

Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales y Químicos del Municipio de Tecolotlán, Jalisco.

CAPÍTULO 6: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO.



INSTITUTO DE
INFORMACIÓN
ESTADÍSTICA Y
GEOGRÁFICA



DESARROLLO
ECONÓMICO

CONTENIDO

6	CAPÍTULO SEXTO: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO.....	3
6.1	Fenómenos de origen hidrometeorológico.....	3
6.1.1	Ondas Cálidas y Gélidas.....	3
6.1.2	Sequías.....	31
6.1.3	Heladas.....	70
6.1.4	Tormentas de Granizo.....	84
6.1.5	Ciclones Tropicales.....	100
6.1.6	Tormentas Eléctricas.....	128
6.1.7	Lluvias Extremas.....	146
6.1.8	Inundaciones.....	169
6.1.9	Vientos.....	254
6.2	Recomendaciones de medidas de mitigación del riesgo ante los peligros hidrometeorológicos más recurrentes en el Municipio de Tecolotlán.....	0
6.2.1	Inundaciones.....	0
6.2.2	Sequias.....	3
6.2.3	Tormenta Eléctrica.....	4
6.2.4	Ondas de calor.....	5
6.2.5	Heladas.....	6
6.3	Referencias Bibliográficas.....	8

6 CAPÍTULO SEXTO: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO.

6.1 Fenómenos de origen hidrometeorológico.

6.1.1 ONDAS CÁLIDAS Y GÉLIDAS

Una onda de calor se define, según la OMS como temperaturas mayores o iguales a 32.2 °C del aire con duración de más de tres días. Sin embargo los umbrales de temperatura máxima habituales para la población varían geográficamente. En esta circunstancia, se toma el percentil 90 como umbral a partir del cual se puede estar en presencia de una onda de calor, la siguiente condición es que este nivel de temperaturas se mantenga por tres días continuos o más.

6.1.1.1 *Impactos de las ondas de calor.*

La homeostasis se define como el conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo. Este mecanismo es el que permite equilibrar los niveles de temperatura entre las extremidades del cuerpo humano y otras partes. En este mecanismo de igualación de temperatura corporal, están involucrados cuatro procesos:

1. La obtención de calor por el metabolismo
2. La pérdida por evaporación
3. La ganancia y pérdida por conducción y convección
4. Ganancia o pérdida por radiación.

Si el cuerpo humano está en contacto físico con otros cuerpos pierde o gana calor por conducción, según si la temperatura del cuerpo es mayor o menor que la de las sustancias en contacto con él. Por otra parte, fluidos como el aire o el agua hacen ganar o perder calor al cuerpo humano por convección.

Cuatro variables meteorológicas impactan directamente los mecanismos de homeostasis térmica, estos son:

1. La temperatura del aire (medida con un termómetro de bulbo húmedo),
2. La humedad del aire,
3. La velocidad del viento y
4. La radiación solar.

La humedad elevada del aire dificulta el enfriamiento por evaporación de las transpiraciones y por lo tanto incrementa el estrés por calor.

Para expresar la influencia que ejercen las variables meteorológicas descritas en el estrés térmico, se han desarrollado índices que reflejen el efecto combinado de esas variables, tal como el índice de Temperatura Efectiva, el cual se estableció a partir de observaciones empíricas de los efectos de la circulación, temperatura y humedad del aire sobre un conjunto de individuos, y otros como el Índice de Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo, el Índice de Stress Calórico de Belding-Hatch. etc. La mayoría de estos índices involucran supuestos implícitos sobre la producción de calor metabólico, vestido y humedad.

Las temperaturas máximas podrían generar un escenario crítico y dar lugar a una mayor incidencia de casos como el golpe de calor, el agotamiento por calor, el síncope y los calambres por calor. Las olas de calor también incrementan la morbilidad y mortalidad asociadas a otras enfermedades que ocurren aún en ausencia del estrés del calor, por ejemplo, el infarto al miocardio, malestares cardiovasculares y de padecimientos gastrointestinales por la ingesta de agua contaminada, sin embargo, el golpe de calor es el único con una letalidad importante (Kilbourne, 2000).

Imagen 6-I. Índice de calor. Temperatura en °C eje vertical y humedad relativa eje horizontal.

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	58	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Fuente: <http://www.meteosantquirze.com/utilidades.htm>

Tabla 6-I Peligros asociados al índice de calor en función de temperatura y humedad relativa.

Nivel	Consecuencias
Peligro extremo	Insolación o golpe de calor son muy probables
Peligro	Insolación, calambres o agotamiento por calor son muy probables
Extrema precaución	Insolación, calambres o agotamiento por calor son posibles
Precaución	Posible fatiga

Fuente: <http://www.meteosantquirze.com/utilidades.htm>

Las personas más vulnerables a las ondas de calor son los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 años (porque tienen mayor probabilidad de enfermedades crónicas), los trabajadores agrícolas, de la construcción y los migrantes. También los enfermos y las personas con sobrepeso son muy vulnerables al calor extremo.

Los efectos en la salud se intensifican desfavorablemente en las áreas de bajo nivel socioeconómico, por carecer de recursos para la instalación de aire acondicionado y de

árboles y arbustos que proporcionen sombra, mientras que el acceso al cuidado sanitario es mínimo (Kilbourne, 2000). Muy probablemente la recurrencia e intensidad de las ondas de calor se incrementará debido al proceso de cambio climático en el planeta.

6.1.1.2 Temperaturas Mínimas Extremas

La temperatura, la velocidad del aire, la humedad y la energía radiante son los cuatro factores ambientales al abordar el análisis del peligro por calor o frío. El movimiento del aire facilita la pérdida de calor corporal más eficientemente en condiciones frías que en cálidas. La humedad no es un mecanismo importante de pérdida de calor puesto que la transpiración no ocurre tan fácilmente en temperaturas bajas. Por otra parte, la radiación solar en ciertas latitudes es menor en época invernal que durante el resto del año por lo que no es un factor de peso en ambientes fríos, pero no es el caso para la ubicación geográfica del municipio, en donde es evidente que la salida del sol y el avance del día van modificando la temperatura de modo extremo, tanto que se pueden tener temperaturas de invierno por la mañana y de verano a las 15:00 horas.

Estos cambios bruscos de temperatura son una causa importante de la incidencia de enfermedades respiratorias y pulmonares que afectan a la población en general, pero principalmente a niños, ancianos y enfermos.

En resumen, los factores de temperatura y velocidad del aire, y la radiación solar son los que más influyen en la determinación del peligro por temperaturas mínimas extremas.

Tomando en consideración solo los factores de temperatura y velocidad del viento, se ha desarrollado un índice de "Sensación Térmica" para predecir el estrés por temperaturas bajas. Sin embargo, para el caso en estudio, se ha señalado que el factor de radiación solar es importante a ciertas horas del día, por lo que es necesario establecer un índice que tome en consideración este hecho.

6.1.1.2.1 Mecanismos adaptativos del cuerpo al frío

Las principales respuestas adaptativas al frío son el estremecimiento (temblar y tiritar) y la vasoconstricción. La actividad muscular relacionada con el estremecimiento incrementa la generación de calor metabólico. La vasoconstricción periférica obliga a redistribuir el flujo sanguíneo de la piel y otras partes del cuerpo hacia tejidos más profundos donde es más eficiente la conservación del calor corporal. El sistema de venas y arterias funciona como un intercambiador de calor en el que la sangre a mayor temperatura de las arterias cede calor a la sangre más fría de las venas. El resultado final es una caída de la temperatura en la superficie corporal en favor de la central.

La hipotermia no intencional (accidental) resulta de la sobreexposición a temperaturas ambientales frías y es un problema de importancia considerable en salud pública.

La hipotermia es la única enfermedad conocida relacionada con el frío con una importante letalidad. Es razonable suponer que los casos de hipotermia ocasionan la gran mayoría de muertes para las cuales se certifica la exposición al frío como causa subyacente (código E901, Clasificación Internacional de Enfermedades, novena revisión).

La hipotermia es clínicamente significativa cuando la temperatura corporal cae a 35 °C o menos. Conforme cae la temperatura, la conciencia se nubla y el paciente aparece confundido o desorientado. La palidez resulta de la intensa vasoconstricción. Al principio, se presenta estremecimiento pero decrece marcadamente en intensidad a medida que la temperatura sigue cayendo y la hipotermia misma compromete la termorregulación. Con la hipotermia severa, temperatura corporal menor de 30 °C, se pierde la conciencia, la respiración se torna imperceptible y el pulso no es palpable. A temperaturas tan bajas, el miocardio se torna irritable y es común la fibrilación ventricular. El paciente puede parecer muerto aunque puede recuperarse con el tratamiento apropiado.

Las personas encontradas aparentemente muertas en circunstancias que sugieren hipotermia, se deben manejar para esa entidad hasta que se confirme su muerte. No se debe subestimar el potencial de recuperación de estas personas después de prolongadas maniobras de resucitación cardiopulmonar. Una víctima aparente de ahogamiento en aguas heladas se recuperó completamente después de carecer de latidos cardiacos durante 2.5 horas.

6.1.1.3 Metodología

Obtener los registros de datos climatológicos de tres décadas de temperaturas máximas y mínimas extremas mensuales, de cada una de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

Crear una base de datos climatológicos con los valores de temperaturas máximas estacionales, (otra para las mínimas), trazar isolíneas con los valores obtenidos a través de una interpolación, utilizando sistemas de información geográfica.

Analizar los valores de frontera para la ecuación de la interpolación propuesta y establecer los rangos para las isotermas de acuerdo a ésta guía, lo anterior con objetivo de estandarización.

6.1.1.3.1 Análisis de las ondas de calor.

Se obtuvo la serie de datos de temperaturas máximas de la estación 14143 del Servicio Meteorológico Nacional por medio del CLICOM a través de la plataforma del CICESE. De la serie de datos se extrajo el percentil 90, obteniendo 36 °C como el umbral a partir del cual se pueden generar ondas cálidas, mientras que la temperatura promedio es 30.99 °C.

La recurrencia de temperaturas mayores o iguales a 36 °C para la estación Tecolotlán en la serie de datos estudiada que representan ondas cálidas según la metodología descrita, es decir, con duración mayor a 3 días, se muestra en la tabla, en la cual, en cada recuadro se muestra para el año y el mes en cuestión las ondas de calor y su duración, por ejemplo para abril de 1981, se presentaron dos ondas de calor: una de 6 día de duración y la otra de 3 días. Nótese además, que las ondas caen precisamente en un mes u otro totalmente, lo cual no siempre ocurre. En realidad algunas de ellas están distribuidas en dos e incluso 3 meses, en cuyo caso se asignaron al mes en que inician.

De la tabla 1 se puede ver que abril y mayo son los meses con más días de ondas de calor. Así mismo, que el evento de mayor duración se presentó en el 2005 durante 75 días, en su mayor parte continuos, a lo largo de los meses de abril a junio. Además se presentó una onda de calor en pleno invierno de ese año, única registrada durante el período que se estudió. Se observa que junio se han presentado más ondas de calor pero de menor duración, de tal manera que en el periodo estudiado, junio a tenido 108 días de ondas de calor en 24 ondas de calor con duración promedio de 4.5 días, mientras abril a tenido 160 días de ondas de calor en 21 ondas con duración promedio de 7.6 días.

Tabla 6-II. Duración en días de ondas de calor registradas en la estación meteorológica 14143 ubicada en Tecolotlán.

Año	Duración en días									
	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1980			15							
1981			6, 3	8						
1982		8, 6	13							
1983		3	3, 8, 4	3						
1984		4	5							
1985			10,5							
1986		12,4	3,10							
1987	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1988	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1989	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

1991				7						
1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1993	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1994	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1995	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1996		5	16	19			4			
1997			4	14	3					
1998	3	15	37	3						
1999		4,8	8, 19							
2000	9	3	37							
2001		25	14							
2002	7	6	29, 12							
2003	4	3	56							
2004		4	9	5						
2005		18	30,4	23						5,5
2006										
2007		5	7,13,3	8						
2008		4,11	5	3						
2009		5	4	4						
2010			8,15	10						
2011		7	8,8,12	3						

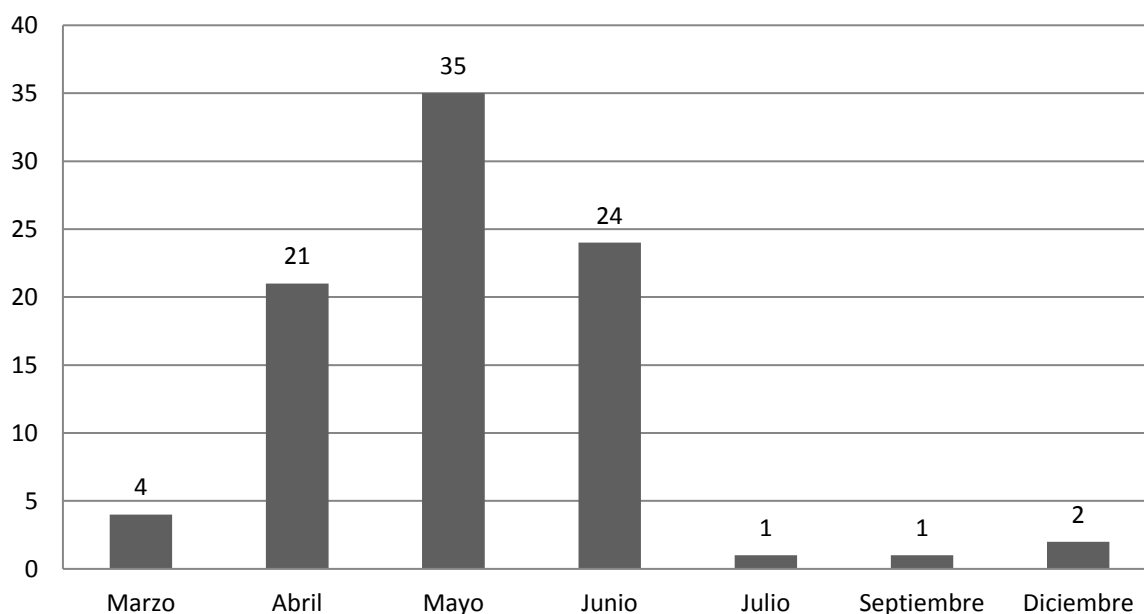
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-III. Meses con más eventos de ondas de calor.

Mes	No. de Eventos	Días totales
Marzo	4	23
Abril	21	160
Mayo	35	448
Junio	24	108
Julio	1	3
Septiembre	1	4
Diciembre	2	10

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6-I. Número de ondas de calor por mes, periodo 1980-2011.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-IV. Días por año con temperaturas superiores o iguales a 36 °C.

Número de año	Año con datos	Días con temperatura mayor o igual a 36 °C
1	1980	15
2	1981	17
3	1982	27
4	1983	21
5	1984	9
6	1985	15
7	1986	29
8	1996	46
9	1997	21
10	1998	48
11	1999	29
12	2000	49
13	2001	39
14	2002	54
15	2003	63
16	2004	18

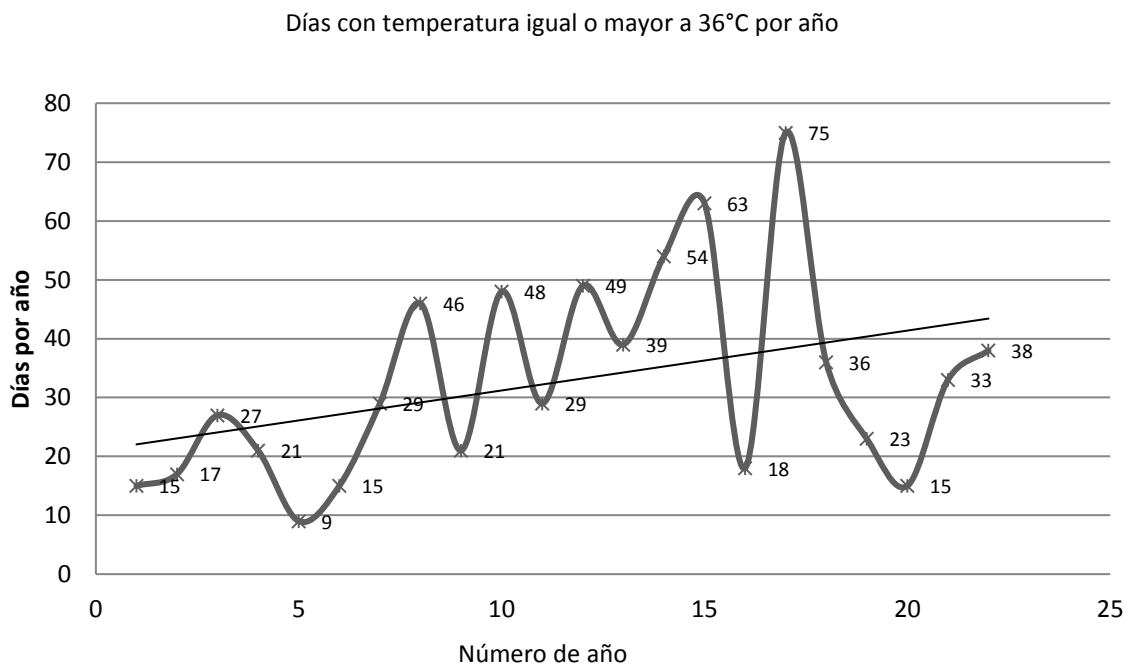
17	2005	75
18	2007	36
19	2008	23
20	2009	15
21	2010	33
22	2011	38

Fuente: Elaboración propia

Otra estadística interesante es el número de días al año con 36 °C o más y que además estén dentro de una onda de calor

Graficando el número de año contra los días con temperaturas iguales o mayores a 36°C en la cabecera municipal de Tecolotlán se puede obtener una idea de la tendencia de su incremento.

Gráfico 6-II. Incremento de la duración de ondas de calor a través del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

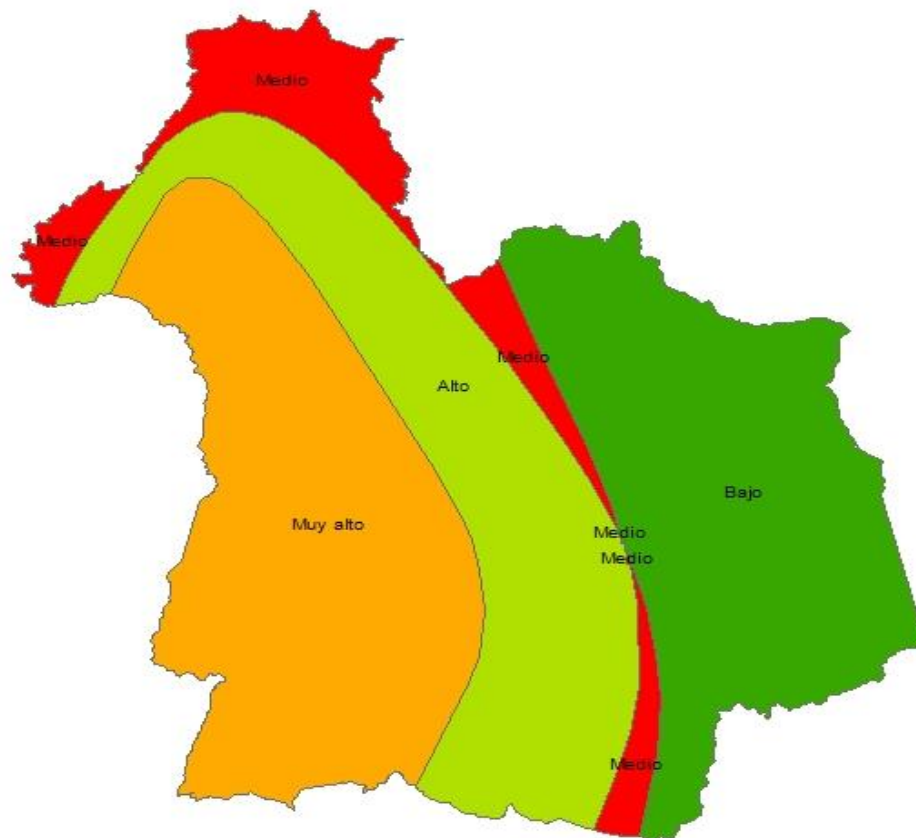
El peligro por ondas de calor para todo el municipio se determinó extrapolando los datos de temperaturas máximas de las estaciones meteorológicas localizadas en Ameca, Atemajac de Brizuela, Tenamaxtlán, Juchitlán y Tecolotlán.

En esta imagen el polígono en rojo con niveles de riesgo muy alto, abarca la cabecera municipal y San Buenaventura, puede alcanzar temperaturas hasta de 39.5 °C con periodo de retorno de 50 años. La zona de peligro alto se extiende en una franja que corre desde el sur del municipio hasta llegar a la base de la Sierra de Quila y doblar hacia el este, cubre las localidades de Tamazulita, Ojo de Agua, Cofradía de Duendes, La Ciénaga, Santa Marta, San Rafael, Tenextitlán y Arroyo Hondo, entre otras. En esta región se pueden tener temperaturas hasta de 38.5 °C con periodo de retorno de 20 años.

La región clasificada como de peligro medio cubre una parte importante de la Sierra de Quila en donde se encuentran las localidades La Lobera y El Zarco, luego se extiende hacia el sureste del municipio en una franja delgada en la que no se encuentran más localidades. En esta zona la temperatura puede alcanzar los 37.7 °C con periodo de retorno de 10 años.

La zona considerada como de peligro Bajo cubre la parte noreste del municipio y se encuentran en ella las localidades Palo Alto, Quililla, Ayotitlán, Los Ailes, Ambrosio, Lindavista, El Rodeo. La temperatura que es probable observar en esta zona es de 36.9 con periodo de retorno de 5 años.

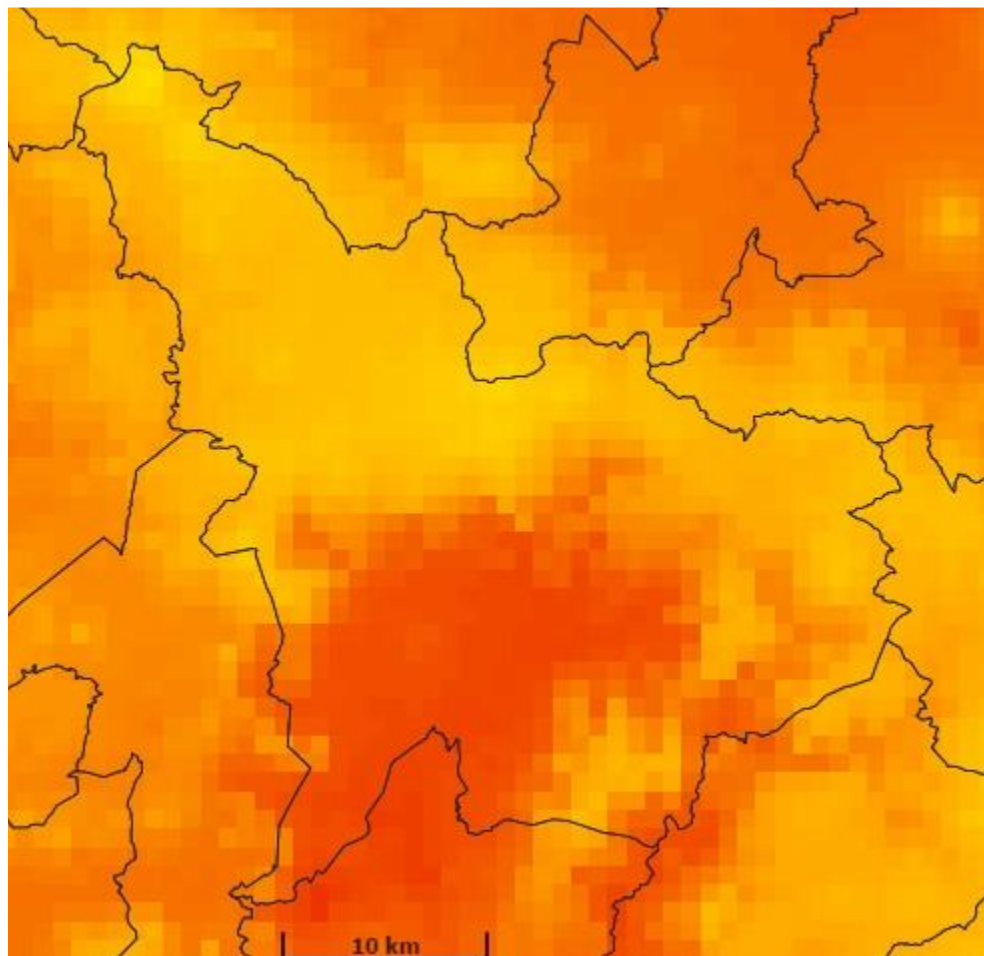
Imagen 6-II. Zonas de peligro por presencia de temperaturas mínimas extremas y ondas de calor.



Fuente: Elaboración propia

La siguiente es una imagen tomada del Atlas Climático Digital de México del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM de la temperatura máxima extrema absoluta, con datos de 1902 al 2011, disponible en: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>. El dato que se puede apreciar es que las temperaturas en la zona de la cabecera han alcanzado 44.3 °C.

Imagen 6-III. Temperaturas máximas absolutas en Tecolotlán, la zona en rojo representan 44.3 °C

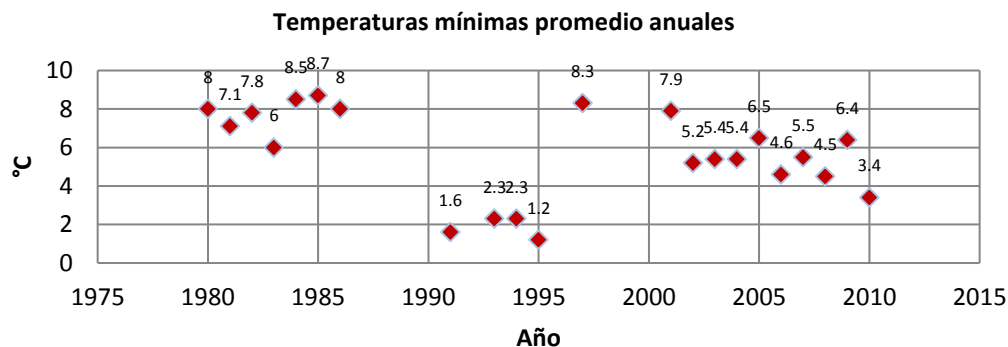


Fuente: UNIATMOS, UNAM

6.1.1.3.2 Análisis Temperaturas Mínimas Extremas

Para determinar el peligro por temperaturas mínimas extremas en el municipio se analizaron las temperaturas mínimas promedio registradas en las estaciones ya mencionadas. De los registros analizados se observa que la temperatura es mínima ya sea en enero o diciembre, en todos los casos. Específicamente, en la estación Tecolotlán se analizaron los años 1980-2010, sin embargo existe un faltante de datos para 8 años, por lo que la serie es de 22 años. Las temperaturas mínimas encontradas son:

Gráfico 6-III. Temperaturas mínimas promedio mensuales, estación Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia

Extrapolando los datos de la serie estudiada, los periodos de retorno obtenidos para la temperatura mínima en Tecolotlán.

Tabla 6-V. Periodos de retorno para temperaturas mínimas mensuales promedio.

Tr, años	°C
5	7.63
10	8.66
20	9.51
50	10.47

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de extrapolación se repitió para el resto de estaciones y se obtuvieron los siguientes resultados.

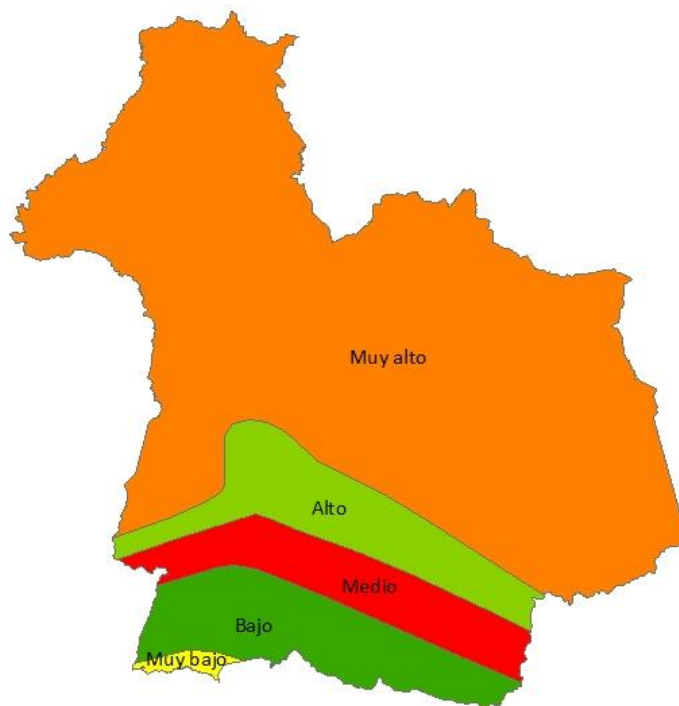
Tabla 6-VI. Periodos de retorno para temperaturas mínimas mensuales promedio, estaciones auxiliares.

Tr	Tecolotlán	Ameca	Atemajac B.	Tenamaxtlán	Juchitlán
	°C				
5	7.63	8.36	5.77	6.07	11.67
10	8.66	9.03	6.2	6.48	13.57
20	9.51	9.57	6.55	6.82	15.13
50	10.47	10.19	6.95	7.2	16.9

Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas obtenidas se interpolaron para obtener el mapa de peligro por temperaturas mínimas extremas en el municipio.

Imagen 6-IV. Mapa de peligro por temperaturas mínimas extremas.



Fuente: Elaboración propia.

En la región al norte y noreste de peligro muy alto se encuentran las localidades San Rafael, Tamazulita, La Casita de Paja y Cofradía de duendes. En esta zona se pueden tener temperaturas bajas mínimas de 5.77 °C y bajas máximas de 11.63 °C con período de retorno de 5 años. Pueden ocurrir casos de hipotermia a la intemperie. La zona determinada como de peligro alto cubre la cabecera municipal, Tenextitlán, El Zapote Prieto y La Lagunilla. Aquí las temperaturas mínimas bajas serían de 6.20 °C y las bajas máximas de 13.52 con período de retorno de 10 años.

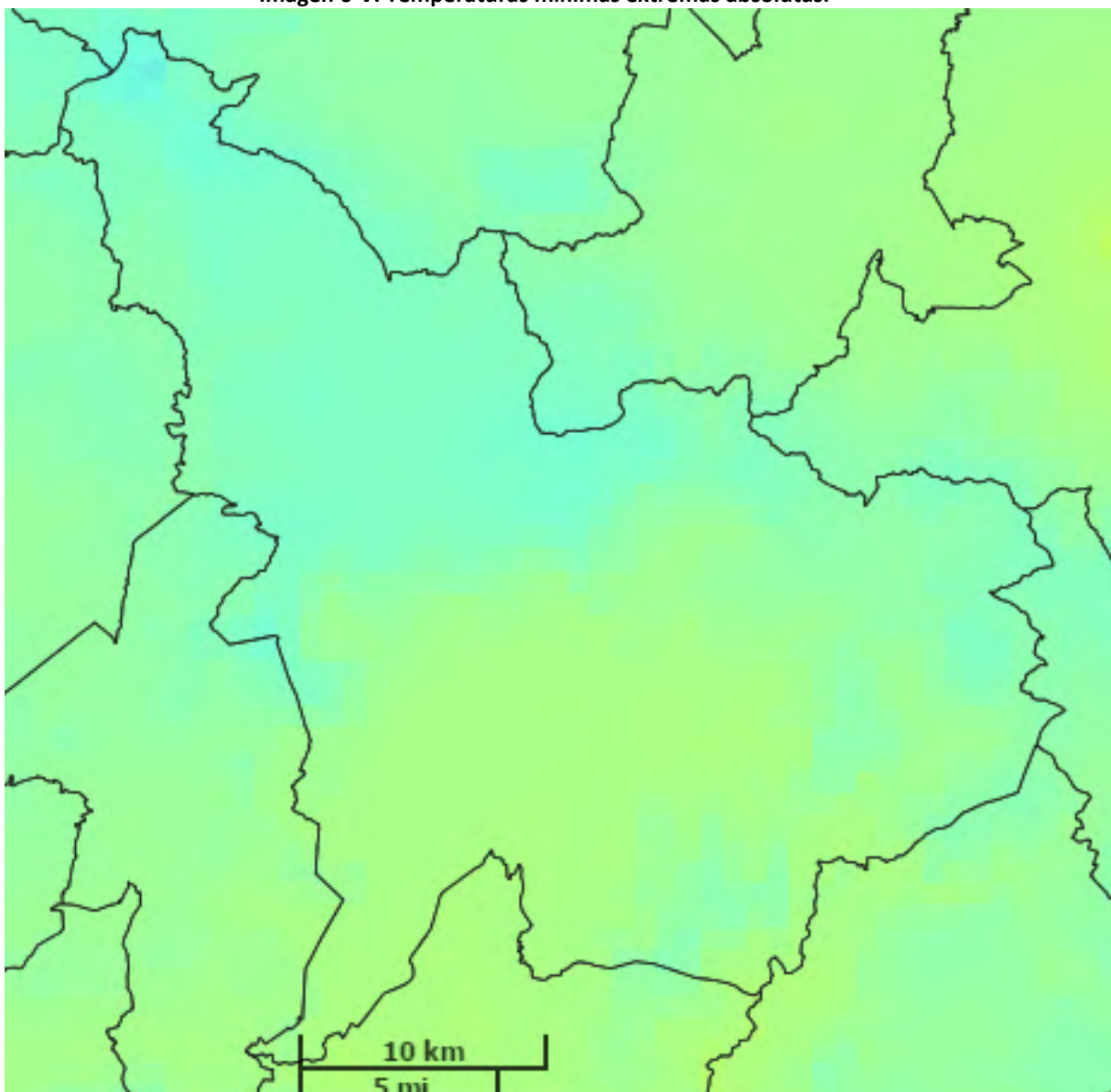
La zona de peligro medio tendría temperaturas mínimas en el rango de 6.56 a 15.07 con períodos de retorno de 20 años e implica a las localidades El Salitre y El Progreso.

En el límite entre la zona de peligro medio y bajo se encuentran las localidades La Ciénaga, San Buenaventura y Santa Martha. El rango de temperaturas bajas a las que están expuestas estas localidades va de los 6.96 a 15.48 °C con período de retorno de 50 años.

Finalmente, la zona de peligro muy bajo por temperaturas mínimas extremas se localiza en la parte sur del municipio afectando a la comunidad de San José con temperatura mayor siempre a 10 °C.

Tomando en consideración las temperaturas mínimas extremas absolutas, no las temperaturas mínimas promedio mensuales como en el presente estudio, El Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, obtiene la Imagen 6-V en la que las temperaturas mínima van de -7.7 °C en las partes altas de La Sierra de Quila a -1 °C en puntos cercanos a la localidad de San José.

Imagen 6-V. Temperaturas mínimas extremas absolutas.



Fuente: UNAM.

6.1.1.4 Vulnerabilidad por temperaturas máximas extremas.

6.1.1.4.1 Población

Los factores que afectan la exposición y la vulnerabilidad incluyen la edad, el estado de salud preexistente, el nivel de actividades al aire libre, la pobreza y el aislamiento social, la adaptación fisiológica y conductual de la población y la infraestructura urbana. Como se observa de los datos estudiados los días con temperaturas por encima de los 36 °C muestran una tendencia a incrementarse. La preocupación creciente por estos fenómenos nace de su vinculación con incrementos en la mortalidad y el desarrollo de enfermedades debidos, entre otras cosas a la proliferación de bacterias y vectores.

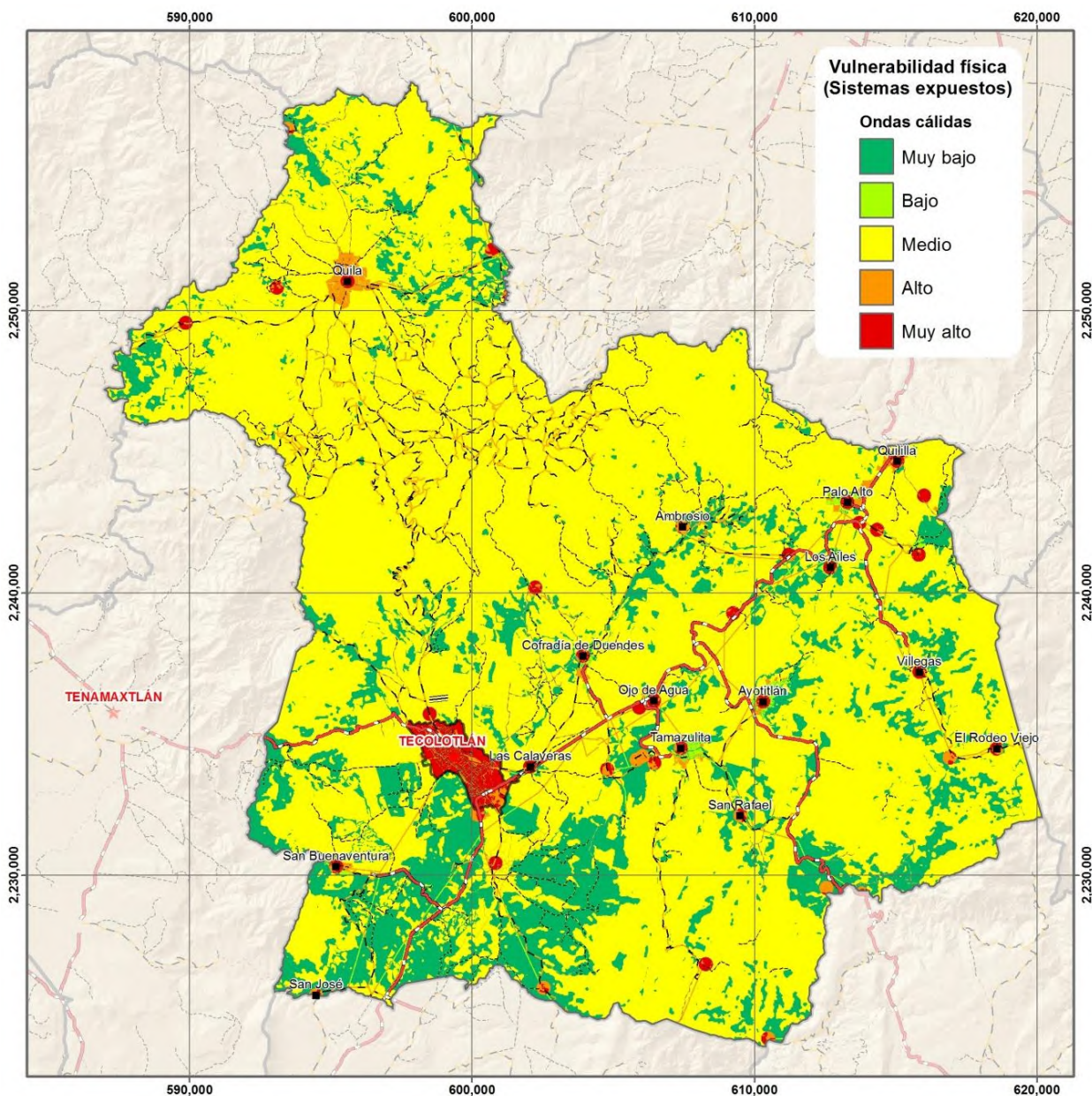
Según las proyecciones de CONAPO, para el presente año los habitantes de Tecolotlán mayores de 65 y menores de 0 a 4 años, los cuales son los estratos más vulnerables a las ondas de calor, serán:

Tabla 6-VII. Estratos de población más vulnerables a ondas de calor

Estrato	Hombres	Mujeres	Total
0-4	724	776	1500
65 +	990	1046	2036

Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO

Imagen 6-VI. Vulnerabilidad de sistemas a ondas de calor en Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4.2 Riesgo por ondas de calor.

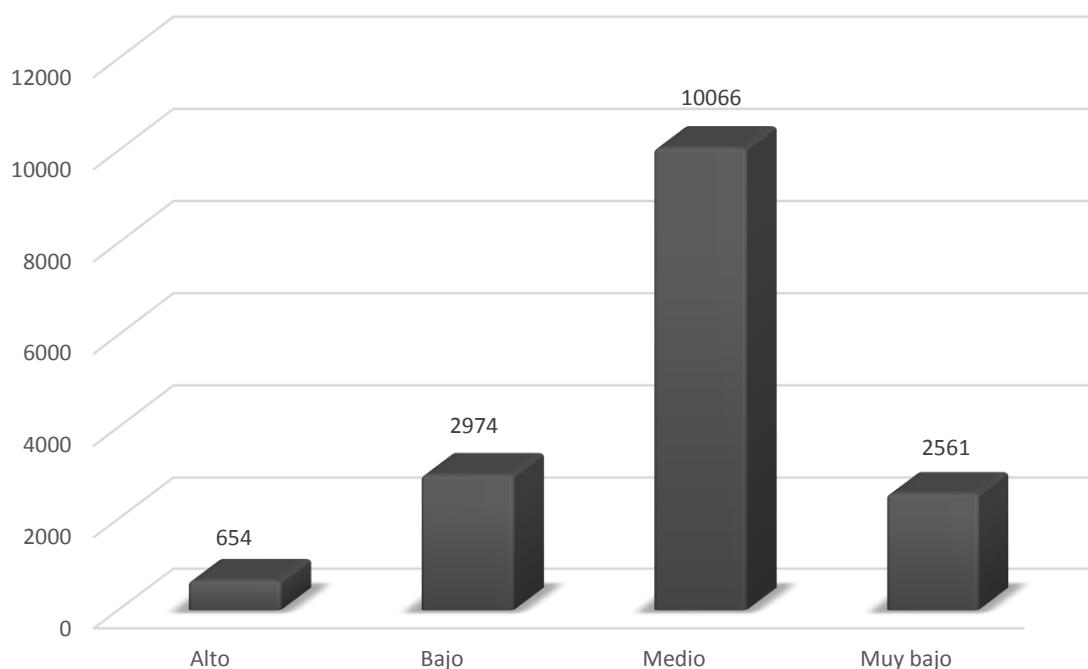
El análisis del peligro por ondas de calor y la vulnerabilidad de la población ante ondas de calor arroja el siguiente resultado para la población en riesgo por ondas de calor.

Tabla 6-VIII. Población en riesgo por ondas de calor

Nivel de riesgo	Población
Alto	654
Bajo	2974
Medio	10066
Muy bajo	2561
Total general	16255

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-IV. Población en riesgo por ondas de calor en Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

Estas cifras se distribuyen en las localidades:

Nivel de Riesgo Alto:

Tabla 6-IX. Población en riesgo alto

Localidad	Hab.
El Salitre (La Salitrera)	2
La Lagunilla	7
La Tuna Blanca (El Rancho Camacho)	14
Tecolotlán (Manzana)	631

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de Riesgo Bajo:

Tabla 6-X. Población en riesgo bajo

Localidad	Hab.	Localidad	Hab.
Aberrusco	2	Ojo De Agua	425
Caleras Cruz De Mayo (Calfinas)	3	San Rafael	195
Cofradía De Duendes	504	Santa Martha	26
El Relicario (Caleras)	2	Tamazulita	1457
La Carolina [Granja]	37	Tecolotlán (Manzana)	41
Los Chilares	5	Tenextitlán	3
Villegas	274		

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de Riesgo Medio:

Tabla 6-XI. Población en riesgo medio

Localidad	Hab.	Localidad	Hab.
Arroyo Hondo	1	La Lobera	13
El Progreso	1	La Palmita	9
El Zarco	15	Las Calaveras (Ejido Tenextitlán)	281
La Casita De Paja	3	Quila	1057
La Ciénaga	76	San Buenaventura	93
Tecolotlán (Manzana)	8517		

Fuente: Elaboración propia.

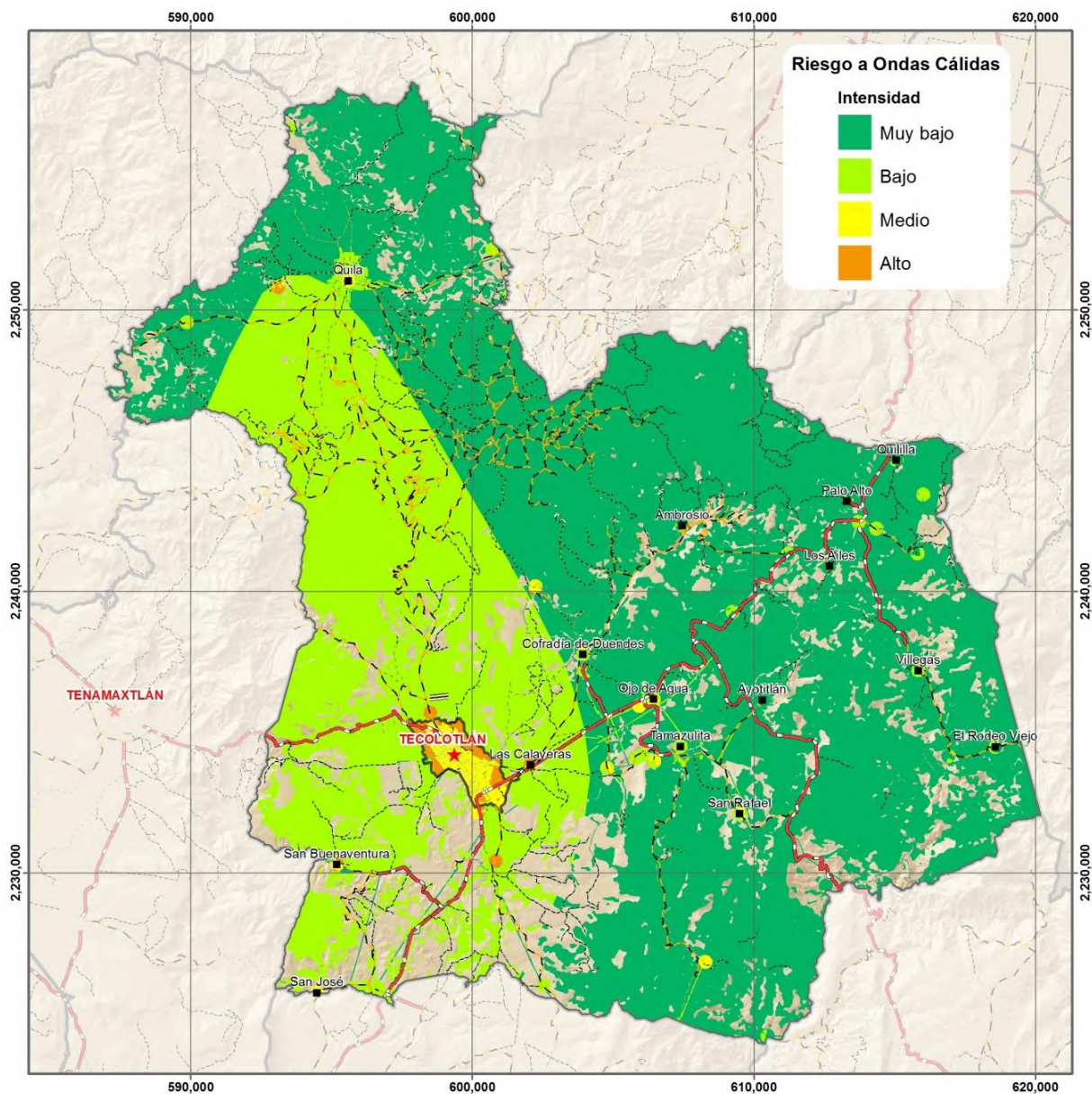
Nivel de Riesgo Muy Bajo:

Tabla 6-XII. Población en riesgo muy bajo

Localidad	Hab.	Localidad	Hab.
Ambrosio	109	El Zapote Prieto	3
Ayotitlán	1218	Las Trojes	31
El Guajolote (Rancho Alvarado)	92	Lindavista (Las Plazuelas)	70
El Mirador	12	Los Ailes	176
El Rodeo	12	Los Cuartos	72
El Rodeo Viejo (El Copal Colorado)	147	Palo Alto	257
Quililla	362		

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-VII. Riesgo ante ondas de calor en Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.5 Vulnerabilidad por ondas Gélidas.

La metodología para evaluar la vulnerabilidad por ondas gélidas ha sido desarrollada extensamente por CENAPRED. Los indicadores considerados son:

- Calidad de vida de la población (acceso de la población a los servicios de salud)
- Número de médicos por cada mil habitantes.
- Condiciones sanitarias de la población
- Densidad de población, habitantes/km²
- Estructura de población: grupos de edad.
- Conocimiento y manejo de los sistemas de calefacción.
- Tipo de vivienda y características.

A cada uno de estos indicadores se le dio un valor con lo que se determinaron diferentes niveles de vulnerabilidad ante heladas:

1. *Vulnerabilidad muy baja*: Manifiesta excelentes condiciones en la estructura social y económica de la población, que permiten resistir a las bajas temperaturas.
2. *Vulnerabilidad baja*: Tiene condiciones favorables en su estructura social, principalmente en la vivienda y servicios básicos, que permiten afrontar las consecuencias ocasionadas por bajas temperaturas.
3. *Vulnerabilidad media*: Expone valores intermedios en la estructura social de la población, que resulta en algunas dificultades como su organización para asimilar los estragos de las bajas temperaturas.

4. *Vulnerabilidad alta*: Muestra las carencias existentes en la estructura social y económica de la población, para afrontar bajas temperaturas. Además, requiere de ayuda y de periodos largos para solucionar sus necesidades básicas.
5. *Vulnerabilidad muy alta*: Presenta a la población con sus niveles más bajos en el sector educación, salud, vivienda e ingresos. Por ello, demanda de ayuda externa para recuperarse del desastre, así como de varios años para recobrar la estabilidad en la comunidad. Además, quedan secuelas de largo plazo. Esto implica la tarea de trabajar arduamente en programas de prevención y desarrollo social.¹

6.1.1.5.1 Riesgo por ondas Gélidas

Valorados peligro y vulnerabilidad se obtuvieron para la población de Tecolotlán los siguientes resultados:

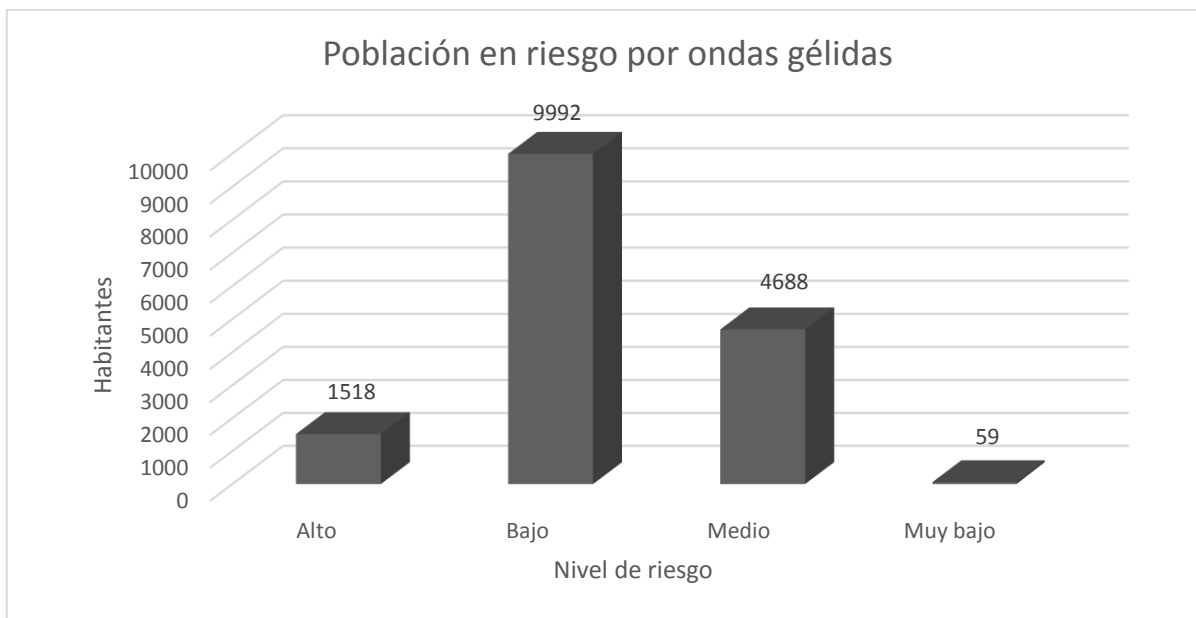
Tabla 6-XIII. Habitantes en riesgo ante ondas gélidas

Nivel	Habitantes
Alto	1518
Bajo	9992
Medio	4688
Muy bajo	59

Fuente: Elaboración propia

¹ Jiménez Espinosa, Martín, Matías Ramírez, Lucía G., García Jiménez, Fermín, Vázquez Conde, María T., Mendoza Estrada, David R., Renner, Stefanie, *Análisis Del Peligro Y Vulnerabilidad Por Bajas Temperaturas Y Nevadas*, en Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos, México 2006. CENAPRED.

Gráfico 6-V. Población en riesgo por ondas gélidas.



Fuente: Elaboración propia

Las localidades en riesgo alto son:

Tabla 6-XIV. Habitantes por localidad en riesgo alto

Localidad	Habitantes en riesgo
El Zarco	15
La Casita De Paja	3
La Lagunilla	7
La Lobera	13
Los Chilares	5
Quila	1057
Tecolotlán (Manzana)	144
Villegas	274

Fuente: Elaboración propia

Localidades en riesgo medio:

Tabla 6-XV. Habitantes por localidad en riesgo medio

Localidad	Habitantes en riesgo
Arroyo Hondo	1
Ayotitlán	1218
Cofradía De Duendes	504
El Guajolote (Rancho Alvarado)	92
El Mirador	12
La Carolina [Granja]	37
La Tuna Blanca (El Rancho De Camacho)	14
Lindavista (Las Plazuelas)	70
Los Ailes	176
Los Cuartos	72
Quililla	362
San Rafael	195
Tamazulita	1457
Tecolotlán (Manzana)	478

Fuente: Elaboración propia

Localidades en riesgo bajo:

Tabla 6-XVI. Habitantes por localidad en riesgo bajo.

Localidad	Habitantes en riesgo
Aberrusco	2
Ambrosio	109
Caleras Cruz De Mayo (Calfinas)	3
El Progreso	1
El Relicario (Caleras)	2
El Rodeo	12
El Rodeo Viejo (El Copal Colorado)	147
El Salitre (La Salitrera)	2
El Zapote Prieto	3
La Ciénega	76
La Palmita	9
Las Calaveras (Ejido Tenextitlán)	281
Ojo De Agua	425
Palo Alto	257
San Buenaventura	93
San José De La Peña	2
Tecolotlán (Manzana)	8565
Tenextitlán	3

Fuente: Elaboración propia

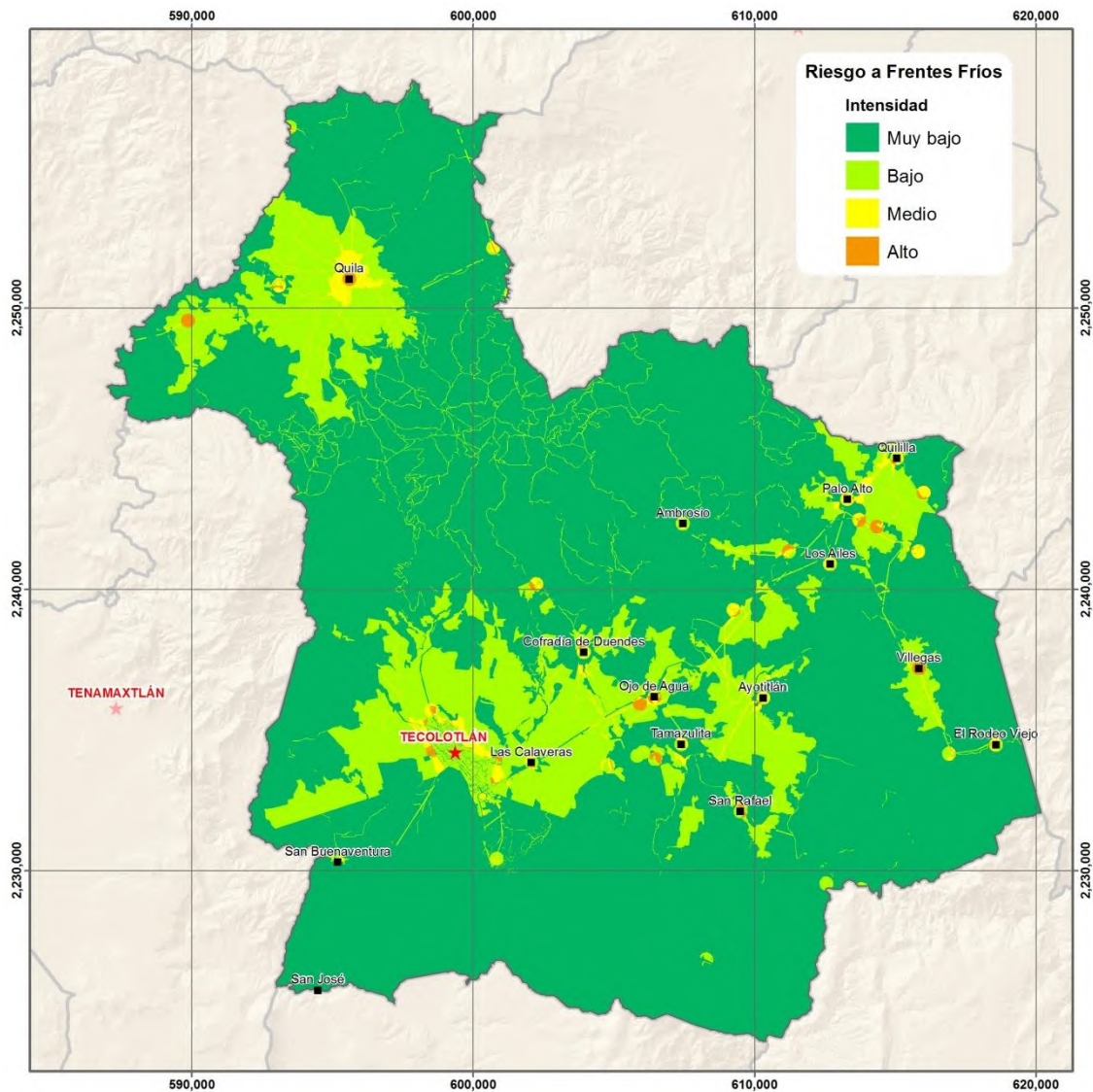
Localidades en riesgo muy bajo:

Tabla 6-XVII. Habitantes por localidad en riesgo muy bajo

Localidad	Habitantes en riesgo
Las Trojes	31
Santa Martha	26
Tecolotlán (Manzana)	2

Fuente: Elaboración propia

Imagen 6-VIII. Riesgo por ondas gélidas en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico.

6.1.2 SEQUÍAS

El riesgo de un desastre por eventos de sequía, ha sido definido como el producto de la exposición de la región afectada y el grado de vulnerabilidad de ésta frente al evento (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). Por otro lado, otros autores ponen mayor énfasis en el término vulnerabilidad, definido como el grado en el cual los sistemas humanos y ambientales son susceptibles de experimentar daño debido a una perturbación o estrés (Luers et al, 2003; Adger, 2006; Smith and Wandel, 2006; Downing and Patwardhan, 2004, Schneider et al, 2007).

Entre las múltiples amenazas naturales que pueden llegar a convertirse en desastres, una de las más importantes es la sequía, resultado de una deficiencia en la precipitación, respecto a lo considerado “normal”, de modo que, cuando se extiende a través de una estación o más tiempo, es insuficiente para satisfacer las demandas humanas y del ambiente (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005; Seth, 2003).

Las sequías han sido catalogadas como el peligro individual y natural más grande en el planeta (Patrick, 2003; Askew y Rodda, 1996). De hecho, según Below et al (2007), las sequías causaron más del 50% del total de muertes debidas a desastres naturales entre el 1900 y el 2004 y representaron el 35% de la población afectada por desastres y el 7% de las pérdidas económicas, después de las inundaciones y los terremotos. Sin embargo, el impacto económico de las sequías puede ser mayor, debido a que se presume que los impactos indirectos son mayores y generalmente son mucho más complejos de evaluar que los impactos directos (Ponvert-Deslisles, 2007).

En este contexto, las sequías, cuyo estudio se pretende abordar en términos de su probabilidad de ocurrencia mediante la estadística hidrológica, son consideradas como *“un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”* (Lapinel y Báez, 2007). De éste modo, y considerando que las principales características de la sequía

que son de interés determinar, se refieren a su duración, intensidad, distribución y especialmente su frecuencia; el tratamiento probabilístico resulta fundamental en la estimación del periodo de recurrencia medio de esta amenaza natural.

6.1.2.1 Método Nivel 1

- Obtención de datos climatológicos de precipitación diaria.
- Determinar índices de aridez de acuerdo al método utilizado por María Engracia Hernández.
- Calcular la anomalía de la precipitación acumulada mensual, dicho cálculo tiene como objetivo visualizar la diferencia de la precipitación promedio con la mínima calculada, puede ser en porcentaje o milimétrica.
- Consultar mapas de sequía del país a nivel municipal del CENAPRED.

Evidencia

Mapa de índices de aridez

6.1.2.1.1 Desarrollo

Antes de iniciar el desarrollo del apartado, nuevamente se hace notar que los conceptos de aridez y sequía no son equivalentes: la aridez se define como un estado climático permanente. Para definir el término de aridez se debe partir de las características de la superficie terrestre, tales como geomorfología y vegetación, las cuales afectan el clima hasta presentar las condiciones comunes de desertización, mientras que una sequía es un periodo considerado como anormalmente seco, el cual persiste a través del tiempo y puede producir graves cambios en los balances hidrológicos en una determinada región.

Como se ha mencionado en otros estudios similares, la M.C. María Engracia Hernández afirma que el método que ella ha desarrollado se refiere al uso no de un índice de aridez sino de severidad de sequía meteorológica (I.S.).

Se calcula con la expresión:

$$I.S. = \frac{SUMY - SUMX}{SUMX}$$

Si $SUMY - SUMX$ es menor de 0.0, hay sequía meteorológica.

$SUMY < SUMX$

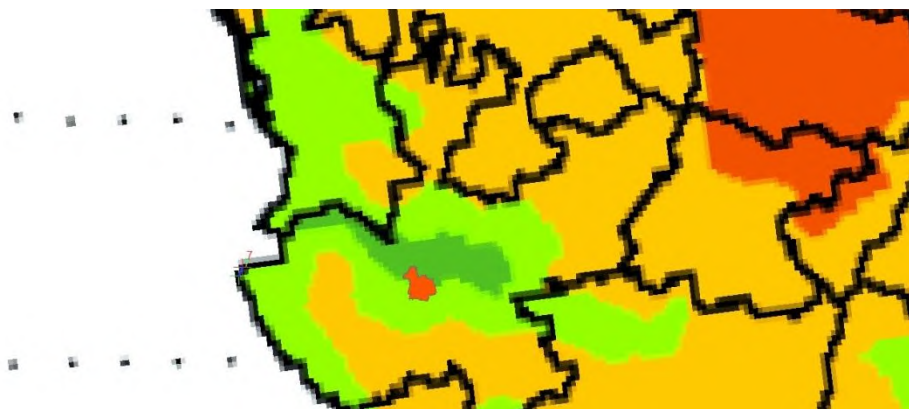
Donde:

Y = Precipitación mensual registrada

X = Precipitación media mensual normal

El modelo obtenido por Hernández mediante este método se muestra en la siguiente imagen, en el que a Tecolotlán corresponden niveles leve (mitad norte del municipio) y fuerte (verde claro)

Imagen 6-IX. Índice de severidad de la sequía



Fuente: Canadian Climate Center.

Una vez determinado el I.S. de sequía, se utilizará para generar el mapa de escenario base.

Se consideraron las estaciones:

Tabla 6-XVIII. Estaciones base para cálculo de escenario base

Estaciones		Coordenadas WGS 84 UTM 13 N	
Nombre	Clave	Y	X
Ameca	14009	2272390.15	599319.717
Atemajac de Brizuela	14013	2227359.44	633001.415
Tecolotlán	14143	2234205.79	599366.672
Tenamaxtlán	14301	2235770.26	587314.194
Juchitlán	14078	2220957.99	594359.83

Fuente: Elaboración propia.

El índice de severidad de sequía meteorológica se ha clasificado en siete grados:

Tabla 6-XIX. Grados de severidad de sequía meteorológica

Índice Valor absoluto	Grado	Guía SEDATU
mayor de 0.8	Extremadamente severo	Muy alto
0.6 a 0.8	Muy severo	Muy alto
0.5 a 0.6	Severo	Alto
0.4 a 0.5	Muy fuerte	Medio
0.35 a 0.4	Fuerte	Bajo
0.2 a 0.35	Leve	Muy bajo
< 0.2	Ausente	No aplica

Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

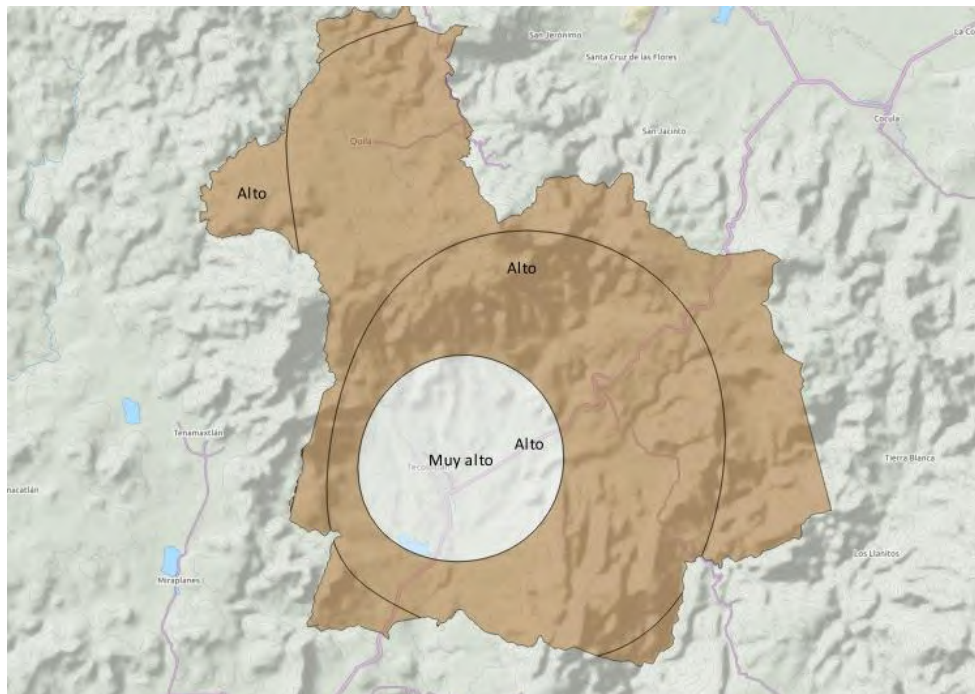
Tabla 6-XX. Grados de sequía meteorológica por estación

Estaciones		Coordenadas WGS 84 UTM 13 N		I.S	Grado
Nombre	Clave	X	Y		
Ameca	14009	2272390.15	599319.717	0.37	Alto
Atemajac de Brizuela	14013	2227359.44	633001.415	0.38	Alto
Tecolotlán	14143	2234205.79	599366.672	0.42	Muy Alto
Tenamaxtlán	14301	2235770.26	587314.194	0.35	Alto
Juchitlán	14078	2220957.99	594359.83	0.38	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Evidencia

Imagen 6-X. Grados de severidad de sequía meteorológica



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.2 Anomalía de precipitación mensual.

Definición: Resulta de la diferencia entre la precipitación acumulada del mes objeto del cálculo y la precipitación acumulada media de un periodo determinado para ese mismo mes. Valores positivos del indicador indican precipitaciones acumuladas superiores a las normales en ese mes mientras que valores negativos denotan lluvias acumuladas inferiores a la normal.

Unidades: Milímetros (mm).

Matemáticamente se expresa:

$$APAc_i = PAC_i - \overline{PAC_i}$$

Donde:

$APAc_i$ = Anomalía de precipitación acumulada para el mes i

PAC_i = Precipitación acumulada por el mes i en el año hidrológico.

$\overline{PAC_i}$ = Precipitación acumulada media para el mes i en el periodo.

A su vez, la precipitación acumulada por el mes i se define como la precipitación acumulada a lo largo del año hidrológico. Es el sumatorio de las precipitaciones mensuales registradas desde el mes inicio del año hidrológico, hasta el mes objeto del cálculo.

Es un indicador especialmente vinculado al seguimiento del comportamiento del año hidrológico de cara a la gestión de los recursos hídricos.

$$PAC_i = \sum_{j=1}^i P_j$$

Se eligió agosto del 2009 como el mes significativo dado que se presenta durante este sequía intraestival y además en esta fecha se tenían antecedentes de varios meses de sequía moderada y se iniciaba un periodo de sequía severa, los resultados son:

Tabla 6-XXI. Anomalía de precipitación mensual

Estaciones		Anomalía (mm)
Nombre	Clave	
Ameca	14009	-173.5
Mixtlán	14317	-159
Tecolotlán	14143	-147.26
Zacoalco De Torres	14168	-87
Juchitlán	14078	71.5

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.2 Método Nivel 2

Determinar los porcentajes de sequía intraestival (disminución de las lluvias durante el verano) de acuerdo a método de Pedro Mosiño y Enriqueta García, el cual consiste en la utilización de cuatro ecuaciones que representan los grados de sequía.

Se usan datos de precipitación media mensual, con preferencia de mayo a octubre. Elaborar gráficas para identificar el comportamiento de la sequía intraestival.

Se recomienda emplear el Índice de precipitación estandarizada, el monitor de sequía del SMN y el índice de Palmer.

Empleo de imágenes LANDSAT de la región IV para el cálculo del índice normalizado diferencial de la sequía o por sus siglas en ingles NDDI.

Evidencia

- Gráficas de comportamiento de la sequía intraestival.
- Mapa de grados de intensidad de la sequía intraestival.
- Mapa de la distribución espacial del NDDI.

6.1.2.2.1 Sequía Intraestival.

En la mayor parte de México, el régimen de precipitación presenta dos comportamientos durante el año, por lo que se tiene una época de lluvias y una época de estiaje (en este tiempo hay poca o ninguna lluvia. La sequía intraestival o canícula se define como la disminución de la precipitación, durante la época de lluvia respecto a su promedio.

6.1.2.2.2 Desarrollo (Método de Pedro Mosiño y Enriqueta García)

Se tomaran datos de precipitación de mayo a octubre con los datos de las estaciones ya mencionadas en el nivel 1. Las expresiones para 3, 4, 5 y 6 meses son:

$$A_3 = 0.5 * Y_1 - Y_2 + 0.5 * Y_3$$

$$A_4 = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4$$

$$A_5 = (3/2)Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + (3/2)Y_5$$

$$A_6 = 2 * Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2 * Y_6$$

$$SI\% = \frac{A_n}{\sum P(j - o)}$$

Resultados

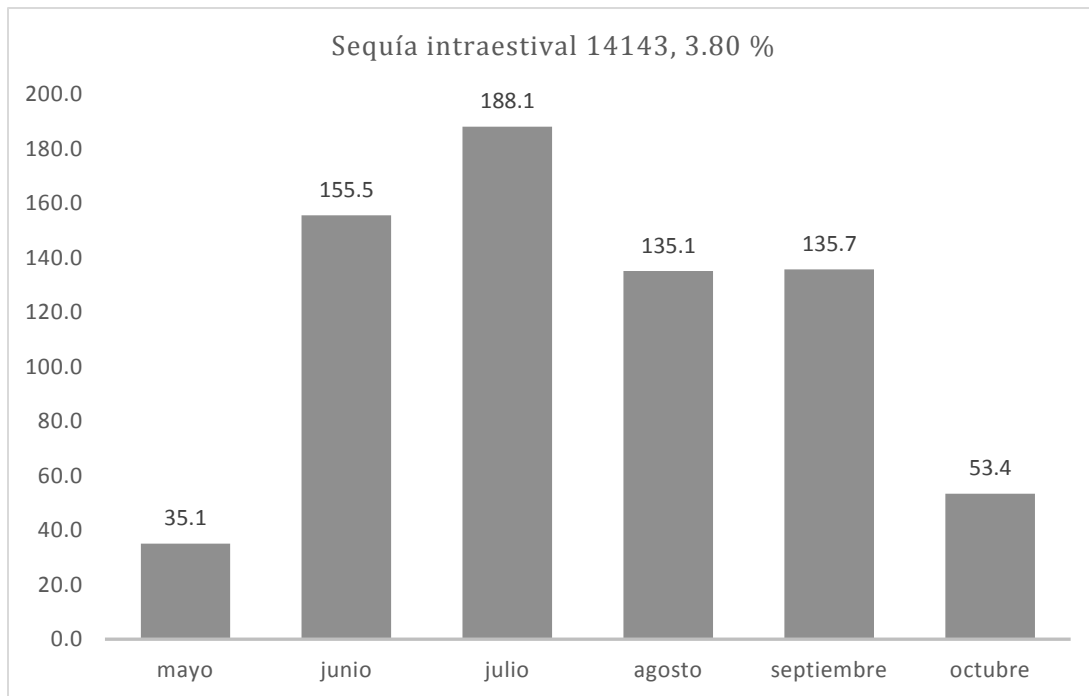
La aplicación del método a los datos de las estaciones involucradas muestra que en la zona del proyecto:

Tabla 6-XXII. Porcentaje de sequía intraestival.

Polígono	14143	14009	14013	14301	14078
A3	3.80 %	1.90 %	0.86 %	0 %	0 %
A4	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0

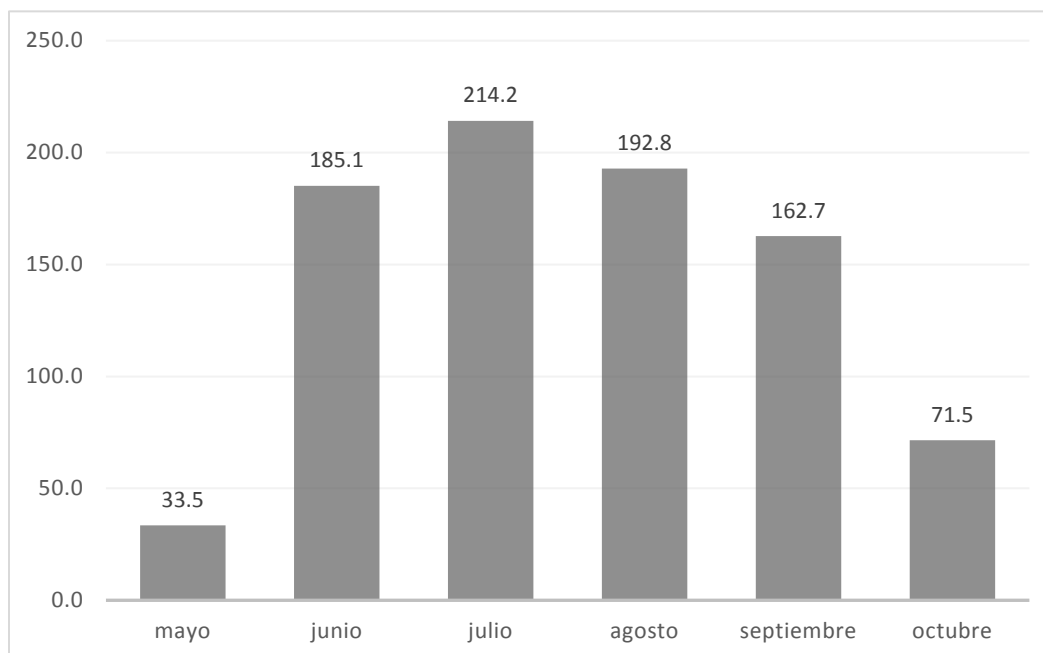
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-VI. Sequía intraestival Julio-Agosto-Septiembre. Estación Tecolotlán



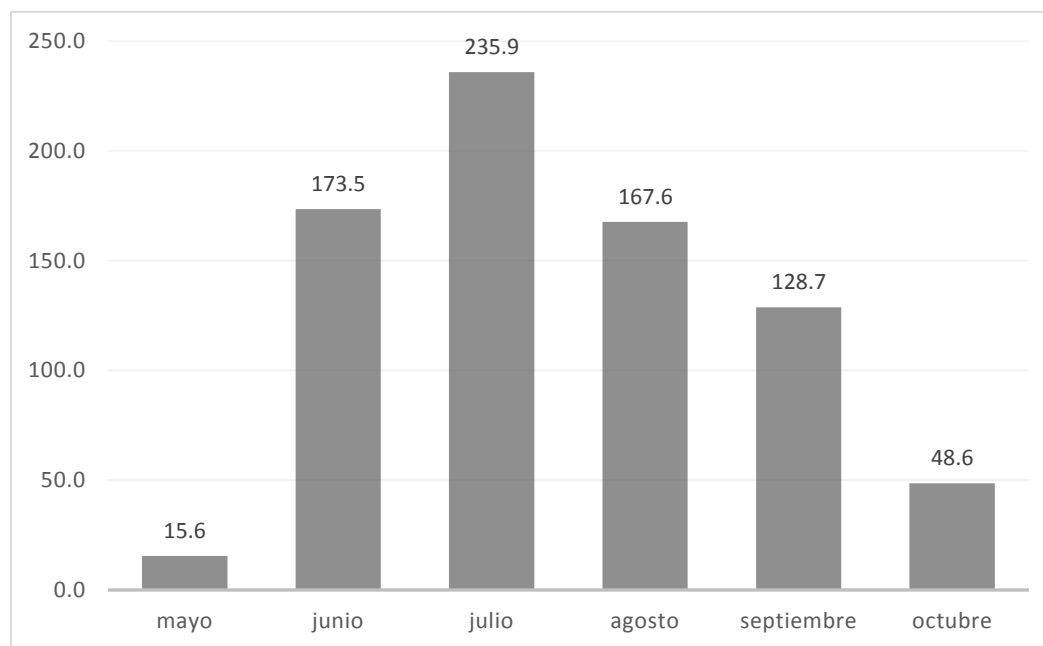
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-VII. Sequía intraestival Junio-Septiembre. Estación Tecolotlán



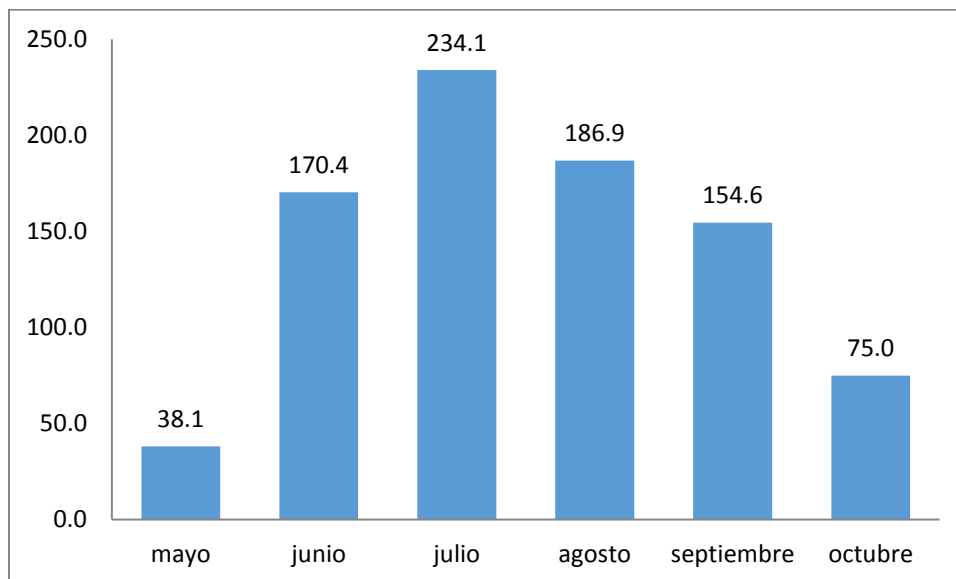
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-VIII. Sequía intraestival Julio-Agosto-Septiembre, Estación Ameca



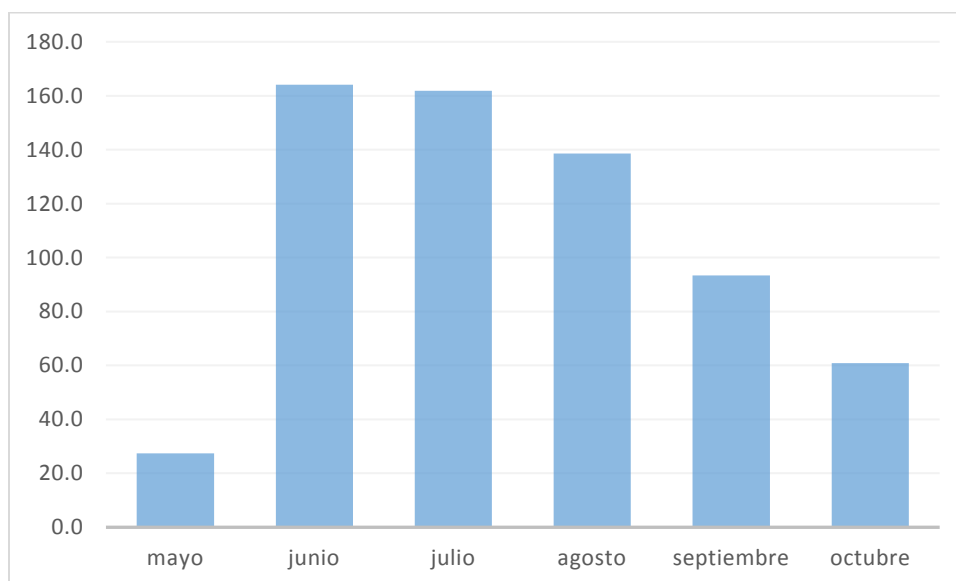
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-IX. Sequía intraestival julio-agosto-septiembre, Estación Atemajac de Brizuela.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-X. Sequía intraestival julio-agosto-septiembre, estación Juchitlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.2.3 Índice de precipitación estandarizado

Registro histórico

Se localizaron para Tecolotlán registros completos para los años 2004-2016 en el sitio <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> del SMN, consultados en noviembre del 2016.

Tabla 6-XXIII. Registro histórico de sequías en Tecolotlán según SPI

Año	Periodo	Condición
2004	5 meses	Agosto-Diciembre anormalmente secos (D0)
2005	8 meses	Mayo-agosto y septiembre-noviembre anormalmente secos (D0), diciembre sequía moderada (D1)
2006	9 meses	Enero-febrero anormalmente secos (D0), marzo-junio sequía severa (D2), julio sequía moderada (D1), agosto-septiembre anormalmente seco (D0)
2007	9 meses	Marzo, mayo y agosto sequía moderada (D1), abril junio y noviembre sequía severa (D2), septiembre, octubre y diciembre anormalmente secos.
2008	12 meses	Enero sequia severa (D2), febrero-agosto sequía moderada, septiembre-diciembre anormalmente seco
2009	12 meses	Enero-Febrero anormalmente secos (D0), marzo-julio sequia moderada, agosto a diciembre sequia severa
2010	1 mes	Enero sequia severa (D2)
2011	11 meses	Enero-marzo anormalmente secos, abril-junio sequia severa, julio-diciembre (excepto agosto) sequia moderada.
2012	1 mes	Enero sequia moderada
2013	3 meses	Mayo-julio anormalmente secos
2014	0 meses	Normal
2015	1 mes	Octubre anormalmente seco
2016	9 meses	Abril-agosto anormalmente secos, excepto la primera quincena de junio que presento sequía moderada.

Distribución espacial del NDDI

El índice Normalizado Diferencial de la Sequía, NDDI por sus siglas en inglés, combina información de la región roja visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio, por lo que se utiliza como un indicador en el monitoreo de la sequía (Gu, Brown, Verdin, & Wardlow, 2007).

Metodología.

Para el cálculo del NDDI se utilizaron imágenes LANDSAT 8 OLI de la escena 29-46 con nivel de corrección L1T de dos fechas, una de la temporada seca y una de la temporada húmeda. Para la temporada seca se utilizó la imagen tomada el día 30 de marzo de 2016, mientras que para la temporada húmeda se utilizó la imagen tomada el día 25 de noviembre de 2016 (se eligió de esa fecha debido a que no se encontraron imágenes libres de nubes para los meses anteriores).

Ambas imágenes fueron pre-procesadas para convertir los valores de DN a reflectancia y se les aplicó la corrección atmosférica de tipo DOS-1; posteriormente se realizó el recorte para el área de estudio.

El NDDI se calculó utilizando la metodología presentada por Gu et al. en 2007, el cual se genera a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI).

Con los valores de reflectancia de las imágenes de satélite se calcularon el NDVI y el NDWI para lo cual se utilizaron las ecuaciones (1) y (2):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (2)$$

En donde ρ_{NIR} es la reflectancia de la región infrarroja cercana (banda 5 LANDSAT 8 OLI), ρ_{RED} es la reflectancia de la región roja visible (banda 4 LANDSAT 8 OLI) y ρ_{SWIR} es la reflectancia de la región del infrarrojo medio uno (banda 6 LANDSAT 8 OLI).

Debido a que los valores del NDVI y el NDWI van en un rango de -1 a 1, fue necesario convertir los valores a 8 bits (valores de 0-255) para que el resultado del cálculo del NDDI se obtuviera en un rango de valores de entre -1 y 1.

El NDDI se calculó utilizando la ecuación (3):

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI} \quad (3)$$

Para obtener un NDDI que se considerara representativo para el año 2016, se realizó un proceso mediante el cual se reclasificaron los valores del NDDI de ambas imágenes con base en los valores de la Tabla 6-XXIV, y posteriormente se promediaron utilizando la ecuación (4).

Tabla 6-XXIV Valores utilizados en la reclasificación del NDDI de las imágenes de la temporada seca y de la temporada húmeda

Valor NDDI ¹	Categoría de sequía ²	Nuevo valor de clase
-1.0-0.0	Sin sequía	1
0.0-0.1	Anormalmente seco	2
0.1-0.2	Sequía moderada	3
0.2-0.3	Sequía severa	4
0.3-0.4	Sequía extrema	5
0.4-1.0	Sequía excepcional	6

Fuente: Elaboración propia.

$$NDDI_{2016} = \frac{NDDI_{T_seca} + NDDI_{T_humeda}}{2} \quad (4)$$

En donde:

- $NDDI_{2016}$ es el NDDI para el año 2016
- $NDDI_{T_seca}$ es el NDDI calculado con la imagen de la temporada seca tomada el mes de marzo.
- $NDDI_{T_humeda}$ es el NDDI calculado con la imagen de la temporada húmeda tomada el mes de noviembre.

Para estar en condiciones de asignar una categoría de sequía al resultado del $NDDI_{2016}$ se asignaron las categorías a los rangos de valores como se muestra en la siguiente tabla.

² Las categorías de sequía se asignaron con base en el inverso de los valores del NDDI que utilizaron Gu et al. (2007).

Tabla 6-XXV Rangos de valores y la categoría de sequía asignada para el NDDI₂₀₁₆.

Rango	Categoría de sequía
1-1.9	Sin sequía
2-2.9	Anormalmente seco
3-3.9	Sequía moderada
4-4.9	Sequía severa
5-5.9	Sequía extrema
≥6	Sequía excepcional

Fuente: Elaboración propia.

Por último, para ajustar los valores categóricos requeridos en los términos de referencia para los peligros, se reclasificaron las categorías de sequía a intensidades de acuerdo a los valores que se presentan a continuación:

Tabla 6-XXVI. Valores de intensidad de peligro asignados a cada categoría de sequía.

Categoría de sequía	Valor de intensidad del peligro	Descripción de intensidad del peligro
Cuerpo de agua	0	No aplica
Sin sequía	1	Muy bajo
Anormalmente seco	2	Bajo
Sequía moderada	3	Medio
Sequía severa	4	Alto
Sequía extrema	5	Muy alto
Sequía excepcional	5	Muy alto

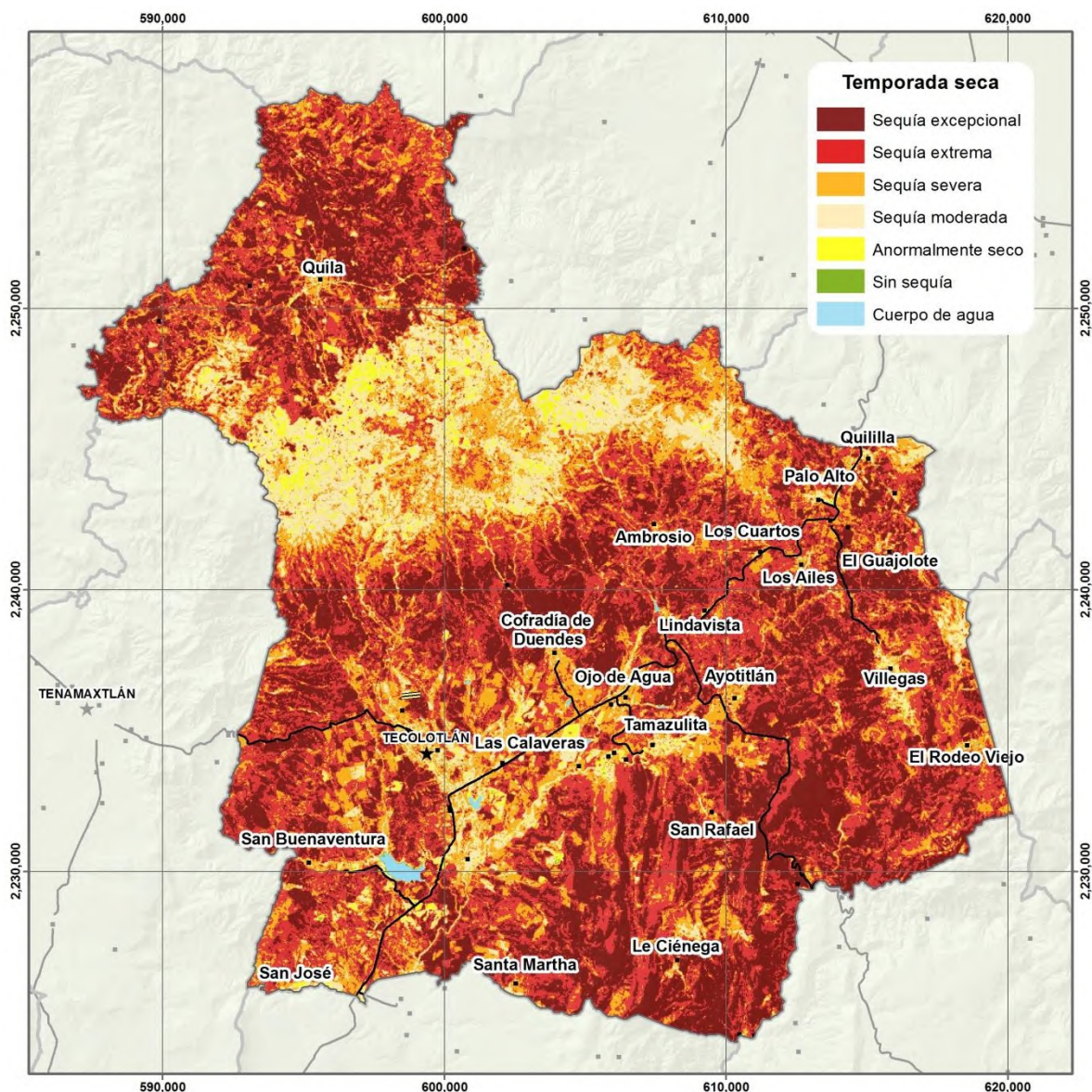
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

El resultado del cálculo del NDDI mostró diferencias visibles en la distribución de la sequía Asimismo, teniendo en consideración que mientras más cercano a 1 existe mayor grado de sequía, al comparar los histogramas de ambos NDDI se pudo observar que en la imagen de

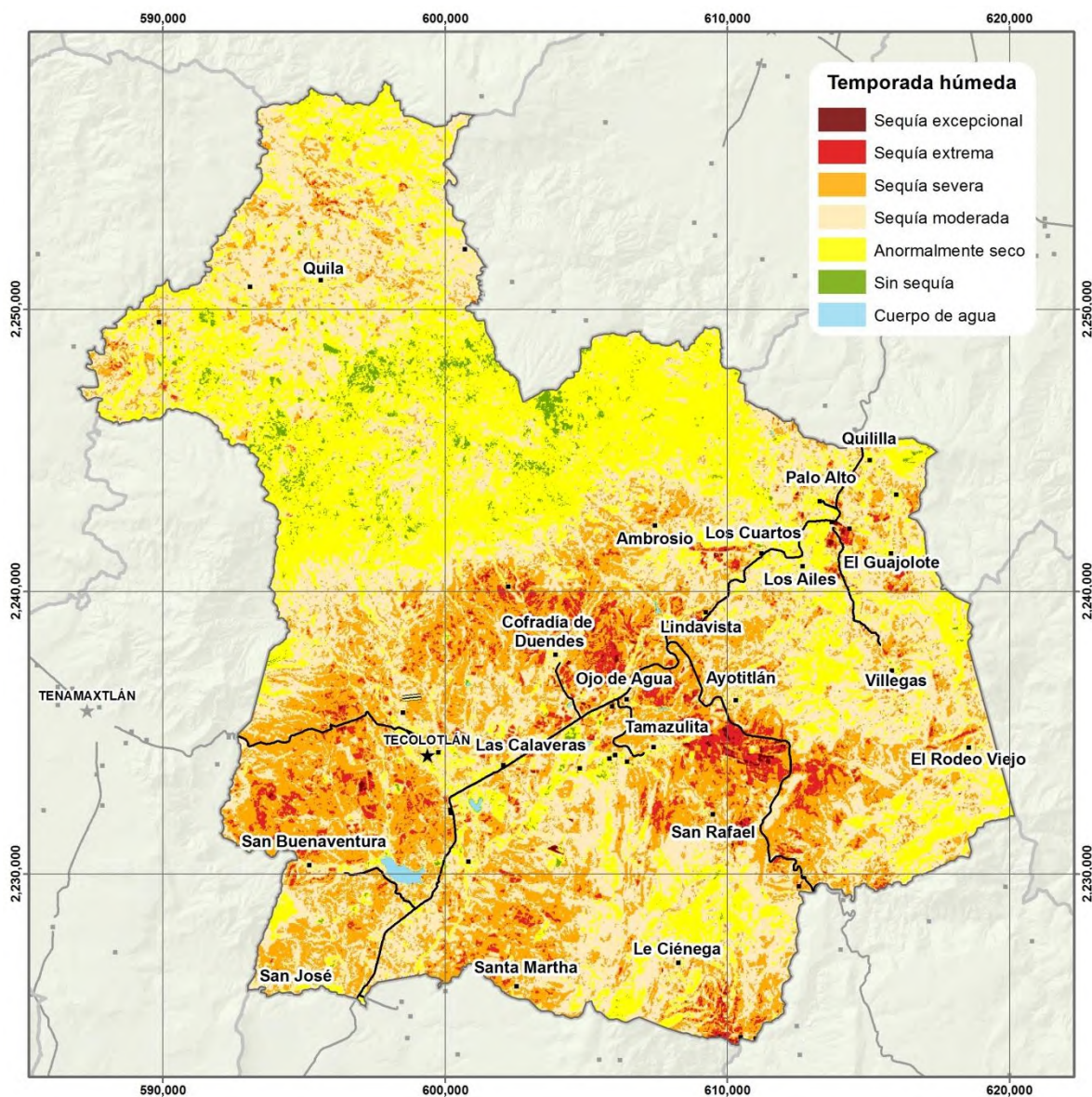
la temporada seca (marzo) la mayor cantidad de pixeles se localizan entre 0.4 y 0.5, mientras que para el NDDI de la temporada húmeda (noviembre) la mayoría de los pixeles se concentra entre 0.2 y 0.3.

Imagen 6-XI Distribución de la sequía de acuerdo al NDDI calculado con la imagen de la temporada seca.



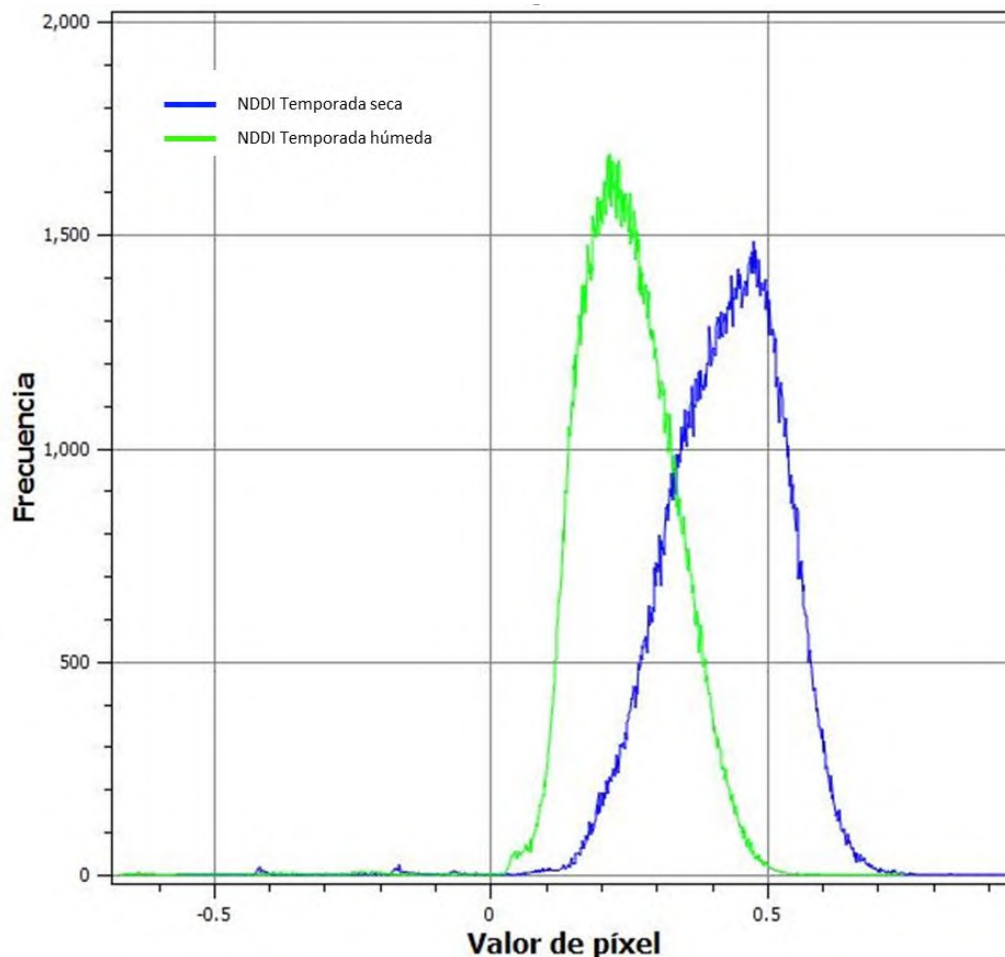
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-XII Distribución de la sequía de acuerdo al NDDI calculado con la imagen de la temporada húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

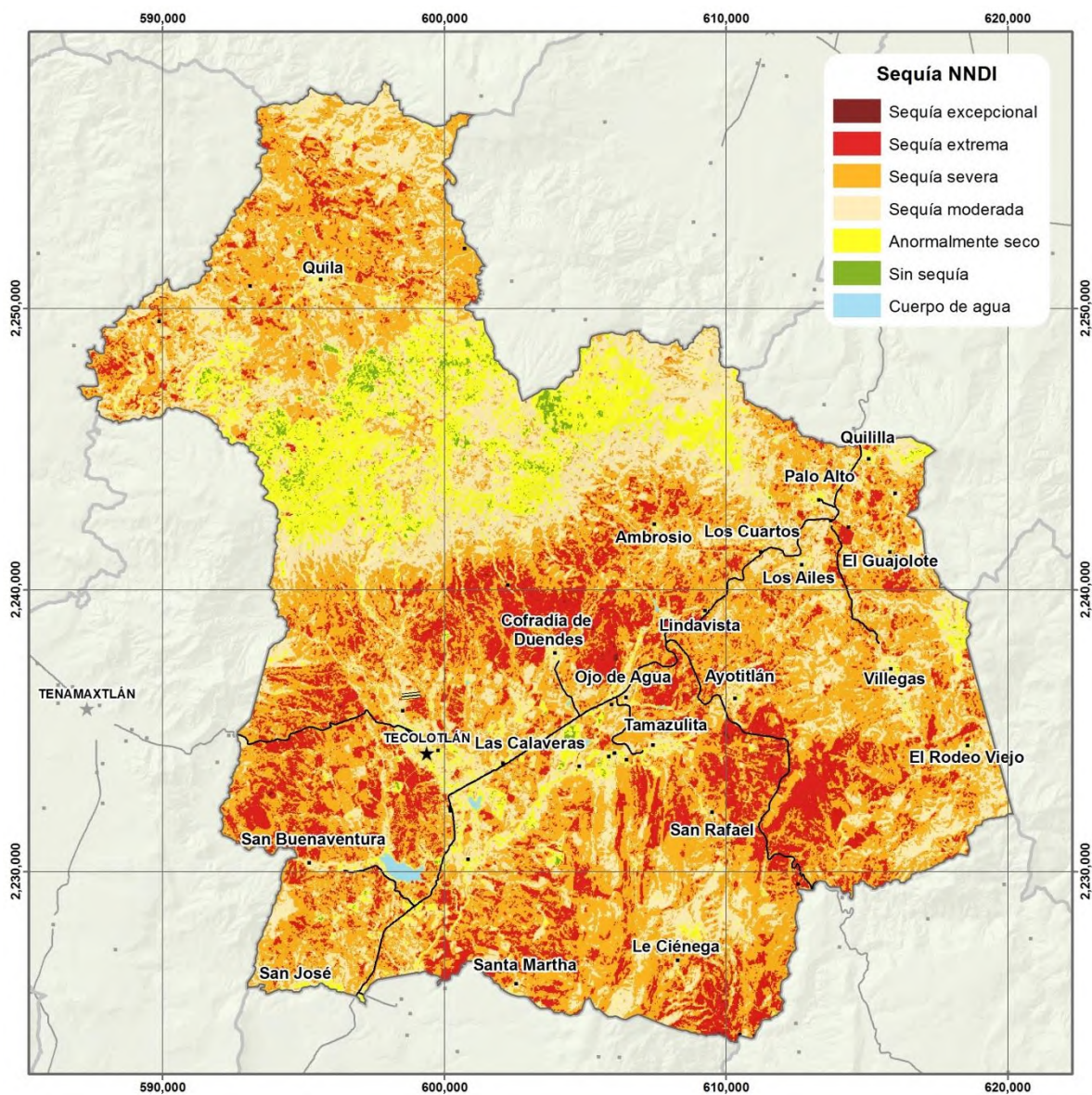
Gráfico 6-XI. Comparación de los histogramas de los NDDI calculados para las dos imágenes. De color azul se presenta el histograma del NDDI de la imagen de la temporada seca (marzo) y de color verde el histograma del NDDI de la imagen de la temporada húmeda (noviembre).



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del NDDI se muestran en la figura 4, en donde se puede apreciar que la zona que corresponde al ANP Sierra de Quila es donde se presentan las áreas sin sequía y anormalmente secas; mientras que en las zonas agrícolas, de pastizales y áreas perturbadas (cercanas a los asentamientos humanos y vías de comunicación) se presentan condiciones de sequía severa, sequía extrema y sequía moderada.

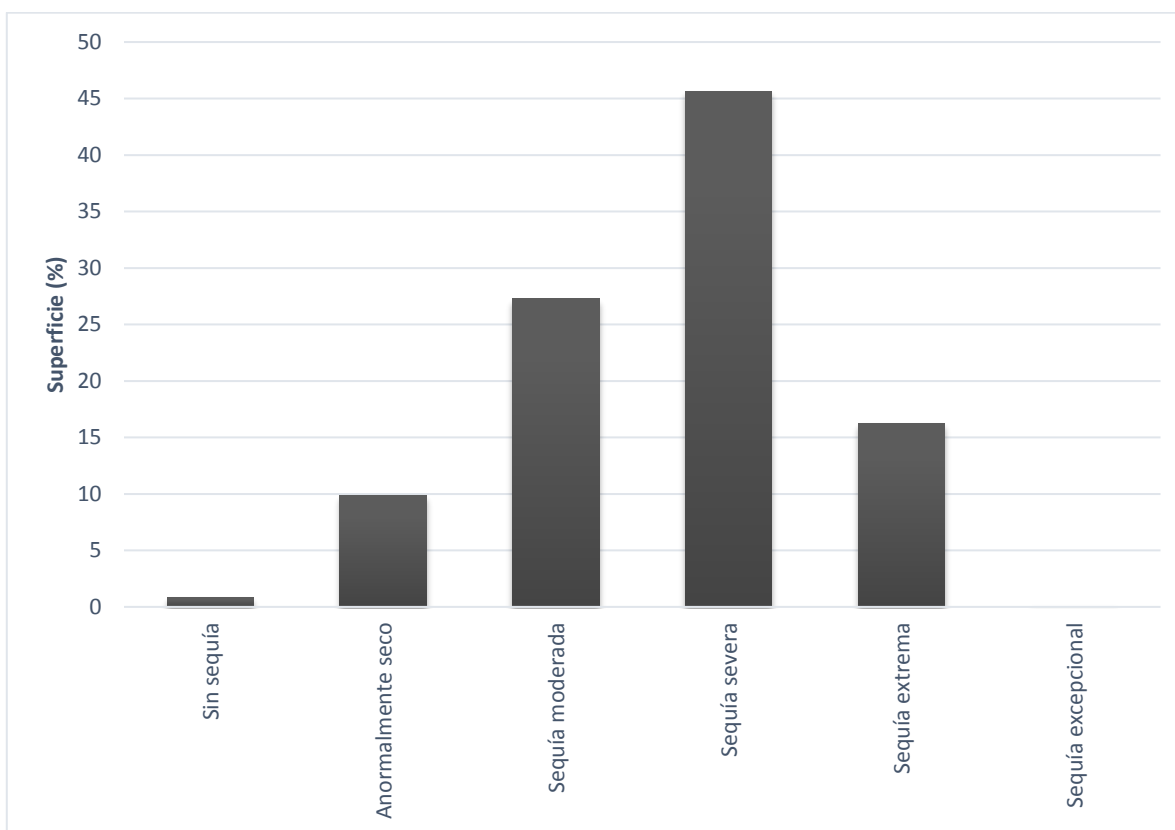
Imagen 6-XIII. Distribución de la sequía en el municipio de Tecolotlán de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Para el municipio de Tecolotlán, de acuerdo al NDDI, en el año 2016 la mayor parte de la superficie se encontró en una condición de sequía severa con más del 45%, mientras que el 27.25% presentó sequía moderada y el 16.23% sequía extrema. El 0.82% de la superficie no presenta sequía y solo el 0.07% se considera en categoría de sequía excepcional.

Gráfico 6-XII. Porcentaje de superficie ocupada por las diferentes categorías de sequía en el municipio de Tecolotlán, de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-XXVII. Categorías de sequía y el porcentaje de superficie que ocupan en el municipio de Tecolotlán, de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.

Categoría de sequía	Superficie en el municipio (%)
Sin sequía	0.82
Anormalmente seco	9.84
Sequía moderada	27.25
Sequía severa	45.58
Sequía extrema	16.23
Sequía excepcional	0.07
Cuerpo de agua	0.17

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar los tipos de coberturas vegetales que se ven afectados por las diferentes categorías de sequía, se realizó una comparación de los resultados del NDDI₂₀₁₆ con la información de uso de suelo y vegetación descrita en el capítulo 3.

Los resultados de esta comparación muestran que de la superficie categorizada como sequía severa, sequía extrema y sequía excepcional la mayor parte se localiza sobre las coberturas de bosque tropical caducifolio, pastizales y áreas agrícolas. Por otra parte, las zonas en donde no hay presencia de sequía o se consideran como anormalmente seco, pertenecen a coberturas de bosques templados como pino-encino y encino-pino.

Tabla 6-XXVIII. Superficie en porcentaje de los tipos de cobertura vegetal que se ubican dentro de cada categoría de sequía definida en el NDDI₂₀₁₆.

Tipo de cobertura vegetal	Proporción en porcentaje de superficie ocupada por categoría de sequía					
	Sin sequía	Anormalmente seco	Sequía moderada	Sequía severa	Sequía extrema	Sequía excepcional
Agricultura	7.86	10.72	19.24	23.93	17.01	24.19
Áreas urbanas	0.73	4.00	3.96	1.07	0.64	0.00
Bosque de encino	0.35	8.33	30.97	7.21	0.59	0.24
Bosque de encino-pino	0.58	13.17	14.28	4.31	0.65	0.18
Bosque de pino-encino	87.59	60.31	5.87	0.24	0.02	0.00
Bosque tropical caducifolio	0.11	0.82	14.22	36.57	45.61	31.94
Pastizal	0.24	0.43	7.88	24.56	34.65	42.53
Sin vegetación aparente	2.54	2.22	3.57	2.10	0.83	0.91
Total general	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.3 5.2.2.3 Método Nivel 3

6.1.2.3.1 Determinación de periodos de retorno.

El método que se empleara será el análisis regional de frecuencia (ARF) mediante la teoría de los L-momentos y empleando el software libre ICI-RAFT vr. 1.

El procedimiento consiste en definir regiones estadísticamente homogéneas a partir del análisis de los datos de las estaciones en una determinada región. El ARF se caracteriza por aumentar la cantidad de datos disponibles para el análisis en una determinada región de estudio utilizando datos de diferentes estaciones, con lo que se obtiene mayor precisión en la estimación de los cuartiles. Sin embargo, al utilizar mayor información es necesario establecer las relaciones entre las diferentes distribuciones de frecuencias de las diferentes estaciones. Para lo anterior se utilizan los indicadores de discordancia, los cuales identifican una o más estaciones altamente discordantes respecto a un grupo de estaciones.

Valores Críticos del indicador de discordancia D_i basado en L-momentos.

Tabla 6-XXIX. Valores críticos del indicador de discordancia para análisis regional de frecuencias

No. de estaciones en la región	Valor Crítico de D_i
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.140
9	2.329
10	2.491
11	2.632

12	2.757
13	2.869
14	2.971
≥ 15	3

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron dos ejercicios con esta metodología: el primero para determinar valores de sequía intraestival durante el mes de agosto en períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, y el segundo para determinar esos valores en sequías con duración de mayo a octubre.

Los resultados obtenidos mediante ICI-RAFT para las estaciones consideradas en el estudio son:

Tabla 6-XXX. Valores de diferentes L-momentos.

Sitio	L-media (L1)	L-escala (L2)	L-CV (L2/L1)	L-Skew (L3)	L-Kurtosis (L4)	Discordancia
14009	227.58	36.955	0.1555	-0.0384	0.104	1.1181
14013	216.73	44.964	0.2074	0.1476	0.0603	0.5543
14143	186.783	36.56	0.1957	0.0385	0.1441	1.0844
14301	207.92	39.6	0.1904	0.1091	0.0235	0.9695
14078	158.565	27.726	0.1748	0.1121	0.063	1.2735

Fuente: Elaboración propia.

El primer L-momento es el promedio o una medida de localización y puede tomar cualquier valor. El segundo L-momento es una medida de dispersión de los datos respecto a la media y toma valores mayores o igual a cero. L-CV es el valor análogo del coeficiente de variación en los L-Momentos.

Después de formar agrupaciones de estaciones, es necesario confirmar la homogeneidad de cada región, para determinar, por ejemplo si dos o más estaciones se pueden unir para formar otra región.

El criterio de homogeneidad (H) utilizado aquí se basa en Wallis *et al* (2007) quienes sugieren los siguientes rangos:

Tabla 6-XXXI. Criterio de homogeneidad regional de Wallis

Heterogeneidad	Wallis et al (2007)
Homogénea	$H < 2$
Posiblemente heterogénea	$2 < H < 3$
heterogénea	$H > 3$

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.3.2 Selección de distribuciones de probabilidad y cálculo de magnitudes de sequía.

En esta etapa se procedió al cálculo y selección de la distribución de probabilidad que mejor se ajustara a cada combinación de eventos de precipitación mensual a partir del mes de agosto con duración de 1 mes. Las distribuciones utilizadas son las que más comúnmente se utilizan en L-momentos: Logística Generalizada y Generalizada de Valores Extremos.

ICI-RAFT calcula los valores del coeficiente de correlación de Pearson y las puntuaciones **Z** para cada distribución, que dan una indicación de la cercanía del ajuste de cada distribución estándar a los datos del sitio que se está analizando. Valores de R de Pearson cercanos a 1 y un **Z** cercano a 0 indican un buen ajuste. Este último se basa en los L-momentos sesgo y curtosis (Anli et al., 2007). Mediante una prueba de bondad de ajuste basada en el estadígrafo Z se comprueba objetivamente cuando un conjunto de distribuciones se ajusta a los datos aceptablemente (Álvarez, et al., 1999). De esta forma se puede desestimar el uso de ciertas distribuciones que no se ajusten aceptablemente, pero este indicador por sí solo no tiene la capacidad para identificar a una distribución como la mejor (Hosking y Wallis, 1997).

Según lo planteado por Hosking y Wallis (1997), se considera que el ajuste de una distribución es aceptable o adecuado si el valor de **Z** es cercano a cero. En este contexto, un valor razonable es el asociado al grado significancia del 90%, es decir, $|Z| \leq 1.64$.

Periodos de retorno para sequía intraestival

Tabla 6-XXXII. Periodos de retorno para sequía intraestival para el mes de agosto.

Sitio	Periodos de retorno, años			
	5	10	20	50
	Precipitación en mm			
14143	86	71	55	45
14301	134	109	85	70
14009	120	98	76	62
14013	129	105	82	67
14078	94	76	59	49

Fuente: Elaboración propia.

La disminución de la precipitación con respecto a la media anual, en porcentaje es:

Tabla 6-XXXIII. Sequía intraestival, disminución de 'precipitación en porcentaje.

Sitio	Pma* mm	Periodos de retorno, años			
		5	10	20	50
		Disminución en % con respecto a la media anual			
14143	135.12	63.65	52.55	40.70	33.30
14301	192.81	69.50	56.53	44.08	36.31
14009	168	71.43	58.33	45.24	36.90
14013	187	68.98	56.15	43.85	35.83
14078	140.88	66.72	53.95	41.88	34.78

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de correlación

Tabla 6-XXXIV. Valores de coeficientes de correlación para diferentes funciones de probabilidad

Sitio	Función de Distribución de Probabilidad	Coef. De Pearson	Tipo y grado de Correlación según Pearson	z
14143	Logística Generalizada	0.5995	Positiva	0.11
14301	Logística Generalizada	-0.0179	Débilmente negativa	-0.23
14009	Log-normal	0.4359	Positiva	-0.27
14013	Logística Generalizada	0.3779	Positiva	-1.72
14078	Logística Generalizada	0.0158	Débilmente positiva	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Períodos de retorno para sequía de tres y seis meses

De la misma forma se calculó la intensidad de la sequía para los meses junio-agosto y mayo-octubre, los resultados se muestran por estación meteorológica en las siguientes tablas:

Tabla 6-XXXV. Periodos de retorno para sequías con duración de tres meses junio-agosto.

Sitio	Sequía junio-agosto, Tr, años			
	5	10	20	50
	Precipitación en mm			
14143	379	331	277	240
14301	487	426	356	309
14009	490	429	359	311
14013	479	419	351	304
14078	378	331	277	240

Fuente: Elaboración propia.

Disminución con respecto a la precipitación promedio:

Tabla 6-XXXVI. Disminución de precipitación en promedio para sequías con duración de tres meses.

Sitio	Pma* mm	Sequía junio-agosto, Tr, años			
		5	10	20	50
		Disminución en % con respecto a la media anual			
14143	478.71	79.17	69.14	57.86	50.13
14301	592.07	82.25	71.95	60.13	52.19
14009	573.13	85.50	74.85	62.64	54.26
14013	582.56	82.22	71.92	60.25	52.18
14078	464.40	81.40	71.28	59.65	51.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-XXXVII Periodos de retorno para sequías con duración de 6 meses, en mm.

Sitio	Sequia mayo-octubre, Tr, años			
	5	10	20	50
	Precipitación en mm			
14143	585	525	457	410
14301	739	663	577	518
14009	686	616	536	481
14013	723	649	564	506
14078	544	488	425	381

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-XXXVIII. . Periodos de retorno para sequías con duración de 6 meses, en porcentaje

Sitio	Pma* mm	Sequía mayo-octubre, Tr, años			
		5	10	20	50
		Disminución en % con respecto a la media anual			
14143	702.88	83.23	74.69	65.02	58.33
14301	859.84	85.95	77.11	67.11	60.24
14009	761.44	90.09	80.90	70.39	63.17
14013	852.20	84.84	76.16	66.18	59.38
14078	646.45	84.15	75.49	65.74	58.94

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.4 Vulnerabilidad a sequías

Vulnerabilidad a sequía son las características de la población, de sus actividades, o el medio ambiente, que son susceptibles de padecer los efectos de la sequía. El grado de vulnerabilidad depende de las características medioambientales y sociales de la región y se mide por la capacidad para anticiparse, hacer frente, resistir y recuperarse del efecto de la sequía.

La valoración de la vulnerabilidad a sequía proporciona un marco para identificar o predecir las causas fundamentales de los impactos relacionados con la misma. La sequía puede ser sólo un factor que unido a otras condiciones adversas de carácter social, económico o medioambiental, genera vulnerabilidad (PNUD, 2000).

6.1.2.4.1 Factores que contribuyen a la vulnerabilidad a sequías

6.1.2.4.1.1 Socioeconómicos y Biológicos

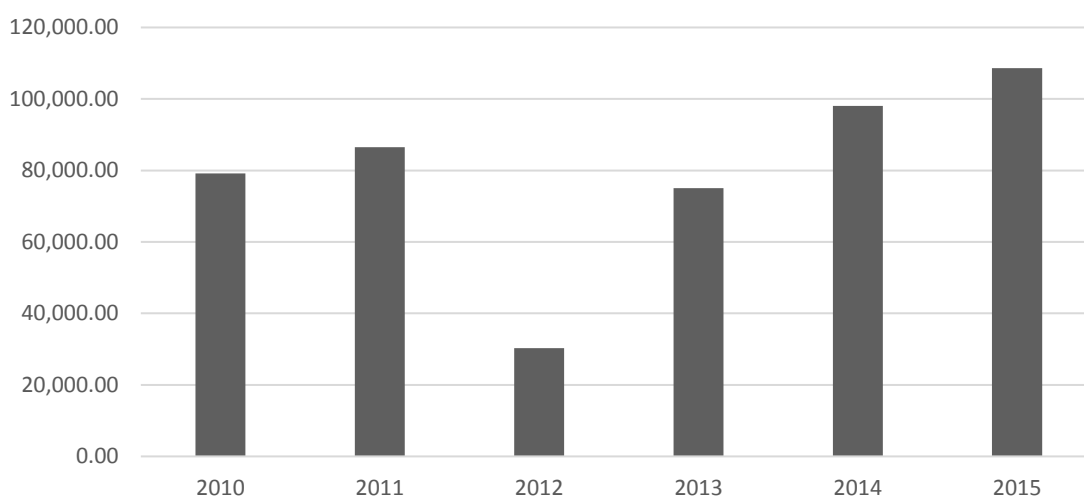
Estos factores son la alta densidad poblacional, la carencia de los recursos económicos con los que hacer frente a períodos adversos y la escasa formación que limita la capacidad de aplicar estrategias de resistencia o tolerancia a la sequía.

En este sentido, la caracterización de los elementos sociales y económicos del municipio dada en el capítulo 4 del presente estudio muestra que en Tecolotlán el 50.3 por ciento de la población se encuentra en situación de pobreza, es decir 7 mil 093 personas comparten esta situación en el municipio, así mismo el 33.3 por ciento (4,696 personas) de la población es vulnerable por carencias sociales; el 5.0 por ciento es vulnerable por ingresos y 11.4 por ciento es no pobre y no vulnerable. Esto es, sólo el 11.4 % de la población estaría en mejores condiciones de sobreponerse a un evento de sequía prolongada.

6.1.2.4.1.2 Agricultura y Ganadería.

En Tecolotlán la participación del sector primario en su economía muestra una tendencia creciente del 2010 al 2015, excepto 2012 en el que el valor de la producción disminuyó notablemente.

Gráfico 6-XIII. Producción agrícola en miles de pesos, 2010-2015.



Fuente: IIEG.

En este sector solo se registran 50 empleos formales (registrados ante IMSS), si se considera que la informalidad en este sector es alta, el número de trabajadores que dependen de este sector es mayor.

La producción por tipo de cultivo indica que los pastos para ganado es la principal orientación de la actividad agrícola, seguido del maíz forrajero. Es decir, la actividad agrícola en la región está orientada a satisfacer las necesidades de la ganadería regional, principalmente.

Gráfico 6-XIV. Toneladas de productos agrícolas.

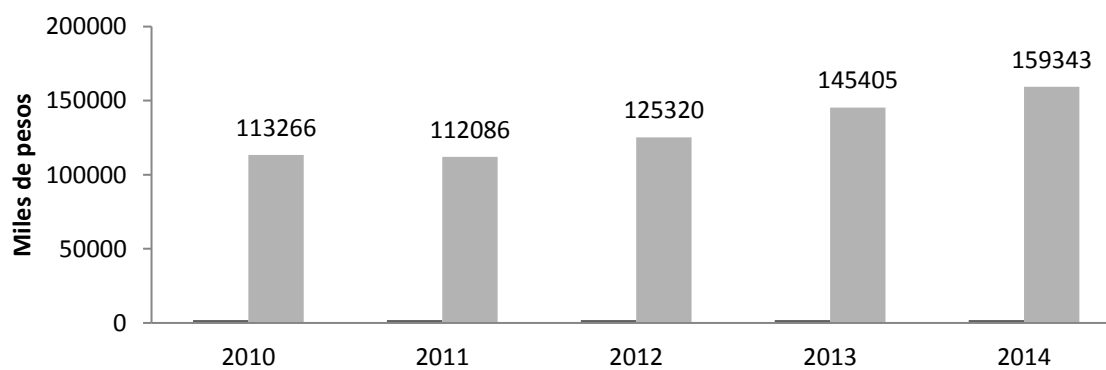
Cultivo	Producción 2010 (Toneladas)	% del total	Cultivo	Producción 2015 (Toneladas)	% del total
Pastos	63,975.00	51%	Pastos	109,646.80	72%
Maíz Forrajero	35,710.00	28%	Maíz Forrajero	24,180.00	16%
Maíz Grano	11,222.52	9%	Maíz Grano	10,150.43	7%
Agave	10,612.80	8%	Agave	4,050.00	3%
Rosa	2,500.00	2%	Rosa	1,400.00	1%

Fuente: IIEG

La vinculación de la actividad agrícola con la ganadería no impacta inmediatamente de manera que la disminución en la primera implique en automático una disminución en la segunda, quizás porque se cuenta con reservas en el propio municipio o se recurre a mercados regionales.

Lo anterior se deduce del hecho que la disminución en el valor de la producción agrícola del 2012 no repercutió en la producción ganadera de forma directa, sino que hubo un incremento en el valor de la producción ganadera.

Gráfico 6-XV. Valor de producción ganadera 2010-2015.



Fuente: IIEG

Sin embargo es un indudable que una sequía afectará al sector primario en función de la infraestructura, la organización y las prácticas agrícolas y ganaderas establecidas en el municipio.

6.1.2.4.1.3 Edafológicos y Tecnológicos.

Los factores edafológicos y tecnológicos que contribuyen a la vulnerabilidad ante sequía agrícola son la ubicación, pendiente, profundidad y capacidad de retención de humedad del suelo. En suelos con alta capacidad de retención, el crecimiento de los cultivos quizá no sea afectado por períodos secos prolongados (de hasta 20 días). Otro es la proporción del área de producción que está irrigada. La vulnerabilidad es mucho menor en áreas irrigadas que en áreas de temporal.

En el municipio se sabe que la distribución de suelos es la siguiente:

Tabla 6-XXXIX. Tipos de suelo y superficie cubierta

Tipo de suelo	Superficie	
	Hectáreas	%
Cambisol	4,463.04	7.14
Feozem	27,391.31	43.83
Litosol	4,854.57	7.77
Luvisol	2,418.42	3.87
Regosol	14,310.15	22.90
Rendzina	14.77	0.02
Vertisol	9,036.07	14.46
Total	62,488.33	100%

Fuente: IIEG

Siguiendo la metodología empleada por SEMARNAT (2000) la cual se basó en los trabajos de agrología desarrollada en el Colegio de Posgraduados (1982) se puede decir que:

Los feozem y vertizoles son suelos clase 1: suelos con propiedades adecuadas para actividad agrícola intensiva con pendientes menores a 15° y otras limitantes no significativas. Vulnerabilidad media

El Regosol es un suelo clase 3: presentan un mayor número de limitantes simultáneas (baja calidad de los suelos, aridez excesiva, salinidad y/o sodicidad, etc.) es posible aprovecharlos para la agricultura. Vulnerabilidad alta

El Litosol es clase 4: Suelos de muy baja o nula aptitud para la agricultura. Poseen una capa fértil muy delgada, inferior a los 10 cm, con alta pedregosidad que impide la penetración de raíces al suelo, pendientes superiores a 25° y muy susceptibles a la erosión hídrica. Vulnerabilidad muy alta.

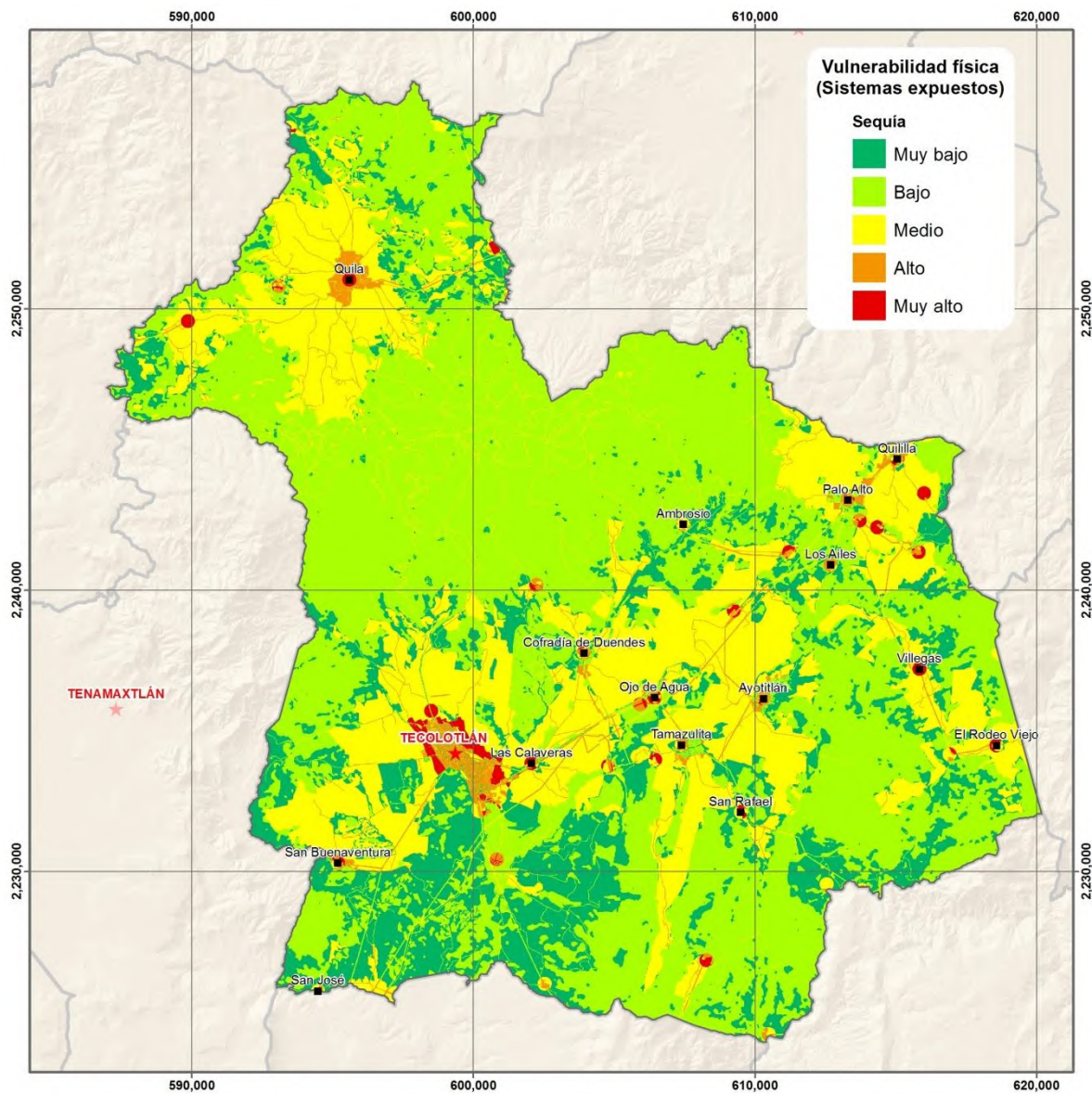
Para actividades pecuarias la aptitud y vulnerabilidad de los suelos es:

Los feozem, vertizoles, luvisoles y cambisoles, son suelos clase 1 para actividades pecuarias: permiten el desarrollo de actividades ganaderas, facilitan el crecimiento de pastos para ganado, restricción pendiente menor a 15°. Vulnerabilidad Media.

Los Regosoles son suelos clase 3: suelos que presentan limitantes que obligan al uso de alta tecnología para poder aprovecharlos. Puede haber alto costo económico y/o deterioro del suelo. Vulnerabilidad Alta.

Los litosoles, suelos clase 4: suelos con características desfavorables para esta actividad. Vulnerabilidad Muy Alta.

Imagen 6-XIV. Vulnerabilidad física ante sequías.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.5 Riesgo a sequía.

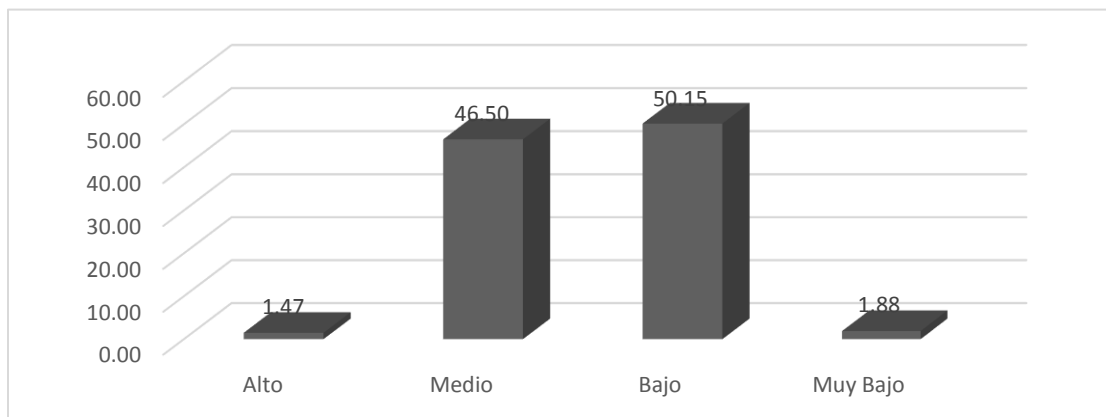
Combinados los factores de vulnerabilidad social y física a las sequías y la exposición al peligro la población del municipio se encuentra en los niveles de riesgo:

Tabla 6-XL. Niveles de Riesgo para la población ante la sequía

Nivel de Riesgo	Habitantes	Habitantes en riesgo %
Alto	239	1.47
Medio	7558	46.50
Bajo	8152	50.15
Muy Bajo	306	1.88

En la tabla anterior, el total de la población en riesgo alto se localiza en la cabecera municipal, el 75.22 % (5685 personas) de la población en riesgo medio se localiza en la cabecera municipal, el resto en las localidades, entre las que destaca Quila con el 14 %. En riesgo bajo, el 40 % se localiza en la cabecera, 14.94 % en Ayotitlán y 17.87 % en Tamazulita. En riesgo muy bajo, todas las personas se encuentran en localidades, principalmente en Ambrosio y el Rodeo Viejo.

Gráfico 6-XVI. Niveles de riesgo ante sequía de la población en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Sector Agrícola y Silvícola

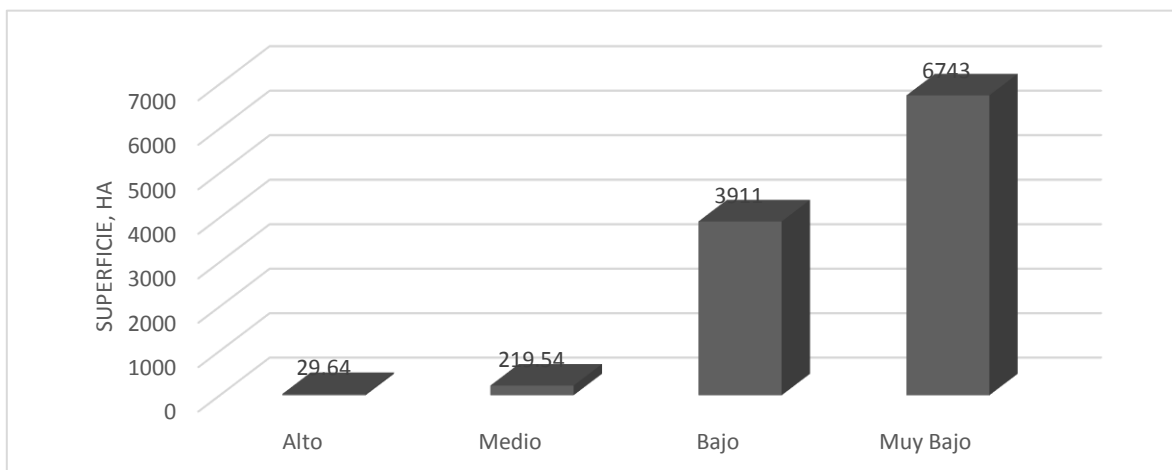
El sector agrícola, los bosques y el sector pecuario son los sistemas más expuestos al riesgo por sequías, en el municipio los niveles de riesgo por tipo de cultivo y bosques se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6-XLI. Niveles de Riesgo de sequía para las actividades agrícolas.

Cultivo	Nivel de Riesgo	Superficie ha	Cultivo	Nivel de Riesgo	Superficie ha
Maíz de Temporal	Alto	29.64	Agricultura de Riego	Alto	7.62
	Medio	219.54		Medio	36.46
	Bajo	3911		Bajo	66.83
	Muy Bajo	6743		Muy Bajo	545.25
Agave	Alto	0	Bosques	Alto	0
	Medio	0		Medio	3.35
	Bajo	17.07		Bajo	84.7680927
	Muy Bajo	514.8		Muy Bajo	32050.2256
Praderas	Alto	0	Aguacate	Alto	0
	Medio	6.62		Medio	0
	Bajo	443		Bajo	0.65
	Muy Bajo	5102		Muy Bajo	60.17

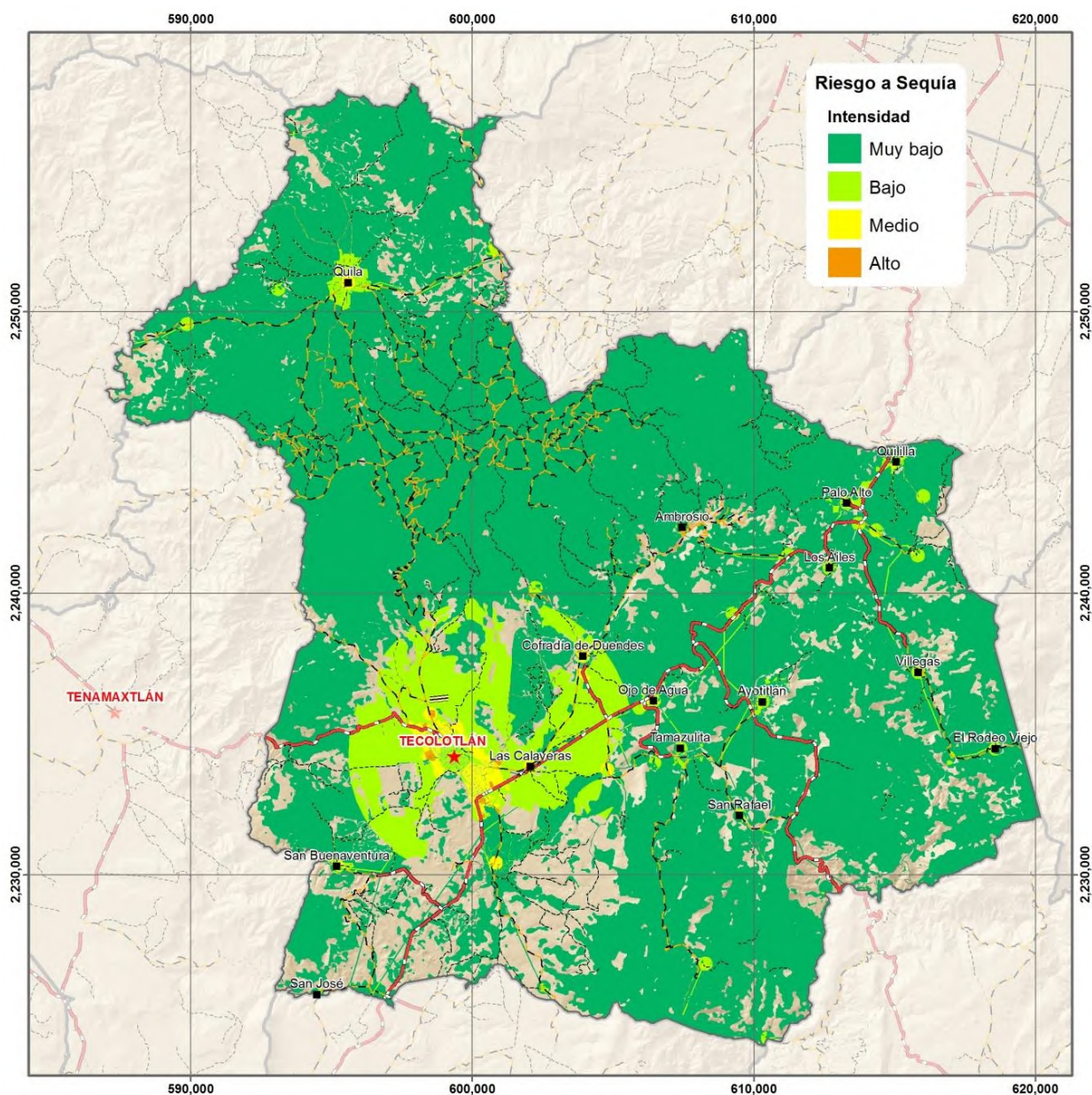
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XVII. Riesgo a sequías para maíz de temporal



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-XV. Riesgo a sequías en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 HELADAS.

Introducción

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

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

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

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

Tipos de heladas

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

Las heladas por advección son provocadas por masas de aire frío (frentes fríos) con temperatura inferior al punto de congelación. Este fenómeno suele presentarse en invierno a cualquier hora del día o de la noche, y el grado de intensidad de los daños provocados depende en gran medida de los tipos de cultivo y otros factores asociados como el viento y la topografía. Este tipo de helada fue la que se presentó en 2016 obligando a que 23 estados del país fueron declarados en emergencia extraordinaria. En el caso de Jalisco fueron

afectados 23 municipios, principalmente de la región Altos, pero también de la región sur como Ameca y Gómez Farías.

Imagen 6-XVI. Helada provocada por frente frío en marzo del 2016 en Jalisco.



Fuente: MURAL

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

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

Hay dos subcategorías de heladas de radiación: Una es la llamada “helada blanca”, ocurre cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo

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

Factores meteorológicos que influyen en la formación de heladas.

- *Reflexión solar y capacidad de conducción térmica del suelo.* La reflexión se entiende como la capacidad de reflexión de luz de la superficie del suelo y se mide en *albedos*. La capacidad térmica es la habilidad de conducción de calor de un cuerpo o sustancia, ya sea por mecanismos conductivos o convectivos.
- *Radiación solar.* Es la cantidad de energía solar en watt/m² que recibe, en función de su latitud, una determinada área de la superficie del planeta. En los trópicos donde el Sol está en el cenit, la Tierra recibe más radiación que en las regiones situadas hacia los polos. Cuando de una región de la superficie terrestre se desprende una mayor cantidad de calor que la que recibe, ocurre un enfriamiento que favorece la formación de la helada.
- *Altura sobre el nivel del mar.* A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar disminuye la presión atmosférica, por lo que al aire tiende a expandirse, tomando calor de sí mismo para efectuar ese trabajo y por lo tanto enfriándose. La temperatura disminuye aproximadamente 5 °C con la altitud.
- *Topografía y viento.* La topografía juega un papel de primera importancia en la ocurrencia de heladas en una región, ya que determina el patrón de vientos de la

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

- *Nubosidad.* Las nubes sirven para retener gran parte del calor que, de otro modo, se perdería para la tierra en forma de reflexión y absorben cierta proporción de la energía que interceptan. Las nubes altas normalmente tienen un efecto de calentamiento que se llama efecto invernadero, porque dejan pasar la radiación solar pero absorben la radiación terrestre, enviando parte de ésta hacia el suelo. En cambio, las nubes bajas y, sobre todo, nubes con gran espesor tienen el efecto de enfriar, porque reflejan o absorben la radiación solar.
- *Humedad atmosférica.* Cuando disminuye la temperatura a 0°C o menos y no existen vientos o corrientes, la humedad del aire se condensa, si la humedad es relativamente abundante este produce niebla, si la humedad es baja, ocurre la helada.

6.1.3.1 Método nivel 1.

Visualización ambiental durante las heladas:

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

6.1.3.1.1 Temperaturas mínimas extremas.

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

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

Se generó una base de datos con las temperaturas mínimas extremas de las estaciones en estudio, la cual se anexa en la memoria técnica, con ellas se elaboraran mapas de isotermas de temperatura mínimas extremas y de zonas agrícolas afectables. Con la misma base de datos se calculó la probabilidad de recurrencia de heladas por debajo de 0 °C como temperatura crítica.

Análisis probabilístico de ocurrencia de heladas.

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

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

Donde:

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

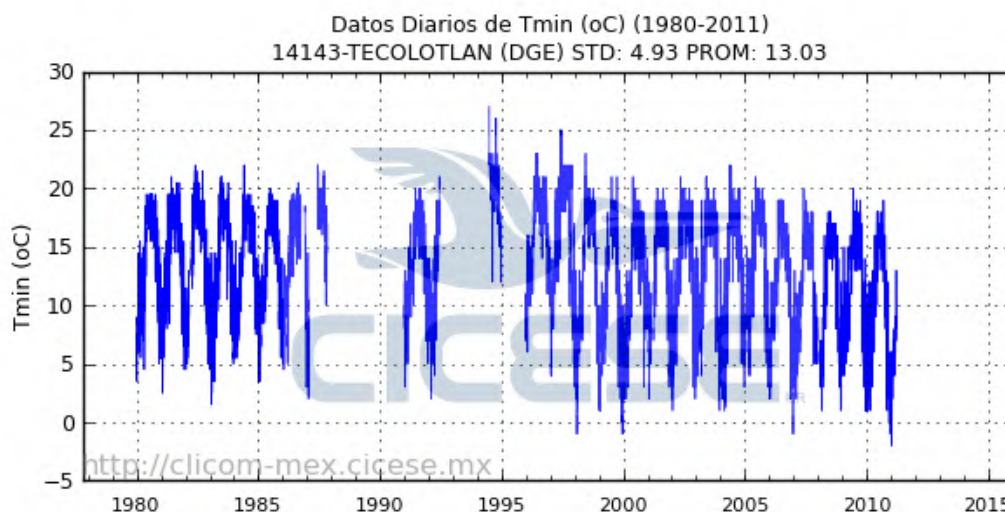
μ = Temperatura media mínima

σ = Desviación típica de las temperaturas mínimas en los años registrados.

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

Tecolotlán se tiene una base de datos incompleta, tal como se muestra en la imagen siguiente.

Gráfico 6-XVIII: Temperaturas mínimas diarias

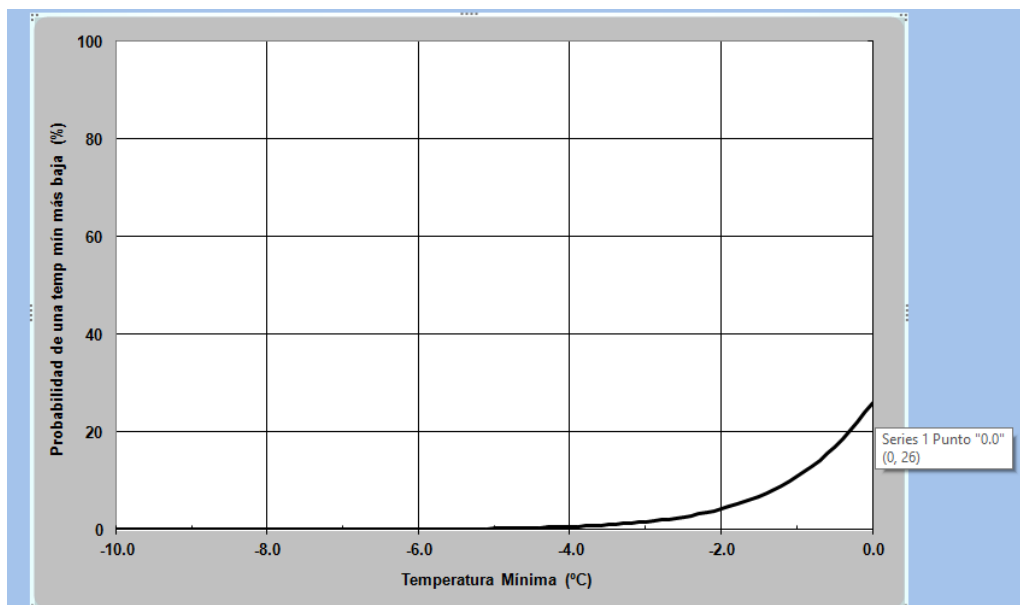


Fuente: CICESE.

Se aprecia faltante de datos a partir de junio de 1987 hasta enero de 1991, tampoco existen datos del 93 ni del 95, con lo cual nos queda una base de datos de 24 años.

TempRisk nos da la probabilidad y el riesgo de que la temperatura caiga por debajo de un nivel crítico cuando se ha establecido la sensibilidad del cultivo al daño. Los datos que se pueden ingresar son hasta 50 años de datos de temperatura mínima, las fechas de inicio y de finalización para el período a evaluar y la temperatura crítica, en este caso 0° C. Para el caso de Tecolotlán, como se muestra en la página siguiente la probabilidad de que la temperatura llegue a 0°C es del 26 %.

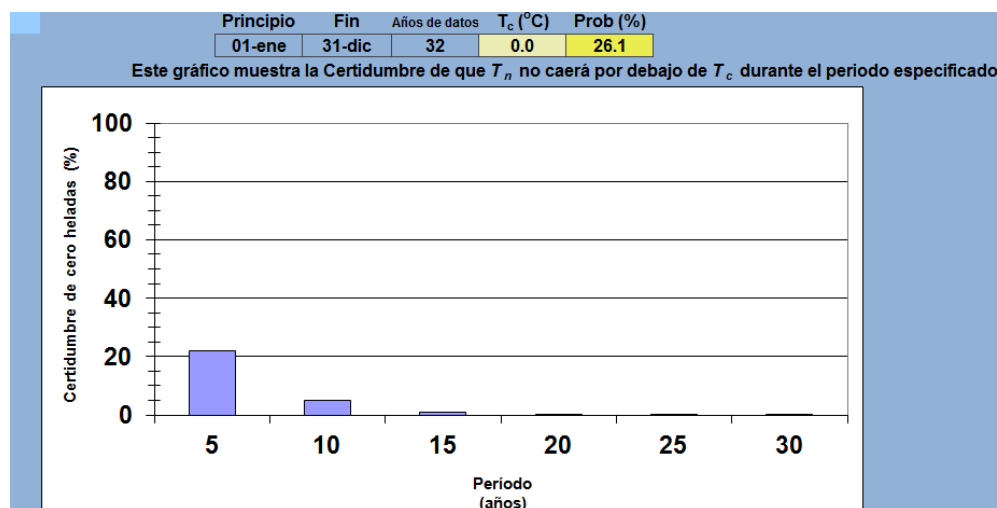
Gráfico 6-XIX. Gráfico obtenido con hoja de cálculo TempRisk de FAO para Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

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

Gráfico 6-XX. Certidumbre de no ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C, obtenida con hoja de cálculo TempRisk de FAO, para Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior, los valores para cada columna son:

Tabla 6-XLII. Certidumbre de cero heladas menores a 0 °C

Tr, años	Certidumbre de cero heladas, %
5	22
10	5
15	1
20	< 1
25	<< 1
30	<< 1

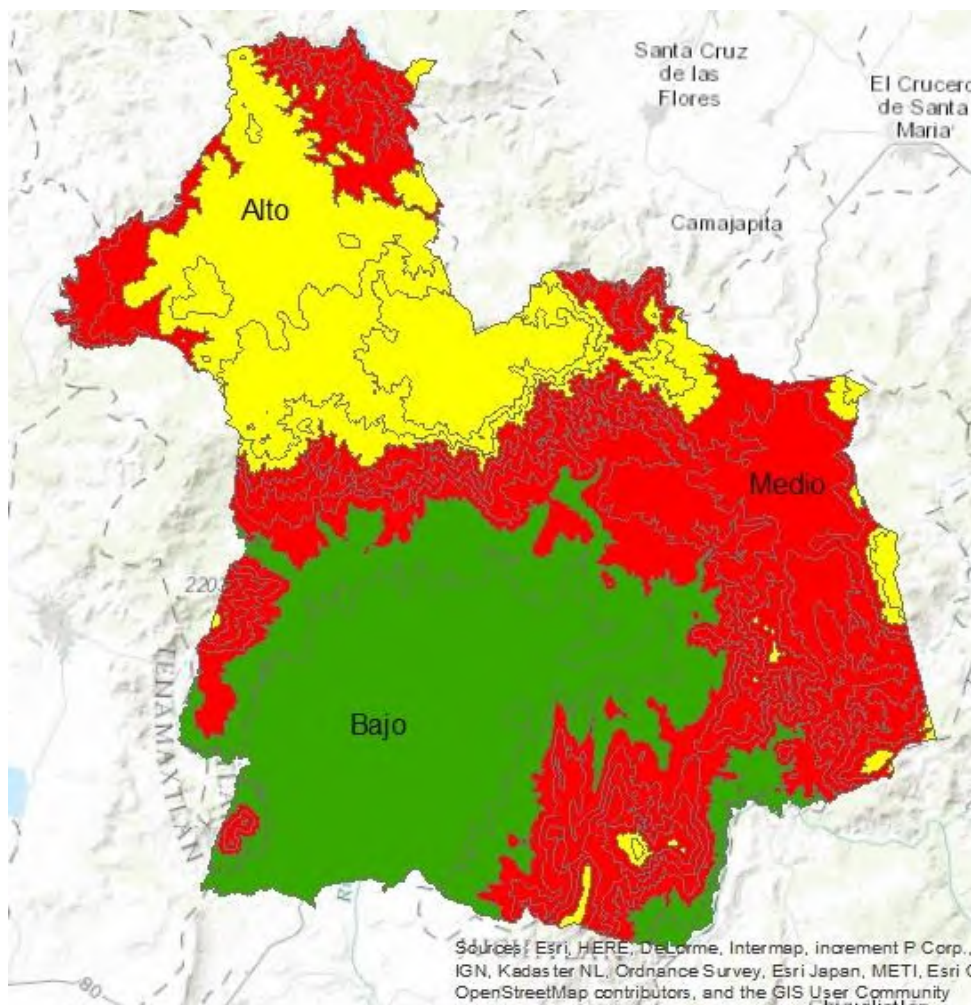
Fuente: Elaboración propia

6.1.3.1.2 Mapa de Peligro de Heladas en Tecolotlán

El mapa de peligro de heladas se determinó con base en el gradiente térmico altitudinal.

Los datos de partida fueron los de las temperaturas mínimas extremas de la estación 14143 y mediante álgebra de mapas se obtuvo el peligro por heladas para el municipio, clasificando las hectáreas en riesgo de cultivos y áreas urbanas, los cuales pueden ser consultados en la base de datos del sistema de información geográfica.

Imagen 6-XVII. Peligro por heladas en Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el mapa existen tres zonas con niveles alto, medio y bajo de peligro a heladas. Las partes altas del municipio a partir de los 1700 msnm como la sierra de Quila al norte, al extremo este y pequeñas áreas del sur a estas elevaciones son de peligro alto, lo que significa temperaturas mínimas de -10.84°C

De los 1700 a los 1350 aproximadamente se extiende una zona de peligro medio, así como hacia la planicie que se inicia hacia el norte de la Sierra de Quila. Temperaturas mínimas de -6.43 °C. La parte de peligro bajo se localiza en el valle central del municipio y se extiende hacia el este. Temperaturas mínimas de -3.20 °C.

6.1.3.2 Vulnerabilidad.

Dada la ubicación geográfica del municipio, los datos sobre temperatura mínimas extremas absolutas obtenidos y el análisis realizado de estos datos para heladas, la severidad de este fenómeno solo se comenta aquí para el sector agricultura que resulta el sector que puede estar en riesgo ante un evento de heladas. Los riesgos para la población se analizan en el tema de Temperatura Extremas. Los otros sectores no son afectados por un evento de helada.

6.1.3.2.1 Agricultura.

Como se muestra en la imagen 2 los registros de temperaturas por debajo de 0 °C, que es la temperatura a la cual se congela el agua, son muy pocos, pero esto no significa que no exista el peligro de heladas en el municipio. El peligro se estableció en función del gradiente altitudinal. La vulnerabilidad de los cultivos en el municipio se estableció como:

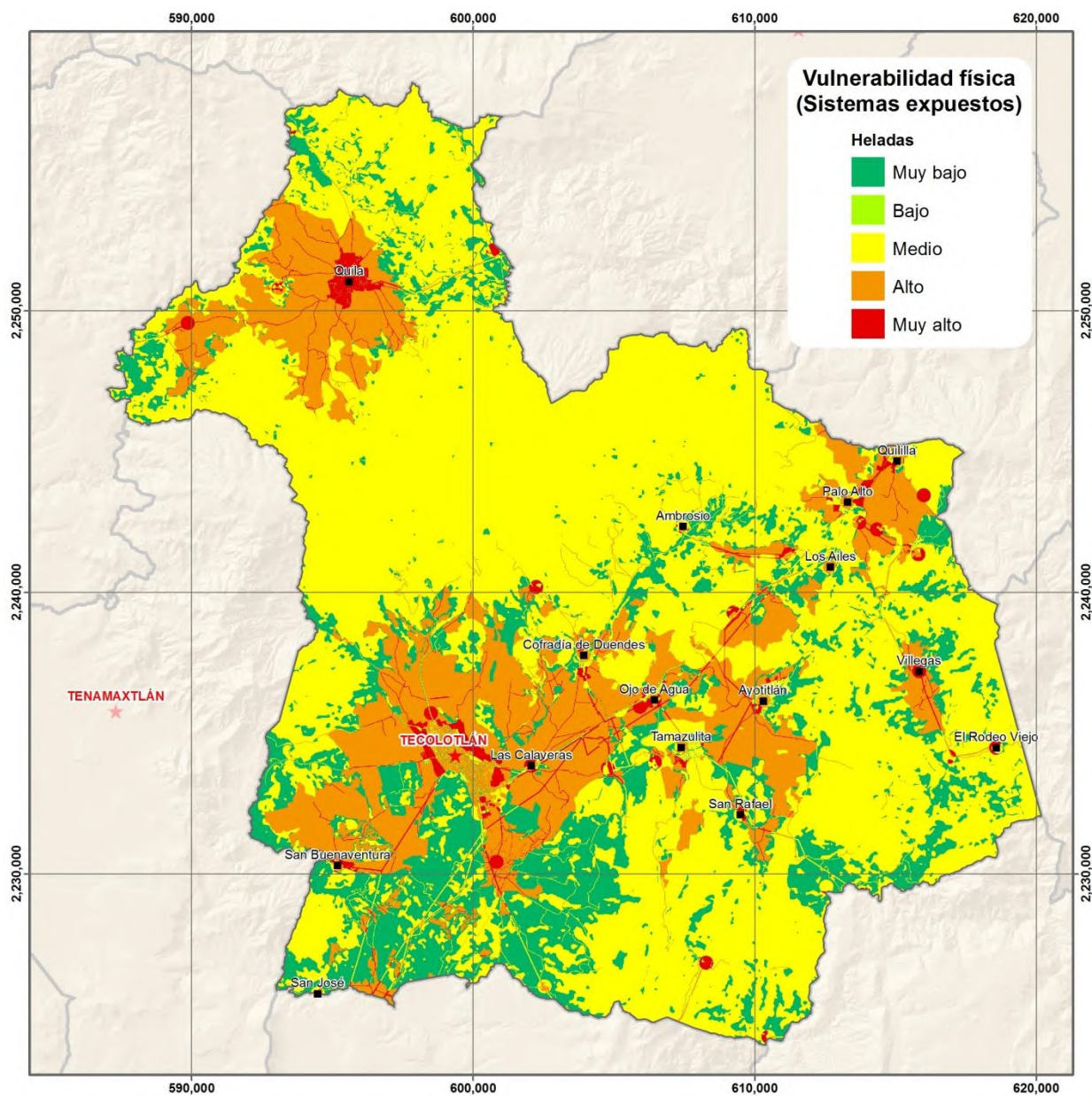
Tabla 6-XLIII. Vulnerabilidad de cultivos a heladas.

Cultivo	Riesgo
Agave	Muy alto
Agricultura de riego	Muy alto
Aguacate	Alto
Bosque de encino	Bajo
Bosque de encino-pino	Bajo
Bosque de pino-encino	Bajo
Bosque tropical caducifolio	Medio
Engorda de Pollo	Medio
Hortalizas	Muy alto
Invernaderos	Bajo
Maíz Temporal	Muy alto
Praderas	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Este criterio se ve reflejado en la imagen siguiente.

Imagen 6-XVIII. Vulnerabilidad física en el municipio de Tecolotlán ante heladas.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.3 Riesgo

6.1.3.3.1 Sector Agrícola

El riesgo para este sector quedó establecido por tipo de cultivo y superficie afectable en hectáreas. Así mismo, en el área de influencia de la estación meteorológica 14143 de Tecolotlán quedo establecido una certidumbre del 22 % de que la temperatura no caerá por debajo de 0 °C (temperatura crítica) en un período de 5 años y una certidumbre del 5 % de que no caerá por debajo de la temperatura crítica en 10 años. Por el contrario, existe una certidumbre del 78 % de que la temperatura si caerá por debajo de 0 °C en los próximos 5 años, esto es, la probabilidad de que se registren temperaturas críticas en Tecolotlán y por lo tanto se presenten heladas en los próximos años es del 78 %.

Tabla 6-XLIV. Niveles de riesgo por heladas para los diferentes cultivos en Tecolotlán.

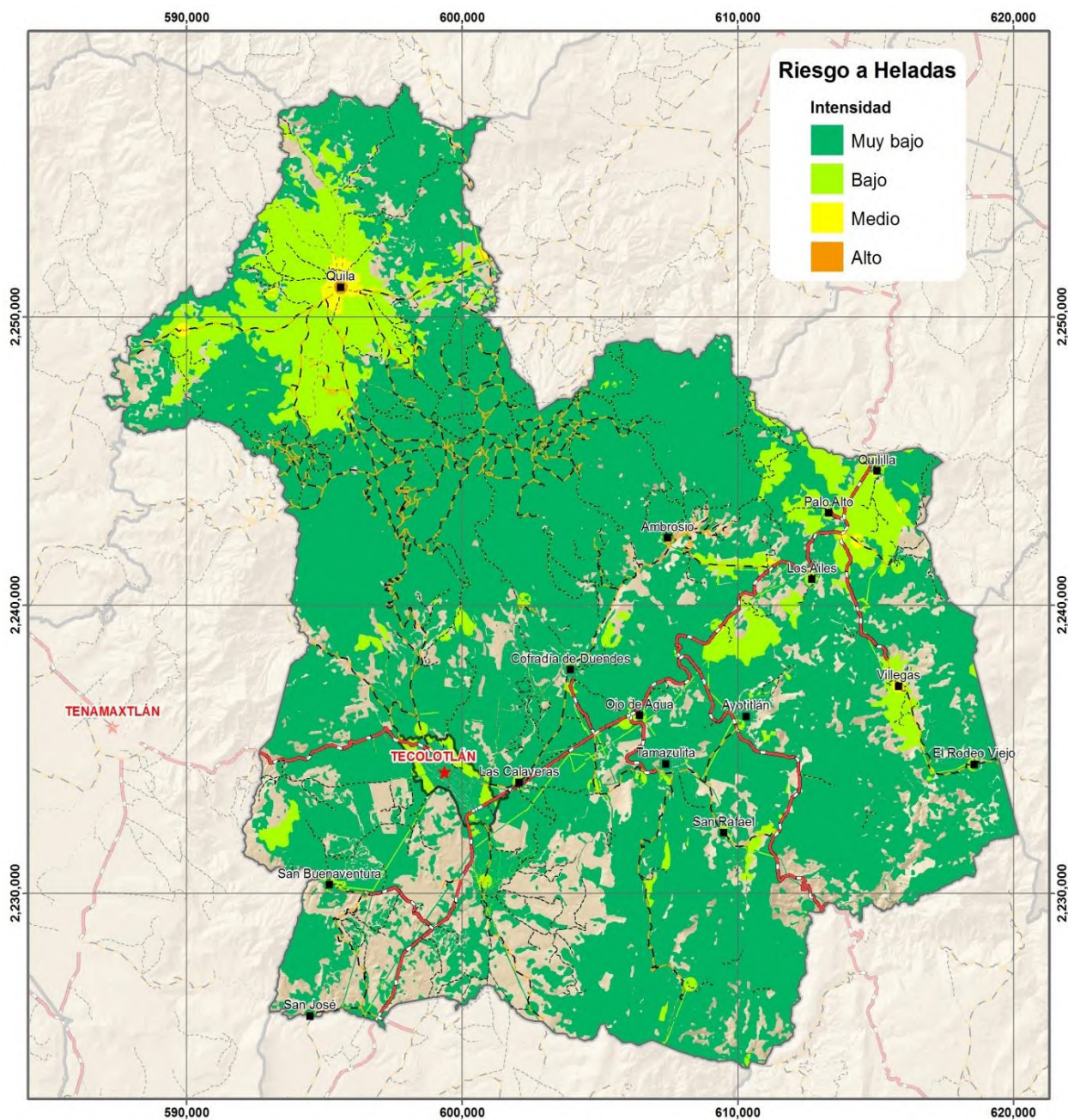
Cultivo	Hectáreas	Riesgo
Maíz Temporal	18.14	Alto
	5276.85	Bajo
	351.07	Medio
	5272.82	Muy bajo
Praderas	2.48	Alto
	1244.29	Bajo
	15.34	Medio
	4298.51	Muy bajo
Agave	28.63	Bajo
	505.68	Muy bajo
Hortalizas	35.57	Bajo
	369.78	Muy bajo
Invernaderos	0.01	Bajo
	9.83	Muy bajo
Aguacate	54.31	Bajo
	0.06	Medio
	6.45	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia.

Para el maíz de temporal solo el 0.17 % está en riesgo alto, localizado en zonas altas con temperaturas mínimas absolutas de -10.8°C , el 3.21 % se localiza en zonas de riesgo medio con temperaturas de -6.43°C , el 48.33 % se localiza en zonas de riesgo bajo con temperaturas mínimas absolutas de -3.20°C , y el restante 48.30 % se localiza en zonas de riesgo muy bajo.

El otro cultivo de importancia son las praderas para siembra de pasto, de las cuales casi el 99 % se encuentra en riesgo muy bajo a las heladas.

Imagen 6-XIX. Riesgo por heladas en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 TORMENTAS DE GRANIZO.

El granizo es un tipo de precipitación y se genera en nubes *cumulonimbos*, asociadas a tormentas severas, que pueden ser acompañadas por tormentas eléctricas y tornados o trombas. El granizo se forma debido al contacto de agua que está por debajo de su punto de fusión normal con corrientes ascendentes de aire frío, estas gotas de agua subenfriada crecen al colisionar entre sí, de este modo al ir ganando peso, se solidifican y precipitan en forma de hielo sólido.

En su caída, muchas de las capas de hielo que se formaron durante su ascenso, pueden descongelarse, volviendo a su estado líquido original. Sin embargo, no se desprenden y aun estando dentro del cumulonimbo, puede ser capturada nuevamente por otra corriente de aire ascendente y ser trasladada hacia las regiones altas de la nube. Esto provoca el agregado de una nueva *capa* de partículas de agua y su congelamiento. Este ciclo puede ocurrir varias veces, hasta que el granizo tome una dimensión y peso, que las corrientes ascendentes de aire dentro de la nube, no tienen la fuerza suficiente para transportarlo, precipitándose así a tierra. El tamaño del granizo va desde 5 mm hasta 43 mm, o mayores.

Partículas de hielo de ese tamaño pueden pesar, desde 4 gramos a 40 gramos, aproximadamente, de tal manera que la fuerza con que golpea llega a ocasionar graves daños a la agricultura y vegetación en general, puede dañar recubrimientos de techos, e incluso provocar la muerte.

Por ejemplo, en junio del 2008 en el Tlaquepaque, Jalisco se reportó decenas de viviendas afectadas. Una vivienda destruida, donde murió un niño y su madre resultó lesionada al igual que otras 8 personas en el municipio. Asentamientos irregulares fueron los más afectados.

Un día previo a una de las visita de campo al municipio de Tecolotlán ocurrió una granizada, durante la cual afortunadamente no se reportaron afectaciones, pero si cubrió zonas amplias del municipio.

Imagen 6-XX. Granizo acumulado proveniente del techo de la Casa de Cultura, Tecolotlán



Fuente: IIEG.

En la imagen, tomada un día después del evento, se observa un tono rojizo en la masa del hielo, esto se debió a que el granizo dañó el impermeabilizante del techo del edificio. Además, muestra como la masa compacta de granizo permanece durante horas después de ocurrido el evento lo que provoca taponamientos y posibles inundaciones.

6.1.4.1 Metodología

Registrar la afectación ambiental de las granizadas registradas en:

- Flora silvestre
- Agricultura
- Ganadería
- Población
- Viviendas (Techos)
- Infraestructura (alcantarillado y drenaje)

Se recomienda consultar el informe: mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos elaborado por el CENAPRED. (M. Jiménez, et al) marzo 2012.

Obtener una base de datos climatológicos con los valores de número de días con granizo, trazar isolíneas con los valores obtenidos, el procedimiento es realizado mediante interpolación de datos utilizando sistemas de información geográfica.

Establecer los rangos para las isolíneas de acuerdo a la distribución de las mismas.

Evidencias

Como parte de los trabajos de campo se realizó un taller con la Unidad Municipal de Protección Civil y otras dependencias del Municipio, en la que se identificaron las zonas donde han impactado eventos hidrometeorológicos. Con respecto al tema de granizo se comentó que si bien se presenta dicho fenómeno, no ha ocasionado daños al sector agropecuario, forestal, a las viviendas o infraestructura.

Imagen 6-XXI. Taller de análisis de peligros hidrometeorológicos, participa Protección Civil Municipal e IIEG.



Fuente: IIEG.

La consulta del mapa de Índice de Riesgos Hidrometeorológicos a Escala Municipal, indica para el municipio de Tecolotlán un riesgo medio, mientras que el índice de peligro es alto por tormentas de granizo por municipio.

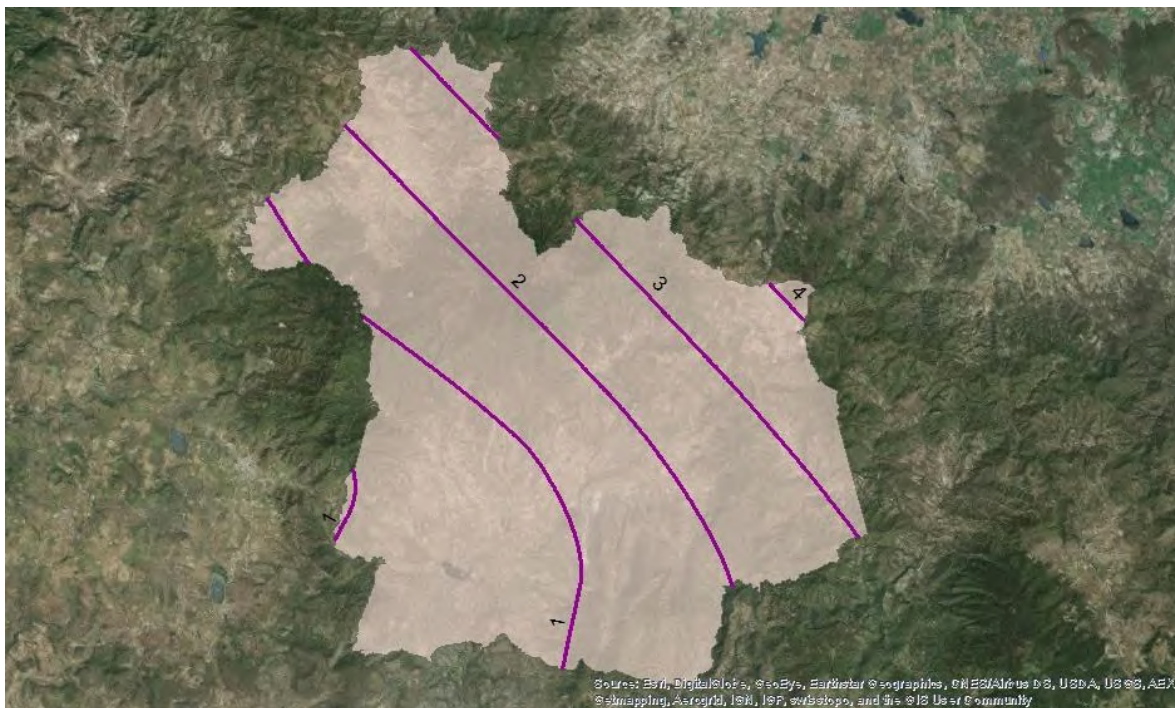
Las bases de datos de granizadas en las estaciones 14143 Tecolotlán y 14078 Juchitlán están incompletas por lo que en la siguiente tabla, estos fueron tomados de CENAPRED.

Tabla 6-XLV. Días con granizo al año

Estación	No de años	Días/año, promedio
Atemajac De Brizuela	20	1.35
Ameca	28	1.64
Tenamaxtlan	20	0.6
*Tecolotlán	23	3
*Juchitlan	24	3.5

Fuente: Elaboración propia y *CENAPRED

Imagen 6-XXII. Días con granizo al año en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

Periodos de Retorno

Dado que los datos de días con granizo de la estación 14143 Tecolotlán son a todas luces incompletos, el cálculo de periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años calculados a partir de esa base de datos se debe tomar con cautela.

Tabla 6-XLVI. Periodos de retorno para días con granizo.

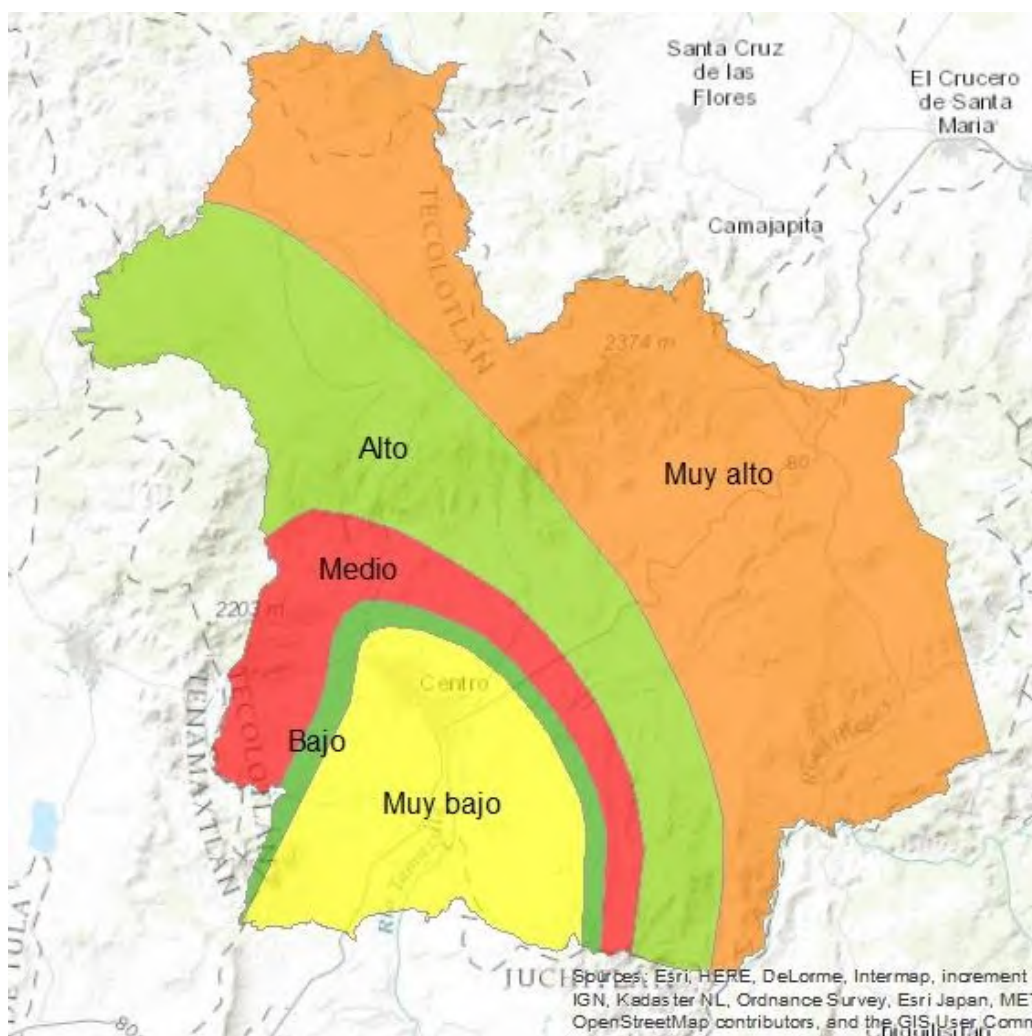
Tr	Días con granizo
5	1
10	1.39
25	1.81
50	2.08

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.2 Mapa de Peligro

El mapa de peligro se elaboró interpolando los datos regionales de días de granizo para los diferentes periodos de retorno. Se estableció el índice de peligro mínimo para período de retorno 2 años, la diferencia entre el número de días con granizo para periodo de retorno de 50 años y el mínimo se dividió entre 5 para obtener los niveles de peligro de muy bajo a muy alto.

Imagen 6-XXIII. Peligro por granizo en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado es que una gran parte del municipio se localiza en zonas de peligro muy alto y alto, coincidiendo con otras fuentes de datos. Sin embargo la parte suroeste del municipio presenta peligro medio a muy bajo, reflejando el hecho de la carencia de datos en las estaciones ubicadas hacia esa zona.

6.1.4.3 Vulnerabilidad

6.1.4.3.1 Población.

La vulnerabilidad para la población ante tormentas de granizo se puede analizar considerando dos circunstancias: si la población se encuentra expuesta directamente al impacto del granizo o considerando las características de las viviendas.

En la primera circunstancia, los impactos de granizo pueden llegar a producir algún daño leve a la población expuesta. Aunque dependiendo del tamaño del grano los daños pueden ser mayores, no existe registro de lesiones ocasionadas por impacto directo de granizo a la población.

Sin embargo si se pueden provocar accidentes, sobre todo de tránsito, en lluvias intensas de granizo en las cuales, en muchas ocasiones resultan personas lesionadas, además de las pérdidas materiales.

6.1.4.3.2 Vivienda.

Las vivienda con categoría II y III, esto es, viviendas con techos de palma, tejamanil, láminas de asbesto, cartón o materiales de desecho, tienen un nivel de vulnerabilidad muy alto y alto. Si no por la fuerza de los impactos directos, si por el peso del granizo acumulado, el cual puede derribar los techos. El factor de los materiales empleados para construir los muros, es menos importante pues sobre ellos no hay acumulación.

6.1.4.3.3 Infraestructura.

Sector agua potable y saneamiento.

Este sector es vulnerable a las tormentas de granizo por el taponamiento de bocas de tormenta y alcantarillas, lo cual a su vez puede provocar inundaciones en calles, avenidas y sitios bajos de las cuencas urbanas.

Sector Agrícola.

El sector agrícola, como en casi todos los fenómenos hidrometeorológicos, es el más afectado por las lluvias de granizo. Los daños ocasionados por una granizada a cultivos pueden ir desde leves en los que aún se pueden recuperar hasta catastróficos con pérdida total.

El granizo destruye la floración en etapas tempranas, provoca acostamiento de plantas, defoliación, congelamiento de tejidos. Estos daños varían en función de la etapa de crecimiento de los cultivos y se requieren procedimientos bien establecidos para evaluarlos.

Sector comunicaciones y transportes

Como se mencionó líneas arriba, una tormenta de granizo puede obligar al cierre de caminos y carreteras pues la circulación en calles pavimentadas cubiertas de granizo las vuelve superficies sobre las cuales los vehículos derrapan y pierden estabilidad.

La compactación de granizo en sitios donde este se acumula puede provocar que este dure mucho más tiempo en fundirse incrementando los riesgos a inundaciones.

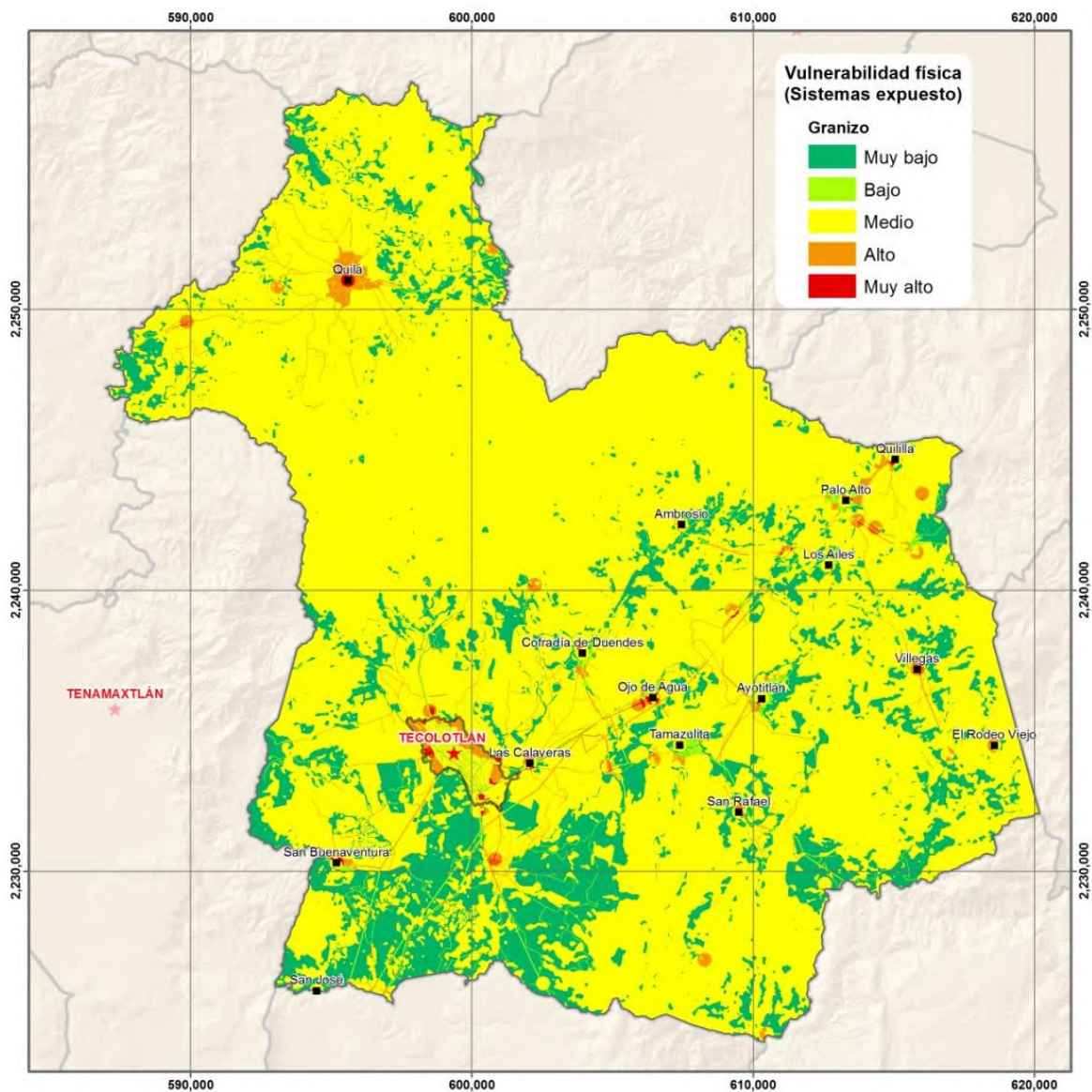
Imagen 6-XXIV. Accidente de tránsito en carretera debido a granizo.



Fuente: La Razón, 03/12/2015

La vulnerabilidad por granizo en el municipio en general se muestra en la imagen a continuación.

Imagen 6-XXV. Vulnerabilidad física por granizo en Tecolotlán



6.1.4.4 Riesgo.

6.1.4.4.1 Población.

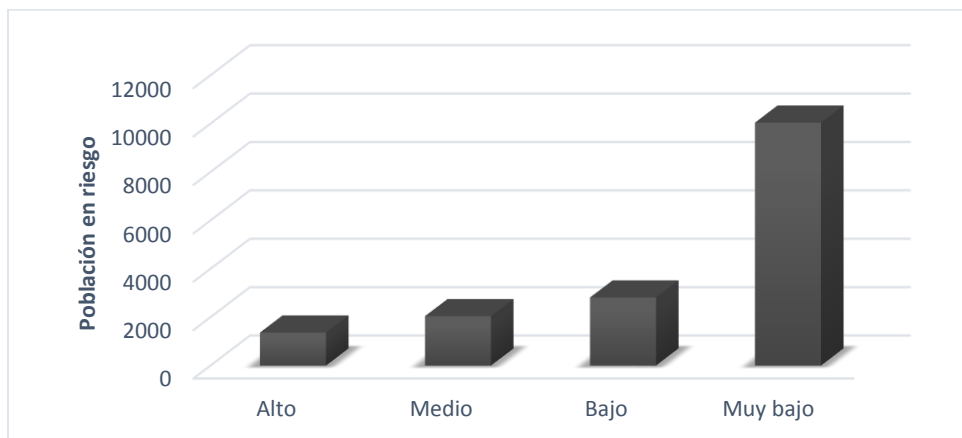
Una vez caracterizado el peligro y ponderado el tema de vulnerabilidad física y social, el riesgo para la población ante el fenómeno de las lluvias de granizo, resultó ser alto para las localidades localizadas al norte y noreste del municipio, donde según los datos de las estaciones meteorológicas los días con granizo al año son mayores. Las localidades con riesgo medio se localizan desde La Casita de Paja hasta Quililla, que corresponde a la zona central del municipio y hacia el noreste.

Tabla 6-XLVII. Población por localidades en riesgo alto y medio ante tormentas de granizo.

Nivel De Riesgo	Localidad	Población
Alto	EL ZARCO	15
	LA LOBERA	13
	LOS CHILARES	5
	QUILA	1057
	VILLEGAS	274
Medio	AYOTITLÁN	1218
	EL GUAJOLOTE (RANCHO ALVARADO)	92
	EL MIRADOR	12
	LA CAROLINA [GRANJA]	37
	LA CASITA DE PAJA	3
	LINDAVISTA (LAS PLAZUELAS)	70
	LOS AILES	176
	LOS CUARTOS	72
	QUILILLA	362

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXI. Población a nivel municipal en riesgo ante tormentas de granizo.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.4.2 Comunicaciones y transportes

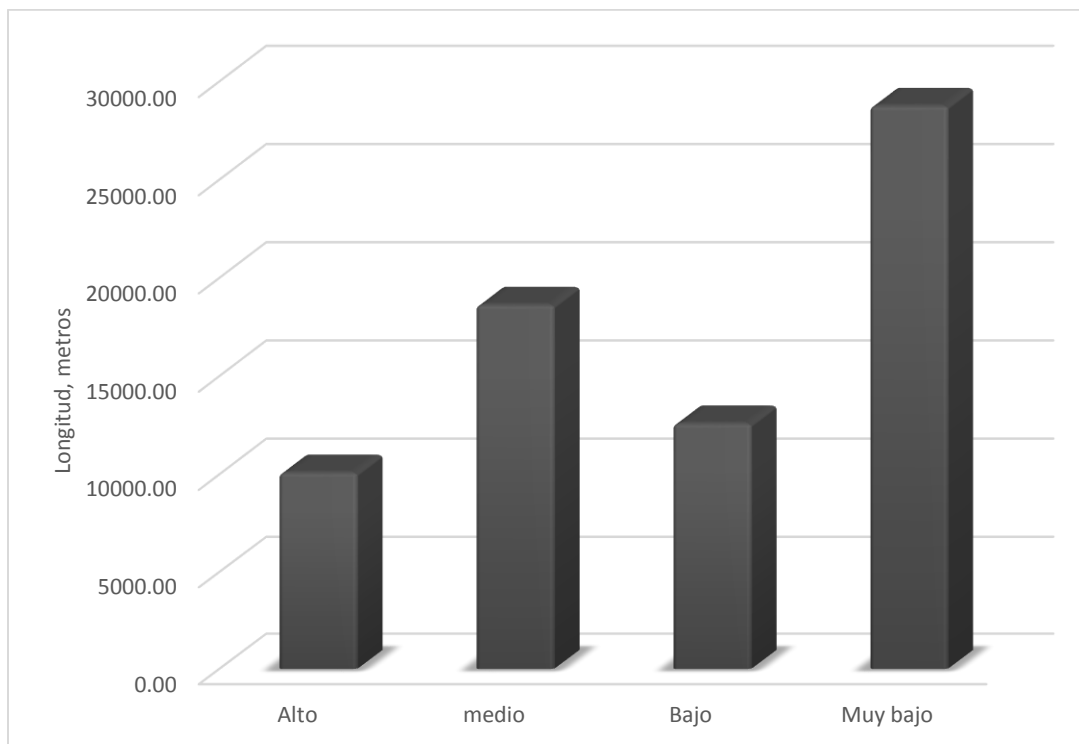
El sistema de vías de comunicación presenta los niveles e intensidades de riesgo mostrados en la tabla siguiente, entendiendo aquí intensidad como los kilómetros de vías de comunicación afectados.

Tabla 6-XLVIII. Vías de comunicación en riesgo por tormenta de granizo.

Infraestructura	Longitud metros	Nivel	Infraestructura	Longitud metros	Nivel
CARRETERA PAVIMENTADA	10085	Alto	BRECHA	28449	Medio
BRECHA	2090		CARRETERA PAVIMENTADA	18629	
TERRACERÍA	2860		TERRACERÍA	70160	
VEREDA	1368		VEREDA	165215	
BRECHA	34883	Bajo	BRECHA	32279	Muy bajo
CARRETERA PAVIMENTADA	12587		CARRETERA PAVIMENTADA	28757	
TERRACERÍA	58929		TERRACERÍA	60976	
VEREDA	117516		VEREDA	129449.5	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXII. Metros de carretera pavimentada en riesgo por tormentas de granizo.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.4.3 Sector Agrícola.

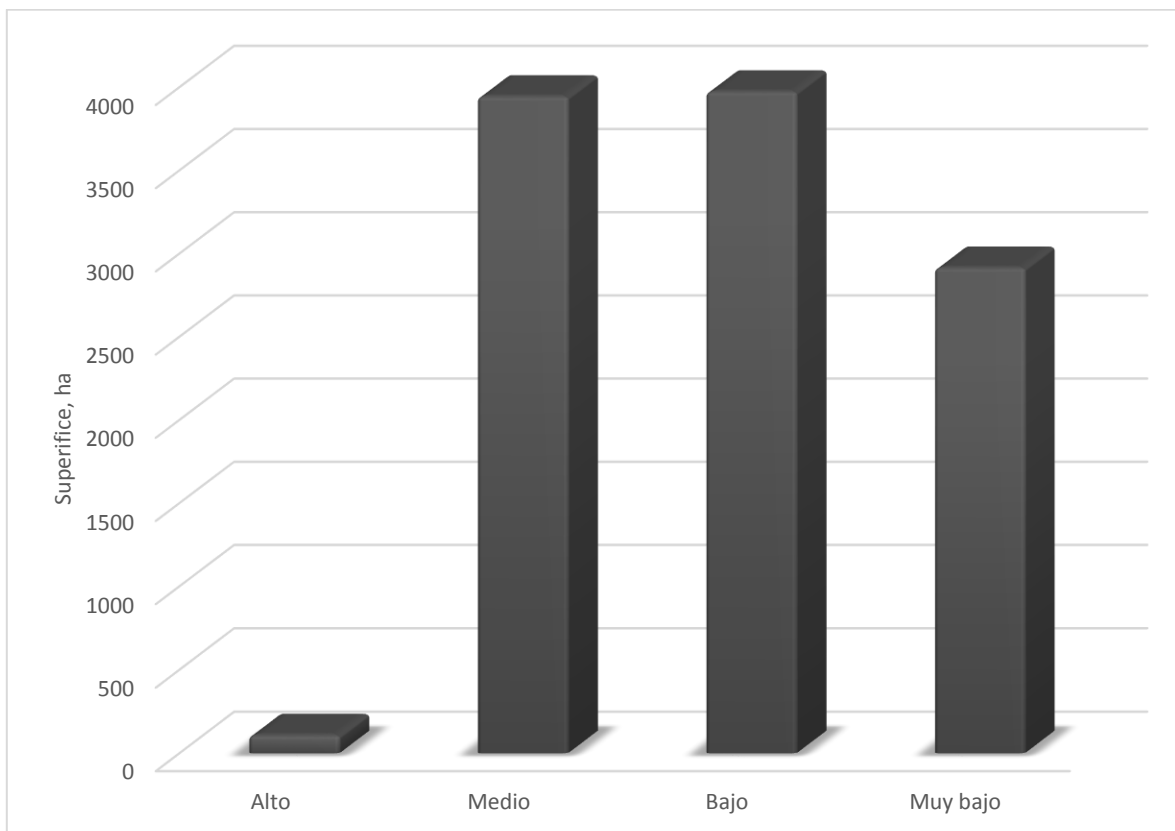
El riesgo en el sector agrícola por granizo es según se muestra en la tabla siguiente. Como se menciona, este puede ir desde la pérdida total a daños menores en los cultivos haciendo viable su recuperación mediante prácticas de resiembra y otras.

Tabla 6-XLIX. Cultivos en riesgo por tormenta de granizo.

Nivel	Cultivo	Hectáreas
Alto	Maíz Temporal	107.70
	Praderas	5.43
	Agricultura de riego	0.26
medio	Agave	0.78
	Agricultura de riego	24.03
	Hortalizas	152.86
	Invernaderos	2.29
	Maíz Temporal	3943.62
	Praderas	168.28
Bajo	Agave	54.28
	Agricultura de riego	100.23
	Aguacate	60.61
	Hortalizas	242.21
	Invernaderos	5.64
	Maíz Temporal	3973.07
	Praderas	3698.53
Muy Bajo	Agave	483.62
	Agricultura de riego	533.87
	Aguacate	0.02
	Hortalizas	10.59
	Invernaderos	1.97
	Maíz Temporal	2914.14
	Praderas	1696.89

Fuente: Elaboración propia.

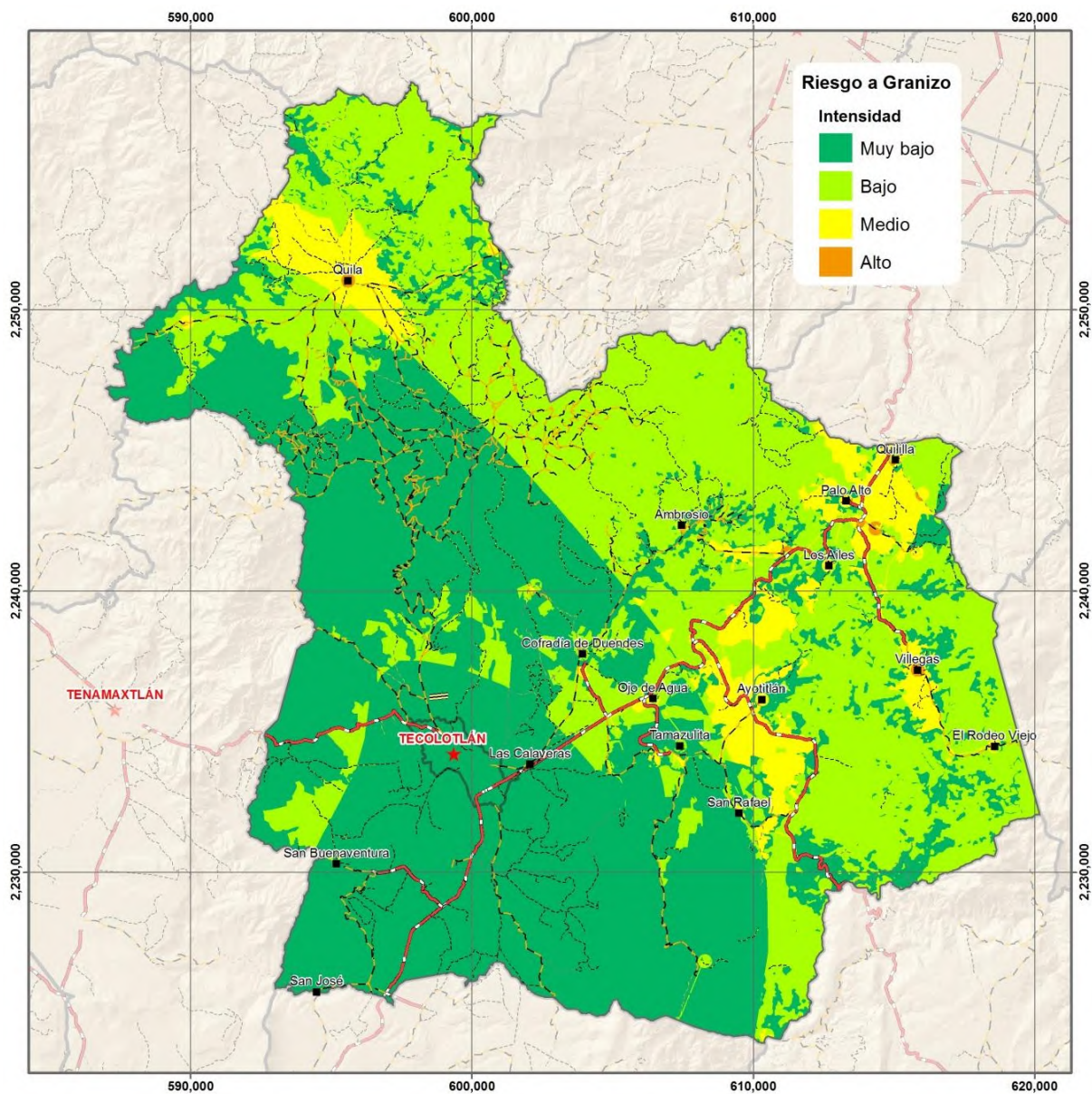
Gráfico 6-XXIII. Superficie de maíz de temporal en riesgo por granizo.



Fuente: Elaboración propia.

Del total de la superficie sembrada con maíz de temporal, el 1 % está en riesgo alto, el 36.03 % en riesgo medio, el 36.32 % en riesgo bajo y 26.64 % en riesgo muy bajo.

Imagen 6-XXVI. Niveles de riesgo por granizo a nivel municipal.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.5 CICLONES TROPICALES

"Después de intensificarse a huracán el día 22 de octubre a las 01:00 horas, 'Patricia' necesitó solamente 18 horas más para alcanzar la categoría 5 de la escala Saffir-Simpson, es decir, un ciclón de muy rápida evolución, que además de ser uno de los más intensos y potencialmente más destructivos que haya tocado tierra en las costas occidentales de México con categoría 5, alcanzó, según el Centro Nacional de Huracanes de Miami, Florida, USA, el mayor registro de vientos máximos sostenidos (325 km/hr) de que se tenga memoria en la historia de los huracanes del Pacífico Nororiental, lo que motivó el interés del mundo en México a través de una amplia cobertura de medios informativos. De acuerdo con los datos obtenidos en los cuatro vuelos del avión Cazahuracanes, Patricia es el huracán más intenso que haya existido".

Lo anterior es parte del reporte oficial emitido por el SMN acerca de Patricia. Los efectos provocados por Patricia fueron afortunadamente solo materiales: comunidades incomunicadas, puentes colapsados, inundaciones, afectaciones a viviendas, desbordamientos de arroyos, presas al 100 % de su capacidad, evacuación de población y daños a 8,289 hectáreas de cultivos.

El factor que evitó que hubiera daños a la integridad física de las personas ante un evento de esa magnitud fue sin duda la prevención. Es en este sentido que este capítulo pretende aportar.

Los ciclones tropicales han causado algunos de los peores desastres debidos a fenómenos naturales. En México el huracán Gilbert en 1988 causó la muerte a 200 personas y Pauline en 1997 provocó 228 decesos. En 2011 la tormenta tropical "Manuel" provocó deslaves en la sierra de Guerrero sepultando a la comunidad de La Pintada donde desaparecieron 68 personas bajo un alud de lodo.

Imagen 6-XXVII. Deslizamiento de ladera en La Pintada debido a huracán Manuel.



Fuente: Milenio

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

Estos sistemas atmosféricos requieren mínimamente calor y humedad. Una de sus fuentes de energía calorífica es la temperatura de las aguas oceánicas, se ha observado que si ésta alcanza los 26 °C y se combina con otros factores, entonces se inicia el proceso de su formación, el cual consta de las siguientes etapas:

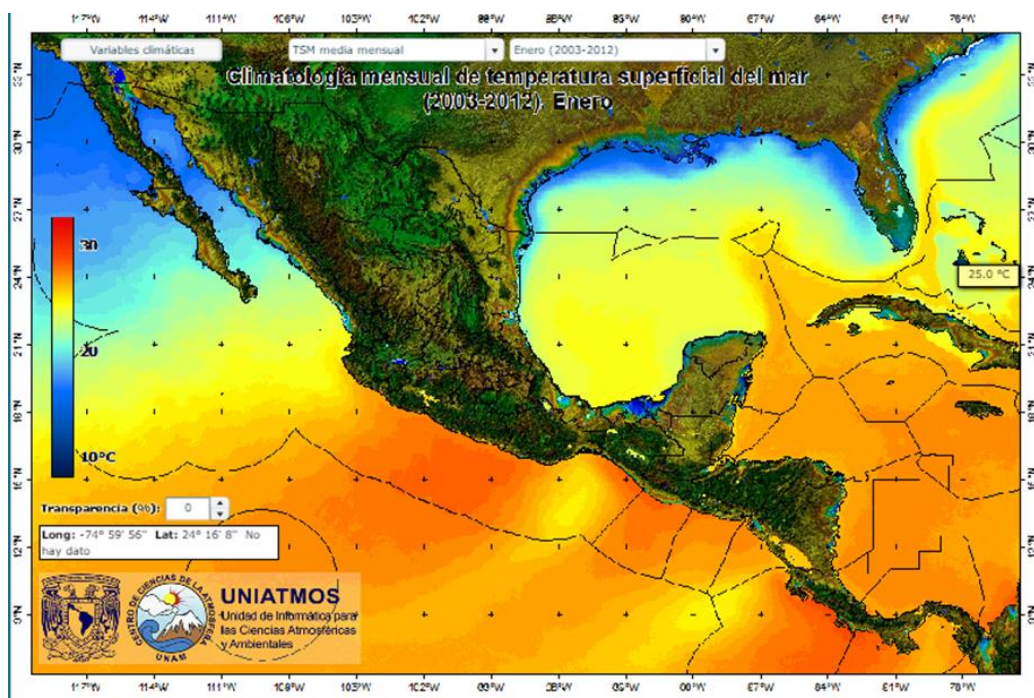
- *Depresión tropical*: presión de 1008 a 1005 mbar o velocidad de los vientos menor a 63 km/h.
- *Tormenta Tropical*: presión de 1004 a 985 mbar o velocidad del viento entre 63 y 118 km/h.
- *Huracán*: presión menor a 984 mbar o velocidad del viento mayor que 119 km/h.

Otras condiciones meteorológicas que deben conjuntarse son:

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

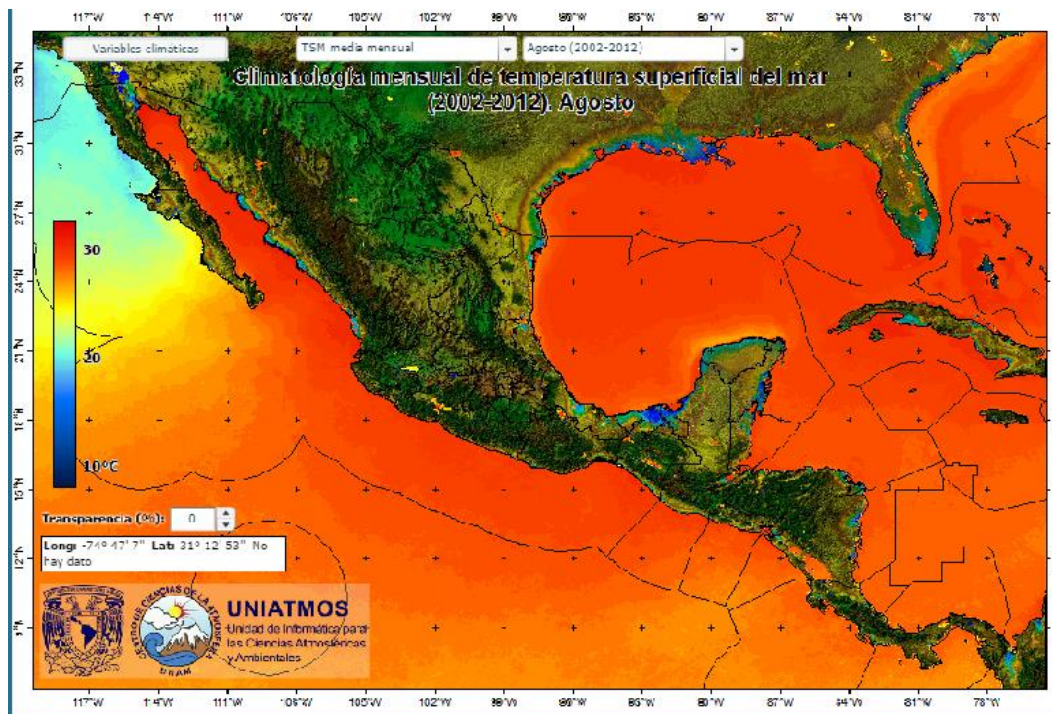
La siguiente imagen muestra la temperatura promedio del mar para el mes de enero con datos de 2003 al 2012.

Imagen 6-XXVIII Temperatura del océano pacífico para enero,



Fuente: UNIAMOS.

Imagen 6-XXIX. Temperatura del océano pacífico para agosto, 2003-2012.



Fuente: UNIAMTOS.

En la primera imagen la temperatura del mar frente a los Estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco varía desde 28 °C en Oaxaca hasta los 25 °C a la altura de Puerto Vallarta, Jalisco. Para el mes de agosto la temperatura de la superficie de las aguas marinas alcanza su nivel máximo de 29.5 °C frente a las costas de Chiapas a 31.5 °C frente a Puerto Peñasco, Sonora. Este incremento de la temperatura del mar establece la temporada de ciclones del Océano Pacífico Oriental que para el presente año será del 15 de mayo al 30 de noviembre.

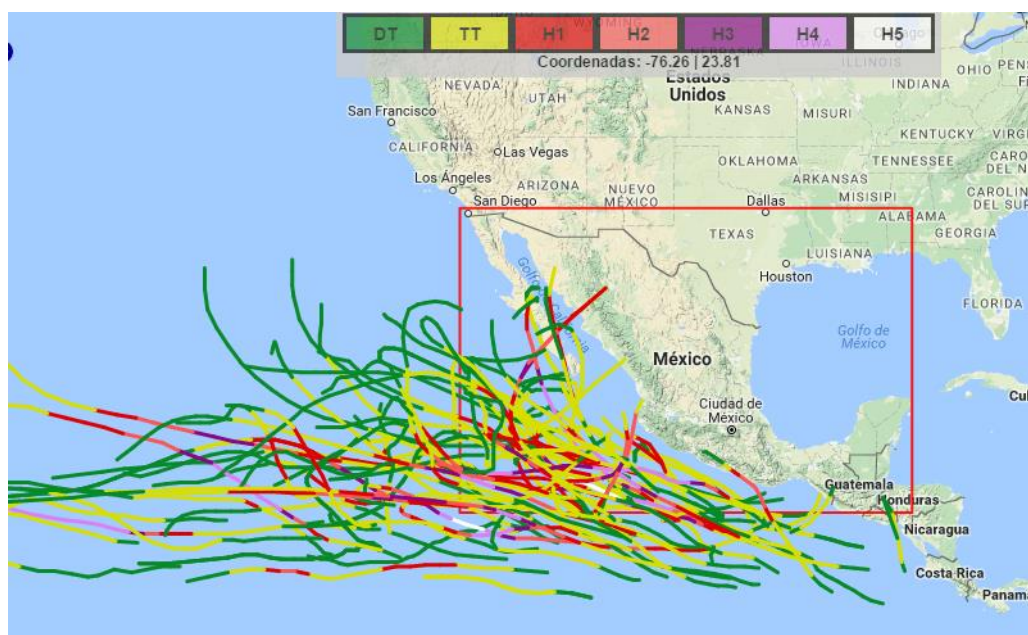
Una vez que el huracán ha pasado, baja la temperatura del agua del mar temporalmente y cuando alcanza tierra pierde el contacto con su fuente de energía y recorre en sentido contrario las etapas de formación hasta que se desvanece, de tal manera que en sitios alejados de la costa sólo impactaran bien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

depresiones tropicales, sin que esto signifique que no puedan continuar siendo en extremo peligrosos.

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

Las zonas donde se originan en el océano pacífico va de lo 90° a los 130° grados longitud oeste, frente a las costas de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, teniendo su fin de trayectoria principalmente en Jalisco, Michoacán, Colima, Nayarit, sur de Sinaloa y al oeste del extremo sur de la Península de Baja California. Una imagen de las trayectorias de huracanes del Pacífico del 2007 al 2012 se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 6-XXX. Trayectorias de huracanes en el Océano Pacífico



Fuente: CICESE.

Se trata de 88 eventos de todas las categorías, un promedio de 17 por año.

Tabla 6-L. Categoría Saffir-Simpson

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

La siguiente es una propuesta de reclasificación del riesgo por huracanes basada en los vientos y en la precipitación: “El grado de peligrosidad que el huracán implica, se da a conocer a la población a través de un código basado en una clasificación de la velocidad de los vientos; sin embargo, no existe un código similar para el grado de peligrosidad que implica la precipitación potencial”³

³ Rentería Guevara Sergio Arturo, Martínez Angulo José, Sanz Ramos Rafael, (2015), *Reclasificación de huracanes en Sinaloa, México, por vientos y Precipitación asociada al riesgo por inundaciones*, Revista Digital Tlaloc, No. 67, abril-junio del 2015.

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

Tabla 6-LI Clasificación para lluvia acumulada

CATEGORIA	
A	Lluvia escasa
B	Lluvia normal
C	Lluvia intensa
D	Lluvia extrema

Fuente: Elaboración propia.

Retomando la clasificación empleada por CENAPRED, la precipitación máxima en mm por 24 horas para las categorías de lluvia enlistadas es:

Tabla 6-LII. Clasificación propuesta con rangos de precipitación

Categoría	Tipo de Lluvia	Características Precipitación en 24 h.
A	Lluvia escasa	5 a 20 mm
B	Lluvia normal	20 a 70 mm
C	Lluvia intensa	70 a 150 mm
D	Lluvia extrema	> 150 mm

Fuente: CENAPRED.

La reclasificación por ambos criterios se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6-LIII. Categorías de ciclones con base en viento y lluvia.

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

Fuente: Elaboración propia.

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

6.1.5.1 Método

Investigar la trayectoria de los eventos históricos. Cartografiar los eventos históricos que han afectado a la entidad respectiva.

Utilizar la escala de huracanes Saffir-Simpson para caracterizar los huracanes históricamente.

Recopilar los datos meteorológicos de las estaciones existentes en los municipios y los centros monitoreo que están distribuidos en diversos sitios del país.

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico.

Evidencias

Dar a conocer las fuentes de información.

Mapa con la representación de los eventos históricos y municipios afectados.

Levantamiento de cuestionarios en los municipios afectados.

Gráficas de los diversos elementos del clima.

Las fuentes de información a las que se recurrió son: el sistema CLICOM (Climate Computing) a través del CICESE, datos de National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos de Norteamérica, particularmente la página <https://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm>.

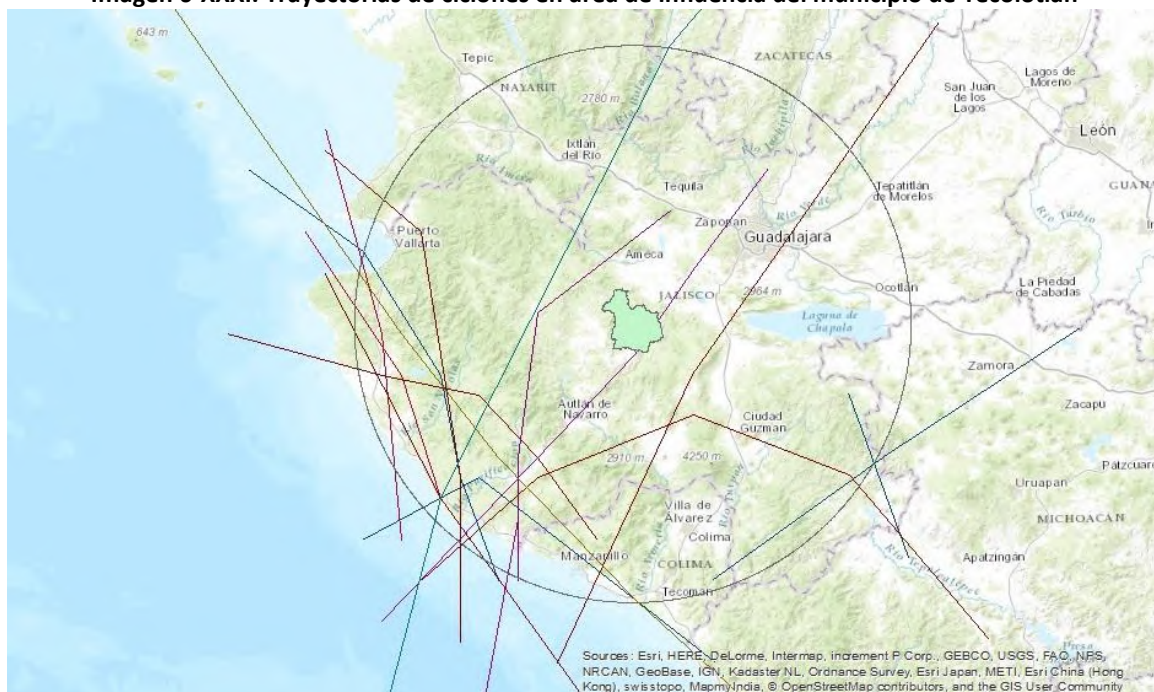
De la misma fuente se extrajo la base de datos HURDAT, la que contiene un análisis post-tormenta de los ciclones tropicales y sus áreas de influencia. Específicamente, se encuentran datos de fecha, trayectoria, intensidad, vientos sostenidos, presiones y radios de influencia de vientos. Se señala que radios de influencia de vientos sólo se encuentran disponibles a partir del 2003.

6.1.5.2 Trayectorias de huracanes con área de influencia de 150 km a partir del centroide del Municipio.

Para definir el área de influencia se localizó el centroide del polígono municipal, a partir del cual se trazó un círculo con radio de 150 km. Se consideró que todos los eventos localizados dentro de esta área tuvieron algún efecto sobre el municipio. El dato más antiguo es de octubre de 1945 y el más reciente es del huracán Patricia en 2015. La siguiente imagen es de la zona de influencia y las trayectorias de estos huracanes.

De este conjunto de datos sólo dos han tenido trayectorias que cruzan directamente sobre el municipio, ambos sin nombre, el de octubre de 1945 y otro del mismo mes pero de 1959. Sus trayectorias y efectos se analizan más adelante.

Imagen 6-XXXI. Trayectorias de ciclones en área de influencia del municipio de Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.5.3 Datos de huracanes que han impactado directamente al municipio.

El registro más antiguo de un huracán que haya impactado al municipio de Tecolotlán data de 1945, época en la que aún no se les asignaba un nombre a los huracanes. Impactó como depresión tropical, provocando una precipitación acumulada de 56.2 mm entre los días 6 y 7 de octubre. Su trayectoria se puede ver en la siguiente imagen. Ya como depresión tropical sus vientos no debieron representar ningún riesgo a la población. Por lo anterior este huracán cae dentro de la categoría DTB.

Imagen 6-XXXII. Trayectoria de evento de octubre de 1945.



Fuente: NOAA

El siguiente registro más antiguo data de 1959, provocó una precipitación de 29.8 mm en 24 horas ya como depresión tropical, no se reportaron daños. Su categoría sería por lo tanto DTB.

Imagen 6-XXXIII. Trayectoria de evento de 1959.



Fuente: NOAA

En lo que se sigue se detallan los casos de huracanes que han provocado alguna afectación de importancia en el municipio o que han sido considerados históricos por sus características.

Huracán Beatriz.

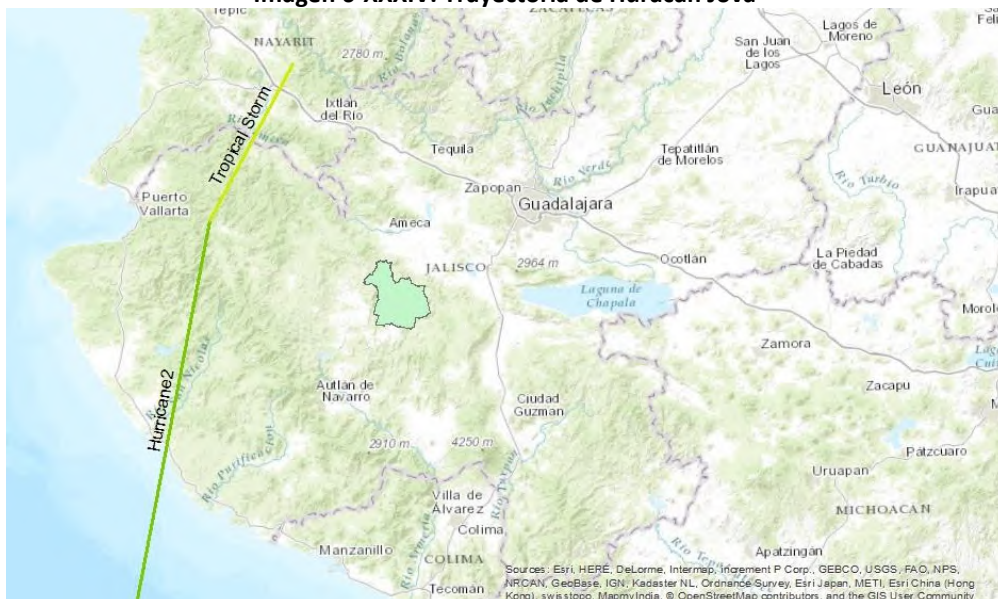
Este huracán ocurrió del 19 al 21 de junio del 2011. Según el Inventario Histórico de desastres de México alojado en www.desinventar.org, Beatriz afectó al sector educativo obligando a la suspensión de clases, no se reportan otro tipo de efectos. Las precipitaciones asociadas a este fenómeno fueron entre 10 a 20 mm, por lo que se considera un evento de categoría DTA.

Huracán Jova.

Este huracán se desarrolló del 6 de octubre al 12 de octubre, recorriendo 2000 km y una intensidad máxima de vientos de 205 km/h, es decir alcanzó la categoría III en la escala de Saffir-Simpson. Impactó el 12 de octubre como huracán categoría II en las costas de Jalisco, con vientos de 160 km/h. A partir de aquí se degradó a categoría I, tormenta tropical y depresión tropical.

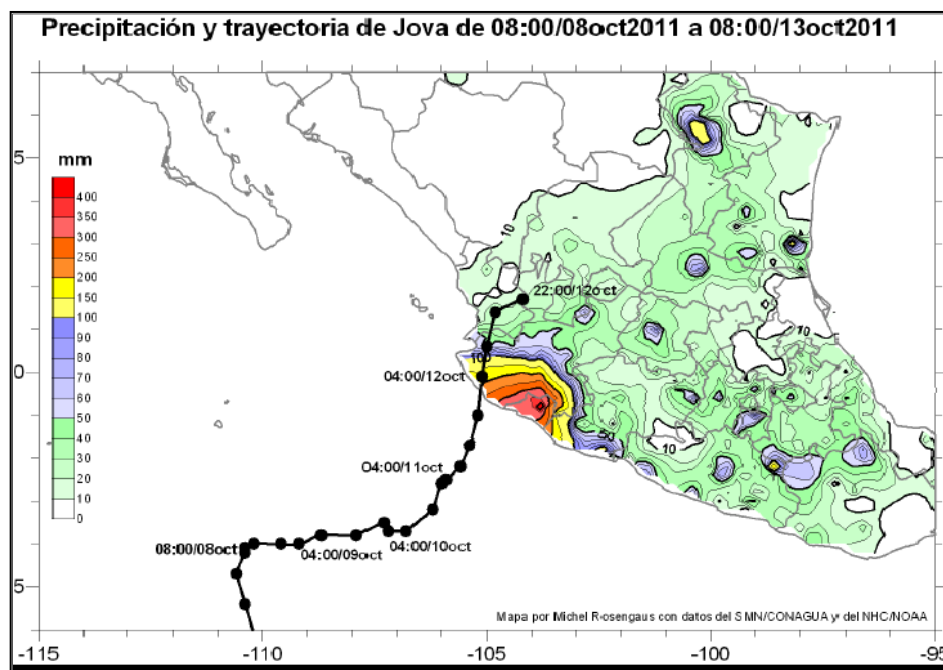
Aun cuando el eje de su trayectoria se localiza a 83 km de los límites del municipio, sus efectos fueron importantes pues la precipitación acumulada en la región fue de 150 a 200 mm, obligando al municipio a hacer una declaratorio de emergencia. La categoría de este huracán en la clasificación propuesta es HIB 35mm.

Imagen 6-XXXIV. Trayectoria de Huracán Jova



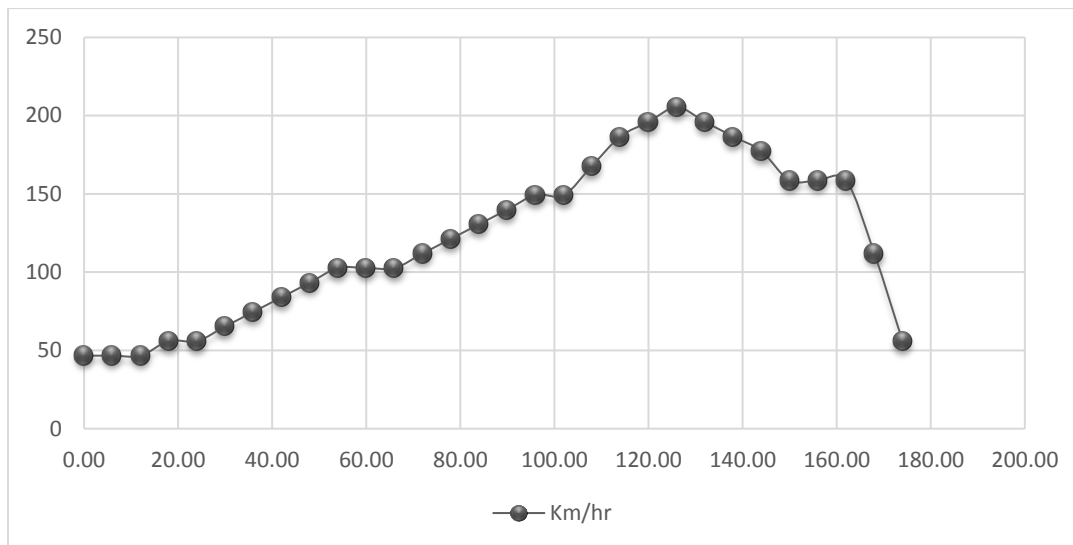
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-XXXV. Precipitación y trayectoria de Jova.



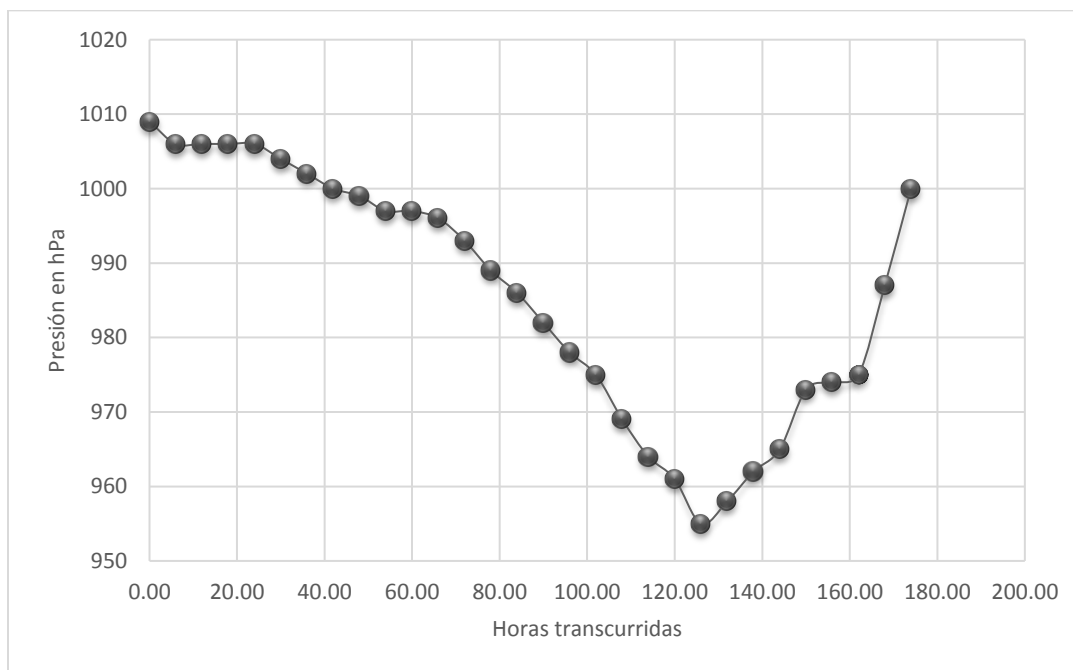
Fuente: Boletín SMN, autor: M. Rosengaus.

Gráfico 6-XXIV. Velocidades desarrolladas por "Jova".



Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.

Gráfico 6-XXV. Presiones desarrolladas por "Jova".



Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA.

Huracán Patricia.

Como se mencionó al inicio de este capítulo, se trata del huracán más intenso ocurrido en el Pacífico Mexicano, su trayectoria paso a 31 km al noroeste del municipio. Como se puede apreciar en la siguiente imagen, toca tierra como huracán categoría V, en las cercanías de la Bahía de Tenacatita el 23 de octubre a las 18:00, avanza en dirección nor-noreste y con categoría II se encuentra a 45 km al oeste del municipio el 24 de octubre a las 01:00 horas. Continúa su trayectoria en la misma dirección y a la 7:00 del mismo día se había degradado a tormenta tropical.

Imagen 6-XXXVI. Trayectoria de Huracán Patricia.



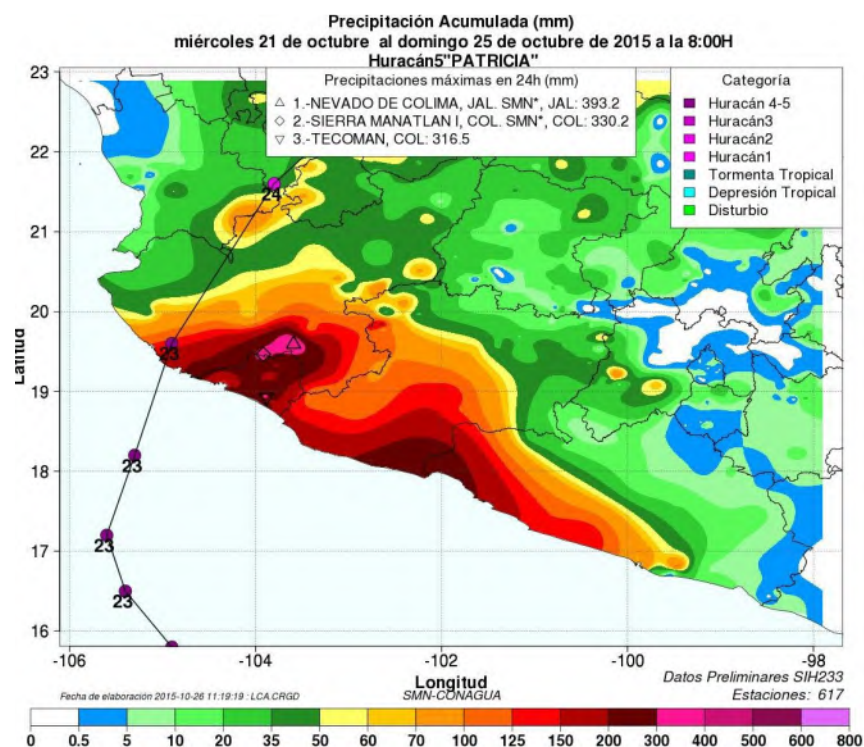
Fuente: Elaboración propia.

Según una nota periodística en "Tecolotlán, la presa inició con el 80% de su nivel y al concluir la etapa crítica continuó con el mismo nivel; los ríos no registraron crecientes peligrosas. En Palo Alto hubo afectación por árboles caídos, uno de ellos daño un cable de alta tensión por lo que está mañana ya se trabajaba en la recuperación de la energía y en retirar el árbol. Viviendas de Quililla sufrieron daños ya que los fuertes vientos se llevaron las láminas que cubrían los techos de algunas casas. También ahí hubo árboles caídos. En otras comunidades sólo se reportaron árboles caídos, informó Ramiro Martínez Canales, titular de Protección Civil de Tecolotlán. No fue necesario el uso de los albergues previamente establecidos" según nota de Haydee López B, publicado en la página web de Radio Costa.

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico.

Las precipitaciones acumuladas del 21 al 25 de octubre en la región se muestran a continuación.

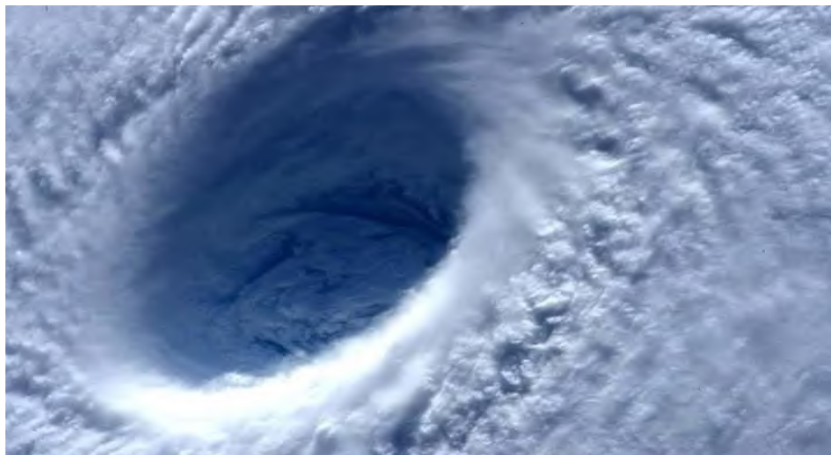
Imagen 6-XXXVII. Precipitación acumulada generada por Huracán Patricia.



Fuente: SMN

Se puede apreciar que para la región las precipitaciones fueron de entre 70 y 100 mm en 5 días, esto es, un promedio de 20 mm por día lo cual explica que no hubiese inundaciones en la región.

Imagen 6-XXXVIII. Ojo del Huracán Patricia.



Fuente: SMN

Los eventos que incidieron dentro del área de influencia del municipio y la precipitación en mm provocada en 24 horas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6-LIV. Eventos con incidencia en el Municipio de Tecolotlán, periodo 1945-2015.

FID	Nombre	Clasificación	Fecha	Viento. Km/hr	Presión, mbar	Pre, mm/24hr	Categoría
1	SIN NOMBRE	Tormenta Tropical	06/10/1945	83.34	0	56.2	TTB
2	SIN NOMBRE	Tormenta Tropical	28/10/1959	46.3	0	29.8	TTB
3	AGATHA	Depresión Tropical	25/05/1971	83.34	0	0	DTA
4	BRIDGET	Tormenta Tropical	17/06/1971	46.3	0	43.2	TTB
5	LILY	Depresión Tropical	01/09/1971	46.30	0	30.2	DTB
6	ANNETTE	Depresión Tropical	08/06/1972	64.82	0	22.2	DTB
7	ADOLPH	Tormenta Tropical	27/05/1983	92.60	0	56.5	TTB
8	EUGENE	Tormenta Tropical	25/07/1987	46.3	0	68.4	TTB
9	VIRGIL	Depresión Tropical	05/10/1992	83.34	1010	0	TTA
10	WINIFRED	Tormenta Tropical	10/10/1992	175.94	1000	37.5	TTB
11	CALVIN	Huracán 2	07/07/1993	55.56	966	22.5	HIIB
12	BORIS	Depresión Tropical	30/06/1996	55.56	1005	0	DTA
13	HERNAN	Depresión Tropical	04/10/1996	37.04	994	18.5	DTA
14	8va	Depresión Tropical	24/08/2000	ND	1006	ND	NA
15	OLAF	Depresión Tropical	07/10/2003	55.56	1002	42	DTB
16	JOVA	Depresión Tropical	12/10/2011	55.56	1000	35	DTB
17	PATRICIA	Huracán 3	24/10/2015	194.46	985	20	HIIB

Fuente: Elaboración propia

6.1.5.4 Periodos de retorno.

La metodología para establecer los periodos de retorno se tomó del texto **Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta**. Como se había descrito previamente, se trazó un polígono circular de radio igual a 150 km, se contabilizaron todos los eventos desde 1945 a 2015 cuya trayectoria cruzara por dicha área de influencia.

6.1.5.4.1 Cálculo de la tasa de excedencia.

La tasa de excedencia de intensidad $u(i)$, registra todos los niveles de intensidad i excedidos durante un evento, es decir, si se llegó a viento máximo sostenido en superficie (VMS) de intensidad i (M_i), se registran los niveles de intensidad menores rebasados durante el mismo evento.

Por ejemplo, si se tiene un VMS de intensidad 7 (H5, M_i) se registra también la ocurrencia del mismo evento para las intensidades inferiores. La tasa de excedencia anual se calcula dividiendo la tasa de excedencia entre el número de años del periodo estudiado, que en el caso actual es de 70, por lo tanto.

Los resultados obtenidos aplicando esta metodología son los siguientes.

Tabla 6-LV. Tasa de excedencia de eventos históricos

INTENSIDAD	M(i) De eventos	u(i)	u(i) anual
DT	3	18	0.26
TT	6	12	0.17
H1	5	9	0.13
H2	3	4	0.057
H3	1	1	0.014
H4	0	0	0
H5	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tr se calcula con:

$$Tr = \frac{1}{v(i)}$$

Tabla 6-LVI. Periodos de retorno para las diferentes intensidades de Huracanes.

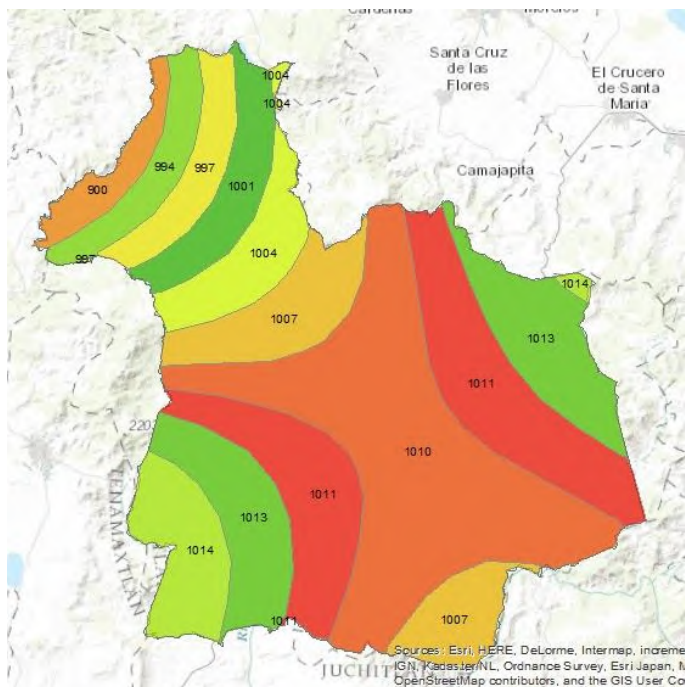
Intensidad	Tr
DT	4
TT	6
H1	8
H2	18
H3	71
H4	-
H5	

Fuente: Elaboración propia

6.1.5.5 Peligro por ciclones en Tecolotlán.

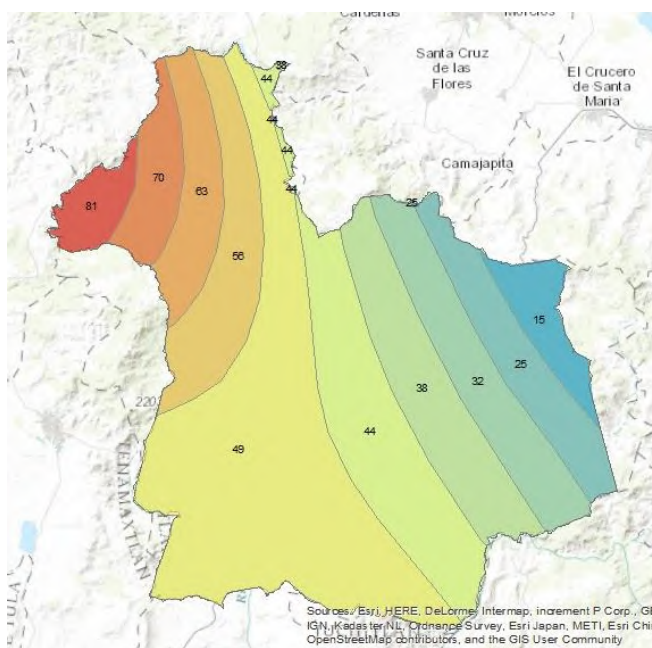
Las diferencias de presión atmosféricas generadas por el paso de un huracán se incrementan con su intensidad, lo que a su vez determina la velocidad de los vientos característicos de estos eventos. En la imagen siguiente se muestra un modelo para las diferencias de presión provocadas por Patricia, tomando como puntos base la trayectoria más cercana al municipio, su presión en ese momento y las presiones normales en las estaciones meteorológicas más cercanas.

Imagen 6-XXXIX. Presión atmosférica provocada por Patricia.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 6-XL. Velocidad de los vientos, huracán Patricia.

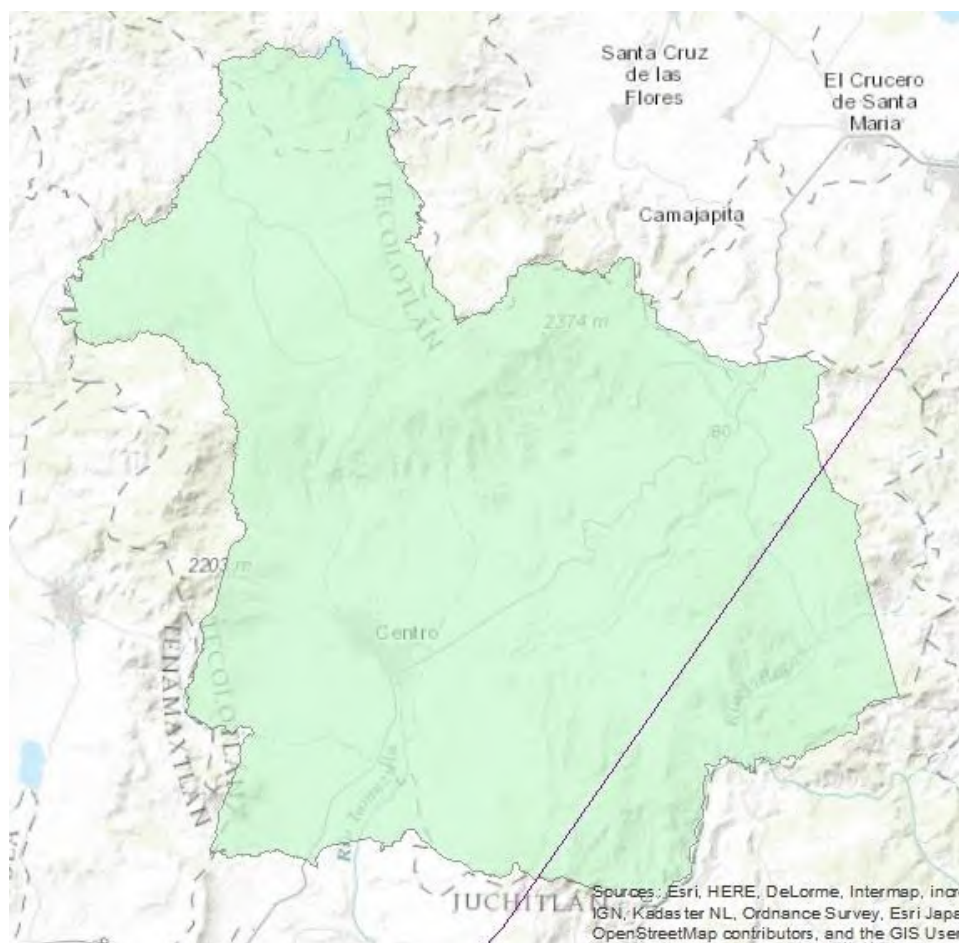


Fuente: Elaboración propia

Con la misma metodología se modeló la velocidad de los vientos, modelo que se muestra en la siguiente imagen 6-XL.

Dado que históricamente las trayectorias de los huracanes han pasado fuera de los límites del municipio y sólo se tiene registro de dos eventos que han cruzado por el territorio, de los cuales solo en el caso del huracán de octubre de 1959 existe el dato de la trayectoria en formato *shape*, se muestra esta imagen como la que representa el peligro por huracanes en el Municipio de Tecolotlán.

Imagen 6-XLI. Peligro por huracanes en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia

6.1.5.6 Vulnerabilidad

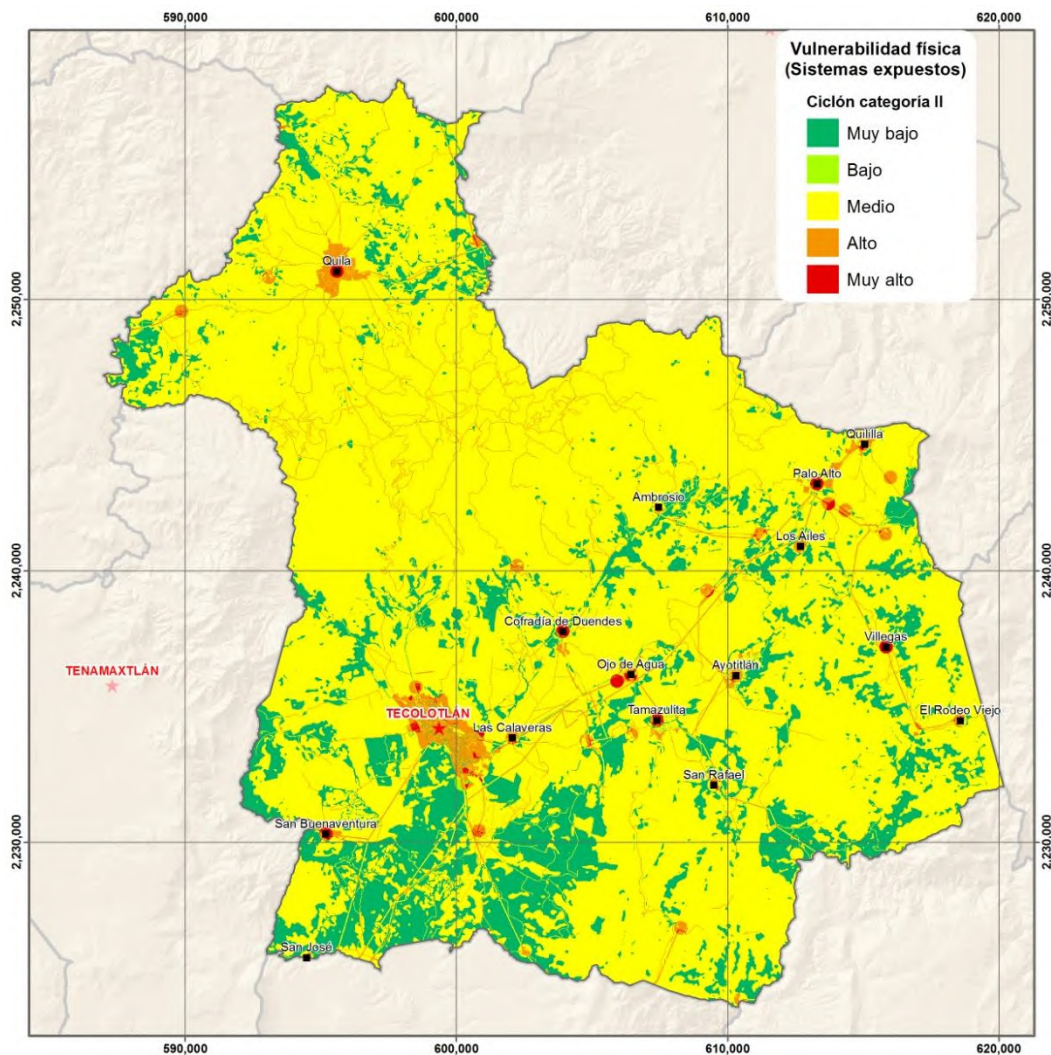
Los vientos de un huracán indirectamente son los productores de otros peligros como las precipitaciones, la marea de tormenta y el oleaje. Para el caso de los municipios localizados más allá de la línea de costa, se ha observado que la vulnerabilidad tiene que ver si con los vientos pero sobre todo con la precipitación. Esta es origen de dos peligros: inundaciones y deslizamientos de laderas. En el capítulo de inundaciones de este estudio se abordó el tema de vulnerabilidad por este fenómeno en el municipio, la cual tiene que ver con el tipo de vivienda que sufre la inundación. Como ha quedado establecido el nivel de exposición al peligro junto con la vulnerabilidad de vivienda dan como resultado el riesgo al que se encuentra expuesta la población. Las zonas más vulnerables a inundaciones son aquellas que se encuentran cercanas a ríos, arroyos y otros cuerpos de agua susceptibles de desbordamiento. Las localidades identificadas expuestas a este peligro son: San Buenaventura, Quila, Tamazulita, Cofradía de Duendes, Palo Alto, Ayotitlán y la Cabecera Municipal. Para estas localidades se determinó el riesgo a que están expuestos sus habitantes para diferentes

Con respecto a los deslizamientos de laderas este se analizó en el apartado correspondiente de peligros geológicos pero se retoman sus conclusiones principales aquí.

Una observación importante es que el contenido de agua del subsuelo es quizás el factor más importante para desencadenar un deslizamiento de suelo. Este contenido actúa de varias formas: incrementa el peso y el volumen del subsuelo. Lo primero modifica la presión sobre otras masas de agua ya existentes y lo segundo debilita las estructuras rocosas. Claro que para que exista un deslizamiento de laderas, la pendiente, el tipo de suelo, la geología del lugar, las condiciones de la vegetación original, son todos factores fundamentales.

En la imagen siguiente se modela la vulnerabilidad considerando la influencia de un huracán categoría II ya que esta fue la categoría de Patricia a su paso por las cercanías del municipio (30 km).

Imagen 6-XLII Vulnerabilidad física en Tecolotlán ante un huracán categoría II.



Fuente: Elaboración propia.

Otros sectores como el agropecuario, comunicaciones, transporte y eléctrico son recurrente y gravemente afectados por los ciclones. Las zonas agrícolas y ganaderas reportan pérdidas anuales de miles de hectáreas de cultivos y cientos de cabezas de ganado por los efectos del paso de los huracanes. Por su parte, el sector comunicaciones y transportes se ve afectado por la destrucción de carreteras, puentes, caminos y el derribo de postes. El servicio de distribución y suministro de energía eléctrica sufre graves afectaciones que obligan a la suspensión del servicio por días y para su restablecimiento total pueden pasar semanas con todo lo que conlleva.

6.1.5.7 Riesgo

Considerando un huracán categoría II con la trayectoria de Patricia como escenario, los niveles de riesgo resultante por sectores para la vulnerabilidad física y social encontrada en el municipio se muestra en las siguientes tablas y gráficas.

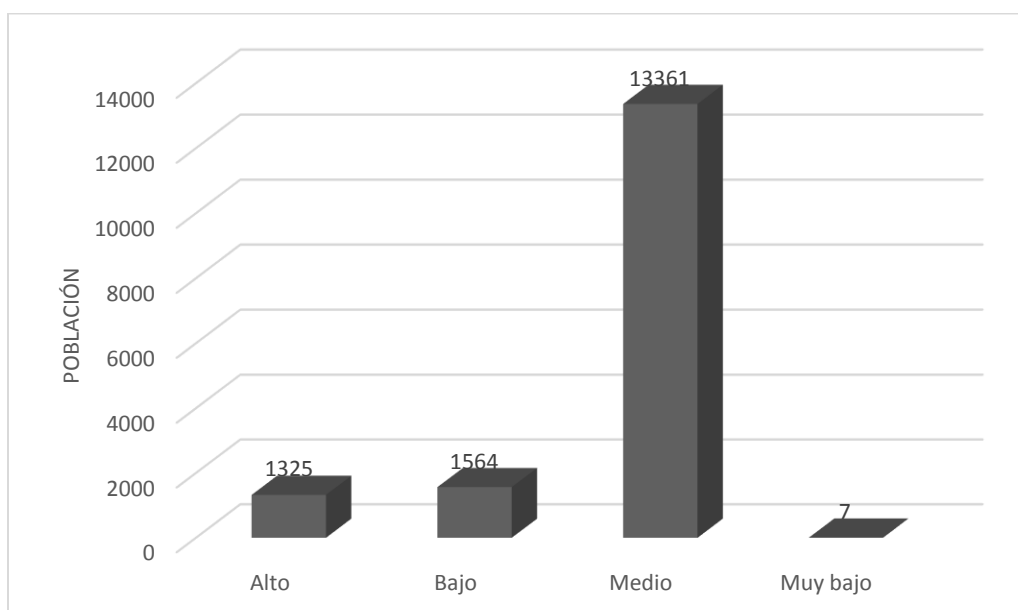
Población.

Tabla 6-LVII. Población en riesgo ante ciclones tropicales.

Nivel de Riesgo	Habitantes
Alto	1325
Bajo	1564
Medio	13361
Muy bajo	7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXVI. Población en diferentes niveles de riesgo por ciclones tropicales, escenario Huracán II, trayectoria Patricia.



Fuente: Elaboración propia.

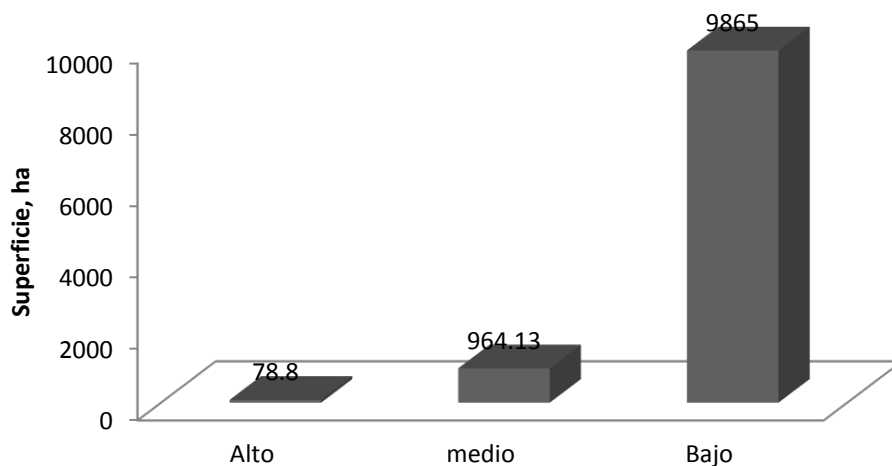
6.1.5.7.1 Agricultura.

Tabla 6-LVIII. Riesgo para el sector agrícola ante huracanes, superficie afectable en hectáreas.

Nivel riesgo	Cultivo	Superficie
Alto	Agricultura de riego	22.40
	Maíz Temporal	78.80
	Praderas	6.55
Bajo	Agave	504.78
	Agricultura de riego	534.44
	Hortalizas	369.76
	Invernaderos	0.03
	Maíz Temporal	9865.60
	Praderas	6.41
Medio	Agave	28.88
	Agricultura de riego	99.98
	Aguacate	0.61
	Hortalizas	35.60
	Invernaderos	2.92
	Maíz Temporal	964.13
	Praderas	240.16
Muy bajo	Agave	0.79
	Agricultura de riego	0.35
	Aguacate	59.84
	Hortalizas	0.00
	Invernaderos	6.86
	Maíz Temporal	11.61
	Praderas	5307.13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXVII. Riesgo para maíz de temporal por ciclones tropicales, superficie afectable.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.5.7.2 Sector eléctrico

Tabla 6-LIX. Riesgo para el sector eléctrico, afectaciones a postes y torres.

Nivel de riesgo	Infraestructura	Unidades
Alto	Poste De Alta Tensión	4
	Poste De CFE	101
Bajo	Poste De Alta Tensión	13
	Poste De CFE	317
	Sub Estación Eléctrica	1
	Torre De Alta Tensión	1
Medio	Poste De Alta Tensión	38
	Poste De CFE	1309
	Torre De Alta Tensión	4
	Unidad Deportiva	3
Muy Bajo	Poste De Alta Tensión	1
	Poste De CFE	742

Fuente: Elaboración propia.

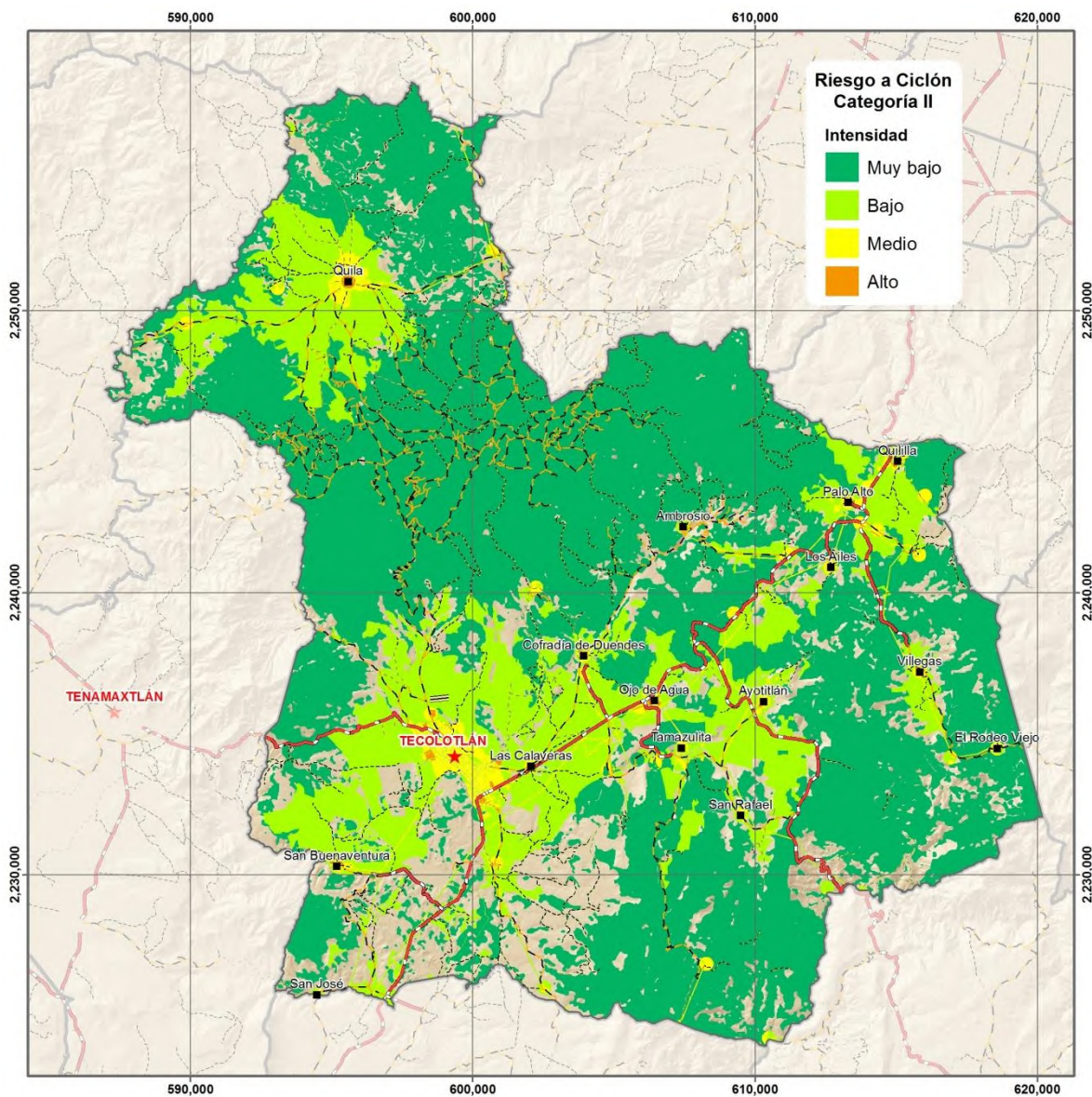
6.1.5.7.3 Sector Transportes

Tabla 6-LX. Riesgo para el sistema de carreteras y caminos.

Nivel de riesgo	Infraestructura	Longitud metros
Alto	Brecha	3372.19
	Carretera Pavimentada	500.31
	Terracería	3705.64
	Vereda	3040.75
Bajo	Brecha	23962.23
	Carretera Pavimentada	31390.37
	Terracería	45924.64
	Vereda	92451.95
Medio	Brecha	70378.74
	Carretera Pavimentada	38051.83
	Terracería	143038.53
	Vereda	317967.44
Muy bajo	Brecha	22.42
	Carretera Pavimentada	115.83
	Terracería	235.02
	Vereda	51.99

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-XLIII. Riesgo ante ciclón tropical categoría II con trayectoria de Ciclón Patricia.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6 TORMENTAS ELÉCTRICAS

Los rayos son responsables de muchos de los accidentes debidos a fenómenos atmosféricos, incendios forestales, retrasos e interrupciones de vuelos lo que implica graves pérdidas para las compañías aeronáuticas, muerte de ganado, interrupción de servicios de comunicación y energía eléctrica, así como de un gran porcentaje de accidentes catastróficos en almacenes de combustible. Según CENAPRED “en México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Secretaría de Salud, 2007). En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que en el Estado de México se localiza el mayor número de casos, con 1,140.” Según la Organización Mundial de la Salud, México es el país donde más muertes ocurren debido a este fenómeno con 223 muertes en promedio por año, siendo los niños y jóvenes entre los 10 y los 19 años los más afectados.

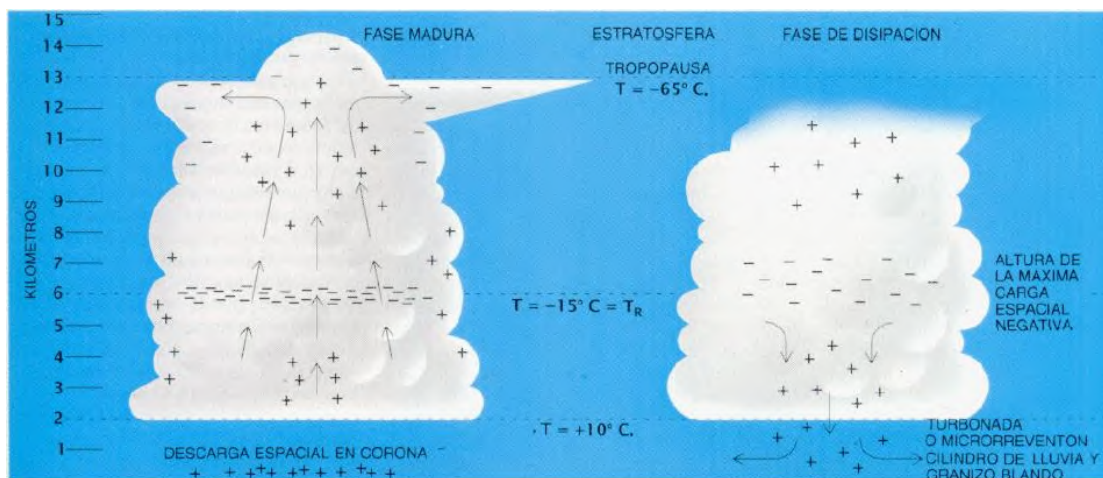
Características

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

Los cristales de hielo más ligero y de carga positiva son transportados por la corriente ascendente mientras que el granizo blando de carga negativa permanece suspendido o precipita. El resultado es que en la parte superior de la nube se concentran las cargas positivas y en la central e inferior las negativas. Pueden concentrarse también cargas positivas en la porción inferior de la nube donde la temperatura es superior a los -10 °C.

Normalmente la carga eléctrica de la tierra es negativa. Cuando se forma una nube de tormenta, la región de carga negativa en la nube produce dos efectos simultáneos: atraer las cargas positivas a la superficie del suelo y repeler las negativas, de tal manera que la superficie del suelo bajo la nube de tormenta adquiere carga positiva.

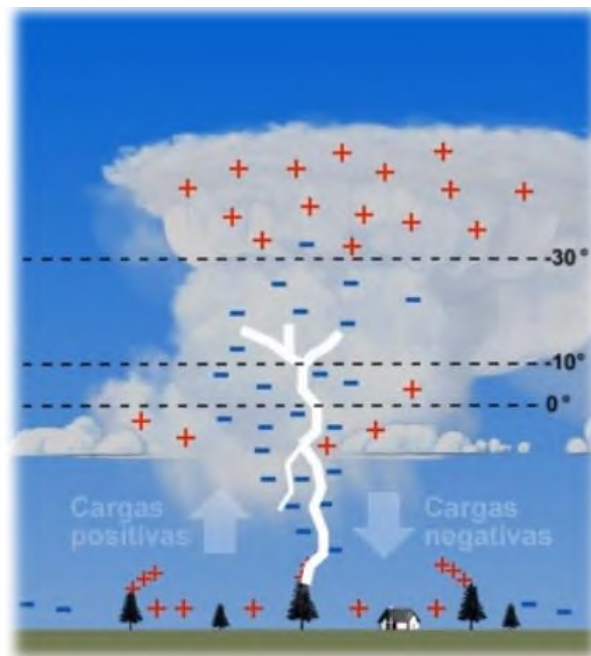
Imagen 6-XLIV. Estructura eléctrica de una nube de tormenta



Fuente: Come

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

Imagen 6-XLV. Descarga de retorno en una tormenta eléctrica



Fuente: COMET

6.1.6.1 Método

Registros históricos de tormentas eléctricas:

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

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

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

Se revisó la base de datos existente sobre tormentas eléctricas de las estaciones consideradas. Se descartó la estación 14143 Tecolotlán pues todo su registro histórico está en cero, esto es como si en 30 años no hubiese ocurrido tormentas eléctricas en la región lo cual es ilógico, dado que en las estaciones cercanas si existen registros. El promedio anual y los periodos de retorno para esas estaciones se muestran en la siguiente tabla.

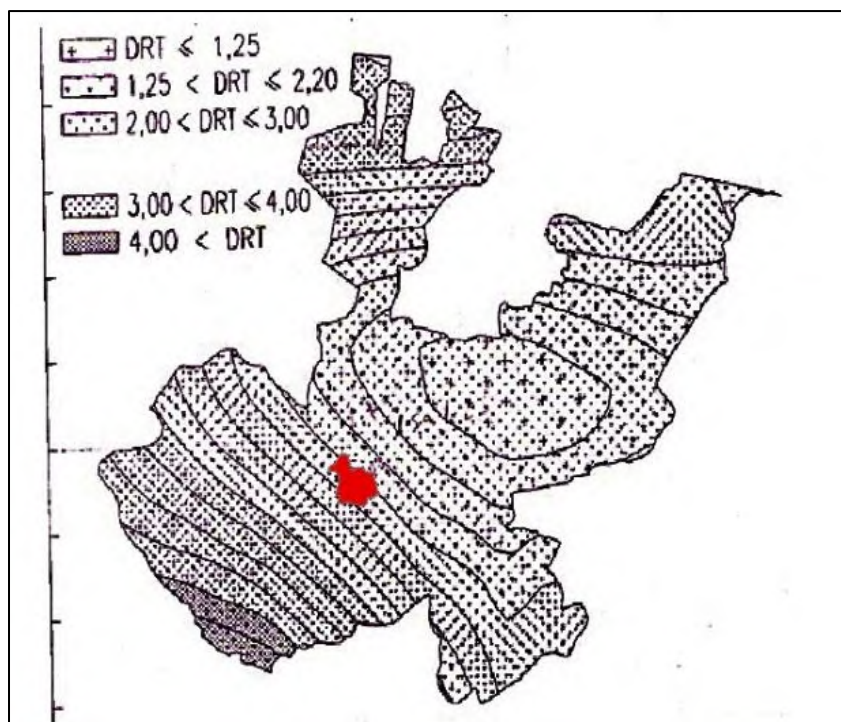
Tabla 6-LXI. Días de tormenta al año promedio por estación

ID	NO	Estación	y	x	días/año Tormenta eléctrica
1	14009	Ameca	2272390.15	599319.717	5.55
2	14013	Atemajac de Brizuela	2227359.44	633001.415	4.61
3	14078	Juchitlán	2220921.05	594307.36	10.83
4	14143	Tecolotlán	2234205.79	599366.672	No determinado
5	14301	Tenamaxtlán	2235770.26	587314.194	13.81

Fuente: SMN

En la norma NMX-J-549-ANCE-2005, en el mapa del promedio anual de densidad de rayos a tierra para Jalisco, Tecolotlán se ubica en la región donde la densidad de rayo a tierra DRT es de 2 a 3 rayos por km²/año, como se muestra en la siguiente imagen georreferenciada.

Imagen 6-XLVI. Mapa de isodensidad de descargas de rayos a tierra.



Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005

Se empleará una forma analítica para determinar el número de descargas directas a tierra (*DRT*) a partir de los datos de día de tormenta eléctrica (*Td*):

$$DRT = 0.1017Td^{1.12} \text{ ec. 1}$$

Con esta expresión las descargas directas a tierra (*DRT*) para las estaciones analizadas son:

Tabla 6-LXII. Descargas directas a tierra calculadas con la ecuación

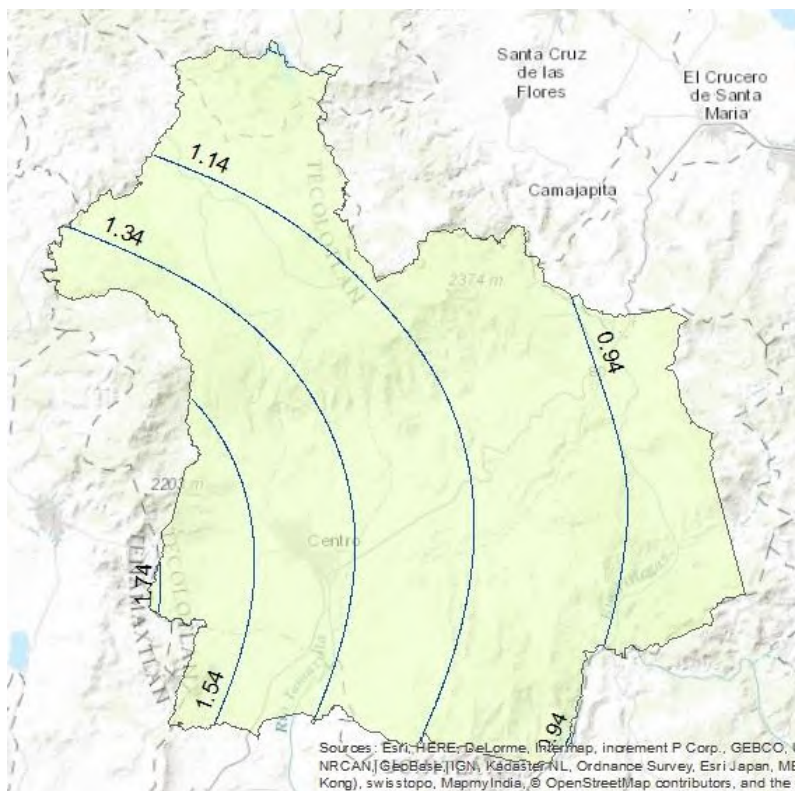
ID	NO	Estación	y	x	DRT Km ² /año
1	14009	Ameca	2272390.15	599319.717	0.7
2	14013	Atemajac de Brizuela	2227359.44	633001.415	0.563
3	14078	Juchitlán	2220921.05	594307.36	1.465
4	14143	Tecolotlán	2234205.79	599366.672	1.437*
5	14301	Tenamaxtlán	2235770.26	587314.194	1.9245

Fuente: Elaboración propia.

El dato para Tecolotlán se tomó del *Atlas Climático Digital de México, Descargas eléctricas de nube a tierra, periodo 2006 al 2010*, para lo cual se sumaron los datos mensuales para el municipio.

Estos datos se interpolaron para obtener la distribución de descargas directas nube a tierra en el municipio en descargas por km²/año:

Imagen 6-XLVII. DRT por km²/año en el municipio de Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.2 Periodo de retorno

Tabla 6-LXIII. Días al año de tormenta eléctrica por periodo de retorno.

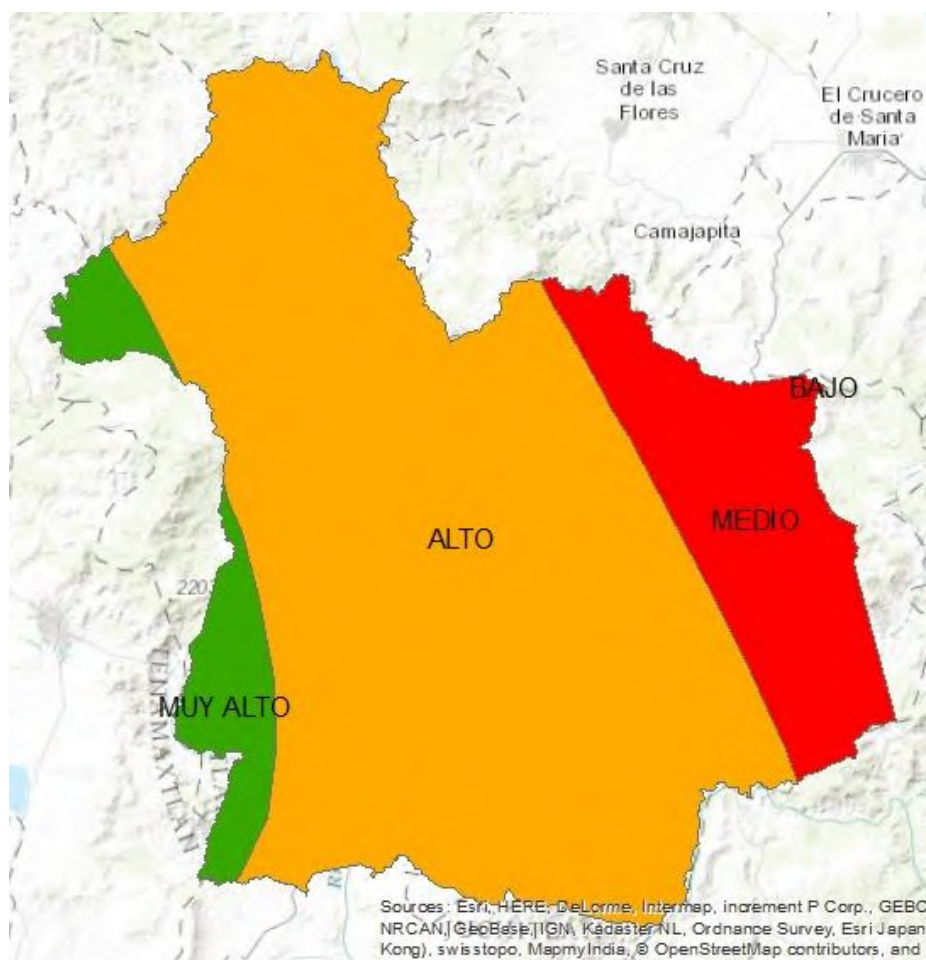
Tr	Días/año Tormenta Eléctrica
5	25.41
10	43.04
25	66.345
50	83.36

Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.3 Mapa de peligro.

En función de los días de tormenta eléctrica y las descargas de rayos a tierra en rayos por km² al año, el mapa de peligro para el municipio de Tecolotlán presenta una zona de peligro muy alto ubicada al oeste de la cabecera, una zona central que cubre gran parte del municipio como de peligro alto, y al este una zona de peligro medio. También hacia el este se ubica una muy pequeña zona de peligro bajo.

Imagen 6-XLVIII. Niveles de peligro por tormentas eléctricas en Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.4 Vulnerabilidad.

6.1.6.4.1 Población y Vivienda

La circunstancia de mayor vulnerabilidad de una persona ante una tormenta eléctrica es si ésta se encuentra a campo abierto, un impacto directo de un rayo suele ser mortal o en caso de que la persona sobreviva deja graves secuelas. Pero no sólo en áreas abiertas la vulnerabilidad es alta, ya que las condiciones de la vivienda también son relevantes así como el conocimiento fundamentado científicamente que la población tiene sobre la forma en la que actúa y transmite una descarga eléctrica atmosférica. Actividades como bañarse durante una tormenta eléctrica, estar en contacto con estructuras metálicas, cerca de ventanas y puertas son circunstancias que incrementan la vulnerabilidad de las personas frente al fenómeno de las tormentas eléctricas, por lo que la mejor forma de mitigar la vulnerabilidad es informar a la población de prácticas seguras y acciones que se deben evitar durante una tormenta eléctrica y desterrar mitos que confunden a la población y obstaculizan la labor de los organismos encargados de la protección civil.

Además de los daños físicos a las personas las tormentas eléctricas también pueden dañar las instalaciones eléctricas y equipo sensible de viviendas y negocios: destrucción parcial de equipos electrónicos por arco eléctrico entre masas metálicas, destrucción parcial o total de equipos electrónicos por alta tensión en el suministro, destrucción parcial o total de equipos electrónicos por campos magnéticos variables, destrucción parcial o total de equipos eléctricos y electrónicos por radiación de alta frecuencia.

6.1.6.4.2 Sector Educativo.

Los directivos de las instituciones escolares deben implementar programas y planes de respuesta y prevención ante descargas atmosféricas, en particular la institución debe contar con sistemas externos e internos de protección contra tormentas eléctricas y prohibir actividades al aire libre en presencia del fenómeno.

6.1.6.4.3 Sector Eléctrico.

La vulnerabilidad de los sistemas de distribución y suministro de energía eléctrica a las tormentas eléctricas es la principal causas de destrucción de instalaciones y suspensión del servicio. Cuando una descarga eléctrica atmosférica incide sobre una línea área o directamente a tierra en las cercanías de una línea área, se genera un sobre voltaje llamado atmosférico o de rayo en los conductores fases. En el caso de que una descarga incida sobre un conductor, la corriente del rayo se dividirá en dos partes a partir del punto de incidencia transmitida a la velocidad de la luz. Si los sistemas de transmisión no cuentan con un sistema de puesta a tierra bien diseñado o en buen estado capaces de manejar los elevados niveles de corriente y voltaje producidos por una descarga atmosférica, pueden quedar fuera de servicio, de hecho, en México el 78 % desperfectos en líneas de transmisión se debe a la incidencia de rayos.

6.1.6.4.4 Sector hidrocarburos.

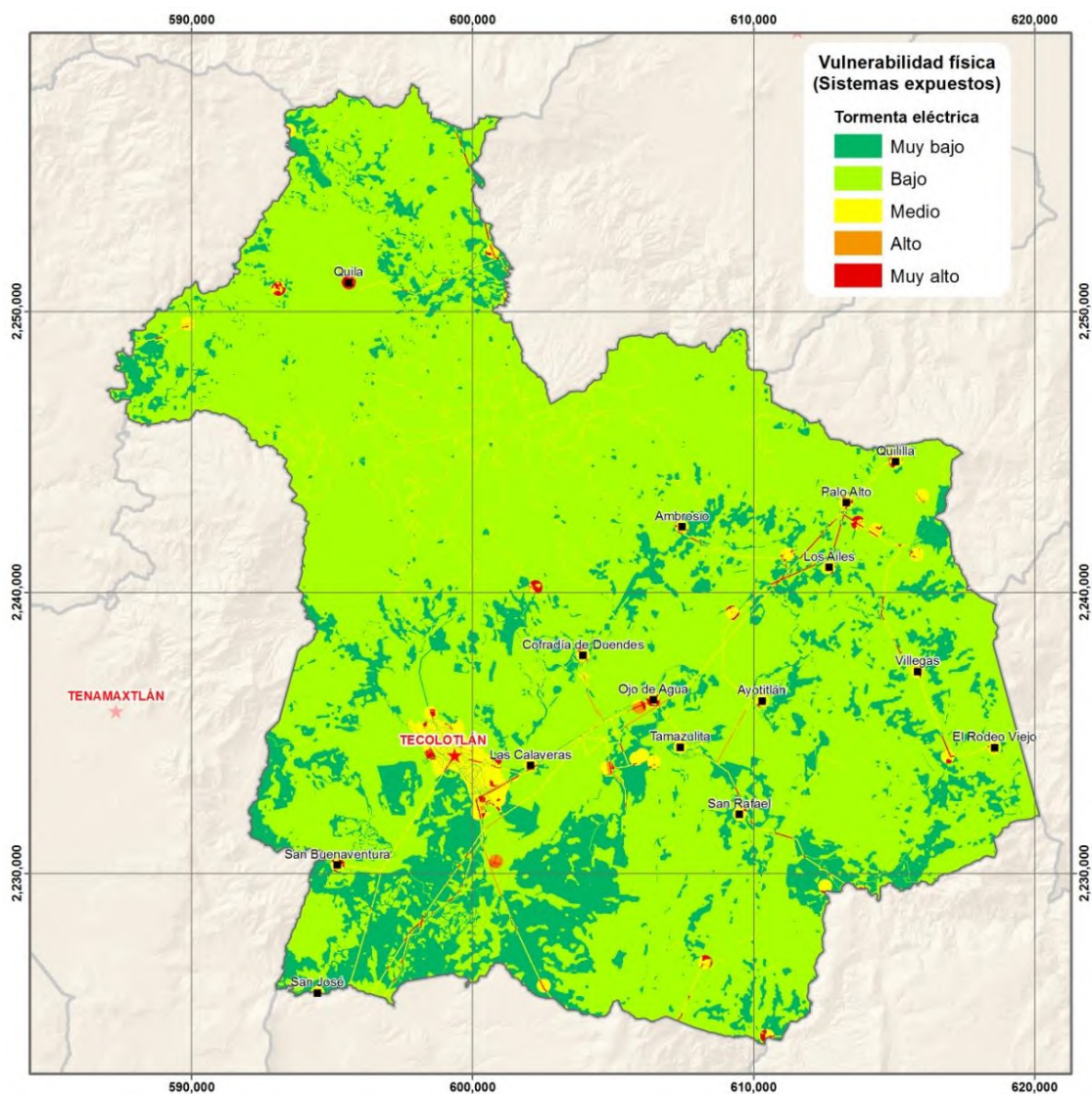
Algunos de los accidentes más catastróficos en plantas de almacenamiento y distribución de hidrocarburos se han debido a impactos directos de rayos sobre tanques. Por lo tanto la vulnerabilidad de este sector es muy alta. La manera de mitigar esta vulnerabilidad y disminuir el riesgo es que las plantas cuenten con sistemas de puesta a tierra efectivos, bien diseñados y monitoreados según la normatividad. Dentro de este sector también se registran accidentes en tanques de uso domiciliario que pueden provocar incendios y explosiones.

6.1.6.4.5 Sector silvícola.

La vulnerabilidad de bosques y selvas a los rayos es elevada al principio de la temporada de lluvias y final del estiaje, pues la sequía, altas temperaturas y acumulación de combustible son elementos que contribuyen a que, en presencia de una fuente de calor como un rayo o una línea eléctrica caída, inicie un incendio. Del porcentaje total de incendios forestales el 14 % tiene su origen en fuentes naturales que pueden ser dos: caídas de rayos o erupciones

volcánicas. Las áreas de selva baja caducifolia presentes en el municipio son aún más vulnerables a incendios por su propia característica fuertemente estacional. Evidentemente, al ser afectado el sector eléctrico, resultan también afectados muchos otros sectores, entre los más importantes: comunicaciones, salud, educación, servicios e industria.

Imagen 6-XLIX. Vulnerabilidad física frente a tormentas eléctricas.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.5 Riesgo.

Según los niveles de peligro y vulnerabilidad determinados en el presente estudio, el riesgo para la población ante este fenómeno se presenta como sigue:

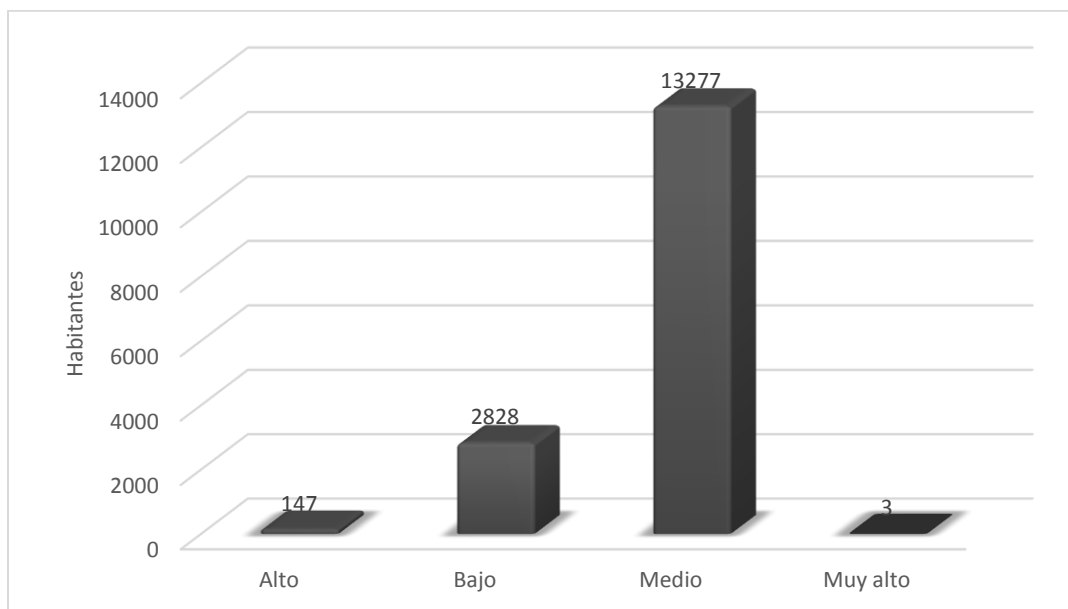
6.1.6.5.1 Población.

Tabla 6-LXIV. Población en diferentes niveles de riesgo.

Nivel de riesgo	Población
Alto	147
Bajo	2828
Medio	13277
Muy alto	3
Total general	16255

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXVIII. Población en diferentes niveles de riesgo.



Fuente: Elaboración propia.

La población en riesgo alto (147) pertenece a las localidades El Zarco, La Lobera, La Palmita y Tecolotlán, la población en riesgo medio (13277), pertenece a las localidades Ayotitlán, Quila, Tamazulita, Cofradía de duendes y la cabecera municipal principalmente. La población en riesgo bajo (2828), se distribuye en 22 localidades, entre las que se encuentran Los Cuartos, Los Ailes, Ojo de Agua, Villegas, Quililla, Ambrosio, El Rodeo y la cabecera municipal. Finalmente la población en riesgo muy alto (3) pertenece a la localidad La Casita de Palma.

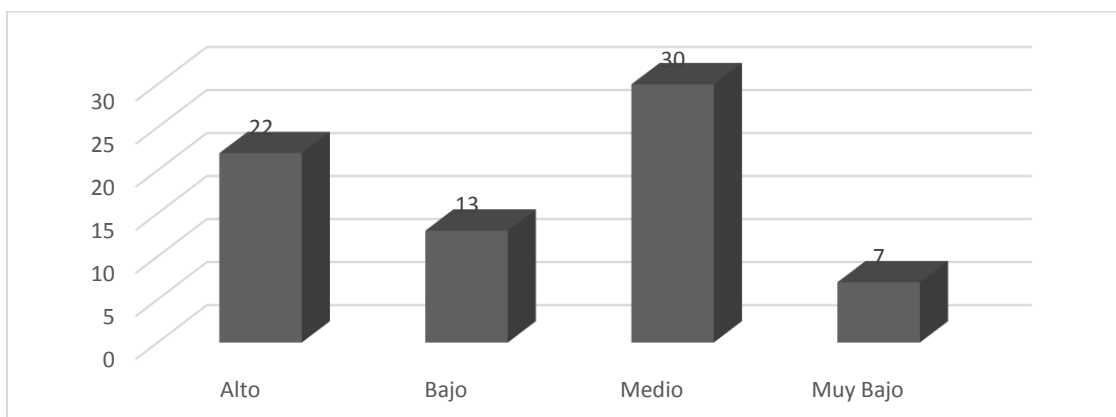
6.1.6.5.2 Sector educación

Tabla 6-LXV. Escuelas en diferentes de riesgo.

Infraestructura	Nivel	Unidades
ESCUELA	Alto	22
	Bajo	13
	Medio	30
	Muy Bajo	7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXIX. Escuelas del municipio de Tecolotlán y sus niveles de riesgo ante tormentas eléctricas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-LXVI. Escuelas en riesgo alto.

Nombre	Nombre
BENITO JUAREZ	JARDIN DE NIÑOS
ERNESTO GUAJARDO SALINAS	JOSE MARIA MORELOS
ESCUELA	JUSTINA PEREZ MERINO
ESTEBAN GARCIA DE ALBA LARIOS	LAZARO CARDENAS DEL RIO
JAIME TORRES BODET	LINDA VISTA
MANUEL LOPEZ COTILLA	SAN RAFAEL
MEXICO	VALENTIN GOMEZ FARIAS
PREPARATORIA REGIONAL DE TECOLOTLAN	VENUSTIANO CARRANZA
REVOLUCION	VICENTE GUERRERO
SALVADOR M LIMA	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-LXVII. Escuelas en riesgo medio.

Nombre	Nombre
18 DE MARZO	GABRIELA MISTRAL
ABRAHAM ANGEL AGRAZ GARCIA DE ALBA	GUADALUPE VICTORIA
ALVARADO	JOSE CLEMENTE OROZCO
ARTURO ARIAS OROZCO	JOSE MA MORELOS Y PAVON
CECYTEJ	JOSE VASCONCELOS
CENTRO DE INFORMATICA DE TECOLOTLAN	JUAN SALVADOR AGRAZ
CIRILO MARMOLEJO CEDILLO	LA CIENEGA
DIEGO HUIZAR MARTINEZ	LAZARO CARDENAS DEL RIO
EMILIANO ZAPATA	MA JUSTINA CUEVA RAMIREZ
FRANCISCO GABILONDO SOLER	MARIA GUTIERREZ RODRIGUEZ
MIGUEL HIDALGO Y COSTILLA	MARIA TRINIDAD NUÑEZ VARGAS
MODULO 86	RICARDO FLORES MAGON
NICANOR JIMENEZ	SANTOS DEGOLLADO
VILLEGAS	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-LXVIII. Escuelas en riesgo bajo.

Nombre	Nombre
5 DE MAYO	JUAN SALVADOR AGRAZ
ADOLFO LOPEZ MATEOS	MANUEL M DIEGUEZ
EMILIANO ZAPATA	MELCHOR OCAMPO
ESCUELA SECUNDARIA TÉCNICA NÚMERO 67	MIGUEL HIDALGO Y COSTILLA
IGNACIO RAMIREZ	PRIMITIVO TOLENTINO MANCILLA
JOSE CLEMENTE OROZCO	ROSA CUEVA HUESO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-LXIX. Escuelas en riesgo muy bajo

Nombre
12 DE OCTUBRE
ESCUELA PRIMARIA
FRANCISCO PARTIDA ROJAS
LEONA VICARIO
NIÑOS HEROES
SALVADOR ALVARADO
VASCO DE QUIROGA

Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.5.3 Sector Eléctrico.

Como ya se mencionó este sector es uno de los más afectados por eventos de tormenta eléctrica y las consecuencias de una salida de servicio por caída de rayo en una línea de transmisión repercuten en cascada en otros sectores. Valorados peligro y vulnerabilidad, el riesgo para este sector en el Municipio de Tecolotlán resultó para postes de líneas de distribución, postes y torres de alta tensión de la siguiente manera:

Tabla 6-LXX. Postes y torres de alta tensión en riesgo

Infraestructura	Nivel de Riesgo	Unidades
POSTE DE ALTA TENSION	Alto	3
	Bajo	28
	Medio	6
	Muy Bajo	19
POSTE DE CFE	Alto	93
	Bajo	513
	Medio	893
	Muy Alto	3
	Muy Bajo	1114
TORRE DE ALTA TENSION	Alto	2
	Medio	3
SUB ESTACIÓN ELÉCTRICA	Bajo	1

Fuente: Elaboración propia.

Para líneas de alta tensión y suministro, el riesgo quedo estratificado como sigue:

Tabla 6-LXXI. Líneas de distribución y suministro en riesgo, metros.

Infraestructura	Nivel	Longitud metros
1 LÍNEA EN PORTERÍA DOBLE (H)	alto	755.02
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA		3979.74
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA		566.84
1 LÍNEA EN PORTERÍA DOBLE (H)	Bajo	9463.58
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA		16533.22
2 LÍNEAS EN PORTERÍA DOBLE		417.46
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA		7862.04
1 LÍNEA EN PORTERÍA DOBLE (H)	Medio	16859.90
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA		20783.22
2 LÍNEAS EN PORTERÍA DOBLE		73.00
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA		13765.37
1 LÍNEA EN PORTERÍA DOBLE (H)	Muy Alto	406.92
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA		476.41
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA		91.63
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	Muy Bajo	3.67
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA		10.76

Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.5.4 Sector Hidrocarburos

Tabla 6-LXXII. Niveles de riesgo en instalaciones que almacenan y distribuyen hidrocarburos.

Infraestructura	Nivel	Unidades
Gasera	Alto	2
Gasolinera	Alto	3

6.1.6.5.5 Sector Silvícola

En el sector silvícola las superficies en riesgo de incendios provocados por caídas de rayos y también los riesgos para personas, animales e infraestructuras localizadas en ellos, resultaron ser:

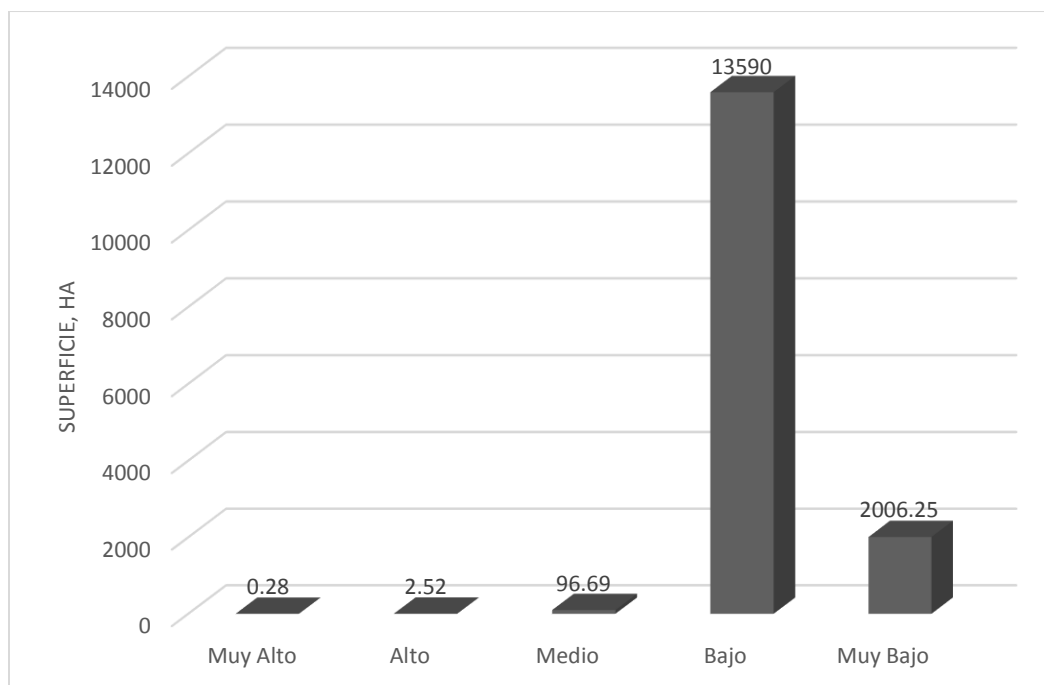
Tabla 6-LXXIII. Riesgo para los diferentes tipos de vegetación.

Vegetación	Nivel	Hectáreas
Bosque de encino	Alto	1.04
Bosque de encino-pino		0.15
Bosque tropical caducifolio		2.52
Bosque de encino	Bajo	4780.49
Bosque de encino-pino		3686.66
Bosque de pino-encino		4660.40
Bosque tropical caducifolio		13590.76
Bosque de encino	Medio	35.14
Bosque de encino-pino		10.52
Bosque de pino-encino		0.51
Bosque tropical caducifolio		96.69
Bosque tropical caducifolio	Muy Alto	0.28
Bosque de encino	Muy Bajo	2544.56
Bosque de encino-pino		416.27
Bosque de pino-encino		498.33
Bosque tropical caducifolio		2006.25

Fuente: Elaboración propia.

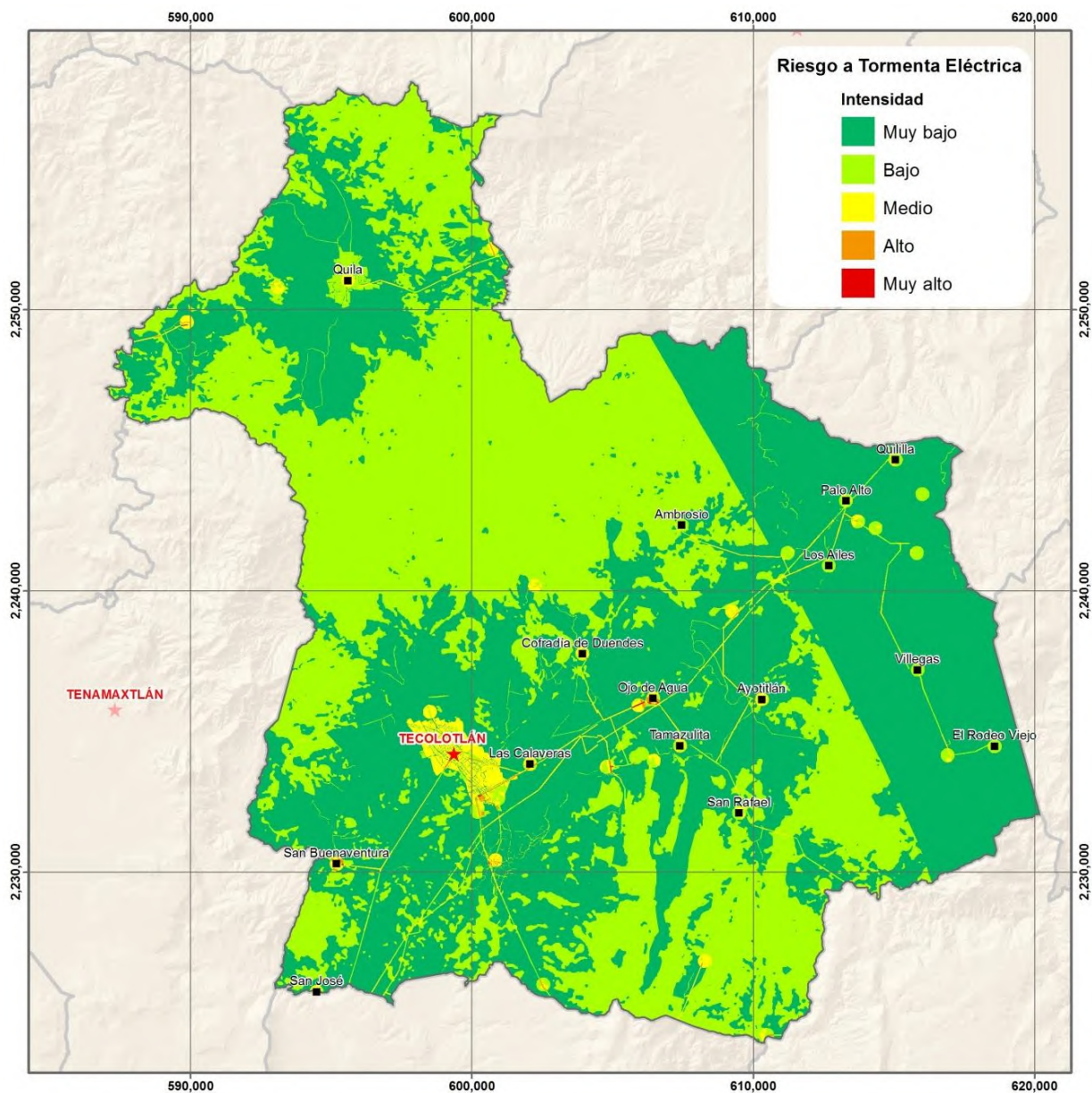
En particular para bosque tropical caducifolio, se tiene la siguiente estadística:

Gráfico 6-XXX. Niveles de riesgo para bosque tropical caducifolio.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-L. Riesgo por tormenta eléctrica en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.7 LLUVIAS EXTREMAS

Introducción

Los fenómenos extremos de abundancia o carencia de agua son causa de importantes desastres que ocasionan pérdidas materiales y de vidas humanas. Con la presencia del cambio climático estos eventos se aprecian más recurrentes e intensos, por lo que es necesario profundizar en su análisis temporal y territorial.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) define una tormenta severa como aquella que "es susceptible de producir daños materiales importantes, muertes o ambos. Generalmente, las tormentas severas vienen acompañadas de lluvias intensas, vientos fuertes y pueden producir granizo, rayos y truenos, inundaciones repentinas e incluso, tornados."

Una condición para que existan precipitaciones severas, (en ausencia de ciclones tropicales) es que existan nubes cumulonimbos. Estas formaciones nubosas pueden desarrollarse en sistemas para provocar fuertes lluvias en zonas de unos cuantos a cientos de kilómetros cuadrados.

Climatología de lluvias intensas en Jalisco

Las precipitaciones extremas en el suroeste del Estado de Jalisco, tienen su origen no solo en eventos de tipo ciclónico, sino también son resultado de frentes fríos, ondas del este y otros sistemas convectivos de mezoescala que se desarrollan y mueven en forma paralela a la Sierra Madre Occidental. También es posible que se desarrollen eventos de lluvias extremas por la interacción de los fenómenos enumerados, por ejemplo la interacción de los últimos ciclones de una temporada con los primeros frentes fríos. Estas precipitaciones muy intensas ocurren principalmente de mayo a octubre, pero en diciembre se ha detectado sistemas que impactan al centro-occidente del país. Estos sistemas se forman en

el Pacífico nororiental con trayectoria nor-noreste, atribuyéndose a la influencia de la corriente en chorro subtropical, la cual arrastra humedad hacia el continente

Aun cuando en el estudio citado no se documenta actividad convectiva importante durante enero, si hay registros de precipitaciones intensas en la región en estudio durante este mes. Lo anterior puede tener su origen en el ingreso de frentes fríos a la región centro-occidente durante el invierno.

En el periodo febrero-abril no se aprecia actividad convectiva, pero en mayo se incrementa notablemente coincidiendo con el inicio de temporadas de lluvia y de ciclones, concentrándose la actividad en las mesetas del norte y central. Durante junio, la actividad se incrementa y se detectó un cambio importante con la emigración de los sistemas hacia Jalisco y la Sierra Madre Occidental. Esta tendencia continua a durante el mes de julio y se atribuye al desarrollo del monzón en el noroeste de México y el inició de la canícula en el centro-sur del país.

En agosto los sistemas muestran en la región trayectorias transversales a la Sierra Madre Occidental con dirección hacia la Península de Baja California.

6.1.7.1 Método.

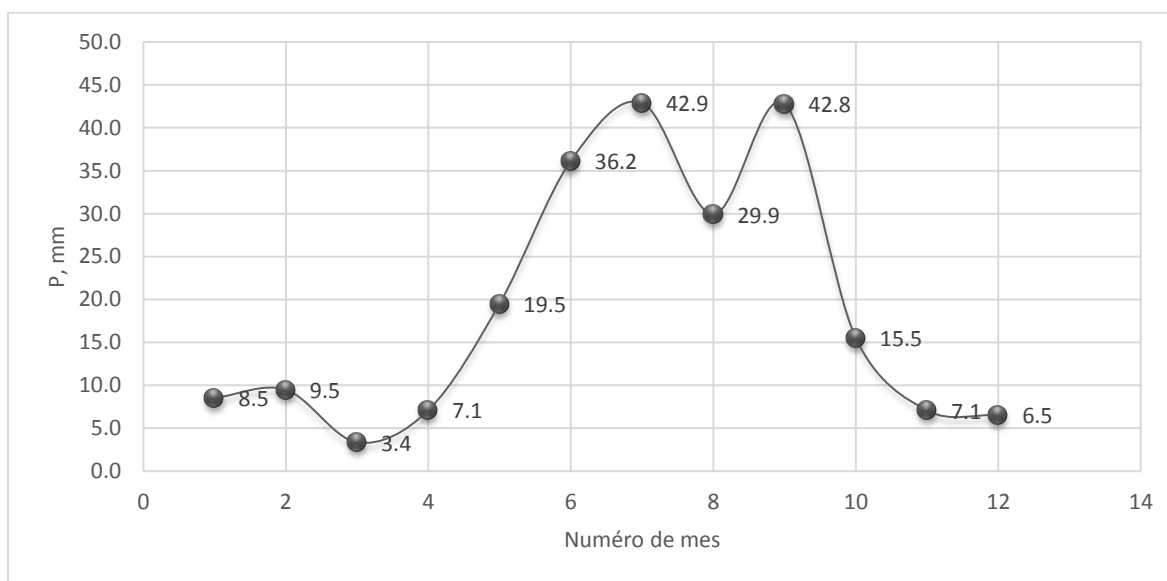
La estadística de las precipitaciones máximas mensuales en mm para la estación 14143 comprende un periodo de 24 años (1986-2009), los resultados son:

Tabla 6-LXXIV. Precipitaciones mensuales promedio, máxima y mínima por mes, estación 14143

Dat.	Ene	Feb.	Mrz	Abril	May	Jun	Julio	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pro	8.5	9.5	3.4	7.1	19.5	36.2	42.9	29.9	42.8	15.5	7.1	6.5
Max	91.0	65.0	16.0	36.5	49.5	63.3	68.0	59.5	71.0	34.0	18.0	21.5
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	8.5	19.4	2.7	0.0	0.0

Fuente: SMN

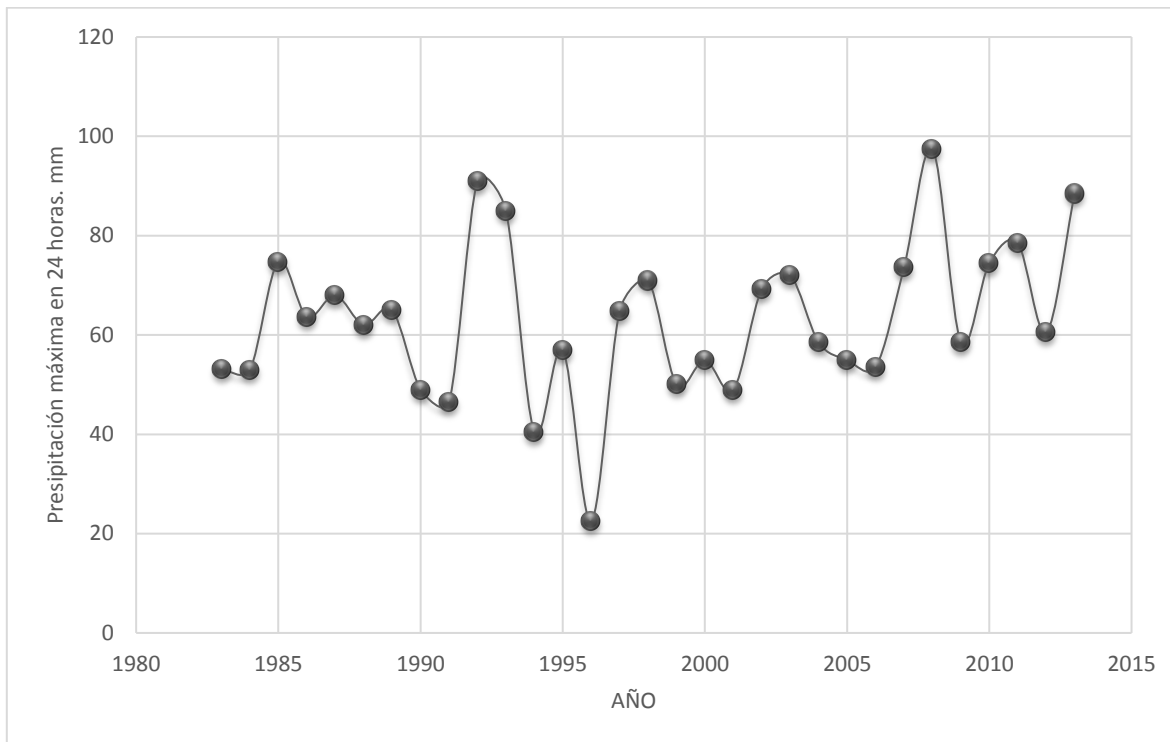
Gráfico 6-XXXI. Precipitaciones promedio máximas en 24 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Otra estadística interesante es la precipitación máxima anual registrada en la misma estación durante el periodo 1983-2013. En este registro se muestra que las precipitaciones máximas anuales no necesariamente ocurren durante el temporal de lluvias de mayo a octubre, sino en enero (2 casos) e incluso en febrero (1 caso) la gráfica de este registro es el siguiente.

Gráfico 6-XXXII. Precipitación máxima anual en 24 horas. Estación 14143.



Fuente. Elaboración propia con datos del SMN.

El mes con más registros de precipitaciones máximas en 24 horas durante ese periodo es julio con 11 registros, seguido de septiembre con 8 y junio con 6. Estos tres meses concentran el 80.64 % de ocurrencias de precipitaciones máximas en 24 horas.

6.1.7.2 Periodos de retorno.

Para determinar los periodos de retorno, primero se debe ajustar los datos históricos de las precipitaciones máximas en 24 horas a una función de Probabilidad. Este paso se realizó con el Software *Ax vr. 1.05*, desarrollado por Martín Jiménez Espinoza, del CENAPRED. En este software el autor utilizó el criterio del error mínimo estándar.

En el caso analizado la función de probabilidad normal fue la de menor error estándar con **3.049**.

Tabla 6-LXXV. Datos obtenidos con función de probabilidad normal.

Tr	Dato	Calculado	error2
32.00	97.5	92.57	24.3049
16.00	91	87.38	13.1044
10.67	88.5	83.97	20.5209
8.00	85	81.33	13.4689
6.40	78.5	79.11	0.3721
5.33	74.8	77.18	5.6644
4.57	74.5	75.43	0.8649
4.00	73.6	73.83	0.0529
3.56	72	72.33	0.1089
3.20	71	70.9	0.01
2.91	69.3	69.55	0.0625
2.67	68	68.23	0.0529
2.46	65	66.96	3.8416
2.29	64.8	65.71	0.8281
2.13	63.7	64.48	0.6084
2.00	62	63.26	1.5876
1.88	60.5	62.04	2.3716
1.78	58.6	60.81	4.8841
1.68	58.5	59.56	1.1236
1.60	57	58.28	1.6384
1.52	55	55.61	0.3721
1.45	55	56.97	3.8809
1.39	53.5	54.19	0.4761
1.33	53.2	52.69	0.2601
1.28	53	51.08	3.6864
1.23	50.1	49.34	0.5776
1.19	49	45.19	14.5161
1.14	49	47.4	2.56
1.10	46.4	42.54	14.8996
1.07	40.5	39.13	1.8769
1.03	22.5	33.95	131.1025

Fuente: Elaboración propia

Una vez elegida la función de menor error estándar, se extrapola para obtener los periodos de retorno, el resultado es:

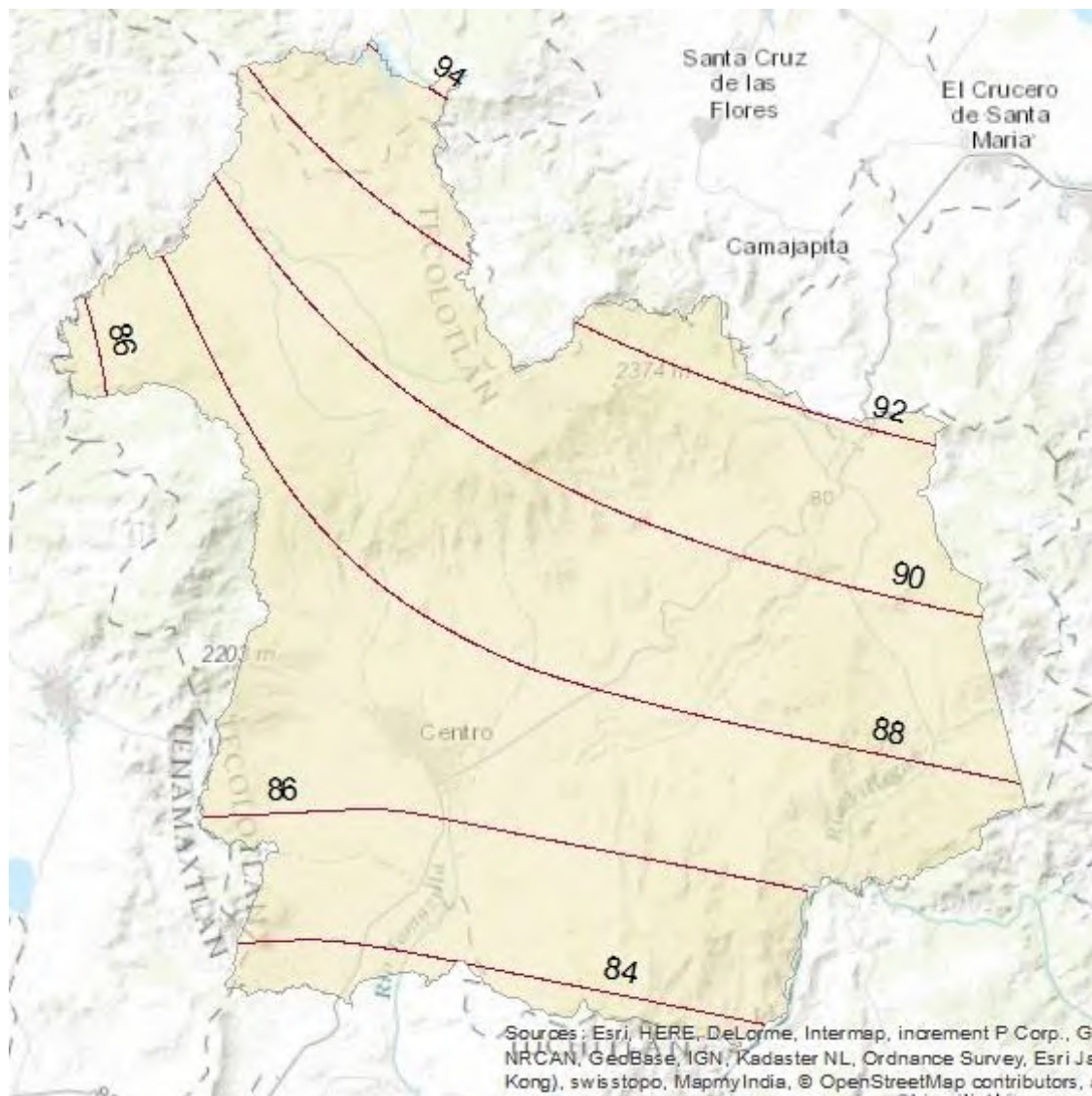
Tabla 6-LXXVI. Periodos de retorno para lluvias máximas en 24 horas.

Tr	Dato
2	63.26
5	76.46
10	83.4
25	90.8
50	95.58
100	99.88
200	103.81
500	108.57
1000	111.91

Fuente: Elaboración propia

Para obtener una distribución regional de la precipitación máxima absoluta en 24 horas, se interpola el dato registrado en las estaciones meteorológicas regionales, el resultado en milímetros de lluvia se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 6-LI. Isoyetas de precipitación máxima en 24 horas. Datos Históricos.



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte la extrapolación y ajuste para las estaciones regionales arroja para los diferentes periodos de retorno los siguientes datos:

Tabla 6-LXXVII. Precipitaciones máximas para periodos de retorno para estaciones regionales

FID	Clave	Nombre	y	x	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50
0	14009	Ameca	2272390.15	599319.717	73.38	83.94	97.89	107.19
1	14013	Atemajac de Brizuela	2227359.44	633001.415	72.56	82.93	92.01	98.14
2	14143	Tecolotlán	2234205.79	599366.672	76.46	76.46	90.8	95.58
3	14301	Tenamaxtlán	2235770.26	587314.194	78.2	78.2	90.51	94.61
4	14078	Juchitlán	2220921.05	594307.36	69.5	75.12	84.93	84.93

Fuente: Elaboración propia.

La metodología para determinar la exposición al peligro en el municipio de Tecolotlán fue usar los niveles Muy Alto a Medio para las intensidades de lluvia calculadas para tr 50 y Tr 5 años respectivamente, dado que en el apartado de Inundaciones se demuestra que para lluvias con Tr 5 años ocurren niveles de inundación considerables en la cabecera y localidades analizadas.

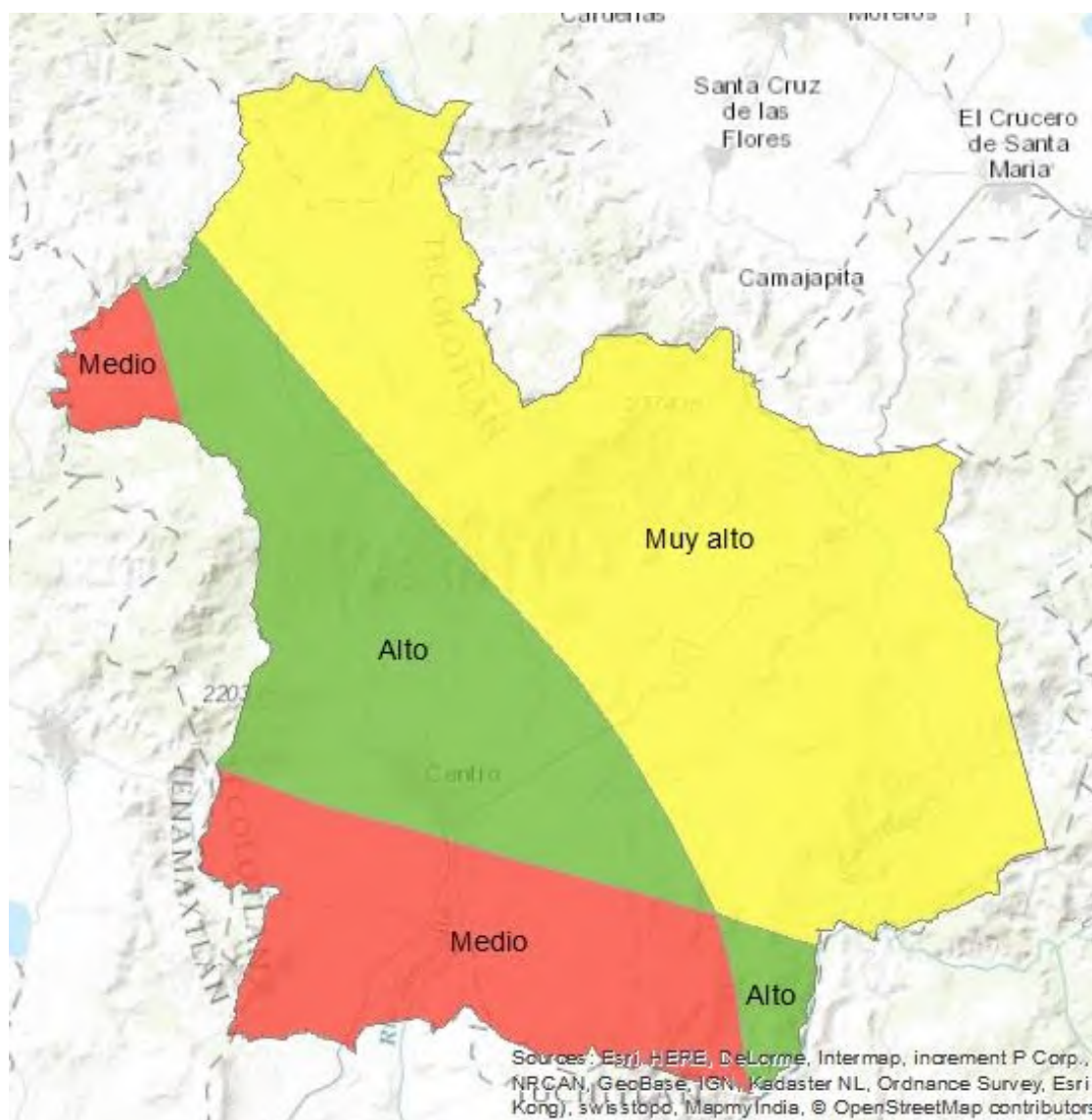
6.1.7.3 Peligros derivados de lluvias intensas.

Las tormentas intensas suelen provocar cortes de electricidad, caídas de cables, arboles, fuertes flujos en calles y avenidas, accidentes de tránsito, daños a estructuras de vivienda y predios, deslizamientos de laderas, todos ellos eventos peligrosos que pueden provocar la muerte por electrocución, golpes, ahogamiento, etc. Además, daños a menajes, muerte de animales domésticos y de granja, incomunicación de localidades por daños a carreteras, caminos y puentes, pérdida de cosechas, enfermedades de la piel y transmitidas por vectores como el mosquito cuando la inundación se prolonga durante varios días.

El valor de precipitación máxima en 24 horas se convierte a intensidad de lluvia en mm/h, se reclasifica el *raster* en función de este resultado, y mediante álgebra de mapas se suman *raster* reclasificados de aquellas zonas en las que se presenten los valores máximos para los diferentes períodos de retorno, con lo cual se obtienen las categorías de peligro buscadas.

El resultado se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 6-LII. Niveles de peligro por lluvias intensas en Tecolotlán, Jalisco.



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.4 Vulnerabilidad ante lluvias intensas

La vulnerabilidad es un indicador de que tan propensa es una localidad o una ciudad a sufrir daños por un peligro natural o de origen antropogénico, esto es, establece relaciones entre la intensidad del peligro y los posibles daños a un bien.

El tema de vulnerabilidad por lluvias intensas está relacionado con la probabilidad de que ocurran precipitaciones mayores a las de un umbral específico en las siguientes 24 horas.

6.1.7.4.1 Población y Vivienda

Como se menciona en el apartado de inundaciones, los tipos de vivienda que se encontraron en el municipio son del III y IV.

Los niveles de vulnerabilidad de la población y vivienda encontrados tomando estos criterios fueron:

Tabla 6-LXXVIII. Niveles de vulnerabilidad de población y vivienda.

Nivel	Criterio
Muy Bajo	Predios sin Población/ viviendas
Medio	Población/viviendas localizados en zonas urbanas
Alto	Población/viviendas localizadas en zonas cercanas a arroyos o cuerpos de agua

6.1.7.4.2 Infraestructura

Sector Electricidad

En el Municipio de Tecolotlán no existe infraestructura de generación de energía eléctrica, por lo que este sector está conformado solo por sistemas de distribución y transmisión, que para el caso de lluvias intensas suelen ser vulnerables.

Transporte y comunicaciones.

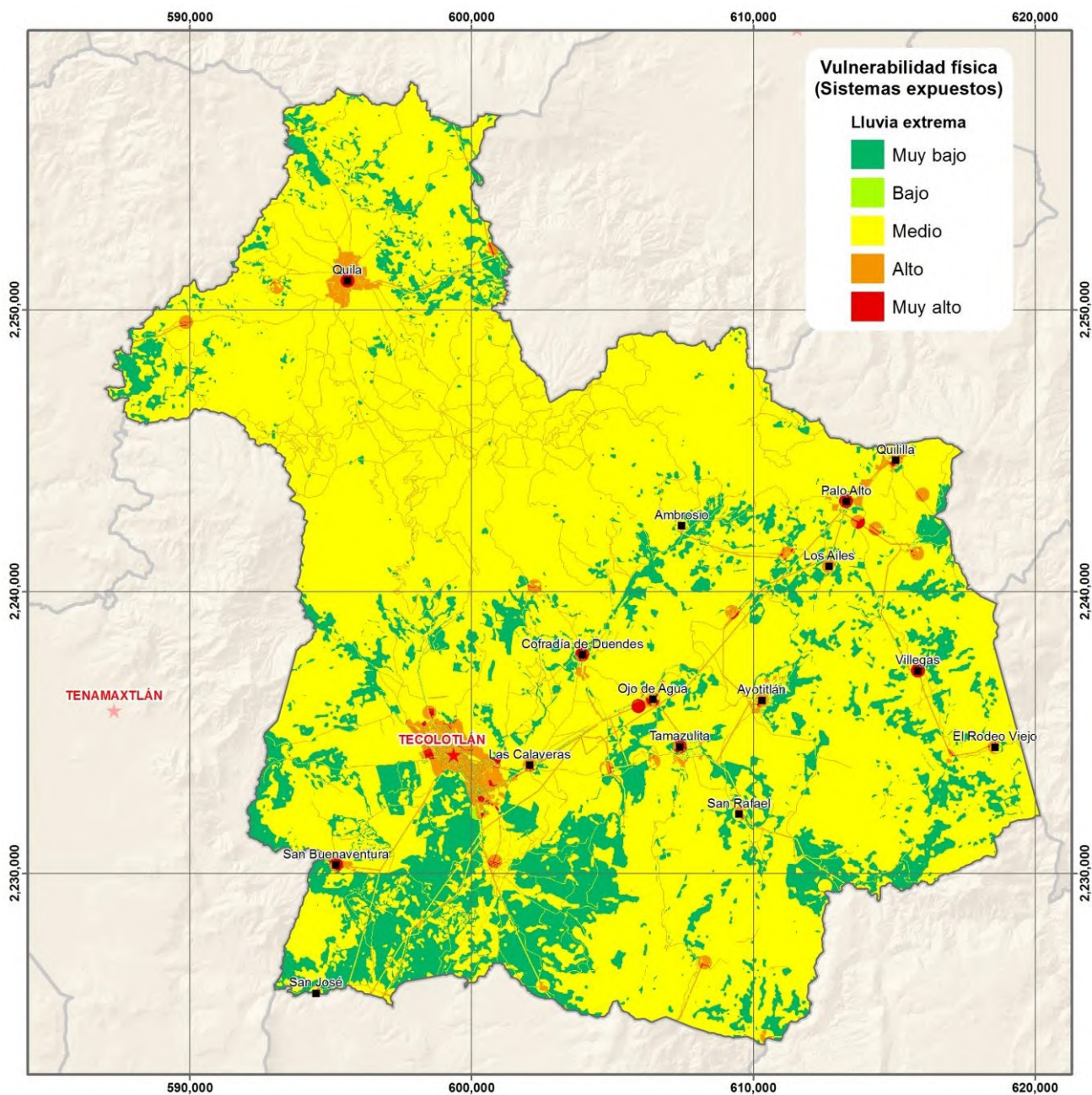
El análisis de este sector se centra en la infraestructura para transporte por carretera y área, pues el Municipio cuenta con una pista de aterrizaje así como el sector de telecomunicaciones, especialmente la red telefónica

Tabla 6-LXXIX. Vulnerabilidad en sectores de infraestructura

Nivel	Sector
Medio	Electricidad
Bajo	Hidrocarburos
Alto	Agua Potable y saneamiento
Medio-Alto	Transporte y comunicaciones
Medio	Agropecuario
Bajo	Industria y comercio

Fuente: Elaboración propia

Imagen 6-LIII. Vulnerabilidad física ante lluvias intensas.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.7.5 Riesgo

Las precipitaciones extremas son factor de riesgo pues favorecen la aparición de peligros no solo de tipo hidrometeorológico como las granizadas, inundaciones o tormentas eléctricas, sino de tipo geológico como los desprendimientos y flujos de detritos, además de ser determinante en la erosión del suelo. El parámetro indicativo del nivel de peligro es la intensidad de lluvias en milímetros por hora, el cual se basa en la precipitación máxima en 24 horas para los diferentes periodos de retorno y en tormentas de duración igual al tiempo de concentración para la cuenca analizada.

6.1.7.5.1 Población y vivienda.

La aplicación de la metodología a la población expuesta arroja los siguientes resultados.

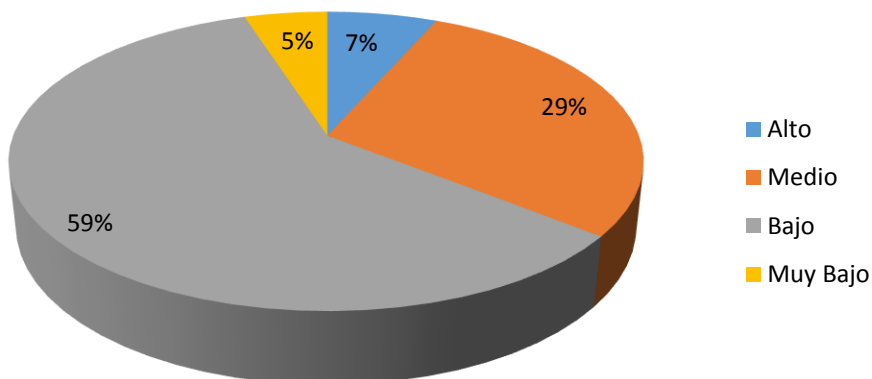
Tabla 6-LXXX. Riesgo de población ante lluvias intensas.

Nivel	Comunidades	Población
Alto	Alto Totales	1070
	LA LOBERA	13
	QUILA	1057
Bajo	Bajo Totales	9651
	AMBROSIO	109
	ARROYO HONDO	1
	EL RODEO	12
	EL RODEO VIEJO (EL COPAL COLORADO)	147
	EL SALITRE (LA SALITRERA)	2
	EL ZAPOTE PRIETO	3
	LA CIÉNEGA	76
	LA TUNA BLANCA (EL RANCHO DE CAMACHO)	14
	OJO DE AGUA	425
	PALO ALTO	257
	SAN BUENAVENTURA	93
	SAN JOSÉ DE LA PEÑA	2
	TECOLOTLÁN (manzana)	8507
	TENEXTITLÁN	3

Medio	Totales Medio	4729
	AYOTITLÁN	1218
	COFRADÍA DE DUENDES	504
	EL GUAJOLOTE (RANCHO ALVARADO)	92
	EL MIRADOR	12
	EL ZARCO	15
	LA CAROLINA [GRANJA]	37
	LA CASITA DE PAJA	3
	LA LAGUNILLA	7
	LINDAVISTA (LAS PLAZUELAS)	70
	LOS AILES	176
	LOS CHILARES	5
	LOS CUARTOS	72
	QUILILLA	362
	SAN RAFAEL	195
	TAMAZULITA	1457
	TECOLOTLÁN (manzana)	230
	VILLEGAS	274
Muy bajo	Totales Muy bajo	807
	ABERRUSCO	2
	CALERAS CRUZ DE MAYO (CALFINAS)	3
	EL PROGRESO	1
	EL RELICARIO (CALERAS)	2
	LA PALMITA	9
	LAS CALAVERAS (EJIDO TENEXTITLÁN)	281
	LAS TROJES	31
	SANTA MARTHA	26
	TECOLOTLÁN (manzana)	452
	Total general	16257

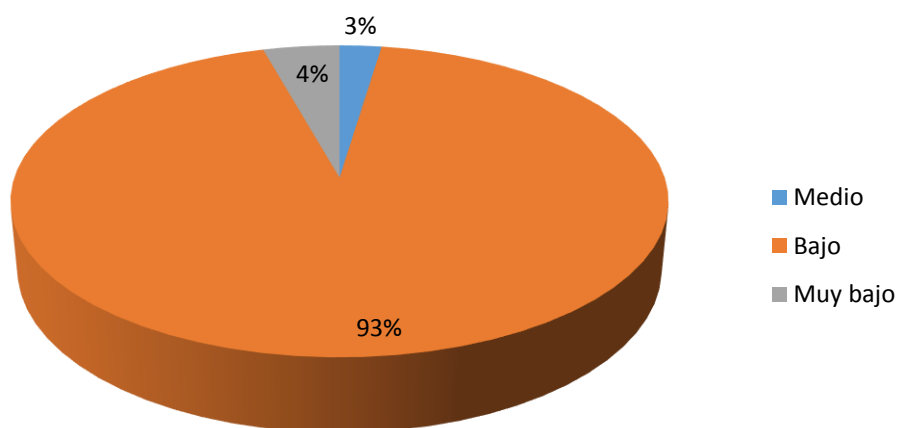
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXIII. Porcentaje de población en riesgo ante lluvias intensas según niveles de exposición.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXIV. Porcentaje de vivienda en riesgo ante lluvias intensas según niveles de exposición.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.7.5.2 Infraestructura

Sector Electricidad

Para este sector la vulnerabilidad se ponderó solo con base al peligro por inundación debida a lluvias intensas, sin considerar el peligro por descargas eléctricas lo cual corresponde al apartado de tormenta eléctrica

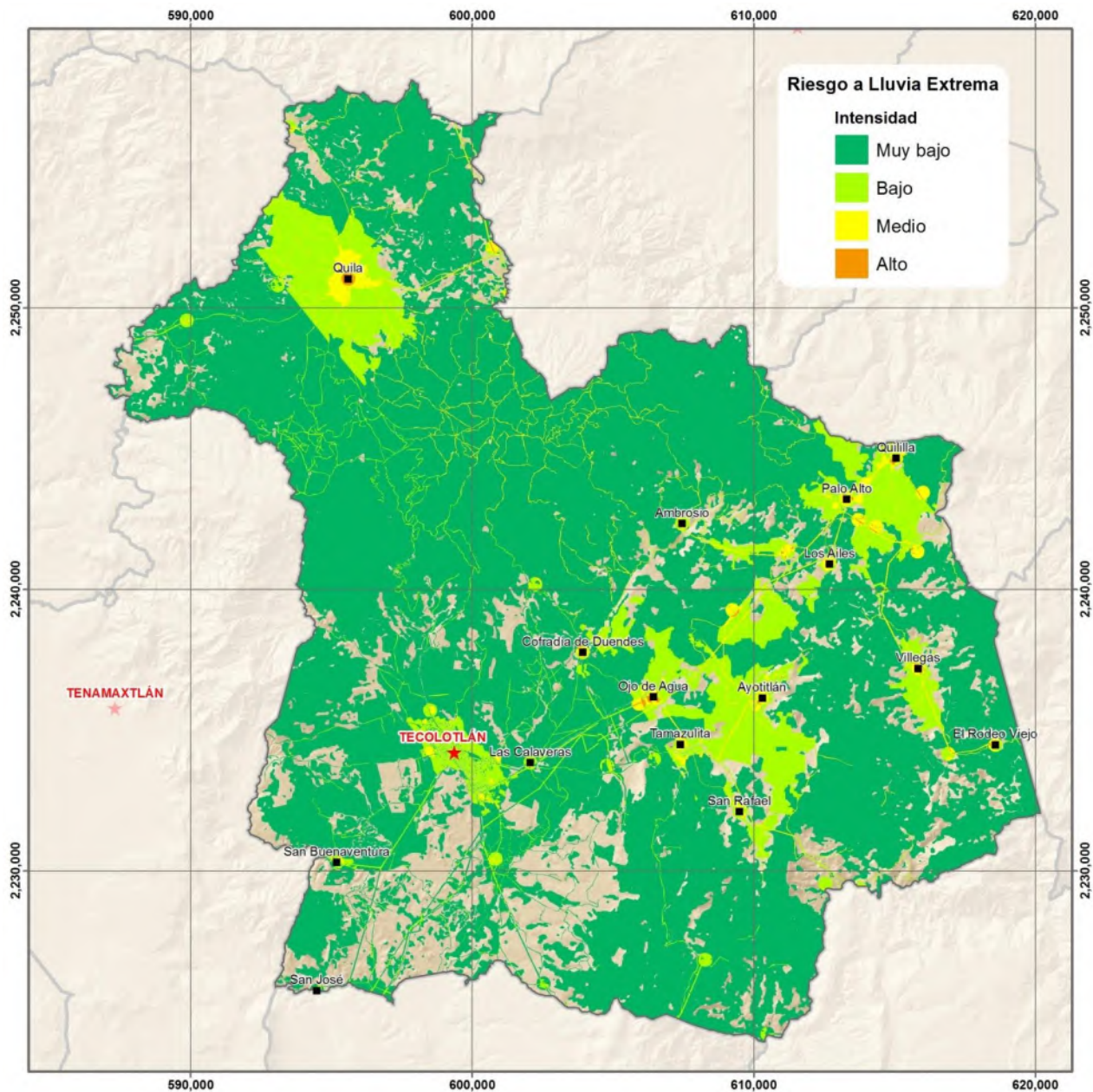
El resultado del análisis para este sector es el siguiente:

Tabla 6-LXXXI. Infraestructura del sector eléctrico en riesgo ante lluvias intensas.

Infraestructura	Nivel	Elementos
Poste de Alta tensión	Alto	1
	Bajo	27
	Medio	25
	Muy bajo	3
Poste de CFE	Alto	66
	Bajo	974
	Medio	614
	Muy bajo	647
Torre de Alta Tensión	Alto	0
	Bajo	4
	Medio	0
	Muy bajo	1

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LIV. Exposición al riesgo por lluvias intensas en Tecolotlán.



Fuente: Elaboración propia.

Sector Hidrocarburos.

De la misma manera que para el sector electricidad, para hidrocarburos el riesgo se determinó sólo tomando en consideración la vulnerabilidad y el peligro frente a inundaciones debidas a lluvias intensas.

Tabla 6-LXXXII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector hidrocarburos.

Nivel	Infraestructura	No
Bajo	Gasera	1
	Gasolinera	2
Muy Bajo	Gasera	1

Fuente: Elaboración propia.

Sector Agua Potable y Saneamiento.

Estos sistemas están entre los más vulnerables a eventos de lluvias intensas por lo que en algunos casos la exposición al riesgo es alta.

Los sistemas de agua y saneamiento expuestos son:

Tabla 6-LXXXIII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector agua potable y saneamiento.

Infraestructura	Riesgo	No.
Boca de tormenta	Alto	2
	Bajo	2
Pozo de agua	Bajo	20
	Medio	19
	Muy bajo	17

Fuente: Elaboración propia.

Transporte y comunicaciones.

Las lluvias intensas pueden inducir riesgos importantes en el tema de transporte pues uno de las principales causas de accidentes carreteros son las condiciones atmosféricas en las que se transita, riesgos que se incrementan si se combina con circunstancias tales como el transporte de pasajeros o de sustancias y residuos peligrosos, o el mal estado de vías de comunicación.

Tabla 6-LXXXIV. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector transporte.

Infraestructura	Nivel	L. metros
CARRETERA PAVIMENTADA	Alto	502.096692
	Bajo	21734.8257
	Medio	28044.6695
	Muy Bajo	19633.9851
	Total	69915.5771
BRECHA	Alto	1687.1648
	Bajo	49231.6261
	Medio	33567.5471
	Muy Bajo	12428.9674
	Total	96915.3054
TERRACERÍA	Alto	2188.86484
	Bajo	83895.708
	Medio	78137.3343
	Muy Bajo	27895.3607
	Total	192117.268
VEREDA	Alto	1131.01545
	Bajo	161788.584
	Medio	189084.565
	Muy Bajo	60399.255
	Total	412403.419

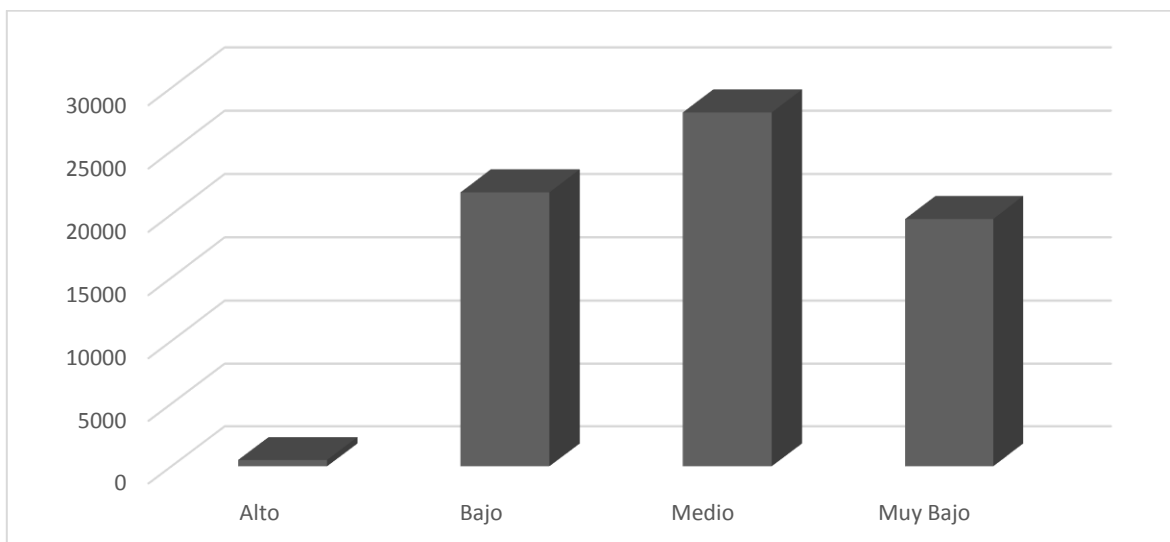
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-LXXXV. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector telecomunicaciones.

Infraestructura	Nivel	L. metros
Poste de teléfono	Alto	56
	Bajo	602
	Medio	223
	Muy Bajo	343

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXV. Exposición al riesgo por lluvias intensas de carreteras



6.1.7.5.3 Sectores Económicos

De los sectores económicos más afectados por eventos hidrometeorológicos de cualquier tipo es el agropecuario. Las consecuencias de una inundación, sequía, granizada o helada en este sector suele ser catastrófica. El análisis del peligro por lluvias intensas y la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios existentes en Tecolotlán muestra que la exposición al riesgo por lluvias intensas es de medio a bajo principalmente, como se muestra en la tabla y gráfica siguientes.

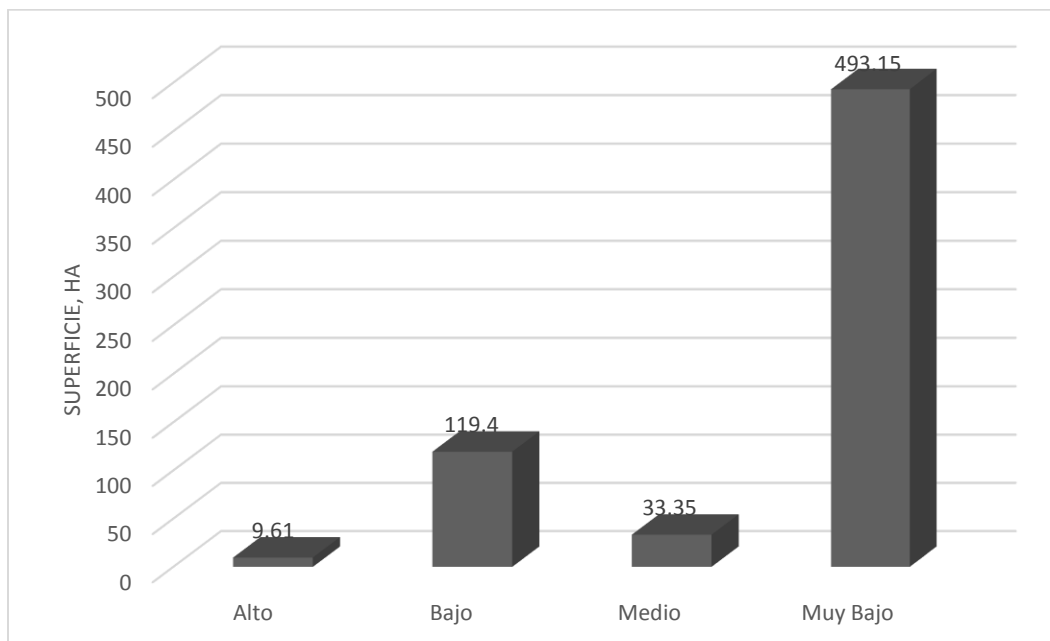
Agropecuario

Tabla 6-LXXXVI. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector agropecuario.

Infraestructura	Riesgo	Ha
Agricultura de riego	Alto	9.61
	Bajo	119.40
	Medio	33.35
	Muy Bajo	493.15
Total		655.51
Maíz Temporal	Alto	36.28
	Bajo	4815.25
	Medio	562.34
	Muy Bajo	5478.99
Praderas	Alto	5.24
	Bajo	70.18
	Medio	179.55
	Muy Bajo	5289.86
Hortalizas	Bajo	204.51
	Medio	13.15
	Muy Bajo	187.39
Engorda de Pollo	Alto	0.01
	Bajo	3.48
	Medio	1.14
	Muy Bajo	0.07
Agave	Bajo	32.59
	Medio	0.77
	Muy Bajo	496.89
Aguacate	Bajo	0.70
	Muy bajo	60.13
Total		60.83
Invernaderos	Bajo	2.91
	Muy bajo	6.97

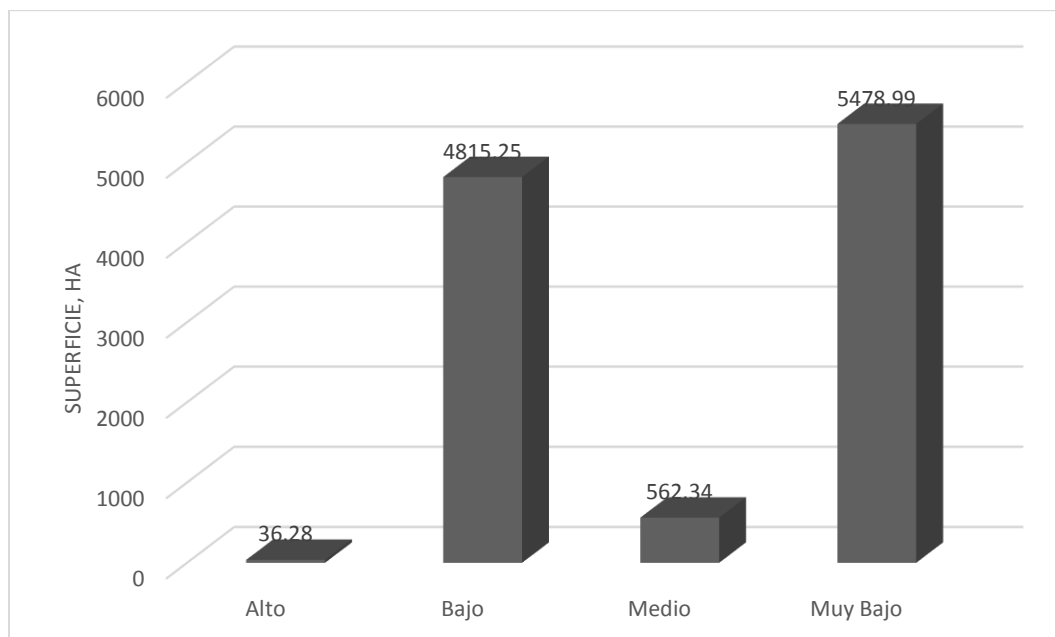
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXVI. Riesgo en agricultura de riego por lluvias intensas



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXVII. Riesgo en cultivos de maíz de temporal por lluvias intensas.



Fuente: Elaboración propia.

Industria y comercio

Para la industria y el comercio los riesgos por lluvias intensas son preponderantemente bajos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6-LXXXVII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector Industria y comercio.

Infraestructura	Riesgo	Establecimientos
COMERCIO	Bajo	24
	Medio	2
	Muy Bajo	8
Total		34
INDUSTRIA	Bajo	1
	Medio	1
	Muy Bajo	2
Total		4
SERVICIO	Bajo	20
	Muy Bajo	4
Total		24

Fuente: Elaboración propia.

6.1.8 INUNDACIONES

El análisis del peligro por inundaciones se determina a partir del origen del fenómeno, su evolución y sus consecuencias. Es de primera importancia entender la dinámica de este fenómeno a partir de la experiencia histórica y los estudios científicos y técnicos, de tal manera que sea posible convivir con esta clase de eventos, antes que realizar obras de infraestructura costosas que incluso pueden resultar inadecuadas o insuficientes. Lo anterior no significa que las medidas estructurales de prevención y contención de inundaciones resulten innecesarias, sino que éstas deberán siempre sustentarse en estudios técnicos bien fundamentados.

El territorio de Tecolotlán se encuentra inmerso en 4 subcuencas pertenecientes a dos diferentes regiones hidrológicas: por una parte la Región Hidrológica 16 Armería-Coahuayana, con las subcuencas Río Tuxcacuesco y Río Ayuquila (90.01 % del territorio), por la otra, la Región Hidrológica 14 Río Ameca con las subcuencas Ameca-Pijinto y Río Cocula, todas exorreicas.

La subcuenca Río Tuxcacuesco es la más importante, pues cubre 48040.6 hectáreas lo que representa el 76.87 % de su territorio, además de proporcionar recursos hídricos a la cabecera municipal y a la mayoría de sus comunidades.

La distribución del territorio por subcuenca se muestra en la imagen.

Imagen 6-LV. La distribución del territorio de Tecolotlán por subcuenca.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.1 Metodología Nivel 1

Cartografía general de inundaciones históricas. Se realiza una encuesta entre la población y un levantamiento general de infraestructura dañada y se registra en un mapa con escala a detalle. La cartografía deberá tener un detalle suficiente para poder llegar a estimar los daños ocasionados. La escala de información deberá ser de por lo menos 1: 50000 con curvas de nivel a cada metro.

Se realiza el análisis estadístico de las variables precipitación máxima y caudal máximo (en caso de existir datos de este último).

Se obtienen los valores de Precipitación y caudal máximo para los periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 200 años. Elaboración de cartografía de zonas inundables. Análisis y resumen de los otros datos encuestados.

6.1.8.1.1 Análisis histórico de inundaciones en Tecolotlán.

Para la revisión histórica de inundaciones se efectuó un taller en el que participó la Unidad Municipal de Protección Civil, la Dirección de Obras Públicas del Municipio y técnicos responsables de la elaboración del Atlas de Riesgos. Así mismo, se realizó una encuesta a la población sobre el tema.

Como resultado de ambas dinámicas se logró ubicar eventos de inundación, sus intensidades y duración en la cabecera municipal y en las localidades. La información recabada se presenta enseguida por localidad.

Cabecera Municipal

Tabla 6-LXXXVIII. Inundaciones Históricas registradas en la Cabecera Municipal

Domicilio	Colonia	Frecuencia	Altura, cm	Daños
Rio Tecolotlán	Fracc. Sauza 1	1 a 2	30	Sin daños
Rio Tecolotlán 8	Sin dato	Más de 7 veces	150	Sin daños
Vicente Guerrero	Sin dato	De 3 a 5	50	Sin daños
Diego Rivera	Jardines del Sur	1 a 2	30	Se mojaron muebles pero siguieron funcionando.
Diego Rivera 79	Jardines del Sur	1 a 2 veces	100	Sin daños
Diego Rivera	Jardines del Sur	1 a 2 veces	100	Sin daños
Diego Rivera	Jardines del Sur	1 a 2 veces	50	Sin daños, se presentó proliferación de zancudos.
Geranio 9	Fracc. Sauza 1	1 a 2 veces	Sin dato	Sin daños
Niños Héroes	La Palmita	1 a 2 veces	30	Sin daños
Niños Héroes	La Palmita	1 a 2 veces	150	Sin daños
Privada Justo Merino	Centro	1 a 2 veces	10	Sin daños
Privada Justo Merino	Centro	1 a 2 veces	20	Sin daños
Rivera del Rio	Fracc. Sauza 1	1 a 2 veces	100	Pérdida de muebles, daños a drenaje
Privada Javier Mina 15	José Clemente Orozco	1 a 2 veces	100	Se dañó equipo de taller automotriz
Diego Rivera 77	Jardines del Sur	1 a 2 veces	100 cm	Daños a muebles.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos enlistados en la tabla anterior se muestran en la siguiente imagen, donde las líneas en rojo representan calles de la cabecera municipal en que han ocurrido eventos de inundación.

Imagen 6-LVI. Calles y sitios específicos donde han ocurrido eventos de inundación.



Fuente: Elaboración propia.

Tamazulita

Tabla 6-LXXXIX. Inundaciones históricas en la comunidad Tamazulita

Domicilio	Colonia	Frecuencia	Altura, cm	Daños
Vicente Guerrero	Tamazulita	Recurrentes	100	Muebles e infraestructura
Vicente Guerrero	Tamazulita	3 a 5 veces	50	NO se reportan daños
Vicente Guerrero	Tamazulita	1 a 2 veces	100	No se reportan daños
Hidalgo	Tamazulita	1 a 2 veces	150	Inundación de Parcelas
16 de septiembre	Tamazulita	1 a 2 veces	200	Murió una persona, masculino de 14 años, al ser arrastrada por el arroyo, no hubo daños a infraestructura.
Aldama 266	Tamazulita	1 a 2 veces	10	Se dañaron los muebles
Libertad	Tamazulita	1 a 2 veces en 12 años	200	Se inundó parcialmente una parcela

Fuente: Elaboración propia.

San Buenaventura

Tabla 6-XC. Inundaciones históricas en la comunidad de San Buenaventura

Domicilio	Colonia	Frecuencia	Altura, cm	Daños
Obregón	San Buenaventura	1 a 2 veces en 10 años	100	Sin daños aunque se mojaron muebles

Fuente: Elaboración propia.

Memoria de Cálculo

La información meteorológica en la región se encuentra distribuida en 4 estaciones con información discontinua entre ellas. Los datos disponibles por estación y sus coordenadas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6-XCI. Datos de Estaciones disponibles para estudios de hidrología en la región.

Clave	Nombre	y	x	Datos
14009	Ameca	2272390.15	599319.717	1988-2013
14013	Atemajac de Brizuela	2227359.44	633001.415	1979-2004
14143	Tecolotlán	2234205.79	599366.672	1983-2013
14301	Tenamaxtlán	2235770.26	587314.194	1978-2003

Fuente: SMN.

Mediante un análisis de polígonos de Thiessen se determinó que en la región, para la mayoría de localidades que históricamente han presentado eventos de inundación, la estación determinante es la 14143, situada en la cabecera municipal.

La comunidad de Quila presenta influencia territorial de las estaciones 14143 y 14301, pero principalmente de la primera, ya que los escurrimientos hacia la localidad estarían medidos por los datos de la estación mencionada, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

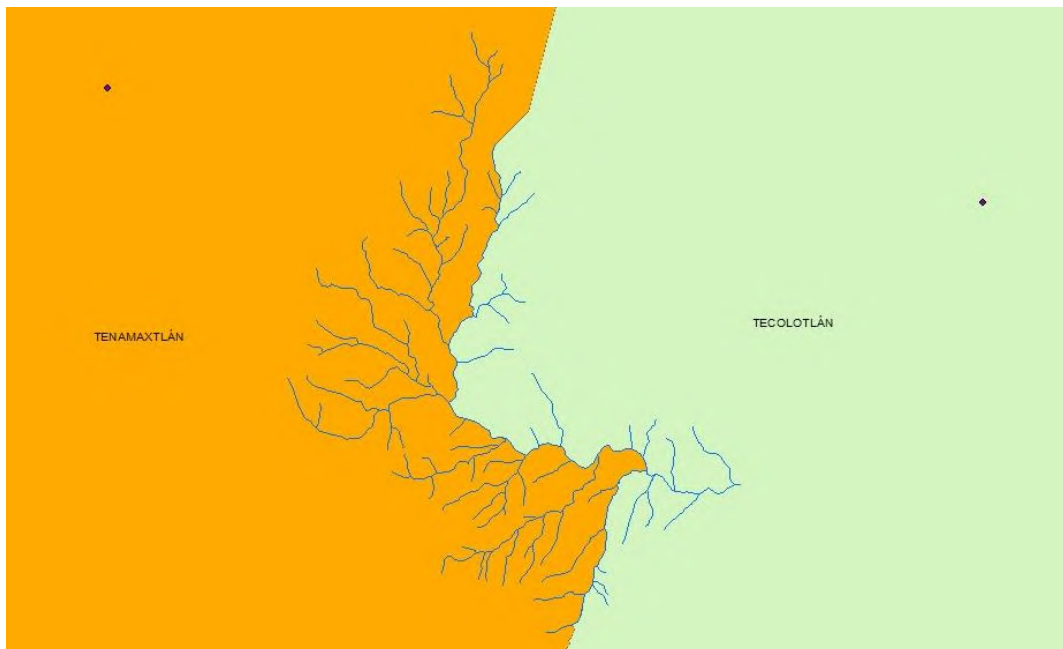
Imagen 6-LVII. Ubicación de estaciones meteorológicas y sus áreas de influencia en Tecolotlán según polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración propia.

Un caso diferente se presenta en San Buenaventura, pues para la cuenca que incide sobre ella deben considerarse las estaciones Tecolotlán y Tenamaxtlán.

Imagen 6-LVIII. Ubicación de la nanocuenca que incide sobre la comunidad San Buenaventura.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-XCII. Datos de precipitación máxima en 24 horas en la estación 14143

Fecha	P-mm	Fecha	P-mm
01/01/1983	53.2	25/09/1999	50.1
22/06/1984	53	12/09/2000	55
24/07/1985	74.8	08/09/2001	49
30/07/1986	63.7	11/09/2002	69.3
26/07/1987	68	07/07/2003	72
14/07/1988	62	09/10/2004	58.5
18/02/1989	65	09/07/2005	55
09/06/1990	49	18/06/2006	53.5
03/07/1991	46.4	28/07/2007	73.6
25/01/1992	91	05/07/2008	97.5
26/09/1993	85	26/06/2009	58.6
23/06/1994	40.5	22/06/2010	74.5
05/07/1995	57	11/10/2011	78.5
27/09/1996	22.5	07/08/2012	60.5
18/07/1997	64.8	23/09/2013	88.5
22/09/1998	71		

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis estadístico de la precipitación máxima en 24 horas se utilizó el software libre R vr. 3.2.1.

Tabla 6-XCIII. Análisis de estadística descriptiva de los datos de la estación 14143.

Parámetro	Valor
Media Aritmética	63.25
mediana	62
Desviación estándar población	15.47
Coeficiente de asimetría	-0.0005
Máximo	97.5
Mínimo	22.5
Varianza	239.53
Primer Cuartil	53.25
Tercer Cuartil	72.80

Fuente: Elaboración propia.

Como puede verse el coeficiente de asimetría es prácticamente cero por lo que la distribución es simétrica.

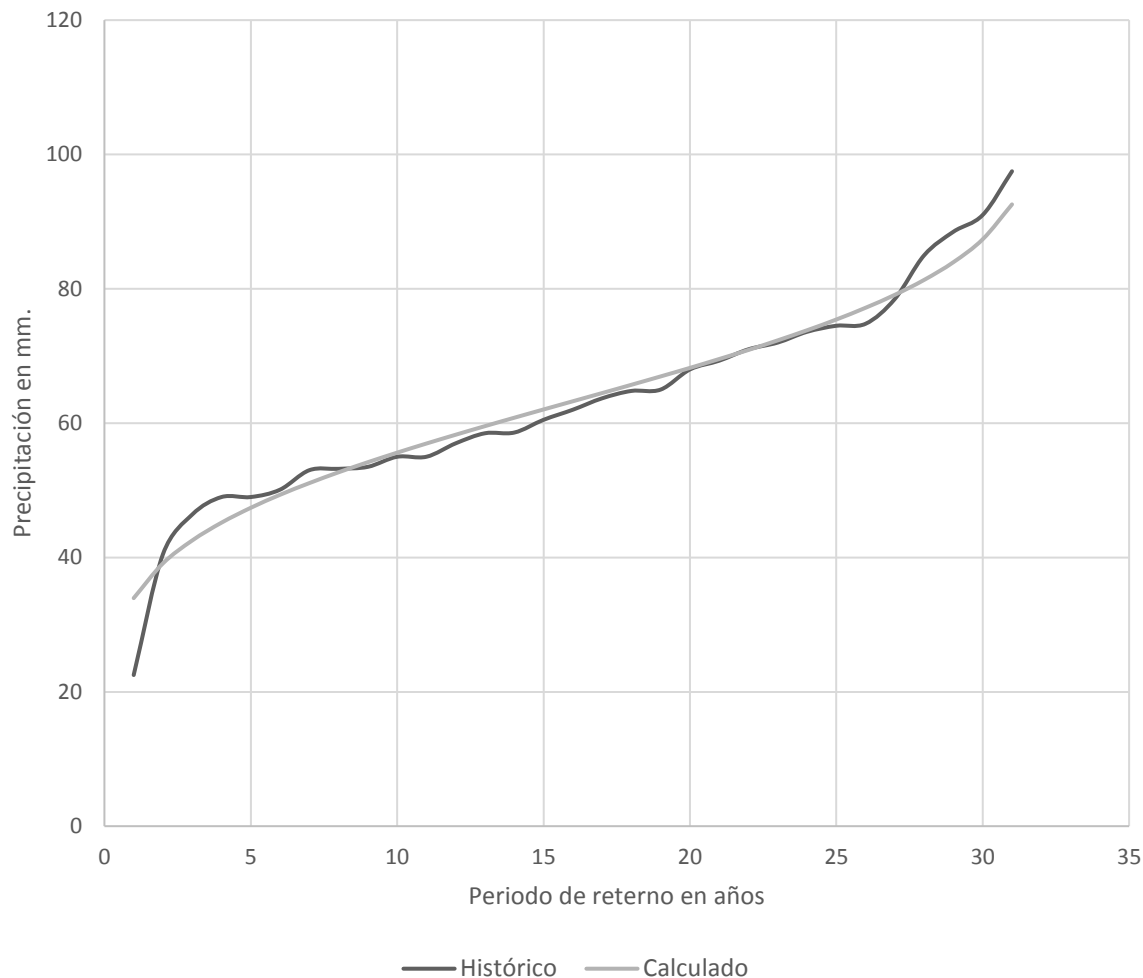
El análisis probabilístico se efectuó mediante el software Ax de CENAPRED, dando como resultado que la función de probabilidad que mejor ajusta a los datos históricos es la normal estandarizada con un error estándar de 3.04., obteniéndose:

Tabla 6-XCIV. Ajuste de los datos históricos a la función de probabilidad normal estandarizada.

Tr	Dato	Calculado	error2
32.00	97.5	92.57	24.3049
16.00	91	87.38	13.1044
10.67	88.5	83.97	20.5209
8.00	85	81.33	13.4689
6.40	78.5	79.11	0.3721
5.33	74.8	77.18	5.6644
4.57	74.5	75.43	0.8649
4.00	73.6	73.83	0.0529
3.56	72	72.33	0.1089
3.20	71	70.9	0.01
2.91	69.3	69.55	0.0625
2.67	68	68.23	0.0529
2.46	65	66.96	3.8416
2.29	64.8	65.71	0.8281
2.13	63.7	64.48	0.6084
2.00	62	63.26	1.5876
1.88	60.5	62.04	2.3716
1.78	58.6	60.81	4.8841
1.68	58.5	59.56	1.1236
1.60	57	58.28	1.6384
1.52	55	55.61	0.3721
1.45	55	56.97	3.8809
1.39	53.5	54.19	0.4761
1.33	53.2	52.69	0.2601
1.28	53	51.08	3.6864
1.23	50.1	49.34	0.5776
1.19	49	45.19	14.5161
1.14	49	47.4	2.56
1.10	46.4	42.54	14.8996
1.07	40.5	39.13	1.8769
1.03	22.5	33.95	131.1025

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XXXVIII. Ajuste de los datos históricos a la función de probabilidad normal estandarizada.



Fuente: Elaboración propia.

Extrapolando estos mismos para los periodos de retorno 2, 10, 50, 100 y 200 años se obtiene:

Tabla 6-XCV. Extrapolación de datos generados por la función de probabilidad normal estandarizada.

Tr	Dato
2	63.26
5	76.46
10	83.4
20	89.13
50	95.58
100	99.88
200	103.81
500	108.57
1000	111.91

Fuente: Elaboración propia.

No existen datos de caudales máximos para los ríos y principales arroyos localizados en el municipio, por lo tanto no se pueden calcular periodos de retorno para caudales, sin embargo se puede aproximar un caudal máximo a partir del cálculo de la precipitación efectiva según la metodología de Servicio de Conservación de Suelos de EUA, para lo que se requiere calcular el llamado Numero de Escurrimiento el cual es función de la topografía, el tipo de vegetación y suelo. Tal cálculo corresponde al segundo nivel de análisis y se desarrolla en lo que sigue.

6.1.8.2 Metodología Nivel 2

El método mencionado se aplica cuando las cuencas no están aforadas, permite calcular la altura de lluvia efectiva a partir de la total y las características de la cuenca.

La altura de lluvia total P se relaciona con la altura de lluvia efectiva mediante la expresión algebraica:

$$Pe = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Ecuación: Precipitación efectiva a partir de los números de escurrimiento

Donde:

N = número de escurrimiento

P = Altura de precipitación en cm.

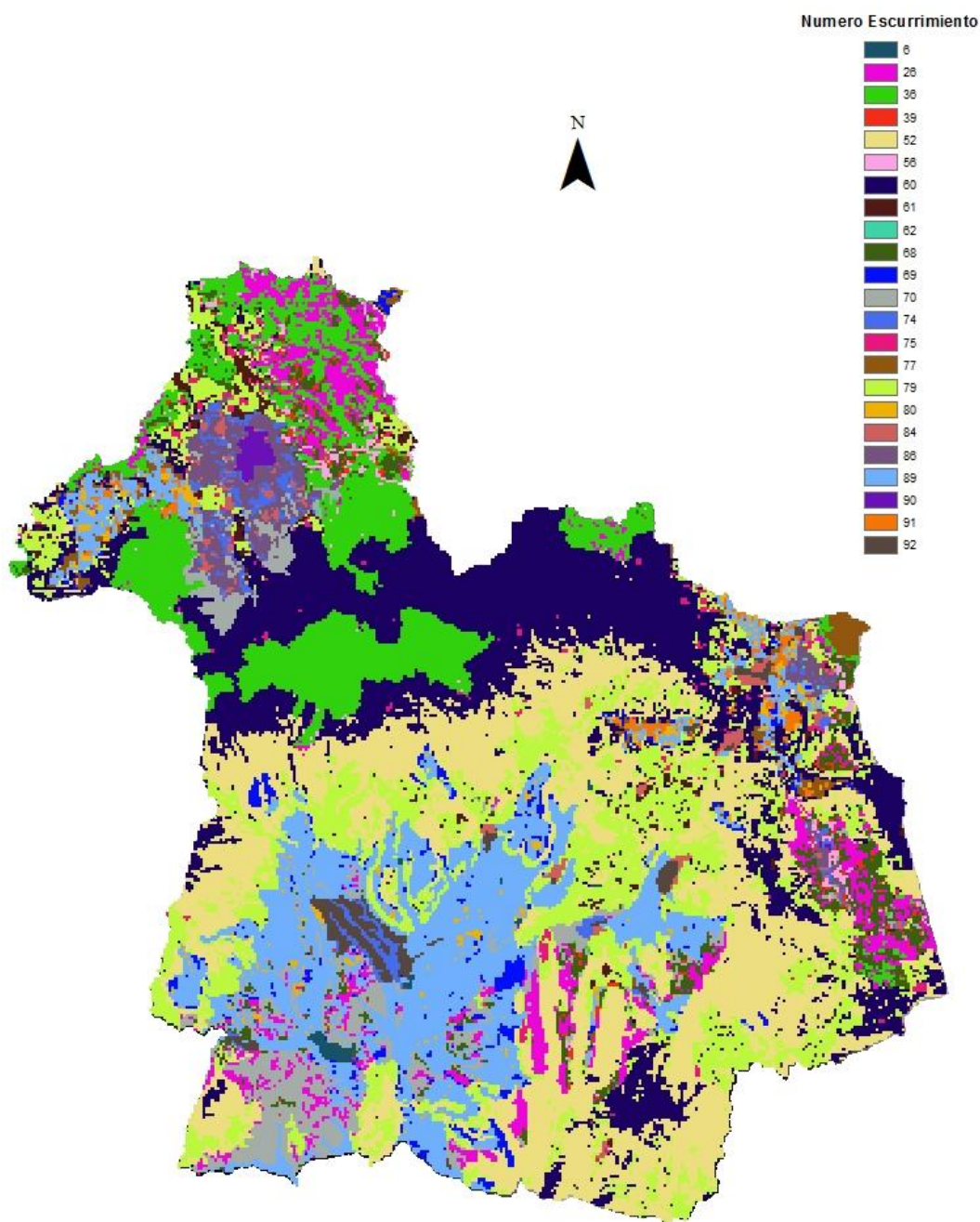
El modelo matemático empleara un MDT con celdas de 100 x 100 m para determinar tanto el número de escurrimiento como la altura de lluvia efectiva y a partir de este dato calcular los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.

El procedimiento sigue los siguientes pasos:

1. Obtener a partir del MDT un mapa de pendientes y reclasificarlas como mayores a 1 y menores a 1 en porcentaje.
2. Reclasificar los tipos de suelo según valores numéricos
3. Mediante un geoprocesamiento cruzar los archivos *raster* de pendientes (convertidos a polígonos), suelo y uso de suelo para reclasificar a valores de número de escurrimiento. Para esta operación se utiliza una selección por atributos.

El resultado se muestra en la imagen a continuación.

Imagen 6-LIX . Números de Esguerrimiento (N) para el municipio de Tecolotlán



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.2.1 Análisis por cuenca.

El análisis por cuenca se efectuó delimitando las cuencas en todo el municipio que afectan o pueden llegar a afectar a la población de la cabecera y de las localidades, los métodos matemáticos fueron:

a) Pendiente gobernadora y tiempos de concentración de la lluvia.

Con el objetivo de calcular la rapidez de llegada del escurrimiento a la zona en estudio se calcularon las pendientes medias de escurrimiento por medio de la expresión:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Ecuación: Pendiente del cauce principal en la cuenca

Además, se empleó la carta topográfica 1:50000 de INEGI.

Tiempo de Concentración

Para la obtención del tiempo de concentración, que corresponde al tiempo que tarda en llegar el escurrimiento desde la parte más alejada hasta el punto más bajo de la cuenca se utilizó el método de Kirpich, que se define como:

$$t_c = 0.0003245 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77}$$

Ecuación: Tiempo de concentración según Kirpich

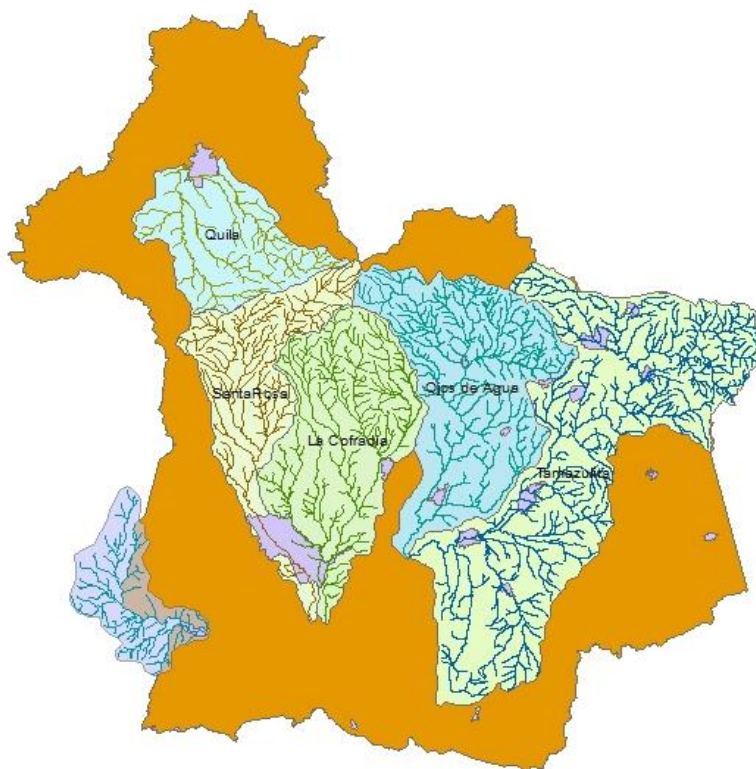
Tabla 6-XCVI. Parámetros hidrológicos de las subcuencas localizadas en Tecolotlán.

Nombre	Área, ha	Perímetro metros	Pendiente Cause principal, %	Tiempo de Concentración hr	Tiempo pico, hr	Tiempo Base, hr	Tiempo de retraso, hr
Quila	3519.33	29575.58	2.22	2.25	2.85	7.62	1.35
Santa Rosa	4253.22	47500.73	4.04	2.5	3.08	8.23	1.5
La Cofradía	6121.63	39330	3.50	2.20	2.80	7.49	1.32
Ojo de agua	6833.89	45283.35	2.78	2.52	3.10	8.27	1.51
Tamazulita	11987.57	73942.46	2.60	3.56	4.02	10.74	2.13
San Buenaventura	2358	25441.31	8.21	1.016	1.618	4.32	0.61

Fuente: Elaboración propia.

La delimitación de estas cuencas se muestra en la imagen.

Imagen 6-LX. Nanocuencas en el municipio de Tecolotlán que inciden en sus comunidades



Fuente: Elaboración propia.

Nótese que la cuenca que incide sobre la comunidad de San Buenaventura abarca parte del territorio del Municipio de Tenamaxtlán, por lo que su análisis se basó en datos tomados de INEGI:

Tabla 6-XCVII. Intensidad-período de retorno para San Buenaventura, tormenta de 1 hora.

Tr, años	Precipitación, en mm/hr
2	36.92
5	48.7
10	56.62
50	86.06
100	94.39
200	102.72

Fuente: INEGI.

b) Cálculo de intensidad para una tormenta con duración igual a t_c y 2, 10, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno (T_r)

Las tormentas de diseño tendrán una duración igual al tiempo de concentración. Para determinar este parámetro se utilizan las expresiones de Powell:

$$D = K(t \cdot T)^{1/4}$$

Ecuación de Powell

Donde:

D = profundidad de lluvia.

t = Duración en horas

T = periodo de retorno

K = constante que depende de la localidad.

Esta ecuación es una referencia conveniente para estimar otras cantidades de **profundidad-duración**.

Para determinar K, se utiliza el valor calculado para una tormenta con $T_r = 10$ años y duración de 24 horas:

$$K = \frac{D}{(t \cdot T)^{0.25}} = \frac{99.33}{(24 \cdot 10)^{0.25}} = 25.23$$

Para una tormenta con duración de 1 hora y 10 años de periodo de retorno la ecuación de Powell da:

$$D = 25.23(1 \cdot 10)^{0.25} = 44.86 \frac{mm}{hr}$$

La expresión de F.C. Bell permite estimar la altura de precipitación para cualquier periodo $T < 100$ años de retorno y para cualquier duración $d < 120$ min, de preferencia. Esta relación lluvia-duración-periodo de retorno es directamente proporcional a la lluvia horaria con un periodo de retorno igual a 10 años.

$$I_d^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54d^{0.25} - 0.50)I_{60}^{10}$$

Ecuación de Bell.

Para la cuenca del arroyo Santa Rosa, cuyo tiempo de concentración es igual a 150.14 minutos, los valores de precipitación total fueron:

Tabla 6-XCVIII. Intensidad-periodo de retorno para lluvias con duración igual al tiempo de concentración

Tr	Pmm
2	46.63
5	61.55
10	72.83
50	99.03
100	110.31
200	121.59

Fuente: Elaboración propia.

Se expone enseguida el procedimiento aplicado al caso del arroyo Santa Rosa a modo de ejemplo, mientras que de los restantes sólo se dan resultados. Los cálculos completos se localizan en la memoria técnica. Una vez calculado el número de escurrimiento para todo el municipio, se seleccionó cada cuenca para modelar la precipitación efectiva o en exceso y los caudales máximos tomando como criterio una duración de tormenta igual al tiempo de concentración. Para lo anterior, se extrajo para la cuenca en estudio los números de escurrimiento propios de la cuenca del mapa general del municipio.

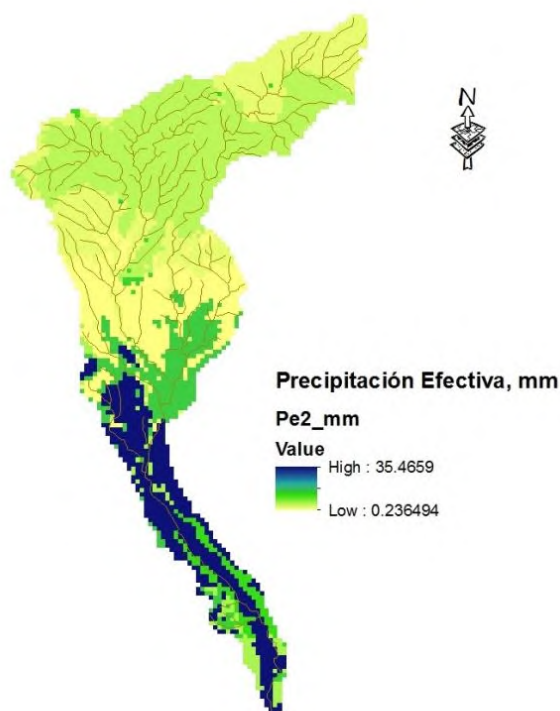
El procedimiento consistió, a grandes rasgos en:

1. El archivo vectorial con el valor de número de escurrimiento asignado se convirtió a *raster*.
2. Empleando algebra de mapas se obtiene la precipitación efectiva con la expresión: $Power((P - (508 / "N") + 5.08), 2) / (P + (2032 / "N") - 20.32)$, donde "*N*" es la capa *raster* del número de escurrimiento para la cuenca en estudio y *P* es la precipitación en centímetros.
3. Determinando el valor promedio de la precipitación efectiva por estadística zonal de la capa *raster*, se obtiene un valor de precipitación efectiva promedio por celda.
4. El área total de la cuenca se divide por el área de la celda.
5. Este valor obtenido en el paso 3, se multiplica por la precipitación promedio, para obtener la cantidad total de lluvia que se convierte en escurrimiento.

6. La cantidad total de lluvia convertida en escurrimiento obtenida en el paso anterior debe ser igual a la cantidad total sumada celda por celda.
7. Demostrado lo anterior, la precipitación promedio se emplea en el método del SCS de los Estados Unidos mediante el software HEC-HMS para determinar el hidrograma y el caudal pico para los diferentes periodos de retorno.

Una imagen de los resultados obtenidos de la precipitación efectiva en la cuenca Santa Rosa para T_r igual a 2 años, se muestra enseguida:

Imagen 6-LXI. Precipitación efectiva en cuenca del Arroyo Santa Rosa para T_r 2 años.



Fuente: Elaboración propia.

La imagen muestra la precipitación que se convierte en escurrimiento en mm. Calculando el promedio para todas las celdas indica que este escurrimiento es de 8.96 mm para la cuenca Santa Rosa para un Tr de 2 años.

Tabla 6-XCIX. Precipitación efectiva promedio para los diferentes periodos de retorno

ARROYO SANTA ROSA	
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm
2	8.96
5	12.5
10	15.97
50	26.21
100	31.37
200	36.93

Fuente: Elaboración propia.

Las simulaciones se corrieron para tormentas de duración de entre las 14:00 y las 16:30 para todos los períodos de retorno, en la tabla siguiente se agregó el caudal pico, la hora en que ocurre y el volumen total de escurrimiento.

6.1.8.2.2 Hidrogramas.

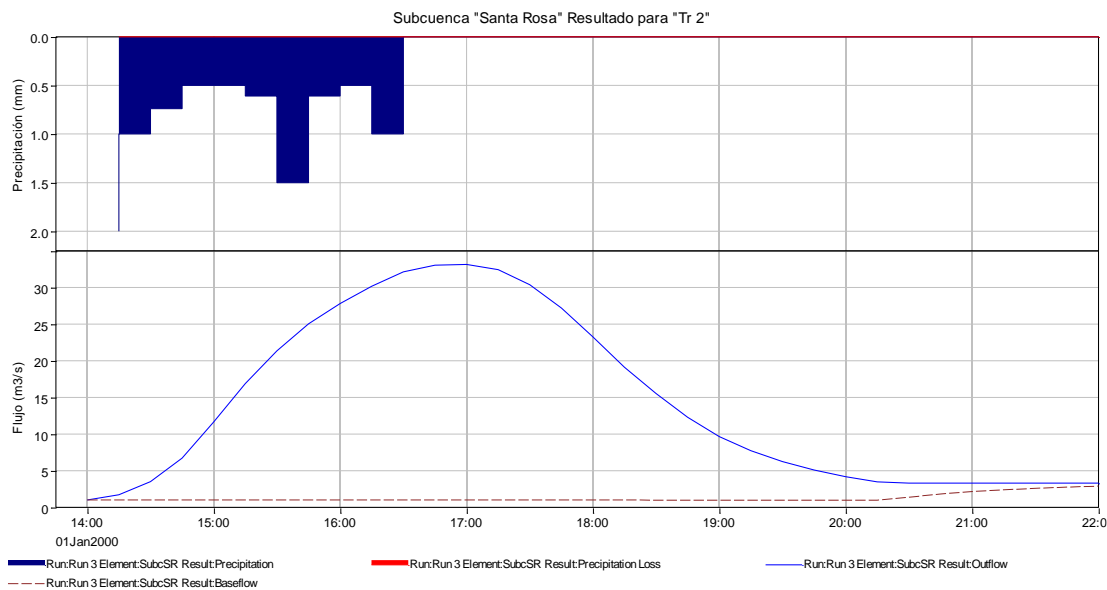
Tabla 6-C. Caudales máximos, tiempo del pico y volumen total de escurrimiento para Arroyo Santa Rosa.

ARROYO SANTA ROSA,				
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	Horas Trans.	Volumen Escurrecimiento (1000 m ³)
2	8.96	33.2	3	380
5	12.5	48.4		529.9
10	15.97	63.2		677.1
50	26.21	110.7		1111.1
100	31.37	136.5		1329.5
200	36.93	162.8		1565.7

Fuente: Elaboración propia.

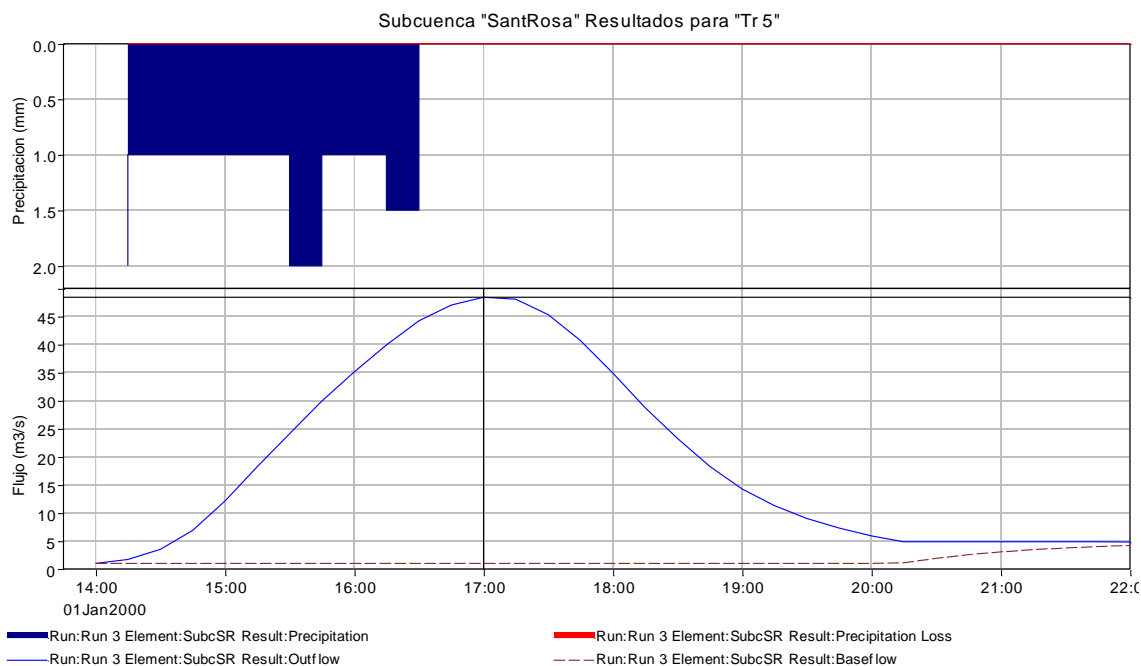
Como se puede notar en los hidrogramas siguientes no se señala que altura de precipitación se pierde como infiltración sino solo se muestra la altura total que escurre, este debido a que en el modelo se alimentó el dato de precipitación efectiva, es decir, la precipitación que se convierte en escurrimiento directo.

Gráfico 6-XXXIX. Hidrograma para Tr 2 años



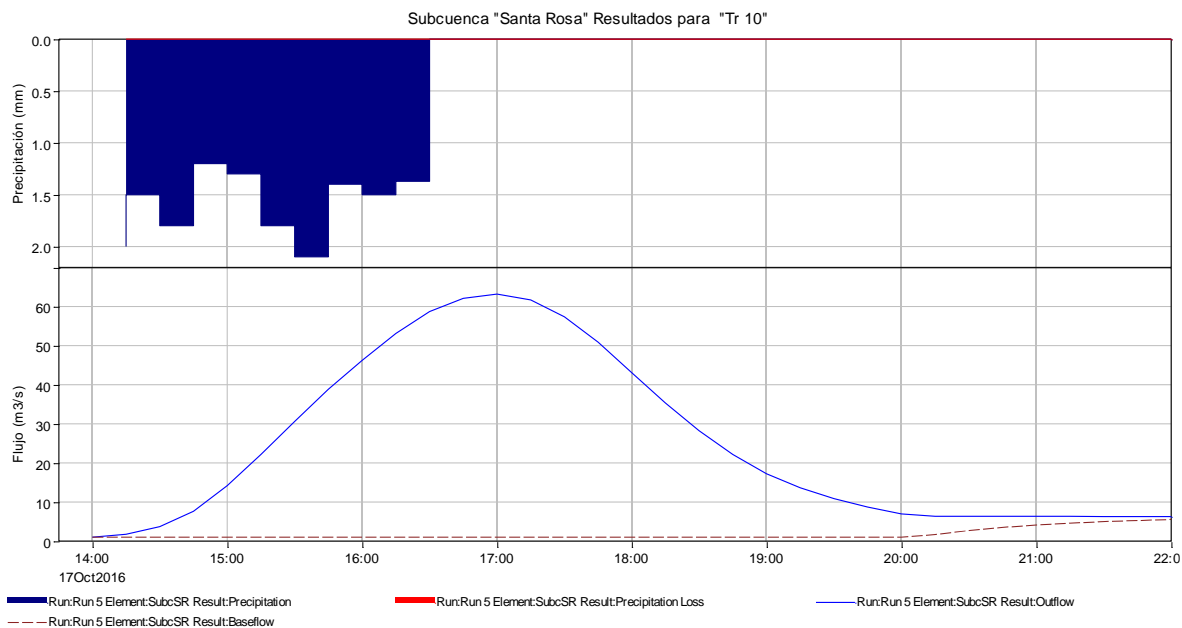
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XL. Hidrograma para Tr 5 años



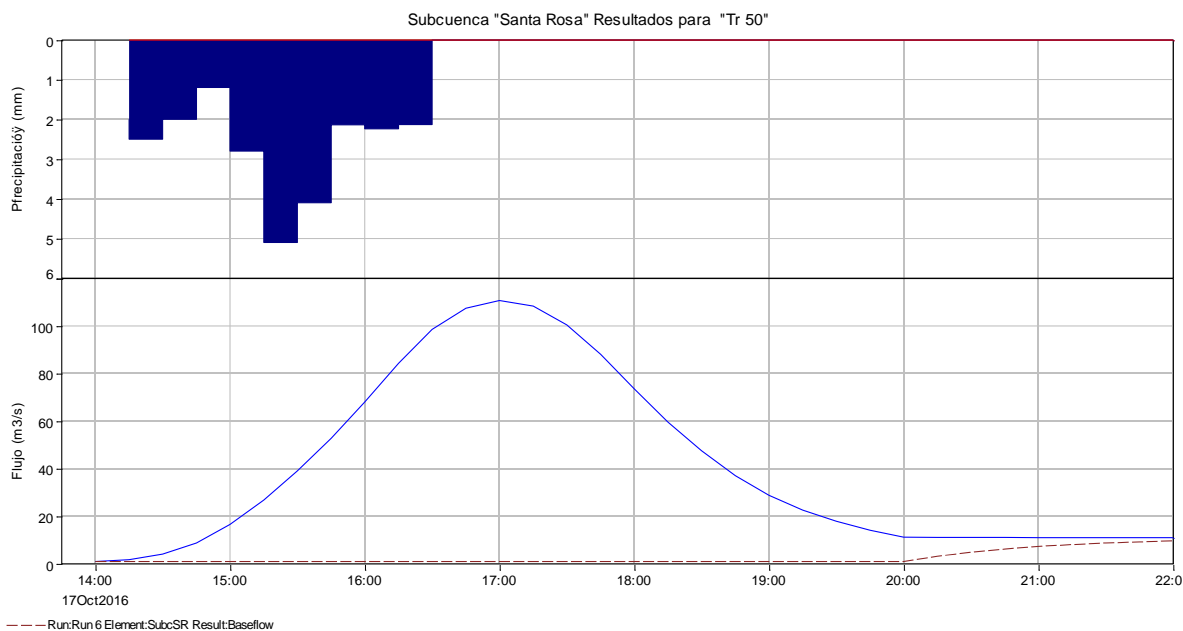
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLI. Hidrograma para tr 10 años.



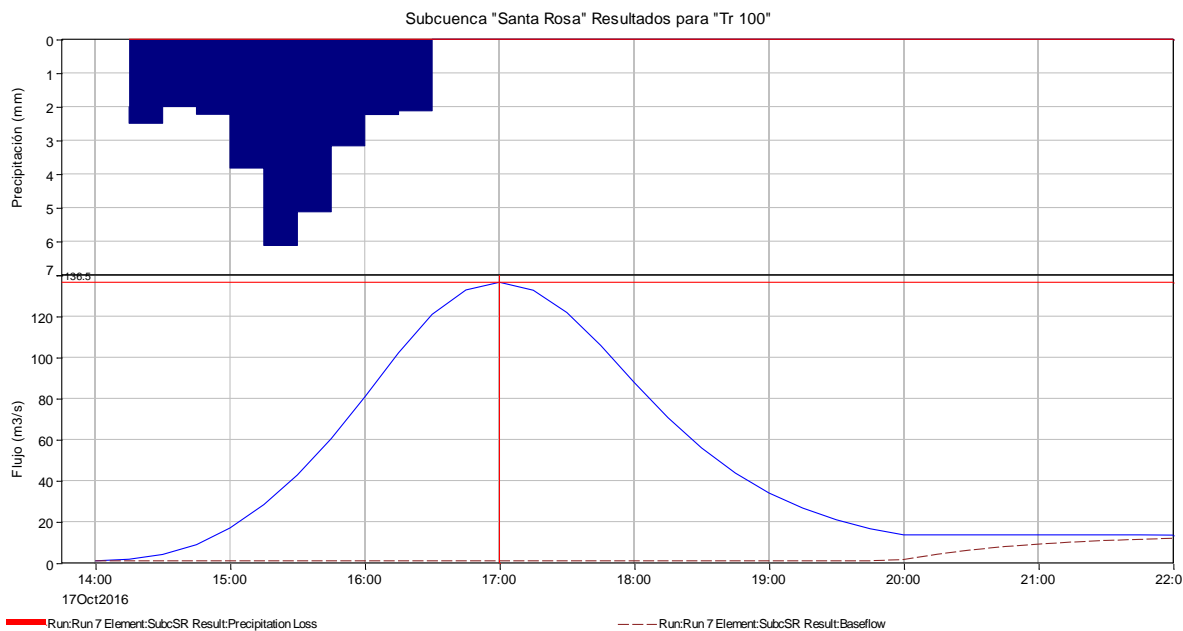
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLII. Hidrograma para tr 50 años.



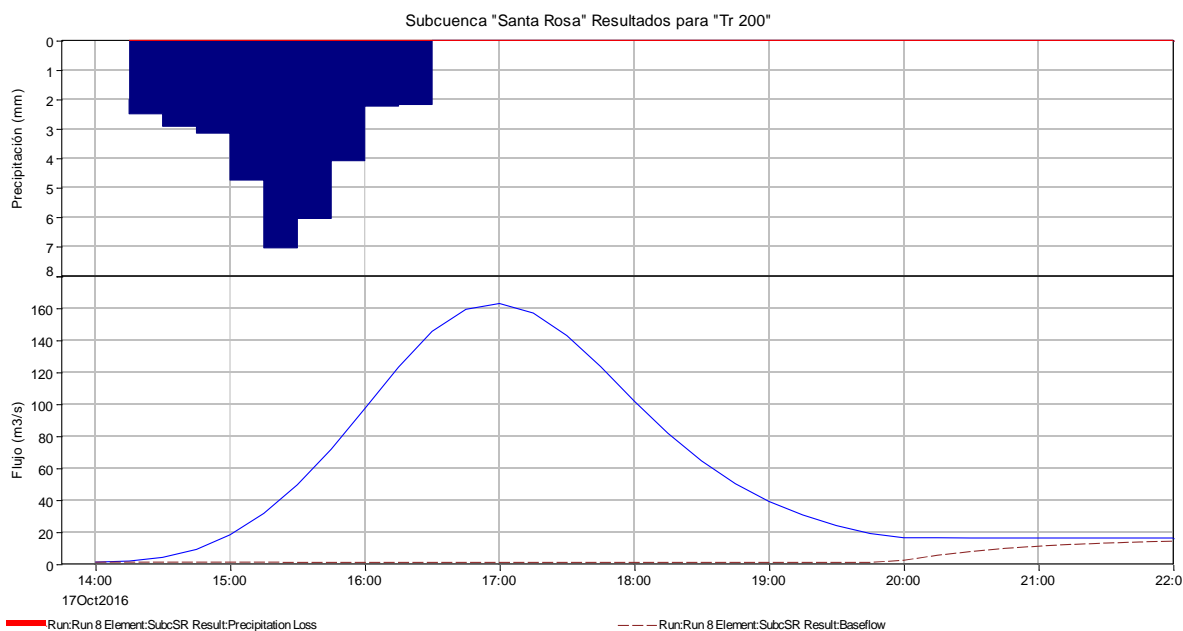
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLIII. Hidrograma para tr 100 años



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLIV. Hidrograma para Tr 200 años.



Fuente: Elaboración propia.

Arroyos De La Cofradía y El Caganche.

El arroyo el Caganche drena un área de 17.83 km, y corre al este de la cabecera municipal, su cauce principal presenta los siguientes índices morfométricos según el Simulador de flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas de INEGI.

Tabla 6-CI. Índices morfométricos del Arroyo El Caganche.

Arroyo El Caganche	
Propiedad	Valor
Elevación máxima	1363 m
Elevación media	1261 m
Elevación mínima	1160 m
Longitud	7532 m
Pendiente Media	2.70%
Tiempo de Concentración	71.55 (minutos)
Área Drenada	17.83 km2

Fuente: INEGI.

Tabla 6-CII. Precipitaciones efectivas promedio para la cuenca del Arroyo La Cofradía.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm
2	13.14
5	19.52
10	25.03
50	39.50
100	46.44
200	53.60

Fuente: INEGI.

Los caudales pico para los diferentes períodos de retorno, se calcularon tomando en consideración la duración de tormenta correspondiente al arroyo La Cofradía ya que se buscó obtener también el caudal pico que ingresa a la Presa La Pila. El inicio de la tormenta se fijó a las 14:00 y el término a las 16:30 horas. El caudal pico ocurre dos horas después de iniciada la tormenta.

Tabla 6-CIII- Índices morfométricos del Arroyo La Cofradía.

Arroyo De La Cofradía	
Propiedad	Valor
Elevación máxima	2301 m
Elevación media	1730 m
Elevación mínima	1160 m
Longitud	15215 m
Pendiente Media	7.50%
Tiempo de Concentración	86.77 (minutos)
Área Drenada	41.13 km ²

Fuente: INEGI

Tabla 6-CIV. Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para el Arroyo El Caganche.

ARROYO EL CAGANCHE				
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	Hora	Volumen Escurrimiento (1000 m ³)
2	13.14	31.2	16:00	234.3
5	19.52	48.4	16:00	348
10	25.03	61.2	16:00	446.3
50	39.5	85.7	16:00	704.3
100	46.4	101.9	16:00	827.3
200	53.6	120	16:00	955.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CV Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para el Arroyo La Cofradía.

ARROYO DE LA COFRADIA				
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	Hora	Volumen Escurrimiento (1000 m ³)
2	13.14	57.3	16:50	540.4
5	19.52	88.4	16:50	802.8
10	25.03	114	16:50	1029.5
50	39.5	168.3	16:50	1624.6
100	46.4	198.7	16.50	1908.4
200	53.6	229.2	16:50	2204.5

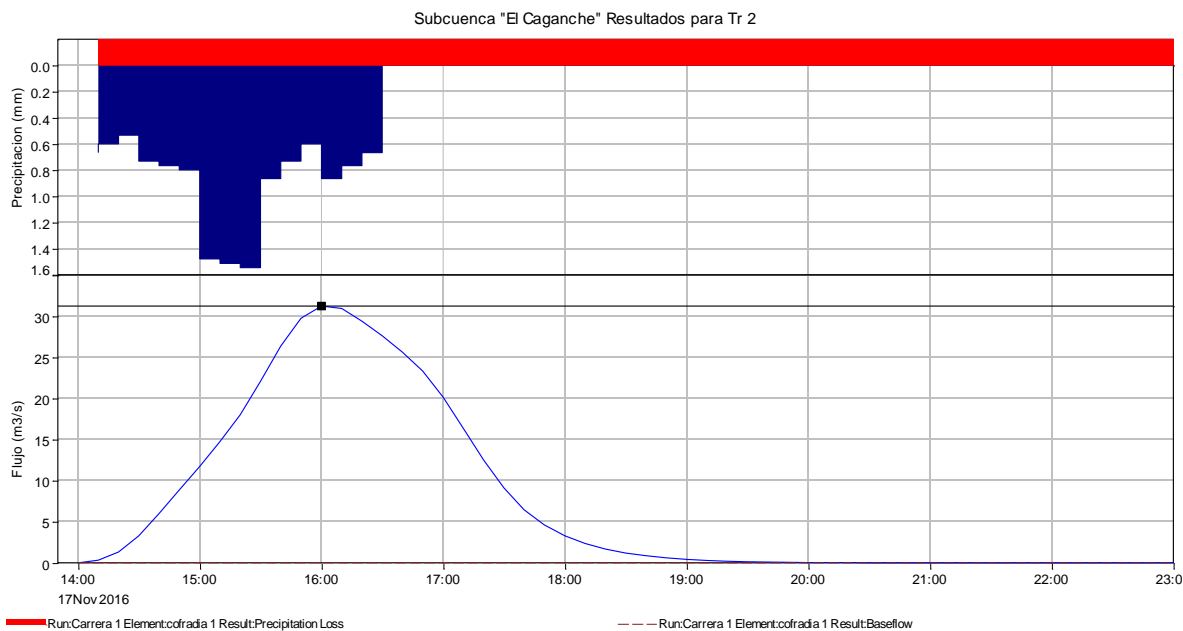
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CVI Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para la Presa La Pila.

PRESA LA PILA				
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	Hora	Volumen Escurrimiento (1000 m ³)
2	13.14	83.3	16:30	774.7
5	19.52	128.7	16:30	1150.9
10	25.03	167.3	16:40	1475.8
50	39.5	246.9	16:40	2328.9
100	46.4	290.2	16:40	2735.7
200	53.6	333.3	16:40	3160.2

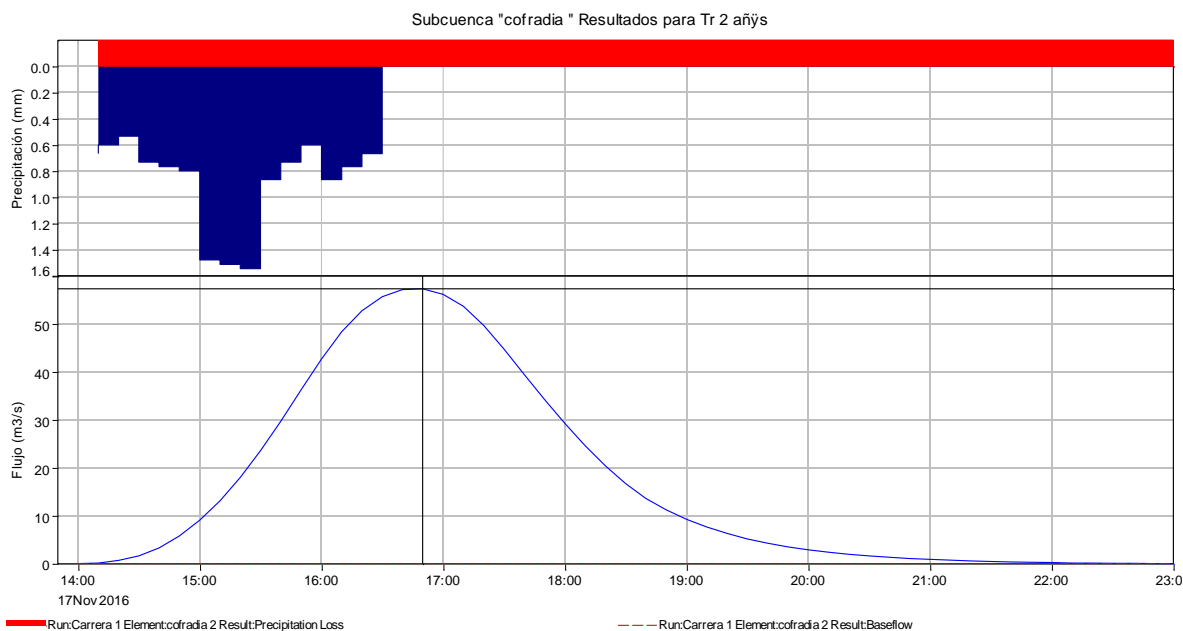
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLV. Hidrograma para Arroyo El Caganche para Tr 2 años.



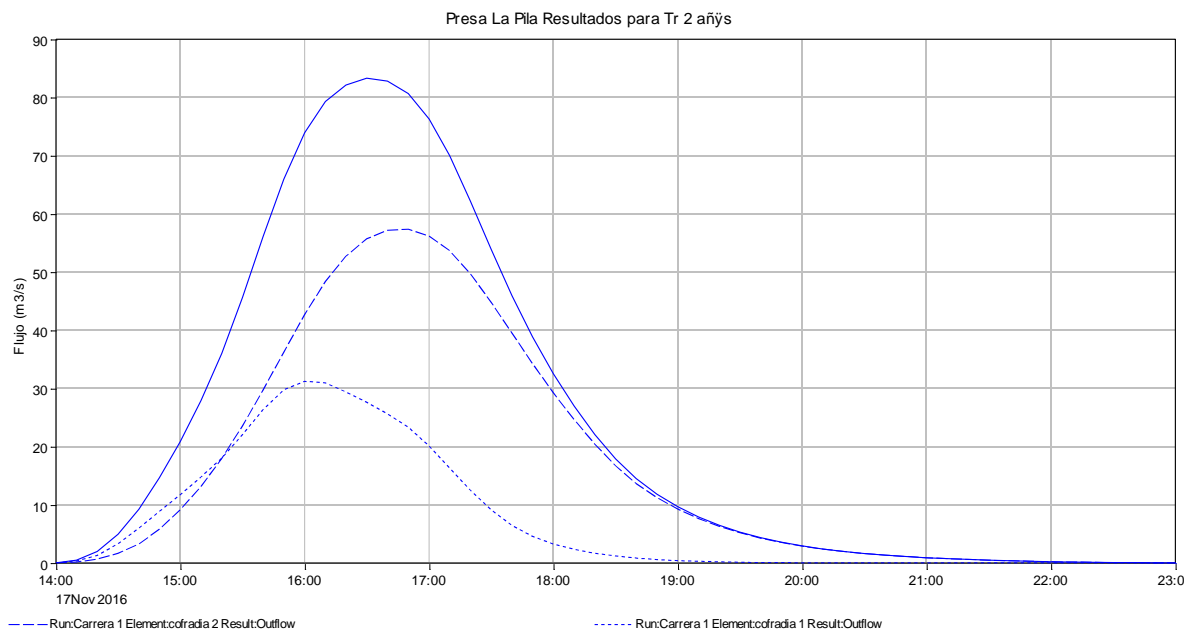
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLVI. Hidrograma para Arroyo La Cofradía para Tr 2 años.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLVII Hidrograma para Presa La Pila para Tr 2 años.



Fuente: Elaboración propia.

Tamazulita

Los parámetros morfométricos de esta subcuenca son los que se muestran en la siguiente tabla. La localidad está dividida por el paso del arroyo Tamazula.

Existe en la localidad un puente antiguo que es necesario remodelar pues ante eventos de precipitación intensa es insuficiente para transitar la avenida, circunstancia que se agrava por el arrastre de sedimentos y residuos.

Imagen 6-LXII. Puente en Arroyo Tamazula en Tamazulita.



Fuente: IIEG.

Tabla 6-CVII. Precipitaciones efectivas promedio para la cuenca del Arroyo Tamazula

Tr	Precipitación efectiva promedio, mm
2	12.84
5	20.63
10	27.44
50	45.50
100	54.02
200	62.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CVIII. Caudales máximos, tiempo del pico y volumen escurrido por Arroyo Tamazula.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	Horas Después	Volumen Esguerrimiento (1000 m ³)
2	12.84	97.5	4:00	1493
5	20.63	169.8	4:00	2389.7
10	27.44	220.5	4:00	3211.7
50	45.80	355.3	4:00	5358.1
100	54.02	420.4	4:00	6321.6
200	62.92	486.4	4:00	7357.4

Fuente: Elaboración propia.

Quila

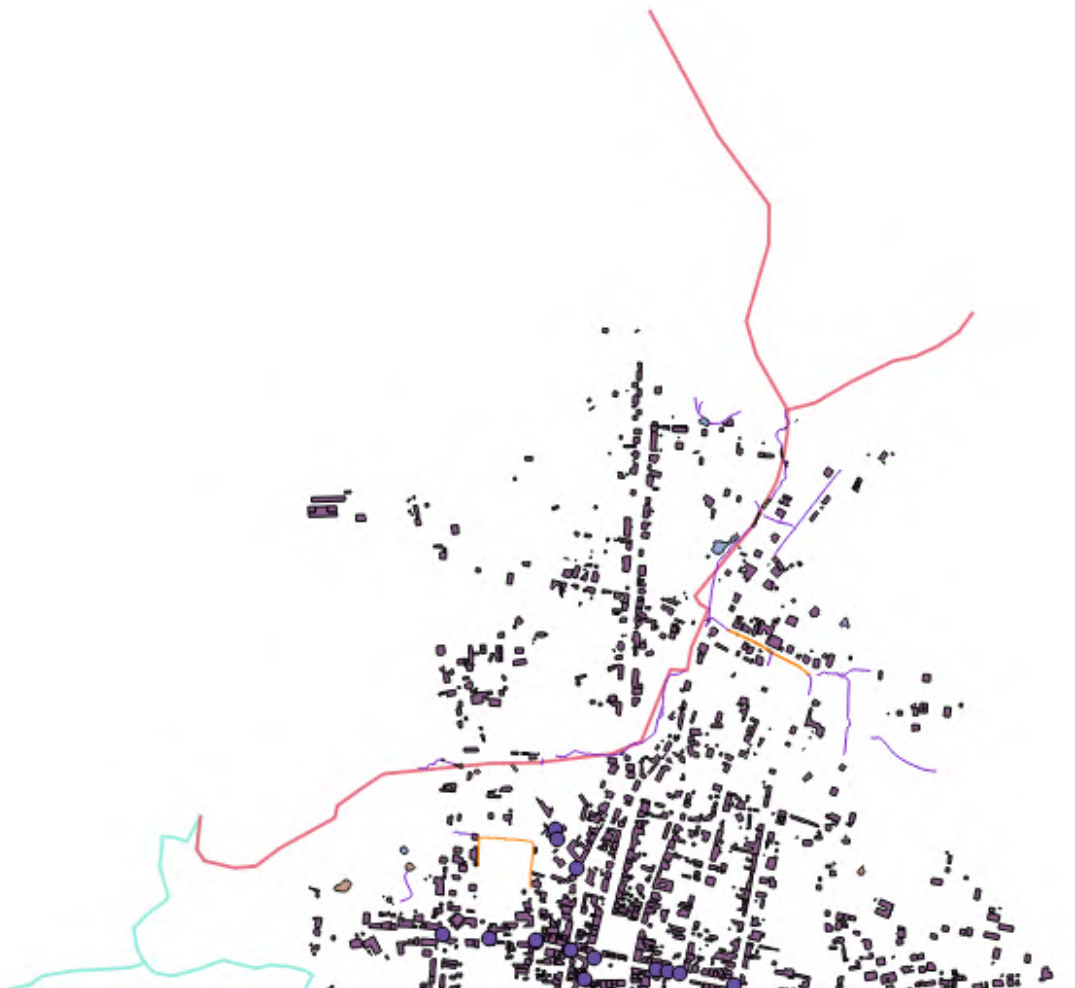
La localidad de Quila hidrológicamente pertenece a la subcuenca Río Ayuquila, para el análisis del peligro por inundación se consideró el área drenada por el Río Chico ya que el Río Grande no afecta a la comunidad.

Sobre el cauce del Río Chico, en el lado sur de la localidad, existen dos puentes, uno de ellos da acceso a la carretera Guadalajara-Tecolotlan-Quila, mientras que el otro es de tránsito local. En el lado norte incide un pequeño arroyo temporal que escurrir sobre suelos degradados y causa algunas pequeñas zona de inundación y transita con dirección sur y luego oeste, se une corriente abajo, fuera de la comunidad, con el Río Chico y el Río Grande.

El análisis hidrológico efectuado dividió la zona en estudio en dos subcuencas, una la del Río Chico con 14.70 km² de área y una subcuenca de 0.80 km² drenada por un afluente intermitente del Río Chiquito. Estas dos subcuencas se unen antes del puente sobre la carretera Guadalajara-Tecolotlán-Quila, mientras que el puente de tránsito local está corriente arriba de esta unión.

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico.

Imagen 6-LXIII. Localidad de Quila y los arroyos que inciden sobre ella.



Fuente: Elaboración propia.

Para modelar las posibles planicies de inundación se consideraron los datos:

Tabla 6-CIX. Precipitación efectiva promedio para la cuenca del Rio Chico.

Tr	Precipitación efectiva promedio, mm
2	10.37
5	16.38
10	21.73
50	36.15
100	43.04
200	50.26

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos anteriores los caudales pico obtenidos con HEC-HMS vr. 4.1 son:

Tabla 6-CX. Caudales máximos, tiempo pico y volumen total descargado por Rio Chico

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Trans.	Volumen Descargado (1000 m ³)
2	10.37	22.2	2:10	197.1
5	16.38	32.3		281.1
10	21.73	44.5		362.3
50	36.15	73.4		573.3
100	43.04	87.2		674.3
200	50.26	101.6		780.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXI. Caudales máximos, tiempo pico y volumen escurrimiento por afluente Rio Chico.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Trans.	Volumen Escurrimiento (1000 m ³)
2	10.37	2.1	1:10	8.3
5	16.38	2.7		12.9
10	21.73	3.8		17.4
50	36.15	6.3		28.9
100	43.04	7.6		34.4
200	50.26	8.8		40.2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXII. Caudales máximos, tiempo pico y volumen total descargado por Rio Chico y afluentes.

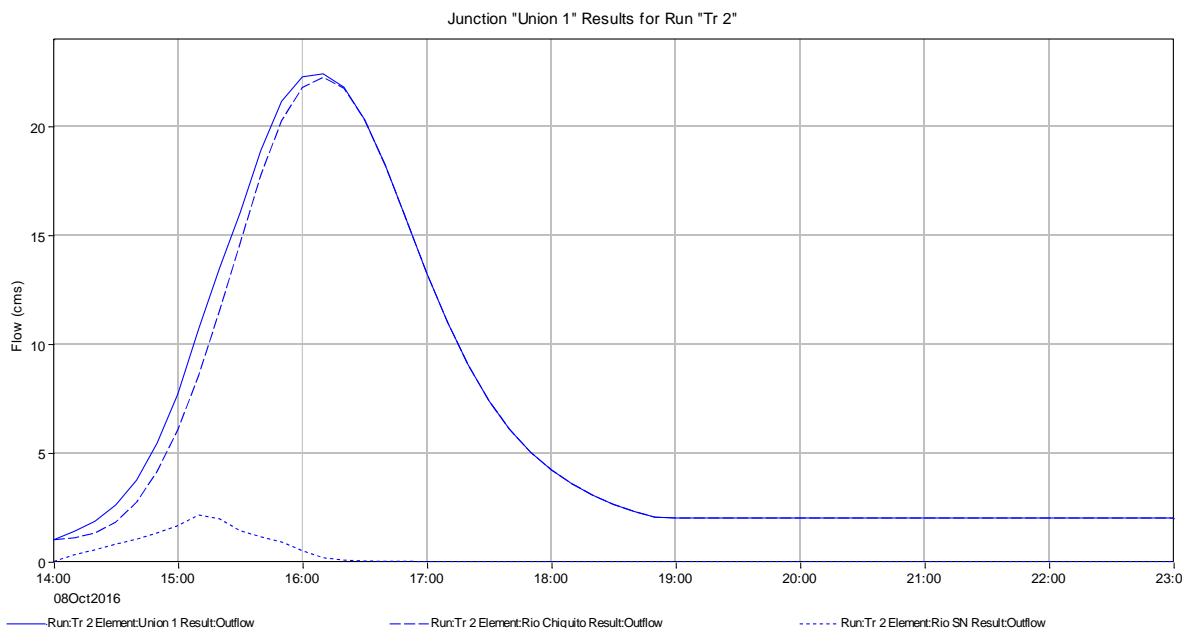
Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Trans.	**Volumen desalojado (1000 m ³)
2	10.37	22.4	2:10	205.4
5	16.38	33.4		294
10	21.73	44.9		379.7
50	36.15	74		602.3
100	43.04	88		708.7
200	50.26	102.6		820.3

Fuente: Elaboración propia.

*Tiempo transcurrido desde el inicio de la tormenta al caudal pico.

** Volumen total: escurrimiento + flujo base

Gráfico 6-XLVIII. Hidrograma para tr 2 años, Rio Chico y afluente en Quila.



Fuente: Elaboración propia.

Palo Alto

Esta comunidad se localiza hacia el noroeste de la cabecera municipal. Lo mismo que otras localidades rurales, está dividida por un par de arroyos, perennes ambos: Arroyo Los Hornos y Arroyo La Presa, afluentes del Rio Tamazula.

Aguas arriba de la comunidad, los arroyos Los Hornos y La Presa drenan 218.2 y 245.18 hectáreas, respectivamente. El arroyo sin nombre que incide con dirección norte-sur en la parte este de Palo Alto drena una superficie de 25.67 hectáreas. La ubicación de la localidad antes mencionada y su cercanía a los arroyos Los Hornos y La Presa, se pueden apreciar claramente en la siguiente imagen.

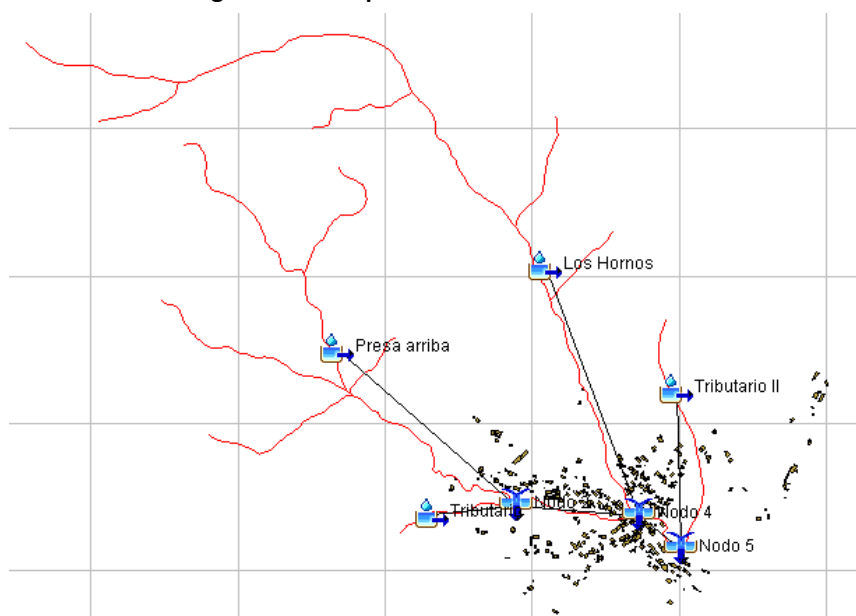
Imagen 6-LXIV. Palo Alto y los Arroyos La Presa y El Horno.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis realizado dividió la cuenca de los arroyos mencionadas como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 6-LXV. Esquema de análisis en HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia.

Se calculó las precipitaciones máximas para una tormenta de duración igual al tiempo de concentración para el arroyo La Presa, según lo cual la duración de la tormenta sería de 37.33 minutos y la precipitación total y efectiva resulta:

Tabla 6-CXIII. Precipitación total y efectiva para la cuenca del Arroyo La Presa.

Tr	P mm	Pe, mm
2	27.45	1.2
5	36.23	3.7
10	42.87	6.2
50	58.29	13.8
100	64.93	17.6
200	71.57	21.7

Fuente: Elaboración propia.

Los caudales máximos que se obtienen en los arroyos La Presa, El Horno, y los puntos de unión de estos con sus afluentes y entre sí, esto es, los puntos que aparecen en la imagen como nodo 4 y 5, resultaron:

Tabla 6-CXIV Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado por Arroyo La Presa

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m ³)
2	1.2	1.1	0.83	6.7
5	3.7	2.9		11.9
10	6.2	4.6		16.8
50	13.8	9.7		32.9
100	17.6	12.2		41.3
200	21.7	15.1		50.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXV Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado por Arroyo El Horno.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m3/s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m3)
2	1.2	1.2	0.83	6.9
5	3.7	3.1		12.5
10	6.2	5		17.9
50	13.8	10.5		35.5
100	17.6	13.3		44.7
200	21.7	16.4		54.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXVI. Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado en el punto de unión La Presa - El Horno

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m3/s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m3)
2	1.2	2.6	0.66	14.4
5	3.7	7		26.9
10	6.2	11.1		39
50	13.8	23.6		77.6
100	17.6	29.9		97.8
200	21.7	36.9		120.1

Fuente: Elaboración propia.

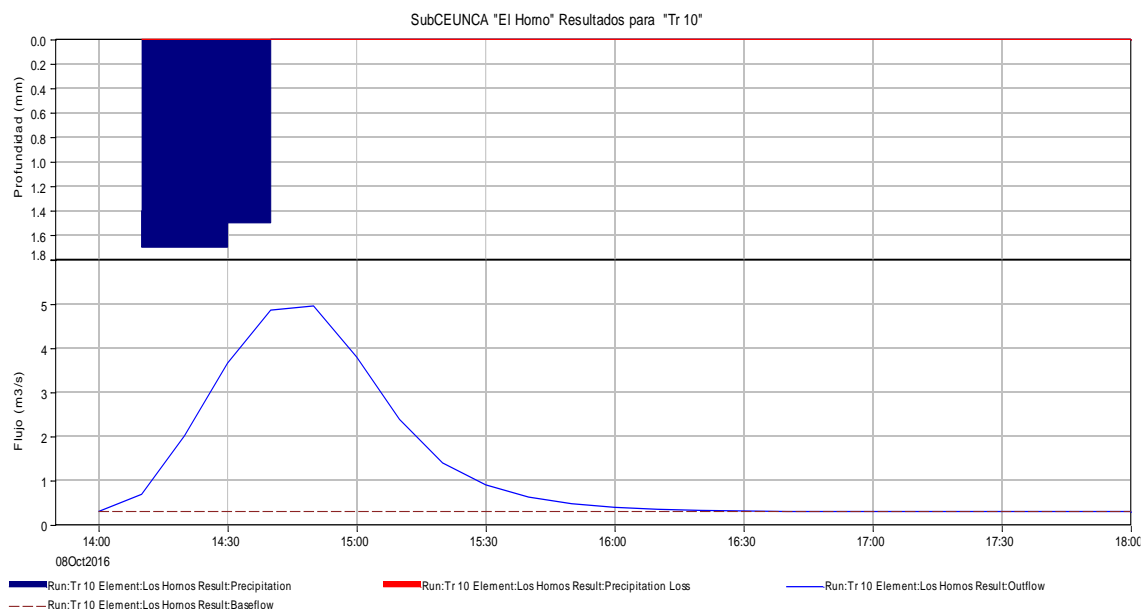
Tabla 6-CXVII. Caudales máximos, tiempo pico y volumen escurrimiento en el nodo 5.

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m ³)
2	1.2	2.7	0.66	14.7
5	3.7	7.3		27.9
10	6.2	11.7		40.5
50	13.8	25		81.1
100	17.6	31.7		102.2
200	21.7	39.1		125.6

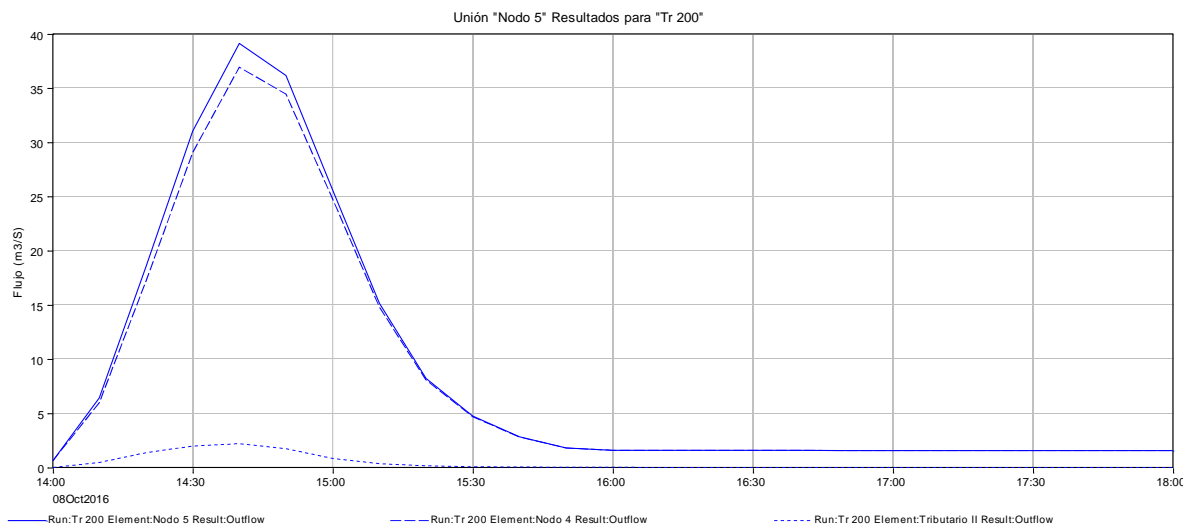
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-XLIX. Hidrograma para la subcuenca del Arroyo El Horno, tr 10 años.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-L. Hidrograma en el nodo 5, tr 10 años.



Fuente: Elaboración propia.

San Buenaventura

Para el cálculo de los caudales máximos transportados por el Arroyo La Florida, de condición intermitente, se recurrió a información de INEGI para lluvia probabilística con duración de una hora (el tiempo de concentración para el cauce considerado es de 61 minutos), estos datos se utilizaron para determinar la precipitación efectiva por medio del número de escurrimiento, el cual también se determinó para esta cuenca, siguiendo el procedimiento ya descrito.

Tabla 6-CXVIII. Precipitación total y efectiva para San Buenaventura.

Tr, años.	Precipitación, en mm/hr	Pe, mm
2	36.92	6.17
5	48.7	8.81
10	56.62	11.13
50	86.06	22.93
100	94.39	26.93
200	102.72	31.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXIX. Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado en el arroyo La Florida.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m ³)
2	6.17	36.2	1.16	145.5
5	8.81	51.7	1.16	208
10	11.13	65.2	1.16	262
50	22.93	134.4	1.16	540.3
100	26.93	157.9	1.16	635.1
200	31.18	182.9	1.16	735.6

Fuente: Elaboración propia.

Cofradía de Duendes

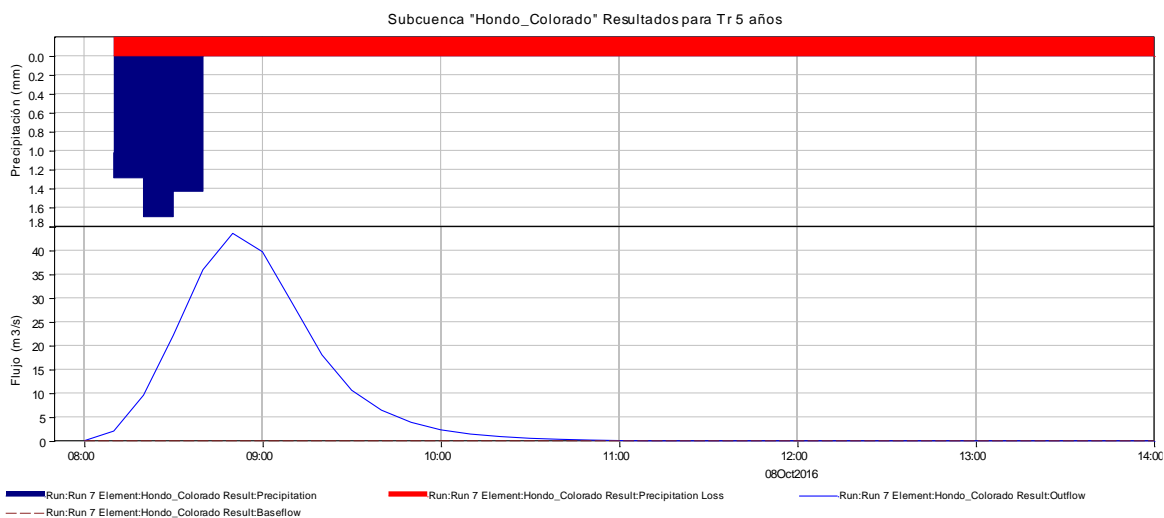
Para el caso de los arroyos Hondo y Colorado, los cuales se unen a la altura de la comunidad Cofradía de Duendes, se determinó únicamente los caudales pico para los diferentes períodos de retorno con la metodología ya mencionada, ya que no se contó con información topográfica suficiente para determinar velocidad y profundidad del flujo. Los resultados de la simulación en HEC-HMS son los siguientes:

Tabla 6-CXX Caudales pico en Unión Arroyos Hondo-Colorado.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m ³ /s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m ³)
2	4.15	29.9	0.83	93
5	6.05	43.6		135.6
10	10.84	78		242.8
50	14.04	100.9		314.1
100	16.88	121.6		378.4
200	19.95	143.5		446.7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LI. Hidrograma para los arroyos Hondo y Colorado, punto de unión.



Fuente: Elaboración propia.

Ayotitlán

En Ayotitlán, localizado cerca de los márgenes del Arroyo El Tacote que es el cauce principal de una cuenca de 63 km³, y es cruzada por un arroyo sin nombre que drena un área de 7.83 km², tampoco se contó con información topográfica para la zona, por lo que el análisis se limita a determinar los caudales máximos para ambos cauces y su unión, la cual ocurre a la altura del poblado.

Tabla 6-CXXI. Caudales máximos en Arroyo El Tacote.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m³/s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m³)
2	6.34	51.1	2:15	395.4
5	10.39	82.3	2:15	687.4
10	13.63	108	2:15	897.0
50	23.03	181.7	2:15	1436.9
100	27	212.5	2:15	1683.2
200	31.35	246.7	2:15	1955.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXXII. Caudales máximos en arroyo Sin Nombre.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m3/s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m3)
2	6.34	10.3	1:15	49.6
5	10.39	16.8	1:15	80.9
10	13.63	22.2	1:15	106.6
50	23.03	37.5	1:15	180.4
100	27	43.9	1:15	211.3
200	31.35	51	1:15	245.5

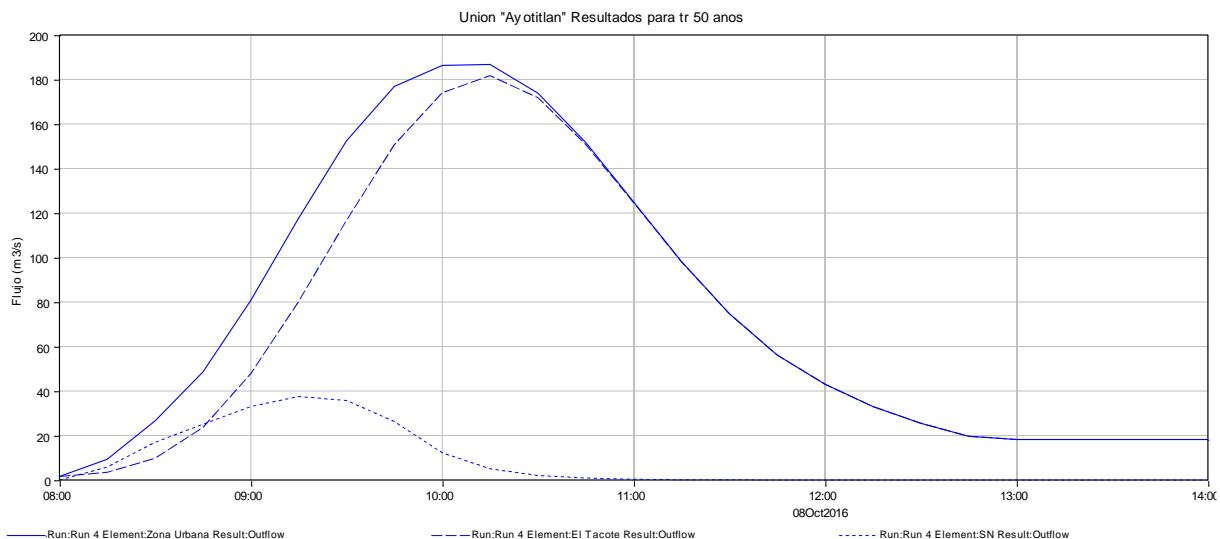
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXXIII. Caudales máximos en punto de unión Arroyo El Tacote y Arroyo Sin Nombre.

Tr	Precipitación Efectiva promedio, mm	Caudal pico m3/s	*Horas Después	**Volumen desalojado (1000 m3)
2	6.34	52.4	2:15	482
5	10.39	84.5	2:15	768.3
10	13.63	111	2:15	1004.4
50	23.03	186.7	2:15	1680.6
100	27	218.4	2:15	1964.1
200	31.35	253.4	2:15	2277.1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LII. Hidrograma para tr 50 años, unión El Tacote- Arroyo SN



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LXVI. Arroyos El Tacote y SN a la altura de Ayotitlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.3 Nivel 3: Metodología

Se formulan modelos matemáticos para simular las inundaciones por lluvia de cuenca propia (flujo bidimensional) con la paquetería Hec-GeoRas, Hec-Ras y Arcmap 10.2.

Con el fin de determinar una adecuada gestión de riesgos en las llanuras de inundación y definir los niveles de peligro por inundación a partir de las velocidades de inundación y el tirante, se emplea el Diagrama de Dórrigo que muestra datos valiosos de la relación velocidad del flujo/profundidad hidráulica de inundación (resistencia al vuelco).

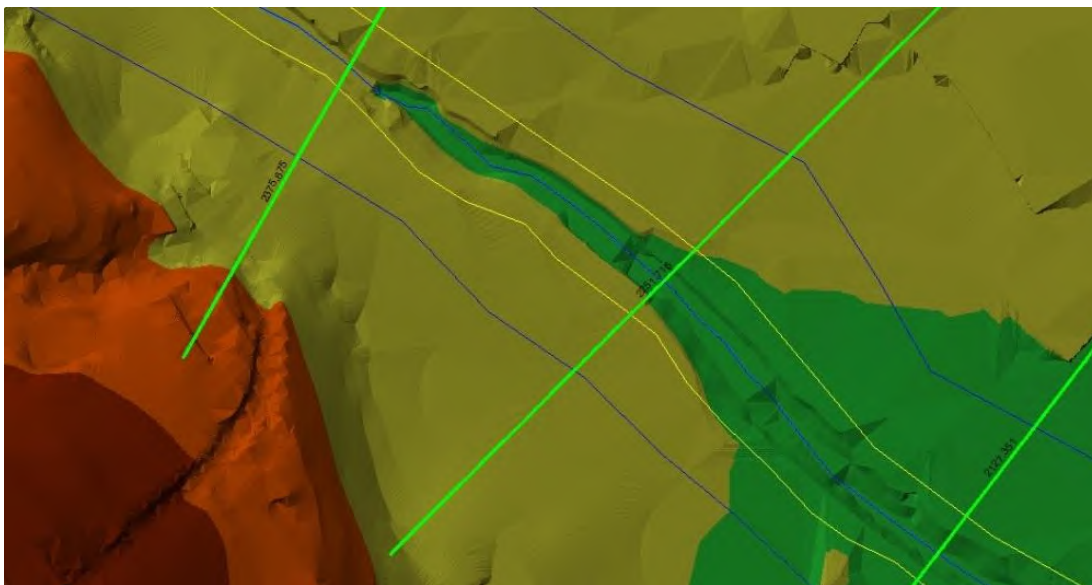
Se entregan mapas con los valores máximos (envolventes) del producto instantáneo de la velocidad del flujo por la profundidad de inundación (resistencia al vuelco).

Se obtienen los gastos promedio para tormentas con duración igual al tiempo de concentración y se obtienen las profundidades y velocidades promedio asociadas a 2, 5, 10, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno.

Cabecera Municipal

El procedimiento seguido para obtener las zonas de inundación, la velocidad, profundidad y otros parámetros de las zonas de inundación consistió primero en obtener la geometría del cauce mediante el dato de las curvas de nivel y generar una red de triángulos irregulares o TIN, por sus siglas en inglés, empleando la herramienta HEC-GEORAS.

Imagen 6-LXVII. Superficie formada a partir de una red de triángulos irregulares y secciones transversales sobre el lecho del Arroyo Santa Rosa.

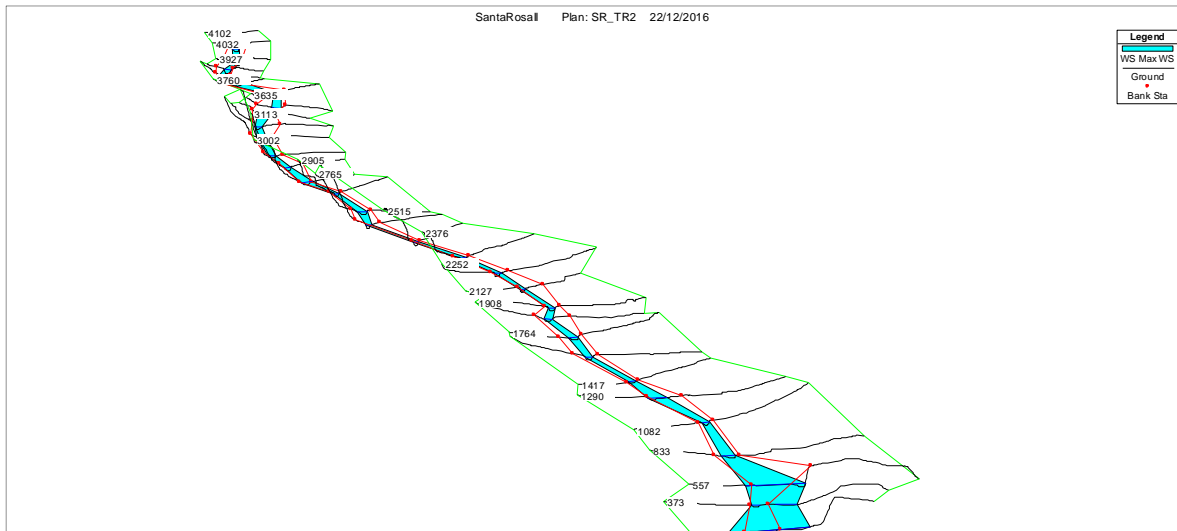


Fuente: Elaboración propia.

Ésta geometría se exporta a HEC-RAS, y se modela en modo no estacionario con base en los hidrogramas obtenidos en HEC-HMS para los diferentes periodos de retorno, el resultado se exporta nuevamente a HEC-GEORAS y así se obtienen archivos vectoriales y *raster* de la velocidad y profundidad de las zonas de inundación, esto es, resultados en 2D.

La imagen siguiente es el cauce a su paso por la cabecera Municipal con lluvia de un período de retorno de 2 años. Finalmente, se emplean las capas *raster* de velocidad y profundidad para obtener imágenes de índices de severidad de inundación mediante álgebra de mapa.

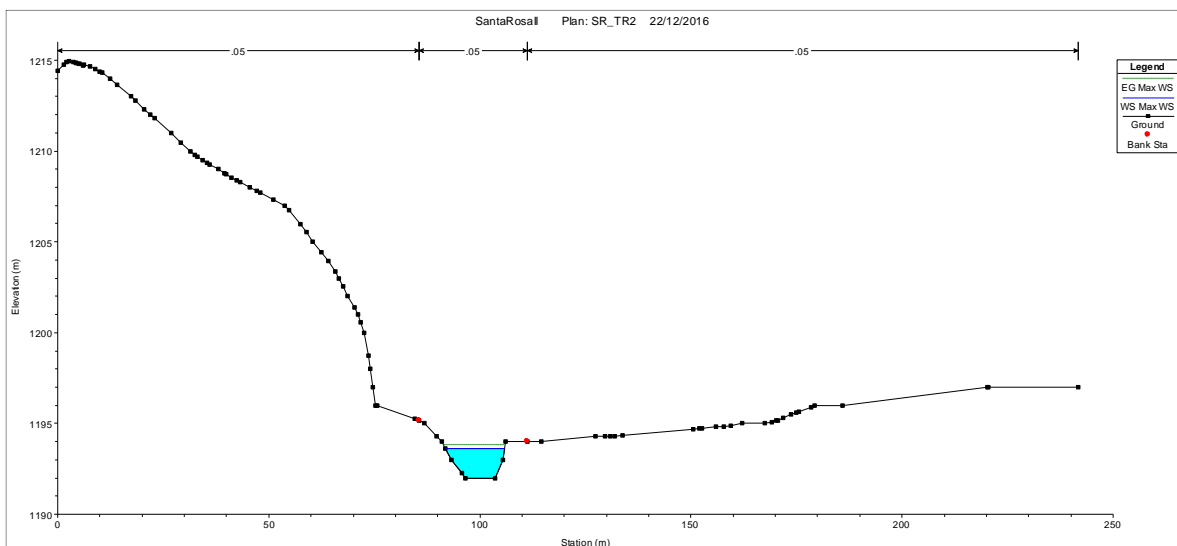
Imagen 6-LXVIII. Resultado obtenido en HEC-Ras para el Arroyo Santa Rosa.



Fuente: Elaboración propia.

Un detalle de la estación marcada con el número 2515 en la imagen anterior se muestra enseguida:

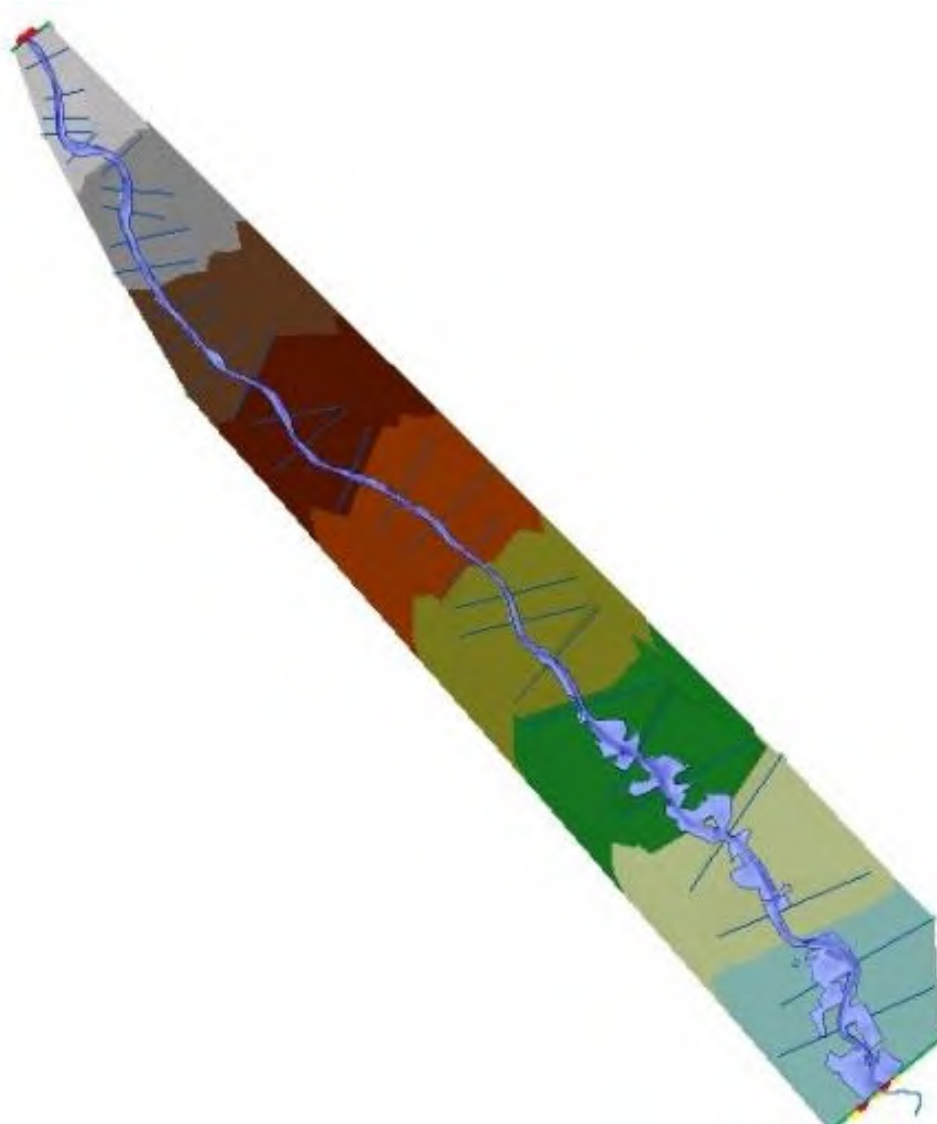
Imagen 6-LXIX. Imagen de una sección transversal en el Arroyo Santa Rosa.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado final obtenido con la plataforma utilizada se puede manejar en tres formatos: *shape, raster y kml*:

Imagen 6-LXX. Resultados que permiten visualizar profundidad y velocidad para una tormenta de intensidad determinada.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LXXI. Los resultados obtenidos mediante HEC-GEORAS pueden ser exportados a formato KML o KMZ y ser visualizados en Google Earth y otras plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.3.1 Análisis de resultados.

De los resultados obtenidos se desprenden varias conclusiones, entre ellas: las zonas de profundidad y velocidad máxima, las áreas susceptibles de inundación, los predios ubicados en zonas de riesgos y las medidas a tomar para disminuir la vulnerabilidad ante el peligro por inundaciones.

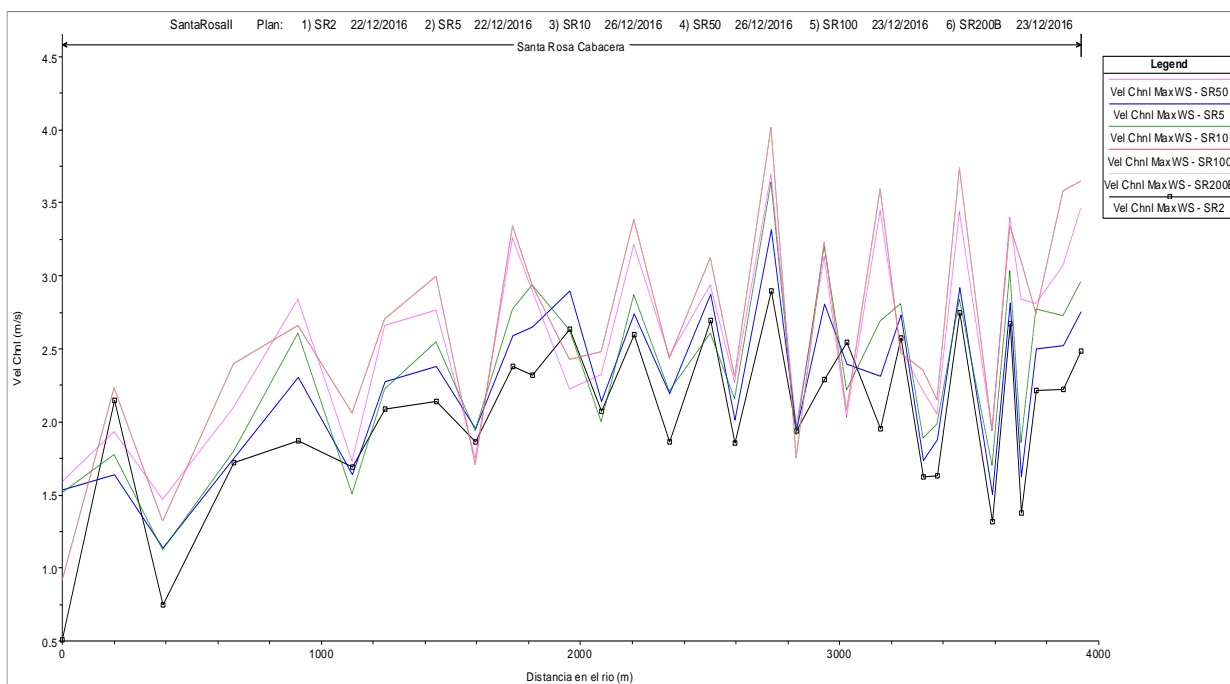
Estos puntos se exponen en forma de tablas, gráficas y mapas para cada una de las zonas analizadas en las que se contó con datos suficientes para desarrollar los modelos, para el caso de la Cabecera Municipal:

Tabla 6-CXXIV. Puntos de velocidades y profundidades máximas en el Arroyo Santa Rosa.

Tr	Velocidad Máxima, m/s	Coor Vel max		Profundidad Máxima, m.	Coor Prof max	
		x	y		x	y
2	2.894	598893	2234243	2.70	598390	2234940
5	3.319			3.0		
10	3.641			3.26		
50	3.689			3.934		
100	4.017			4.188		
200	4.017			4.188		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LIII. Velocidades máximas en m/seg para los diferentes periodos de retorno a lo largo del Arroyo Santa Rosa a su paso por la Cabecera Municipal.

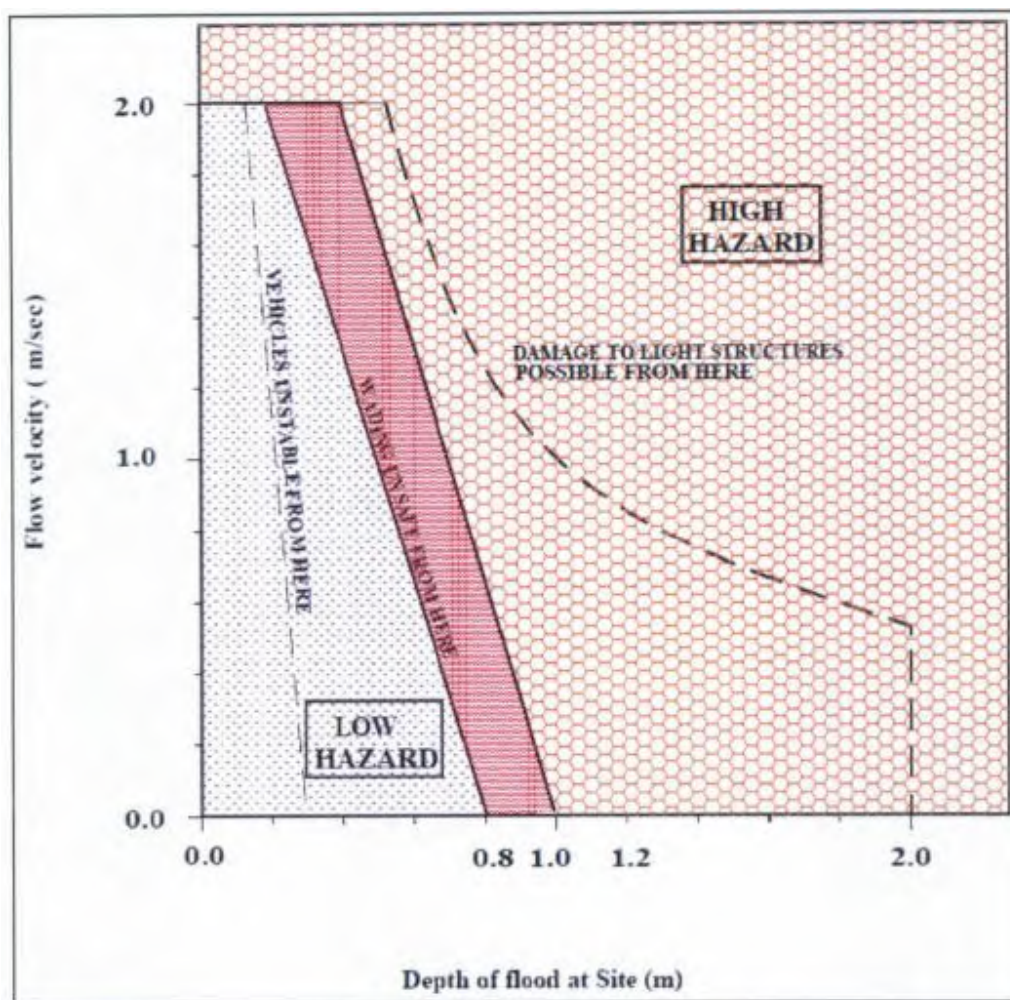


Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.3.2 Severidad de inundación.

El análisis de severidad se basa en el nomograma que se presenta en la imagen siguiente, el cual se realizó en 2006 para analizar la relación entre velocidad y profundidad de inundación en una localidad australiana llamada Dorrigo.

Gráfico 6-LIV. Grafica de Dorrigo.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de profundidad y velocidad en formato *raster*, se emplean para definir los niveles de severidad en función de la siguiente clasificación:

- 1= Peligro bajo
- 2 = Peligro bajo con inestabilidad de vehículos
- 3 = Encharcamientos inseguros
- 4 = Peligro Alto
- 5 = Peligro Alto con daño a estructuras ligeras

La expresión en álgebra de mapas utilizada para efectuar el procedimiento descrito es:

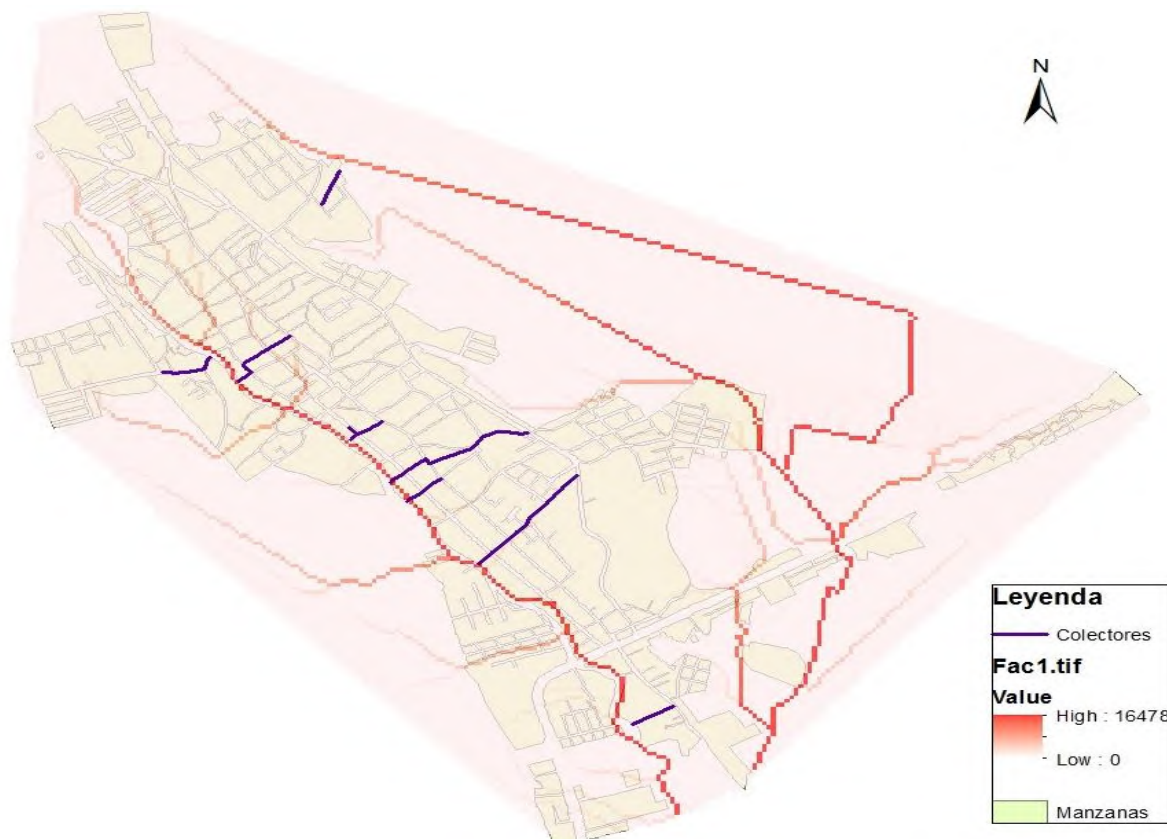
$\text{Con}((\text{"d Max WS"} > 2) \mid (\text{"v Max WS"} > 2) \mid ((\text{"d Max WS"} * \text{"v Max WS"}) > 1), 5, \text{Con}((3 * \text{"v Max WS"} + 10 * \text{"d Max WS"}) > 10, 4, \text{Con}((3 * \text{"v Max WS"} + 10 * \text{"d Max WS"}) > 8, 3, \text{Con}(\text{"d Max WS"} > 0.2, 2, 1))))$

6.1.8.3.3 Delimitación de cuencas urbanas en función de la red de colectores existente.

Para generar las cuencas urbanas se utilizó el paquete Arc Hydro tomando como base un MDE de la cabecera municipal a partir de curvas de nivel de un metro. Se procesó el modelo digital del terreno para llenar celdas vacías y definir direcciones y acumulación de flujo. Una vez hecho lo anterior se procedió a determinar las cuencas urbanas y finalmente se digitalizaron considerando los colectores existentes y/o reportados.

La red de colectores actuales y las líneas de escurrimientos en zona urbana sin considerar construcciones, (escurrimientos generados a partir de las curvas de nivel) es la que se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 6-LXXII. Red colectores y escurrimientos naturales en la cabecera municipal.



Fuente: Elaboración propia.

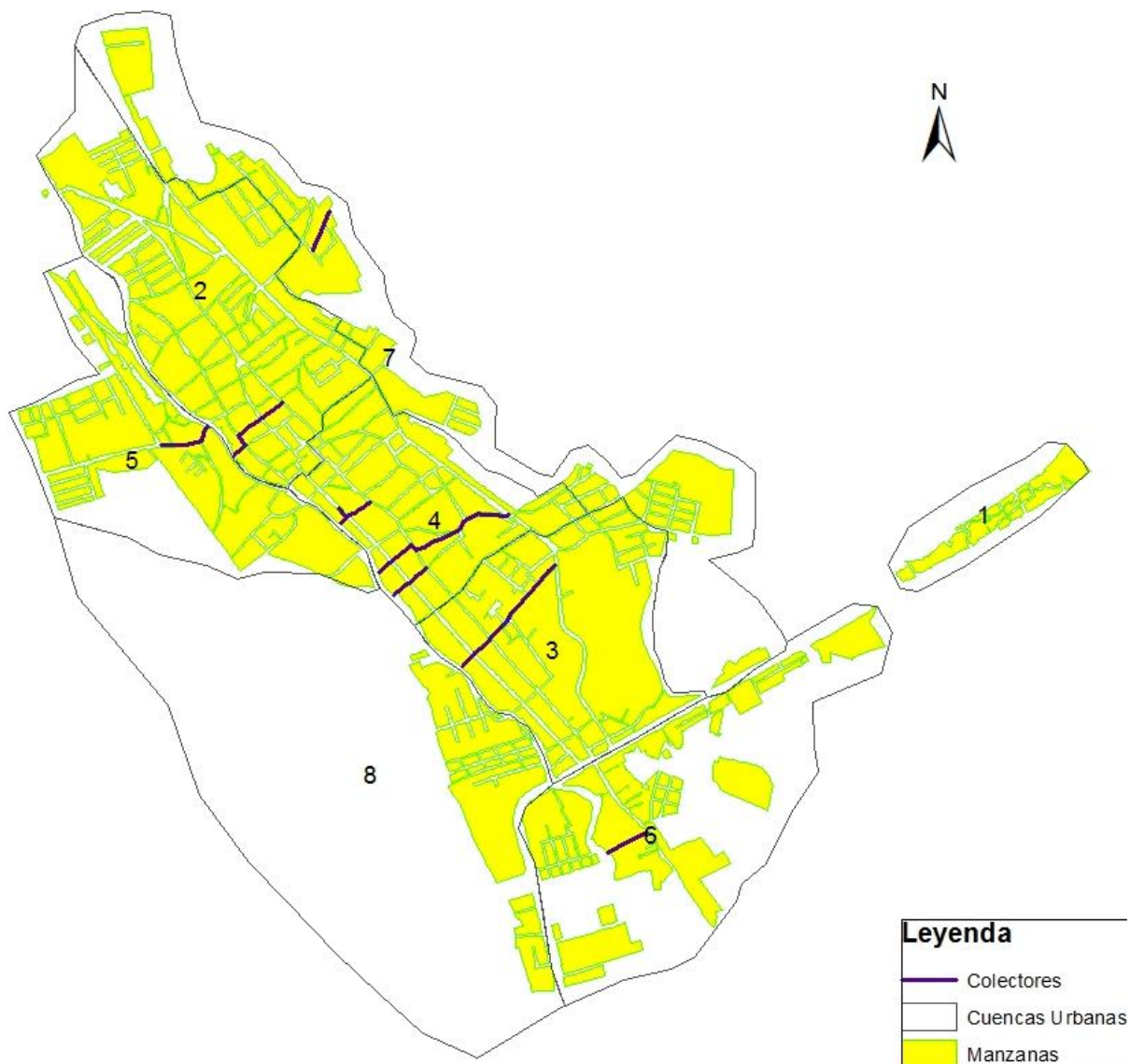
Imagen 6-LXXIII. Severidad de Inundación para una tormenta con periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Elaboración propia.

En función de la red de colectores existentes, las cuencas urbanas se delimitaron de la siguiente forma:

Imagen 6-LXXIV. Cuencas urbanas.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-CXXV. Áreas ocupadas por las cuencas urbanas

Cuenca	Área, ha
1	20.21
2	98.72
3	71.93
4	53.84
5	77.15
6	222.21
7	109.09
8	110.27

Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.3.4 Plantas de tratamiento de agua.

No existen plantas de tratamiento aguas residuales en el municipio de Tecolotlán por lo que las aguas residuales domésticas y de servicios se vierten a los arroyos y ríos que cruzan las localidades, por lo que resulta altamente recomendable la construcción de plantas de tratamiento para todas las localidades con más de 2500 habitantes.

Para el caso de un atormenta con periodo de retorno de 2 años, la severidad de la inundación y los predios afectables (polígonos en amarillo) se muestra en la siguiente imagen.

6.1.8.3.5 Estado de las principales presas ubicadas en el municipio.

Presa El Pochote

Construida y diseñada en 1979 por CONAGUA con fines de almacenamiento, localizada en la latitud 20.1613 grados y longitud -104. 0495 en una zona de alta sismicidad, es la fuente de agua para 355 ha de riego con un gasto máximo de 1000 m³/s. Es Alimentada por la

cuenca Las Piedras de 85.50 km², con escurrimientos de 10536700 m³/año (diez millones 536 mil 700 metros cúbicos anuales).

Su cortina tiene una altura de 25 metros y longitud de 90 metros, los vertedores tienen capacidad de 115 m³/s.

Tabla 6-CXXVI. Niveles y capacidades de la Presa El Pochote.

Niveles y capacidades del vaso	
Volumen al NAME	10.000 hm ³
Volumen al NAMO	7.0000 hm ³
Volumen al NAMINO	0.7000 hm ³
Volumen de Azolves	0.7000 hm ³
Volumen Útil	6.3000 hm ³
NAME	1166.9200
NAMO	1166.4000
NAMINO	1147.9700
Gasto máximo de diseño	170 m ³ /s

Fuente: CONAGUA: http://201.116.60.136/inventario/hnombre_presa.

Imagen 6-LXXV. Cortina de la Presa El Pochote



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LXXVI. Panorámica de la Presa El Pochote.



Fuente: Elaboración propia.

La presa El Pochote representa un riesgo potencial para las localidades Santa María y La Higuera en el Municipio de Juchitlán en caso de falla grave, pero quizás el mayor riesgo lo presente por los casos de ahogamiento y que se trata de un baso en el que se practica la pesca recreativa y es reconocido en este sentido por la calidad de sus aguas atrayendo turismo regional.

Presa Los Guayabos

De la presa Los Guayabos no se encuentran datos en el portal de CONAGUA, pero se puede que es alimentada por una cuenca de 44.81 km². Su cortina se eleva aproximadamente 10 metros desde el cauce y una longitud de 60 metros, construida con piedra y cemento. El mecanismo de control se encuentra averiado por lo que se construyó una toma alterna que provee de agua a parcelas y huertas situadas aguas abajo. Una falla en la cortina implicaría riesgos graves para huertas situadas muy cerca del Arroyo Ambrosio y específicamente para la localidad Tenextitlán.

Imagen 6-LXXVII. Panorámica de la Presa El Guayabo.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.4 Vulnerabilidad ante inundaciones.

Para poder establecer que existe un riesgo por inundaciones en un lugar es necesario que se combinen dos condiciones: que exista una probabilidad elevada de que ocurran precipitaciones máximas en 24 horas superiores a un cierto umbral y que la localidad tenga niveles de vulnerabilidad social de medios y altos.

La vulnerabilidad física ante inundaciones relaciona estadísticamente tirante de inundaciones, intensidad del fenómeno y los daños producidos en un bien expuesto.

6.1.8.4.1 Población y Vivienda

La población es el sujeto sobre el que recaen todos los efectos físicos e intangibles de un desastre. La correcta evaluación de la vulnerabilidad de la población es determinante en la planeación de medidas de prevención y mitigación de los efectos debidos a un evento de lluvias extremas.

La mayoría de las viviendas en la cabecera municipal están construidas con techos de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con viguetas y/o teja. Los muros de las viviendas están contruidos de tabique, ladrillo, adobe y block, recubiertos de una mezcla de cal y arena y en algunos casos arena y cemento. En las condiciones descritas la vulnerabilidad de las viviendas en el municipio es media para las construcciones con techo de teja y baja para las que cuentan con techo de losa de concreto, tabique o ladrillo.

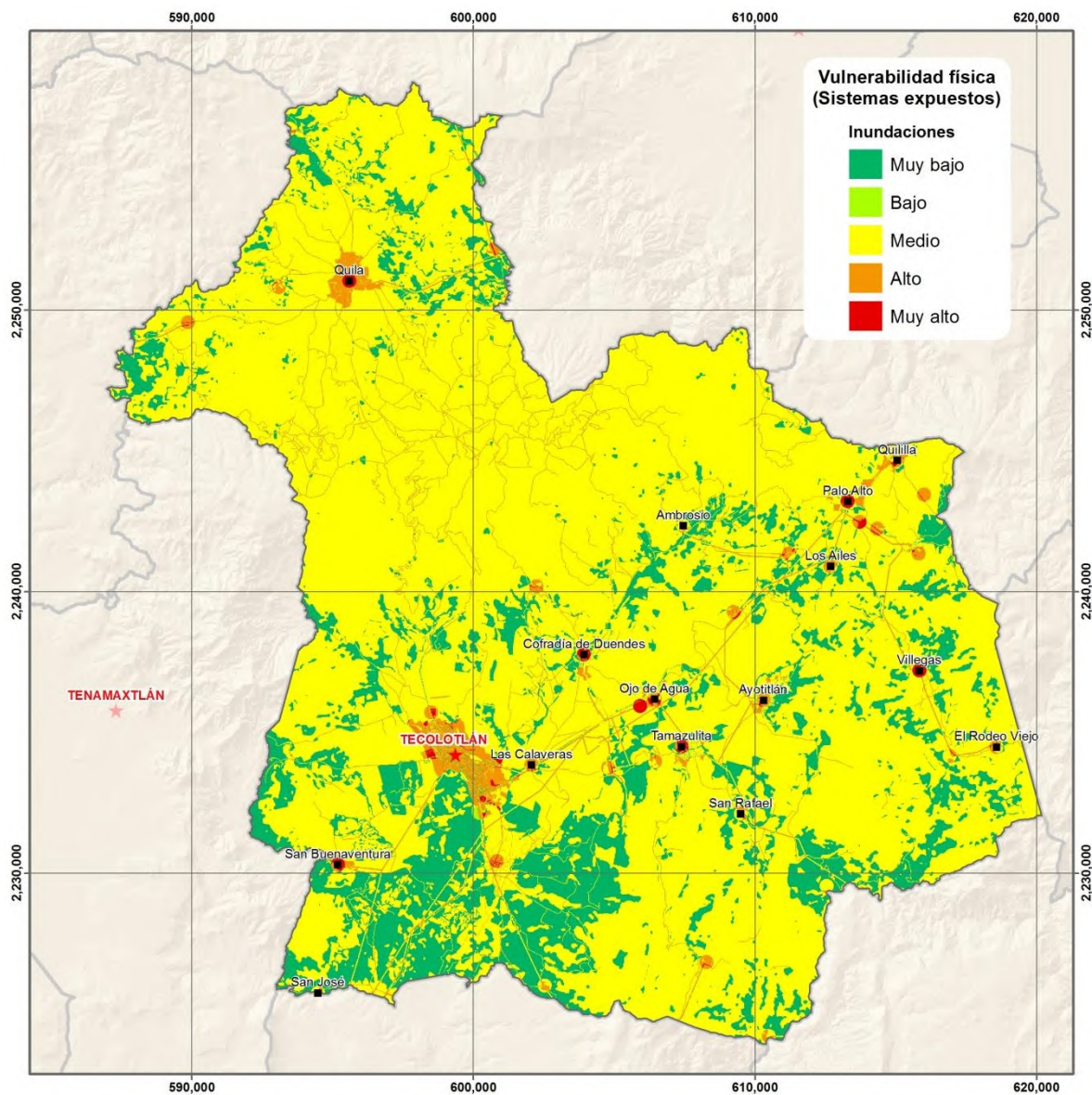
Además muchas de las viviendas categorizadas como de vulnerabilidad baja cuentan con automóvil y computadora, por lo que pasan a la categoría de vulnerabilidad muy baja. Los tipos de vivienda que se encontraron en el municipio son del III y IV. Los niveles de vulnerabilidad de la población y vivienda encontrados tomando estos criterios fueron:

Tabla 6-CXXVII. Niveles de vulnerabilidad de población y vivienda

Nivel	Criterio
Muy Bajo	Predios sin Población/ viviendas
Medio	Población/viviendas localizados en zonas urbanas
Alto	Población/viviendas localizadas en zonas cercanas a arroyos o cuerpos de agua

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LXXVIII. Vulnerabilidad física ante inundaciones.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.4.2 Infraestructura

Sector Electricidad

En el Municipio de Tecolotlán no existe infraestructura de generación de energía eléctrica, por lo que este sector está conformado solo por sistemas de distribución y transmisión, que para el caso de inundaciones suelen ser vulnerables.

Tabla 6-CXXVIII. Vulnerabilidad física, sector electricidad.

Infraestructura	Nivel
Poste de Alta tensión	Alto
Poste de CFE	Medio
Torre de Alta Tensión	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Sector Hidrocarburos.

La distribución y venta de los productos derivados del petróleo se puede desglosar según los principales sectores usuarios: combustibles gaseosos para uso doméstico-industrial; combustibles líquidos para uso del transporte carretero, y los residuos bituminosos que se utilizan generalmente en la construcción de caminos. Las instalaciones básicas consisten tanques de almacenamiento y centros de bombeo. Por la otra, en las estaciones típicas para el abastecimiento de los vehículos.

Tabla 6-CXXIX. Vulnerabilidad física, sector hidrocarburos.

Infraestructura	Nivel
Gasera (planta de distribución)	Alto
Gasolinera	Alto
Gasera(estación de servicio)	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Sector Agua Potable y Saneamiento

Los indicadores epidemiológicos de una región dependen en gran parte de la calidad del agua consumida y del acceso a servicios adecuados de saneamiento. La situación se vuelve crítica en situaciones de desastre.

La mayor parte de los componentes de los sistemas de agua potable y saneamiento necesitan una operación adecuada y un mantenimiento sistemático a través del tiempo, con el fin de obtener una mayor capacidad de los sistemas para resistir daños y facilitar las reparaciones después de un desastre. Por otra parte, una buena operación y un buen mantenimiento requieren de una organización eficaz, con talleres, repuestos y planos del trazado de colectores; esto ayudará significativamente a dimensionar, evaluar y reparar con mayor agilidad y menor costo los daños producidos por un desastre, por lo cual los departamentos de operación y mantenimiento de los sistemas afectados serán una fuente importante de información para esta misión.

Tabla 6-CXXX. Vulnerabilidad física, sector Agua potable y saneamiento.

Infraestructura	Nivel
Boca de Tormenta	Alto
Pozo de Agua	Alto
Alcantarilla	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

Transporte y comunicaciones.

El análisis de este sector se centra en la infraestructura para transporte por carretera y área, pues el Municipio cuenta con una pista de aterrizaje así como el sector de telecomunicaciones, especialmente la red telefónica.

Tabla 6-CXXXI Vulnerabilidad en sectores de infraestructura.

Infraestructura	Nivel
Brecha	Medio
Carretera pavimentada	Alto
Central de autobuses	Medio
Pista de aviación	Medio
Poste de Teléfono	Medio
Puente	Alto
Servicio postal	Alto
Terracería	Alto
Vereda	Alto

Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.4.3 Sectores Económicos

Agropecuario

Este sector es más afectado por los peligros de tipo hidrometeorológico en comparación con los de tipo geológico. El hecho de que la mayoría de los desastres provoquen daños al medio ambiente es de particular importancia ya que, ante la creciente degradación de los recursos naturales los efectos de los fenómenos naturales aumentan en proporción —y generan mayores impactos— además de producir efectos que solamente se hacen evidentes en el futuro.

La pérdida de tierras agrícolas por erosión y deslaves, la destrucción de bordes de protección contra inundaciones, el cambio en el cauce de los ríos, los efectos sobre flora y fauna, son algunos de los efectos a considerar.

Tabla 6-CXXXII. Vulnerabilidad física, sector agrícola.

Cultivo/Vegetación	Nivel
Agave	Alto
Agricultura de riego	Alto
Aguacate	Medio
Bosque de encino	Medio
Bosque de encino-pino	Medio
Bosque de pino-encino	Medio
Bosque tropical caducifolio	Medio
Engorda de Pollo	Alto
Hortalizas	Alto
Invernaderos	Muy alto
Maíz Temporal	Muy alto
Praderas	alto

Fuente: Elaboración propia.

Industria y comercio

En la industria y el comercio, el valor agregado se genera en establecimientos bien delimitados por espacios físicos y construcciones que es posible agrupar —de acuerdo con ciertos criterios— en grandes, medianos y pequeños.

Los grandes establecimientos —tanto en la industria como en el comercio— aportan una parte importante de la producción de cada sector y poseen, en general, un grado de modernidad más avanzado que los medianos y pequeños, lo que les permite disponer de instalaciones más sólidas y, frecuentemente, de seguros que cubren daños ocasionados por desastres. En cuanto a los establecimientos pequeños generan una cantidad considerable de empleos tanto en la industria como en el comercio, situación que inclusive ha tendido a acentuarse durante las últimas décadas. Las precarias condiciones en que opera este amplio estrato lo exponen, sin lugar a dudas, a una mayor vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales. Por otra parte, por estar su actividad ligada directamente con la subsistencia de

las personas que laboran en él, y porque en general el capital físico sujeto a destrucción en él es proporcionalmente menor, su recuperación tiende a ser más rápida.

6.1.8.4.4 Vulnerabilidad Física de Presas.

Presa El Guayabo

Vertedor de excedencias. Se trata de un vertedor controlado. La obra mecánica de las compuertas no funciona, por lo que las excedencias derraman libremente sobre la cortina.

Imagen 6-LXXIX. Vertedero presa El Guayabo.



Fuente: Elaboración propia.

En la zona de descarga, se observó deterioro de la estructura y materiales de protección, con filtraciones en forma de escurrimiento.

Imagen 6-LXXX. Filtraciones en cortina de presa El Guayabo.



Fuente: Elaboración propia.

Obra de toma.

Es una obra que opera de forma muy deficiente pues tiene sistemas de tuberías mal conectadas o rotas, por lo que la humedad es excesiva y permanente en la base de la

cortina. Son sistemas de tubería de PVC de 4" y tubería de acero de 12" aproximadamente con fugas a presión, las válvulas de control se encuentran fuera de servicio.

Imagen 6-LXXXI. Obra de toma, Presa El Guayabo.



Fuente: Elaboración propia.

Caminos de acceso. Los caminos de acceso a la presa se encuentran despejados.

Cortina, terreno de cimentación y laderas de empotramiento. No se observaron sumideros, oquedades o movimientos verticales u horizontales. Se detectó encharcamiento en la base de la cortina, como puede apreciarse en la imagen #. Se detectaron patrones de filtración de agua en forma de zonas de humedad y escurrimiento libre.

Presa El Pochote.

Vertedor de excedencias. Es un vertedor tipo cimacio de operación libre, sin compuerta con gasto pico de 170 m³/s. No existe presencia de agujas u otras estructuras de sobre-elevación.

Imagen 6-LXXXII. Vertedero Presa El Pochote.



Fuente: Elaboración propia.

Canales y zonas de descarga

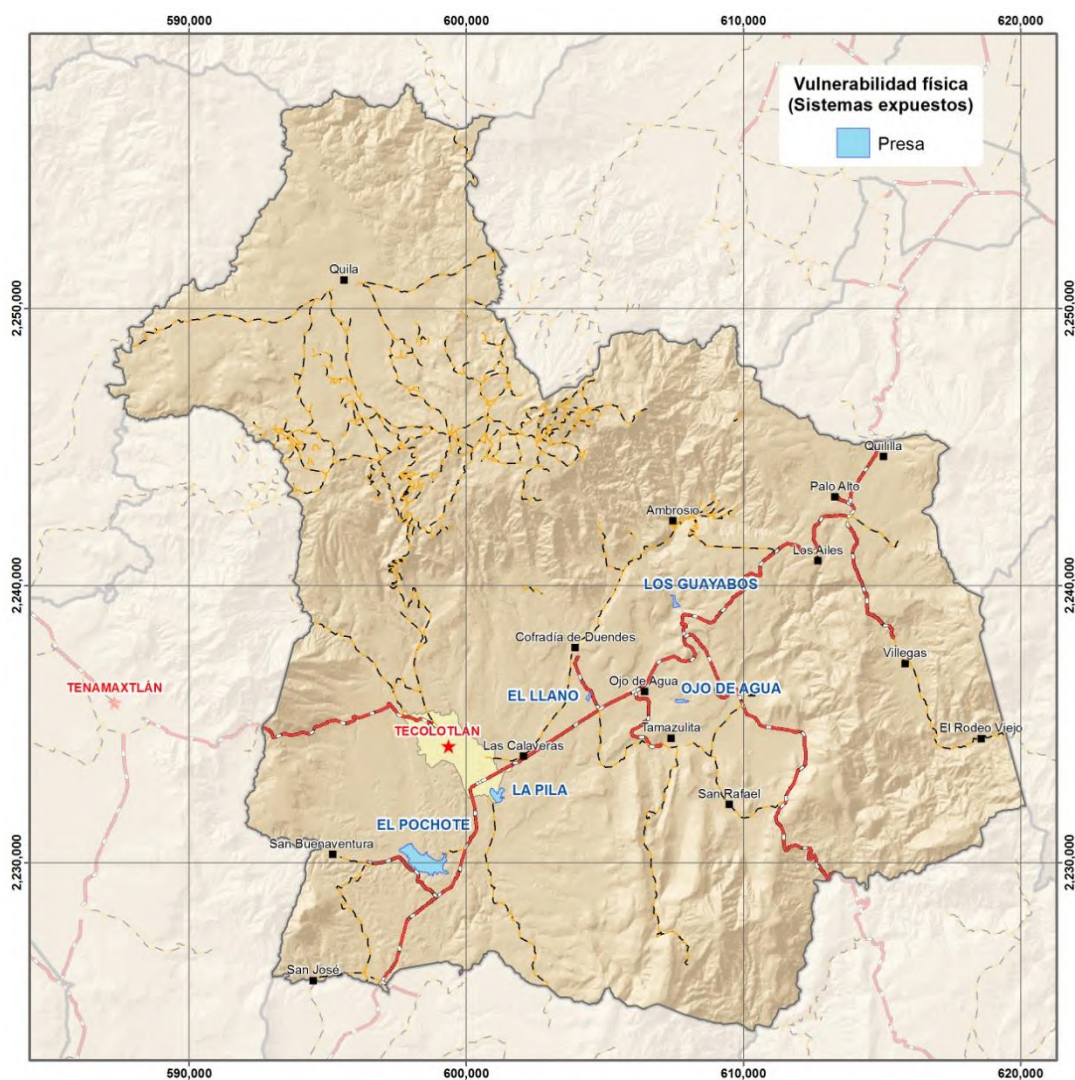
No se aprecia deterioro de los materiales, se desconoce si existe obstrucción de zona de aireación y de sistemas de alivio de presión.

Obra de Toma. Toma tipo tubería a presión, con capacidad de 1 m³/s, con tres válvulas tipo mariposa. Tiene un conducto tipo tubería de acero. No se tienen reportes de daños a estos sistemas.

Cortinas, terreno de cimentación y laderas de empotramiento.

Su cortina es tipo de gravedad, de comportamiento rígido, de concreto y cimientos de piedra. No se detectaron oquedades, sumideros ni movimientos horizontales o verticales. No existen encharcamientos ni eflorescencia de sales. No se detectaron patrones de filtración de agua.

Imagen 6-LXXXIII. Vulnerabilidad física de Presas



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5 Riesgo

6.1.8.5.1 Cabecera Municipal.

En la cabecera municipal el riesgo por inundaciones se presenta en los márgenes del Arroyo Santa Rosa, el cual drena aguas arriba de la cabecera un área total de 42.54 km². Factores que incrementa el riesgo es la invasión de la zona federal del cauce, localizándose predios cuyas bardas perimetrales están cimentadas casi en el lecho mismo del arroyo.

Ante eventos de lluvias intensas debidas a huracanes, frentes fríos u otros fenómenos que pueden incrementar notablemente el caudal pico en el Arroyo Santa Rosa, el riesgo puede ser mayor. Otros factores que pueden potenciar el riesgo son la deforestación y los procesos de erosión de suelos.

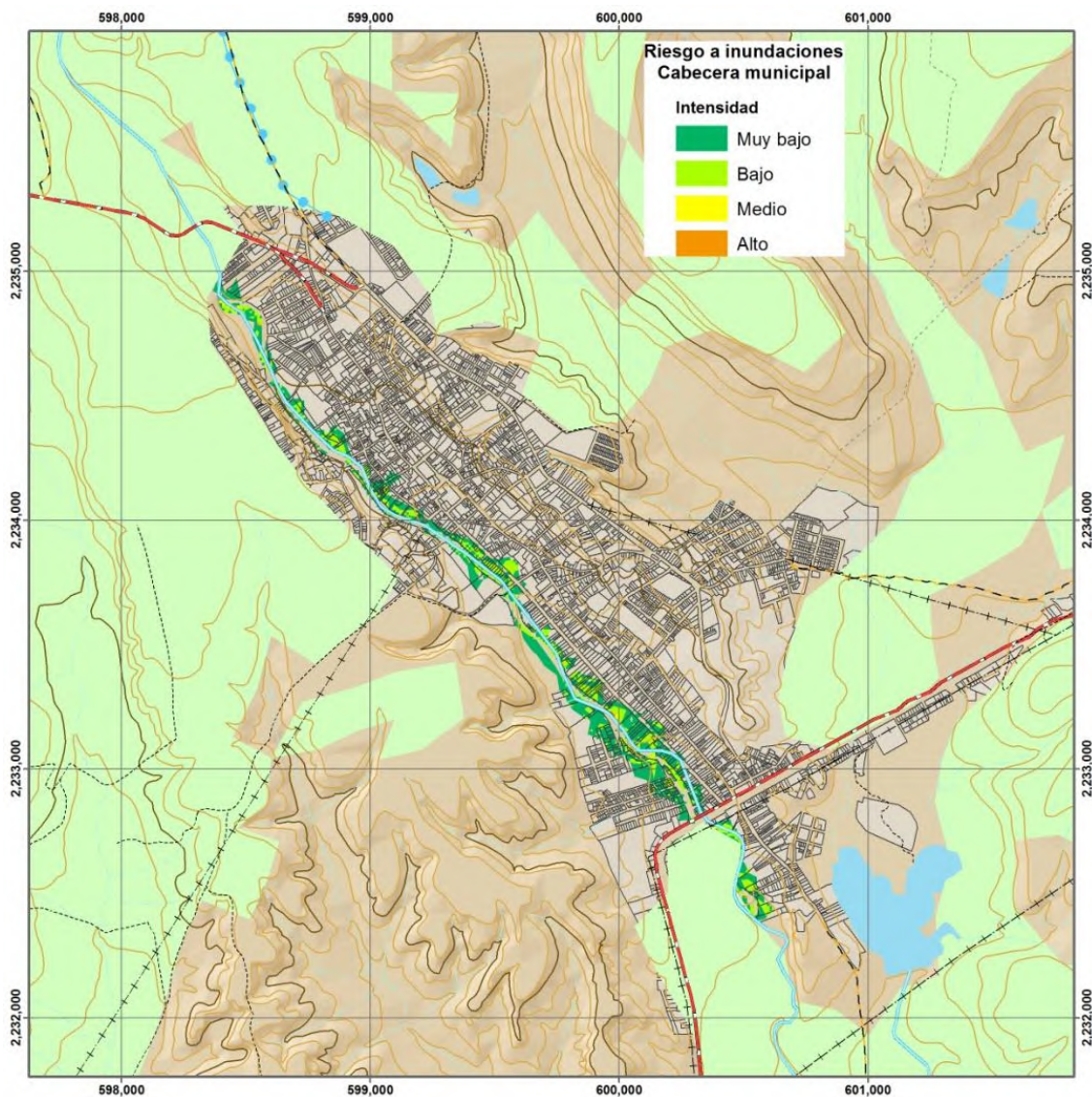
Es importante indicar que la Presa La Pila es la llanura de inundación natural de los Arroyos El Caganche y La Cofradía, por lo que se recomienda delimitar esta zona y establecer restricciones y condiciones al cambio de uso de suelo de la zona con el fin de preservar tanto el vaso como la seguridad de la población.

Tabla 6-CXXXIII. Riesgo para población y vivienda ante inundaciones.

Nivel	Población total	Viviendas
Bajo	252	97
Muy bajo	339	130
Total general	591	227

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6-LXXXIV. Riesgo para población y vivienda en la Cabecera Municipal.

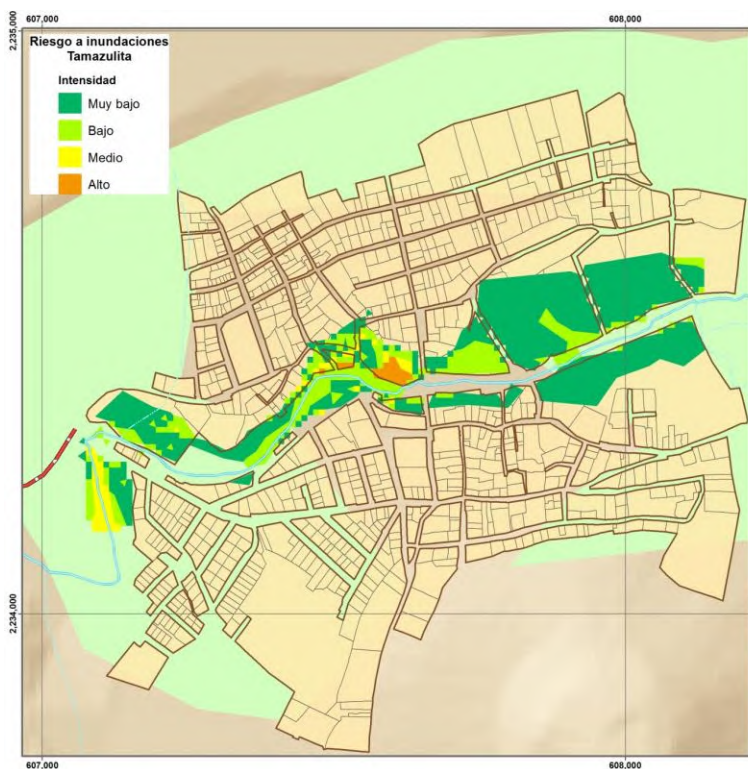


Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.2 Tamazulita.

El Arroyo Tamazula drena 119.87 km², aguas arriba de la Localidad de Tamazulita. El Riesgo por inundaciones repentinas en la localidad es alto, para lo que se conjuga la gran área que drena este arroyo así como la topografía del lugar. Los predios ubicados en zonas de riesgo alto pueden sufrir daños estructurales debidos a la velocidad y profundidad del flujo en eventos de lluvia intensa. Los modelos hidrológicos muestran que en algunos puntos el caudal puede desarrollar velocidad de 4.27 m/s y profundidad de 3.8 metros para lluvias con periodo de retorno de 2 años a profundidad de 6.8 metros y velocidad de 7.9 m/s para lluvias con periodo de retorno de 100 años. Una problemática más es que el puente que conecta ambos márgenes del arroyo Tamazula, en eventos extremos, según reporte de la población sufre taponamientos por ramas y arbustos arrastrados por el arroyo con lo que disminuye se área hidráulica efectiva, agravando los problemas de inundación aguas arriba.

Imagen 6-LXXXV. Riesgo para población y vivienda en Tamazulita.



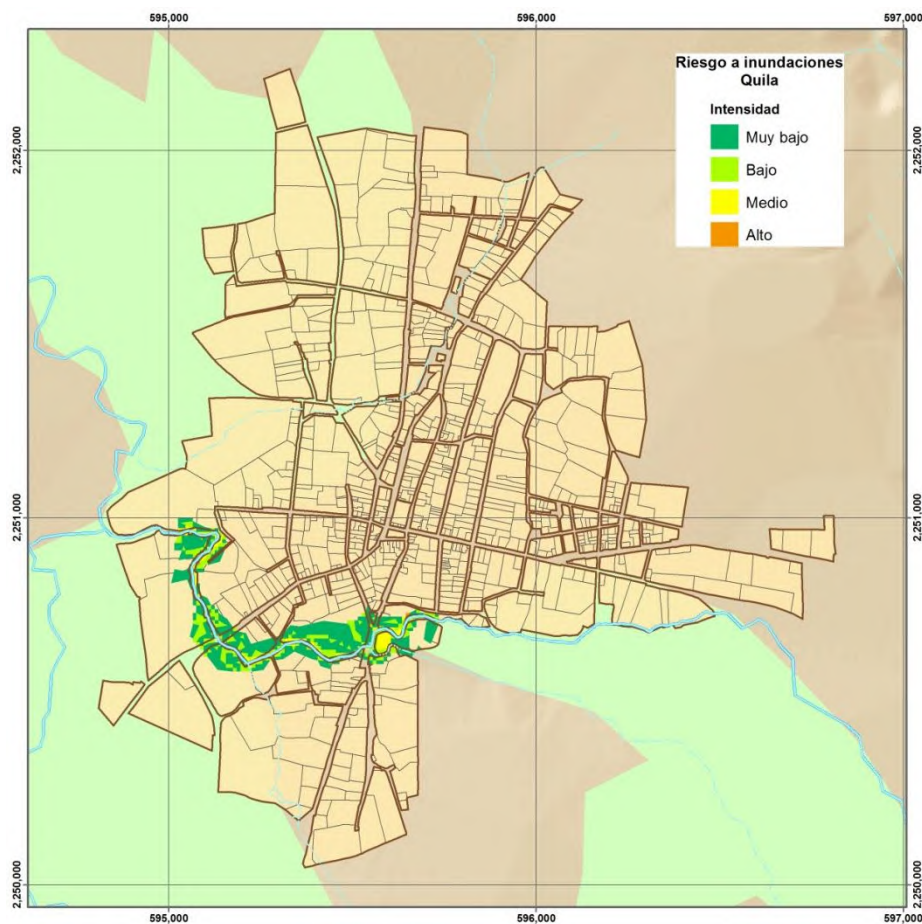
Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.3 Quila

Esta localidad presenta riesgo por inundación debido a crecidas del Río Chiquito, el cual drena un área de poco más de 15 km² aguas arriba de la localidad. Un poco más al norte de la localidad, este río se une al Río Grande y al Arroyo El Ahogado para drenar 35.1 Km².

Según la imagen que se muestra, el riesgo va de muy bajo a medio para predios localizados en la margen sur del Río Chiquito a su paso por la localidad. En la zona de confluencia de los ríos mencionados puede generarse un área de inundación ante eventos de lluvia extremos, por lo que el crecimiento de la localidad hacia el noroeste deberá considerar estudios riesgo por inundación en la zona.

Imagen 6-LXXXVI. Riesgo para viviendas y población en Quila.

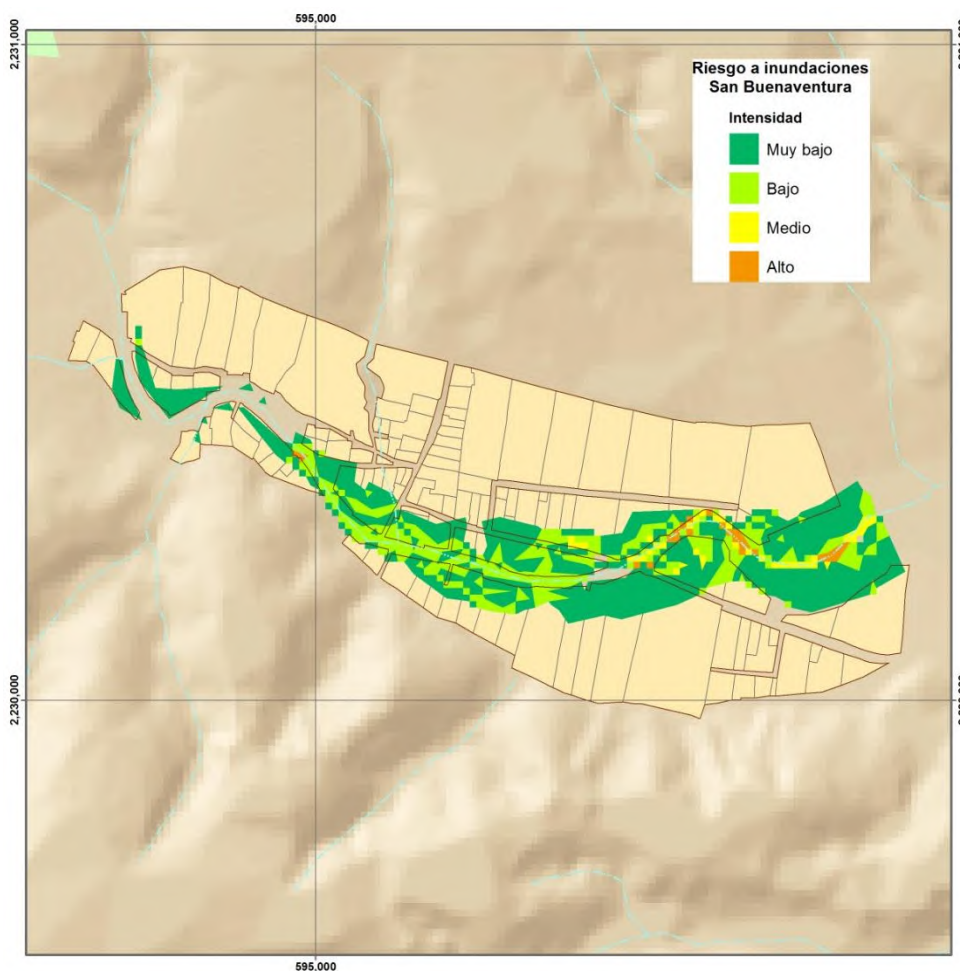


Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.4 San Buenaventura

Para la comunidad de San Buenaventura los predios que pueden ser afectados por una inundación con diferentes intensidades se muestran en la imagen siguiente. Este riesgo se debe a posibles inundaciones repentinas provocadas por desbordamiento del Arroyo La Florida el cual drena 23.54 km² de superficie para desembocar en la Presa El Pochote. Este arroyo puede alcanzar profundidades de 1.7 metros y velocidad de 1.8 m/s para periodos de retorno de 10 años y profundidad de 3.05 metros y velocidad de 3.7 m/s para periodos de retorno de 100 años.

Imagen 6-LXXXVII Riesgo de inundación en San Buenaventura.

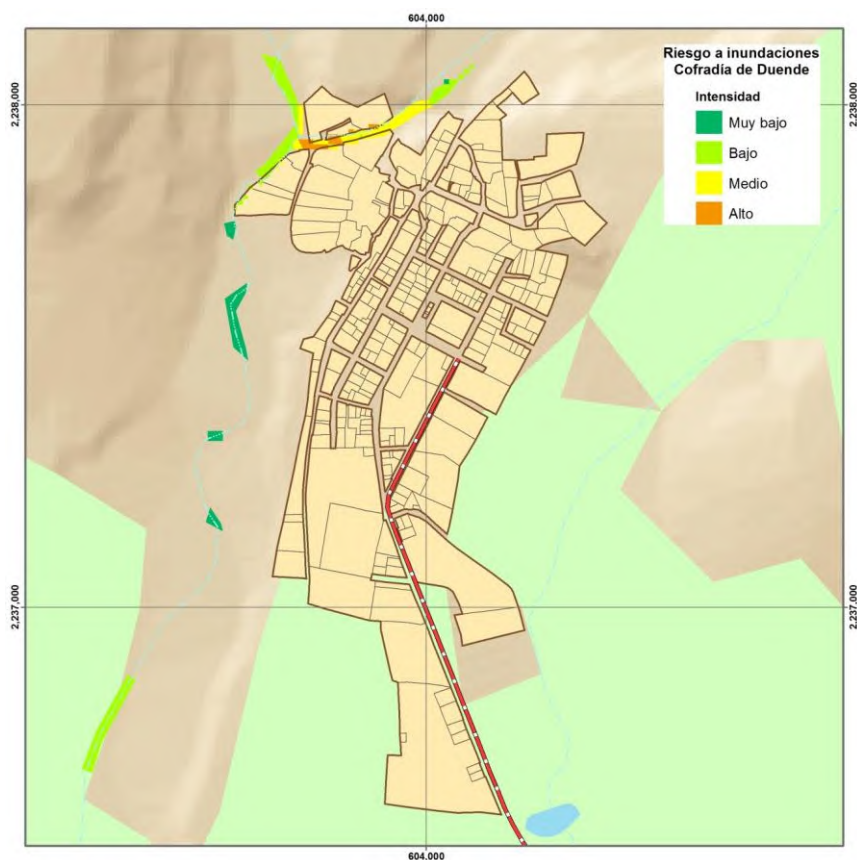


Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.5 Cofradía de Duendes.

En esta localidad el peligro y consecuentemente el riesgo se determinó en base solo a caudales pico pues se careció de datos topográficos del cauce de los Arroyos Hondo y Colorado sin los que no se puede determinar velocidad ni profundidad del flujo, por lo que su área de riesgo es mayor a la mostrada en la imagen. Otro aspecto a destacar es que se encontró posible invasión de la zona federal de los cauces en algunos puntos. Los caudales pico (en la confluencia de ambos arroyos) van de 29.9 m/s a 143.3 m³/s para periodos de retorno de 2 y 100 años, respectivamente. El área total drenada aguas arriba de la localidad es de 25.44 km², aproximadamente.

Imagen 6-LXXXVIII. Riesgo para población y vivienda en Cofradía de Duendes.

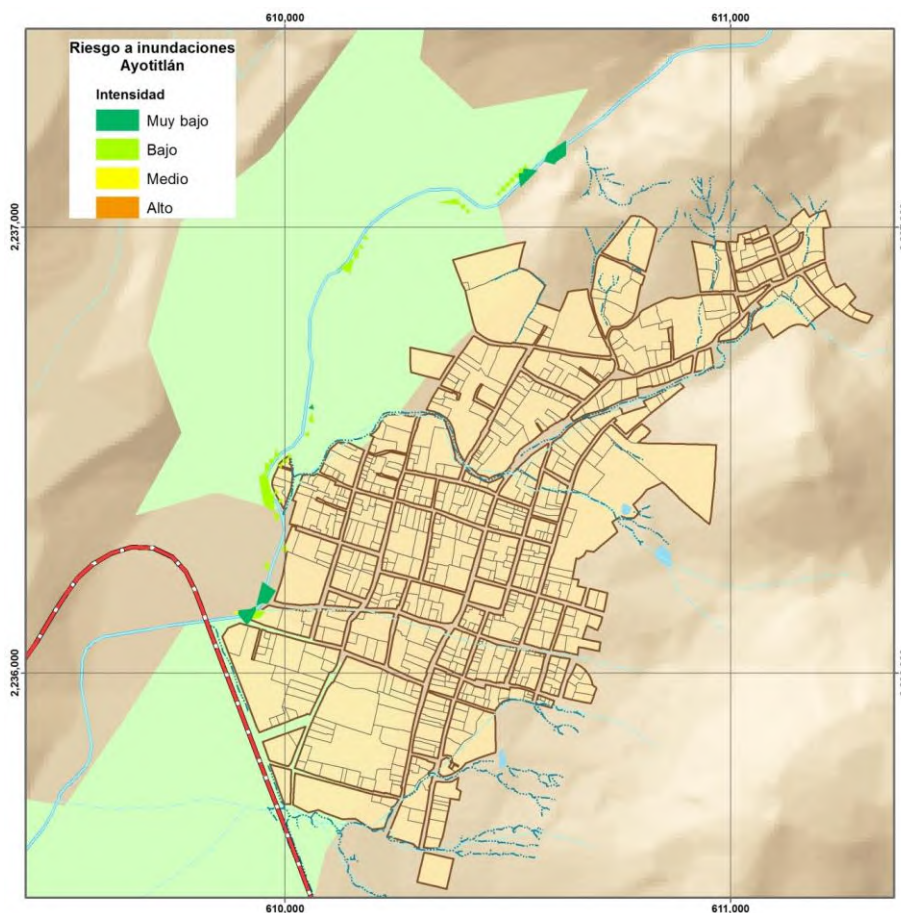


Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.6 Ayotitlán.

La misma situación descrita en el caso de la localidad Cofradía de Duendes, se presentó en Ayotitlán en cuanto a la carencia de datos topográficos. Sin embargo, la ubicación de la localidad con respecto al Arroyo Tamazula o El Tacote disminuye los riesgos por inundaciones desde ésta fuente. El Arroyo El Tacote drena una área de 63 km³ y sus caudales pico son de 51.1 y 212.5 m³/s, para periodos de retorno de 2 y 100 años, respectivamente. Existen escurrimientos que cruzan la localidad, originados en las montañas al suroeste de la Mesa Potrerillos, con caudal pico de 6.3 a 43.9 m³/s para los mismos periodos de retorno. Estas avenidas se controlan mediante bocas de tormenta y son canalizadas al Arroyo Tamazula.

Imagen 6-LXXXIX. Riesgo para inundación en Ayotitlán.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.7 Infraestructura

Sector Electricidad.

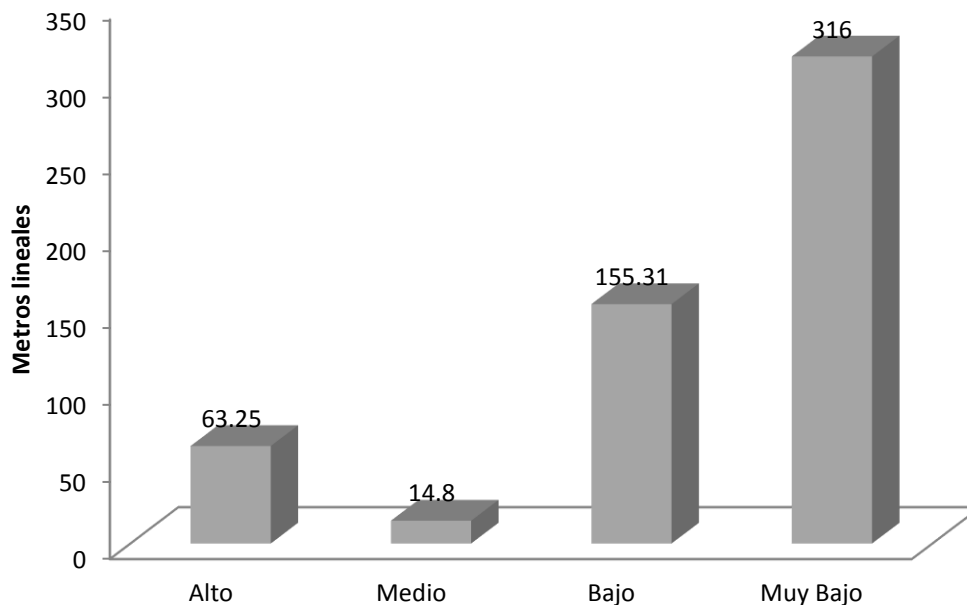
El riesgo por inundaciones en este sector, se refiere al hecho de que postes y tendidos se encuentran localizados en zonas con diferentes niveles de riesgo por inundación, lo que significa que niveles de riesgo muy alto implica daños estructurales. Ahora bien, aun cuando este nivel de riesgo no se detectó en el presente estudio, si puede ocurrir una combinación de factores que incremente el riesgo, esto es, se puede combinar una inundación por tormenta intensa con fuertes vientos que provoquen caída de líneas eléctricas en zonas inundadas dando lugar a un peligro de electrocución y e interrupción del servicio.

Tabla 6-CXXXIV. Riesgo para infraestructura, sector eléctrico.

Infraestructura	Nivel	No.
Poste de Alta tensión	Medio	1
Poste de CFE	Medio	3
	Bajo	20
	Muy Bajo	82
1 Línea en postes sencillos	Alto	63.25
	Medio	14.80
	Bajo	155.31
	Muy Bajo	316
2 líneas en postes sencillos	Bajo	21.2
	Muy Bajo	283.16

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LV. Niveles de riesgo en infraestructura eléctrica: sistemas de transmisión de una línea.



Fuente: Elaboración propia.

Sector Transporte y Comunicaciones

La infraestructura de transporte y comunicaciones presenta los siguientes niveles de intensidad y magnitud del riesgo.

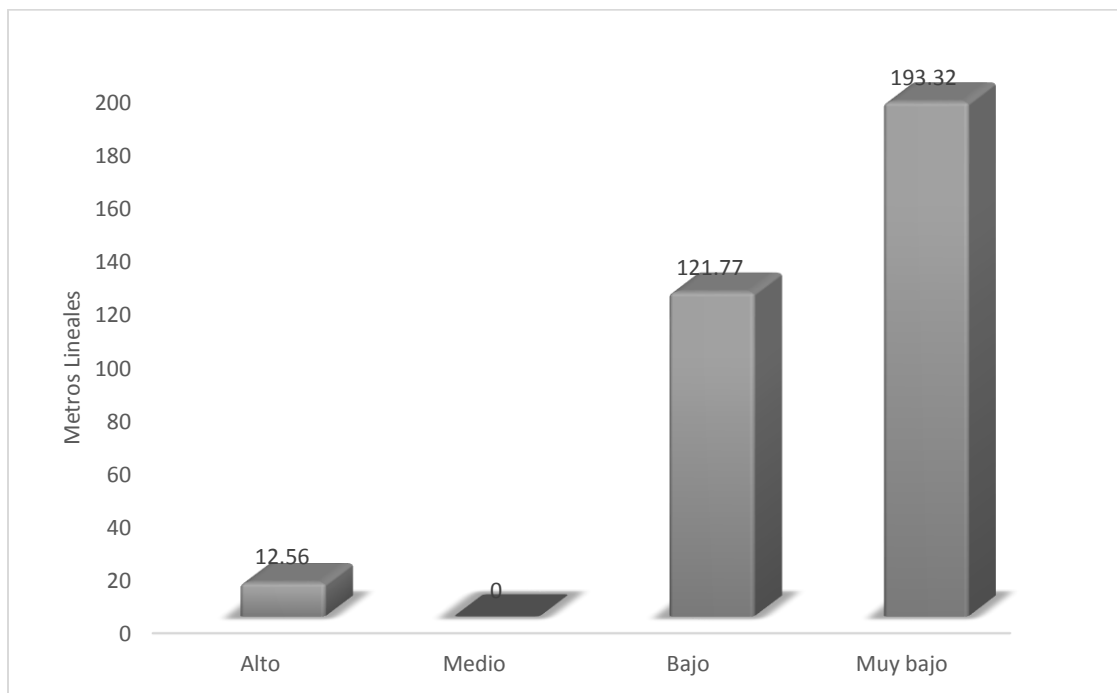
No importa que el daño sea localizado sobre un pequeño tramo de carretera o camino, es suficiente para obligar al cierre de vías y dejar incomunicadas regiones dentro de la zona donde ocurre la inundación, dificultando la atención y traslado de ayuda a la población afectada, aún más grave cuando ocurre derribo de puentes que son los puntos de mayor riesgo.

Tabla 6-CXXXV. Riesgo para infraestructura, sector comunicaciones y transporte.

Infraestructura	Nivel	Metros Lineales
Brecha	Alto	50.80
	Medio	30.75
	Bajo	25.10
	Muy bajo	87.44
Carretera pavimentada	Alto	5.43
	Medio	0
	Bajo	11.48
	Muy bajo	16.23
Poste de Teléfono (Unidades)	Alto	0
	Medio	1
	Bajo	5
	Muy bajo	41
Terracería	Alto	12.56
	Medio	0
	Bajo	121.77
	Muy bajo	193.32
Vereda	Alto	11.56
	Medio	4.24
	Bajo	14.29
	Muy bajo	136
Puentes (unidades)	Medio	11

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LVI. Riesgo para infraestructura en caminos de terracería.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.8.5.8 Sectores Económicos

Agropecuario

Este sector, según los resultados del presente estudio no está expuesto, en general, a un riesgo alto por inundaciones.

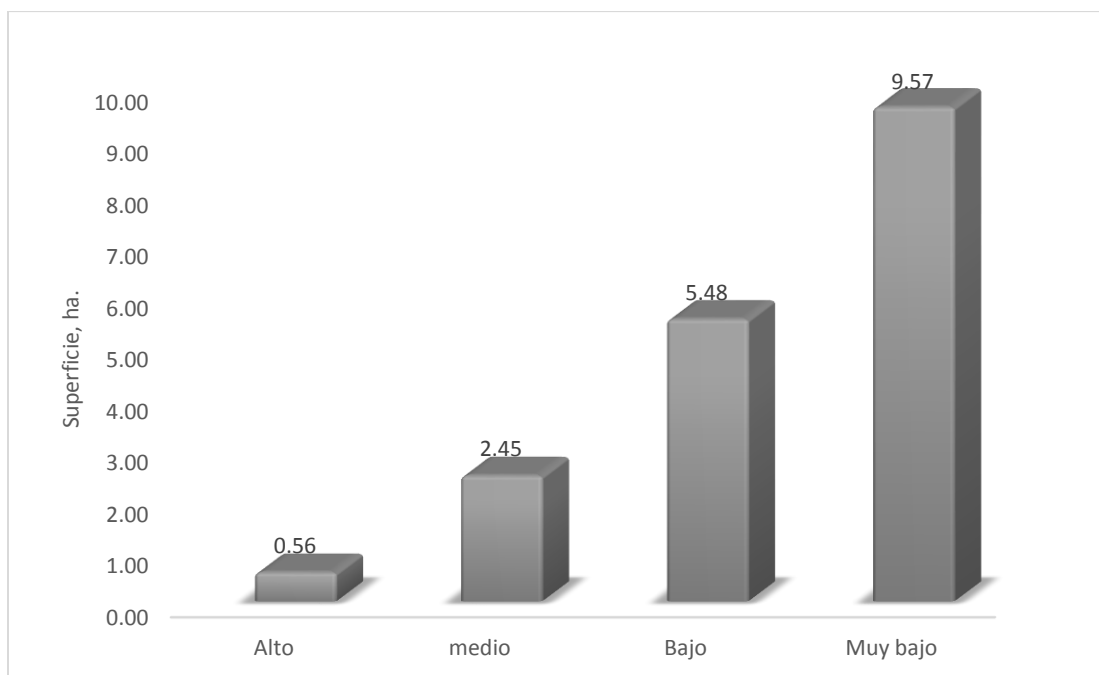
Lo anterior debido a que las zonas agrícolas no se encuentran localizadas en planicies de inundación, excepto las pequeñas huertas que se encuentran aguas abajo de las presas localizadas dentro del municipio, tema que será tratado en el siguiente apartado.

Tabla 6-CXXXVI. Riesgo para sector agropecuario.

Cultivo	Riesgo	Ha.
Maíz de temporal	Alto	0.56
	medio	2.45
	Bajo	5.48
	Muy bajo	9.57
Agricultura de riego	Alto	0.08
	medio	0.04
	Bajo	1.28
	Muy bajo	4.27
Hortalizas	Alto	0.00
	medio	0.00
	Bajo	0.07
	Muy bajo	0.14

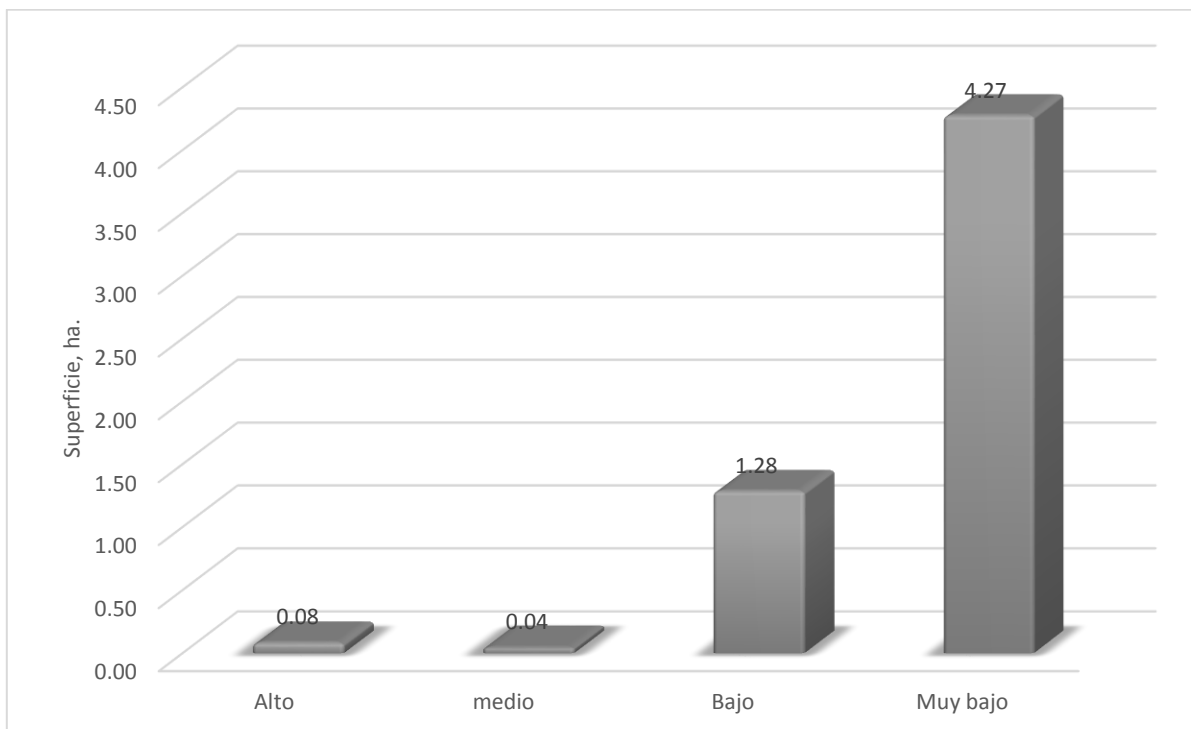
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LVII. Niveles y superficies en riesgo para maíz de temporal.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6-LVIII. Niveles y superficies en riesgo para agricultura de riego.



Fuente: Elaboración propia.

Industria y comercio.

El sector industria y comercio tiene exposición al riesgo por inundaciones de nivel bajo a muy bajo. En todos los casos se trata de restaurantes situadas cerca del cauce de un arroyo.

Tabla 6-CXXXVII. Riesgo en sector comercio.

Giro	Riesgo	Unidad
Restaurant	Bajo	1
	Muy bajo	7
Comercio	Bajo	1

Fuente: Elaboración propia.

6.1.9 VIENTOS.

Introducción

La distribución irregular del calor proveniente del sol en la baja atmósfera da por consecuencia la formación de gradientes de temperatura, de densidad y de presión, los cuales inducen las fuerzas que mueven la atmósfera. El efecto neto del movimiento atmosférico es la distribución de masa y energía en todo el mundo. Por ejemplo, las masas de aire en las regiones tropicales transportan calor desde las zonas ecuatoriales hacia latitudes altas. Este transporte de calor crea las circulaciones meridionales como la Celda de Hadley y la de Ferrel.

Teóricamente se pueden describir completamente los fenómenos meteorológicos mediante la Segunda Ley de Newton, sin embargo, la ecuación diferencial resultante no se puede solucionar para todas las condiciones iniciales y de frontera pues resulta extremadamente compleja. En la práctica, se simplifica y se han desarrollado modelos sencillos para explicar los movimientos en la atmósfera, definiendo distintos vientos derivados del balance entre las fuerzas importantes que controlan el movimiento, son los vientos que existirían si la atmósfera se comportara de manera ideal. Estos vientos son: viento inercial, geostrófico, gradiente, ciclostrófico, termal y el efecto de la fricción del viento.

Ahora bien, dentro de la estructura de la circulación atmosférica, están inmersos un gran número de fenómenos de diferentes escalas, tales como de escala local y de mesoescala, los cuales varían desde unos cuantos milímetros hasta varias decenas de kilómetros. En general, se usa el término de convección para denotar la transferencia de calor o alguna otra propiedad por medio del movimiento vertical del fluido, ya sea aire o agua; en consecuencia, los océanos y la atmósfera transmiten calor por medio de los procesos de convección, la cual se observa en forma de turbulencia del viento y de corrientes del mismo fluido. La actividad atmosférica en estas escalas está directamente relacionada con los procesos convectivos de las parcelas de aire afectadas por fenómenos térmicos o

dinámicos; esta actividad convectiva de la atmósfera está presente en todo momento y en cualquier lugar del mundo. La convección en la atmósfera puede generarse a partir de diferencias en la densidad de las parcelas de aire, las que a su vez se pueden originar del diferente calentamiento o por el esfuerzo del viento sobre la superficie de la tierra.

6.1.9.1 Metodología

Identificar los patrones dominantes de los vientos, conociendo su dirección y velocidad.

Hacer uso de esquemas de circulación conforme a las celdas de Hadley, Ferrel, corrientes monzónicas, anabáticos y katabáticos. Tomar en cuenta los boletines del tiempo atmosférico, relacionados con la distribución de patrones de vientos.

Emplear la escala de Beaufort para observar el movimiento de los árboles y puedan inferirse las velocidades de los vientos.

6.1.9.1.1 Vientos anabáticos

Cuando las condiciones de escala sinóptica son de relativa calma y no se tienen grandes concentraciones de nubosidad, las condiciones del viento estarán principalmente afectadas y controladas por el calentamiento local, generándose las circulaciones de viento de montaña y valle, con un ciclo diurno muy bien definido. Durante las primeras horas de la mañana, las isotermas son prácticamente horizontales y el aire se encuentra en equilibrio neutro. Conforme el día avanza y el sol calienta más las laderas montañosas, para un cierto nivel de altura, el aire en contacto directo con estas superficies aumentará su temperatura, se expandirá y disminuirá su densidad, lo que hace que ascienda desde los valles hacia las cimas, generando los vientos anabáticos.

Si los vientos anabáticos llevan consigo una considerable humedad, entonces se podrán formar nubes convectivas sobre las montañas; mientras que sobre los valles, el cielo se mantendrá despejado.

6.1.9.1.2 Vientos katabáticos

Durante la noche y la madrugada, la superficie del suelo en la alta montaña pierde calor por emisión de radiación infrarroja hacia el espacio, enfriando el aire en contacto; este aire frío será más denso y tenderá a descender de las montañas hacia los valles, produciendo los conocidos vientos katabáticos.

Los factores que influyen en ambos procesos son:

1. La orientación de las montañas, con respecto a la dirección de los rayos solares.- las laderas que dan la cara al sol, serán mayormente calentadas que las laderas ocultas al sol;
2. La topografía de la pendiente entre los valles y las cimas.- si la pendiente es muy grande, los movimientos de convección forzada serán más importantes que cuando la pendiente es pequeña;
3. El tipo y cantidad de la cobertura de la vegetación.- el suelo rocoso y arenoso calienta más rápidamente el aire, que el suelo cubierto de vegetación, además de que esta última evita la erosión y disminuye la intensidad de los vientos;
4. Las condiciones de humedad del suelo.- cuando el aire es muy seco, la atmósfera será relativamente más inestable que cuando el aire es húmedo. En particular, si se forman nubes alrededor de la cima de la montaña, estas disminuirán la entrada de radiación solar (durante el día) o la pérdida de radiación infrarroja (durante la noche), dando como consecuencia que los gradientes de temperatura sean menores y también la intensidad de los vientos de montaña resultantes.

6.1.9.1.3 Celda de Hadley.

El desigual calentamiento del planeta da lugar a la formación de varias zonas o cinturones de presión: baja ecuatorial (del ecuador hasta los 30° de latitud), alta subtropical (desde los 30° a los 55° de latitud), baja subpolar desde los 55° hacia los casquetes polares) y finalmente en los casquetes polares existe una zona de alta presión.

Dichas zonas de presión determinan la convergencia del viento en el ecuador y su ascenso, para después dirigirse hacia los polos. De este modo se forman tres células de circulación: la *célula ecuatorial* o de Hadley, la de *latitudes medias* o de Ferrel y la célula del *frente polar*. Debido a la rotación de la Tierra, los vientos de superficie de la primera célula se desvían; son del NE en el hemisferio Norte y del SE en el hemisferio sur, y se les llama *vientos alisios*.

A partir del equinoccio de primavera, del hemisferio Norte, se inicia el desplazamiento de la zona subtropical de alta presión hacia el norte, y queda la mayor parte del país bajo la influencia de los alisios del NE, los que adquieren elevada humedad en su paso por el Golfo de México. Estos vientos penetran hasta la sierra Madre Occidental y originan parte de las lluvias que se registran en verano y parte del otoño.

Por su parte, la célula de Ferrel los vientos desviados son del SW o del WSW, en el hemisferio norte, se les llama *vientos predominantes del oeste*. Estos vientos no tienen influencia directa en el territorio del municipio.

6.1.9.2 Monzones.

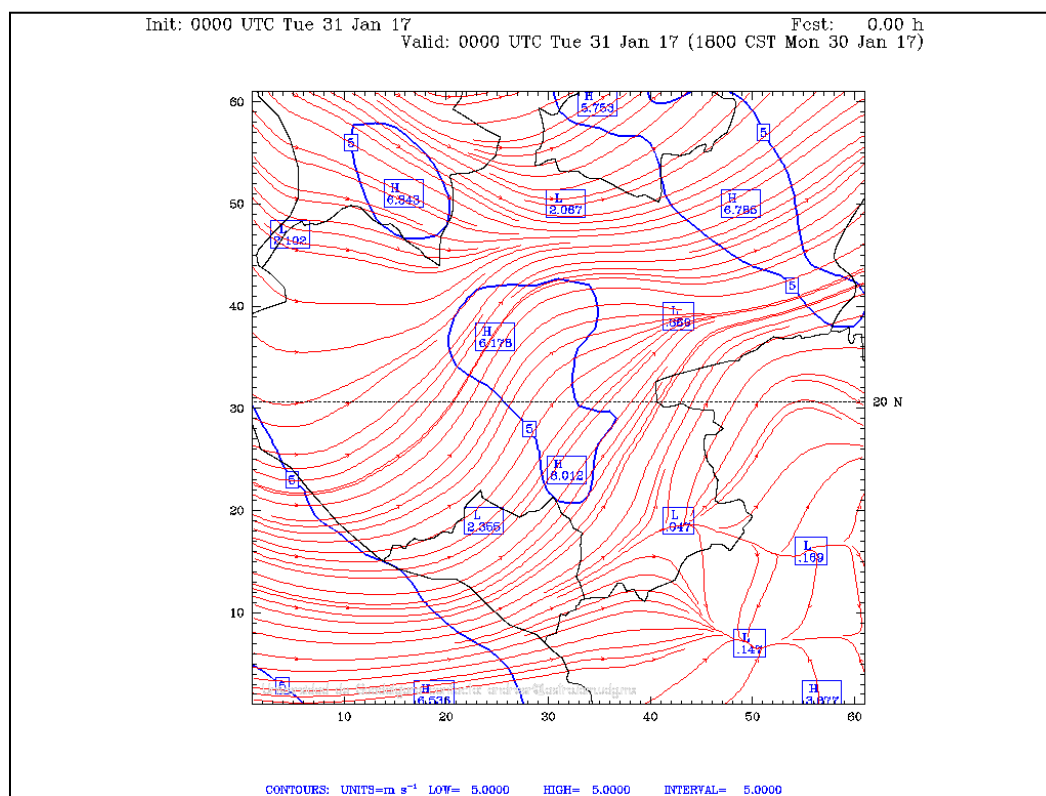
La circulación tipo monzón se debe a la diferencia de calentamiento que experimentan los océanos respecto de los continentes. Durante el verano los océanos se calientan más lentamente que los continentes los cuales alcanzan mayor temperatura. Esta diferencia de temperaturas determina que se formen zonas de alta presión en los continentes durante el verano y de baja presión en los océanos, haciendo que el viento fluya desde tierra hacia el mar, durante el invierno los continentes se enfrían más rápidamente que los océanos (debido a que la energía solar se transmite hasta unos 300 metros debajo de la superficie marina mientras que en los continentes penetra apenas una capa de 8 a 10 metros) haciendo que el viento fluya desde los océanos hacia los continentes.

6.1.9.3 Patrones del viento en Tecolotlán

Se debe aclarar que no existen estaciones meteorológicas con datos de viento en el municipio ni cercanas a sus límites, por lo que la determinación de los patrones del viento se sustenta en la topografía del lugar y en las circulaciones de mezoescala. Otra fuente de datos es el Inventario Nacional de Energías Renovables, publicado en julio del 2015. Este sistema aporta datos de velocidades a diferentes alturas y clasificadas por mes o anuales.

En invierno dominan vientos tipo brisa de mar o vientos tipo monzón, la imagen 1 muestra la trayectoria de esos vientos y su velocidad de superficie según modelo numérico WRF, del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara.

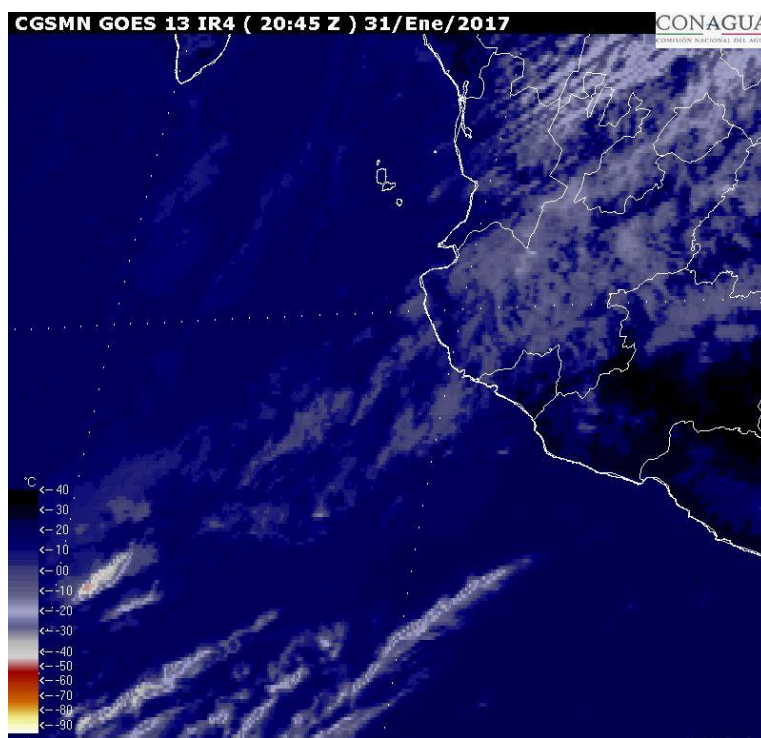
Imagen 6-XC. Modelo numérico WRF vientos de superficie con dirección NE provenientes del Pacífico.



Fuente: IMAUdG

Además esta trayectoria se confirma con la imagen 2 del satélite GOES del mismo día, sin embargo el SMN reportaba que esta nubosidad se debía la formación de una zona de circulación de baja presión sobre la península de Baja California.

Imagen 6-XCI. Nubosidades arrastradas desde el Pacífico hacia el continente afectando al Estado de Jalisco.

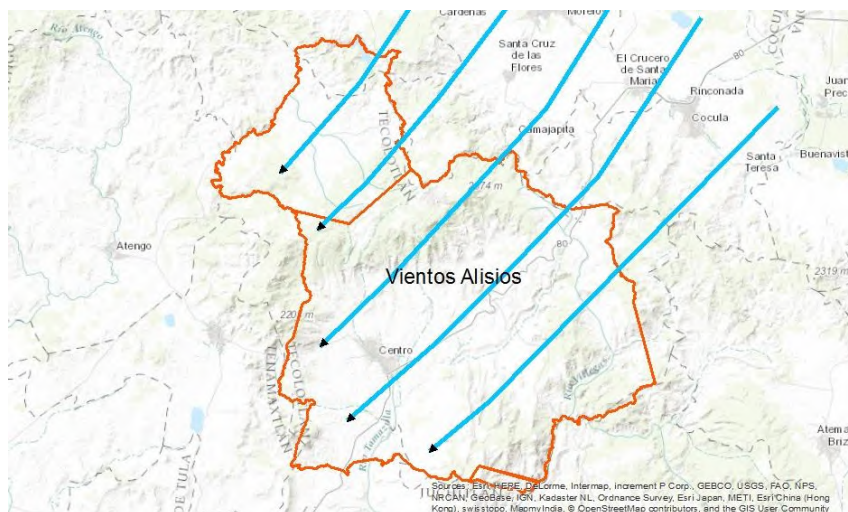


Fuente: SMN

La dinámica descrita tiene influencia en el régimen de lluvias en la zona pues se han registrado durante el mes de enero precipitaciones severas en la región, sobre todo en las partes altas de las sierras.

En el verano los vientos Alisios son los predominantes y responsables de la intensidad de las precipitaciones durante los meses de junio a octubre. Sin embargo, durante este periodo lo más probable es que también se presenten ciclones tropicales con trayectorias variadas, en su mayoría provenientes del Pacífico, que definitivamente incrementan las precipitaciones en la región.

Imagen 6-XCII. Trayectoria de vientos Alisios durante el verano.



Fuente: Elaboración propia

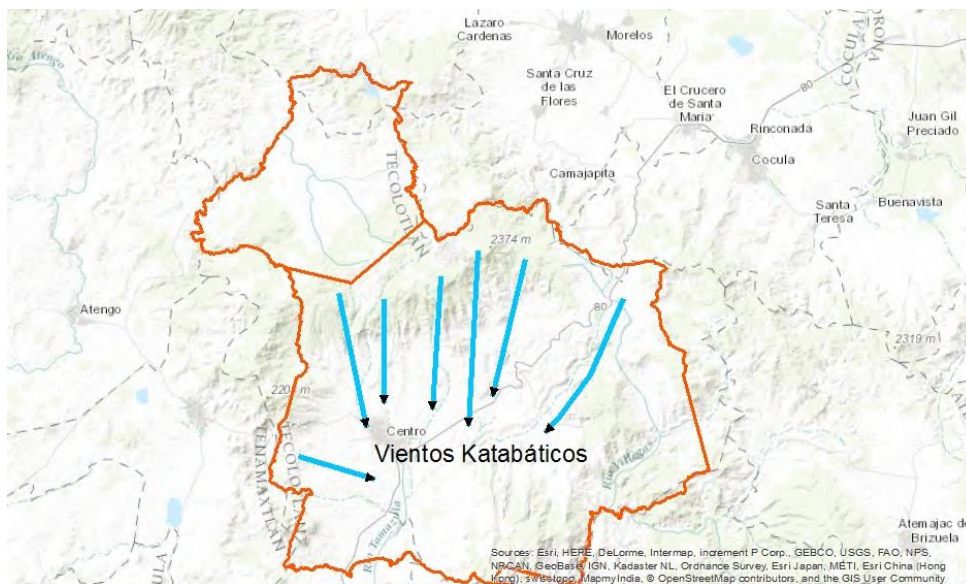
En los meses de marzo a mayo predominan los vientos anabáticos con dirección este a oeste, pues son las laderas del lado oeste del municipio las que reciben mayor cantidad de sol, y por las noches vientos de tipo katabático descienden de la sierra de Quila hacia el valle, aunque se debe considerar que la zona tiene vegetación relativamente abundante.

Imagen 6-XCIII. Vientos anabáticos



Fuente: Elaboración propia

Imagen 6-XCIV. Vientos Katabáticos.



Fuente: Elaboración propia

Las velocidades registradas por mes y región se muestran en la siguiente tabla.

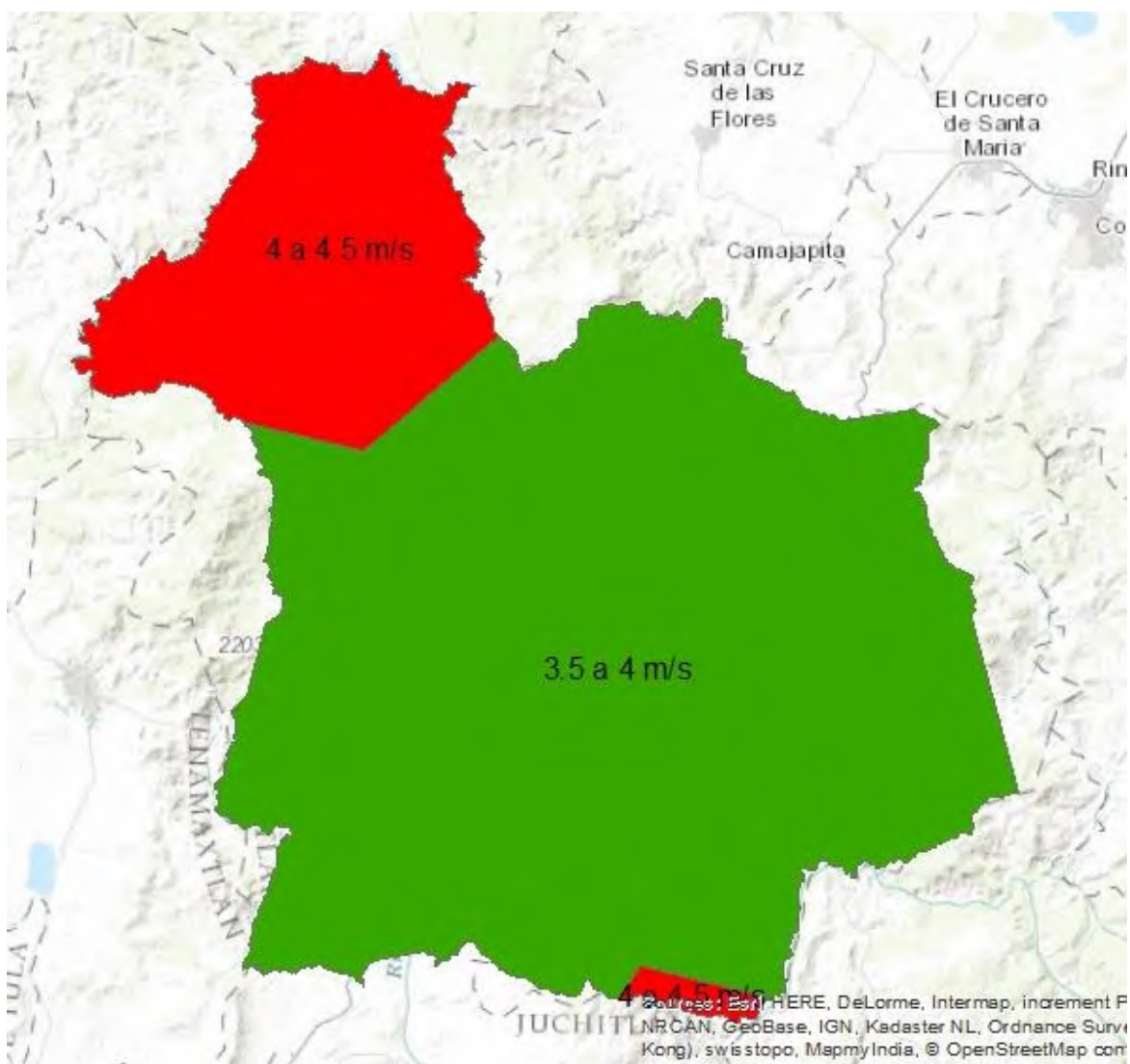
Tabla 6-CXXXVIII. Velocidades de vientos a 30 metros de altura.

Mes	Velocidad m/s a 30 de altura	
	Valle	Montaña
Enero	3.5 - 4	4 - 4.5
Febrero	4 - 4.5	4 - 4.5
Marzo	4 - 4.5	4 - 4.5
Abril	4 - 4.5	4 - 4.5
Mayo	4 - 4.5	4 - 4.5
Junio	3.5 - 4	3.5 - 4
Julio	3 - 3.5	3.5 - 4
Agosto	3 - 3.5	3.5 - 4
Septiembre	3 - 3.5	3.5 - 4
Octubre	3 - 3.5	3.5 - 4
Noviembre	3 - 3.5	3.5 - 4
Diciembre	3 - 3.5	3.5 - 4

Fuente: CFE

En función de lo anterior anualmente se distinguen dos regiones: una zona al noroeste de la Sierra de Quila y una en las montañas del sur sobre los 1600 msnm con velocidades de viento de hasta 4.5 m/s y la zona del valle con velocidades de 3 a 3.5 m/s.

Imagen 6-XCV. Distribución de velocidades de viento promedio anual.



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El fenómeno de vientos intensos en el territorio de Tecolotlán, cuando se han presentado han sido resultado de otros fenómenos meteorológicos como ciclones, lluvias intensas o frentes fríos, más que dinámicas permanentes originadas por la posición geográfica del municipio. Lo anterior no obsta para que no se tomen las medidas pertinentes en cuanto a considerar el factor viento en los reglamentos de construcción municipales y medidas como el derribo de árboles muertos, cuidados especiales con espectaculares, torres de comunicaciones y otras construcciones elevadas.

6.1.9.4 Vulnerabilidad y Riesgo.

Dado el nivel bajo de peligro por vientos en si en el municipio, la vulnerabilidad y el peligro a este fenómeno se aborda en el tema de ciclones tropicales.

6.2 Recomendaciones de medidas de mitigación del riesgo ante los peligros hidrometeorológicos más recurrentes en el Municipio de Tecolotlán.

6.2.1 INUNDACIONES.

6.2.1.1 Medidas no estructurales

1. Diseñar un plan de acción ante emergencias tomando en consideración los resultados obtenidos en el apartado de inundaciones del Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales y Químicos del Municipio de Tecolotlán, este plan debe proveer elementos para tomar decisiones adecuadas antes del evento como durante y después de ocurrida la inundación.
2. Monitorear a través de los boletines de alerta del SMN la presencia de eventos con posibilidades de provocar lluvias intensas (presencia de ciclones, frentes fríos, tormentas invernales).
3. Tomar en consideración los niveles de profundidad y velocidad en arroyos y planicies de inundación alcanzados por crecientes con diferentes periodos de retorno, ambos parámetros calculados experimentalmente en el Atlas para la cabecera municipal y las localidades Quila, Tamazulita, San Buenaventura y Palo Alto.
4. 4) Delimitación de las planicies de inundación adyacentes a los arroyos. Establecer restricciones y lineamientos sobre cómo aprovechar o desarrollar dichas áreas y vigilar que tales limitaciones se respeten.
5. Delimitar la zona federal en los arroyos Santa Rosa, La Cofradía y El Caganche a su paso por la cabecera municipal y la de los arroyos que impactan a las localidades Ayotitlán, Quila, San Buenaventura, Tamazulita, Palo Alto y Cofradía de Duendes. Valorar la necesidad de reubicar a las viviendas que se localicen dentro de la zona federal delimitada.
6. Manejo integrado de las aguas de tormenta, subterráneas, de abastecimiento municipal, y residuales, para reducir costos y obtener un abastecimiento más

confiable. Para lo cual se deberá considerar la interdependencia entre terrenos y recursos hídricos. Lo anterior significa que la ubicación de las plantas de tratamiento públicas y privadas, y por lo tanto de sus descargas al sistema de drenaje superficial, se definirá por el modelo general de uso del terreno y por la localización y naturaleza de sus residuos. No establecer la planta de tratamiento en áreas susceptibles de inundación.

7. Reúso de las aguas residuales tratadas, como estrategia básica para retirar los contaminantes o como sustituto del abastecimiento municipal para usos no potables.
8. Actualizar los planos de los sistemas de drenaje menor y mayor, mostrando gastos y sus niveles en las condiciones naturales y bajo control, tanto en las condiciones presentes como futuras.

6.2.1.2 Medidas Operativas

Son todas aquellas medidas que se adoptan ante la presencia de un fenómeno de tipo hidrometeorológico capaz de generar una inundación. Entre las cuales se recomienda:

- Programas de inspección y mantenimiento de obras, de procedimientos y normas a seguir desde que se detecte un fenómeno que pueda ocasionar un desastre.
- Campañas de concientización acerca de la importancia de no arrojar basura a calles y lechos de arroyos.
- Capacitar a las personas que pueden ser afectadas, para que sepan qué hacer, con quién y dónde acudir ante la presencia de un fenómeno extraordinario.
- Organizar y coordinar todas las acciones, personas y dependencias gubernamentales y privadas relacionadas con el desastre.
- Evacuar en forma segura a la población que sea o pueda ser afectada.
- Ayudar a la población afectada, proporcionando techo y alimentos hasta que pueda sea reacomodada o reparadas sus viviendas.

- Establecer medidas de control sanitario.
- Valorar los posibles daños a infraestructura y viviendas si los hubiere, reparar viviendas y reponer a la población enseres perdidos.
- Restaurar, en el menor tiempo posible, todos los servicios interrumpidos durante el desastre; entre ellos los de agua potable, drenaje y energía eléctrica
- Evaluar las medidas adoptadas, así como de sus logros y deficiencias para mejorar los planes y programas establecidos y la coordinación entre dependencias responsables
- Recurrir a las declaratorias de desastre de ser necesario.

6.2.1.3 Medidas estructurales.

1. Las medidas estructurales son cualquier obra de infraestructura hidráulica que ayude al control de las inundaciones. Se recomienda implementar las siguientes:
2. Construcción de planta de tratamiento de agua y protección ambiental del arroyo Santa Rosa aguas abajo de la descarga de aguas residuales.
3. Reparación del sistema de toma de la presa El Guayabo y del mecanismo de control de excedencias. Monitoreo constante de filtraciones.
4. Considerar la construcción de una presa rompe-picos aguas arriba de la localidad de Tamazulita y el rediseño del puente de la localidad considerando no sólo área hidráulica factible sino la velocidad de la corriente del tramo de río en consideración.
5. Establecer campañas de reforestación y protección de suelos en las cuencas de los arroyos Santa Rosa, Tamazula, Hondo y Colorado.

6.2.2 SEQUIAS

6.2.2.1 *Acciones Generales*

1. Considerar los escenarios de periodos de retorno para planear acciones a seguir ante las condiciones de demanda, implementar acciones de conservación como campaña educativa para aminorar el desperdicio de agua, revisión de los dispositivos de almacenamiento y distribución hidráulico para evitar derrames, etc.
2. Monitoreo y seguimiento del fenómeno que permita visualizar la efectividad de las acciones emprendidas para su mitigación. Registrar las acciones más efectivas y las que no dieron resultados positivos descartarlas.
3. Evaluar los efectos de la sequía en términos económicos y sociales que permita tener una visión global de sus consecuencias y con ello detectar a los sectores más vulnerables.

Recomendaciones para el sector agrícola y pecuario

1. Identificar las áreas de mayor deterioro y clasificar las áreas según su aptitud productiva.
2. Planear acciones de conversión de cultivos de surcos a uno de amplia cobertura (avena, cebada) en los terrenos identificados con mayores riesgos de erosión hídrica.
3. Planear acciones reconversión de actividades agrícolas a pecuarias, con siembra de especies arbustivas, pastos, magueyes o bien establecer asociaciones de cultivo.
4. Establecer zonas de reforestación, cortinas rompe vientos y zonas no maderables orientadas hacia la conservación y el turismo ecológico.

5. Tomando en consideración los datos de precipitación, escurrimientos, topografía, etc., disponibles en el Atlas valorar y planear acciones de cosecha de agua bien mediante captaciones "in situ" o mediante la técnica del manejo de escurrimientos.
6. Implementación de prácticas vegetativas las cuales consideran el desarrollo de plantas y cultivos para mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión tales como: rotación de cultivos, cultivo en fajas, etc.
7. Establecer sistemas de producción integral mediante agricultura sostenible y conservación de recursos o bien sistemas de producción sostenible de rotación y asociación de cultivos de otoño-invierno y primavera-verano bajo labranza de conservación.
8. Establecer criterios racionales y transparentes de distribución del déficit entre los sectores productivos, manteniendo las prioridades sectoriales actualizadas.

6.2.3 TORMENTA ELÉCTRICA.

Las recomendaciones generales para proteger a la población y bienes materiales ante este fenómeno son:

1. Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta eléctrica.
2. Cerrar las ventanas y correr las cortinas. Reforzar las puertas exteriores.
3. Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta eléctrica, ya que un rayo puede romper la rama de un árbol y golpear a una persona, e incluso, generar una explosión o un incendio.
4. Mantenerse atento a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico Nacional cada seis horas (smn.conagua.gob.mx).
5. Instalar pararrayos en torres y antenas.

6. Procurar la polarización correcta de todas las tomacorrientes incluyendo una tierra física en todo el sistema eléctrico (consultar a su proveedor de la Comisión Federal de Electricidad a un técnico especializado), véase *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, instalaciones eléctricas*.
7. Implementar una campaña de información a la población acerca de las medidas y prácticas de seguridad ante una tormenta eléctrica.

6.2.4 ONDAS DE CALOR

1. Evitar en lo posible las actividades al aire libre, toda vez que los índices de Radiación Ultravioleta se registran en sus niveles más altos, lo que puede producir afectaciones importantes en la piel.
2. Mantener la piel expuesta hidratada, haciendo uso de filtros y cremas solares, con lo que se podrá reducir el riesgo de quemaduras.
3. Consumir líquidos en suficiencia a fin de mantener la temperatura corporal y evitar riesgo de deshidratación.
4. Vigilar las actividades de menores, personas de la tercera edad y con capacidades diferentes, ya que son los más propensos a sufrir afectaciones importantes en estas condiciones.
5. En caso de presentar síntomas de deshidratación acudir al servicio médico para la revisión correspondiente.
6. De manera general, es también importante evitar tirar basura en los lotes baldíos, especialmente de botellas y vidrios ya que se corre el riesgo de provocar algún incendio.

6.2.5 HELADAS

6.2.5.1 Población

Implementar una campaña de información a la población acerca de las medidas de precaución y mitigación ante el fenómeno de las heladas, que incluya entre otros aspectos los siguientes

1. Evitar el consumo excesivo de bebidas alcohólicas durante el invierno, porque éstas pueden provocar daños e, incluso, la muerte, al no estar conscientes las personas.
2. Evitar exponerse al frío intenso durante largo tiempo.
3. Mantener seco al cuerpo humano y a una temperatura agradable, por ello deberá protegerse en la época invernal con suficiente ropa de abrigo.
4. Verificar el acceso a las zonas donde se presenten descensos bruscos de temperatura, ya que el pavimento puede estar resbaladizo o cubierto de hielo, si es que ocurre una helada.
5. Atender de inmediato cualquier enfermedad, porque éstas pueden llegar a complicarse y causar la muerte.
6. Tener hábitos de higiene como lavarse las manos siempre, porque en la temporada invernal se incrementan las enfermedades gastrointestinales, debido a que el agua se encuentra muy fría.

6.2.5.2 Sector Agrícola

Métodos directos.

1. Protección o cubierta de los cultivos (plástico, fibra de vidrio, red, túneles, calentadores, aluminio pulverizado y aislador de espuma) y hasta barreras forestales.

2. Generación de humo y neblinas artificiales (nubes de humo desde un bote de combustible, combustión química, humo de caldera).
3. Calentamiento directo del aire y la planta (calentadores líquidos, calentadores sólidos, calentadores eléctricos).
4. Irrigación y goteo. Inundación del terreno para liberar el calor latente. El uso del agua para contrarrestar las heladas es un método muy antiguo. Se conocen varias formas de riego: 1) inundación, 2) canales y 3) aspersión.
5. Mantenimiento de la temperatura sobre el punto de congelación por calentamiento artificial de las capas inferiores, por medio de hornillos o botes con petróleo o keroseno. Quemado de materia orgánica para producir humo cuyas partículas absorban el calor irradiado por la tierra.

Métodos indirectos

1. Escoger especies y variedades de cultivo resistentes a las heladas y de floración tardía.
2. Selección del terreno. Generalmente las depresiones son más propensas al frío y al fenómeno de la helada, por lo que se recomienda, en la medida de lo posible, no sembrar en el fondo de los valles cerrados, laderas y cuencas, que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío.

6.3 Referencias Bibliográficas.

Hernández Cerda, María Engracia, Azpra Romero, Enrique, Carrasco Anaya, Germán, Delgado Delgado Orlando, Villicaña Cruz Francisco Javier. (2001) *Los Ciclones tropicales de México I.6.1*. México: Plaza y Veldez

HERRERA ALANÍS, José Luis, (2012) *Análisis de las Olas de Calor en la República Mexicana*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.

IBAÑEZ ROSALES, Alejandro (2011) *Análisis Estadístico de Valores Extremos y Aplicaciones*. Trabajo de Investigación. Universidad de Granada. Granada. España.

Jiménez Espinosa, Martín, Matías Ramírez, Lucía Guadalupe, García Jiménez, Fermín, Vázquez Conde, María Teresa, Mendoza Estrada, David Ricardo, Renner, Stefanie. (2006). Capítulo III en *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos*. MEXICO: CENAPRED.

Jiménez Espinosa, Martín, Matías Ramírez, Lucía Guadalupe, Fuentes Mariles, Óscar A., Prieto González Ricardo. (2014, versión electrónica) *Ciclones Tropicales*. México: CENAPRED.

MATÍAS RAMÍREZ, Lucía Guadalupe (2014) *Actualización del índice de riesgo por ondas de calor en México*. México: CENAPRED.

Matías Ramírez, Lucía Guadalupe, Fuentes Mariles, Óscar Arturo, García Jiménez, Fermín. (2001) *Heladas*. México: CENAPRED.

Noji, Erick K, (2000) *Impacto de los desastres en la salud pública*. Bogotá, Colombia: Organización Panamericana de la Salud.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rentería Guevara Sergio Arturo, Martínez Angulo José, Sanz Ramos Rafael, (2015), *Reclasificación de huracanes en Sinaloa, México, por vientos y Precipitación asociada al riesgo por inundaciones*, Revista Digital Tlaloc, No. 67, abril-junio del 2015.

Rosengaus Moshinsky, Michel, Jiménez Espinosa, Martín, Vázquez Conde, María Teresa. (2002) *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. México: CENAPRED.

Snyder, Richard L., De Melo-Abreu, J. Paulo, (2010) *Protección contra las Heladas: Fundamentos, Práctica y Economía, Volumen 2*. ROMA: FAO

ÍNDICE DE IMÁGENES, TABLAS Y GRÁFICOS.

Imagen 6-I. Índice de calor. Temperatura en °C eje vertical y humedad relativa eje horizontal.....	5
Imagen 6-II. Zonas de peligro por presencia de temperaturas mínimas extremas y ondas de calor.	14
Imagen 6-III. Temperaturas máximas absolutas en Tecolotlán, la zona en rojo representan 44.3 °C	15
Imagen 6-IV. Mapa de peligro por temperaturas mínimas extremas.....	17
Imagen 6-V. Temperaturas mínimas extremas absolutas.....	19
Imagen 6-VI. Vulnerabilidad de sistemas a ondas de calor en Tecolotlán.....	21
Imagen 6-VII. Riesgo ante ondas de calor en Tecolotlán	25
Imagen 6-VIII. Riesgo por ondas gélidas en el Municipio de Tecolotlán.....	30
Imagen 6-IX. Índice de severidad de la sequía	33
Imagen 6-X. Grados de severidad de sequía meteorológica.....	35
Imagen 6-XI Distribución de la sequía de acuerdo al NDDI calculado con la imagen de la temporada seca.	47
Imagen 6-XII Distribución de la sequía de acuerdo al NDDI calculado con la imagen de la temporada húmeda.....	48
Imagen 6-XIII. Distribución de la sequía en el municipio de Tecolotlán de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.....	50
Imagen 6-XIV. Vulnerabilidad física ante sequías.....	66
Imagen 6-XV. Riesgo a sequías en Tecolotlán.	69
Imagen 6-XVI. Helada provocada por frente frío en marzo del 2016 en Jalisco.	71
Imagen 6-XVII. Peligro por heladas en Tecolotlán	78
Imagen 6-XVIII. Vulnerabilidad física en el municipio de Tecolotlán ante heladas.	80
Imagen 6-XIX. Riesgo por heladas en Tecolotlán.	83
Imagen 6-XX. Granizo acumulado proveniente del techo de la Casa de Cultura, Tecolotlán	85
Imagen 6-XXI. Taller de análisis de peligros hidrometeorológicos, participa Protección Civil Municipal e IIEG.....	87
Imagen 6-XXII. Días con granizo al año en Tecolotlán.....	88
Imagen 6-XXIII. Peligro por granizo en Tecolotlán.	89

Imagen 6-XXIV. Accidente de tránsito en carretera debido a granizo.	92
Imagen 6-XXV. Vulnerabilidad física por granizo en Tecolotlán	93
Imagen 6-XXVI. Niveles de riesgo por granizo a nivel municipal.	99
Imagen 6-XXVII. Deslizamiento de ladera en La Pintada debido a huracán Manuel.	101
Imagen 6-XXVIII Temperatura del océano pacífico para enero,	102
Imagen 6-XXIX. Temperatura del océano pacífico para agosto, 2003-2012.....	103
Imagen 6-XXX. Trayectorias de huracanes en el Océano Pacífico	104
Imagen 6-XXXI. Trayectorias de ciclones en área de influencia del municipio de Tecolotlán	109
Imagen 6-XXXII. Trayectoria de evento de octubre de 1945.	110
Imagen 6-XXXIII. Trayectoria de evento de 1959.	110
Imagen 6-XXXIV. Trayectoria de Huracán Jova	112
Imagen 6-XXXV. Precipitación y trayectoria de Jova.	112
Imagen 6-XXXVI. Trayectoria de Huracán Patricia.	114
Imagen 6-XXXVII. Precipitación acumulada generada por Huracán Patricia.	115
Imagen 6-XXXVIII. Ojo del Huracán Patricia.	116
Imagen 6-XXXIX. Presión atmosférica provocada por Patricia.....	119
Imagen 6-XL. Velocidad de los vientos, huracán Patricia.....	119
Imagen 6-XLI. Peligro por huracanes en Tecolotlán.....	120
Imagen 6-XLII Vulnerabilidad física en Tecolotlán ante un huracán categoría II.	122
Imagen 6-XLIII. Riesgo ante ciclón tropical categoría II con trayectoria de Ciclón Patricia.	127
Imagen 6-XLIV. Estructura eléctrica de una nube de tormenta.....	129
Imagen 6-XLV. Descarga de retorno en una tormenta eléctrica.....	130
Imagen 6-XLVI. Mapa de isodensidad de descargas de rayos a tierra.	131
Imagen 6-XLVII. DRT por km ² /año en el municipio de Tecolotlán.....	133
Imagen 6-XLVIII. Niveles de peligro por tormentas eléctricas en Tecolotlán	134
Imagen 6-XLIX. Vulnerabilidad física frente a tormentas eléctricas.	137
Imagen 6-L. Riesgo por tormenta eléctrica en Tecolotlán.	145
Imagen 6-LI. Isoyetas de precipitación máxima en 24 horas. Datos Históricos.	152
Imagen 6-LII. Niveles de peligro por lluvias intensas en Tecolotlán, Jalisco.	154
Imagen 6-LIII. Vulnerabilidad física ante lluvias intensas.	157

Imagen 6-LIV. Exposición al riesgo por lluvias intensas en Tecolotlán.	162
Imagen 6-LV. La distribución del territorio de Tecolotlán por subcuenca.	170
Imagen 6-LVI. Calles y sitios específicos donde han ocurrido eventos de inundación.	173
Imagen 6-LVII. Ubicación de estaciones meteorológicas y sus áreas de influencia en Tecolotlán según polígonos de Thiessen.	176
Imagen 6-LVIII. Ubicación de la nanocuenca que incide sobre la comunidad San Buenaventura.	177
Imagen 6-LIX . Números de Escurrimiento (N) para el municipio de Tecolotlán	183
Imagen 6-LX. Nanocuencas en el municipio de Tecolotlán que inciden en sus comunidades	185
Imagen 6-LXI. Precipitación efectiva en cuenca del Arroyo Santa Rosa para Tr 2 años. ...	189
Imagen 6-LXII. Puente en Arroyo Tamazula en Tamazulita.	200
Imagen 6-LXIII. Localidad de Quila y los arroyos que inciden sobre ella.	202
Imagen 6-LXIV. Palo Alto y los Arroyos La Presa y El Horno.	206
Imagen 6-LXV. Esquema de análisis en HEC-HMS.	206
Imagen 6-LXVI. Arroyos El Tacote y SN a la altura de Ayotitlán.	214
Imagen 6-LXVII. Superficie formada a partir de una red de triángulos irregulares y secciones transversales sobre el lecho del Arroyo Santa Rosa.	215
Imagen 6-LXVIII. Resultado obtenido en HEC-Ras para el Arroyo Santa Rosa.	217
Imagen 6-LXIX. Imagen de una sección transversal en el Arroyo Santa Rosa.	217
Imagen 6-LXX. Resultados que permiten visualizar profundidad y velocidad para una tormenta de intensidad determinada.	218
Imagen 6-LXXI. Los resultados obtenidos mediante HEC-GEORAS pueden ser exportados a formato KML o KMZ y ser visualizados en Google Earth y otras plataformas.	219
Imagen 6-LXXII. Red colectores y escurrimientos naturales en la cabecera municipal.	223
Imagen 6-LXXIII. Severidad de Inundación para una tormenta con periodo de retorno de 5 años.	224
Imagen 6-LXXIV. Cuencas urbanas.	225
Imagen 6-LXXV. Cortina de la Presa El Pochote	227
Imagen 6-LXXVI. Panorámica de la Presa El Pochote.	228
Imagen 6-LXXVII. Panorámica de la Presa El Guayabo.	229
Imagen 6-LXXVIII. Vulnerabilidad física ante inundaciones.	231

Imagen 6-LXXIX. Vertedero presa El Guayabo.	236
Imagen 6-LXXX. Filtraciones en cortina de presa El Guayabo.	237
Imagen 6-LXXXI. Obra de toma, Presa El Guayabo.....	238
Imagen 6-LXXXII. Vertedero Presa El Pochote.....	239
Imagen 6-LXXXIII. Vulnerabilidad física de Presas.....	240
Imagen 6-LXXXIV. Riesgo para población y vivienda en la Cabecera Municipal.	242
Imagen 6-LXXXV. Riesgo para población y vivienda en Tamazulita.	243
Imagen 6-LXXXVI. Riesgo para viviendas y población en Quila.	244
Imagen 6-LXXXVII Riesgo de inundación en San Buenaventura.....	245
Imagen 6-LXXXVIII. Riesgo para población y vivienda en Cofradía de Duendes.	246
Imagen 6-LXXXIX. Riesgo para inundación en Ayotitlán.	247
Imagen 6-XC. Modelo numérico WRF vientos de superficie con dirección NE provenientes del Pacífico.....	258
Imagen 6-XCI. Nubosidades arrastradas desde el Pacífico hacia el continente afectando al Estado de Jalisco.....	259
Imagen 6-XCII. Trayectoria de vientos Alisios durante el verano.	260
Imagen 6-XCIII. Vientos anabáticos.....	260
Imagen 6-XCIV. Vientos Katabáticos.	261
Imagen 6-XCV. Distribución de velocidades de viento promedio anual.	262
Tabla 6-I Peligros asociados al índice de calor en función de temperatura y humedad relativa.....	5
Tabla 6-II. Duración en días de ondas de calor registradas en la estación meteorológica 14143 ubicada en Tecolotlán.	9
Tabla 6-III. Meses con más eventos de ondas de calor.....	10
Tabla 6-IV. Días por año con temperaturas superiores o iguales a 36 °C.	11
Tabla 6-V. Periodos de retorno para temperaturas mínimas mensuales promedio.	16
Tabla 6-VI. Periodos de retorno para temperaturas mínimas mensuales promedio, estaciones auxiliares.....	16
Tabla 6-VII. Estratos de población más vulnerables a ondas de calor	20
Tabla 6-VIII. Población en riesgo por ondas de calor	22
Tabla 6-IX. Población en riesgo alto	23

Tabla 6-X. Población en riesgo bajo.....	23
Tabla 6-XI. Población en riesgo medio	24
Tabla 6-XII. Población en riesgo muy bajo	24
Tabla 6-XIII. Habitantes en riesgo ante ondas gélidas.....	27
Tabla 6-XIV. Habitantes por localidad en riesgo alto	28
Tabla 6-XV. Habitantes por localidad en riesgo medio	29
Tabla 6-XVI. Habitantes por localidad en riesgo bajo.	29
Tabla 6-XVII. Habitantes por localidad en riesgo muy bajo.....	30
Tabla 6-XVIII. Estaciones base para cálculo de escenario base.....	34
Tabla 6-XIX. Grados de severidad de sequía meteorológica	34
Tabla 6-XX. Grados de sequía meteorológica por estación.....	35
Tabla 6-XXI. Anomalía de precipitación mensual	37
Tabla 6-XXII. Porcentaje de sequía intraestival.	39
Tabla 6-XXIII. Registro histórico de sequías en Tecolotlán según SPI	42
Tabla 6-XXIV Valores utilizados en la reclasificación del NDDI de las imágenes de la temporada seca y de la temporada húmeda	45
Tabla 6-XXV Rangos de valores y la categoría de sequía asignada para el NDDI ₂₀₁₆	46
Tabla 6-XXVI. Valores de intensidad de peligro asignados a cada categoría de sequía.....	46
Tabla 6-XXVII. Categorías de sequía y el porcentaje de superficie que ocupan en el municipio de Tecolotlán, de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.	52
Tabla 6-XXVIII. Superficie en porcentaje de los tipos de cobertura vegetal que se ubican dentro de cada categoría de sequía definida en el NDDI ₂₀₁₆	53
Tabla 6-XXIX. Valores críticos del indicador de discordancia para análisis regional de frecuencias.....	54
Tabla 6-XXX. Valores de diferentes L-momentos.	55
Tabla 6-XXXI. Criterio de homogeneidad regional de Wallis.....	56
Tabla 6-XXXII. Periodos de retorno para sequía intraestival para el mes de agosto.	57
Tabla 6-XXXIII. Sequía intraestival, disminución de ´precipitación en porcentaje.....	58
Tabla 6-XXXIV. Valores de coeficientes de correlación para diferentes funciones de probabilidad.....	58
Tabla 6-XXXV. Periodos de retorno para sequías con duración de tres meses junio-agosto.	59

Tabla 6-XXXVI. Disminución de precipitación en promedio para sequías con duración de tres meses.....	59
Tabla 6-XXXVII Periodos de retorno para sequías con duración de 6 meses, en mm.	60
Tabla 6-XXXVIII. . Periodos de retorno para sequías con duración de 6 meses, en porcentaje	60
Tabla 6-XXXIX. Tipos de suelo y superficie cubierta	64
Tabla 6-XL. Niveles de Riesgo para la población ante la sequía	67
Tabla 6-XLI. Niveles de Riesgo de sequía para las actividades agrícolas.....	68
Tabla 6-XLII. Certidumbre de cero heladas menores a 0 °C.....	77
Tabla 6-XLIII. Vulnerabilidad de cultivos a heladas.	79
Tabla 6-XLIV. Niveles de riesgo por heladas para los diferentes cultivos en Tecolotlán.	81
Tabla 6-XLV. Días con granizo al año	87
Tabla 6-XLVI. Periodos de retorno para días con granizo.	88
Tabla 6-XLVII. Población por localidades en riesgo alto y medio ante tormentas de granizo.	94
Tabla 6-XLVIII. Vías de comunicación en riesgo por tormenta de granizo.....	95
Tabla 6-XLIX. Cultivos en riesgo por tormenta de granizo.	97
Tabla 6-L. Categoría Saffir-Simpson.....	105
Tabla 6-LI Clasificación para lluvia acumulada	106
Tabla 6-LII. Clasificación propuesta con rangos de precipitación	106
Tabla 6-LIII. Categorías de ciclones con base en viento y lluvia.....	107
Tabla 6-LIV. Eventos con incidencia en el Municipio de Tecolotlán, periodo 1945-2015.	116
Tabla 6-LV. Tasa de excedencia de eventos históricos.....	117
Tabla 6-LVI. Periodos de retorno para las diferentes intensidades de Huracanes.	118
Tabla 6-LVII. Población en riesgo ante ciclones tropicales.....	123
Tabla 6-LVIII. Riesgo para el sector agrícola ante huracanes, superficie afectable en hectáreas.	124
Tabla 6-LIX. Riesgo para el sector eléctrico, afectaciones a postes y torres.....	125
Tabla 6-LX. Riesgo para el sistema de carreteras y caminos.....	126
Tabla 6-LXI. Días de tormenta al año promedio por estación.....	131
Tabla 6-LXII. Descargas directas a tierra calculadas con la ecuación	132
Tabla 6-LXIII. Días al año de tormenta eléctrica por periodo de retorno.	133

Tabla 6-LXIV. Población en diferentes niveles de riesgo.....	138
Tabla 6-LXV. Escuelas en diferentes de riesgo.	139
Tabla 6-LXVI. Escuelas en riesgo alto.....	140
Tabla 6-LXVII. Escuelas en riesgo medio.....	140
Tabla 6-LXVIII. Escuelas en riesgo bajo.....	141
Tabla 6-LXIX. Escuelas en riesgo muy bajo	141
Tabla 6-LXX. Postes y torres de alta tensión en riesgo.....	142
Tabla 6-LXXI. Líneas de distribución y suministro en riesgo, metros.	142
Tabla 6-LXXII. Niveles de riesgo en instalaciones que almacenan y distribuyen hidrocarburos.	143
Tabla 6-LXXIII. Riesgo para los diferentes tipos de vegetación.	143
Tabla 6-LXXIV. Precipitaciones mensuales promedio, máxima y mínima por mes, estación 14143	148
Tabla 6-LXXV. Datos obtenidos con función de probabilidad normal.....	150
Tabla 6-LXXVI. Periodos de retorno para lluvias máximas en 24 horas.	151
Tabla 6-LXXVII. Precipitaciones máximas para periodos de retorno para estaciones regionales	153
Tabla 6-LXXVIII. Niveles de vulnerabilidad de población y vivienda.	155
Tabla 6-LXXIX. Vulnerabilidad en sectores de infraestructura	156
Tabla 6-LXXX. Riesgo de población ante lluvias intensas.	158
Tabla 6-LXXXI. Infraestructura del sector eléctrico en riesgo ante lluvias intensas.....	161
Tabla 6-LXXXII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector hidrocarburos.	163
Tabla 6-LXXXIII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector agua potable y saneamiento.	163
Tabla 6-LXXXIV. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector transporte.	164
Tabla 6-LXXXV. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector telecomunicaciones.	165
Tabla 6-LXXXVI. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector agropecuario.	166
Tabla 6-LXXXVII. Exposición al riesgo por lluvias intensas del sector Industria y comercio.	168
Tabla 6-LXXXVIII. Inundaciones Históricas registradas en la Cabecera Municipal	172
Tabla 6-LXXXIX. Inundaciones históricas en la comunidad Tamazulita.....	174
Tabla 6-XC. Inundaciones históricas en la comunidad de San Buenaventura	174

Tabla 6-XCI. Datos de Estaciones disponibles para estudios de hidrología en la región. ..	175
Tabla 6-XCII. Datos de precipitación máxima en 24 horas en la estación 14143.....	177
Tabla 6-XCIII. Análisis de estadística descriptiva de los datos de la estación 14143.	178
Tabla 6-XCIV. Ajuste de los datos históricos a la función de probabilidad normal estandarizada.	179
Tabla 6-XCV. Extrapolación de datos generados por la función de probabilidad normal estandarizada.	181
Tabla 6-XCVI. Parámetros hidrológicos de las subcuencas localizadas en Tecolotlán.....	185
Tabla 6-XCVII. Intensidad-período de retorno para San Buenaventura, tormenta de 1 hora.	186
Tabla 6-XCVIII. Intensidad-periodo de retorno para lluvias con duración igual al tiempo de concentración	188
Tabla 6-XCIX. Precipitación efectiva promedio para los diferentes periodos de retorno .	190
Tabla 6-C. Caudales máximos, tiempo del pico y volumen total de escurrimiento para Arroyo Santa Rosa.	191
Tabla 6-CI. Índices morfométricos del Arroyo El Caganche.	195
Tabla 6-CII. Precipitaciones efectivas promedio para la cuenca del Arroyo La Cofradía...	195
Tabla 6-CIII- Índices morfométricos del Arroyo La Cofradía.	196
Tabla 6-CIV. Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para el Arroyo El Caganche.	196
Tabla 6-CV Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para el Arroyo La Cofradía.	197
Tabla 6-CVI Caudales máximos, tiempo pico y volumen de escurrimiento para la Presa La Pila.	197
Tabla 6-CVII. Precipitaciones efectivas promedio para la cuenca del Arroyo Tamazula ...	200
Tabla 6-CVIII. Caudales máximos, tiempo del pico y volumen escurrido por Arroyo Tamazula.	200
Tabla 6-CIX. Precipitación efectiva promedio para la cuenca del Rio Chico.	203
Tabla 6-CX. Caudales máximos, tiempo pico y volumen total descargado por Rio Chico .	203
Tabla 6-CXI. Caudales máximos, tiempo pico y volumen escurrimiento por afluente Rio Chico.	204

Tabla 6-CXII. Caudales máximos, tiempo pico y volumen total descargado por Rio Chico y afluentes.	204
Tabla 6-CXIII. Precipitación total y efectiva para la cuenca del Arroyo La Presa.	207
Tabla 6-CXIV Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado por Arroyo La Presa	207
Tabla 6-CXV Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado por Arroyo El Horno.	208
Tabla 6-CXVI. Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado en el punto de unión La Presa - El Horno.....	208
Tabla 6-CXVII. Caudales máximos, tiempo pico y volumen escurrimiento en el nodo 5. ...	208
Tabla 6-CXVIII. Precipitación total y efectiva para San Buenaventura.	210
Tabla 6-CXIX. Caudales máximos, tiempo pico y volumen desalojado en el arroyo La Florida.	211
Tabla 6-CXX Caudales pico en Unión Arroyos Hondo-Colorado.....	211
Tabla 6-CXXI. Caudales máximos en Arroyo El Tacote.	212
Tabla 6-CXXII. Caudales máximos en arroyo Sin Nombre.	213
Tabla 6-CXXIII. Caudales máximos en punto de unión Arroyo El Tacote y Arroyo Sin Nombre.	213
Tabla 6-CXXIV. Puntos de velocidades y profundidades máximas en el Arroyo Santa Rosa.	220
Tabla 6-CXXV. Áreas ocupadas por las cuencas urbanas	226
Tabla 6-CXXVI. Niveles y capacidades de la Presa El Pochote.....	227
Tabla 6-CXXVII. Niveles de vulnerabilidad de población y vivienda	230
Tabla 6-CXXVIII. Vulnerabilidad física, sector electricidad.	232
Tabla 6-CXXIX. Vulnerabilidad física, sector hidrocarburos.	232
Tabla 6-CXXX. Vulnerabilidad física, sector Agua potable y saneamiento.	233
Tabla 6-CXXXI Vulnerabilidad en sectores de infraestructura.	234
Tabla 6-CXXXII. Vulnerabilidad física, sector agrícola.	235
Tabla 6-CXXXIII. Riesgo para población y vivienda ante inundaciones.	241
Tabla 6-CXXXIV. Riesgo para infraestructura, sector eléctrico.....	248
Tabla 6-CXXXV. Riesgo para infraestructura, sector comunicaciones y transporte.....	250
Tabla 6-CXXXVI. Riesgo para sector agropecuario.	252

Tabla 6-CXXXVII. Riesgo en sector comercio.	253
Tabla 6-CXXXVIII. Velocidades de vientos a 30 metros de altura.....	261
Gráfico 6-I. Número de ondas de calor por mes, periodo 1980-2011.	11
Gráfico 6-II. Incremento de la duración de ondas de calor a través del tiempo.....	12
Gráfico 6-III. Temperaturas mínimas promedio mensuales, estación Tecolotlán.	16
Gráfico 6-IV. Población en riesgo por ondas de calor en Tecolotlán	22
Gráfico 6-V. Población en riesgo por ondas gélidas.	28
Gráfico 6-VI. Sequía intraestival Julio-Agosto-Septiembre. Estación Tecolotlán.....	39
Gráfico 6-VII. Sequía intraestival Junio-Septiembre. Estación Tecolotlán	40
Gráfico 6-VIII. Sequía intraestival Julio-Agosto-Septiembre, Estación Ameca.....	40
Gráfico 6-IX. Sequía intraestival julio-agosto-septiembre, Estación Atemajac de Brizuela.	41
Gráfico 6-X. Sequía intraestival julio-agosto-septiembre, estación Juchitlán.....	41
Gráfico 6-XI. Comparación de los histogramas de los NDDI calculados para las dos imágenes. De color azul se presenta el histograma del NDDI de la imagen de la temporada seca (marzo) y de color verde el histograma del NDDI de la imagen de la temporada húmeda (noviembre).	49
Gráfico 6-XII. Porcentaje de superficie ocupada por las diferentes categorías de sequía en el municipio de Tecolotlán, de acuerdo al NDDI calculado para el año 2016.	51
Gráfico 6-XIII. Producción agrícola en miles de pesos, 2010-2015.	62
Gráfico 6-XIV. Toneladas de productos agrícolas.....	63
Gráfico 6-XV. Valor de producción ganadera 2010-2015.....	63
Gráfico 6-XVI. Niveles de riesgo ante sequía de la población en porcentaje.	67
Gráfico 6-XVII. Riesgo a sequías para maíz de temporal.....	68
Gráfico 6-XVIII: Temperaturas mínimas diarias.....	75
Gráfico 6-XIX. Gráfico obtenido con hoja de cálculo TempRisk de FAO para Tecolotlán.	76
Gráfico 6-XX. Certidumbre de no ocurrencia de heladas por debajo de 0 °C, obtenida con hoja de cálculo TempRisk de FAO, para Tecolotlán	76
Gráfico 6-XXI. Población a nivel municipal en riesgo ante tormentas de granizo.	95
Gráfico 6-XXII. Metros de carretera pavimentada en riesgo por tormentas de granizo.	96
Gráfico 6-XXIII. Superficie de maíz de temporal en riesgo por granizo.	98
Gráfico 6-XXIV. Velocidades desarrolladas por "Jova".	113

Gráfico 6-XXV. Presiones desarrolladas por "Jova"	113
Gráfico 6-XXVI. Población en diferentes niveles de riesgo por ciclones tropicales, escenario Huracán II, trayectoria Patricia	123
Gráfico 6-XXVII. Riesgo para maíz de temporal por ciclones tropicales, superficie afectable.	125
Gráfico 6-XXVIII. Población en diferentes niveles de riesgo.	138
Gráfico 6-XXIX. Escuelas del municipio de Tecolotlán y sus niveles de riesgo ante tormentas eléctricas	139
Gráfico 6-XXX. Niveles de riesgo para bosque tropical caducifolio.....	144
Gráfico 6-XXXI. Precipitaciones promedio máximas en 24 horas.	148
Gráfico 6-XXXII. Precipitación máxima anual en 24 horas. Estación 14143.....	149
Gráfico 6-XXXIII. Porcentaje de población en riesgo ante lluvias intensas según niveles de exposición.	160
Gráfico 6-XXXIV. Porcentaje de vivienda en riesgo ante lluvias intensas según niveles de exposición.....	160
Gráfico 6-XXXV. Exposición al riesgo por lluvias intensas de carreteras.....	165
Gráfico 6-XXXVI. Riesgo en agricultura de riego por lluvias intensas.....	167
Gráfico 6-XXXVII. Riesgo en cultivos de maíz de temporal por lluvias intensas.	167
Gráfico 6-XXXVIII. Ajuste de los datos históricos a la función de probabilidad normal estandarizada.	180
Gráfico 6-XXXIX. Hidrograma para Tr 2 añosFuente: Elaboración propia.....	192
Gráfico 6-XL. Hidrograma para Tr 5 años	192
Gráfico 6-XLI. Hidrograma para tr 10 años.....	193
Gráfico 6-XLII. Hidrograma para tr 50 años.Fuente: Elaboración propia.	193
Gráfico 6-XLIII. Hidrograma para tr 100 años.....	194
Gráfico 6-XLIV. Hidrograma para Tr 200 años.....	194
Gráfico 6-XLV. Hidrograma para Arroyo El Caganche para Tr 2 años.	198
Gráfico 6-XLVI. Hidrograma para Arroyo La Cofradía para Tr 2 años.....	198
Gráfico 6-XLVII Hidrograma para Presa La Pila para Tr 2 años.....	199
Gráfico 6-XLVIII. Hidrograma para tr 2 años, Rio Chico y afluente en Quila.....	205
Gráfico 6-XLIX. Hidrograma para la subcuenca del Arroyo El Horno, tr 10 años.	209
Gráfico 6-L. Hidrograma en el nodo 5, tr 10 años.	210

Gráfico 6-LI. Hidrograma para los arroyos Hondo y Colorado, punto de unión.	212
Gráfico 6-LII. Hidrograma para tr 50 años, unión El Tacote- Arroyo SN	214
Gráfico 6-LIII. Velocidades máximas en m/seg para los diferentes periodos de retorno a lo largo del Arroyo Santa Rosa a su paso por la Cabecera Municipal.	220
Gráfico 6-LIV. Grafica de Dorrigo.....	221
Gráfico 6-LVI. Niveles de riesgo en infraestructura eléctrica: sistemas de transmisión de una línea.	249
Gráfico 6-LVII. Riesgo para infraestructura en caminos de terracería.	251
Gráfico 6-LVIII. Niveles y superficies en riesgo para maíz de temporal.	252
Gráfico 6-LIX. Niveles y superficies en riesgo para agricultura de riego.	253