terreno con el que se cuenta o la falta de información acerca de los riesgos que se corre al asentarse en zonas peligrosas.

En otros casos, en definitiva, como es el abarcado en este análisis, por la deficiencia en la aplicación de políticas públicas para el establecimiento de zonas habitacionales en zonas que no han tenido estudios previos en los cuales se revelen las características en las que se encuentra la zona, con las que se puedan descartar zonas de peligro para los futuros habitantes y de la misma forma evitar pérdidas económicas a largo plazo, que propicien así mismo el abandono de viviendas que a su vez generen otros problemas como basura vandalismo entre otras.

Para lograr los objetivos del análisis se tuvo que recurrir a modificar la metodología ya que en algunos procesos era complicada la obtención de los datos, por ejemplo: para determinar los datos de precipitación máxima probable se tuvieron que descartar algunas estaciones meteorológicas las cuales tenían en su mayoría ausencia de registros, y de igual manera en las estaciones seleccionadas se tuvo que realizar la reconstrucción de algunos datos para la estimación de la precipitación máxima probable, indispensable para generar las gráficas de curvas de precipitación duración periodo de retorno.

De la misma manera al calcular o representar estas gráficas de curvas de precipitación duración periodo de retorno en el software, nos percatamos que nos impedía estimar los periodos de retorno y el tiempo de concentración de la precipitación máxima probable (PMP), debido a que no nos permitía representar los milímetros de precipitación, por lo que se optó por graficar la curvas en papel, lo que a su vez nos llevó a verificar que la PMP para algunas estaciones era imposible determinar los periodos ya que los milímetros de precipitación medidas en algunas estaciones se concentra entre los 75 y 90 mm, rebasando el periodo de retorno estimado que es de 50 años y el tiempo de concentración de 120 minutos. Para resolver este dilema se recurrió a determinar la Precipitación Media Y Baja Probable para que dentro de estos datos se pudiera determinar los periodos e retorno de esas estaciones.

Finalmente, con la ayuda de estos datos se pudo concluir que por el momento la zona de estudio está fuera de peligro, de acuerdo a los datos de PMP se estima que durante un periodo mayor a 50 años precipite 85 mm en un tiempo mayor a 104 minutos, durante los próximos 25 años esta cantidad se presente en 130 minutos.

Para un periodo de retorno de 10 de acuerdo a la precipitación media probable es de 69 mm que puede precipitar en 68 minutos, y en 5 años esta aumenta los 100 minutos.

No obstante existen factores que influyen de manera directa en el proceso y desarrollo de las inundaciones, como son cambios en las características físicas de la zona, mencionando algunas como el grado de degradación de los suelos, pérdida de cobertura vegetal, cambios en la estructura de la geoforma que implican pérdida en el equilibrio del desarrollo natural de los procesos, otro factor crucial es el meteorológico ya que este determina la cantidad de precipitación y los periodos de tiempo a los que estamos expuestos.

Los resultados de este análisis no fueron los esperados, pero de igual manera son satisfactorios ya que gracias a estos estudios se genera nueva información y herramientas que pueden ayudar a generar estrategias que mitiguen o minoren los estragos ocasionado por este proceso, de igual forma ayuden el desarrollo de políticas medioambientales que definen estrategias de sostenibilidad, planes ambientales y programas de prevención, de conservación de la biodiversidad y del paisaje, así como de prevención de riesgos de inundación y otros procesos.

Es interesante el hombre aparece como un factor fundamental que transforma los ecosistemas en territorios, espacios geográficos y paisajes, es en este punto donde la geografía, así como otras ciencias del territorio que también permiten un análisis multiescalar, realizan su mayor aportación a las cuestiones ambientales, dado que hacen posible una aproximación más comprehensiva y global de los procesos ecológicos y socioeconómicos a los que estamos expuestos día a día.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (21 de marzo de 2015). “*Conceptos de amenaza y vulnerabilidad.*” Obtenido de:
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/04Capitulo2.PDF?sequence=4>
- Agulló, T. (09 de octubre de 2014).” *Concepto de Metodología*”. Obtenido de:
<http://www.ecured.cu/index.php/Metodolog%C3%ADa>
- Ayala, J. y Cercedo, J. (2002). *Riesgos Naturales*” España, Editorial Ariel Ciencia
- Baró, J., Calderón, G., Díaz, C., & Esteller, V. (2005). *Cálculo de daños económicos potenciales por inundación en zonas habitacionales: un estudio de caso en el curso alto del río Lerma, Estado de México*. Estado de México En: Redalyc, Vol. 7, pp. 76-95.
- Baró José., Díaz D, Calderón Gina, Esteller M y Cadena Edel, (2011). *Costo más Probable de Daños por Inundaciones en Zonas Habitacionales de México*. En: Ciencias del Agua, Vol. 2, Núm. 3, pp.201-218
- Bassols A., (1997). *Recursos Naturales de México (Teoría, Conocimiento y Usos)*, Editorial Nuestro Tiempo.
- Bonilla, S., (18 de enero de 2015). “*Factores de una Inundación*”. Obtenido de:
<http://www.monografias.com/trabajos81/estudio-factores-determinan-peligros-inundaciones/estudio-factores-determinan-peligros-inundaciones2.shtml>
- Castaño S., & Carvajal., A. (2009). “Características de la Vivienda Localizada en Zonas de Alto Riesgo por Inundación: Una Mirada a los Aspectos Ambientales y de Apropiación Tecnológica”. En: *Revista Académica e Institucional de la UCPR*.
- Espinosa, L. M. (2000). Geomorfología del noreste del Nevado de Toluca, México. México D.F: Tesis de Maestría, UNAM.
- Ley General de Cambio Climático, Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de 2012.
- Ley General de Protección Civil, Diario Oficial de la Federación, 06 de junio de 2012.
- Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, De la Ley de Planeación, 28 de noviembre de 2016
- Ley General de Asentamientos Humanos del Estado de México, Periódico Oficial “Gaceta de Gobierno”13 de diciembre de 2001.

- Federal, P. A. (2012). Ley del Agua para el Estado de México y Municipios, Decreto número 52 de LA H. "LVIII" Legislatura del Estado de México. 14 d septiembre de2014.
- Keller, E., & Robert., B. (2004). *Riesgos Naturales, Procesos de la Tierra como Riesgos Desastres y Catástrofes: En: Madrid*, Editorial Pearson Prentice Hall.
- Franco, L. (2010), “Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas”. *En: Revista de Ingeniería*, núm. 31, pp. 97-108.
- Garnica, R., & Alcántara, I. (2004) Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla Veracruz” *En: Redalyc*, núm. 55, pp. 23-45.
- Gómez, G., Hernández, F., Castillo, A., Díaz, M., & Pérez, A. (2008) “Vulnerabilidad y Riesgo por Inundación en San Cristóbal de las Casas”. *En: Redalyc*, Vol 23, pp. 83-122.
- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010) “Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace?” *En: Revista de Geografía Norte Grande*.
- INEGI., (8 de diciembre de 2014).” *Número de habitantes*”. Obtenido de:
<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- Lugo, J., & Inbar, M. (2002) “Desastres Naturales en América Latina”,
- López, A., (14 de enero de 2015). “*Edafología*”. Obtenido de:
<http://www.ingenieroambiental.com/inf/edafologia.htm>
- Matías L., Oropeza, O., Lugo, J., Cortez, M., & Jáuregui, E. (2007) Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México. *En: Investigaciones Geográficas UNAM*.
- Olarieta, J., (16 de diciembre de 2014) “*Método Científico de Marx*”. Obtenido de:
<http://diariodeunacolonia.wordpress.com/2012/11/26/el-metodo-cientifico-de-marx/>
- Rubio, P., (10 de octubre de 2014). “*La teoría general de sistemas y el paisaje*”. Obtenido de:
<http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000073/00000003.pdf>
- Sarmiento, E., (2006) *Introducción al manejo de cuencas Hidrográficas*. *En: Departamento de Publicaciones, Universidad de Santo Tomás*.
- Saurí, D., Ribas, A., Lara, A., & Pavón, D. (2010) La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava. *En: Papeles de Geografía*, Núm. 51-52, pp. 269-278.

- Seguinot, J., Batista, L., & Sánchez, M. (2008) Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico, En: GeoFocus (Artículos), n° 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157
- Torres, F., Carrillo, A., & Soltero, K., (1996) Desastres Naturales (Aspectos Sociales para su Prevención y Tratamiento en México)
- UNESCO., (22 de febrero de 2015). “*Glosario Hidrológico Internacional*”. Obtenido de:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862m.pdf>
- UNR., (23 de febrero de 2015). “*Teoría general de sistemas.*” Obtenido de:
<http://www.fceia.unr.edu.ar/asist/intro-tgs-t.pdf>
- Tamayo, M., (27 de enero de 2017). “*Procesos de Investigación científica.*” Obtenido de:
http://liografia/MARIO_TAMAYO_PROCESO_INVEST_CIENTIFICA.pdf
- Tamayo, P., (15 de enero de 2017). “*Tipos de Variables y sus implicaciones en el diseño de una investigación*”. Obtenido de:
<http://web.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Variables.pdf>
- Vázquez, M., & Méndez, J., (2011) La Vulnerabilidad de los Asentamientos en espacios no urbanizables en el Municipio de San Mateo Atenco, Estado de México. En: Quivera, vol. 13, núm. 1, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

