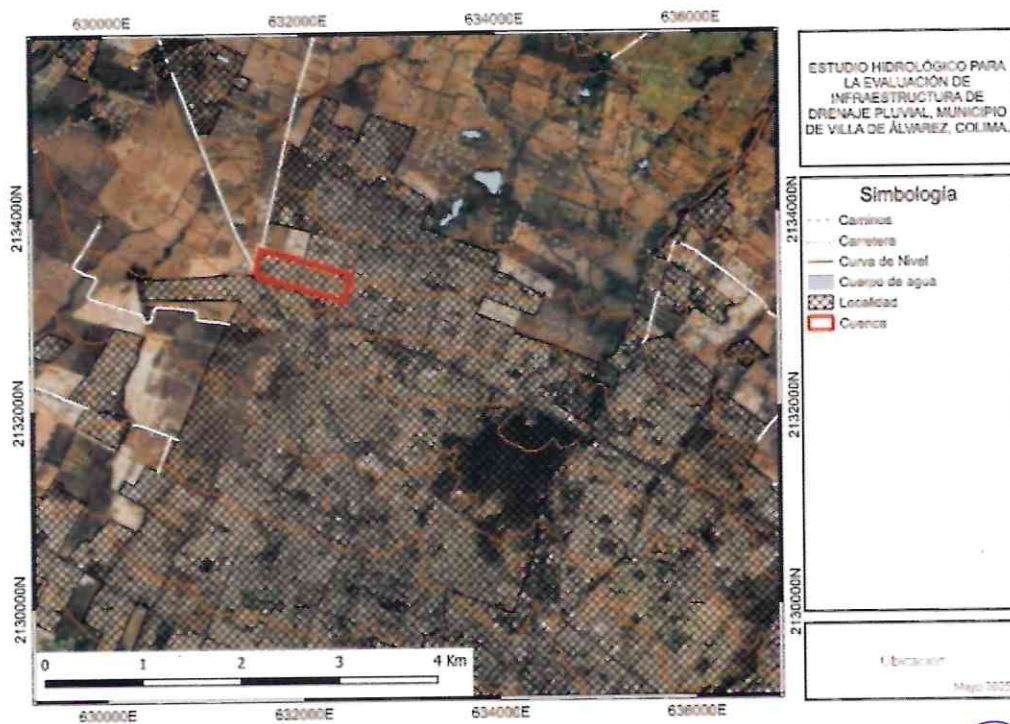


# ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL EN COLONIA LINDA VISTA II, MUNICIPIO DE VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten mark]*

## CONTENIDO

Introducción.....	3
Objetivo.....	4
Trabajos previos.....	4
Zona de estudio.....	4
Localización.....	4
Hidrografía.....	5
Fisiografía.....	6
Uso y tipo de suelo.....	7
Unidades climáticas.....	9
Información climatológica.....	10
Precipitación media de la cuenca.....	12
Procesamiento de lluvias máximas en 24 horas.....	13
Distribución de probabilidad de eventos extremos.....	14
Precipitación para diferentes periodos de retorno.....	15
Curvas I-D-TR.....	16
Información hidrométrica.....	19
Características morfológicas de la cuenca.....	19
Tamaño y tipo de cuenca.....	19
Número de escurrimiento (N).....	19
Pendiente.....	20
Tiempos de concentración.....	21
Lluvia media de diseño.....	22
Cálculo de gastos de diseño.....	24
Avenida de diseño.....	24
Estimación de a venida de diseño.....	25
Selección del gasto de diseño.....	27
Conclusiones y recomendaciones.....	28
Fuentes.....	29
Índice de tablas y figuras.....	29

## Introducción

El presente estudio surge de la necesidad de estimar el gasto de diseño para la evaluación del escurrimiento pluvial en la colonia Linda Vista II, del municipio de Villa de Álvarez, Colima, debido a las intensas lluvias y suelo en su mayoría impermeable se han presentado acumulaciones del escurrimiento en las calles del fraccionamiento, provocando altos tirantes e inundaciones repentinas, con este estudio se pretende brindar una base técnica para el cálculo del gasto que se presenta para distintos periodos de retorno que serán utilizados como referencia en el estudio hidráulico y de diseño de la infraestructura para mitigar el problema.

Cabe destacar que la metodología empleada para la obtención de caudales máximos se aplica principalmente en cuencas sub-urbanas, sin embargo, en estos casos el caudal máximo obtenido puede ser una referencia para el dimensionamiento de la infraestructura pluvial.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

El presente estudio se realiza como respaldo técnico, integrando las bases, criterios y análisis para obtener el gasto de diseño de una cuenca urbana que afecta a la colonia Linda Vista II, ubicado en el Municipio de Villa de Álvarez, Colima.

## Objetivo

El objetivo del presente estudio es estimar las avenidas máximas asociadas a diferentes periodos de retorno conforme el marco técnico vigente en la zona de estudio con el fin de evaluar el escurrimiento pluvial en la zona de la colonia Linda Vista II, ubicado en el Municipio de Villa de Álvarez, Colima.

## Trabajos previos

Previo a la elaboración del análisis hidrológico, se desarrollaron trabajos relativos a la recopilación y análisis de la información, que consiste en lo siguiente:

- Obtención y procesamiento de cartografía digital del INEGI, utilizando la cartografía E13B34 – Comala, escala 1:50,000 y E13B34 f Comala, escala 1:20,000.
- Análisis de la ubicación y sistema hidrológico de los escurrimientos hasta el sitio de interés, incluyendo la elaboración de cartografía en la que se muestra el cauce principal, zonas urbanas, vías de comunicación, entre otros.
- Obtención de área de la cuenca, perfil longitudinal del escurrimiento, delimitando el partaguas hasta el final del tramo en condiciones naturales del sitio.
- Obtención y procesamiento de datos climatológicos de las estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio (Comala ETA – 6052).

## Zona de estudio

### Localización

La zona de estudio se ubica al norte del Estado de Colima, sobre el Municipio de Villa de Álvarez, al noroeste de la localidad de Villa de Álvarez, específicamente en la colonia Linda Vista II, la cuenca urbana comprende el fraccionamiento Linda Vista, Linda Vista II, Vista Bugambilias y Loma Dorada.

La colonia Linda Vista II se localiza al poniente de la delimitación de la cuenca, ya que se evaluará el gasto que se concentra en una obra de drenaje pluvial y que descarga colector pluvial existente.

Al sitio se puede acceder desde el centro de la ciudad de Villa de Álvarez, tomando la calle Av. J Merced Cabrera hacia el oeste, y posteriormente tomando la calle Av. Enrique Corona Morfín durante 2.8 km se encuentra el entronque de la Av. Esmeralda, vialidad a intervenir con este proyecto.

El sitio específico, se ubica en las coordenadas geográficas 19°17'27.0" de latitud Norte y 103°44'46.9" de longitud Oeste (coordenadas estándar UTM: Este 631,723, Norte 2,133,484, en la zona 13N).

## Hidrografía

El área de estudio se encuentra inmersa dentro de la Región Hidrológica Administrativa denominada por la Comisión Nacional del Agua como **Lerma Santiago Pacifico** en la Región Hidrológica 16 nombrada **Armería - Coahuayana**, dentro de la cuenca hidrológica **Río Armería** y subcuenca hidrográfica RH16 Ba denominada **Río Armería**.

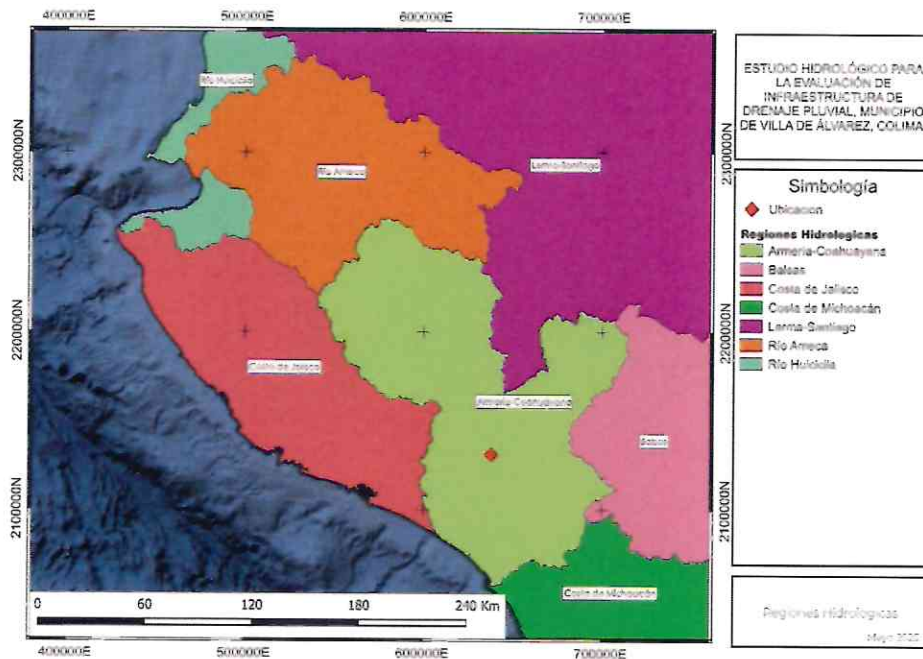


Figura 2. Regiones hidrográficas de la zona de estudio.

De acuerdo con datos vectoriales de información topográfica E13B34 Comala, escala 1:50,000 (INEGI, 2019), el área de estudio no tiene un arroyo definido, sin embargo, aguas abajo se incorpora al arroyo sin nombre oficial, identificándolo como un arroyo intermitente de primer orden.

Este arroyo se localiza dentro del Estado de Colima, en el Municipio de villa de Álvarez, cruza principalmente por zonas urbanas, sigue su recorrido a través del Fraccionamiento Real Centenario y posteriormente del Fraccionamiento Rancho Blanco, luego se incorpora al río Colima que así mismo se incorpora en el Río Armería, desembocando en el Océano Pacífico.

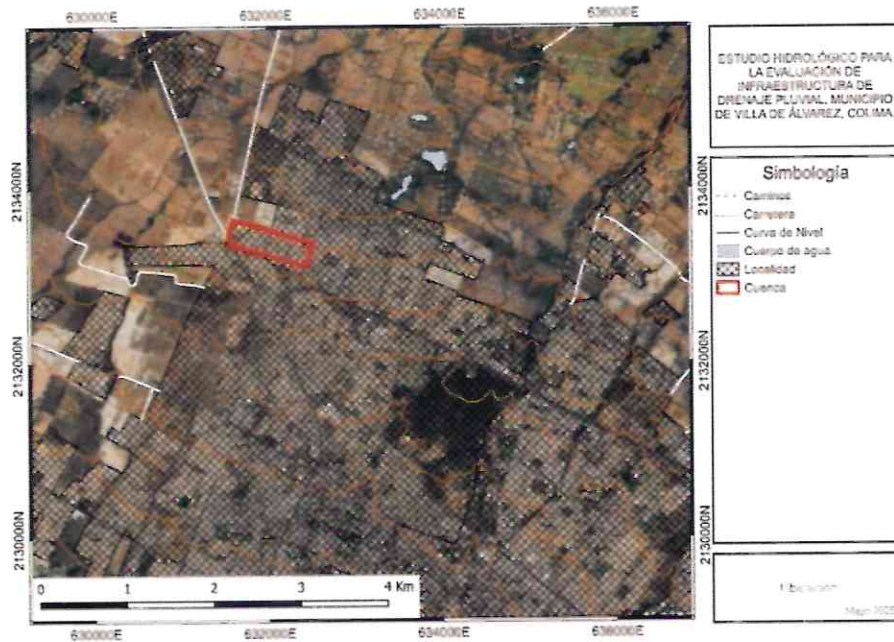


Figura 3. Hidrografía de la cuenca.

### Fisiografía

La cuenca de estudio se caracteriza por presentar una superficie con presencia de lomeríos, formando parte de la fisiografía Sierra Madre del Sur, el cual ocupa una cordillera que se extiende por gran parte de la costa del Pacífico mexicano. La zona de estudio se ubica dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, dentro de la subprovincia fisiográfica Volcanes de Colima, la cual incluye topo formas del tipo Llanura Aluvial.

Se utilizó información del conjunto de datos vectoriales fisiográficos, continuo nacional, serie I, escala 1:1,000,000 del INEGI referente a topofomas, provincias y subprovincias fisiográficas.

En la siguiente tabla, se muestra la topofoma correspondiente dentro de la cuenca, encontrándose principalmente la presencia de lomeríos en la zona de estudio.

Topofoma	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
Lomerío	Llanura Aluvial	0.578	100.00%
	<b>Total</b>	<b>0.578</b>	<b>100.00%</b>

Tabla 1. Topofomas presentes en la zona de estudio.

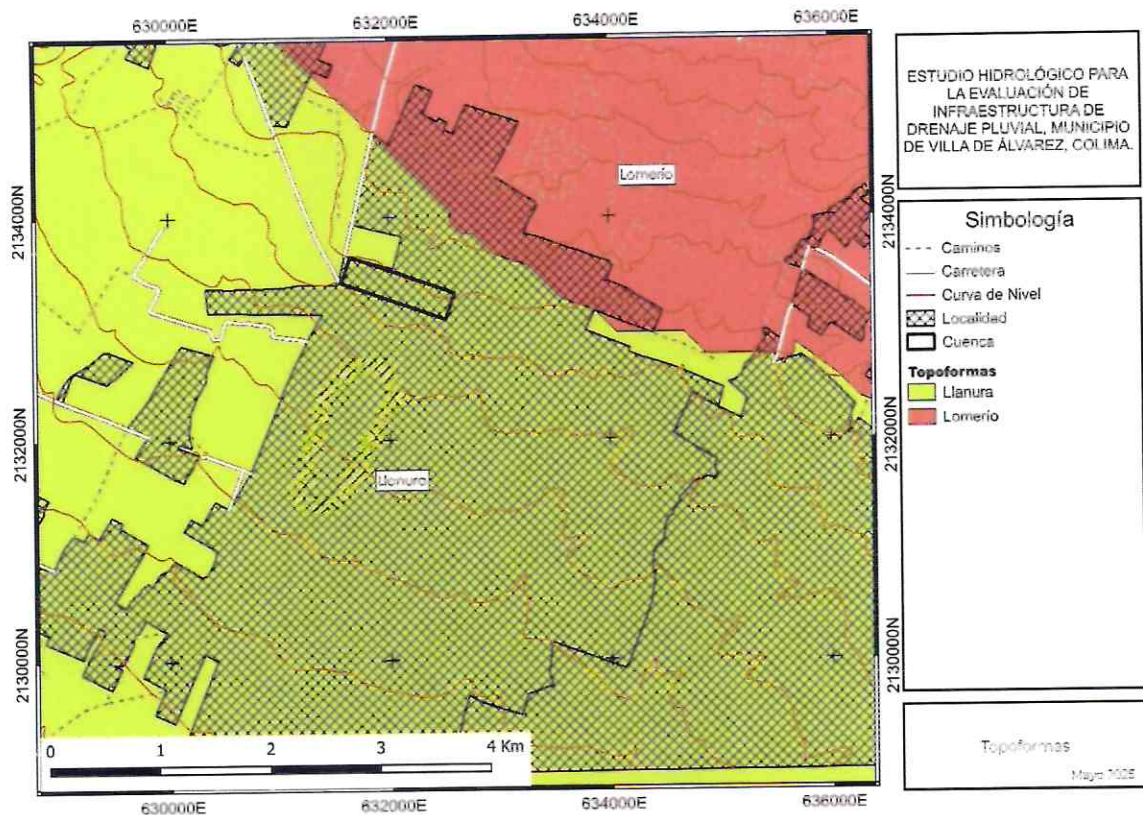


Figura 4. Topoformas presentes en la zona de estudio.

### Uso y tipo de suelo

El área en estudio se conforma en su totalidad por un solo uso de suelo, que, de acuerdo con la clasificación hecha por el INEGI, lo observado en las imágenes de satélite y recorridos de campo, corresponde a una cobertura que a continuación se desglosa:

Tabla 2. Uso de suelo que se presenta en la cuenca.

Descripción del uso de suelo	Área (ha)	% de Superficie
Parque	0.90	1.56%
Cementerio	4.38	7.58%
Pastizal	11.55	19.98%
Asentamiento Urbano	40.98	70.89%
<b>Total:</b>	<b>57.807</b>	<b>100.00%</b>

Acorde con la zonificación de los principales tipos de suelos en el país hecha por el INEGI, el área en estudio está compuesta por un tipo de suelo, que corresponde al Regosol Eútrico.

Tabla 3. Tipo de suelo en cuenca.

Descripción del tipo de suelo	Área (ha)	% de Superficie
Feozem Háptico	47.804	82.69%
Regosol Eútrico	10.003	17.31%
<b>Total:</b>	<b>57.807</b>	<b>100.00%</b>

Las unidades de suelo están referidas a los horizontes y características diagnosticadas enfocadas al aspecto de permeabilidad, y no a su uso actual, o potencial. Las características del tipo de suelo se describen en la tabla siguiente:

Tabla 4. Descripción del tipo de suelo.

Tipo de Suelo	Características	Área (km <sup>2</sup> )
Feozem Háplico	Del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con litosoles y con afloramientos de roca tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. El término eútrico hace referencia a suelos buenos, ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dísticos.	47.804 (82.69%)
Regosol Eútrico	Del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con litosoles y con afloramientos de roca tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. El término eútrico hace referencia a suelos buenos, ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dísticos.	10.003 (17.31%)
<b>Total (ha):</b>		<b>57.807 (100.00%)</b>

La siguiente imagen permite identificar el uso y tipo de suelo predominante en el área de estudio:

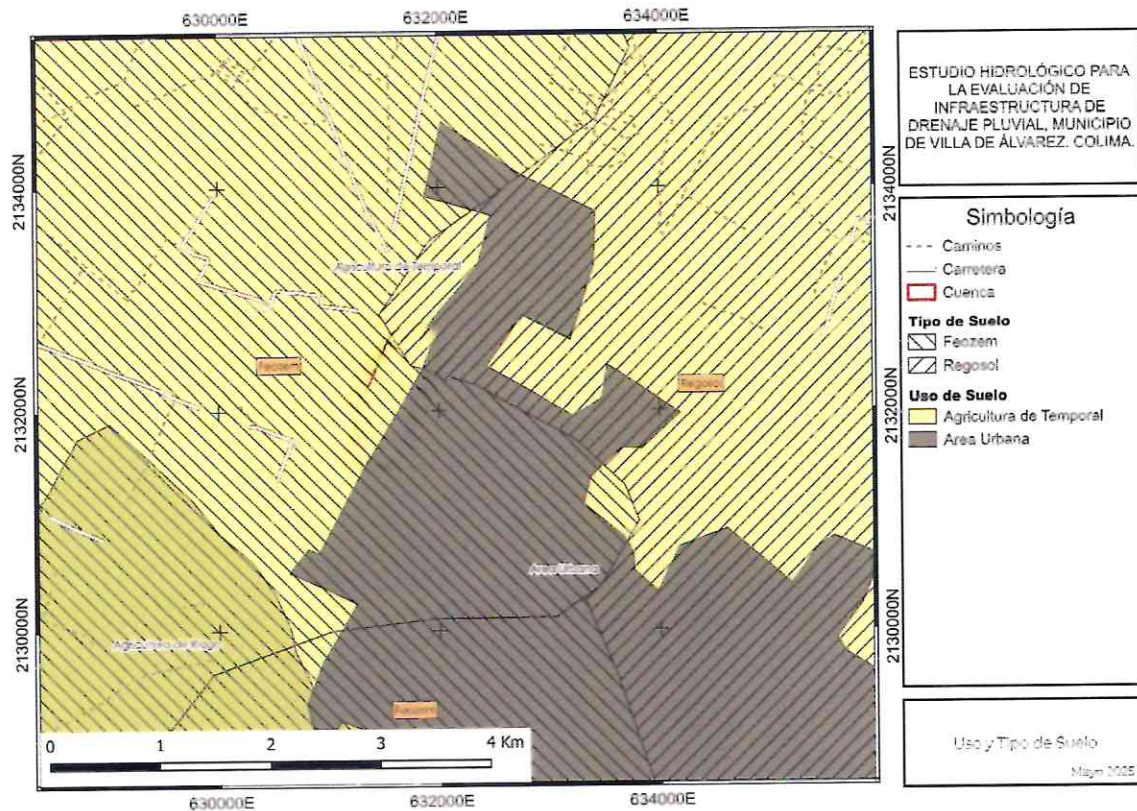


Figura 5. Uso y tipo de suelo predominante en la zona de estudio.

### Unidades climáticas

De acuerdo con la información climatológica de la zona de estudio, y según la información recopilada del INEGI, en apego a la clasificación de climas modificada por Enriqueta García (1964), que propuso el científico alemán Vladimir Köppen. La zona de estudio se clasifica en las siguientes unidades climáticas:

*[Handwritten signature]*

Tabla 5. Influencia de las unidades climáticas en la zona de estudio.

Clasificaciones climáticas	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Influencia (%)
Aw0(w)	Cálido subhúmedo de humedad baja con lluvias en verano con porcentaje de lluvias invernal de entre 5 y 10.2	0.578	100.00 %
	<b>Total</b>	<b>0.578</b>	<b>100.00 %</b>

La representación espacial de las unidades climáticas sobre la cuenca, se muestran en la siguiente figura:

*[Handwritten symbol]*

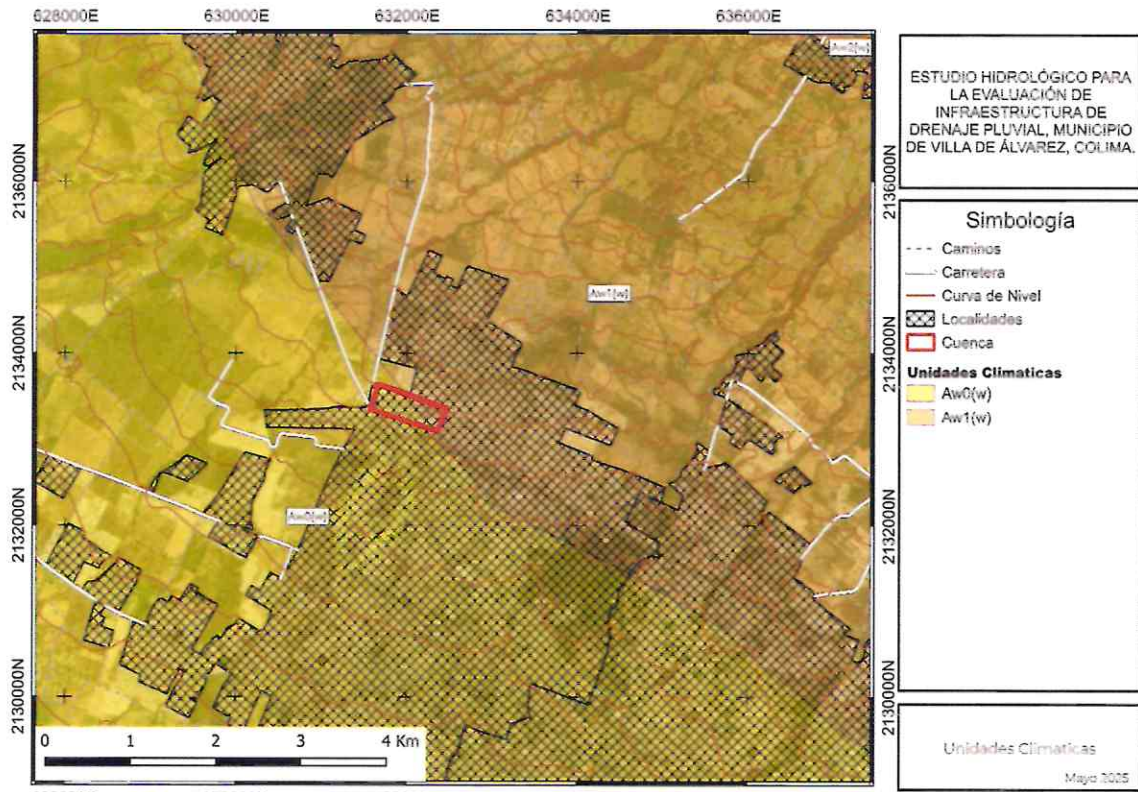


Figura 6. Influencia de las unidades climáticas.

## Información climatológica

El área en estudio se localiza dentro de la influencia de la estación climatológica denominada como Comala E.T.A. (6052), la cual tiene un periodo de información pluviométrica mayor a 30 años, por lo que se considera una estación confiable para realizar el análisis de la información climatológica.

La selección de las estaciones climatológicas se realiza mediante la zonificación de influencia de cada estación mediante los polígonos de Thiessen, también se descartan aquellas estaciones que no cumplan con al menos 20 años de información de precipitación.

Las coordenadas geográficas, clave de la estación, área y porcentaje de influencia se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6. Influencia de las estaciones climatológicas en la zona de estudio.

Estación Climatológica	Clave	Latitud	Longitud	Área de Influencia (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
Comala ETA	6052	19°18'20.42"	-103°45'12.18"	0.578	100.00 %

La

precipitación registrada en la estación climatológica nos resulta la media mensual que se muestra en la siguiente figura.

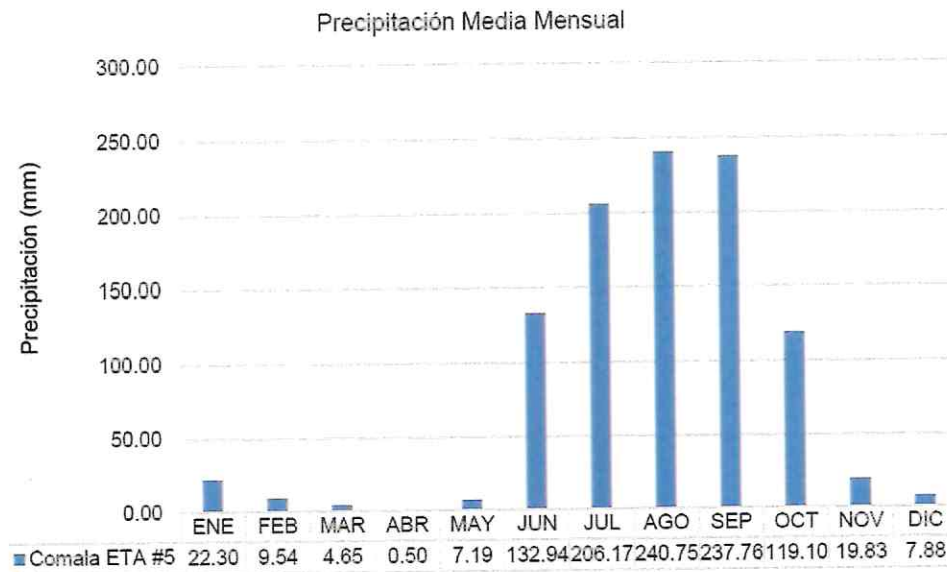


Figura 7. Precipitación media mensual de las estaciones climatológicas.

En la gráfica se observa un periodo húmedo de 5 meses, de junio a octubre se precipita el 92.90 % del promedio anual y un periodo seco de 7 meses, de noviembre a mayo, donde llueve el 7.10 % de la lluvia promedio anual.

En cuanto a la temperatura media mensual, según los datos registrados por la estación Comala E.T.A., el comportamiento del termómetro, se muestra en la figura siguiente:

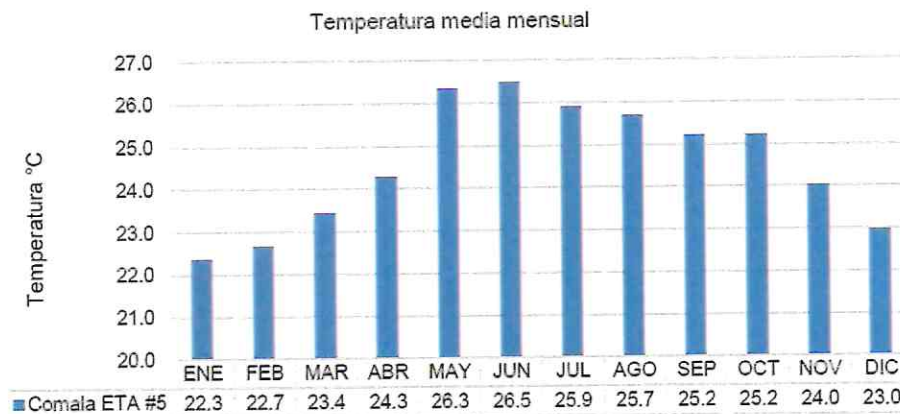


Figura 8. Temperatura media mensual.

*M*

*G*

### Precipitación media de la cuenca

La precipitación media en la cuenca permite identificar fenómenos que intervienen en la relación entre la precipitación y el escurrimiento. Para conocer la precipitación media de la zona de estudio, se aplicó el método de Polígonos de Thiessen donde se toma en cuenta la distribución de las estaciones en la cuenca, y no considera factores topográficos en la distribución de la lluvia.

Se analizaron y ubicaron las estaciones climatológicas con registros mayores a 20 años para construir los Polígonos de Thiessen, utilizando información climatológica proporcionada por el Centro de Previsión Meteorológica de la Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Colima.

La siguiente figura muestra la aplicación del criterio de los Polígonos de Thiessen para determinar la influencia de cada una de las estaciones climatológicas.

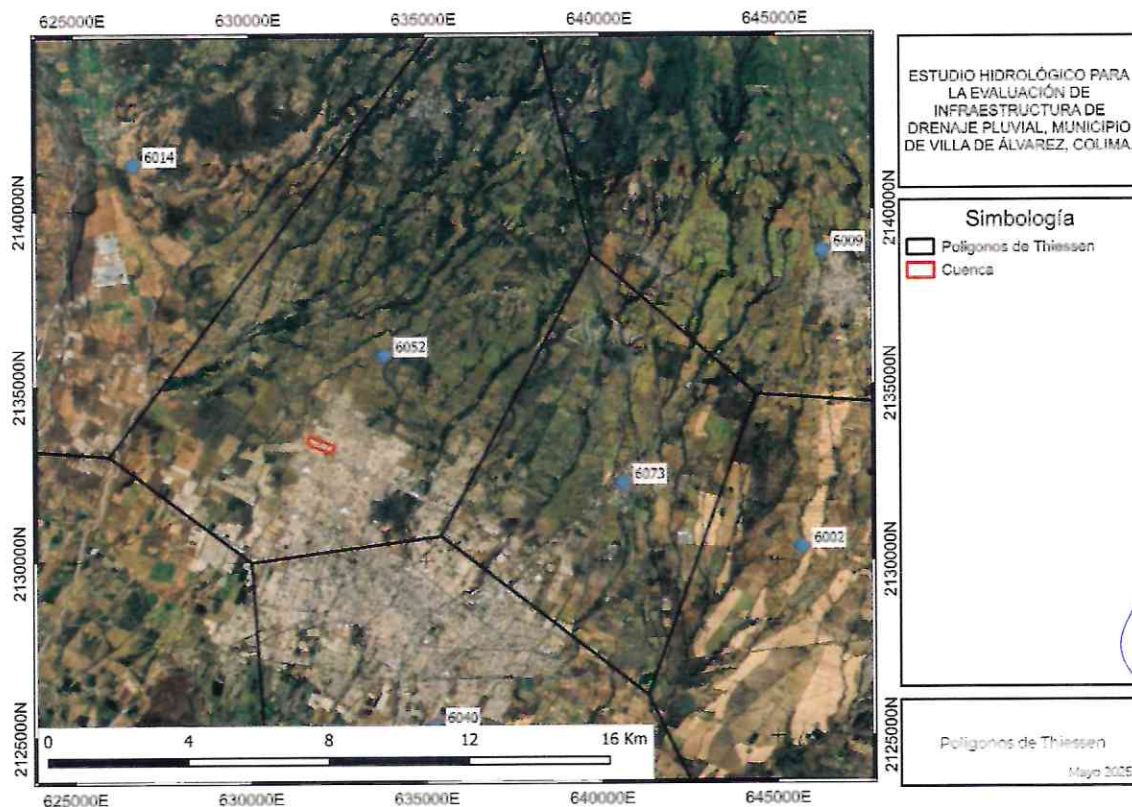


Figura 9. Polígonos de Thiessen sobre la zona de estudio.

Debido a que la estación climatológica Comala E.T.A. (6052) tienen influencia sobre toda la cuenca de estudio, la precipitación media de la cuenca será la misma que la precipitación media anual de la estación climatológica. En la figura 12 se muestran los datos históricos de precipitación, que la estación ha registrado desde 1987 hasta el año 2024. En dicha figura se observa que la precipitación media anual de la estación es de 991.8 mm.

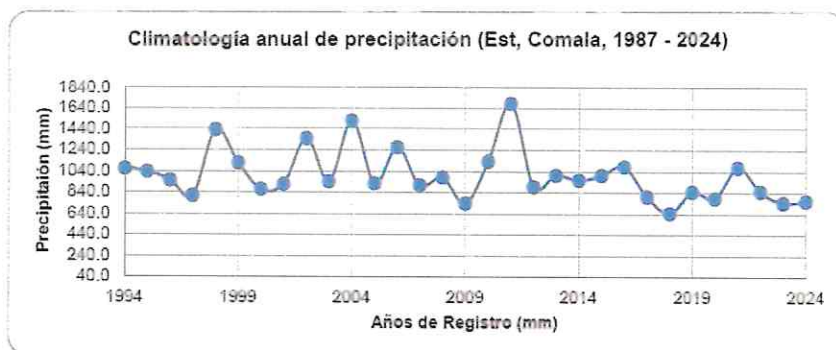


Figura 10. Climatología anual de precipitación de la estación Comala E.T.A. (6052).

### Procesamiento de lluvias máximas en 24 horas

Las precipitaciones máximas en 24 horas para la elaboración del estudio hidrológico contienen el mayor registro de datos posibles, ya que entre mayor sea el número de datos, mayor confiabilidad tendrá las estimaciones de avenidas.

Para el análisis de lluvias, se utilizó información de la estación climatológica Comala E.T.A., donde se procedió a obtener los valores anuales de lluvias máximas en 24 horas para los 35 años de registro (1987 - 2024).

Tabla 7. Registro máximo en 24 horas por año. Estación Comala E.T.A. (6052)

Año de registro	Pmax anual (mm)	Año de registro	Pmax anual (mm)
1987	31	2006	146.8
1988	82	2007	89.5
1989	82	2008	48.2
1990	48	2009	52.3
1991	63.5	2010	72.5
1992	96.4	2011	225.9
1993	118	2012	75
1994	82.2	2013	50
1995	81.3	2014	55
1996	63.2	2015	198
1997	87.7	2016	106
1998	104	2017	86
1999	268.6	2018	71
2000	57.2	2019	67.5
2001	112.4	2020	58.5
2002	144.6	2021	123.4
2003	69.4	2020	58.5
2004	81.5	2021	123.4
2005	72.3	2022	126.8
		2023	194.5
		2024	104.2

Para obtener una predicción de lo que pudiera llover en el futuro, es necesario, a partir de un análisis probabilístico, obtener funciones de distribución para predecir las posibles precipitaciones máximas anuales que se pudieran presentar.

Para la distribución de las probabilidades de las precipitaciones, se utilizan funciones de distribución Normal, Log normal, Gamma, Exponencial, Gumbel, Gumbel doble y de Valores Extremos, donde los valores obtenidos mediante la función que mejor se ajuste será utilizada para representar las lluvias de diseño asociadas a un periodo de retorno.

### **Distribución de probabilidad de eventos extremos**

Debido a que en la zona en estudio no cuenta con estaciones hidrométricas, se utilizó el método de análisis estadístico de las precipitaciones máximas en 24 horas para la obtención de gastos asociados a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 años.

Entre las diversas funciones de distribución para el análisis de frecuencias de gastos máximos o de precipitaciones máximas en 24 horas, se usan las funciones de distribución Normal, Log normal, Gamma, Exponencial, Gumbel, Gumbel Doble y de Valores Extremos.

La estimación de parámetros de una función tiene como finalidad poder calcular los caudales o las precipitaciones de diseño, y para estimar los parámetros de una función de distribución se utiliza algún método que nos ayude a minimizar la suma de los errores estándar, como son el método de momentos, máxima verosimilitud, máxima entropía y sextiles.

Para este estudio se utiliza únicamente los métodos de momentos y de máxima verosimilitud, ya que son los más utilizados para el análisis de frecuencias, y para el caso del método de momentos, la estimación de los parámetros desconocidos se logra al igualar los momentos correspondientes de la población y de la muestra, obteniendo así “n” ecuaciones con “n” incógnitas, que son los parámetros buscados.

Este método a pesar de ser su fácil aplicación es un método que requiere del cálculo de integrales que contienen a la función de densidad  $f(x)$ , las cuales no siempre se resuelven fácilmente.

En nuestro caso, tenemos disponibles los registros de datos climatológicos como la precipitación, por lo que, a través del conocimiento del problema físico, se elige un modelo probabilístico a usar que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable.

Si el ajuste de la función a los datos es bueno, se puede utilizar la distribución una vez encontrada la ley de distribución que sigue a las variables aleatorias, además se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológico o bien la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno.

El análisis probabilístico de las precipitaciones máximas en 24 horas se realiza a través del procesamiento estadístico ajustándose a diversas funciones de distribución de probabilidades para diferentes periodos de retorno, que se señalan a continuación:

- Distribución Normal
- Distribución Exponencial
- Distribución Log Normal
- Distribución Gamma
- Distribución Log Pearson Tipo III
- Distribución General de Valores Extremos
- Distribución Gumbel
- Distribución Gumbel Doble

Para el análisis de frecuencias de las precipitaciones, se utilizó el programa AFA desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), los valores obtenidos mediante la función de ajuste seleccionada representan las lluvias de diseño asociadas a un periodo de retorno.

Se tomaron en cuenta los datos de las lluvias máximas anuales en 24 horas obtenidas de la estación climatológica Comala E.T.A., obteniendo las precipitaciones para cada periodo de retorno. En las siguientes tablas, se muestran los resultados obtenidos con este programa donde se señala el mejor ajuste de la muestra de datos de lluvias máximas diarias.

Tabla 8. Análisis estadístico, resumen de errores estándar de la estación Comala E.T.A.

Comala ETA - 6052					
Función	Momentos			Máxima Verosimilitud	
	1 Parámetros	2 Parámetros	3 Parámetros	2 Parámetros	3 Parámetros
Normal	---	24.400	---	24.400	---
Lognormal	---	18.100	13.981	18.100	15.800
LogPearson III	---	---	14.681	---	18.200
Exponencial	32.900	12.429	---	12.500	---
Gamma	---	16.619	12.753	19.700	24.000
Gumbel	---	16.592	---	21.400	---
Doble Gumbel	---	5.900	---	---	---
Valores Extremos	---	14.800	---	---	---
Error Estándar	6.4				
Función Elegida	Gumbel Doble				

En el análisis que se aplica a las estaciones climatológicas, la función de distribución de Gumbel Doble resultó con el menor error estándar, por lo tanto, para las precipitaciones de diseño se adaptaron los valores obtenidos a estas distribuciones, ya que se ajusta mejor al comportamiento de las precipitaciones.

### Precipitación para diferentes periodos de retorno

Los valores obtenidos mediante las funciones de ajuste seleccionadas anteriormente, representan las precipitaciones asociada a un determinado periodo de retorno, para lo cual se aplicó el criterio de Polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de las

estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio, sin embargo, únicamente la estación climatológica Comala E.T.A. tiene influencia en la cuenca de estudio, utilizando solo esa estación para la estimación de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

El valor representativo total que se adapta a la cuenca es multiplicado por 1.13, lo cual lo ajustará al intervalo fijo y único de observación; este factor se basa en el análisis probabilístico de lluvias máximas de duración comprendida entre 1 y 24 horas; y las lluvias máximas verdaderas.

Tabla 9. Precipitación para diferentes periodos de retorno.

ESTACION	COMALA E.T.A. (6052)	TOTAL
AREA DE INFLUENCIA (KM <sup>2</sup> )	0.616	0.616
INFLUENCIA (%)	100.00%	100.00%
TR	Hp (mm)	Hp (mm)
2	82.97	82.97
5	128.882	128.88
10	176.212	176.21
25	228.703	228.70
50	263.793	263.79
100	297.351	297.35
200	330.202	330.20
500	373.139	373.14

### Curvas I-D-TR

La precipitación de diseño se puede construir mediante las curvas I-D-TR, para lo cual, se comienza por calcular las intensidades con duración de 60 minutos y periodos de retorno (Tr) de 10, 25 y 50 años, utilizando la fórmula de Bell y se designarán por:  $P_1^{10}$ ,  $P_1^{25}$ ,  $P_1^{50}$  respectivamente. Estas intensidades tener duración de una hora corresponden a precipitaciones o lámina de lluvia en milímetros. En seguida, las predicciones de lluvia máxima de periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años se multiplican por 1.13 para convertirlas en  $P_{24}^{Tr}$ , con los cuales se obtienen los cocientes lluvia - duración (R) y lluvia frecuencia (F) necesarios para aplicar la fórmula de Chen (Chow et al., 1994), estos son:

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$$

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}}$$

Con el valor de R se puede evaluar para cada periodo de retorno de 10, 25 y 50 años o mediante el factor de regionalización, se obtienen las gráficas propuestas por Chen los parámetros a, b y c de la formula expuesta. Estas gráficas se han expresado en forma de ecuación de regresión polinomial.

$$a = -2.297536 + 100.0389 R - 432.5438 R^2 + 1256.228 R^3 - 1028.902 R^4$$

$$b = -9.845761 + 96.94864 R - 341.4349 R^2 + 757.9172 R^3 - 598.7461 R^4$$

$$c = -0.06498345 + 5.069294 R - 16.08111 R^2 + 29.09596 R^3 - 20.06288 R^4$$

Las expresiones anteriores fueron calculadas con base en las seis parejas de valores R-a, R-b y R-c que presenta Chen, sus coeficientes de determinación son prácticamente de 100% y son válidas únicamente en el intervalo  $0.10 \leq R \leq 0.60$ . La fórmula de Cheng es la siguiente:

$$i_t^{Tr} = \frac{\alpha P_1^{10} \log(10^{2-FTr} F^{-1})}{(t+b)^c} = \frac{\alpha_{Tr}}{(t+b)^c}$$

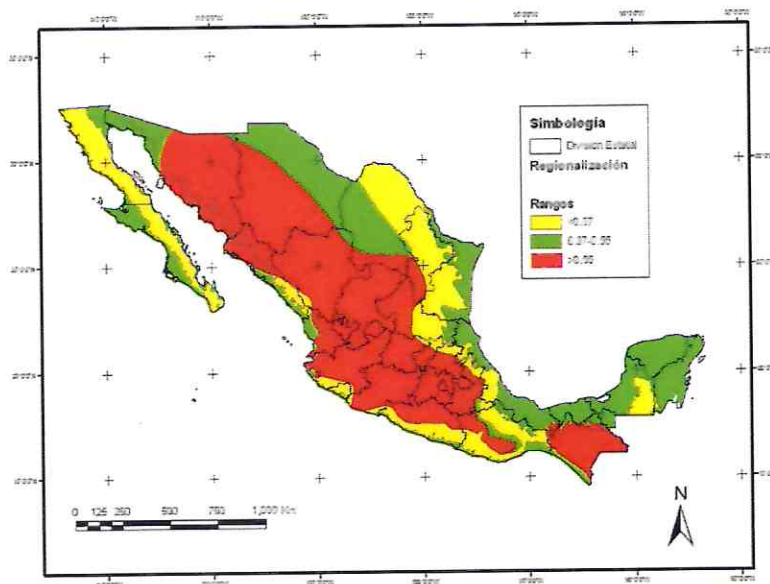
$i_t^{Tr}$  está mm/h,  $P_1^{10}$  en mm,  $t$  en minutos ( $5 \leq t \leq 1,440$ ). Los valores calculados de  $i_t^{Tr}$  permiten dibujar las curvas I-D-Tr buscadas. Aplicando el método detallado anteriormente, se empieza por multiplicar las predicciones de lluvia diaria para diferentes periodos de retorno por 1.13 para convertirlas en precipitaciones de 24 horas de duración e igual  $Tr$  ( $P_{24}^{Tr}$ ). En la Tabla 10 se muestran los resultados.

Tabla 10. Precipitaciones convertidas a 24 horas.

Tr (años)	Lluvia Max (mm)	$P_{24}^{Tr}$ (mm)
2	82.970	93.756
5	128.882	145.637
10	176.212	199.120
25	228.703	258.434
50	263.793	298.086
100	297.351	336.007
200	330.202	373.126
500	373.139	421.647

Este método requiere un valor para R (factor de regionalización) y lluvia frecuencia (F) necesarios para aplicar la fórmula de Chen.

Figura 11. Factor R en la República Mexicana.



*Handwritten signature*

*Handwritten mark*

En la figura 13, se muestran para el caso de la República Mexicana, los valores del factor R, agrupados en 3 clases:  $R < 0.37$ ;  $0.37 < R < 0.55$ , y  $R > 0.55$ , siendo el primer caso, el de la zona de estudio, correspondiente a un  $R= 0.3$ , utilizado para el cálculo de los parámetros a, b y c requeridos en la fórmula de Cheng.

Los datos para estimar las intensidades se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Constantes utilizadas para estimación de curvas I -D-TR

Constantes	Datos
$P_{24}^{10}$	193.641 mm
Relación de lluvias (R)	0.3
$P_1^{10}$	59.74 mm
F	1.69
a	14.369
b	4.124
c	0.632
Tc (min)	21.5

Aplicando el método de Cheng, se obtienen intensidades para diferentes duraciones y periodos de retorno, graficando la información para obtener las curvas I -D-TR.

Tabla 12. Valores obtenidos aplicando el método de Cheng

Tr (años)	Duración min (Intensidad)											
	5	10	15	21.5	30	45	60	80	100	120	600	1440
2	110.4	83.7	69.2	57.5	48.0	40.8	32.2	27.1	23.7	21.2	7.8	4.5
5	168.5	127.8	105.6	87.8	73.2	62.3	49.2	41.4	36.2	32.4	11.9	6.9
10	212.4	161.2	133.1	110.7	92.3	78.5	62.0	52.2	45.6	40.9	15.0	8.7
25	270.6	205.3	169.5	140.9	117.6	100.0	79.0	66.5	58.1	52.0	19.2	11.0
50	314.5	238.7	197.1	163.8	136.7	116.2	91.8	77.3	67.6	60.5	22.3	12.8
100	358.5	272.0	224.6	186.7	155.8	132.5	104.6	88.1	77.0	68.9	25.4	14.6
200	416.6	316.1	261.1	217.0	181.1	154.0	121.6	102.4	89.5	80.1	29.5	17.0
500	460.6	349.5	280.6	239.9	200.2	170.2	134.4	113.2	99.0	88.6	32.6	18.8

Las curvas I-D-TR, que se muestra en la Figura 14, se formaron a partir de la información mostrada en la Tabla 12.

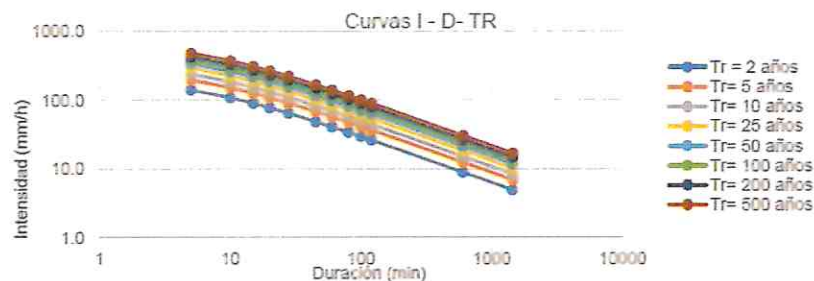


Figura 12. Curvas I-D-TR de la zona de estudio.

### Información hidrométrica

No se cuenta con información hidrométrica en la zona de estudio.

### Características morfológicas de la cuenca

Las características morfológicas de una cuenca permiten entender el comportamiento hidrológico de una zona, su interacción con la morfología, clima y movimiento del agua. El estudio de los parámetros físicos requiere de información cartográfica de la topografía, del uso de suelo, de permeabilidad de la zona de estudio y el uso de Sistemas de Información Geográfica, así como modelos numéricos.

Algunas de las características morfológicas son área, longitud de la cuenca y su perímetro, su forma, la elevación, pendiente y orientación, densidad de drenajes, además de contar con información de tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo y las características de la red hidrográfica. Los resultados obtenidos del análisis de la cuenca de la zona de estudio se muestran a continuación.

### Tamaño y tipo de cuenca

Una cuenca pequeña puede ser definida como aquella que es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración predominando las características primeramente mencionadas (Ven T. Chow). Debido a esto, muchos autores se han dado a la tarea de clasificar el tamaño de una cuenca tomando en consideración su área (I -PaiWu y R. Springall G.). Los tamaños relativos de estos espacios hidrológicos se definen o determinan, aunque no de manera rígida, mediante los nombres de microcuenca, subcuenca o cuenca, según explica la tabla siguiente:

Tabla 13. Clasificación de cuencas (Campos Aranda,1992).

Unidad hidrológica	Área (km <sup>2</sup> )	Descripción
Microcuenca	< 25	Muy pequeña
Microcuenca - Subcuenca	25 a 250	Pequeña
Subcuenca	250 a 500	Intermedia - pequeña
Cuenca	500 a 2500	Intermedia - grande
Cuenca	2500 a 5000	Grande
Cuenca	> 5000	Muy grande

De conformidad con la tabla anterior, por el tamaño de las áreas de aportación que resultó de 0.578 km<sup>2</sup> cae dentro del rango clasificatorio < 25 km<sup>2</sup>; correspondiente a una unidad hidrológica de **Muy Pequeña** denominada como **Microcuenca** y debido a que tiene un punto de salida en sus límites, se clasifica como de tipo **Exorreica**.

### Número de escurrimiento (N)

El número de escurrimiento es un parámetro que describe numéricamente una combinación específica del suelo, uso del suelo y su tratamiento. A partir de la información citada en el apartado Uso y Tipo de Suelo, así como la vegetación observada en los

recorridos de campo por el área de estudio, se estima el valor ponderado para el número N de la curva de escurrimiento en condiciones naturales medias de humedad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14. Ponderación del número de escurrimiento N.

Zona de estudio	Clasificación del Suelo	Uso del Suelo	Tipo de Suelo	Valor de N	Área (ha)	% de Superficie
Villas Providencia	Feozem Háptico	Parque	C	91	0.901	1.56%
		Cementerio	C	91	4.38	7.56%
		Pastizal	C	74	4.99	8.65%
	Regosol Eútrico	Asentamiento Urbano	C	90	37.52	64.91%
		Asentamiento Urbano	B	85	3.45	5.98%
		Pastizal	B	61	6.54	11.33%
	<b>N Ponderado:</b>			<b>85.12</b>	<b>57.81</b>	<b>100.00%</b>

### Pendiente

Una forma precisa de calcular la pendiente es mediante el criterio de Taylor y Schwarz, que considera al río formando por una serie de canales de pendiente uniforme, en los cuales el tiempo de recorrido del agua es igual al del río.

El cauce principal inicia en la elevación 565 m.s.n.m. y desciende hasta los 530 m.s.n.m. a lo largo de 1.390 km, dando lugar a una pendiente por diferencia de elevaciones igual a 2.41%.

Los anteriores señalamientos, se determinaron en función de datos vectoriales obtenidos a través de la carta topográfica escala 1:20,000 denominada E13B34 f - Comala, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

El cálculo de la pendiente del arroyo Sin Nombre por el método de Taylor - Schwarz, es el siguiente:

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

Dónde:

- S Pendiente media de la corriente de mayor orden.
- m El número de segmentos en que se divide el cauce principal.
- L Es la longitud horizontal del cauce principal, desde su nacimiento como corriente de orden uno hasta la salida de la cuenca.
- lm Es la longitud horizontal de los tramos en los cuales se subdivide el cauce principal.
- Sm Pendiente de cada segmento, en que se divide el cauce principal.

La siguiente tabla muestra el cálculo realizado para obtener la pendiente de Taylor – Schwarz, analizando la distancia de cada tramo obtenido, el desnivel y la pendiente de cada tramo así, como el valor final de la pendiente.

Tabla 15. Calculo para obtener la pendiente de Taylor.

No.	Distancia del Tramo (m)	Estación (Km)	Desnivel	Sm	Raíz S	L/Raíz s
1	365.51	0.37	10	0.03	0.17	2209.79
2	523.48	0.89	10	0.02	0.14	3787.52
3	399.67	1.28	10	0.03	0.18	2424.09
4	112.53	1.39	5	0.04	0.21	532.81
Suma	1,390.39	Desnivel	35		Suma	8,956.11

S=	0.0241	S%=	2.41
----	--------	-----	------

El perfil longitudinal de la zona de estudio muestra la elevación final e inicial, identificando el nivel de cada tramo del cauce utilizado para obtener la pendiente de Taylor – Schwarz.

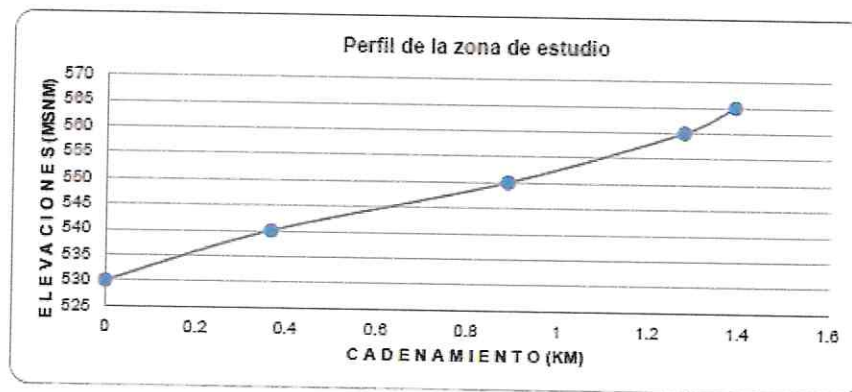


Figura 13. Perfil longitudinal del río.

### Tiempos de concentración

El tiempo de concentración caracteriza la velocidad e intensidad de la reacción de la microcuenca a las solicitaciones de precipitación; aunque éstas también se encuentran influenciadas por diversas características morfológicas.

El tiempo de concentración de cada microcuenca se calculó con los métodos de Rowe, Kirpich y USSCS, adoptándose el valor de tiempo de concentración a los valores obtenidos por el método de Kirpich, a continuación, se muestran las fórmulas y resultados para la cuenca de estudio.

Tabla 16. Cálculo de tiempo de concentración de la cuenca.

Método	Fórmula	Tc
Rove	$T_c = \left( \frac{0.87L^2}{D} \right)^{0.385}$	0.353 hr
Kirpich	$T_c = 0.0003245 \left( \frac{L}{S^{1/2}} \right)^{0.77}$	0.358 hr
USGS	$T_c = \frac{L^{1.483}}{4830S^{0.44}}$	0.346 hr
Tc Seleccionado:		0.358 hr

### Lluvia media de diseño

Para obtener la precipitación de diseño (Hpd) se convirtió la intensidad en precipitación para una determinada duración de tormenta, correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. A partir de la información de curvas I -D-TR s e obtienen las curvas P-D-TR, donde se obtienen las precipitaciones de diseño.

Tabla 17. Lluvia de diseño en la cuenca.

Tr (años)	Duración min (Altura de precipitación - mm)											
	5	10	15	21.5	30	45	60	80	100	120	800	1440
5	14.0	21.3	26.4	31.4	36.6	41.5	49.2	55.2	60.3	64.8	119.2	165.1
10	17.7	26.9	33.3	39.7	46.2	52.3	62.0	69.6	76.1	81.7	150.4	208.1
25	22.5	34.2	42.4	50.5	58.8	66.7	79.0	88.7	96.9	104.1	191.5	265.1
50	26.2	39.8	49.3	58.7	68.4	77.5	91.8	103.1	112.6	121.0	222.6	308.1
100	29.9	45.3	56.2	66.9	77.9	88.3	104.6	117.5	128.4	137.9	253.7	351.2
250	34.7	52.7	65.3	77.8	90.5	102.6	121.6	136.6	149.2	160.2	294.9	408.1
500	38.4	58.2	72.2	86.0	100.1	113.5	134.4	151.0	164.9	177.1	326.0	451.2

Las curvas P-D-TR, que se muestra en la siguiente figura, se formaron a partir de la información mostrada en la Tabla 17.

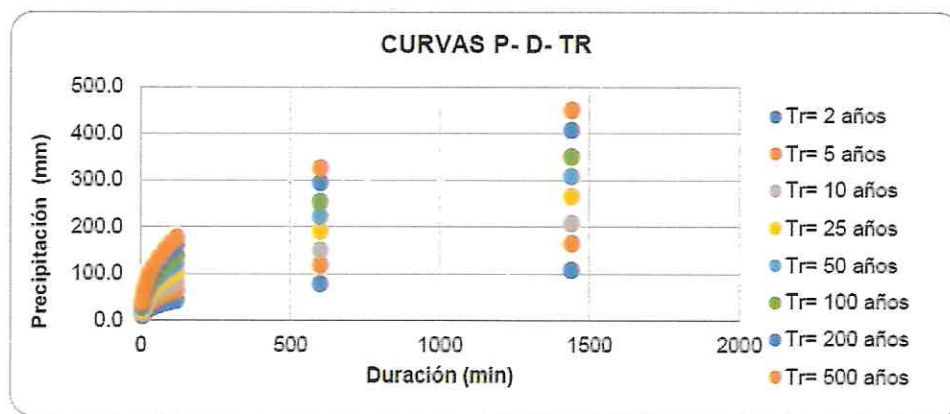


Figura 14. Curvas de Precipitación, Duración y Periodo de Retorno.

Para el modelado hidráulico se requieren diferentes variables como el gasto o la intensidad de la lluvia, esta última puede ser representada a través de hietogramas, que describen el comportamiento de la tormenta a través de una duración establecida, en la mayoría de las veces igual al tiempo de concentración de la cuenca, sin embargo, en casos como el de inundaciones pluviales se recomienda utilizar una duración de tormenta mayor para tomar en cuenta el efecto de los encharcamientos en la zona.

Se utilizó el método del bloque alterno que consiste en una tormenta sintética con base en las curvas I-D-Tr, utilizando el periodo de retorno de diseño y una duración de tormenta definida, en este caso 4 horas.

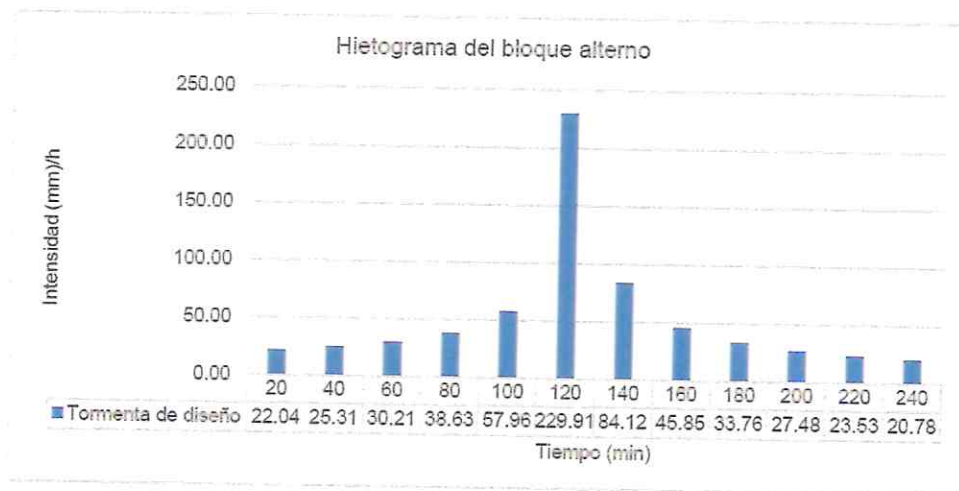


Figura 15. Hietograma de diseño.

Se tiene una lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno, producto de las curvas P-D-TR, donde la duración seleccionada para el presente proyecto es igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Tabla 18. Lluvia de diseño en la cuenca.

Tr	Precipitación Max (mm)	Hpd (mm)
2	82.970	20.601
5	128.882	31.449
10	176.212	39.656
25	228.703	50.504
50	263.793	58.711
100	297.351	66.918
200	330.202	77.766
500	373.139	85.973

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten mark]*

En síntesis, estas son las características morfológicas de la zona en estudio:

Característica	Dato	Unidad
Area de la microcuenca	0.578	Km <sup>2</sup>
Longitud del cauce principal	1.39	Km
Desnivel del cauce principal	35	m
Pendiente promedio:		
Taylor - Schwartz	0.0241	m/m
Diferencia de Elevaciones	0.0252	m/m
Número "N" de escurrimiento	85.12	adimensional

Tabla 19. Características fisiográficas de la cuenca.

## Cálculo de gastos de diseño

### Avenida de diseño

Cuando se quiere diseñar cualquier tipo de estructura, obra hidráulica o delimitar zonas federales es necesario contar con un valor de diseño, en este caso es la avenida de diseño, la cual se obtiene de extrapolaciones, es decir, a partir de los registros de precipitaciones existentes en la zona proyectada y asociadas a una probabilidad en años de no excedencia. Esta probabilidad de no excedencia es el llamado periodo de retorno.

Para poder realizar el cálculo de la avenida de diseño, es necesario primero determinar a qué período de retorno estará asociado ese gasto de diseño que buscamos, y para ello es necesario recurrir a las recomendaciones de la Comisión Nacional del Agua para definir los tiempos de retorno a los que deberán asociarse las avenidas de diseño que se utilizará para el objeto del presente.

Este concepto de periodo de retorno es una forma alternativa de expresar la probabilidad de que un evento igual o mayor a un cierto umbral sea rebasado en un intervalo de tiempo, y en el contexto de lluvia se define como el número de años que tienen que pasar antes de que en promedio se repita una lluvia de cierta magnitud o mayor.

Para el diseño de infraestructura existen diferentes criterios para diferentes obras, se utiliza para determinar el periodo de retorno para cada obra el memorándum No. B00.7. - 616 emitido por la Comisión Nacional del Agua el 13 de septiembre de 2017 en el cual se establecen los periodos de retorno para cada tipo de obra según sus características.

Tabla 20. Periodos de retorno para distintas obras hidráulicas.

1	Drenaje Pluvial	TR (años)
1.4	Redes de Drenaje pluvial de diferentes instalaciones por tipo de actividad económica	
	Centro de Negocios: zonas donde el uso principal es para las actividades de venta al por menos o de negocios	10
	Áreas comerciales; zonas donde los usos primarios incluyen las ventas al por menor, actividades comerciales, hoteles, restaurantes, clubes deportivos, etcétera	10
	Zonas industriales; las áreas donde las actividades principales llevadas a cabo son la producción, el procesamiento de producto, instalaciones de almacenamiento, etcétera	10
	Zonas Urbanas con alta densidad: áreas urbanas que tienen más de 20 viviendas por cada 10 000 m <sup>2</sup> , como edificios de departamentos, unidades habitacionales y zonas suburbanas altamente pobladas	10

Para el diseño de obras drenaje pluvial se deberá utilizar el gasto asociado a un periodo de retorno de 10 años.

### Estimación de a avenida de diseño

En la diversa normatividad existente para los análisis hidrológicos, se señala que los métodos semiempíricos se emplean cuando se dispone de información que caracterice la precipitación, la que, relacionada con las características fisiográficas de la cuenca en estudio, permite calcular la magnitud de los escurrimientos en el sitio donde sea de interés para los períodos de retorno que se establezcan.

Los métodos semiempíricos comúnmente utilizados son el Hidrograma Unitario Triangular, el Método Racional y Método de Chow.

El cálculo de la avenida de diseño se realizó para diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) a través de métodos semiempíricos como a continuación se muestra.

#### Método racional

El método racional es utilizado para obtener caudales en cuencas urbanas pequeñas, establece que la intensidad ( $I$ ) de lluvia comienza instantáneamente y continua indefinidamente, la cantidad de escurrimiento se va incrementando hasta alcanzar el tiempo de concentración ( $T_c$ ), cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida. Por lo anterior, la intensidad tiene una duración igual al  $T_c$  y corresponde al periodo de retorno de la creciente o gasto máximo que se estima.

Este método se recomienda para cuencas de hasta 25 km<sup>2</sup>, aunque también se puede utilizar en cuencas de hasta 100 km<sup>2</sup>, considerando que el grado de confiabilidad disminuye al incrementarse el área.

$$Q=0.278 CIA$$

Para calcular la lluvia en exceso se aplicó el criterio del Servicio de Conservación de Suelos en EUA (SCS).

$$He = \frac{10x(Hpd/10 - (508/N) + 5.00)^2}{(Hpd/10 + (2032/N) - 20.32)} \quad Ce = \frac{He}{Hpd} \quad I = \frac{K}{(1-e)Tc^e}$$



Al utilizar las ecuaciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados:



Tabla 21. Gastos máximos estimados por el Método Racional.

Tr	He (mm)	Ce	I (mm/hr)	Q max (m3/s)
2	2.45	0.12	57.48	1.1
5	7.61	0.24	87.75	3.4
10	12.60	0.32	110.65	5.7
25	20.14	0.40	140.92	9.0
50	26.36	0.45	163.82	11.8
100	32.89	0.49	186.72	14.7
200	41.89	0.54	216.99	18.8
500	48.92	0.57	239.89	21.9

#### Método del Hidrograma Unitario Triangular (HUT)

El hidrograma unitario triangular se ha desarrollado para determinar parámetros fundamentales del hidrograma, como caudal pico (Qp), tiempo base (tb) y el tiempo en que se produce la punta (tp).

Las características del hidrograma unitarios se determinaron mediante las siguientes formulas:

$$Qd = \frac{0.556HeA}{n \times Tp}$$

Dónde:

$$Tp = 0.60Tc + \frac{Tc}{2} = 0.81 \quad n = 2 + \frac{area - 250}{1583.33} = 2.00$$

Tabla 22. Gastos máximos estimados por el Método del HUT.

Tr (años)	He (mm)	Q máximo (m³/s)
2	2.45	0.48
5	7.61	1.50
10	12.60	2.49
25	20.14	3.98
50	26.36	5.21
100	32.89	6.50
200	41.89	8.28
500	48.92	9.67

#### Método de Ven Te Chow

Este método que fue deducido con base en los conceptos de hidrogramas unitarios e hidrogramas unitarios sintéticos, es probablemente el más confiable de los métodos semiempíricos, por lo que debe aplicarse siempre que sea posible, particularmente para cuencas de hasta 25 km<sup>2</sup>, aunque también se puede aplicar en cuencas hasta 250 km<sup>2</sup>, considerando que a mayores dimensiones los resultados serán menos confiables.

$$Qd=AXYZ$$

Dónde:

$$X = \frac{He}{D} \quad \text{Factor de Escurrimiento}$$

$$Y = 0.278 \quad \text{Factor Climático}$$

$$Z = \frac{Qp}{Qe} \quad \text{Factor de Reducción}$$

$$Tr = 0.005 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64} \quad 0.39 \text{ hr}$$

$$\text{Relación } Tc/Tr \quad 0.92$$

De acuerdo con la gráfica que muestra la relación entre Z y  $Tc/Tr$ , se tiene:

$$Z = Qp/Qe = 0.62$$

Por lo tanto, los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno son los siguientes:

Tabla 23. Gastos máximos estimados por el método de Ven Te Chow

Tr	He (mm)	X	Q máximo (m <sup>3</sup> /s)
2	2.45	6.83	0.68
5	7.61	21.23	2.12
10	12.60	35.16	3.52
25	20.14	56.21	5.62
50	26.36	73.54	7.35
100	32.89	91.76	9.17
200	41.89	116.90	11.69
500	48.92	136.52	13.65

### Selección del gasto de diseño

Los métodos aplicados para la obtención de las avenidas de diseño tienen como objetivo la reconstrucción matemática del proceso o fenómeno de la formación de la avenida, es decir, suponer una lluvia de duración y periodo de retorno determinado, y se calcula el escurrimiento que genera en un punto de la corriente estudiada, hasta determinar el posible hidrograma de la avenida.

Tienen la ventaja de permitir reproducir aceptablemente el fenómeno, basándose en la estimación de diversos parámetros, como son las lluvias máximas y las características físicas de la cuenca.

Al revisar los caudales máximos por diferentes métodos, se recomienda usar el caudal de diseño obtenido por el Método del Hidrograma Unitario Triangular, fundamentado en una reproducción aceptable del fenómeno, ya que este método considera el mayor número de factores característicos de la zona de estudio.

Por lo tanto, para la evaluación de la infraestructura para drenaje pluvial, se recomienda utilizar el caudal asociado a un periodo de retorno de 10 años, estimado mediante el método del HUT, igual a 2.49 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 24. Resumen de avenidas máximas para la zona de estudio.

**Resumen de avenidas máximas para el Arroyo S/N**

Tr	Racional (m <sup>3</sup> /s)	H. U. T (m <sup>3</sup> /s)	V. T. Chow (m <sup>3</sup> /s)
2	1.098	0.484	0.683
5	3.412	1.503	2.122
10	<b>5.651</b>	<b>2.490</b>	<b>3.515</b>
25	9.033	3.961	5.619
50	11.818	5.208	7.352
100	14.747	6.499	9.179
200	18.786	8.278	11.686
500	21.939	9.668	13.647

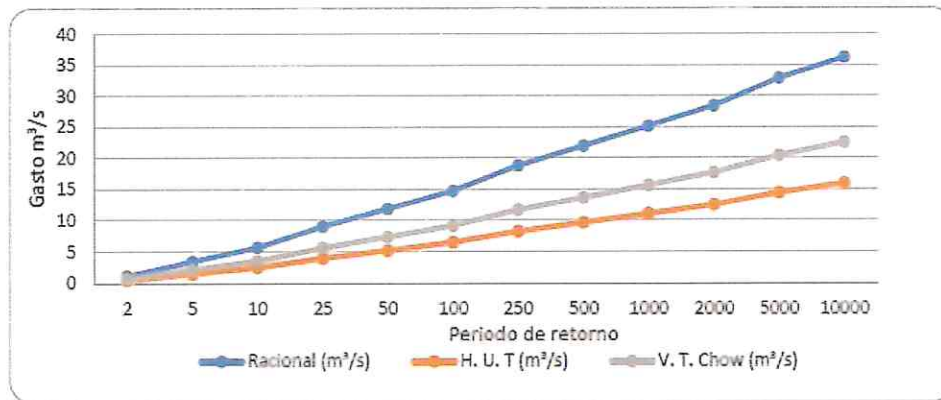


Figura 16. Gastos máximos por los diferentes métodos de cálculo.

### Conclusiones y recomendaciones

- Para la evaluación de infraestructura de drenaje pluvial se diseñó utilizando el caudal asociado a un periodo de retorno de 10 años, pero se realiza el cálculo para conocer los caudales asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 años.
- Se recomienda utilizar el caudal de diseño obtenido por el método del Hidrograma Unitario Triangular igual a 2.49 m<sup>3</sup>/s, ya que es el que mejor se apega a las condiciones reales de la zona de estudio.
- Se analizó el área de influencia de las estaciones climatológicas mediante la construcción de Polígonos de Thiessen.
- La estación climatológica con influencia en el área de estudio es la denominada como Comala E.T.A. (6052)
- Para estimar las precipitaciones a diferentes periodos de retorno, se utilizó la información climatológica de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación climatológica mencionada en el punto anterior.

*Handwritten signature*

## Fuentes

- Instructivo de Hidrología para determinar la avenida máxima ordinaria asociada a la Delimitación de Zona Federal. Comisión Nacional del Agua
- Cartas temáticas de Clima, Topografía, Hidrología, Edafología y Fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Guía para la interpretación de cartografía edafológica del INEGI
- Carta digital en formato shape E13B3 4 – Comala, escala 1: 50,000, INEGI, 2019.
- Fundamentos de Hidrología de Superficie. Francisco Javier Aparicio Mijares. Grupo Noriega Editores
- Procesos del Ciclo Hidrológico. Campos Aranda. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1998.
- Hidrología Aplicada. Ven Te Chow. McGraw -Hill
- Manual de Agua Potable y Alcantarillado, Libro 19, elaborado por la Comisión Nacional del Agua.

## Índice de tablas y figuras

El listado de tablas, sus descripciones y número de página, se muestran a continuación:

Tabla 1. Topoformas presentes en la zona de estudio. ....	6
Tabla 2. Uso de suelo que se presenta en la cuenca. ....	7
Tabla 3. Tipo de suelo en cuenca.....	7
Tabla 4. Descripción del tipo de suelo.....	8
Tabla 5. Influencia de las unidades climáticas en la zona de estudio.....	9
Tabla 6. Influencia de las estaciones climatológicas en la zona de estudio.....	10
Tabla 7. Registro máximo en 24 horas por año. Estación Comala E.T.A. (6052).....	13
Tabla 8. Análisis estadístico, resumen de errores estándar de la estación Comala E.T.A.....	15
Tabla 9. Precipitación para diferentes periodos de retorno.....	16
Tabla 10. Precipitaciones convertidas a 24 horas.....	17
Tabla 11. Constantes utilizadas para estimación de curvas I -D-TR.....	18
Tabla 12. Valores obtenidos aplicando el método de Cheng .....	18
Tabla 13. Clasificación de cuencas (Campos Aranda,1992).....	19
Tabla 14. Ponderación del número de escurrimiento N.....	20
Tabla 15. Calculo para obtener la pendiente de Taylor. ....	21
Tabla 16. Cálculo de tiempo de concentración de la cuenca.....	22
Tabla 17. Lluvia de diseño en la cuenca.....	22

Tabla 18. Lluvia de diseño en la cuenca.....	23
Tabla 20. Periodos de retorno para distintas obras hidráulicas.....	24
Tabla 21. Gastos máximos estimados por el Método Racional.....	26
Tabla 22. Gastos máximos estimados por el Método del HUT.....	26
Tabla 23. Gastos máximos estimados por el método de Ven Te Chow.....	27
Tabla 24. Resumen de avenidas máximas para la zona de estudio.....	28

El listado de figuras, su descripción y el número de página, se muestran a continuación:

Tabla 1. Topoformas presentes en la zona de estudio. ....	6
Tabla 2. Uso de suelo que se presenta en la cuenca. ....	7
Tabla 3. Tipo de suelo en cuenca.....	7
Tabla 4. Descripción del tipo de suelo.....	8
Tabla 5. Influencia de las unidades climáticas en la zona de estudio.....	9
Tabla 6. Influencia de las estaciones climatológicas en la zona de estudio.....	10
Tabla 7. Registro máximo en 24 horas por año. Estación Comala E.T.A. (6052).....	13
Tabla 8. Análisis estadístico, resumen de errores estándar de la estación Comala E.T.A.....	15
Tabla 9. Precipitación para diferentes periodos de retorno.....	16
Tabla 10. Precipitaciones convertidas a 24 horas.....	17
Tabla 11. Constantes utilizadas para estimación de curvas I -D-TR.....	18
Tabla 12. Valores obtenidos aplicando el método de Cheng.....	18
Tabla 13. Clasificación de cuencas (Campos Aranda,1992).....	19
Tabla 14. Ponderación del número de escurrimiento N.....	20
Tabla 15. Calculo para obtener la pendiente de Taylor.....	21
Tabla 16. Cálculo de tiempo de concentración de la cuenca.....	22
Tabla 17. Lluvia de diseño en la cuenca.....	22
Tabla 18. Lluvia de diseño en la cuenca.....	23
Tabla 20. Periodos de retorno para distintas obras hidráulicas.....	24
Tabla 21. Gastos máximos estimados por el Método Racional.....	26
Tabla 22. Gastos máximos estimados por el Método del HUT.....	26
Tabla 23. Gastos máximos estimados por el método de Ven Te Chow.....	27
Tabla 24. Resumen de avenidas máximas para la zona de estudio.....	28