

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**COMPARACIÓN DE CUATRO METODOLOGÍAS PARA OBTENER CAUDAL DE
DISEÑO DE UNA CUENCA GRANDE.**

Por.

LUZ ARELY GUZMAN LUGO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

Saltillo, Coahuila, México

2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**COMPARACIÓN DE CUATRO METODOLOGÍAS PARA OBTENER CAUDAL DE
DISEÑO DE UNA CUENCA GRANDE.**

POR:

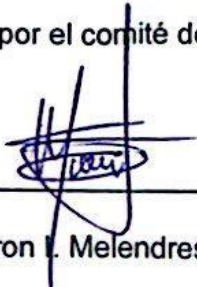
LUZ ARELY GUZMAN LUGO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el comité de asesoría:



M.C. Aaron I. Melendres Alvarez

ASESOR PRINCIPAL



Dr. Luis Samaniego Moreno

ASESOR



M.C. Sergio Sánchez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Ing. Gil Fredy Clemente Solís

ASESOR

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**COMPARACIÓN DE CUATRO METODOLOGÍAS PARA OBTENER CAUDAL DE
DISEÑO DE UNA CUENCA GRANDE.**

POR:

LUZ ARELY GUZMAN LUGO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el H. Jurado Examinador:



M.C. Aaron I. Melendres Alvarez

PRESIDENTE DEL JURADO



Dr. Luis Samaniego Moreno



Ing. Gil Fredy Clemente Solís

VOCAL



M.C. Sergio Sánchez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2024

DECLARACION DE NO PLAGIO.

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que, en caso de comprobarse plagio del texto, no respetar los derechos de autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

Autor principal

LUZ ARELY GUZMAN LUGO

AGRADECIMIENTOS

Le doy mi eterno agradecimiento a Dios, por estar siempre presente en cada instante de mi vida, por darme mi vida, salud, fortaleza y esperanza, a pesar de haber sido años difíciles hizo posible éste logro.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme brindado muchas oportunidades para poder concluir mis estudios de la mejor manera. Y por ser un segundo hogar en todo este tiempo.

A todos mis profesores que me han venido formando, dándome el conocimiento y consejos necesarios para llegar hasta aquí.

Al **departamento de Riego y Drenaje** por comprometerse por darme una excelente formación como Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Al **M.C. Aarón I. Melendres Álvarez** le agradezco por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos.

Al **DR. Luis Samaniego Moreno** por sus enseñanzas como maestro, y por apoyo con la revisión de este Proyecto

Al **ing. Gil Fredy Clemete Solis** por su disposición y ayuda para la presentación de mi tesis.

DEDICATORIAS.

A **Dios**. Por brindarme vida, salud y las fortalezas necesarias para lograr unas de mis metas en la vida, además de infinita bondad y amor para iluminar cada pasó de mi vida.

A mi madre.

María de la Luz Lugo Uribe. por regalarme la valiosa vida, por cuidarme, impulsarme constantemente para lograr mis metas. Por su inalcanzable apoyo y confianza durante todo este proceso, por su amor incondicional y por siempre alentarme cuando quería desistir.

A mis hermanos.

Luis Enrique, Eilin, Fátima de Jesús y Paloma María por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida y también expreso el gran amor que tengo por todos ustedes, por apoyarme y darme confianza para seguir superándome. Este logro también es de ustedes.

A mi hijo.

Cesar Alonso Barajas Guzmán por ser mi principal motor en mi vida , y por ser parte de este proceso. Por darme siempre aliento, motivación y un abrazo cuando más lo necesitaba. Todo esto es por ti y para ti.

A Sergio Luis Barajas Zarate. Por darme ese hijo maravilloso que tenemos, y por su apoyo y paciencia en esta etapa.

A mis amigos de la Universidad.

Karen, Ángeles Viviana, Fernando y Omar compañeros de generación que siempre estuvieron. Al igual a mis demás compañeros de generación por su gran Amistad y por los buenos momentos vividos. A compañeros de otras generaciones de la carrera y de la disciplina de voleibol que se volvieron buenos amigos.

Índice de Contenido

DECLARACION DE NO PLAGIO.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIAS.....	VI
RESUMEN.....	XI
ASBTRACT.....	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. OBJETIVO.....	14
III. HIPÓTESIS.....	14
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
4.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	16
4.3. CLIMA.....	17
4.4 HIDROGRAFÍA.....	19
5.1 TOPOGRAFÍA DE ESTUDIO.....	19
5.2 MODELO FISIOGRÁFICO – GEOMORFOLÓGICO.....	21
5.2.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS / SUBCUENCAS / MICROCUENCAS.....	21
5.2.2 PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS.....	21
5.2.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	22
5.3 DATOS BÁSICOS.....	24
5.3.1. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN.....	24
5.3.2. TIPO DE SUELO (EDAFOLOGÍA).....	26
5.3.3. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....	28
5.4. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO.....	29
5.4.1. METODOLOGÍAS POR EMPLEAR.....	29
5.6.2 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE C (MÉTODO RACIONAL).....	30
5.6.3 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE CN (MÉTODO SCS).....	31
VI. MODELO METEOROLÓGICO.....	35
6.1. RECOPIACIÓN Y LIMPIEZA DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	35
6.2. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS.....	42
6.3. REALIZACIÓN DE PRUEBAS A LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN.....	42
6.3.1 PRUEBA DE DATOS DUDOSOS.....	42
6.3.2 PRUEBA DE HOMOGENEIDAD.....	44

6.3.3 PRUEBA DE INDEPENDENCIA.....	61
6.4. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES	63
6.5. CÁLCULO DE TIEMPOS.....	67
6.5.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC) Y TIEMPO DE RETRASO (TR)	67
6.6. DETERMINACIÓN DE CURVAS IDT	69
6.7. HIETOGRAMAS DE DISEÑO.....	71
6.8. SELECCIÓN DE PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO	72
6.9. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.....	72
VII. RESULTADOS	74
7.1 MODELO HIDROLÓGICO	74
7.1.1 ESTIMACIÓN DE CAUDAL DE DISEÑO.....	74
7.1.2. MÉTODO RACIONAL	74
7.1.3. MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (HUT)	75
7.1.4. MÉTODO VEN TE CHOW.....	76
7.2. SELECCIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DE PROYECTO.....	77
7.3. CREACIÓN DE HIDROGRAMA PROPUESTO.....	79
VIII. CONCLUSIÓN	81
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	82

Índice de Figuras

Figura 1 Localización del sitio de estudio.	15
Figura 2 Vista punto de control y delimitación del área de estudio.	16
Figura 3 Vías de comunicación en la zona de estudio.	17
Figura 4 Clima de la zona de estudio.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 Red hídrica del área de estudio.	19
Figura 6 Topografía del área de estudio.	20
Figura 7 Cuencas, Puntos de control y cauces principales en la zona de estudio.	21
Figura 8 Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia de Altitudes W-001.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 Analisis de pendiente media de la cuenca.	27
Figura 10 Mapa del uso de suelo y vegetacion de las cuencas de estudio.	28
Figura 11 Mapa de tipo de suelo del area de estudio.	32
Figura 12 Coeficiente de escurrimiento en la zona de estudio.	33
Figura 13 Distribucion parcial del numero de curva de la zona del estudio.	42
Figura 14 Tipo de suelo hidrológico del area de estudio.	62
Figura 15 Estaciones climatológicas en el area de estudio.	62
Figura 16 Correlograma de los datos de la estación 2001.	63
Figura 17 Correlograma de los datos de la estación 2004.	63
Figura 18 Correlograma de los datos de la estación 2036.	69
Figura 19 Correlograma de los datos de la estación 2118.	70
Figura 20 Curva IDT metodología de CHEN (2 a 100 años).	70
Figura 21 Curva IDT metodología de CHEN (200 a 10,000 años).	71
Figura 22 Curva PDT metodología de CHEN (2 a 10,000 años).	71
Figura 23 Hietograma sintético tr 100 años (Método SCS) W-001.	72
Figura 24 Hietograma sintético tr 500 años (Método SCS) W-001.	72
Figura 25 Hietograma sintético tr 1000 años (Método SCS) W-001.	80
Figura 26 Hidrograma por el Método SCS, TR 100 años, W-001.	80
Figura 27 Hidrograma por el Método SCS, TR 500 años, W-001.	80

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Parámetros fisiográficos del área de estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2	Parámetros geomorfológicos de las cuencas de estudio.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 3	Coeficiente CN de cuenca.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 4	Datos de estaciones utilizadas	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5	Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2036	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 6	Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2004	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 7	Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2001	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 8	Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2118	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 9	Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2001	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 10	Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2004 .	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 11	Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2036.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 12	Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2118.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 13	Evaluación de distribuciones, estación 2001	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 14	Evaluación de distribuciones, estación 2004.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 15	Evaluación de distribuciones, estación 2036.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 16	Evaluación de distribuciones, estación 2118.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 17	Cálculo de tiempo de concentración y retraso de la cuenca	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 18	Datos iniciales de la cuenca.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 19	Precipitación de diseño, W-001	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 20	Polígonos de Thiessen cuenca W-001.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 21	Gasto calculado Método Racional para la W-001.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 22	Gasto calculado Método Unitario Triangular para la W-001.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 23	Gasto calculado método Chow	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 24	Resumen de caudales obtenidos con las diferentes metodologías empleadas, W-001.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 25	Resumen de caudales pico en m ³ /s obtenidos para diferente Tr en cada cuenca.....	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El cálculo de gastos o avenidas máximas en hidrología se basa en metodologías que consideran factores climáticos, geográficos, y estadísticos para estimar el flujo máximo de agua en un río o cuenca. Estas metodologías se dividen en tres enfoques principales: empíricos, estadísticos y hidrológicos o físicos, la ausencia de datos de caudales aforados en las corrientes principales de las cuencas viene a detonar la necesidad de emplear estas metodologías estadísticas con la finalidad de poder tener una aproximación más real a lo que sucedería de forma natural. El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es vital para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial.

Palabras claves:

Cuenca, SCS, hidrograma unitario triangular.

ASBTRACT

The calculation of maximum expenditures or floods in hydrology is based on methodologies that consider climatic, geographical, and statistical factors to estimate the maximum flow of water in a river or basin. These methodologies are divided into three main approaches: empirical, statistical and hydrological or physical, the absence of data on measured flows in the main streams of the basins triggers the need to use these statistical methodologies in order to have a more realistic approximation to what would happen naturally. Correct knowledge of the hydrological behavior of a river, stream, or lake is vital to be able to establish areas vulnerable to extreme hydrometeorological events; as well as to provide for a correct design of road infrastructure works.

Keywords:

Basin, SCS, triangular unit hydrograph.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del análisis de sistemas hidrológicos es estudiar el funcionamiento del sistema y predecir sus resultados. Un modelo de sistema hidrológico es una aproximación del sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que vinculan las entradas y salidas. El concepto de transformación del sistema es central para la estructura del modelo (Chow et al., 1988). Prueba la capacidad y el rendimiento, basado en la física, para representar el comportamiento hidrológico y la comprensión del flujo en una cuenca (Bouslihim et al., 2016).

Se emplea para estudiar el comportamiento hidrológico y luchar contra la contaminación de los recursos hídricos de una cuenca, es importante comprender y cuantificar estos recursos, pero, sobre todo, ayudar a los gestores y a los que toman las decisiones a adoptar las técnicas de gestión del territorio adecuadas. El uso de un modelo para simular los cursos de agua será una herramienta importante para la toma de decisiones (Bouslihim et al., 2016).

Además, son fundamentales para el diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio. El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es vital para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2008).

Por lo que es necesario realizarlos para conocer lo siguiente:

- (i) Estudio del patrón de escorrentía del cuerpo de agua en el sitio propuesto para la obra para determinar la capacidad de almacenamiento y si aplica, la altura de esta.
- (ii) Estudio de los hidrogramas de alimentación en el sitio de la obra para determinar la capacidad del aliviadero y las medidas de control de alimentación.

Si los datos hidrológicos están disponibles al menos durante los últimos treinta y cinco años, entonces el patrón futuro de inundaciones y escorrentía también se puede predecir mediante el análisis de frecuencia de inundaciones. Esto es imprescindible para cualquier planificación de embalses multipropósito. (Ukarande, 2018)

Se deben ir abordando los temas de parámetros físicos de las cuencas hidrográficas, periodos de retorno por tipo de obra hidráulica y métodos básicos para estimar el caudal de creciente (Pulencio, 2022).

El primer factor por considerar se refiere al tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento. Los factores geológicos e hidrogeológicos que influyen en el diseño se refieren a la presencia de aguas subterráneas, naturaleza y condiciones de las rocas permeables y de los suelos: su homogeneidad, estratificación, conductividad hidráulica, compresibilidad, etc. y también a la presencia de zonas proclives de ser afectadas por fenómenos de geodinámica externa de origen hídrico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: modelos físicos y modelos abstractos. Los modelos físicos incluyen modelos a escala que representan el sistema en una escala reducida, por ejemplo, un modelo hidráulico del aliviadero de una presa; y modelos analógicos, que utilizan otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo es decir representan el sistema en forma matemática (Chow et al., 1988).

II. OBJETIVO

Determinar el gasto de la avenida máxima de una cuenca por cuatro metodologías diferentes.

III. HIPÓTESIS

El método del SCS es el que mejor determina la avenida máxima de una cuenca grande

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se ubica en la región noroeste de la República Mexicana, en la parte norte de la península del mismo nombre, geográficamente el Punto de Control (desfogue) se encuentra en las coordenadas 32°05'21.9"N 116°52'57.3"W perteneciendo a la Subcuenca Rio Guadalupe (RH01Cc) en Baja California, la cual se extiende al norte de la península en la región de Ensenada. Al norte, la subcuenca colinda con la región de Tijuana y la cuenca del río Tijuana, una zona semiárida cercana a la frontera entre México y Estados Unidos. Aquí se encuentran valles y pequeñas montañas, así como áreas agrícolas importantes, aprovechadas para viñedos y otros cultivos. Hacia el sur, la subcuenca limita con zonas de la Sierra de Juárez, una región montañosa con picos que alcanzan altitudes notables. Estas montañas son parte de la cadena de la Sierra Baja California, caracterizada por rocas graníticas y áreas boscosas en altitudes más altas. En dirección este, la subcuenca limita con desiertos y planicies áridas que se extienden hacia Mexicali y el Valle de Mexicali. Esta es una zona de clima muy seco, con escasa vegetación, típicamente de matorral desértico, y temperaturas extremas. Mientras que al oeste, la subcuenca se acerca al Océano Pacífico, lo que le da un clima más templado en comparación con las zonas interiores. Aquí predominan los valles agrícolas, famosos por la producción vinícola, como el Valle de Guadalupe.

Por lo cual la subcuenca del río Guadalupe presenta una topografía variada. Está formada por valles amplios, donde se desarrollan actividades agrícolas, y por áreas montañosas que se elevan desde los valles hasta las sierras. La altitud varía desde las tierras bajas de los valles hasta las zonas elevadas de la Sierra de Juárez, con suelos rocosos y afloramientos graníticos.

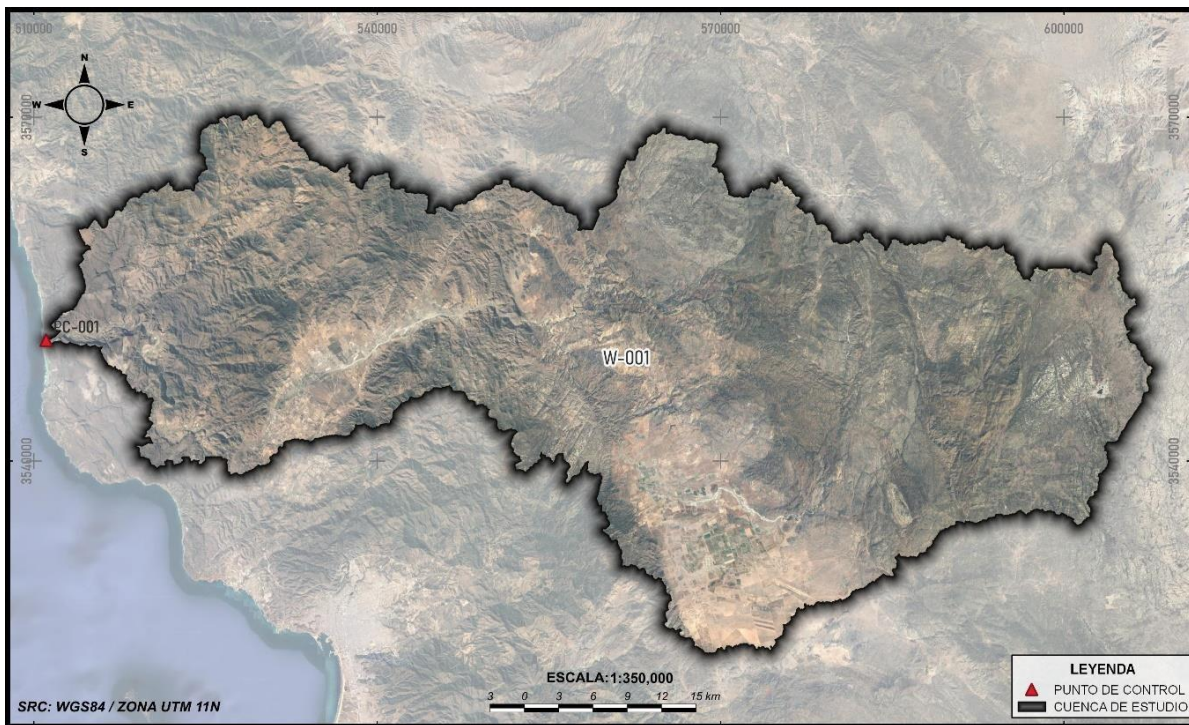


Figura 1 Localización del sitio de estudio.

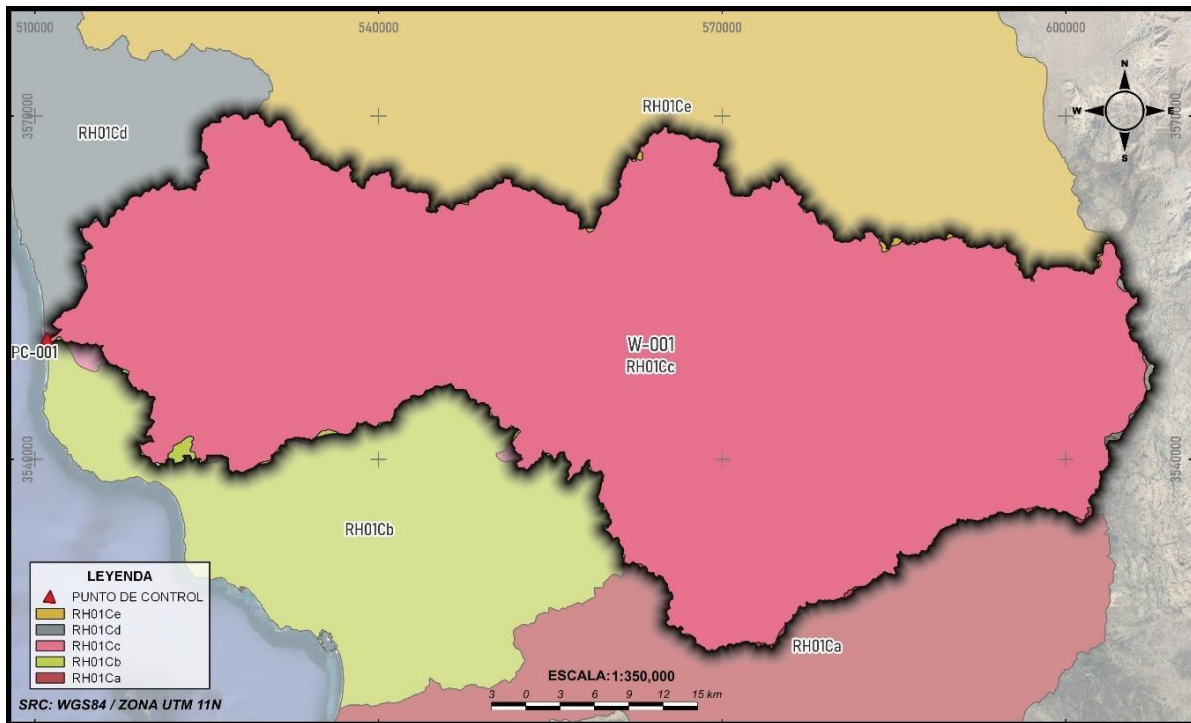


Figura 2 Vista punto de control y delimitación del área de estudio.

4.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Para llegar a nuestro punto de control (PD) saliendo desde Tijuana tomamos la Carretera Federal 1D (también conocida como la autopista Tijuana-Ensenada) en dirección sur. Esta carretera conecta Tijuana con Ensenada por la costa del pacifico y ofrece vistas espectaculares del Océano Pacifico siendo una carretera escénica de extensión de 103 km. Nuestra ubicación se encuentra en el km 78, antes de llegar a Punta Piedra, BC; por lo cual tomaremos la salida a la ciudad del mismo nombre para retornarnos de nuevo a la carretera 1D con dirección al norte por 500 m y entonces el destino estará a la derecha. La distancia recorrida desde Tijuana son aproximadamente 50 a 60 km, y el tiempo estimado de viaje puede ser de 1 a 1.5 horas dependiendo de las condiciones de tráfico y la calidad del camino.



Figura 3 Vías de comunicación en la zona de estudio.

4.3. CLIMA

Si hablamos en general, la Región Hidrológica 1 C (RH1 Cc) en Baja California, México, ubicada en el noroeste del país. Incluye varias cuencas costeras de Baja California y cuenta con un clima semiárido a mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves y veranos secos, con precipitaciones limitadas y temperaturas moderadas.

Específicamente en nuestro PC cerca de Punta Piedra, Baja California, el clima es templado y semiárido. En general, los meses más fríos son enero y febrero, con temperaturas que rondan los 10 °C durante la noche y unos 18 °C de día. En contraste, el verano es más cálido, especialmente en agosto, cuando las temperaturas alcanzan un promedio de 27 °C durante el día y bajan a alrededor de 20 °C por la noche. La región recibe poca precipitación anual, concentrada principalmente en los meses de invierno, como diciembre y enero, con un promedio de 65 mm de lluvia en estos meses (véase el mapa 1). En noviembre, la temperatura promedio es de 21 °C durante el día y desciende a unos 13 °C por la noche, con una humedad moderada de 54%. El déficit medio anual oscila entre 600-700 mm. Estos datos se ven representados en el mapa 1.

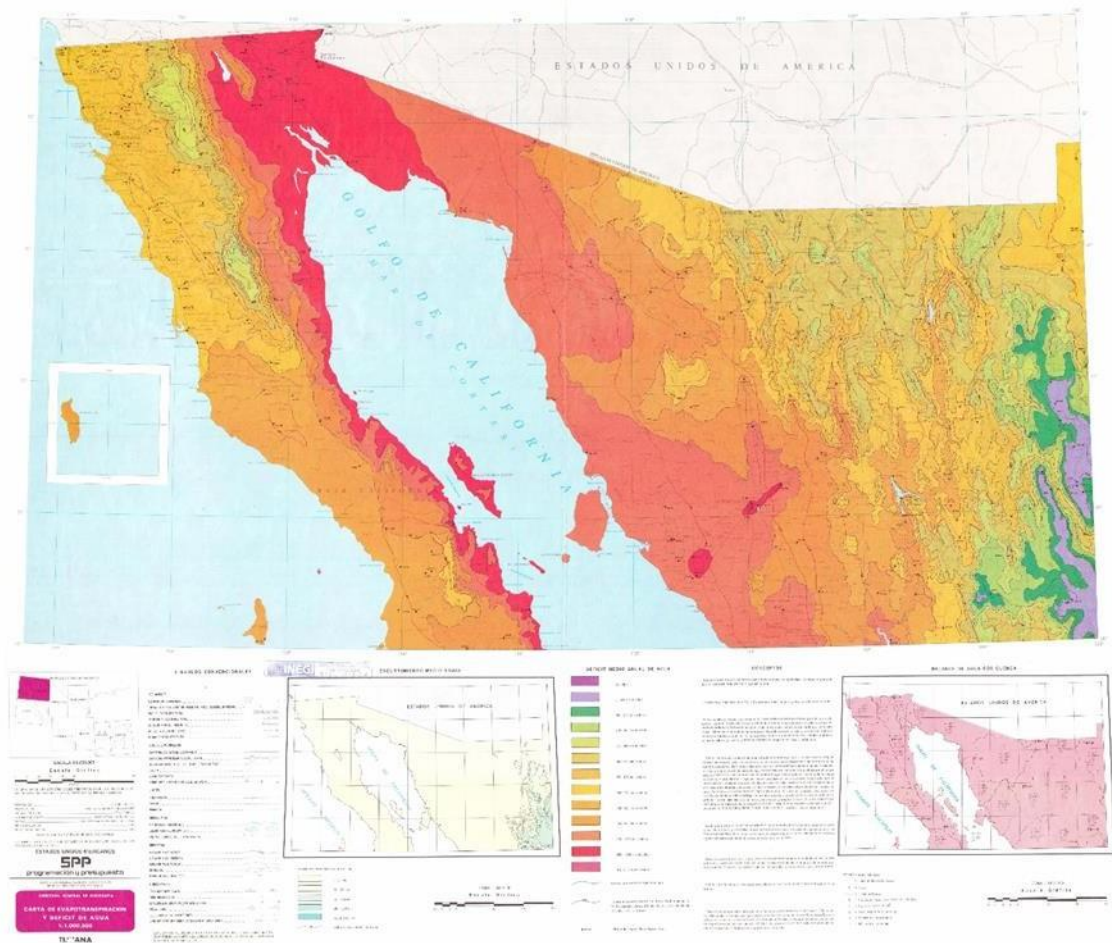


Figura 4 Clima de la zona de estudio.

La humedad en la región es baja, especialmente durante el verano, debido a la influencia de los vientos secos del desierto. Los vientos costeros son frecuentes y pueden influir en el clima, generando variaciones de temperatura y enfriando la región en las zonas cercanas al litoral. Aunque ocasionalmente la humedad aumenta debido a la influencia del océano Pacífico.

La RH1 C abarca áreas con características semiáridas, lo que significa que el acceso a agua es limitado y la vegetación tiende a ser de tipo xerófila. Este tipo de clima influye en el manejo de recursos hídricos y en la disponibilidad de agua para los asentamientos y actividades agrícolas en Baja California.

Este clima particular hace que las prácticas de conservación y manejo de agua sean esenciales en la región debido a la baja recarga de acuíferos y la alta evaporación que ocurre en los períodos de calor.

4.4 HIDROGRAFÍA

En la nomenclatura de las subcuencas hidrográficas de México, las letras que siguen a la identificación de la región hidrológica (RH) indican subdivisiones geográficas y estructurales.

En el caso de **RH01Cc**:

RH01 representa la Región Hidrológica 01 (Baja California Noroeste).

“C” se refiere a una cuenca específica dentro de esa región, y el segundo "c" indica una subcuenca dentro de esa cuenca principal.

Estas letras ayudan a estructurar y detallar la ubicación y división de las áreas dentro de la clasificación hidrológica que realiza CONAGUA, facilitando el estudio y manejo de cada segmento de los recursos hídricos en México.

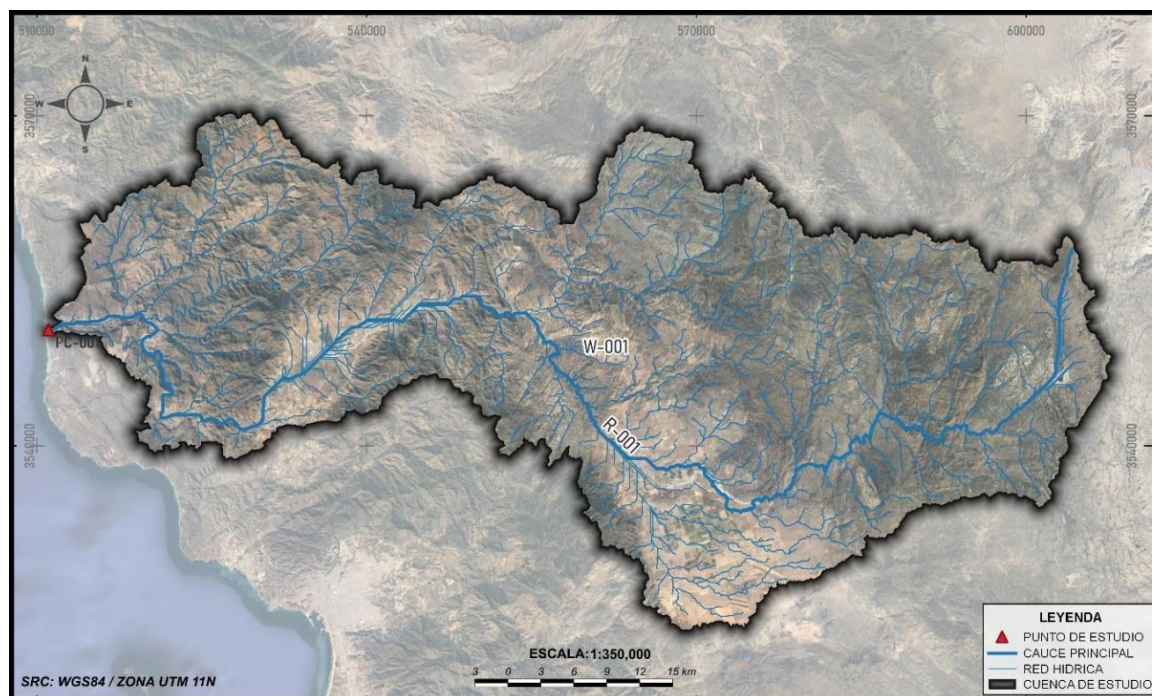


Figura 5 Red hídrica del área de estudio.

V. METODOLOGÍA

5.1 TOPOGRAFÍA DE ESTUDIO

El modelo digital de elevaciones (DEM) utilizado en el presente estudio (Figura 7) fue obtenido de radar satelital de la plataforma de Land Viewer el cual tiene una resolución espacial de 5 m, dicha información fue utilizada para poder delimitar las cuencas que aportan el escurrimiento al predio de estudio. La información corresponde entre los años 2015 y 2017, El DEM se corrigió matemáticamente para descartar o corregir errores en pixeles, el proceso se realizó con la ayuda de QGIS, la topografía de estudio se encuentra de los 5 hasta los 1323 msnm.

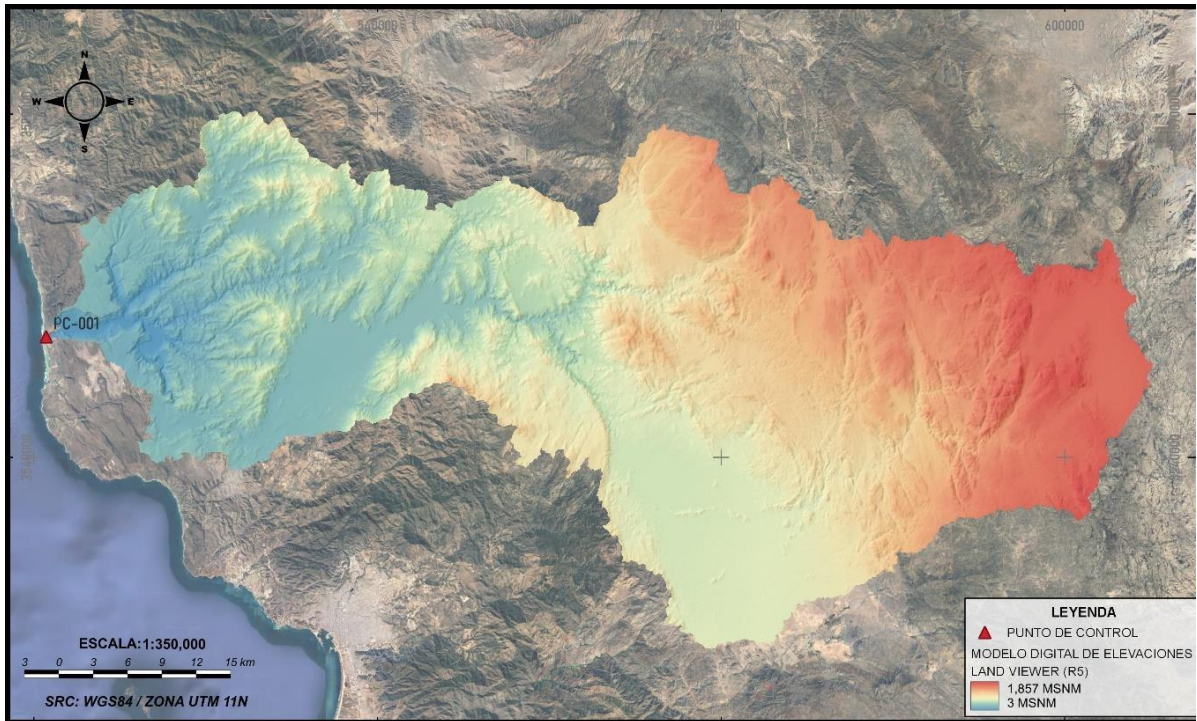


Figura 6 Topografía del área de estudio.

5.2 MODELO FISIAGRÁFICO – GEOMORFOLÓGICO

5.2.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS / SUBCUENCAS / MICROCUENCAS

Los rasgos geomorfológicos que se analizan corresponden a los parámetros físicos de las cuencas y los cauces los cuales intervienen en la aplicación de métodos hidrometeorológicos, esto involucra numerosos factores físicos de la misma.

En la zona de estudio se delimitó una cuenca que fue nombrada; W-001, que es la que genera el escurrimiento.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la delimitación de la cuenca de la zona de estudio.

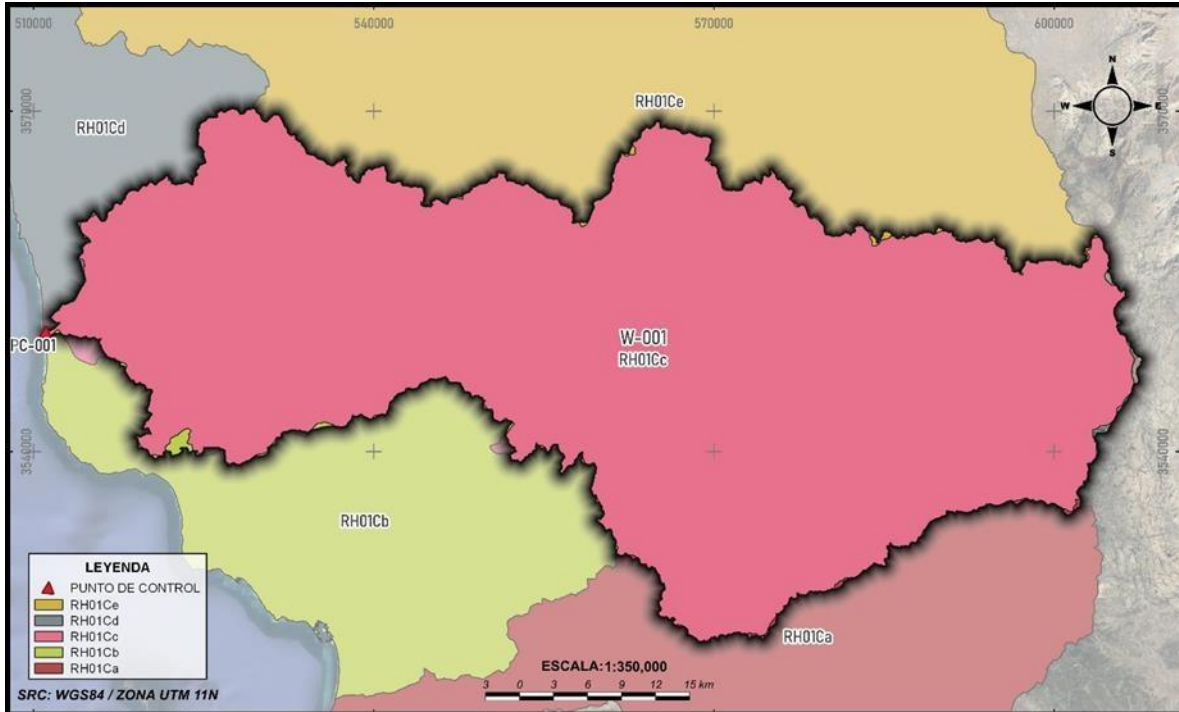


Figura 7 Cuencas, Puntos de control y cauces principales en la zona de estudio.

5.2.2 PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS

Los siguientes parámetros fueron calculados aplicando uno o varios métodos y ecuaciones propias de los estudios hidrológicos, los cuales se describen a continuación.

Área de la cuenca; se determina directamente de la superficie e información obtenida de la delimitación de la cuenca directamente en las estadísticas de QGIS.

Perímetro de la cuenca; la longitud del parteaguas que delimita la cuenca se obtuvo al igual que ya se mencionó con el área de la cuenca.

Longitud del cauce principal; después de determinar el cauce principal en QGIS se determinó en el mismo software la longitud del cauce.

Relación de elongación; relación entre el diámetro del círculo RE (D_c) que representa el área de la cuenca y la longitud máxima entre la salida y la parte más alejada del parte aguas.

$$Re = Dc/Lm$$

Donde:

Re = relación de elongación

Dc = diámetro del círculo igual a la cuenca (km)

Lm = longitud máxima de la cuenca.

Cuadro 1 Parámetros fisiográficos del área de estudio.

Parámetros Fisiográficos		
Parámetro	Valor	Unidad
Área	2,394.619	km ²
Perímetro	497.780	Km
Long. de Cuenca	96.671	Km
Long. de Cauce	160.566	Km
Ancho de Cuenca	24.771	Km
Relación de Elongación Re	0.571	Re = 0.9 - 1.0 Relieve Bajo, Re = 0.6 - 0.8 Relieve Fuerte
Índice de compacidad Cc	2.848	kc = 1 c. circular, kc = 2 c. alargada

5.2.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Pendiente media del cauce; la pendiente media del cauce principal está relacionada directamente

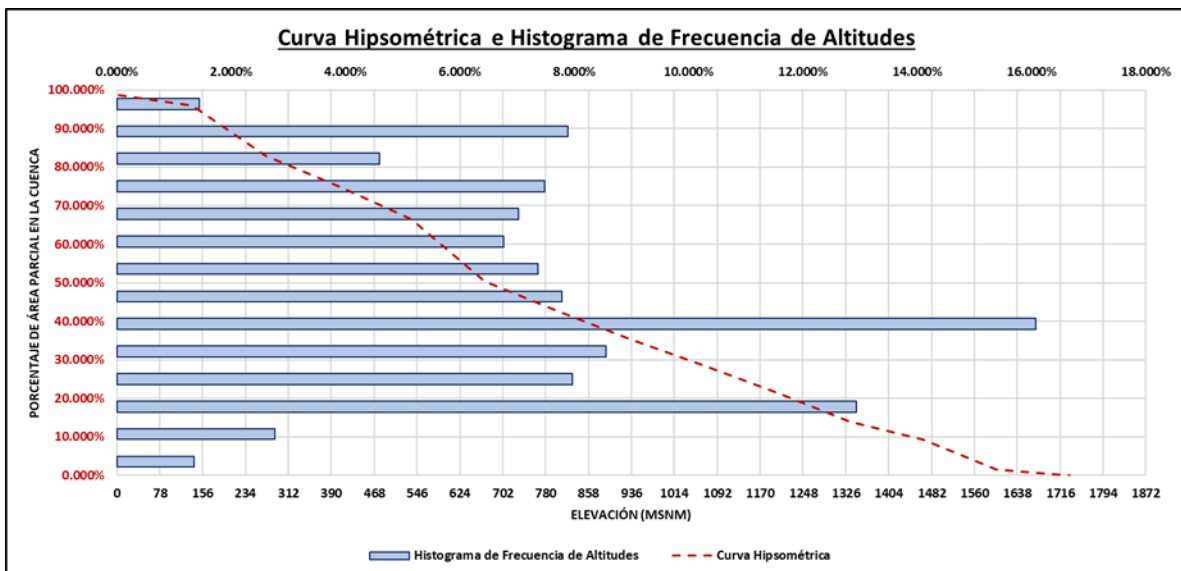


Figura 8 Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia de Altitudes W-001

con el régimen hidráulico del flujo y su efecto con la velocidad de propagación de la onda de la avenida. Para el cálculo de este valor se utilizó la metodología de Taylor & Schwarz. Mismos datos se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 2 Parámetros geomorfológicos de las cuencas de estudio.

Parámetros Geomorfológicos		
Parámetro	Valor	Unidad
Pendiente Media de la Cuenca	16.970	%
Pendiente Media de la Cauce Principal	0.00227	m/m
Altitud media de la cuenca	897.022	m.s.n.m.
RECTANGULO EQUIVALENTE		
Lado menor	238.865	km
Lado mayor	10.025	km

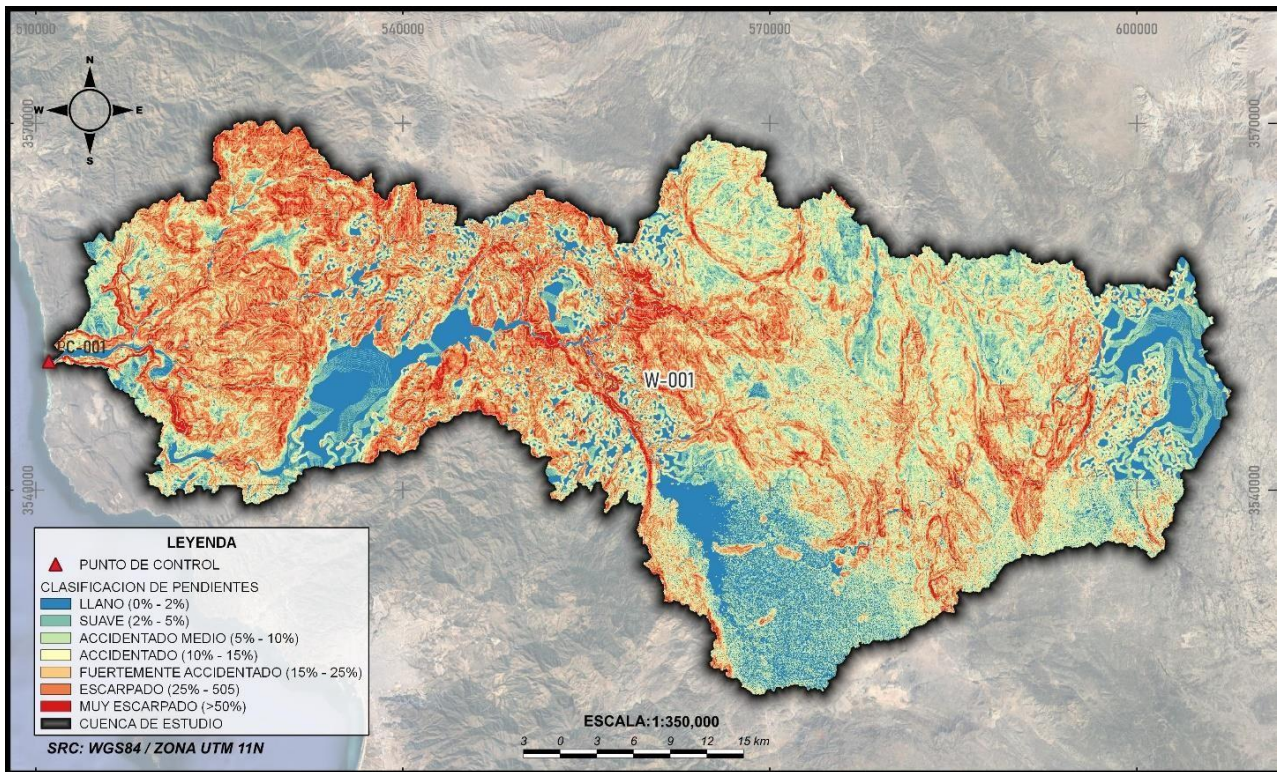


Figura 9 Analisis de pendiente media de la cuenca

5.3 DATOS BÁSICOS

5.3.1. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

De acuerdo con la información cartográfica de uso de suelo y vegetación del INEGI serie VII, carta 1:250 000 publicada el 08 de diciembre de 2021, al interior de la cuenca en estudio se identifican diferentes tipos de uso de suelo y vegetación: agricultura de riego y temporal, asentamientos humanos, pastizales, vegetaciones arbustivas etc., la mayor extensión de la cuenca en estudio es ocupada por bosque de Encino, Pino y Chaparral.

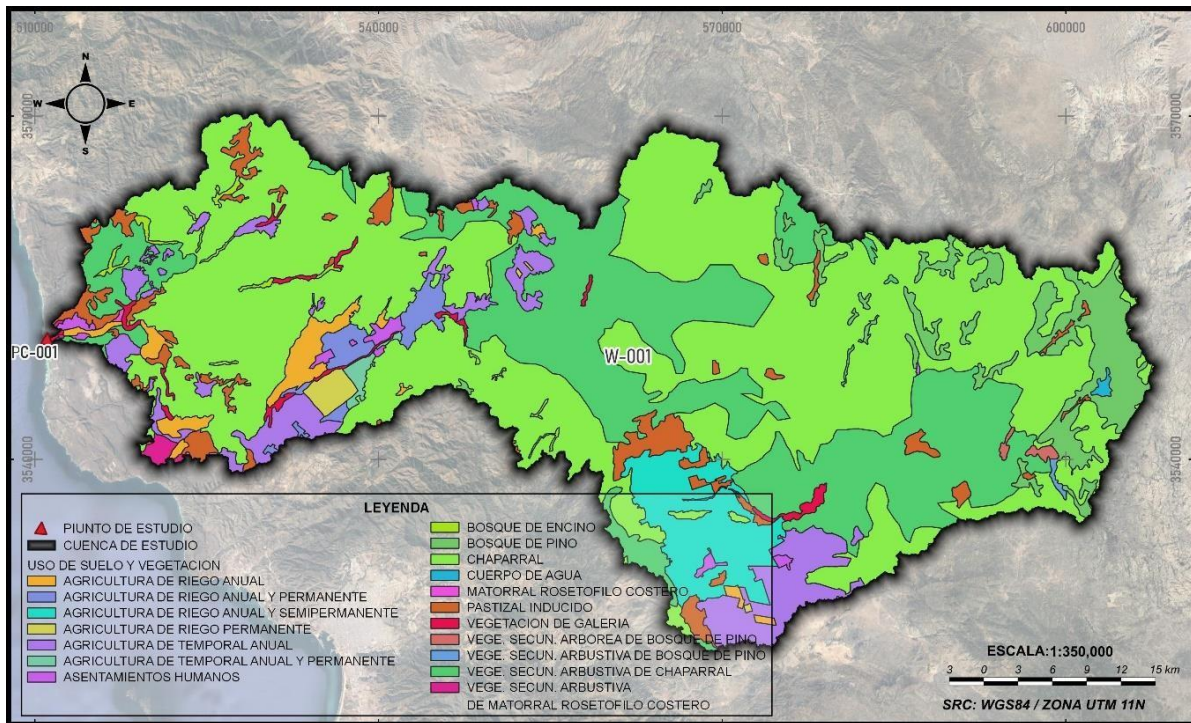


Figura 10 Mapa de uso de suelo y vegetación de las cuencas de estudio (INEGI serie VII).

5.3.2. TIPO DE SUELO (EDAFOLOGÍA)

Para la obtención del mapa de tipo de suelo de la zona de estudio se utilizó la información del INEGI serie II publicada en el año 2002 – 2006 actualizada al 2024, escala 1:250 000. De acuerdo con la descripción de los tipos de suelo que se encuentran en la zona la textura es gruesa dentro de los primeros 30 cm de suelo dominante, lo que se distingue por ser suelos arenosos con más de 70% de arena, con menor capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas. Como se puede observar en la Figura 15 del mapa de tipo de suelo el mayor porcentaje del área es ocupado por leptosol, seguido por Regosol y por último en menor porcentaje el Fluvisol, que se describen a continuación.

Leptosol (LP)

Anteriormente están incluidos en el grupo de los Litosoles, del griego Lithos, piedra. Actualmente representan suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy susceptibles a la erosión. Se localizan generalmente en las zonas montañosas con más de 40% de pendiente como la sierra La Giganta, Del Burro, La Paila, San Carlos, del Pinacate y la Sierra Lacandona. También son abundantes en la Mixteca Alta Oaxaqueña, el Carso Huasteco, al pie de la Sierra Madre Occidental y en todos los sistemas de cañones. Un caso particular son los extensos afloramientos calizos encontrados en la Península de Yucatán. Los tipos de vegetación más relacionados con los afloramientos rocosos son el matorral desértico rosetófilo, la selva baja caducifolia y el bosque de encino. El uso principal de este suelo es para agostadero.

Fluvisol (FL)

Suelos con abundantes sedimentos fluviales, marinos o lacustres en periodos recientes y que están tradicionalmente sobre planicies de inundación, abanicos de ríos o marismas costeras. Tienen buena fertilidad natural y son atractivos históricamente para los asentamientos humanos de nuestro país. Los Fluvisoles con influencia de marea son suelos ecológicamente valiosos en los que la vegetación original debe preservarse. Se localizan principalmente en las llanuras inter montañosas y valles abiertos o ramificados de Coahuila, Nuevo León, Sonora y la Península de Baja California, así como en el área de influencia de los principales ríos de Sinaloa, Veracruz y Chiapas.

Regosol (RG)

Suelos con propiedades físicas o químicas insuficientes para colocarlos en otro grupo de suelos. Son pedregosos, de color claro en general y se parecen bastante a la roca que les ha dado origen cuando no son profundos. Son comunes en las regiones montañosas o áridas de México, asociados frecuentemente con Leptosoles.

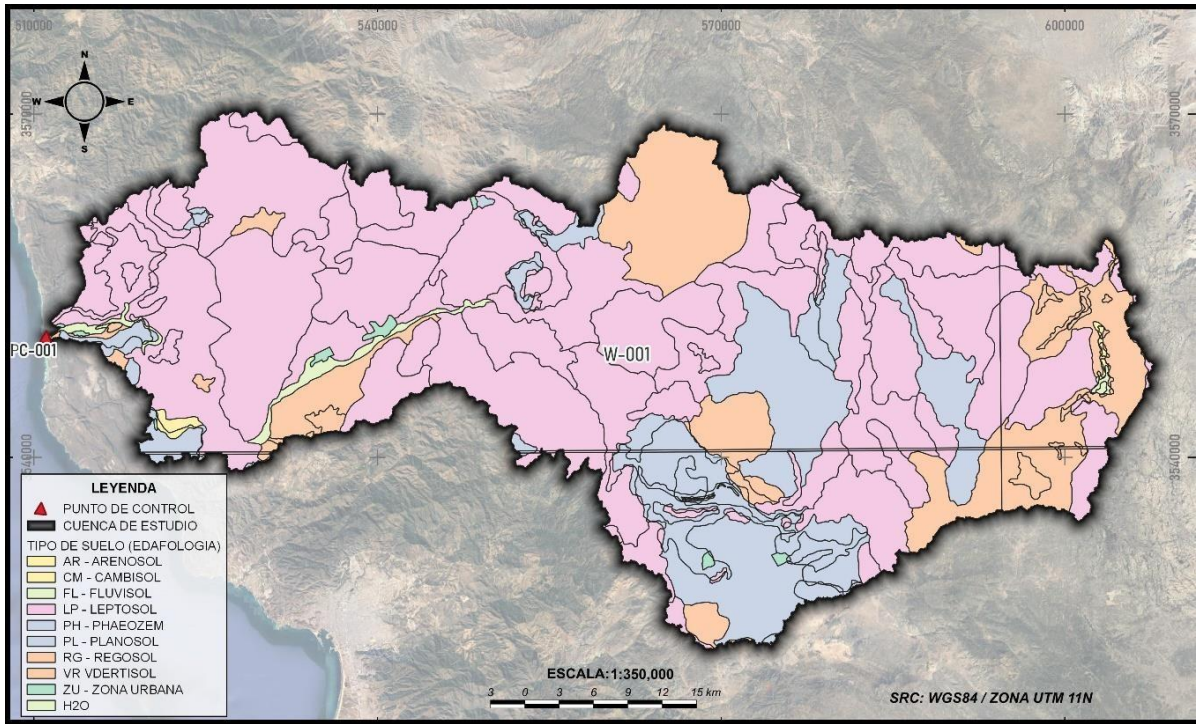


Figura 11 Mapa de tipo de suelo del área de estudio (INEGI serie II)

5.3.3. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El escurrimiento superficial es el componente hidrológico que debe ser medido con mayor precisión, y este dato resulta básico e indispensable para el estudio y manejo de las aguas superficiales. Las regiones, cuencas y subcuencas, tienen gran importancia por la relación directa que existe entre sus porciones altas y las bajas, de tal forma que las acciones que el hombre realiza en la parte alta afectan de manera determinante a la parte baja.

El volumen de escurrimiento superficial es el volumen de lluvia que no interviene en los procesos de evaporación, infiltración o almacenaje superficial.

Coefficiente de escurrimiento: es la relación del caudal que fluye sobre el terreno y las unidades hidrogeomorfológicas, que integran a la cuenca.

Se utilizó la carta 1:250 000 de hidrología serie I del INEGI, de acuerdo con la información que se consultó para conocer el coeficiente de escurrimiento de las cuencas que aportan a la zona de estudio, estos se encuentran de 0 a 05 y de 05 a 10 % como se puede observar en la siguiente figura de mapa de escurrimiento superficial.

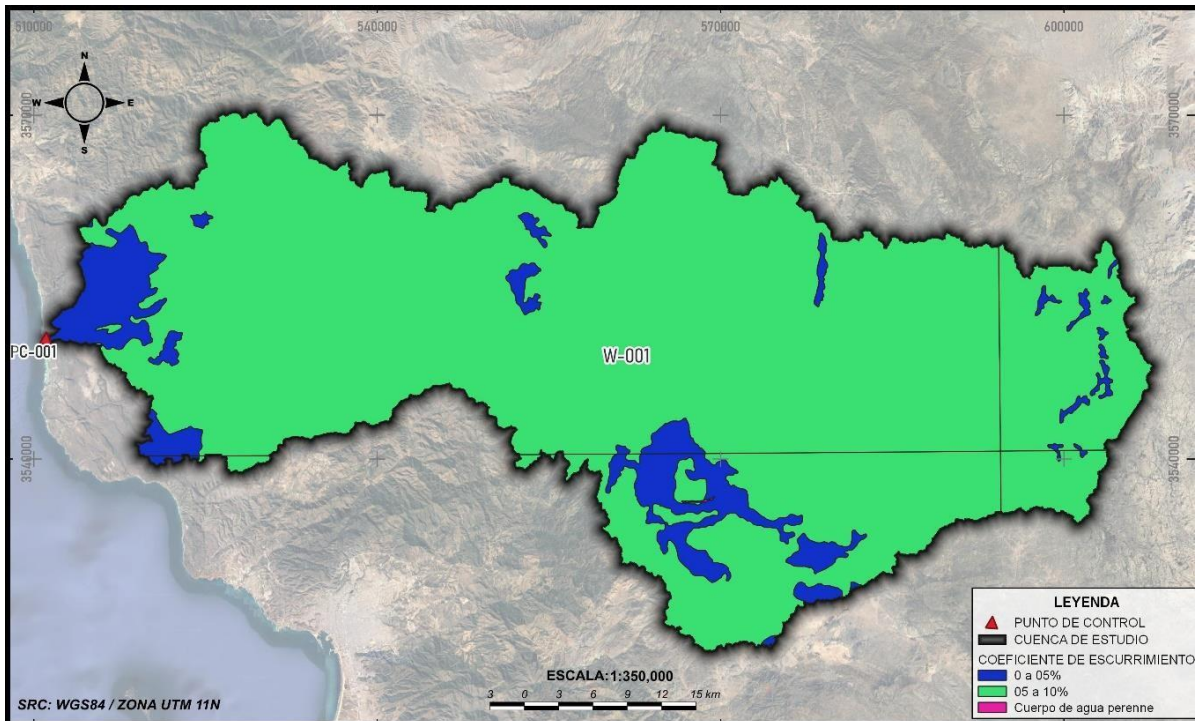


Figura 12 Coeficiente de escurrimiento en la zona de estudio.

5.4. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO

5.4.1. METODOLOGÍAS POR EMPLEAR

5.4.2. Método racional

Descripción:

Es un método empírico utilizado para estimar el caudal máximo en cuencas pequeñas.

Generalmente aplicado en urbanismo e hidráulica superficial.

Ecuación principal:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía (sin unidad).

i: Intensidad de la lluvia (mm/h).

A: Área de la cuenca (km² o ha, ajustada según las unidades).

Consideraciones:

- Supone que toda la lluvia genera escorrentía una vez alcanzado el tiempo de concentración.
- No considera efectos de almacenamiento en la cuenca.

5.4.3 Método Hidrograma Unitario Triangular (HUT)

Descripción:

- Basado en la teoría del hidrograma unitario, utilizada para estimar el caudal asociado a una lluvia efectiva unitaria.
- Introducido por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE. UU. (SCS).

Representación triangular:

- Simplifica el hidrograma real en un triángulo definido por el tiempo al pico (tp) y el caudal pico (Qp).

Ecuación principal:

$$Q_p = \frac{484 \cdot A \cdot P_e}{t_p}$$

Donde:

Qp: Caudal pico (m³/s).

A: Área de la cuenca (km²).

Pe: Lluvia efectiva (mm).

tp: Tiempo al pico (horas).

Aplicaciones:

- Cuencas pequeñas y medianas.
- Integración con modelos de simulación.

5.6.1.3. Método de Chow

Descripción:

- Método hidrológico que ajusta funciones matemáticas para describir el hidrograma.
- Se utiliza en estudios avanzados de cuencas con datos disponibles.

Características:

- Basado en relaciones de tiempo de concentración y distribución temporal de lluvia.
- Combinación de ecuaciones diferenciales y análisis estadístico.

Aplicaciones:

- Estudios detallados en cuencas con infraestructura hidráulica compleja.

5.6.1.4. Método de SCS

Descripción:

- Método empírico que estima el caudal con base en la lluvia efectiva y el número de curva (CN).
- Considera las características del suelo, uso del suelo, cobertura vegetal y condiciones de humedad.

Ecuación principal:

$$Q = \left(\frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \right) \quad \text{para } P > I_a$$

Donde:

- Q: Volumen de escorrentía (mm).
- P: Precipitación total (mm).
- I_a: Precipitación inicial, típicamente 0.2S (mm).
- S: Potencial máximo de almacenamiento (mm).

Cálculo del número de curva (CN):

- Tablas y valores establecidos según las condiciones de la cuenca.

5.6.2 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE C (MÉTODO RACIONAL)

El coeficiente de escurrimiento es utilizado para el cálculo de volúmenes escurridos y para el cálculo de gastos máximos en cuencas pequeñas; generalmente utilizado en la Fórmula Racional. Este parámetro se determina con tablas y también conociendo el volumen escurrido y el precipitado en una determinada área. Con la finalidad de asociar los coeficientes de escurrimiento a los diferentes periodos de retorno, este parámetro se calculó con la relación de la precipitación P y la precipitación en exceso Pe. El resultado es el aplicado a la fórmula Racional.

$$C_e = \frac{P_e}{P}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{5080}{NII} + 50.8\right)^2}{P + \frac{20320}{NII} - 203.2}$$

Donde:

Pe: Precipitación en exceso para una duración igual a la de la tormenta (mm).

P: Precipitación en mm, para una duración Tc.

NII: El parámetro NII corresponde a la curva número N.

5.6.3 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE CN (MÉTODO SCS)

Los principales factores que determinan la CN son el grupo hidrológico del suelo, el tipo de cubierta, el tratamiento, la condición hidrológica y la condición de escorrentía antecedente. Otro factor que se considera es si las áreas impermeables desembocan directamente en el sistema de drenaje (conectadas) o si el flujo se extiende sobre áreas permeables antes de ingresar al sistema de drenaje (no conectadas).

Para la obtención del parámetro NII primeramente se obtuvo la textura de las subcuencas de la carta edafológica resultando textura gruesa, posteriormente se asoció al uso del suelo y el valor de NII, el cual previamente se asoció a las condiciones hidrológicas. Para su determinación se consultaron las tablas publicadas en el manual TR55, así como otras bibliografías publicadas en internet y libros de hidrología.

Para determinar el valor de CN, se calculó el promedio ponderado de las áreas de los tipos de vegetación y textura del suelo. El promedio ponderado de CN para la cuenca hidrológica es aplicable a los diferentes métodos para el cálculo del gasto pico.

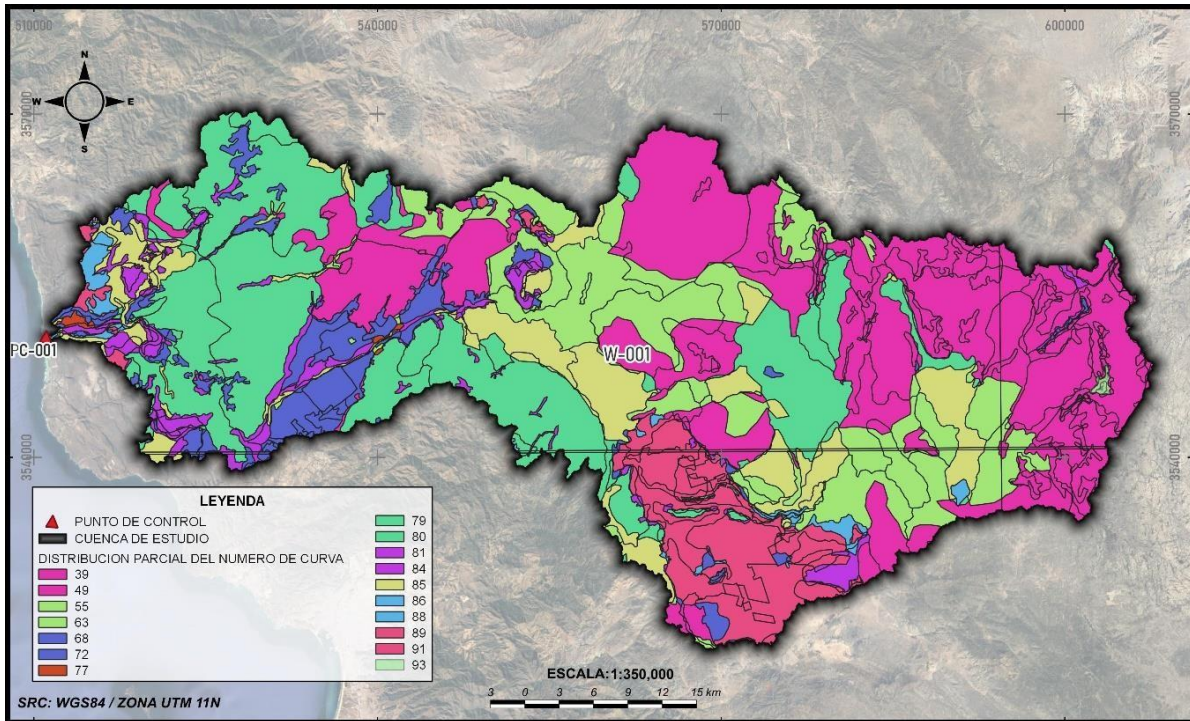


Figura 13 Distribución parcial del número de curva de la zona de estudio.

5.6.3.1 DETERMINACIÓN DE SUELO HIDROLÓGICO

Las tasas de infiltración de los suelos varían ampliamente y se ven afectadas por la permeabilidad del subsuelo, así como por las tasas de absorción de la superficie. Los suelos se clasifican en cuatro (A, B, C y D) según su tasa de infiltración mínima, que se obtiene para el suelo desnudo después de un humedecimiento prolongado.

La condición hidrológica indica los efectos del tipo de cubierta y el tratamiento sobre la infiltración y la escorrentía y se estima generalmente a partir de la densidad de la cubierta vegetal y de residuos en las áreas de muestra. Una buena condición hidrológica indica que el suelo suele tener un potencial de escorrentía bajo para ese grupo hidrológico de suelo, tipo de cubierta y tratamiento específicos. Algunos factores a tener en cuenta para estimar el efecto de la cubierta sobre la infiltración y la escorrentía son (a) el dosel o la densidad de césped, cultivos u otras áreas vegetativas; (b) la cantidad de cubierta durante todo el año; (c) la cantidad de pasto o legumbres de semillas cerradas en rotaciones; (d) el porcentaje de cubierta de residuos; y (e) el grado de rugosidad de la superficie.

Para la asignación del grupo de suelo hidrológico se correlacionó la información de tipo de suelo, clase de textura y coeficiente de escurrimiento, de igual forma imágenes actuales de satélite para poder revisar la condición hidrológica del tipo de cobertura. La información resultante del grupo de suelo se puede observar en la siguiente figura, se observan los grupos A, B, C y D bajo condiciones de cobertura pobre y buena.

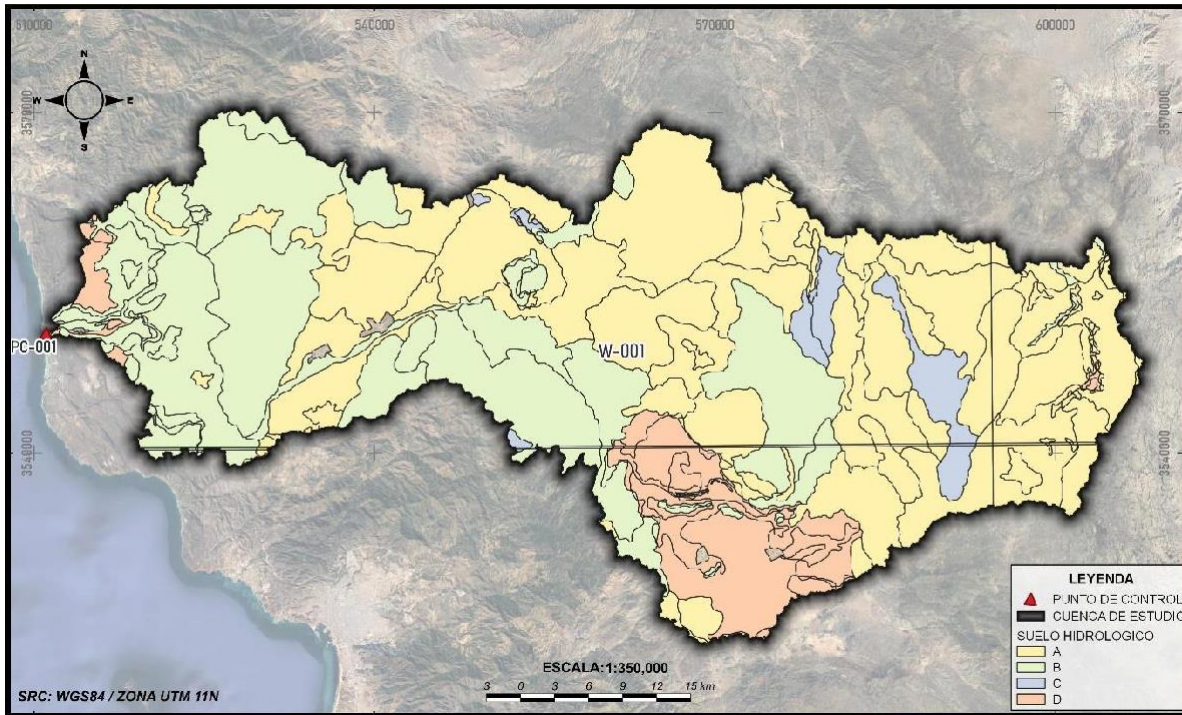


Figura 14 Tipo de suelo hidrológico del área de estudio.

5.6.3.2 SELECCIÓN DE COEFICIENTE CN

Posterior a la obtención del grupo de suelo hidrológico se determinó el número de curva para cada uno de los grupos, en este caso los números de curva para el grupo A se han desarrollado sólo para arbustos desérticos.

Se ponderó el área que ocupa cada uno de los grupos con la cuenca para de esta manera obtener un promedio de CN que es representativo.

Cuadro 3 Coeficiente CN de cuenca.

Cuenca	CN
W-001	68

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition ²	A ³	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$. For range in humid regions, use table 2-2c.

² Poor: <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).

Fair: 30 to 70% ground cover.

Good: > 70% ground cover.

³ Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.

VI. MODELO METEOROLÓGICO

6.1. RECOPIACIÓN Y LIMPIEZA DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

En el siguiente cuadro se muestra la información de las estaciones que se utilizaron para calcular la tormenta de diseño, se muestra el total de datos que se utilizó por cada una de las estaciones.

Cuadro 4 Datos de estaciones utilizadas.

Estación:	2001	2004	2036	2118
Nombre:	AGUA CALIENTE	IGNACIO ZARAGOZA	OLIVARES MEXICANOS	VALLE DE SAN RAFAEL
Estado:	Baja California	Baja California	Baja California	Baja California
Municipio:	Ensenada	Ensenada	Ensenada	Ensenada
Latitud:	32.107500°	32.195278°	32.049167°	31.918889°
Longitud:	-116.454167°	-116.485556°	-116.680833°	-116.234167°
Altura (msnm):	400 m	540 m	340 m	721 m
Situación:	Operando	Operando	Operando	Operando
Datos desde:	1 de enero de 1969	1 de enero de 1965	1 de enero de 1936	1 de enero de 1980
Hasta:	31 de diciembre de 2017	31 de diciembre de 2018	31 de diciembre de 2018	31 de diciembre de 2018
Total, de registro utilizado	48 años	53 años	82 años	38 años

Cuadro 5 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2036.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Ju ni o	Julio	Ag os to	Septi embr e	Octu bre	Novi embr e	Dicie mbre
1955	23	9.5	10	21.5	11.5	90	1	4	6	0.3	12	27.5
1956	8.5	7.5	2	8	3.5	0	0	0	0	8	0	5
1957	55	6.5	9	8	5.5	3.5	0	3	8.6	16	19.4	6
1958	10.5	27	17.5	20	27	0	0	0	9	0	17	0
1959	0	23.5	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	21.1

1960	7	14.5	1.5	16	0	0	0	0	14	8.5	23.5	3
1961	22.5	2	12	0	0	0	0	5	0	0	16	16.5
1962	47	30.5	20	0	5	0	0	4. 5	0	0.5	0	6
1963	9.5	34.5	9	10.5	0	2	0	0	16.5	17	37	3
1964	15	7	15.5	6.5	4	0	0	0	0	1.5	21.5	0
1965	4	33	25	34.5	0	0	0	0	3	0	55	27.5
1966	19	27	4.5	0	0	0	4	0	0	0	29	40
1967	17	0	0.3	33	0	0	0	4	0	0	24	59
1968	5	13	13	16	1.5	1. 5	12	0	0	1.5	12	14
1969	43	26	13	0.5	9	1. 5	0	7	0	0	18	6
1970	4	20	38	5	0	0	6	0	0	2	15.3	20
1971	8	21	0	14	13	0	0	0	4.5	16	1	15
1972	0	1.5	0	2	7	5	0	0	4.5	26	24	20
1973	13.5	19	28.5	1.5	0	0	0	3	0	0	22	6
1974	38.5	2	27	0	0	0	1	0	0	26	3	17
1975	17	16.5	25	28	0.5	2	0	0	1	2	19	8
1976	5	63	18	14.5	1	0	0	0	22	4	46	32
1977	16	2	13	3.5	12.5	0	0	60	0	16.5	8	52.5
1978	62	60	59	8.5	0	0	0	0	1.5	1.5	37	26.5
1979	37.5	12	32	1.5	2.5	0	0	0	0	9.5	8	7.5
1980	107	57	22	13.5	5.5	0	0	0	0	5	0	9.5
1981	16	21	25.5	10.5	5	0	0	0	6	3	16	13
1982	25	28.5	41.5	7	0	0	0	1	6.5	4.5	41	30
1983	23	39	80	22.5	0	0	0	5. 5	40	34	21	20
1984	4	0	0.8	7.5	0	0	2	0	0	4	12	42

1985	9	10	7	2	0	1	2	0	12	11.5	45.5	20
1986	12.6	28.5	22.5	3.5	0	0	1.5	0	6	6	15	8
1987	37	33	13	15.5	0	0	1	1	3.5	54	80	40
1988	60	38	16	36	3	0	1	0	0	0	7	6
1989	6	5	20	1.5	2.5	0	0	0	3	4	0	8
1990	20	8	0	4.9	5	2.5	0	0	0	0	22	12
1991	0	91	28	0	0	0	20	0	0	0	4.39	18.69
1993	89	44.5	13	15	6	2	0	0	0	0	11	0
1994	13	22	18	10	0	0	0	0	0	3.5	7.7	26
1995	50.5	61.5	52	22	48	33	0	0	0	0	0	0
1996	12.35	21.3	35.3	0	0	0	0	0	0	0	0	3.64
1997	0	15.3	0	2.06	0	0	0	0	14.2	0	0	2
1998	23.6	70.2	37	25	0	0	0	0	0	0	12.1	12.8
1999	0	21	18.2	19.2	0	0	0	0	0	0	0	4.58
2000	0	24	24.3	15	0	0	0	0	0	0	7.59	2.02
2006	10	4	28	26.5	25.5	7	0	0	0	0	1.46	18
2007	8	26	4.5	13	2	0	0	0	0	0	54.5	10
2008	42.6	24	12	0	12	0	0	3	0	1	28	0
2009	2	23.5	0	6.5	0	1	0	0	0	0	21.5	0
2010	75	39	0	0	0	0	0	0	0	47	22	0
2011	4	44	37	21	7	0	0	0	0	7	33	24.5
2013	30	30	28	0	10	0	0	3.2	0	13.5	7	14
2014	2	6.5	21	4.16	0	0	0	0	0	0	7	22.5
2015	9.5	13.5	67	4.05	1.5	0	0	0	11.5	0	8	22.5
2016	61	36.5	19.5	32.22	12.5	0	0	0	17	0	9.5	76.5

2017	51.8	58.7	12.8	0.00	23	0	0	5.5	1.5	0	8	0
------	------	------	------	------	----	---	---	-----	-----	---	---	---

Cuadro 6 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2004.

Año	Ene ro	Febr ero	Mar zo	Ab ril	Ma yo	Jun io	Jul io	Ago sto	Septie mbre	Octu bre	Novie mbre	Diciem bre
1965	3	29	24.5	37	0.1	0.2	5	6	3	0	70.7	30.6
1966	10.5	22.5	8.5	0	0.7	0	0	0	0	0	0	13.5
1967	0	0	5.1	22	0	0	1.2	0	0	0	23	49.5
1968	6.3	9	22.5	2.8	6.1	3.1	9	0	0	1.2	10.5	19.5
1969	46.7	45.4	13.5	3	5.5	0	1.5	0	6.3	0	17	9.5
1970	6.5	29	35	11	0	0	0	11.2	0	3.5	23.4	32.2
1971	15.4	19.5	6.5	17.2	10.6	0	0	2.1	5.3	17.5	4.4	15.5
1972	0	4.6	0.2	0.8	2.4	20.7	0	4	20	29.5	23.5	15.9
1973	10.6	18	31.5	3.7	1.6	0	0	5.5	0	1	18	2.6
1974	43	1	23.5	1.6	0	0	20.3	0	0	24.2	3.1	9.7
1975	24.2	12.2	18	25.6	0.5	2.7	0	0	5.6	0	17.3	6.5
1976	0.3	49.2	15	15.5	0.2	0.1	2.2	0	55.9	13.8	17.8	16.4
1977	15.4	7.5	16.7	6.5	16.5	2.1	1.3	57.5	0	27.9	3.6	70.5
1978	64.8	38.3	62.3	11.3	0.2	0	0	0	2.4	1.9	37.4	33
1979	25.4	19.5	34.4	2.3	3.5	0	7	0	0	11.3	7.6	19.3
1980	125.5	67.7	22.1	25.2	11.2	0	0	0	0	0	0	10.5
1981	30	23.7	28.1	8.8	2.3	0	0	1.7	1.5	1.5	27.7	8.8
1982	1.2	35.6	35.2	11.4	1.7	0	0	1.2	3.6	4.7	44.2	33.3
1983	0	54	61	19.2	0	0	0	0	33	28	20.1	29.9
1984	8	0	8	8	0.4	7	0.4	7	0.4	0.4	10	35
1985	10.5	20	7	0.3	0	0	2	0	6	25	45	19
1986	17	31	19	3	0	0	2	0	10	18	15	18
1987	18	35	19	10	1	0	0	0	5	25	50	25
1988	13	35	25	25	0	0	0	0	0	0	14	13
1989	8.87	41	22	2	1	0	0	0	3.5	2	2	2
1990	24	10	5	4.5	6.5	4.5	0	0	0	0	15.5	21
1991	17	132	37	2.3	1.7	0	3	0	17	17	9	24.72

1992	36	40	24	4	13	0	0	0	0	18.96	14.27	10.99
1993	26.77	17.48	8.12	0	4	3	0	2	0	8	13	11
1994	11.5	35	20	10	0	0	0	16	0	3.5	15.4	2.5
1995	31	71	30	21	5	0.3	0	0	3	0	6	5
1996	34	24	44	4	0	0	5	9	0	14	18	5
1997	59	37.32	0	14	0	5	0	0	19	0.5	28	36.5
1998	31	47	26.5	8.5	23	0.5	0	18.5	4	6	13.5	13
2000	3	32	13	0	0	8	0	0	3	8	15.5	2.5
2001	24	20	0	12.5	0	0	3	0.2	0	0	13.5	11
2002	5	1	12	2	0	0	0	0	0	0	4.35	4.85
2004	4.1	40.1	14.2	7.2	0	0	0	0	0	42	20.2	35.5
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	45	15
2008	45	20	10	0	7.3	0	8.5	5.5	0	0	32	19.84
2009	1	16	0	3	0	0.7	0	0	2	0	18	51
2010	62	25	23	8	0	0	0	9	0.5	42.5	15	31
2011	8	82	24	6	5	0	3	0	2	7.5	32.5	20
2013	28	23.5	21	1	5	0	2	10	6	17	7	13
2014	4.5	6	19.5	4.5	0	0	2.5	4.7	0	0	7.5	21
2015	15	37	22	3	48	0	43.5	0	4.5	9.5	11	9
2016	33	0	20	14	0	0	0	0	0	0	20	50
2017	32.5	38	11	0	15	0	0	7.5	0	0	7.5	0
2018	18	12	8.5	1	0	12	0	0	2.5	1	13.5	25.5

Cuadro 1 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2001.

Año	Ene ro	Fe bre ro	Mar zo	Abril	Ma yo	Ju nio	Ju lio	Agos to	Septi embre	Octu bre	Novi embre	Dici em bre
1969	19.5	30	15	2.5	5.5	0	0	0	0	0	6.5	9.5
1970	2	30	29	3.8	0	0	0	2.5	0	1.5	21	24
1971	9	14.1	2	12.5	9	0	0	4	4.5	13.5	0.5	9.5
1972	0	2	0	1	3	37	0	0	1.5	26	21	17.5
1973	11.5	17	23.5	2	0.5	0	0	0.5	0	0	12	2
1974	39	4	19.6	3	0	0	22.8	0	0	18	3.5	9.5
1975	10.5	13.5	19.5	19	0	1	1.5	2	0.4	1	17.5	6
1976	0	37	14.5	6.7	0	0	1.5	0.4	34.5	2.1	40	23
1977	10	11	12	3.2	17	2.8	0	70	0	12.5	6.5	49.5
1978	38.5	33	35.5	9.5	0	0	0	0	8.5	0	38	28.5
1979	28.5	7	28.5	0.3	3.5	0	4.5	0	0	9.5	6	9.5
1980	112	60	20	11	7.5	0	1	0	0	0	0	9.5

1981	27.5	26.5	18.5	12.5	0	0	0	0	2.3	1.5	15.5	7.5
1982	27	19	29	8.5	0.5	0	0	0	1.8	4.5	29	17
1983	26	63.5	42.5	21	3	0	0	6.5	11	45	19.5	15
1984	7	0	1	3.5	0	0	2.5	3.7	0	1.8	10	26.9
1985	5.5	12.5	8.5	2	0	0	8.5	0	14	15.5	42	20
1986	12.5	14	37	3	0	0	1	1.5	5	13	8	10
1987	33.5	27	11	13	1.5	0	0	2	4.5	28.5	22	31.5
1988	50.5	11	19	18.5	0	0	5.5	0	0	0.5	5	11
1989	3.5	3	14	0.5	1.5	0	0.1	0	1	3.5	0.1	2
1990	19.5	6.5	3.5	4	6.5	2	0.1	0.1	0.1	0.1	16.5	14.5
1991	18.5	42	25.5	0.5	0.1	0	12	0	0.2	14.5	5.5	13
1992	28.5	36	26.5	1.5	17	0	0.1	19	0	5	0	42
1993	49.5	44	10	0	3	3.5	0	0	0	2	8.5	12.5
1994	14.5	25	16	9.5	0	0	0	17.5	0	0.1	6	16
1995	31.5	57.5	33	22	6.5	4.5	1.5	0	6.5	0.1	4.5	4.5
1996	14	22	26	1.5	0	0	0.1	5	0	0.1	9.5	4.5
1997	39	19	0	5	0	4.5	0	0.1	13.5	1	35.5	27
1998	13.5	62	31	17.5	12.5	0.1	0.1	27	4	4.5	13.5	9
1999	8	17.5	12.5	19	0.1	1	3.5	0	0.1	0	0	3.5
2000	6	34	20	9	0	12.5	0	0	2	4.5	10	3.5
2001	29	16.5	10.5	10	0	0	3.5	2	1.5	0	9	13
2002	2	1.5	9	2.2	0	0	3.5	0	10	0.5	9	9
2003	2	43	28.5	25	2	0	7	2	0.5	0	9	12.5
2004	4.5	30	6.5	5	0	0	0	3	5	69	11	70
2005	22.5	23	4.5	4	2.5	0	0.5	1.5	0	9	0	0
2006	2	1.5	24	17	16	0	0	0	0.8	3	0.4	4
2007	12	9.5	5.4	5.5	3.8	0	0	0	1.5	0	43	8
2008	33	14	12	0	6.7	1.1	0	3.4	0	0	26.2	14.73
2009	1.1	17.5	0	5.7	0	1	0	1.2	5	0	12	11.6
2010	66.4	24.9	13.7	15.2	0	0	1.5	0	0	28.5	9.4	22.5
2011	14.2	48.3	25.2	9.3	25.2	0	3.2	0	0	4.9	30.7	20.9
2013	46.7	12.3	16.5	0	3.4	0	1.9	3.1	3.9	15.7	4.4	5.5
2014	1.5	3.6	21.4	4.6	0	0	1.9	1.5	0	0	2.5	13.7
2015	6.4	4.2	20.2	4.5	20	0	6.9	0	1.9	16.5	10.6	13.9
2016	27.4	0	15.3	14.2	11.2	0	0	0	14.4	0	14.4	33.8
2017	23.7	33.5	4.8	0	3.7	0	0	1	0	0	3	0

Cuadro 8 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 2118.

Año	Ene ro	Fe bre ro	Mar zo	Abril	Ma yo	Ju nio	Ju lio	Agos to	Septi embre	Octu bre	Novi embre	Dici em bre
1980	66.3	34	20	3	3	0	2	6	0	1.3	0	7.8

1981	25	22.1	18.2	11.5	0	0	8.5	0	11	2.5	13.8	4
1982	15	30	23.2	8.2	1.3	0	0	12	3	2.2	35	19.4
1983	16.5	25.5	39.5	10.6	1.1	0	0	48	21.5	9.7	16.5	17.3
1984	9.8	0.6	0.8	8.1	0	0	22.8	10.1	3	0.1	6.1	36
1985	5.5	8.5	6.5	3.5	0	0	2.5	0	9.5	16.1	25.5	13.2
1986	3.7	12.5	32	1.8	0	0	2.7	3	5.4	5	5.5	7.5
1987	23	29.5	9.7	11	4.8	0	0	18.5	5.8	16.5	13	23.5
1988	57	13	15.3	19.5	1.2	0	16	11.3	0	0.4	6.2	10.5
1991	13.5	56.4	29	2	0	0	20	3.5	10.6	20	0	27
1992	31.3	33.5	33.5	2.7	7.6	0	0	11	0	8.5	3.1	30
1993	52.8	48	15.6	0	0	5.6	0	16.7	0	5.2	16.5	9.7
1994	9.2	40	17.2	10.2	0	0	3	4.3	0	0	18.4	31
1995	57	14.5	45.5	22.7	17.5	7.2	0	4.5	29	0	0	3.5
1996	22.9	26.7	17.6	0	0	0	2.3	8.5	0	7.3	6.3	6
1997	27	13.5	6.5	12	0	8	0	1	14.6	0	9.4	44.6
1998	11.4	46	38.7	38.7	7.4	0	0	3.7	1	0	5.2	13.2
1999	11.9	20.6	15.6	29.5	0	0	37.9	0	0	0	0	3.5
2000	11.2	32.8	25.2	4	0	15	0	6.4	0	14.4	6.7	3.2
2001	29.6	26.3	11.3	8.3	0	0	11.4	0	0	0	0	5.5
2002	4.2	6	10.4	4.2	15	0	9.5	0	0	1.5	6.4	12
2003	4	27.2	31.4	15.2	1.2	0	0	19.2	0	0	11.5	1.5
2004	5.2	47.3	7.4	4.7	0	0	0	0	0	63.7	14.3	24.2
2005	34.2	20.2	8.4	2.1	4.7	0	7.6	21.2	0	6.7	0	0
2006	3.2	1.7	25.7	8.5	13.2	0	4.9	0	0	0	0	6.4
2007	6.7	7.3	2	0	4.2	0	0	4	15	0	41	8.2
2008	27.5	16.7	14.5	1	5	0	0	7	0	0.5	10.4	0
2009	1	19.6	0	7.2	0	0	0	0	0	0	12.7	33.7
2010	89.2	25.8	14.2	20	0	0	0	0	7.5	49	9	22
2011	4.5	59	13.8	9.5	3.5	0	10	0	0	9	21	29.7
2013	40.5	14.2	23.9	1	2.3	0	7	31.2	8.7	10.4	6	13
2014	0	33	8.4	4.30	0	0	7	14.7	19	10.5	1.5	11.5
2015	9.7	5.2	24	3	8	10	26.5	0	2	3.5	18.2	6
2016	28.5	0	15.2	21.2	4	0	9.2	0	11	0	9.5	31.5
2017	37.2	30.7	5.2	0	6.5	0	0.5	44.2	2	0	7.2	0
2018	21.6	8.6	15.2	0	2.3	0	0	8	4.7	3.2	11.2	22.5

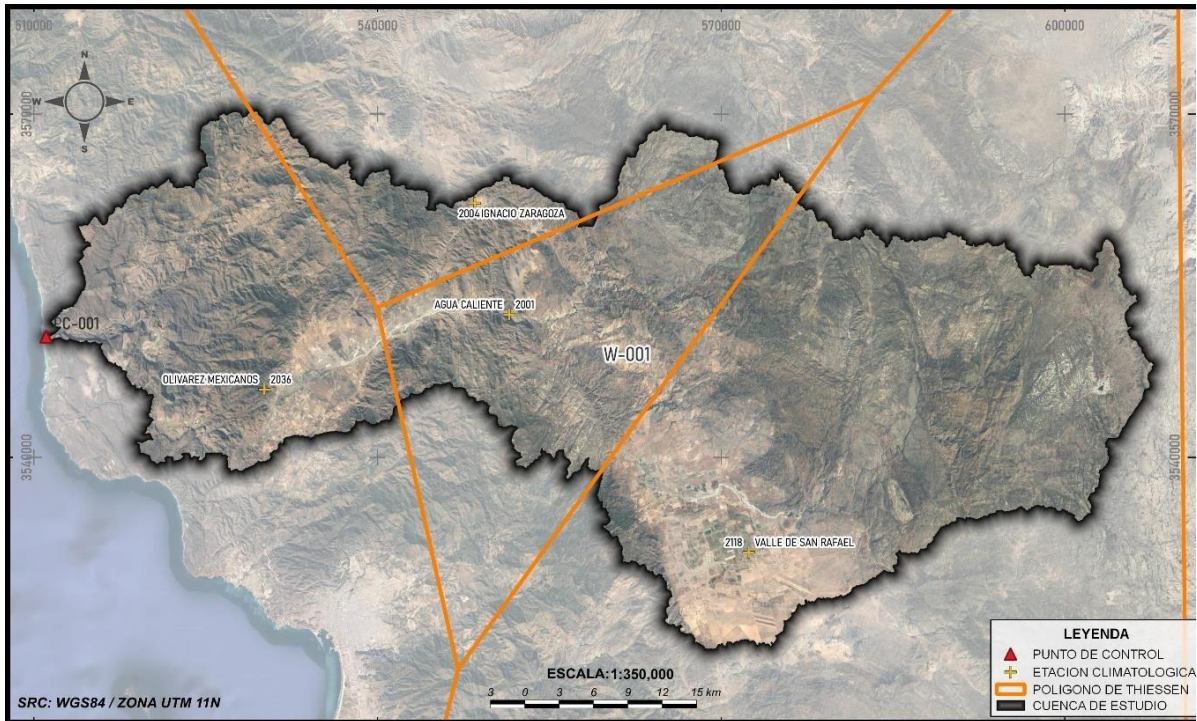


Figura 15 estaciones climatológicas en el área de estudio.

6.2. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS

6.3. REALIZACIÓN DE PRUEBAS A LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN

El análisis consiste en integrar una serie anual, enseguida se le somete a un análisis crítico que consiste en detectar valores erróneos y dudosos, ya sea por ser demasiado grandes, o bien muy pequeños. Para el caso de los valores dudosos se podrá confirmar su existencia por medio de los valores que para tal fecha fueron registrados en estaciones cercanas, con lo cual se confirmarán, corregirán o descartarán.

6.3.1 PRUEBA DE DATOS DUDOSOS

Se utilizó el método del Water Resources Council, los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información espacialmente de muestras pequeñas.

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Los resultados para cada una de las estaciones utilizadas fueron los siguientes, en los cuales se puede observar que ninguno de los registros utilizados tiene datos dudosos:

Estación 2001

Datos de Cálculo	
\bar{y}	1.523
S_y	0.205
Σn	48
K_n	2.753
y_H	2.088
y_L	0.957

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Datos Prueba	
P_H	122.590 mm
P_L	9.066 mm

Precipitaciones registradas		
$P_{max\ 24hrs}$	112.000 mm	BIEN
$P_{min\ 24hrs}$	10.000 mm	BIEN

Estación 2004

Datos de Cálculo	
\bar{y}	1.606
S_y	0.200
Σn	49
K_n	2.760
y_H	2.157
y_L	1.055

Datos Prueba	
P_H	143.645 mm
P_L	11.362 mm

Precipitaciones registradas		
$P_{max\ 24hrs}$	132.000 mm	BIEN
$P_{min\ 24hrs}$	12.000 mm	BIEN

Estación 2036

Datos de Cálculo	
\bar{y}	1.587
S_y	0.235
Σn	56

K_n	2.811
y_H	2.247
y_L	0.926

Datos Prueba	
P_H	1173.422 mm
P_L	7.123 mm

Precipitaciones registradas		
$P_{max\ 24hrs}$	605.900 mm	BIEN
$P_{min\ 24hrs}$	20.000 mm	BIEN

Estación 2118

Datos de Cálculo	
\bar{y}	1.571
S_y	0.156
Σn	36
K_n	2.639
y_H	1.984
y_L	1.159

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Datos Prueba	
P_H	96.351 mm
P_L	14.413 mm

Precipitaciones registradas		
$P_{max\ 24hrs}$	89.200 mm	BIEN
$P_{min\ 24hrs}$	15.000 mm	BIEN

6.3.2 PRUEBA DE HOMOGENEIDAD

Para el análisis de homogeneidad de los datos se utilizó la prueba de Helmert, t student y Creamer. Los resultados fueron los siguientes.

Estación 2001

PRUEBA DE HELMERT	
NO. DATOS:	48.000
MEDIA:	37.173
S - C:	23.000
TOTAL "C":	24.000
S - C:	-1.000
$(n_j - 1)^{1/2}$	6.856

24

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$$

$$-6.856 \leq -1 \leq 6.856$$

ES HOMOGENEA

47.000

AÑO	P _{max} 24hrs	Δ	SIGNO
----	mm	mm	----
1969	30.000	-7.17	
1970	30.000	-7.17	S
1971	14.100	-23.07	S
1972	37.000	-0.17	S
1973	23.500	-13.67	S
1974	39.000	1.83	C
1975	19.500	-17.67	C
1976	40.000	2.83	C
1977	70.000	32.83	S
1978	38.500	1.33	S
1979	28.500	-8.67	C
1980	112.000	74.83	C
1981	27.500	-9.67	C
1982	29.000	-8.17	S
1983	63.500	26.33	C
1984	26.900	-10.27	C
1985	42.000	4.83	C
1986	37.000	-0.17	C
1987	33.500	-3.67	S
1988	50.500	13.33	C
1989	14.000	-23.17	C
1990	19.500	-17.67	S
1991	42.000	4.83	C
1992	42.000	4.83	S
1993	49.500	12.33	S
1994	25.000	-12.17	C
1995	57.500	20.33	C
1996	26.000	-11.17	C
1997	39.000	1.83	C
1998	62.000	24.83	S
1999	19.000	-18.17	C
2000	34.000	-3.17	S
2001	29.000	-8.17	S
2002	10.000	-27.17	S
2003	43.000	5.83	C
2004	70.000	32.83	S
2005	23.000	-14.17	C
2006	24.000	-13.17	S

2007	43.000	5.83	C
2008	33.000	-4.17	C
2009	17.500	-19.67	S
2010	66.400	29.23	C
2011	48.300	11.13	S
2013	46.700	9.53	S
2014	21.400	-15.77	C
2015	20.200	-16.97	S
2016	33.800	-3.37	S
2017	33.500	-3.67	S

PRUEBA DE T STUDENT			
Grupo 01		Grupo 02	
NO. DATOS:	24.000	NO. DATOS:	24.000
MEDIA:	37.896	MEDIA:	36.450
DESV. STD.:	20.806	DESV. STD.:	16.346

GRADOS LIBERTAD (ν):	46.000
NIVEL SIGNIFICANCIA (α):	0.050
VALOR T STUDENT (T):	2.013

$X_1 - X_2$:	1.446
$n_1 * S_1^2$:	10389.297
$n_2 * S_2^2$:	6412.925
$1/n_1 + 1/n_2$:	0.083
t_d :	0.262

AÑO	$P_{\max 24hr}$ s	AÑO	$P_{\max 24hr}$ s
----	mm	----	mm
1969	30.000	1993	49.500
1970	30.000	1994	25.000
1971	14.100	1995	57.500
1972	37.000	1996	26.000
1973	23.500	1997	39.000
1974	39.000	1998	62.000
1975	19.500	1999	19.000
1976	40.000	2000	34.000
1977	70.000	2001	29.000
1978	38.500	2002	10.000
1979	28.500	2003	43.000
1980	112.000	2004	70.000
1981	27.500	2005	23.000

0.262	'=<	2.013
ES HOMOGENEA		

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

=< HOMOGENEA
 NO
 >= HOMOGENEA

1982	29.000	2006	24.000
1983	63.500	2007	43.000
1984	26.900	2008	33.000
1985	42.000	2009	17.500
1986	37.000	2010	66.400
1987	33.500	2011	48.300
1988	50.500	2013	46.700
1989	14.000	2014	21.400
1990	19.500	2015	20.200
1991	42.000	2016	33.800
1992	42.000	2017	33.500

PRUEBA DE CREAMER			
	TOTAL	VALORES 60	VALORES 30
NO. DATOS:	48.000	29.000	14.000
MEDIA:	37.173	35.959	37.414
DESV. STD.:	18.524	16.023	16.535
τ :		-0.066	0.013
$n_w (n_j - 2)$:		1334.000	644.000
$n_j - n_w [1 + t_w^2]$:		18.875	33.998
t_w :		-0.55	0.06

GRADOS LIBERTAD 46.0
(v) : 00
NIVEL
SIGNIFICANCIA (α) 0.05
: 0
VALOR T STUDENT 2.01
(T) : 3

$\tau_{60} > T$:	0.55 1 >	2.0 13	ES HOMOGENE A
$\tau_{30} > T$:	0.05 7 >	2.0 13	ES HOMOGENE A

AÑO	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	ORDEN
----	mm	mm	mm	----
1969	30.000			
1970	30.000			
1971	14.100			
1972	37.000			
1973	23.500			
1974	39.000			
1975	19.500			
1976	40.000			

$$Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1$$

$$S_0^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$\bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{\bar{Q}_{60}^j - \bar{Q}^j}{S_0^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\bar{Q}_{30}^j - \bar{Q}^j}{S_0^j}$$

1977	70.000			
1978	38.500			
1979	28.500			
1980	112.000			
1981	27.500			
1982	29.000			
1983	63.500			
1984	26.900			
1985	42.000			
1986	37.000			
1987	33.500			
1988	50.500	50.500		
1989	14.000	14.000		
1990	19.500	19.500		
1991	42.000	42.000		
1992	42.000	42.000		
1993	49.500	49.500		
1994	25.000	25.000		
1995	57.500	57.500		
1996	26.000	26.000		
1997	39.000	39.000		
1998	62.000	62.000		
1999	19.000	19.000		
2000	34.000	34.000		
2001	29.000	29.000		
2002	10.000	10.000		
2003	43.000	43.000	43.000	
2004	70.000	70.000	70.000	
2005	23.000	23.000	23.000	
2006	24.000	24.000	24.000	
2007	43.000	43.000	43.000	
2008	33.000	33.000	33.000	
2009	17.500	17.500	17.500	
2010	66.400	66.400	66.400	
2011	48.300	48.300	48.300	
2013	46.700	46.700	46.700	
2014	21.400	21.400	21.400	
2015	20.200	20.200	20.200	
2016	33.800	33.800	33.800	
2017	33.500	33.500	33.500	

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n_j - 2)}{n_j - n_w [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j| \quad \text{para } w = 60 \text{ y } w = 30$$

40.8 41
20.4 20

Estación 2004

PRUEBA DE HELMERT	
NO. DATOS:	49.000
MEDIA:	44.971
S - C:	23.000
TOTAL "C":	25.000
S - C:	-2.000
$(n_j - 1)^{1/2}$	6.928

24.5

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$$

$$-6.928 \leq -2 \leq 6.928$$

ES HOMOGENEA

48.000

AÑO	P _{max24hrs}	Δ	SIGNO
----	mm	mm	----
1965	70.700	25.73	
1966	22.500	-22.47	C
1967	49.500	4.53	C
1968	22.500	-22.47	C
1969	46.700	1.73	C
1970	35.000	-9.97	C
1971	19.500	-25.47	S
1972	29.500	-15.47	S
1973	31.500	-13.47	S
1974	43.000	-1.97	S
1975	25.600	-19.37	S
1976	55.900	10.93	C
1977	70.500	25.53	S
1978	64.800	19.83	S
1979	34.400	-10.57	C
1980	125.500	80.53	C
1981	30.000	-14.97	C
1982	44.200	-0.77	S
1983	61.000	16.03	C
1984	35.000	-9.97	C
1985	45.000	0.03	C
1986	31.000	-13.97	C
1987	50.000	5.03	C
1988	35.000	-9.97	C
1989	41.000	-3.97	S
1990	24.000	-20.97	S
1991	132.000	87.03	C

1992	40.000	-4.97	C
1993	26.765	-18.21	S
1994	35.000	-9.97	S
1995	71.000	26.03	C
1996	44.000	-0.97	C
1997	59.000	14.03	C
1998	47.000	2.03	S
2000	32.000	-12.97	C
2001	24.000	-20.97	S
2002	12.000	-32.97	S
2004	42.000	-2.97	S
2007	45.000	0.03	C
2008	45.000	0.03	S
2009	51.000	6.03	S
2010	62.000	17.03	S
2011	82.000	37.03	S
2013	28.000	-16.97	C
2014	21.000	-23.97	S
2015	48.000	3.03	C
2016	50.000	5.03	S
2017	38.000	-6.97	C
2018	25.500	-19.47	S

PRUEBA DE T STUDENT			
Grupo 01		Grupo 02	
NO. DATOS:	25.000	NO. DATOS:	24.000
MEDIA:	44.772	MEDIA:	45.178
DESV. STD.:	22.286	DESV. STD.:	24.737

GRADOS LIBERTAD (ν):	47.000
NIVEL SIGNIFICANCIA (α):	0.050
VALOR T STUDENT (T):	2.012

$X_1 - X_2$:	-0.406
$n_1 * S_1^2$:	12416.969
$n_2 * S_2^2$:	14685.909
$1/n_1 + 1/n_2$:	0.082
t_d :	-0.059

AÑO	$P_{\max 24hr}$ s	AÑO	$P_{\max 24hr}$ s
----	mm	----	mm
1965	70.700	1990	24.000
1966	22.500	1991	132.000

0.059	'=<	2.01 2
-------	-----	-----------

1967	49.500	1992	40.000
1968	22.500	1993	26.765
1969	46.700	1994	35.000
1970	35.000	1995	71.000
1971	19.500	1996	44.000
1972	29.500	1997	59.000
1973	31.500	1998	47.000
1974	43.000	2000	32.000
1975	25.600	2001	24.000
1976	55.900	2002	12.000
1977	70.500	2004	42.000
1978	64.800	2007	45.000
1979	34.400	2008	45.000
1980	125.500	2009	51.000
1981	30.000	2010	62.000
1982	44.200	2011	82.000
1983	61.000	2013	28.000
1984	35.000	2014	21.000
1985	45.000	2015	48.000
1986	31.000	2016	50.000
1987	50.000	2017	38.000
1988	35.000	2018	25.500
1989	41.000		

ES HOMOGENEA

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

=< HOMOGENEA
 >= NO
 HOMOGENEA

PRUEBA DE CREAMER			
	TOTAL	VALORE S 60	VALORE S 30
NO. DATOS:	49.000	29.000	15.000
MEDIA:	44.971	44.354	40.367
DESV. STD.:	23.272	22.678	17.745
τ :		-0.027	-0.198
$n_w (n_j - 2)$:		1363.000	705.000
$n_j - n_w [1 + t_w^2]$:		19.980	33.413
t_w :		-0.22	-0.91

GRADOS LIBERTAD 47.0
 (ν): 00
NIVEL SIGNIFICANCIA 0.05
 (α): 0
VALOR T STUDENT 2.01
 (T): 2

$\tau_{60} > T$:	0.21	2.0	ES HOMOGENE A
	9 >	12	
$\tau_{30} > T$:	0.90	2.0	ES HOMOGENE
	9 >	12	

AÑO	BLOQU E 1	BLOQU E 2	BLOQU E 3	ORD EN
----	mm	mm	mm	----
1965	70.70			
1966	22.50			
1967	49.50			
1968	22.50			
1969	46.70			
1970	35.00			
1971	19.50			
1972	29.50			
1973	31.50			
1974	43.00			
1975	25.60			
1976	55.90			
1977	70.50			
1978	64.80			
1979	34.40			
1980	125.50			
1981	30.00			
1982	44.20			
1983	61.00			
1984	35.00			
1985	45.00	45.00		
1986	31.00	31.00		
1987	50.00	50.00		
1988	35.00	35.00		
1989	41.00	41.00		
1990	24.00	24.00		
1991	132.00	132.00		
1992	40.00	40.00		
1993	26.77	26.77		
1994	35.00	35.00		
1995	71.00	71.00		
1996	44.00	44.00		
1997	59.00	59.00		
1998	47.00	47.00		
2000	32.00	32.00	32.00	
2001	24.00	24.00	24.00	

$$Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j=1$$

$$S_0^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - Q^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$Q_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$Q_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{Q_{60}^j - Q^j}{S_0^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{Q_{30}^j - Q^j}{S_0^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w (n_j - 2)}{n_j - n_w [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j| \text{ para } w = 60 \text{ y } w = 30$$

40.8

41

20.4

20

2002	12.00	12.00	12.00	
2004	42.00	42.00	42.00	
2007	45.00	45.00	45.00	
2008	45.00	45.00	45.00	
2009	51.00	51.00	51.00	
2010	62.00	62.00	62.00	
2011	82.00	82.00	82.00	
2013	28.00	28.00	28.00	
2014	21.00	21.00	21.00	
2015	48.00	48.00	48.00	
2016	50.00	50.00	50.00	
2017	38.00	38.00	38.00	
2018	25.50	25.50	25.50	

Estación 2036

PRUEBA DE HELMERT	
NO. DATOS:	56.000
MEDIA:	44.266
S - C:	25.000
TOTAL "C":	30.000
S - C:	-5.000
$(n_j - 1)^{1/2}$	7.416

28

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$$

$$-7.416 \leq -5 \leq 7.416$$

ES HOMOGENEA

55.000

AÑO	P _{max} 24hrs	Δ	SIGNO
----	mm	mm	----
1955	90.000	45.73	
1956	8.500	-35.77	C
1957	55.000	10.73	C
1958	27.000	-17.27	C
1959	23.500	-20.77	S
1960	23.500	-20.77	S
1961	22.500	-21.77	S
1962	47.000	2.73	C
1963	37.000	-7.27	C
1964	21.500	-22.77	S
1965	55.000	10.73	C
1966	40.000	-4.27	C
1967	59.000	14.73	C

1968	16.000	-28.27	C
1969	43.000	-1.27	S
1970	38.000	-6.27	S
1971	21.000	-23.27	S
1972	26.000	-18.27	S
1973	28.500	-15.77	S
1974	38.500	-5.77	S
1975	28.000	-16.27	S
1976	63.000	18.73	C
1977	60.000	15.73	S
1978	62.000	17.73	S
1979	37.500	-6.77	C
1980	107.000	62.73	C
1981	25.500	-18.77	C
1982	41.500	-2.77	S
1983	80.000	35.73	C
1984	42.000	-2.27	C
1985	45.500	1.23	C
1986	28.500	-15.77	C
1987	80.000	35.73	C
1988	60.000	15.73	S
1989	20.000	-24.27	C
1990	22.000	-22.27	S
1991	91.000	46.73	C
1993	89.000	44.73	S
1994	26.000	-18.27	C
1995	61.500	17.23	C
1996	35.300	-8.97	C
1997	15.300	-28.97	S
1998	70.200	25.93	C
1999	21.000	-23.27	C
2000	24.300	-19.97	S
2006	28.000	-16.27	S
2007	54.500	10.23	C
2008	42.600	-1.67	C
2009	23.500	-20.77	S
2010	75.000	30.73	C
2011	44.000	-0.27	C
2013	30.000	-14.27	S
2014	22.500	-21.77	S
2015	67.000	22.73	C

2016	76.500	32.23	S
2017	58.700	14.43	S

PRUEBA DE T STUDENT			
Grupo 01		Grupo 02	
NO. DATOS:	28.000	NO. DATOS:	28.000
MEDIA:	40.893	MEDIA:	47.639
DESV. STD.:	22.149	DESV. STD.:	23.851

GRADOS LIBERTAD (v) :	54.000
NIVEL SIGNIFICANCIA (α) :	0.050
VALOR T STUDENT (T) :	2.005

$X_1 - X_2 :$	-6.746
$n_1 * S_1^2 :$	13736.778
$n_2 * S_2^2 :$	15928.751
$1/n_1 + 1/n_2 :$	0.071
$t_d :$	-1.077

AÑO	P _{max} 24hrs	AÑO	P _{max} 24hrs
----	mm	----	mm
1955	90.000	1983	80.000
1956	8.500	1984	42.000
1957	55.000	1985	45.500
1958	27.000	1986	28.500
1959	23.500	1987	80.000
1960	23.500	1988	60.000
1961	22.500	1989	20.000
1962	47.000	1990	22.000
1963	37.000	1991	91.000
1964	21.500	1993	89.000
1965	55.000	1994	26.000
1966	40.000	1995	61.500
1967	59.000	1996	35.300
1968	16.000	1997	15.300
1969	43.000	1998	70.200
1970	38.000	1999	21.000
1971	21.000	2000	24.300
1972	26.000	2006	28.000
1973	28.500	2007	54.500
1974	38.500	2008	42.600
1975	28.000	2009	23.500

1.077	'=<	2.005
ES HOMOGENEA		

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

=< HOMOGENEA
 >= NO HOMOGENEA

1976	63.000	2010	75.000
1977	60.000	2011	44.000
1978	62.000	2013	30.000
1979	37.500	2014	22.500
1980	107.000	2015	67.000
1981	25.500	2016	76.500
1982	41.500	2017	58.700

PRUEBA DE CREAMER			
	TOTAL	VALORE S 60	VALORE S 30
NO. DATOS:	56.000	34.000	17.000
MEDIA:	44.266	47.428	49.650
DESV. STD.:	23.059	23.449	22.632
τ :		0.137	0.233
$n_w (n_j - 2)$:		1836.000	918.000
$n_j - n_w [1 + t_w^2]$:		21.361	38.073
t_w :		1.27	1.15

GRADOS LIBERTAD (v): 54.00
NIVEL SIGNIFICANCIA (α): 0.05
VALOR T STUDENT (T): 2.005

$\tau_{60} > T:$	1.27 > 2.005	ES HOMOGENE A
$\tau_{30} > T:$	1.14 > 2.005	

AÑO	BLOQU E 1	BLOQU E 2	BLOQU E 3	ORD EN
----	mm	mm	mm	----
1955	90.00			
1956	8.50			
1957	55.00			
1958	27.00			
1959	23.50			
1960	23.50			
1961	22.50			
1962	47.00			
1963	37.00			
1964	21.50			
1965	55.00			
1966	40.00			

$$Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1$$

$$S_0^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$\bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{Q_{60}^j - \bar{Q}^j}{S_0^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{Q_{30}^j - \bar{Q}^j}{S_0^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w (n_j - 2)}{n_j - n_w [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j| \text{ para } w = 60 \text{ y } w = 30$$

1967	59.00			
1968	16.00			
1969	43.00			
1970	38.00			
1971	21.00			
1972	26.00			
1973	28.50			
1974	38.50			
1975	28.00			
1976	63.00			
1977	60.00	60		
1978	62.00	62		
1979	37.50	37.5		
1980	107.00	107		
1981	25.50	25.5		
1982	41.50	41.50		
1983	80.00	80.00		
1984	42.00	42.00		
1985	45.50	45.50		
1986	28.50	28.50		
1987	80.00	80.00		
1988	60.00	60.00		
1989	20.00	20.00		
1990	22.00	22.00		
1991	91.00	91.00		
1993	89.00	89.00		
1994	26.00	26.00		
1995	61.50	61.50	61.50	
1996	35.30	35.30	35.30	
1997	15.30	15.30	15.30	
1998	70.20	70.20	70.20	
1999	21.00	21.00	21.00	
2000	24.30	24.30	24.30	
2006	28.00	28.00	28.00	
2007	54.50	54.50	54.50	
2008	42.60	42.60	42.60	
2009	23.50	23.50	23.50	
2010	75.00	75.00	75.00	
2011	44.00	44.00	44.00	
2013	30.00	30.00	30.00	
2014	22.50	22.50	22.50	

40.8

41

20.4

20

2015	67.00	67.00	67.00	
2016	76.50	76.50	76.50	
2017	58.70	58.70	58.70	

Estación 2118

PRUEBA DE HELMERT		18
NO. DATOS:	36.000	
MEDIA:	39.728	$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$
S - C:	18.000	
TOTAL "C":	17.000	$-5.916 \leq 1 \leq 5.916$
S - C:	1.000	
$(n_j - 1)^{1/2}$	5.916	

ES HOMOGENEA

35.000

AÑO	P _{max} 24hrs	Δ	SIGNO
----	mm	mm	----
1980	66.300	26.57	
1981	25.000	-14.73	C
1982	35.000	-4.73	S
1983	48.000	8.27	C
1984	36.000	-3.73	C
1985	25.500	-14.23	S
1986	32.000	-7.73	S
1987	29.500	-10.23	S
1988	57.000	17.27	C
1991	56.400	16.67	S
1992	33.500	-6.23	C
1993	52.800	13.07	C
1994	40.000	0.27	S
1995	57.000	17.27	S
1996	26.700	-13.03	C
1997	44.600	4.87	C
1998	46.000	6.27	S
1999	37.900	-1.83	C
2000	32.800	-6.93	S
2001	29.600	-10.13	S
2002	15.000	-24.73	S
2003	31.400	-8.33	S
2004	63.700	23.97	C

2005	34.200	-5.53	C
2006	25.700	-14.03	S
2007	41.000	1.27	C
2008	27.500	-12.23	C
2009	33.700	-6.03	S
2010	89.200	49.47	C
2011	59.000	19.27	S
2013	40.500	0.77	S
2014	33.000	-6.73	C
2015	26.500	-13.23	S
2016	31.500	-8.23	S
2017	44.200	4.47	C
2018	22.500	-17.23	C

PRUEBA DE T STUDENT			
Grupo 01		Grupo 02	
NO. DATOS:	18.000	NO. DATOS:	18.000
MEDIA:	41.622	MEDIA:	37.833
DESV. STD.:	12.486	DESV. STD.:	17.457

GRADOS LIBERTAD (v) :	34.000
NIVEL SIGNIFICANCIA (α) :	0.050
VALOR T STUDENT (T) :	2.032

$X_1 - X_2 :$	3.789
$n_1 * S_1^2 :$	2806.233
$n_2 * S_2^2 :$	5485.235
$1/n_1 + 1/n_2 :$	0.111
$t_d :$	0.728

AÑO	P _{max24hr} s	AÑO	P _{max24hr} s
----	mm	----	mm
1980	66.300	2000	32.800
1981	25.000	2001	29.600
1982	35.000	2002	15.000
1983	48.000	2003	31.400
1984	36.000	2004	63.700
1985	25.500	2005	34.200
1986	32.000	2006	25.700
1987	29.500	2007	41.000
1988	57.000	2008	27.500
1991	56.400	2009	33.700
1992	33.500	2010	89.200

0.728	'=<	2.03 2
ES HOMOGENEA		

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

=< HOMOGENEA
 >= NO

1993	52.800	2011	59.000
1994	40.000	2013	40.500
1995	57.000	2014	33.000
1996	26.700	2015	26.500
1997	44.600	2016	31.500
1998	46.000	2017	44.200
1999	37.900	2018	22.500

HOMOGENEA

PRUEBA DE CREAMER			
	TOTAL	VALORES 60	VALORES 30
NO. DATOS:	36.000	21.000	11.000
MEDIA:	39.728	38.548	40.782
DESV. STD.:	15.081	16.252	18.972
τ :		-0.078	0.070
$n_w (n_j - 2)$:		714.000	374.000
$n_j - n_w [1 + t_w^2]$:		14.871	24.946
t_w :		-0.54	0.27

GRADOS LIBERTAD (v):	34.00
NIVEL SIGNIFICANCIA (α):	0.050
VALOR T STUDENT (T):	2.032

$\tau_{60} > T:$	0.54 > 2.0	2.0 > 32	ES HOMOGENE A
$\tau_{30} > T:$	0.27 > 2.0	1 > 32	

AÑO	BLOQU E 1	BLOQU E 2	BLOQU E 3	ORD EN
----	mm	mm	mm	----
1980	66.300			
1981	25.000			
1982	35.000			
1983	48.000			
1984	36.000			
1985	25.500			
1986	32.000			
1987	29.500			
1988	57.000			
1991	56.400			
1992	33.500			

$$Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1$$

$$S_0^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - Q^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$Q_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{Q_{60}^j - Q^j}{S_0^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{Q_{30}^j - Q^j}{S_0^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w (n_j - 2)}{n_j - n_w [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j| \text{ para } w = 60 \text{ y } w = 30$$

1993	52.800			
1994	40.000			
1995	57.000			
1996	26.700			
1997	44.600	44.600		
1998	46.000	46.000		40.8
1999	37.900	37.900		20.4
2000	32.800	32.800		
2001	29.600	29.600		
2002	15.000	15.000		
2003	31.400	31.400		
2004	63.700	63.700		
2005	34.200	34.200		
2006	25.700	25.700		
2007	41.000	41.000	41.00	
2008	27.500	27.500	27.50	
2009	33.700	33.700	33.70	
2010	89.200	89.200	89.20	
2011	59.000	59.000	59.00	
2013	40.500	40.500	40.50	
2014	33.000	33.000	33.00	
2015	26.500	26.500	26.50	
2016	31.500	31.500	31.50	
2017	44.200	44.200	44.20	
2018	22.500	22.500	22.50	

6.3.3 PRUEBA DE INDEPENDENCIA

La prueba de independencia utilizada para los datos de precipitaciones para cada una de la estancación fue la prueba de Anderson la cual detalla concretamente sus resultados en los siguientes correlogramas.

La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso k es:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \text{ para } r_0 = 1 \text{ y } k = 1, 2, \dots, \frac{n}{3}$$

Además, los límites al 95% (o 5% del nivel de significancia) de confianza para r_k se puede obtener como

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

La gráfica de los valores estimados para r_k (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra.

Si sólo el 10% de los valores de r_k sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie es independiente.

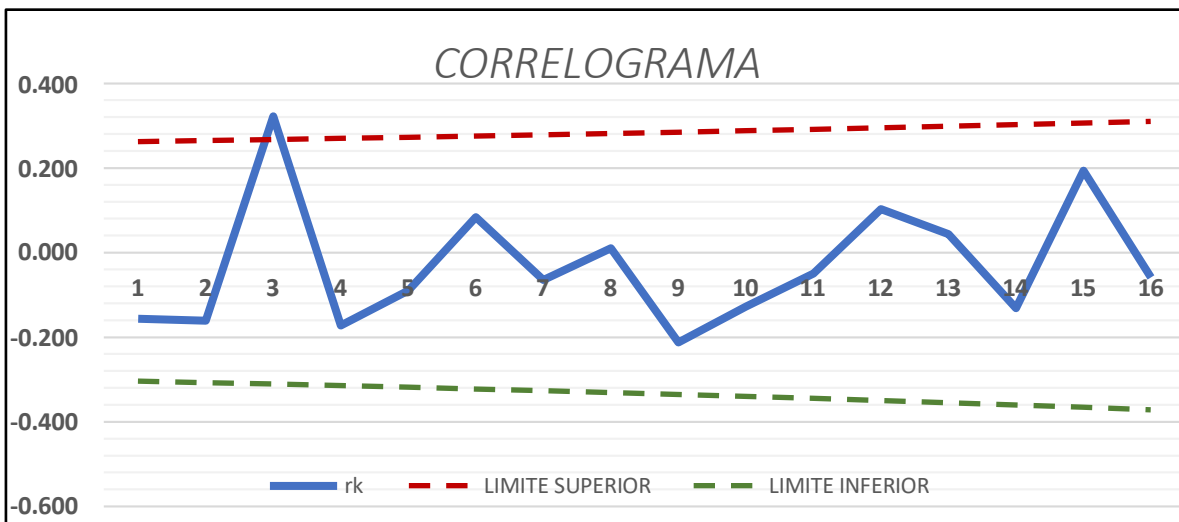


Figura 16 Correlograma de los datos de la estación 2001.

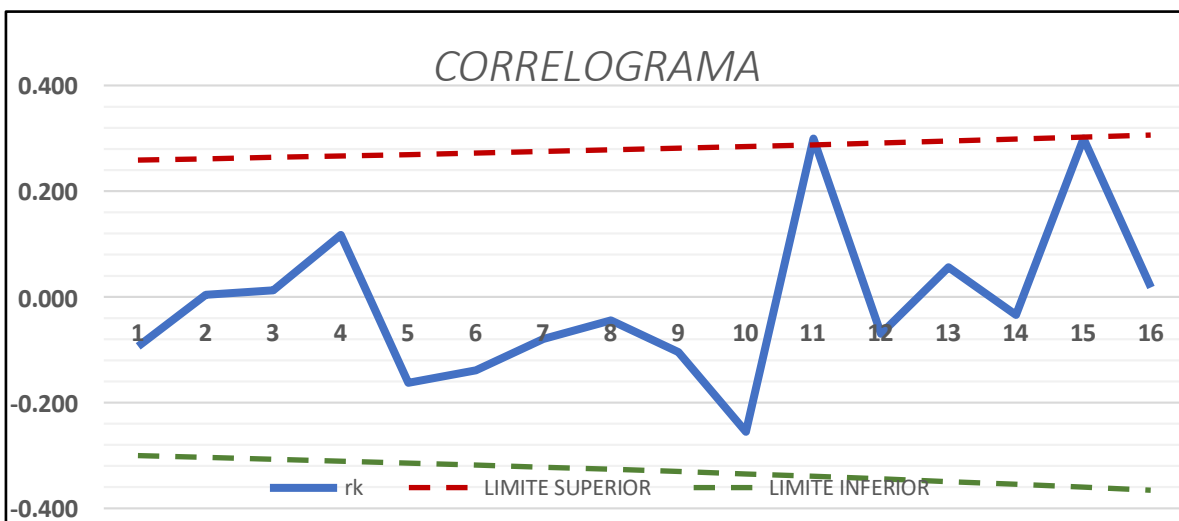


Figura 17 Correlograma de los datos de la estación 2004.

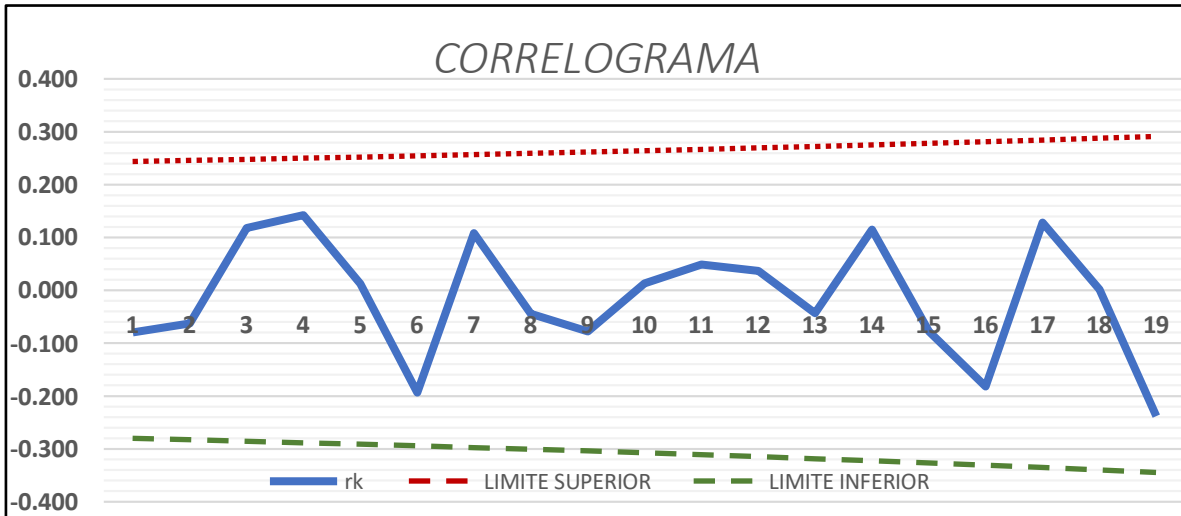


Figura18 Correlograma de los datos de la estación 2036

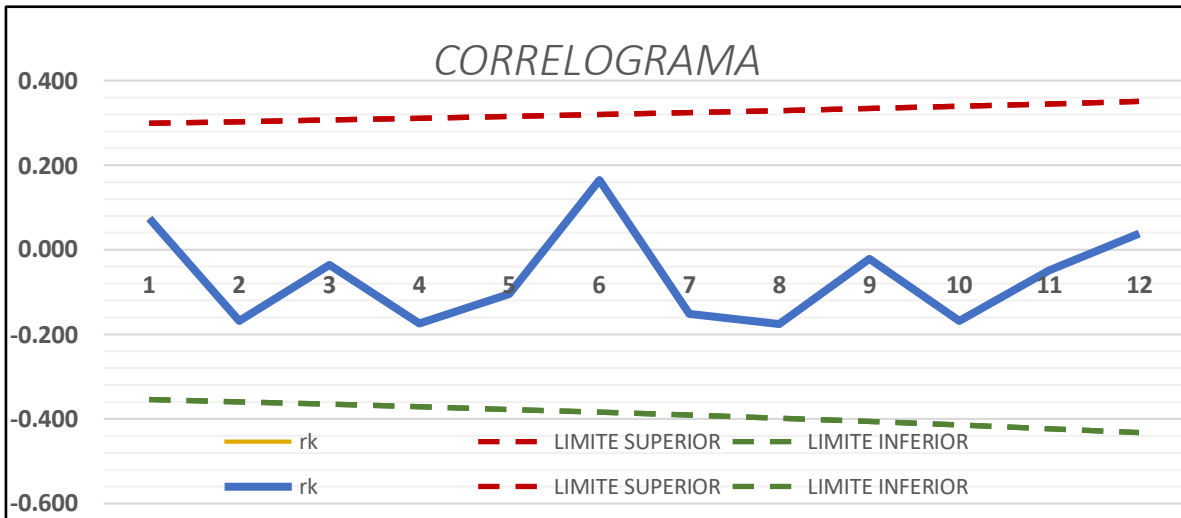


Figura 19 Correlograma de los datos de la estación 2118

6.4. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES

La información adoptada de precipitación máxima en 24 horas que se muestra en los registros de precipitaciones fue sometida a un análisis estadístico por varios métodos con la finalidad de conocer la precipitación esperada para diferentes periodos de retorno. Para el procesamiento se utiliza la metodología de la extrapolación; cuando la amplitud del registro en años es menor que los periodos de retorno por utilizar, el más grande de ellos no es mayor de 5 veces el número de años de registro, entonces se ajusta a los datos una función de distribución de probabilidad para estimar, a partir de ella, los valores probables de lluvia máxima en 24 horas.

Las funciones de distribución de probabilidad utilizadas para este estudio fueron las siguientes que se muestran en los siguientes cuadros, se utilizó para el análisis de frecuencias el software Ax

desarrollado por el CENAPRED (2015), se utilizó la distribución de Gumbel ya que era la que mas se ajustaba al tipo de datos de los registros de precipitación.

Cuadro 9 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2001.

Resumen de errores estándar Archivo analizado: 2001.txt				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	6.815	-----	6.815	-----
Lognormal	4.082	4.072	4.132	4.215
Gumbel	4.370	-----	5.060	-----
Exponencial	4.254	-----	15.595	-----
Gamma	4.644	4.251	5.187	4.692
Doble Gumbel	4.301			

Mínimo error estándar: 4.072

Calculado por la función: Lognormal (momentos) 3 p.

Cuadro 10 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2004

Resumen de errores estándar Archivo analizado: 2004.txt				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	10.278	-----	10.278	-----
Lognormal	6.312	6.088	7.089	7.334
Gumbel	6.996	-----	8.264	-----
Exponencial	5.985	-----	18.479	-----
Gamma	7.331	6.395	8.227	7.542
Doble Gumbel	5.718			

Mínimo error estándar: 5.718

Calculado por la función: Doble Gumbel

Cuadro 11 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2036

Resumen de errores estándar Archivo analizado: 2036.txt				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	6.025	-----	6.025	-----
Lognormal	4.279	3.881	4.034	3.905
Gumbel	3.706	-----	4.067	-----
Exponencial	5.251	-----	18.013	-----
Gamma	3.367	3.707	3.504	3.245
Doble Gumbel	3.318			

Mínimo error estándar: 3.245

Calculado por la función: Gamma (máx. ver.) 3 p.

Cuadro 12 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 2118

Resumen de errores estándar Archivo analizado: 2118.txt				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	4.860	-----	4.860	-----
Lognormal	3.067	3.052	3.329	3.456
Gumbel	3.038	-----	3.454	-----
Exponencial	3.230	-----	20.164	-----
Gamma	3.460	2.971	3.947	3.458
Doble Gumbel	2.945			

Mínimo error estándar: 2.945

Calculado por la función: Doble Gumbel

Cuadro 13 Evaluacion de distribuciones, estacion 2001.

Periodo de Retorno años	Probabilidad		Distribución Normal	Distribución LogNormal 2P	Distribución Exponencial 2P	Distribución Gamma 3P	Distribución Gumbel MAX	Distribución Log Pearson 3	
	%	INVERSA	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
2	50.000%	0.50000	37.173	33.338	28.835	34.145	33.815	34.130	33.503
5	20.000%	0.80000	52.763	49.433	53.733	51.213	50.229	50.500	49.707
10	10.000%	0.90000	60.912	60.735	72.568	62.001	60.915	61.338	60.923
20	5.000%	0.95000	67.642	71.992	91.403	71.928	70.895	71.735	71.968
25	4.000%	0.96000	69.602	75.648	97.466	74.997	74.003	75.033	75.528
50	2.000%	0.98000	75.216	87.176	116.300	84.234	83.418	85.192	86.678
100	1.000%	0.99000	80.266	99.040	135.140	93.122	92.545	95.276	98.031
200	0.500%	0.99500	84.887	111.310	153.970	101.740	101.450	105.320	109.650
500	0.200%	0.99800	90.487	128.230	178.870	112.820	112.980	118.580	125.490
1,000	0.100%	0.99900	94.416	141.610	197.700	121.020	121.540	128.600	137.880
2,000	0.050%	0.99950	98.126	155.520	216.540	129.080	129.990	138.610	150.640
5,000	0.020%	0.99980	102.750	174.790	241.440	139.560	141.020	151.850	168.110
10,000	0.010%	0.99990	106.060	190.060	260.270	147.380	149.270	161.860	181.810

Cuadro 14 Evaluacion de distribuciones, estacion 2004

Periodo de Retorno años	Probabilidad		Distribución Normal	Distribución LogNormal 2P	Distribución Exponencial 2P		Distribución Gamma 3P	Distribución Gumbel MAX	Distribución Log Pearson 3
	%	INVERSA	mm	mm	mm		mm	mm	mm
2	50.000%	0.50000	44.971	40.399	34.854	41.026	40.934	41.147	39.831
5	20.000%	0.80000	64.557	59.244	65.064	62.503	60.557	61.714	59.200
10	10.000%	0.90000	74.795	72.370	87.918	76.171	73.349	75.330	73.419
20	5.000%	0.95000	83.250	85.375	110.770	88.791	85.302	88.392	88.077
25	4.000%	0.96000	85.713	89.586	118.130	92.699	89.027	92.535	92.941
50	2.000%	0.98000	92.766	102.830	140.980	104.480	100.310	105.300	108.610
100	1.000%	0.99000	99.110	116.400	163.840	115.840	111.250	117.970	125.230
200	0.500%	0.99500	104.920	130.390	186.690	126.870	121.930	130.590	142.940
500	0.200%	0.99800	111.950	149.620	216.900	141.070	135.750	147.240	168.210
1,000	0.100%	0.99900	116.890	164.770	239.750	151.580	146.020	159.830	188.870
2,000	0.050%	0.99950	121.550	180.490	262.610	161.930	156.160	172.410	210.970
5,000	0.020%	0.99980	127.360	202.190	292.820	175.400	169.400	189.040	242.570
10,000	0.010%	0.99990	131.520	219.330	315.670	185.460	179.310	201.620	268.420

Cuadro 15 Evaluación de distribuciones, estación 2036

Periodo de Retorno años	Probabilidad		Distribución Normal	Distribución LogNormal 2P	Distribución Exponencial 2P		Distribución Gamma 3P	Distribución Gumbel MAX	Distribución Log Pearson 3
	%	INVERSA	mm	mm	mm		mm	mm	mm
2	50.000%	0.50000	44.266	38.600	33.291	40.333	39.707	40.478	39.339
5	20.000%	0.80000	63.673	60.615	66.063	61.618	61.407	60.855	61.124
10	10.000%	0.90000	73.817	76.742	90.854	75.181	75.621	74.347	76.170
20	5.000%	0.95000	82.194	93.248	115.650	87.711	88.935	87.289	90.863
25	4.000%	0.96000	84.634	98.693	123.630	91.593	93.089	91.394	95.568
50	2.000%	0.98000	91.622	116.110	148.420	103.300	105.680	104.040	110.180
100	1.000%	0.99000	97.908	134.380	173.210	114.580	117.910	116.590	124.880
200	0.500%	0.99500	103.660	153.620	198.000	125.550	129.860	129.100	139.720
500	0.200%	0.99800	110.630	180.660	230.770	139.670	145.330	145.600	159.610
1,000	0.100%	0.99900	115.520	202.420	255.560	150.120	156.840	158.070	174.900
2,000	0.050%	0.99950	120.140	225.370	280.350	160.410	168.210	170.540	190.470
5,000	0.020%	0.99980	125.900	257.640	313.130	173.820	183.060	187.010	211.270
10,000	0.010%	0.99990	130.020	283.580	337.920	183.820	194.180	199.480	227.320

Cuadro 16 Evaluación de distribuciones, estación 2118

Periodo de Retorno años	Probabilidad		Distribución Normal	Distribución LogNormal 2P	Distribución Exponencial 2P		Distribución Gamma 3P	Distribución Gumbel MAX	Distribución Log Pearson 3
	%	INVERSA	mm	mm	mm		mm	mm	mm
2	50.000%	0.50000	39.728	37.265	32.140	37.837	37.440	37.250	36.961
5	20.000%	0.80000	52.420	50.238	54.798	51.552	50.728	50.578	50.319
10	10.000%	0.90000	59.055	58.728	71.938	59.862	59.080	59.401	59.402
20	5.000%	0.95000	64.533	66.811	89.078	67.340	66.743	67.865	68.293
25	4.000%	0.96000	66.129	69.368	94.596	69.624	69.108	70.550	71.154
50	2.000%	0.98000	70.700	77.246	111.740	76.438	76.220	78.821	80.114
100	1.000%	0.99000	74.811	85.093	128.880	82.914	83.051	87.031	89.251
200	0.500%	0.99500	78.573	92.972	146.020	89.132	89.669	95.211	98.634
500	0.200%	0.99800	83.133	103.500	168.670	97.047	98.166	106.000	111.490
1,000	0.100%	0.99900	86.331	111.590	185.810	102.850	104.440	114.160	121.620
2,000	0.050%	0.99950	89.351	119.820	202.950	108.520	110.610	122.310	132.110
5,000	0.020%	0.99980	93.115	130.910	225.610	115.850	118.620	133.090	146.610
10,000	0.010%	0.99990	95.813	139.500	242.750	121.290	124.600	141.240	158.080

6.5. CÁLCULO DE TIEMPOS

6.5.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC) Y TIEMPO DE RETRASO (TR)

El tiempo de concentración (Tc) se define como el tiempo que tarda el escurrimiento de una tormenta en viajar del punto hidráulicamente más distante hasta la salida de la cuenca o sitio del proyecto, o bien el lapso transcurrido desde el final de la tormenta hasta el término de su hidrograma de escurrimiento superficial. En cambio, el tiempo de retraso (Tr) es el lapso entre el centro de la masa de lluvia en exceso y del hidrograma de escurrimiento directo.

Los tiempos de concentración y retraso fueron calculados por 5 metodologías diferentes con el objetivo de poder tener una referencia de estos mismo, para este caso de estudio los tiempos que se utilizaron fueron los calculados con la metodología de Chow, debido a que es la metodología que menos tiempo de concentración resulto.

Cuadro 17 Cálculo de tiempo de concentración y retraso de la Cuenca

Orden	Autor	Ecuación	Tiempo de Concentración (t _c)	Tiempo de Retraso (t _r)
----	----	----	Hrs	hrs
1	Carter	$T_c = \frac{45.636 \cdot L^{0.60}}{S^{0.30}}$	12.524	7.514
2	Chow	$T_r = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$	29.029	17.417
3	Kirpich	$t_{ca} = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S_{te}}} \right)^{0.77}$	34.475	20.685
4	Rowe	$t_c = \left(\frac{0.86L_t^2}{S_{lcm}} \right)^{0.385}$	34.361	20.617
5	SCS	$t_c = \frac{L_t^{1.15}}{3085 \Delta H_{cauce}^{0.38}}$	18.533	11.120

Cuadro 18 Datos iniciales de la cuenca.

DATOS INICIALES			
Parámetros de Cauce Principal	Longitud de Cauce Principal:	160,566.000	m
	Longitud de Cauce Principal:	160.566	km
	Elev. Máxima:	1,721.150	msnm}
	Elev. Mínima:	3.243	msnm}
	Desnivel	1,717.907	m
	Pendiente de Cauce Principal:	0.00227	m/m (adimensional)
	Pendiente de Cauce Principal:	2.270	m/km (millar)
	Pendiente de Cauce Principal:	0.227	%
Parámetros de Cuenca	Área de la cuenca de estudio:	2394.619	km ²
	Tamaño de cuenca:	Grande	Pequeña / Grande
	Pendiente media:	16.970	%
	Número de Curva CN (Método SCS-CN):	68.000	----
Diseño	Tiempo de Concentración (t _c)	29.029	hrs
	Tiempo de Retraso (t _r)	17.417	hrs

6.6. DETERMINACIÓN DE CURVAS IDT

Para poder obtener las curvas de PRECIPITACION – DURACION – PERIODO DE RETORNO, así como las de INTENSIDAD – DURACION – PERIODO DE RETORNO, es necesario estimar la precipitación esperada para una hora. Para este caso, Isoyetas (SCT) para lluvias de diseño ($T_r = 10$ años y 1 hr de duración) Se descargó la información de isoyetas de la SCT para intensidad de periodo de retorno de 10 años y duración de una hora, para poder aplicar la fórmula de CHEN en la determinación de curvas idt

Obtenemos los parámetros a, b y c. Una vez obtenida esta información aplicamos la fórmula de CHEN para el cálculo de curvas idt.

$$i_t^{T_r} = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-F} T_r^{F-1})}{(t+b)^c} = \frac{\alpha_{T_r}}{(t+b)^c}$$

$$a = 1.13171955 + 37.2614945R - 58.2203446R^2 + 387.242993R^3 - 357.121482R^4$$

$$b = -7.784969 + 59.5314751R - 120.215265R^2 + 246.112571R^3 - 203.278193R^4$$

$$c = 0.000507846976 + 3.92287365R - 9.60400232R^2 + 14.7036951R^3 - 9.27830257R^4$$

$$P_t^{T_r} = \frac{a \cdot P_1^{10} \log(10^{2-F} \cdot T_r^{F-1})t}{60(t+b)^c}$$

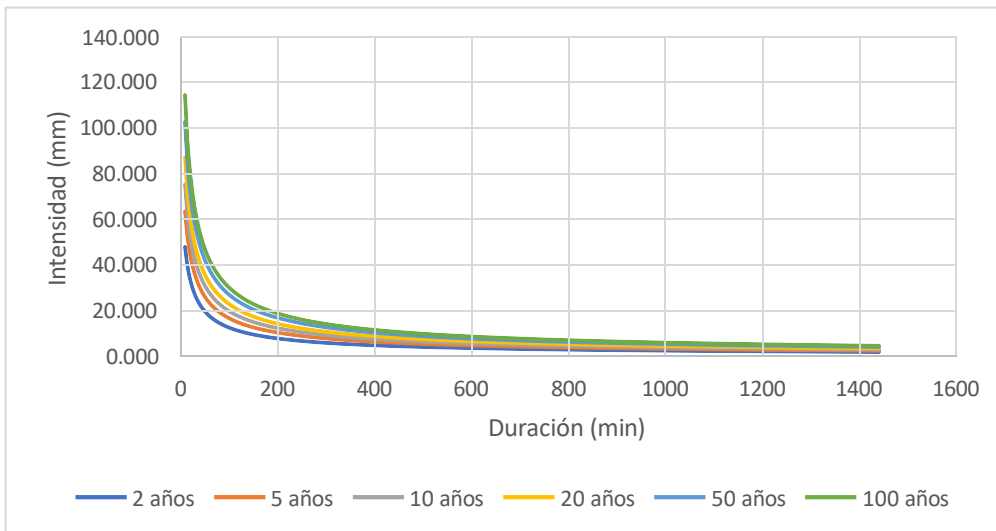


Figura 20 Curva IDT metodología de CHEN (2 a 100 años).

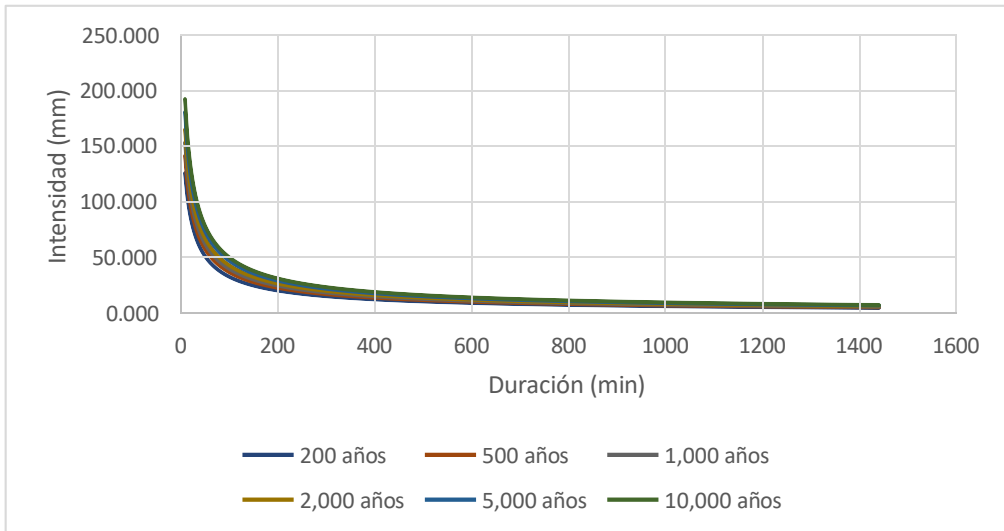


Figura 21 Curva IDT metodología de CHEN (200 a 10,000 años).

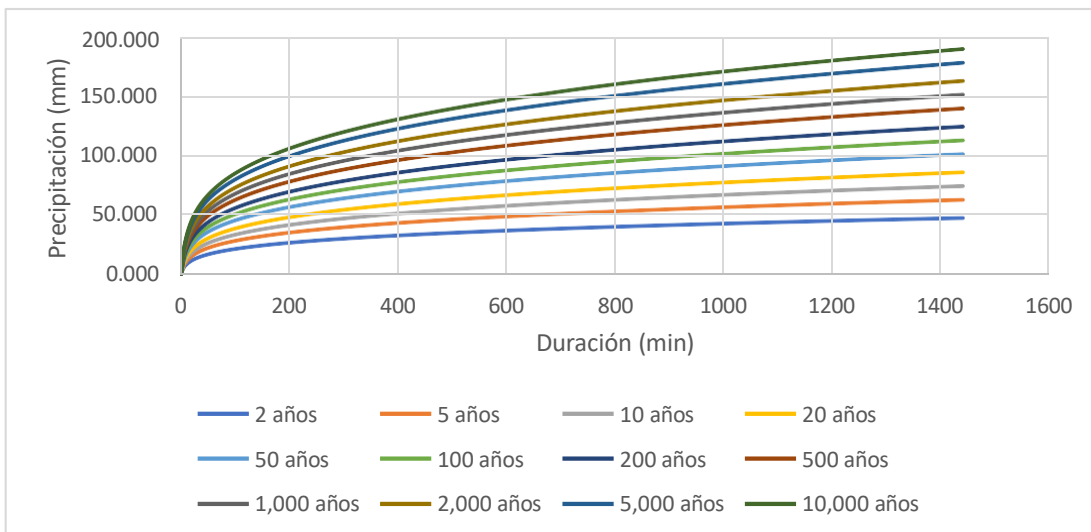


Figura 22 Curva PDT metodología de CHEN (2 a 10,000 años).

Conceptos Básicos

1. Intensidad de lluvia (I): Representa la cantidad de lluvia caída en un intervalo de tiempo específico, expresada comúnmente en mm/h.
2. Duración (D): Es el tiempo durante el cual ocurre una precipitación continua.
3. Frecuencia de retorno (F): Se refiere al periodo promedio, generalmente en años, en el que se espera que ocurra un evento de lluvia de igual o mayor intensidad.

Las curvas IDF relacionan estas tres variables, proporcionando información clave para evaluar riesgos de inundación y diseñar infraestructuras resistentes.

Método para la Determinación de las Curvas IDF

La determinación de las curvas IDF sigue una serie de pasos estructurados:

Aplicaciones Prácticas

1. Diseño de sistemas de drenaje urbano: Las curvas IDF ayudan a dimensionar colectores pluviales y alcantarillas para evitar inundaciones.
2. Planeación agrícola: Permiten prever eventos de lluvia extrema que pueden impactar el riego y las cosechas.
3. Evaluación de riesgo de inundaciones: Facilitan la estimación de caudales máximos en cuencas hidrográficas.

6.7 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Se utilizó el método del TR-55 del SCS adaptado para México por Campos Aranda, se trabajó el tipo de tormenta TYPE I de 24 horas de duración que corresponde al clima marítimo del pacífico, ya que la lluvia máxima en 24 horas calculada se obtuvo de información pluviométrica, se le aplicó un factor de regionalización (FRA) propuesto por Campos Aranda el cual considera la magnitud de la cuenca y este factor se multiplica por la lluvia corregida correspondiente al periodo de retorno para el cual se obtendrá el hietograma y a su vez por porcentaje de distribución temporal para así obtener la precipitación de diseño que formara el hietograma el cual será utilizado en el software HEC-HMS para obtener el hidrograma de diseño.

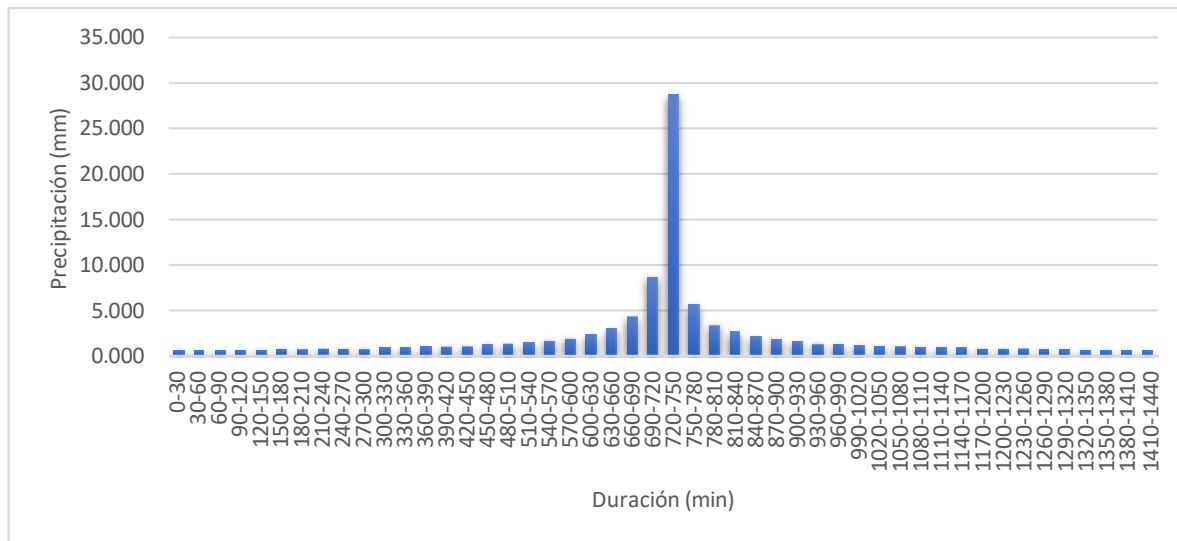


Figura 23 Hietograma sintético tr 100 años (Método SCS), W-001.

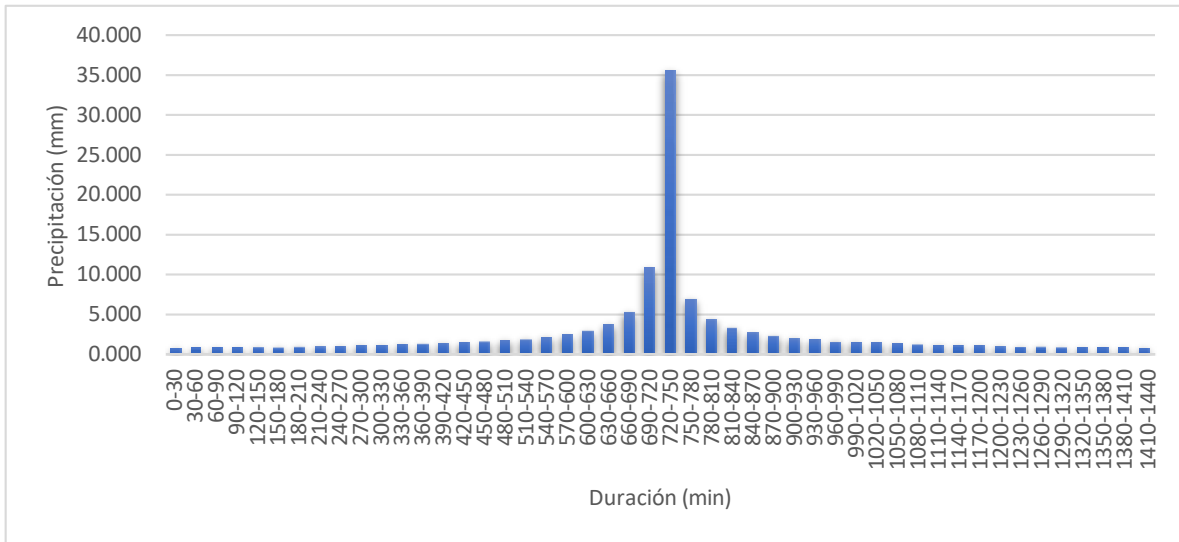


Figura 24 Hietograma sintético tr 500 años (Método SCS) W-001.

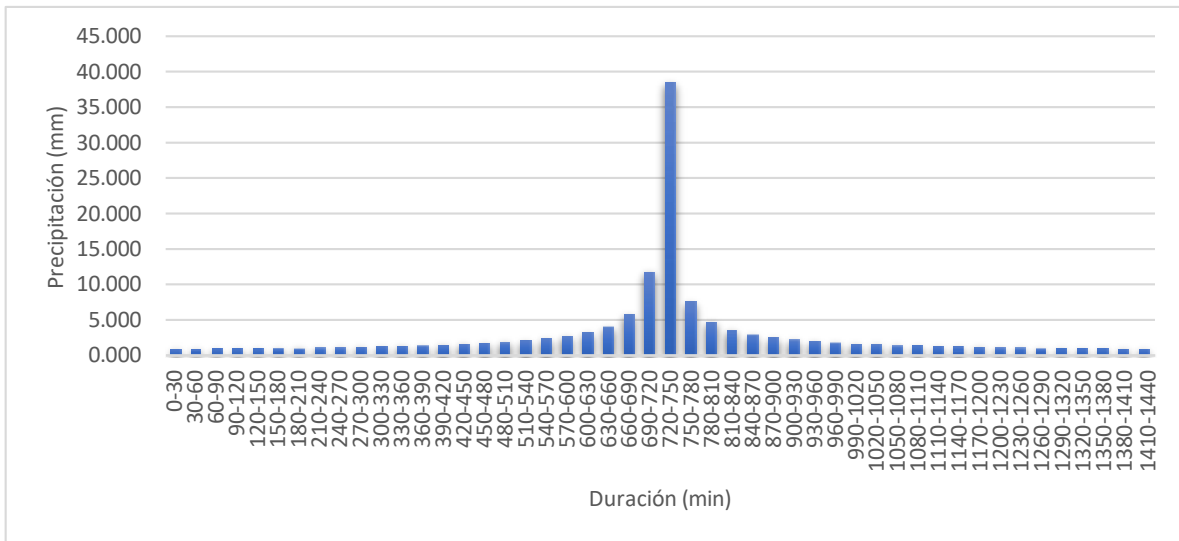


Figura 25 Hietograma sintético tr 1000 años (Método SCS) W-001.

6.8. SELECCIÓN DE PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO

Debido a que no se cuenta con información concreta de que obra se realizará en la zona de estudio, se determinó por seleccionar los periodos de retorno de 100, 500 y 1000 años ya que con estos se cubren la mayoría de las obras que se podrán realizar de acuerdo con la zona.

6.9. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

La precipitación de diseño (precipitación corregida de los cuadros) se obtuvo después de realizar todos los análisis estadísticos antes mencionados, esta precipitación de diseño es el resultado de la ponderación de áreas de acuerdo a los polígonos de Thiessen.

Cuadro 19 Precipitación de diseño, W-001.

UNIFORMAR LOS AÑOS DE REGISTRO HISTÓRICO EN LAS ESTACIONES DE INFLUENCIA								
No.	Año	ESTACIÓN 2036	ESTACIÓN 2004	ESTACIÓN 2001	ESTACIÓN 2118	PMA	Factor de observacion	PMA Corregida
		Pmax 24hrs	Pmax 24hrs	Pmax 24hrs	Pmax 24hrs	Pmax 24hrs		Pmax 24hrs
		mm	mm	mm	mm	mm		mm
1	2	40.478	41.147	34.130	37.250	37.683	1.13	42.582
2	5	60.855	61.714	50.500	50.578	53.879	1.13	60.883
3	10	74.347	75.330	61.338	59.401	64.601	1.13	72.999
4	20	87.289	88.392	71.735	67.865	74.887	1.13	84.622
5	25	91.394	92.535	75.033	70.550	78.150	1.13	88.309
6	50	104.040	105.300	85.192	78.821	88.201	1.13	99.667
7	100	116.590	117.970	95.276	87.031	98.177	1.13	110.940
8	200	129.100	130.590	105.320	95.211	108.117	1.13	122.172
9	500	145.600	147.240	118.580	106.000	121.230	1.13	136.990
10	1000	158.070	159.830	128.600	114.160	131.144	1.13	148.193
11	2000	170.540	172.410	138.610	122.310	141.050	1.13	159.386
12	5000	187.010	189.040	151.850	133.090	154.146	1.13	174.185
13	10000	199.480	201.620	161.860	141.240	164.052	1.13	185.379

Cuadro 20 Polígonos de Thiessen Cuenca W-001.

POLÍGONOS DE THIESSEN			
NO.	Estación	Área (km ²)	Influencia en Cuenca (%)
----	TOTAL	2,394.619	100.00%
1	ESTACIÓN 2036	554.600	23.16%
2	ESTACIÓN 2004	201.403	8.41%
3	ESTACIÓN 2001	493.034	20.59%
4	ESTACIÓN 2118	1,145.582	47.84%

VII. RESULTADOS

7.1 MODELO HIDROLÓGICO

7.1.1 ESTIMACIÓN DE CAUDAL DE DISEÑO

Los métodos hidrometeorológicos pretenden reproducir matemáticamente el fenómeno de la avenida. Tienen la ventaja de poder simular aceptablemente el proceso hidrológico de la avenida si se estiman satisfactoriamente los parámetros necesarios.

Los gastos máximos fueron obtenidos mediante la aplicación de los métodos hidrometeorológicos siguientes: Hidrograma Unitario HU, Formula Racional, Ven Te Chow y SCS. En las tablas siguientes se presenta el resumen de datos requeridos para el análisis hidrológico de las cuencas en estudio.

7.1.2. MÉTODO RACIONAL

Recibe este nombre la primera aproximación, que es la más sencilla para evaluar al caudal que producirá una precipitación. Se supone una precipitación constante de intensidad i (mm/hora) que cae sobre una cuenca de superficie A (km²).

Para una primera aproximación, basta con aplicar un coeficiente de escurrimiento C , con lo que finalmente, la fórmula general resulta:

$$Q = C i A$$

Dónde:

Q = caudal, en m³/s

C = coeficiente de escurrimiento, adimensional

i = intensidad de precipitación, en mm/h

A = superficie de la cuenca, en km²

Para el correcto dimensionamiento de los cálculos basta operar un valor constante que resuelve el paso de unidades,

$$Q = 0.278 C i A$$

La tasa de escurrimiento alcanza su máximo cuando la lluvia tiene un tiempo igual al de concentración del área drenada. Así, la frecuencia de la descarga pico es la misma de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración.

La respuesta del escurrimiento depende de las consideraciones de lluvia antecedente y de las características fisiográficas del área drenada. Para cuencas pequeñas y áreas alternadas, la intensidad de la lluvia es un factor dominante. Para cuencas más grandes lo es las características de control de la zona.

Cuadro 21 Gasto calculado Método Racional para la W-001.

Datos	Periodo de retorno T_r , en años						
	2	5	10	20	50	100	500
Área (km ²)	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619
t_c (hr)	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow
	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029
d (hr)	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029
I (mm/hr)	1.722	2.282	2.705	3.128	3.688	4.111	5.094
P (mm)	46.764	53.693	58.949	64.192	71.121	76.377	88.549
CN	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000
Pe (mm)	4.675	11.072	17.130	24.010	34.109	42.366	63.106
C (formula)	0.100	0.206	0.291	0.374	0.480	0.555	0.713
Q_p (m ³ /s)	114.627	313.225	523.289	778.913	1177.384	1518.033	2416.556

7.1.3. MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (HUT)

El hidrograma Unitario se define como el hidrograma de gasto resultante de una lluvia en exceso unitaria ocurriendo uniformemente sobre la cuenca y sobre la duración unitaria especificada. En este método se requiere saber las características fisiográficas de la cuenca, obteniéndose el gasto pico con la ecuación siguiente:

$$q_p = 0.208 \frac{A_c}{t_p}$$

Donde:

A_c = área de la cuenca en Km²

t_p = tiempo pico, en hrs

q_p = gasto pico, en m³/s/mm

Cuadro 22 Gasto calculado Método Unitario Triangular para la W-001.

Datos	Periodo de retorno T_r, en años						
	2	5	10	20	50	100	500
Área (km ²)	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619	2394.619
CN	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000	68.000
S (mm)	119.529	119.529	119.529	119.529	119.529	119.529	119.529
t_c (hr)	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow	Chow
	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029
d (hr)	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029	29.029
t_r (hr)	17.417	17.417	17.417	17.417	17.417	17.417	17.417
t_p (hr)	31.932	31.932	31.932	31.932	31.932	31.932	31.932
t_b (hr)	85.258	85.258	85.258	85.258	85.258	85.258	85.258
I (mm/hr)	1.722	2.282	2.705	3.128	3.688	4.111	5.094
P (mm)	49.998	66.239	78.525	90.810	107.051	119.337	147.863
I_a (mm)	23.906	23.906	23.906	23.906	23.906	23.906	23.906
P_e (cm)	0.4675	1.1072	1.7130	2.4010	3.4109	4.2366	6.3106
P_e (mm)	4.675	11.072	17.130	24.010	34.109	42.366	63.106
Q_p (m ³ /s)	72.924	172.698	267.202	374.508	532.049	660.840	984.342

7.1.4. MÉTODO VEN TE CHOW

Se utilizó la metodología de Chow para determinar el escurrimiento o gasto que llega a cada uno de los puntos de control, a continuación, se muestra dicha metodología y resultados de esta.

Ven Te Chow	$Qd = A * X * Y * Z$
	$X = \frac{He_b}{D_{diseño}}$ (factor de escurrimiento)
	$Y = 0.278 \frac{He}{He_b}$ (factor climático)
	$Z = \frac{Qp}{Qe}$ (factor de reducción)

Qd: Gasto diseño, m³/s
A: Área de la cuenca, km²
He y Hp : lluvia efectiva y total, mm
He_b: lluvia efectiva en la est base, mm
D_{diseño}: duración de diseño de la lluvia, h
Qp y Qe: gasto pico y de equilibrio, m³/s

Parámetros Iniciales	
Área (km ²):	2394.619
CN:	68.00
Longitud Cauce (m):	160566.0
S _m de Cauce (m/m):	0.00227
S _m de Cauce (%):	0.2270
<i>S (mm)</i>	119.5294
<i>I_a (mm)</i>	23.9059
tr Chow (hrs):	17.417

Cuadro 23 Gasto calculado Método CHOW.

Cuenca	Periodos de retorno (Tr = años - m ³ /seg)						
	2	5	10	20	50	100	500
W-001	85.29	211.27	322.50	471.30	676.47	845.04	1270.67

7.2. SELECCIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DE PROYECTO

Para determinar el gasto o caudal que llega al punto de salida bajo la lluvia máxima que se presenta con una frecuencia dada, apreciaremos lo siguiente:

Durante los primeros minutos de la lluvia, la intensidad de ésta es muy alta, pero como el tiempo es corto, no se ha alcanzado a drenar toda la cuenca, por lo que el gasto que pasa por el punto de control no es muy grande. A medida que transcurre el tiempo, la cuenca comienza a aportar más

agua por efecto de que es mayor el área que se drena, pero por otro lado la intensidad de la lluvia va disminuyendo poco a poco.

Las variables de cada metodología rigen bajo qué características de cuenca se puede aplicar, se utilizaron 4 metodologías distintas con la finalidad de que sirvieran de referencia, en este caso se seleccionó la metodología del SCS debido a que es la que mejor se adapta a las características de zona y cuenca como ya se ha mencionado en puntos anteriores, los cuadros que a continuación se muestran contienen los gastos del escurrimiento o caudal máximo para cada uno de los Tr calculados de las metodologías, encontramos de color amarillo la que fue seleccionada.

Se utilizó el software HEC-HMS para obtener el gasto pico de la metodología del SCS, como se menciona en el siguiente apartado se utilizó el número de curva y parámetros de la cuenca junto con los hietogramas de la misma metodología.

Cuadro 24 Resumen de caudales obtenidos con las diferentes metodologías empleadas, W-001.

COMPARACIÓN DE CAUDALES				
TR	RACIONAL	HUT	CHOW	SCS
años	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
2	114.627	72.924	85.290	53.600
5	313.225	172.698	211.273	204.200
10	523.289	267.202	332.497	342.600
20	778.913	374.508	471.298	498.300
50	1177.384	532.049	676.469	727.400
100	1518.033	660.840	845.041	915.900
500	2416.556	984.342	1270.674	1395.100

7.3. CREACIÓN DE HIDROGRAMA PROPUESTO

Para la creación de los hidrogramas de escurrimiento se utilizó el software HEC-HMS donde se configuro con el CN obtenido por la misma metodología de la SCS, se introdujo como lluvia los hietogramas ya mostrados puntos atrás, cada hidrograma muestra el escurrimiento por cuenca de estudio por lo que se utilizaron los parámetros fisiográficos de las mismas, en el siguiente cuadro se muestra los gastos picos o máximos de cada hidrograma de acuerdo con su Tr.

Cuadro 25 Resumen de caudales pico en m^3/s obtenidos para diferente Tr en cada cuenca.

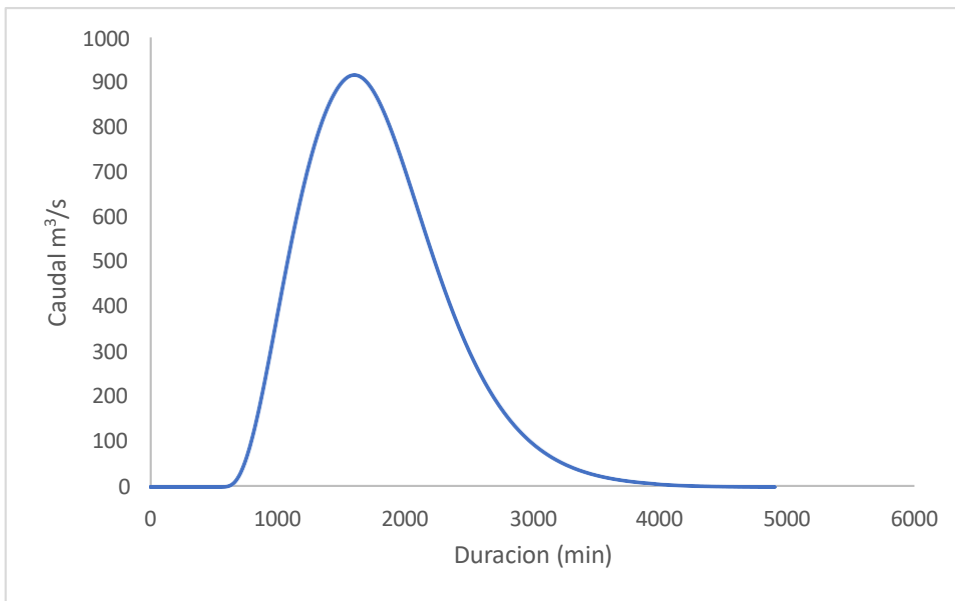


Figura 26 Hidrograma por el Método SCS, TR 100 años, W-001.

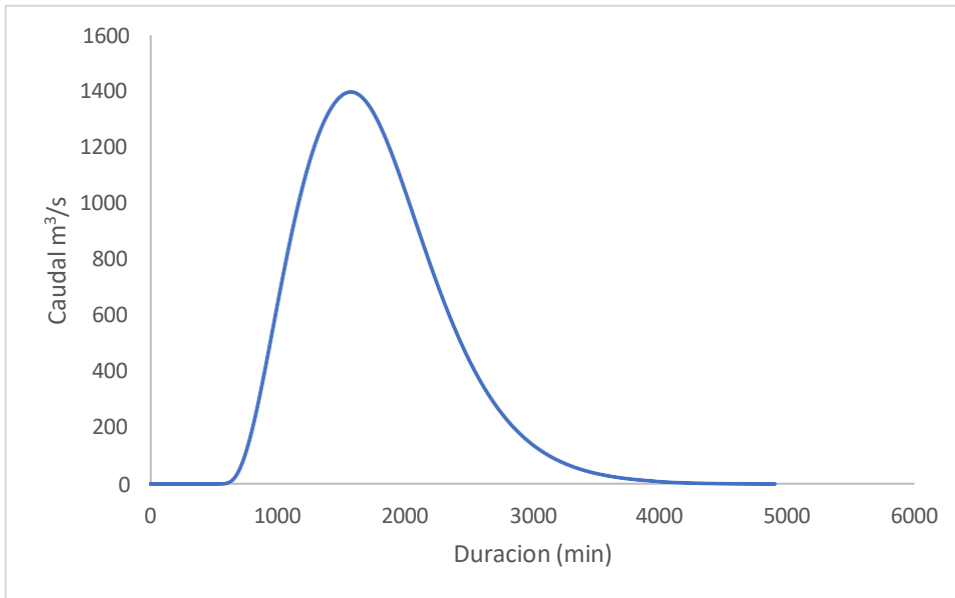


Figura 27 Hidrograma por el Método SCS, TR 500 años, W-001.

VIII. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados de cada una de las metodologías utilizadas para obtener el gasto de la avenida máxima o pico, podemos concluir que el método más confiable para poder ser utilizado en cuencas grandes, es el del SCS especificado en el manual TR-55, esto debido a que se ajusta mejor a tiempos de concentración de 6 minutos hasta 10 horas, el método racional se utilizó de referencia ya que es un método utilizado solo para cuencas urbanas y no rurales, y como se observa la metodología del HUT obtuvo gasto muy bajos posiblemente debido a que se propone se utilice para cuencas menores a 1300 km², la metodología de Chow también es para cuencas pequeñas pero como se observa en cuadro 24 tiene valores de gastos muy similares a la del SCS, por lo que esta metodología podría ser utilizada dependiendo de la finalidad que tenga el proyecto.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, F. (2011); Fundamentos de Hidrología de Superficie; Limusa.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A., 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Volume 30, Issue 1, 2014, Pages 1-10, ISSN 0213-1315, DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004.

Bouslihim, Y., Kacimi, I., Brirhet, H., Khatati, M., Rochdi, A., Pazza, N., Miftah, A. y Yaslo, Z. (2016) Modelado hidrológico utilizando SWAT y SIG, aplicación a la subcuenca Bab-Merzouka (Sebou, Marruecos). *Journal of Geographic Information System* .

Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. Editorial Mc Graw-Hill; Estados Unidos de América.

Campos Aranda D. Francisco (2006): Análisis Probabilístico Invariado de Datos Hidrológicos; AMH - IMTA.

Campos Aranda D. Francisco (2010): Introducción a la Hidrología Urbana; UASLP.

CONAGUA, Alcantarillado Pluvial, Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento, México, 2007.

Fuente de información Hidrográfica, SIATL – INEGI.

GARCÍA, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta Edición. México: Universidad Nacional Autónoma de México.