

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**ANÁLISIS DE AVENIDAS MÁXIMAS Y MODELACIÓN DE INUNDACIÓN DE
UNA CORRIENTE QUE FORMA UN ALUVIÓN EN COSTA.**

Por.

ANGELES VIVIANA PALMA LUNA

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

Saltillo, Coahuila, México

2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

ANÁLISIS DE AVENIDAS MÁXIMAS Y MODELACIÓN DE INUNDACIÓN DE
UNA CORRIENTE QUE FORMA UN ALUVIÓN EN COSTA.

POR:

ANGELES VIVIANA PALMA LUNA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

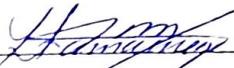
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el comité de asesoría:



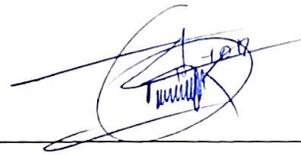
M.C. Aaron I. Melendres Alvarez

ASESOR PRINCIPAL



Dr. Luis Samaniego Moreno

ASESOR



Ing. Gil Fredy Clemente Solís

ASESOR



M.C. Sergio Sánchez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

ANÁLISIS DE AVENIDAS MÁXIMAS Y MODELACIÓN DE INUNDACIÓN DE
UNA CORRIENTE QUE FORMA UN ALUVIÓN EN COSTA.

POR:

ANGELES VIVIANA PALMA LUNA

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



M.C. Sergio Sánchez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

VOCAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2025

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



ANGELES VIVIANA PALMA LUNA

AGRADECIMIENTOS

"A los que siempre creyeron en mí, les debo lo que soy y lo que seré."

—Gerardo Ortiz (dijo nunca).

Primero que nada y antes que todo, **a mi familia**, las Palmas y los Lunas, por entender que "ya casi presento" era una forma sutil de decir "pregúntenme el próximo mes", y aun así, jamás dejar de darme su apoyo incondicional. A mis lindas mascotas (TML) por ser mi compañía silenciosa esas noches de desvelo, redactando sola en el comedor de mí casa.

A la UAAAN, al departamento de Riego y a los doctores y doctoras que lo conforman, por su infinita paciencia y por no darme de baja (aunque seguramente lo pensaron más de una vez). Gracias por ser mis guías en este proceso y por permitirme llevar un pedacito de sus conocimientos conmigo. Y por dejarme hacer bienvenidas, ¡claro! Además, gracias **a mi asesor** por dedicar su tiempo y sus conocimientos, y por no bloquearme después de mis 800 llamadas con dudas.

A mis compañeros buitres, por creer en mí y apoyarme. Gracias por ayudarme a sobrevivir este apocalipsis llamado universidad.

Mención honorífica **a mi trío** de 3 y **a los jalisquitos**—ustedes saben quiénes son y lo lejos que van a llegar. I'm so proud of you, espero tengan éxito en su vida, siempre serán parte de mis recuerdos.

A mi bizcocho (así es, tu apodo quedará aquí de por vida), gracias a ti comprendí que, si bien todos tenemos momentos de desesperación, cuando aprendemos a afrontarlos descubrimos lo fuertes que podemos llegar a ser. Gracias por formar parte de este capítulo en mi vida.

A los inventores del café, el té chai, Internet, mi intimo amigue ChatGPT, Google, Spotify Premium, las pop stars, y a Nu Bank y BBVA por financiar el coffee break.

Y obvio, a mí. Ya lo dijo Madonna: "Soy mi propio experimento, soy mi propia obra de arte." This is for the girls and the gays. <3 And Taylor Swift (ily queen). And the boys (yes i'm straight)

DEDICATORIAS.

Esta batalla la ganamos juntos, porque el apoyo de los míos siempre ha sido mi mejor arma.

—Gerardo Ortiz (dijo nunca).

A mi querida familia, porque sin ellos literalmente no estaría aquí, ni en esta uni ni en este mundo, ¿comprenden?

Gracias por todo, por enseñarme que la paciencia es una virtud, y vaya que virtud tenían cada que expliqué por qué el título tardó más de lo esperado. I'm sorryy.

A mis amigos, ya que:

"Sabía exactamente qué hacer. Pero en un sentido más real, nunca tuve idea de qué hacer." - Michael Scott (the office)

Gracias por fingir interés cada que hablé de mi investigación; sin ustedes, esto habría sido un drama en solitario. Y gracias por fingir que entendían de qué trataba mi tesis, aunque ni yo lo comprendía, francamente.

A mi boyfi, por soportar mis ataques de "¿y si mejor pongo una papelería o un puesto de carnitas?"

Gracias por creer en mí y no bajar la guardia, por recordarme que el mundo no se acababa por una tesis (aunque en ciertos momentos estaba segura de que sí). Al final:

"No podíamos tocar la puerta de las oportunidades sin estar preparados, ¿no?" —By.

A mí (sí, me estoy felicitando, me lo merezco). Si bien he cometido muchos errores, este documento es la prueba de que hice algo bien. Al final:

"No estoy aquí para ser perfecta, solo para ser real." —Lg.

Gracias a todos, esto es por ustedes. ♥

Índice de Contenido

| | |
|--|-----|
| DECLARACION DE NO PLAGIO. | IV |
| AGRADECIMIENTOS | V |
| DEDICATORIAS. | VI |
| RESUMEN | XI |
| ABSTRACT | XII |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| II.OBJETIVO..... | 15 |
| III.HIPÓTESIS..... | 15 |
| IV. REVISION DE LITERATURA..... | 16 |
| 4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 16 |
| 4.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN | 18 |
| 4.3 POBLACIÓN | 18 |
| 4.4. CLIMA | 19 |
| 4.5 HIDROGRAFÍA..... | 20 |
| 4. TOPOGRAFÍA DE ESTUDIO..... | 22 |
| V. MODELO FISIAGRÁFICO – GEOMORFOLÓGICO | 23 |
| 5.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS / SUBCUENCAS / MICROCUENCAS..... | 23 |
| 5.2 PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS..... | 25 |
| 5.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS | 26 |
| 5.4 DATOS BÁSICOS..... | 27 |
| 5.4.1. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN..... | 27 |
| 5.4.2. TIPO DE SUELO (EDAFOLOGÍA) | 29 |
| 5.4.3. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL | 31 |
| 5.5. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO | 33 |
| 5.5.1. METODOLOGÍAS POR EMPLEAR..... | 33 |
| 5.5.2 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE C (MÉTODO RACIONAL)..... | 34 |
| 5.5.3 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE CN (MÉTODO SCS) | 35 |
| VI. MODELO METEOROLÓGICO | 40 |
| 6.1. RECOPIACIÓN Y LIMPIEZA DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA..... | 40 |
| 6.2. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS..... | 44 |
| 6.3. REALIZACIÓN DE PRUEBAS A LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN | 44 |
| 6.3.1 PRUEBA DE DATOS DUDOSOS | 44 |

| | |
|---|----|
| 6.3.2 PRUEBA DE HOMOGENEIDAD..... | 45 |
| 6.3.3 PRUEBA DE INDEPENDENCIA..... | 52 |
| 6.4. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES..... | 54 |
| 6.5. CÁLCULO DE TIEMPOS..... | 56 |
| 6.5.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC) Y TIEMPO DE RETRASO (TR)..... | 56 |
| 6.6. DETERMINACIÓN DE CURVAS IDT..... | 58 |
| 6.7. HIETOGRAMAS DE DISEÑO..... | 60 |
| 6.8. SELECCIÓN DE PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO..... | 62 |
| 6.9. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO..... | 62 |
| VII. RESULTADOS..... | 63 |
| 7. MODELO HIDROLÓGICO..... | 63 |
| 7.1. ESTIMACIÓN DE CAUDAL DE DISEÑO..... | 63 |
| 7.1.1. MÉTODO RACIONAL..... | 63 |
| 7.1.2. MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (HUT)..... | 64 |
| 7.1.3. MÉTODO VEN TE CHOW..... | 65 |
| 7.2. SELECCIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DE PROYECTO..... | 66 |
| 7.3. CREACIÓN DE HIDROGRAMA PROPUESTO..... | 67 |
| 7.4. MODELACIÓN DE INUNDACIONES PARA CADA PERIODO DE TR DE 100, 500 Y 1000..... | 69 |
| 7.4.1 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA..... | 69 |
| 7.4.2 GENERACIÓN DE GEOMETRÍAS Y MALLA DE CÁLCULO..... | 69 |
| 7.4.3 ASIGNACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ENTRADA..... | 70 |
| 7.4.4 RESULTADOS - COMPORTAMIENTO DE TIRANTES Y ÁREAS DE INUNDACIÓN..... | 70 |
| VIII. CONCLUSIÓN..... | 77 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA..... | 78 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Localización del sitio de estudio. | 16 |
| Figura 2 Vista de los puntos de control, cauces principales y cuencas que afectan al área de estudio. ... | 17 |
| Figura 3 Vías de comunicación en la zona de estudio. | 18 |
| Figura 4 Clima de la zona de estudio. | 19 |
| Figura 5 Hidrografía de la región circundante a la zona de estudio. | 20 |
| Figura 6 Delimitación de las cuencas que influyen en la zona de estudio. | 21 |
| Figura 7 Topografía del área de estudio. | 22 |
| Figura 8 Cuencas, Puntos de control y cauces principales en la zona de estudio. | 24 |
| Figura 9 Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia de Altitudes C1. | 26 |
| Figura 10 Mapa de uso de suelo y vegetación de las cuencas de estudio (INEGI serie VII). | 28 |
| Figura 11 Mapa de tipo de suelo de las cuencas de estudio (INEGI serie II). | 30 |
| Figura 12 Coeficiente de escurrimiento en la zona de estudio. | 32 |
| Figura 13 Distribución parcial del número de curva de la zona de estudio. | 36 |
| Figura 14 Tipo de suelo hidrológico de las cuencas de estudio. | 38 |
| Figura 15 Polígonos de Thiessen sobre el área de estudio. | 43 |
| Figura 16 Correlograma de los datos de la estación 3197. | 53 |
| Figura 17 Correlograma de los datos de la estación 3037. | 53 |
| Figura 18 Curva IDT metodología de CHEN (2 a 100 años). | 58 |
| Figura 19 Curva IDT metodología de CHEN (200 a 10,000 años). | 59 |
| Figura 20 Curva PDT metodología de CHEN (2 a 10,000 años). | 59 |
| Figura 21 Hietograma sintético tr 100 años (Método SCS), Cuenca 1. | 60 |
| Figura 22 Hietograma sintético tr 500 años (Método SCS) Cuenca 1. | 61 |
| Figura 23 Hietograma sintético tr 1000 años (Método SCS) Cuenca 1. | 62 |
| Figura 24 Hidrograma por el Método SCS, TR 100 años, Cuenca 1. | 68 |
| Figura 25 Hidrograma por el Método SCS, TR 500 años, Cuenca 1. | 68 |
| Figura 26 Hidrograma por el Método SCS, TR 1000 años, Cuenca 1. | 69 |
| Figura 27 Cotas de agua en punto crítico 1 de la Cuenca 2 a 33500 Tr 1000. | 71 |
| Figura 28 Valores de velocidad en m/s de las corrientes principales. | 71 |
| Figura 29 Evolución de calado Punto Crítico 1 a Tr 100. | 72 |
| Figura 30 Puntos críticos en la zona de estudio y altura del tirante. | 73 |
| Figura 31 Puntos críticos por altura del tirante. | 74 |
| Figura 32 Altura del tirante de agua. | 75 |
| Figura 33 Evaluación de calado en el punto crítico 1. | 75 |
| Figura 34 Perfil transversal en el punto crítico 1. | 76 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Evolución de la población de Boca del Álamo..... | 18 |
| Cuadro 2 Parámetros fisiográficos del área de estudio. | 25 |
| Cuadro 3 Parámetros geomorfológicos de las cuencas de estudio. | 26 |
| Cuadro 4 Coeficiente CN por cuenca. | 39 |
| Cuadro 5 Datos de estaciones utilizadas..... | 40 |
| Cuadro 6 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 3197..... | 40 |
| Cuadro 7 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 3097..... | 41 |
| Cuadro 8 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 3197..... | 54 |
| Cuadro 9 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 3097..... | 55 |
| Cuadro 10 Evaluación de distribuciones, estación 3197..... | 55 |
| Cuadro 11 Evaluación de distribuciones, estación 3097..... | 56 |
| Cuadro 12 Cálculo de tiempo de concentración y retraso de la Cuenca 1..... | 56 |
| Cuadro 13 Datos iniciales por cuenca. | 57 |
| Cuadro 14 Precipitación de diseño, Cuenca 1..... | 62 |
| Cuadro 15 Gasto calculado Método Racional para la Cuenca 1..... | 64 |
| Cuadro 16 Gasto calculado Método Unitario Triangular para la Cuenca 1..... | 65 |
| Cuadro 17 Gasto calculado Método CHOW. | 66 |
| Cuadro 18 Resumen de caudales obtenidos con las diferentes metodologías empleadas, Cuenca 1..... | 67 |
| Cuadro 19 Resumen de caudales pico en m ³ /s obtenidos para diferente Tr en cada cuenca. | 68 |
| Cuadro 20 Coeficiente de rugosidad por uso de suelo. | 69 |
| Cuadro 21 Área inundada de acuerdo con Tr..... | 70 |

RESUMEN

Los estudios hidrológicos son fundamentales para el diseño y gestión de proyectos relacionados con el agua, como obras hidráulicas, control de inundaciones y sistemas de abastecimiento. Analizan el ciclo del agua y su distribución en la superficie terrestre, permitiendo tomar decisiones informadas.

Un estudio hidrológico completo considera factores como la topografía, las precipitaciones y modelos de estimación de avenidas y caudales. La topografía influye en el movimiento del agua, por lo que se analiza con mapas, modelos digitales de elevación y levantamientos de precisión. Esto ayuda a definir cuencas hidrográficas y áreas susceptibles a inundaciones.

El análisis de precipitaciones es clave, ya que su cantidad e intensidad afectan el escurrimiento y la recarga de acuíferos. Se utilizan registros meteorológicos y datos satelitales para caracterizar el régimen de lluvias y estimar eventos extremos.

Para predecir caudales y avenidas, se emplean modelos hidrológicos como el método racional, el modelo SCS-CN y herramientas más avanzadas como HEC-HMS o SWMM. Estos modelos simulan la respuesta del terreno ante lluvias intensas y ayudan a evaluar riesgos hidrometeorológicos.

La hidrología ha evolucionado desde las civilizaciones antiguas hasta integrar técnicas modernas de modelado y simulación computacional. Un estudio hidrológico bien desarrollado proporciona información crucial para la planificación de infraestructuras seguras y la gestión sostenible de los recursos hídricos, protegiendo tanto la infraestructura como a la población ante riesgos hídricos.

Palabras claves:

Cuenca, SCS, inundación.

ABSTRACT

Hydrological studies are essential for the design and management of water-related projects, such as hydraulic works, flood control and supply systems. They analyse the water cycle and its distribution on the Earth's surface, allowing informed decisions to be made.

A complete hydrological study considers factors such as topography, rainfall and models for estimating floods and flows. Topography influences the movement of water, so it is analysed with maps, digital elevation models and precision surveys. This helps to define watersheds and areas susceptible to flooding.

Precipitation analysis is key, since its quantity and intensity affect runoff and aquifer recharge. Meteorological records and satellite data are used to characterise the rainfall regime and estimate extreme events.

To predict flows and floods, hydrological models such as the rational method, the SCS-CN model and more advanced tools such as HEC-HMS or SWMM are used. These models simulate the response of the terrain to heavy rainfall and help assess hydrometeorological risks.

Hydrology has evolved from ancient civilizations to integrate modern computer modeling and simulation techniques. A well-developed hydrological study provides crucial information for planning safe infrastructure and sustainable management of water resources, protecting both infrastructure and the population from water risks.

Keywords:

Basin, SCS, inundation.

I. INTRODUCCIÓN

EL sitio en estudio se localiza al sureste del Municipio de la Paz, esta extensión territorial abarca la parte oriental de la sierra el Carrizalito la cual le otorga la singularidad de su geomorfología, que presenta fuertes pendientes hacia el Golfo de California. Estos factores, y lo extenso de sus litorales, la abundancia de sus recursos marinos y las bellezas naturales con las que cuenta, han definido que el desarrollo del litoral se enfoque primordialmente a las actividades asociadas a la logística, la investigación, la pesca y el turismo, por lo que sus principales centros de población y desarrollos turísticos se ubican sobre las costas.

Los estudios hidrológicos son esenciales para el diseño, planificación y gestión de proyectos relacionados con el agua, tales como obras hidráulicas, control de inundaciones, sistemas de irrigación y abastecimiento de agua. Estos estudios permiten comprender la dinámica de los recursos hídricos y su interacción con el entorno, proporcionando información clave para la toma de decisiones. La hidrología, en su esencia, analiza el ciclo del agua, sus procesos y distribución espacial y temporal en la superficie terrestre.

En un estudio hidrológico completo, se abordan múltiples componentes que influyen directamente en el comportamiento de las corrientes de agua, el escurrimiento superficial y la infiltración en el suelo. Entre estos componentes destacan la topografía del lugar, el análisis de las precipitaciones y la aplicación de modelos para la estimación de avenidas y caudales. La adecuada comprensión y tratamiento de estos factores son fundamentales para el diseño de infraestructuras seguras y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Los estudios hidrológicos tienen una larga historia que se remonta a las civilizaciones antiguas, donde ya se reconocía la importancia de gestionar el agua para la agricultura, el control de inundaciones y el suministro de agua potable. En la actualidad, la hidrología ha evolucionado para integrar técnicas modernas de recolección de datos, modelos matemáticos y herramientas de simulación computacional, lo que ha mejorado significativamente la precisión y alcance de los análisis.

La topografía es uno de los factores más determinantes en un estudio hidrológico, ya que la pendiente, la elevación y la forma del terreno influyen en el movimiento del agua. El análisis topográfico se realiza mediante el uso de mapas, modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) y levantamientos topográficos de alta precisión. La comprensión de la topografía del lugar permite definir las cuencas hidrográficas, los patrones de flujo y las áreas susceptibles a inundaciones o escorrentías.

El análisis de las precipitaciones es crucial en cualquier estudio hidrológico, ya que la cantidad, intensidad y distribución temporal de la lluvia afectan directamente el volumen de escurrimiento y la recarga de acuíferos. Se utilizan registros históricos de estaciones meteorológicas y datos satelitales para caracterizar el régimen pluviométrico de la zona. Además, se evalúan parámetros como la intensidad máxima en 24 horas y la distribución estacional de las lluvias, lo que ayuda a estimar eventos extremos, como tormentas intensas que podrían provocar avenidas significativas.

Para la predicción y análisis de avenidas y caudales, se emplean modelos hidrológicos que simulan el comportamiento del agua en la cuenca. Estos modelos pueden ser determinísticos o probabilísticos,

dependiendo de los datos disponibles y la precisión requerida. Entre los modelos más utilizados se encuentran el método racional, el modelo de escorrentía SCS-CN (Curva Número del Servicio de Conservación de Suelos), y modelos más complejos como HEC-HMS o SWMM, que permiten simular la respuesta hidrológica del terreno frente a eventos de precipitación. Estos modelos ayudan a prever caudales máximos y evaluar el riesgo asociado a fenómenos hidrometeorológicos extremos.

El desarrollo de un estudio hidrológico completo integra múltiples componentes interrelacionados que permiten evaluar el comportamiento de los recursos hídricos en un área determinada. La topografía del lugar, el estudio de las precipitaciones y la estimación de avenidas y caudales son fundamentales para proporcionar información valiosa que facilite la toma de decisiones en la gestión de proyectos hidráulicos y la protección de la infraestructura y la población frente a riesgos relacionados con el agua.

II.OBJETIVO

Determinar los caudales de avenidas de escurrimiento y área de inundación de una corriente que forma un aluvión en costa.

Objetivos Particulares

1. Analizar la topografía de la cuenca hidrográfica y su influencia en el escurrimiento y distribución del agua.
 - a. Utilizar modelos digitales de elevación (DEM) para identificar áreas con diferentes pendientes y características geomorfológicas que influyen en el flujo del agua.
 - b. Delimitar las subcuencas y determinar los puntos críticos susceptibles a inundaciones o concentraciones de caudal.
2. Evaluar el régimen de precipitaciones en la zona de estudio, considerando su distribución temporal y espacial.
 - a. Recopilar y analizar datos históricos de precipitaciones provenientes de estaciones meteorológicas y fuentes satelitales para caracterizar el comportamiento pluviométrico de la región.
 - b. Estimar la frecuencia y magnitud de eventos de precipitación extrema, con el fin de evaluar su impacto potencial sobre los caudales y el riesgo de avenidas.
3. Aplicar modelos hidrológicos para la estimación de caudales máximos y el análisis de avenidas.
 - a. Utilizar modelos hidrológicos, como el método SCS-CN, para simular el comportamiento del agua en la cuenca frente a diferentes escenarios de precipitación.
 - b. Identificar los caudales máximos esperados y analizar las medidas necesarias para mitigar los riesgos de inundaciones o daños a la infraestructura.
4. Modelar los caudales obtenidos para conocer los tirantes y velocidades del escurrimiento en la zona de estudio.

III.HIPÓTESIS

Un TR de 1000 años provoca que el aluvión incremente su área de inundación.

IV. REVISION DE LITERATURA.

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se localiza en la mesa Boca del Álamo, en la ranchería Boca del Álamo municipio de la Paz Baja California Sur. A 2.5 km. Hacia el Nor Poniente. En vertiente oriental de la sierra el Carrizal. Las coordenadas del centroide del predio son: 23° 54' 17.6968" Lat. N, 109° 49' 14.8343" Lon. W colinda al Noreste con el litoral del Golfo de California, al Nor poniente con la localidad Piedras Primas y los Magallones, al Sureste con lomerío de la sierra El Carrizal y al Sureste con la mesa Boca del Álamo.

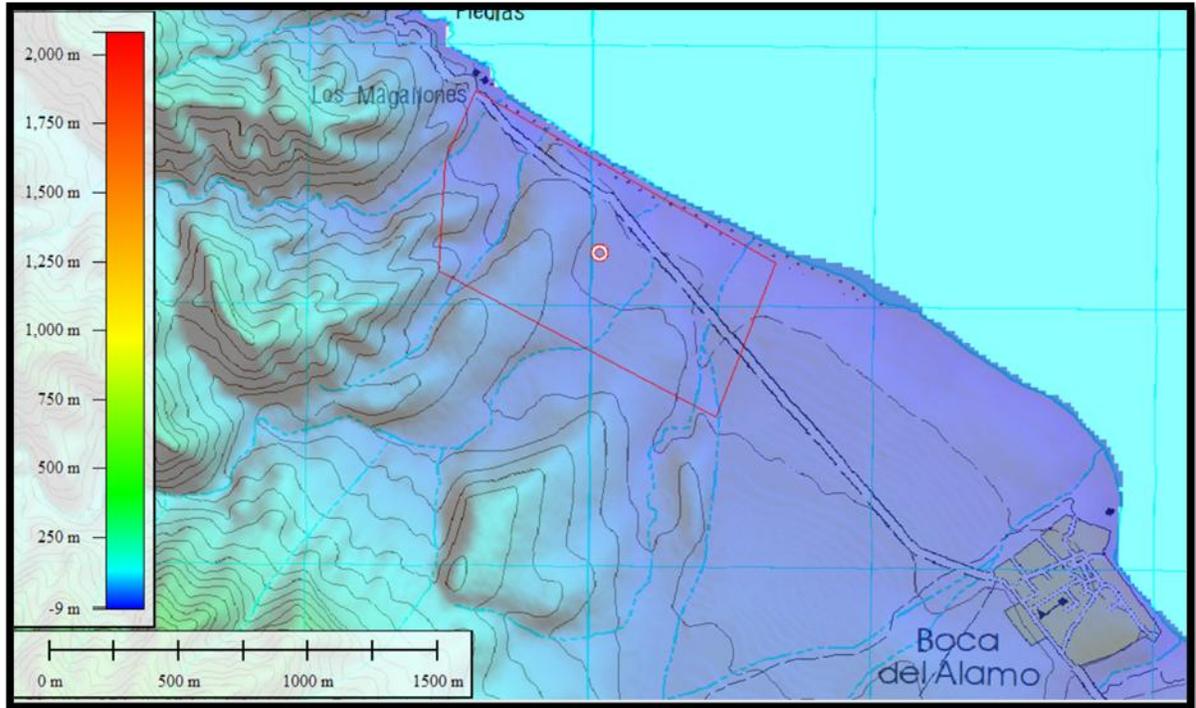


Figura 1 Localización del sitio de estudio.

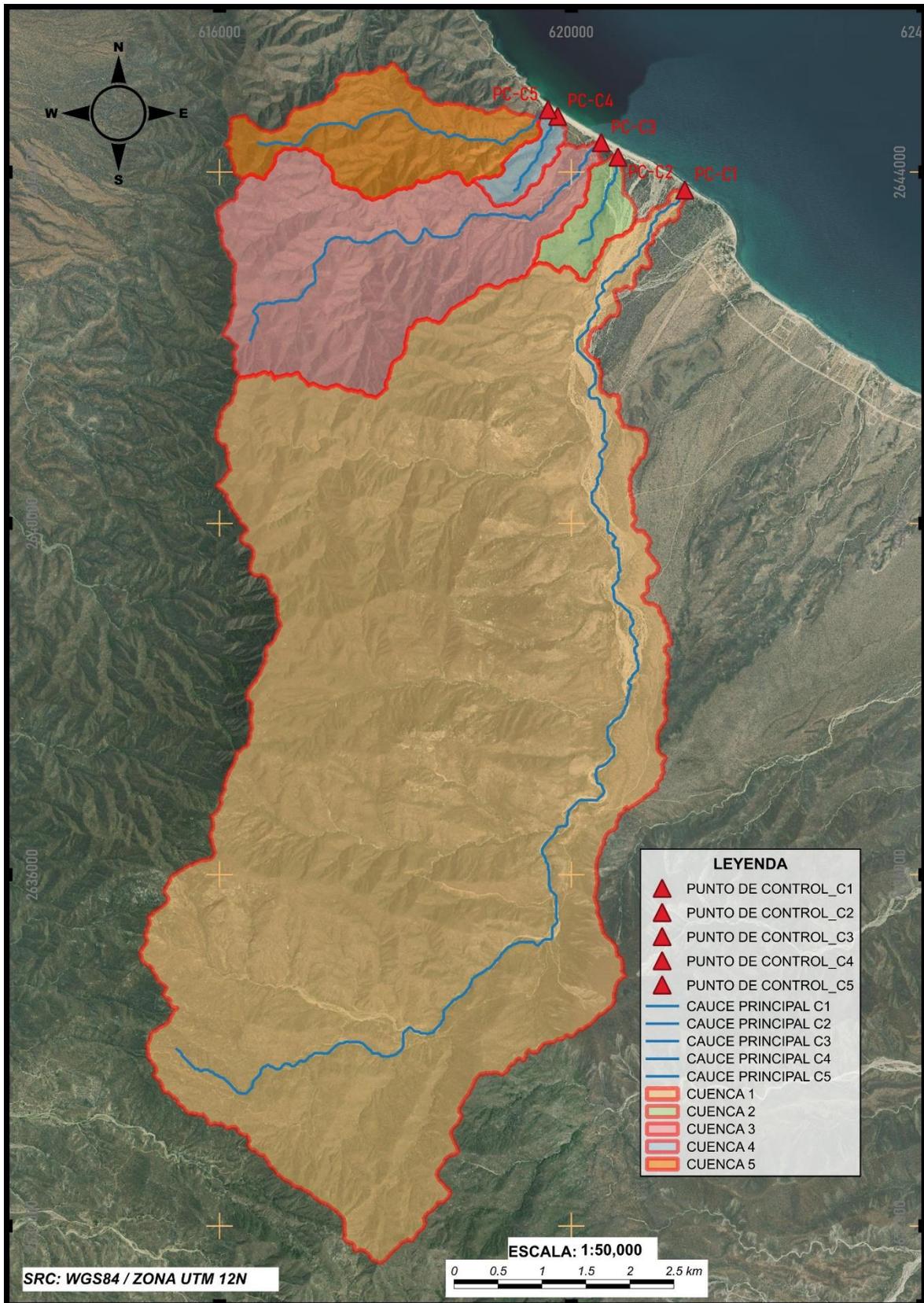


Figura 2 Vista de los puntos de control, cauces principales y cuencas que afectan al área de estudio.

4.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Por el predio atraviesa el camino vecinal Los Barriles – Santa Teresa, localizándose a aproximadamente 2.5 km del poblado Boca del Álamo, hacia el sur sureste.

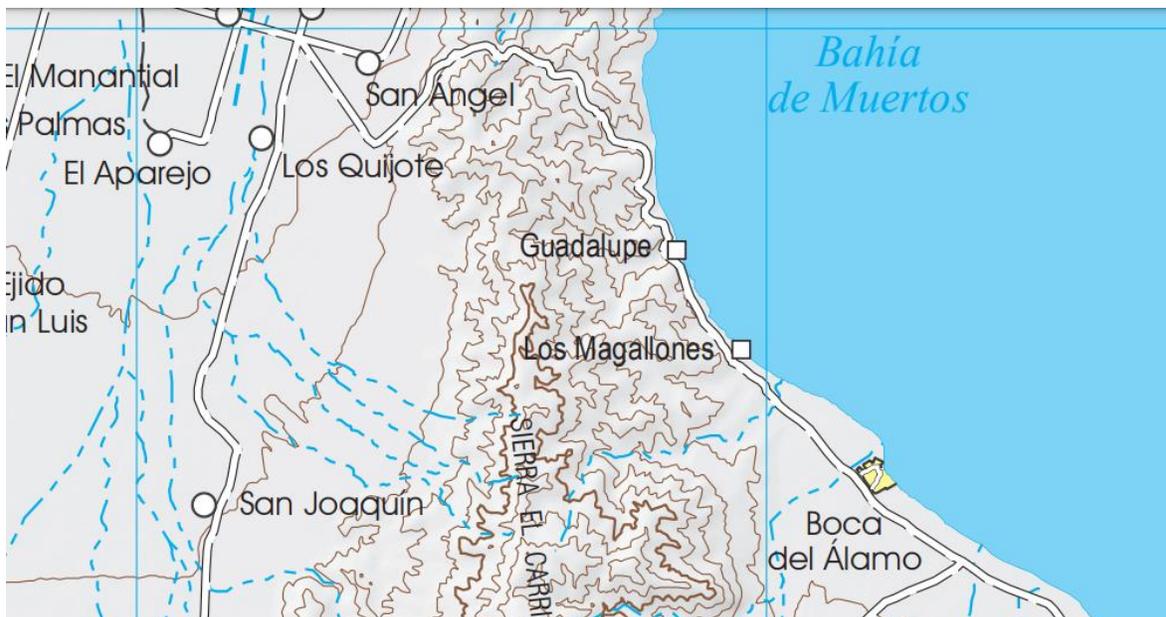


Figura 3 Vías de comunicación en la zona de estudio.

4.3 POBLACIÓN

El predio en estudio, Piedras Primas, no cuenta actualmente con algún núcleo de población, siendo el más cercano, la ranchería de Boca del Álamo.

Los núcleos de población de consideración más cercanos a Piedras Primas son al sur, El Cardonal y al norte San Juan de los Planes, ambos por el camino Los Barriles - Santa Teresa.

Cuadro 1 Evolución de la población de Boca del Álamo.

Datos de población en Boca del Álamo

| Año | Habitantes Mujeres | Habitantes hombres | Total habitantes |
|------|--------------------|--------------------|------------------|
| 2020 | 25 | 34 | 59 |
| 2010 | 44 | 56 | 100 |
| 2005 | 38 | 49 | 87 |

4.4. CLIMA

El clima del sitio en estudio presenta variantes ya que pertenece a uno de los municipios con la precipitación anual más baja del país; sin embargo, está expuesto a la presencia de fenómenos hidrometeorológicos que se originan en el Pacífico nororiental, los cuales generan precipitaciones muy altas en lapsos muy cortos. Durante la temporada de ciclones tropicales, ha padecido históricamente los daños provocados por los fuertes vientos, las mareas altas, las inundaciones y los escurrimientos súbitos ocasionados por las intensas lluvias que descargan este tipo de fenómenos, así como los efectos de las tormentas eléctricas. Clima en el sitio del estudio es muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.

El clima de la zona se encuentra condicionado por la interacción de tres factores principales:

El primero de ellos es el factor que mayormente influye debido a que la zona se subtrópica de alta presión. En esta zona los vientos son descendentes, frescos y secos, estos evitan que se lleven a cabo los procesos de condensación y precipitación de la humedad atmosférica, interrumpiendo por tanto en la precipitación pluvial.

El segundo factor, el relieve, caracterizado por cadenas montañosas Golfo, condiciona el ascenso del viento y el descenso de la presión atmosférica y constituyendo una limitante para la circulación regional de los vientos y la relación entre el Mar de Cortés y Océano Pacífico, y finalmente, el tercer factor determinante del clima en esta zona es la cercanía marina, las corrientes imprimen condiciones particulares en la zona, las áreas cercanas al mar presentan temperaturas más bajas con relación a las que se presentan en el continente.

El mes más seco del año es mayo. En verano las lluvias que se presentan se encuentran relacionadas con las características del relieve, encontrando mayor precipitación en las altas montañas y asociada a movimientos ascendentes de aire húmedo, siendo los meses de agosto y septiembre los meses de mayor precipitación. Los vientos dominantes en primavera provienen del oeste y sur; en verano, del sur y suroeste; en otoño, del noroeste; y en invierno, del norte y noroeste.

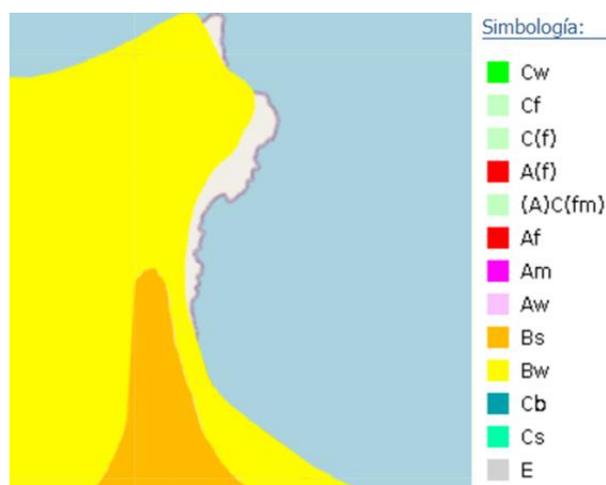


Figura 4 Clima de la zona de estudio.

El clima predominante en la zona es muy seco, con temperaturas que oscilan entre los 18°C y los 22°C de media anual. Las temperaturas más altas alcanzan los 35°C durante julio y agosto, mientras que las más bajas rondan los 9°C en enero. La precipitación anual es muy baja, inferior a los 200 mm, concentrándose principalmente en los meses de verano. Este clima árido limita la actividad agrícola, que se realiza principalmente con riego

4.5 HIDROGRAFÍA

- Región Hidrográfica: RH06
- Nombre de la región hidrológica: Baja California Sur (La Paz)
- El sitio en el área de estudio pertenece a la subcuenca: RH06Ad
- Condición de las corrientes: intermitentes

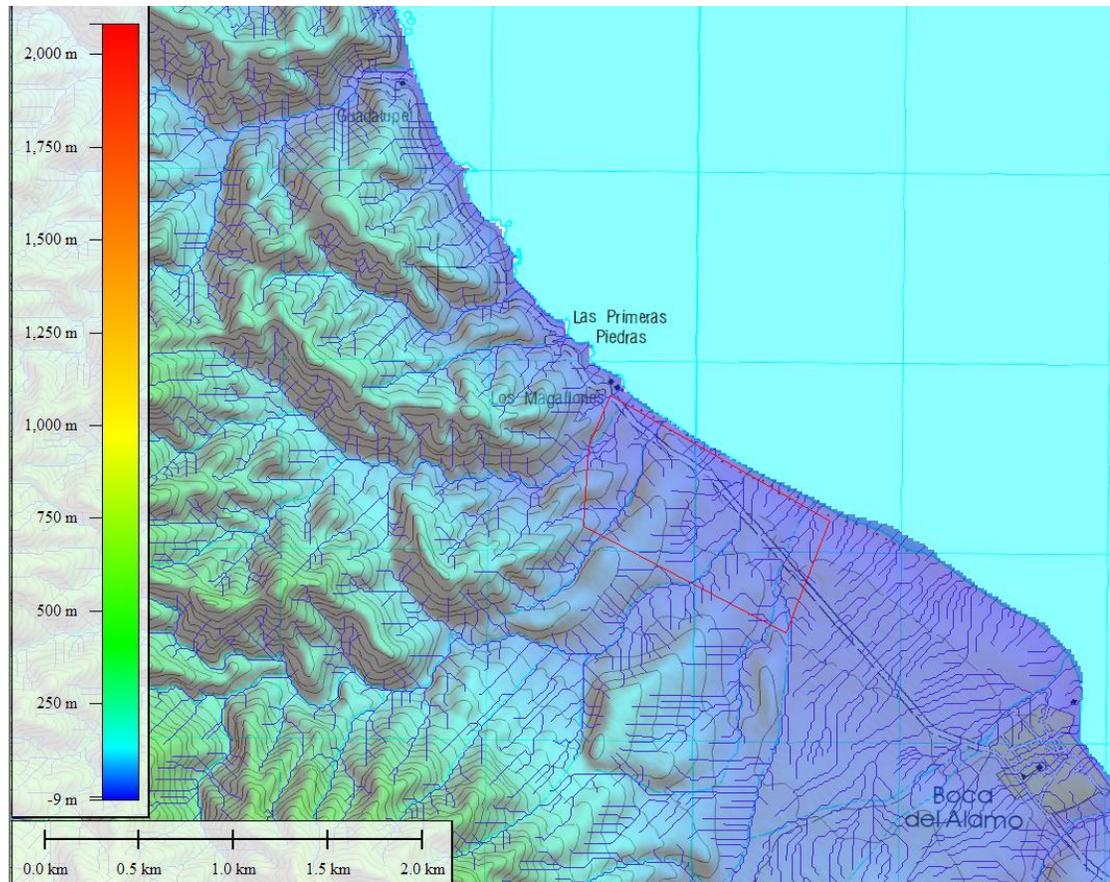


Figura 5 Hidrografía de la región circundante a la zona de estudio.

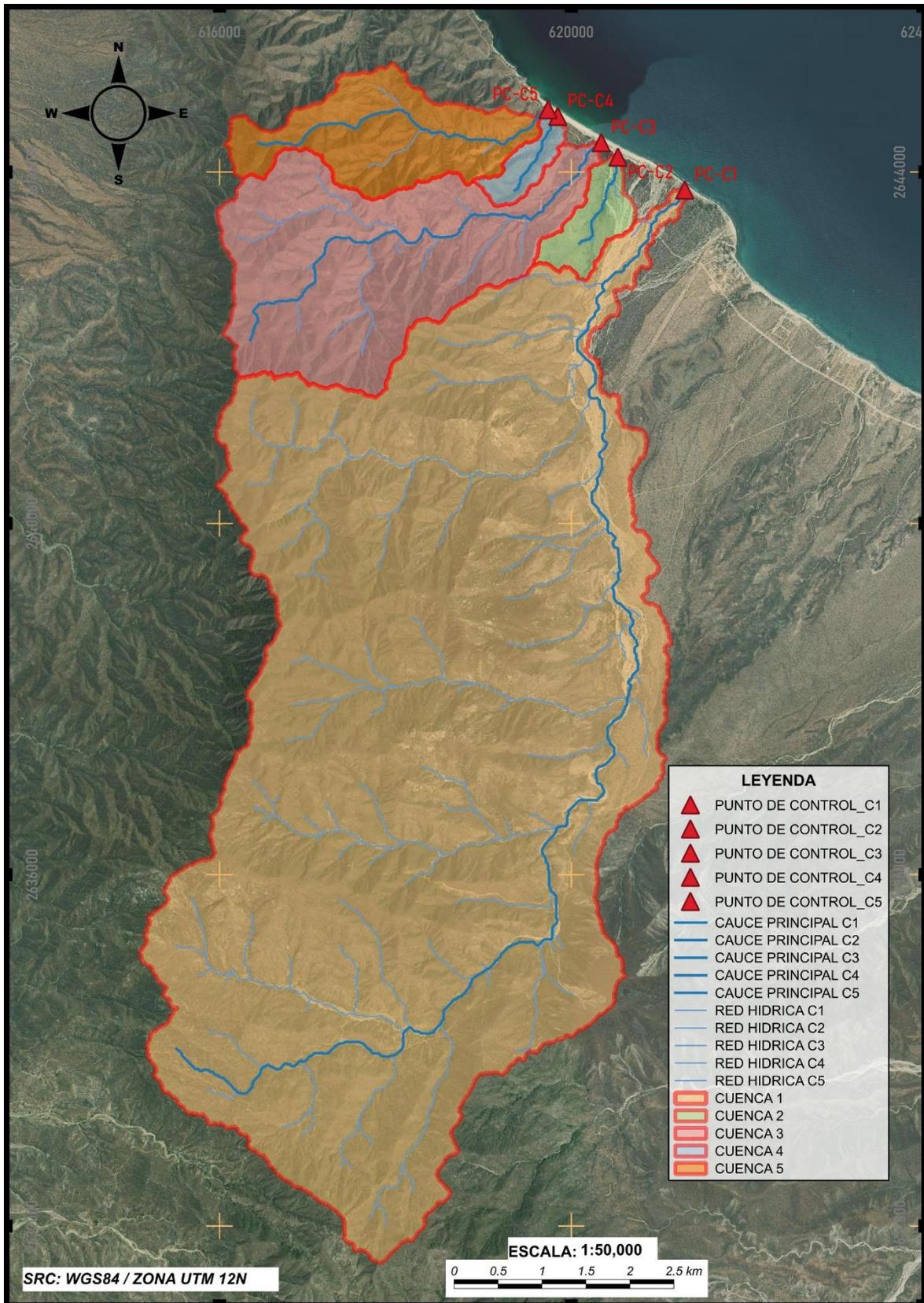


Figura 6 Delimitacion de las cuencas que influyen en la zona de estudio.

4. 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.

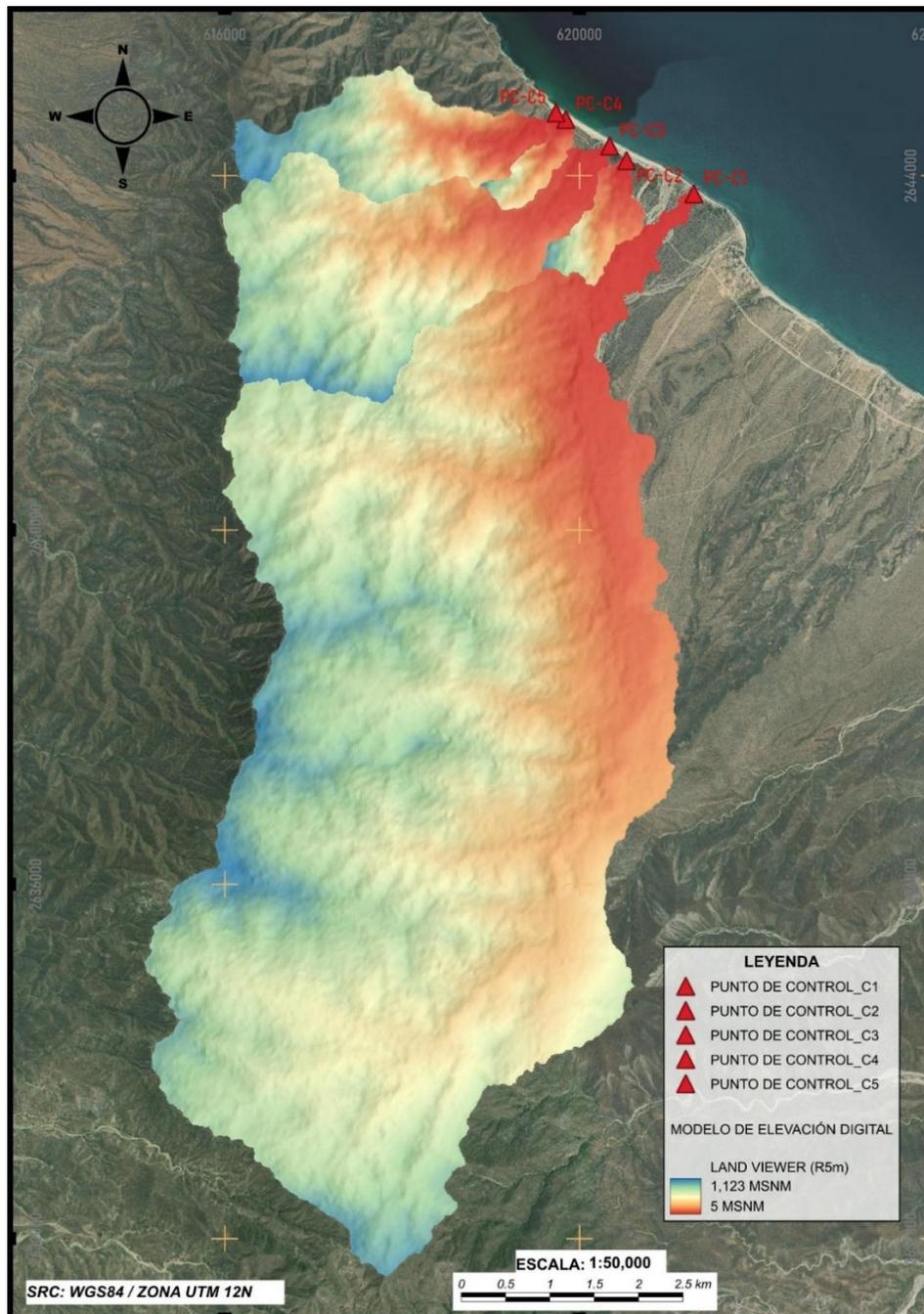


Figura 7 Topografía del área de estudio.

V. MODELO FISIAGRÁFICO – GEOMORFOLÓGICO

5.1 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 delimitaron cinco cuencas las cuales fueron nombradas; C1, C2, C3, C4 y C5, pero solo la corriente de la C1 influye en la formación del aluvión.

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

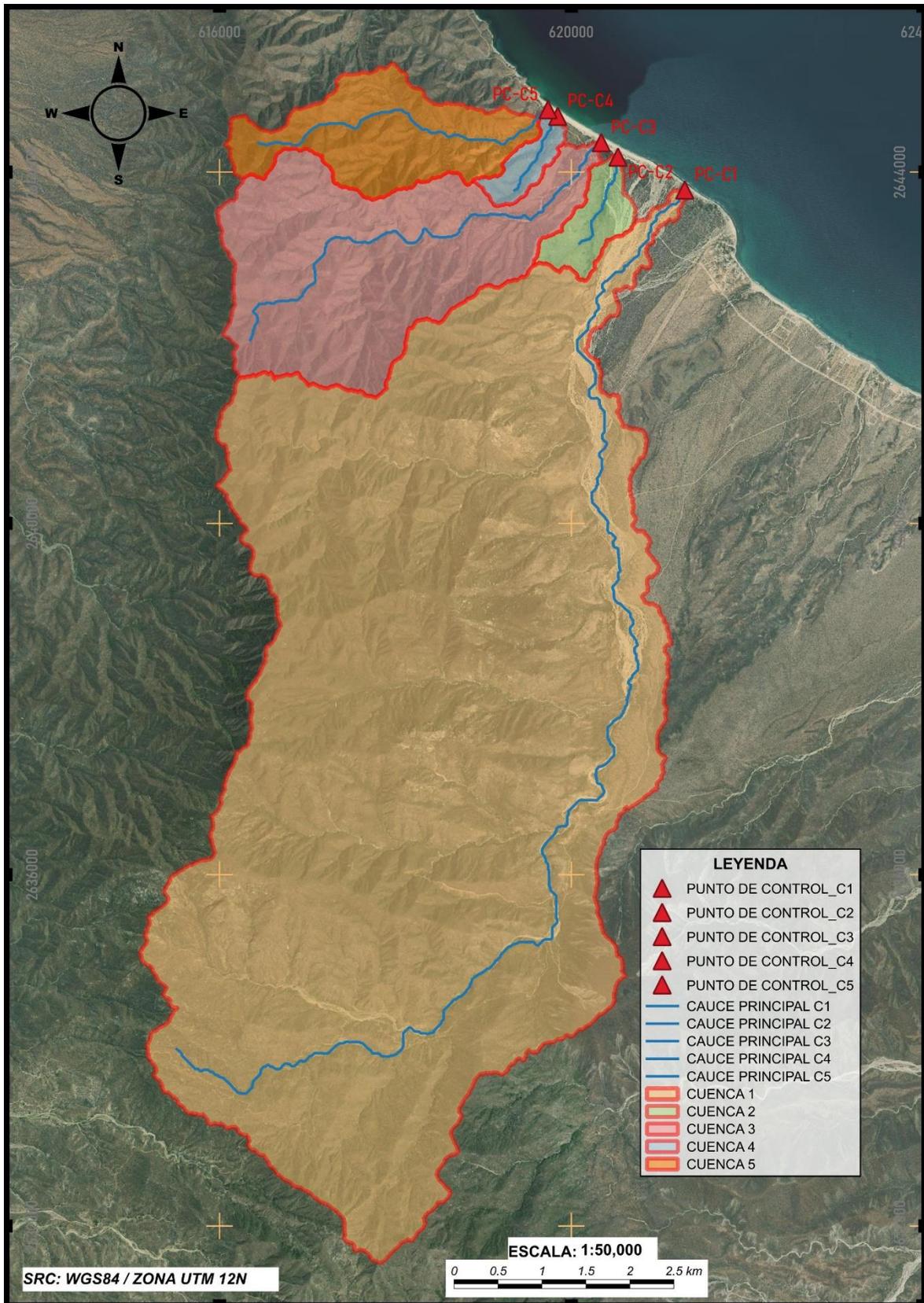


Figura 8 Cuencas, Puntos de control y cauces principales en la zona de estudio.

5.2 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 (Dc) 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.

Como se puede observar en el siguiente cuadro, la cuenca C1 tiene un área de 44 km².

Cuadro 2 Parámetros fisiográficos del área de estudio.

| Parámetro | Unidad | C1 |
|------------------------------|---|-------|
| Área | km ² | 43.97 |
| Perímetro | km | 50.75 |
| Long. de Cuenca | km | 12.70 |
| Long. de Cauce | km | 16.84 |
| Ancho de Cuenca | km | 3.46 |
| Relación de Elongación Re | Re = 0.9 - 1.0 Relieve Bajo, Re =0.6 -0.8 Relieve Fuerte | 0.59 |
| Índice de compacidad Cc | kc = 1 c. circular, kc =2 c. alargada | 2.14 |

5.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Pendiente media del cauce está relacionada directamente 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.

Cuadro 3 Parámetros geomorfológicos de las cuencas de estudio.

| Parámetro | Unidad | C1 |
|-------------------------------------|----------|--------|
| Pendiente Media de la Cuenca | % | 40.80 |
| Pendiente Media del Cauce Principal | m/m | 0.06 |
| Altitud media de la cuenca | m.s.n.m. | 578.04 |
| RECTANGULO EQUIVALENTE | | |
| Lado menor | km | 23.50 |
| Lado mayor | km | 1.87 |

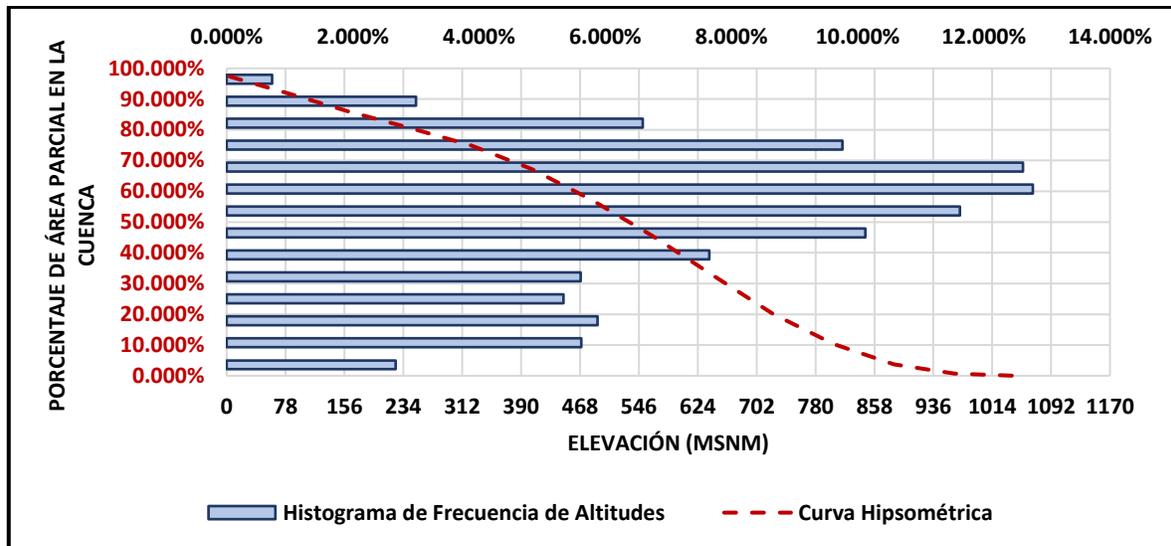


Figura 9 Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia de Altitudes C1.

5.4 DATOS BÁSICOS

5.4.1. 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: Matorral sarcocaula, tipo de vegetación caracterizado por la dominancia de arbustos de tallos carnosos, gruesos frecuentemente retorcidos y algunos con corteza papirácea. Se extiende desde el sur de Baja California hasta la región de los Cabos en Baja California Sur, la mayor extensión de la cuenca en estudio es ocupada por selva baja caducifolia esta se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semi-secos o subsecos. El más común es Aw, aunque también se presenta BS y Cw. La temperatura media anual entre los 18 a 28 °C. las precipitaciones anuales se encuentran entre 300 a 1500 mm. Con una estación seca bien marcada que va de 6 a 8 meses la cual es muy severa.

Se le encuentra desde el nivel del mar hasta unos 1900 m, rara vez hasta 2000 m de altitud, principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje, en la vertiente del golfo no se le ha observado arriba de 800 m la cual se relaciona con las bajas temperaturas que ahí se tiene si se le compara con lugares de igual altitud de la vertiente del pacífico.

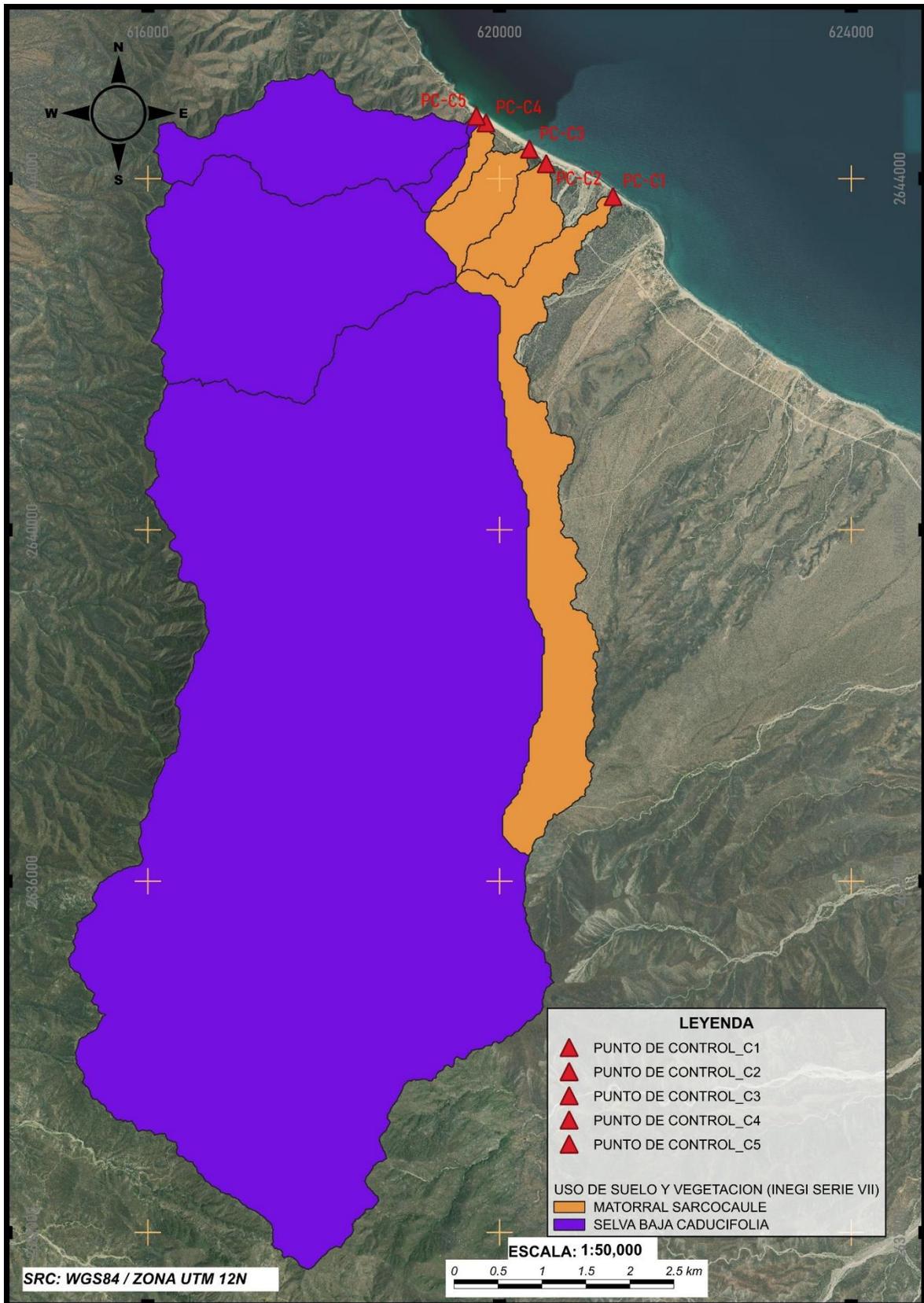


Figura 10 Mapa de uso de suelo y vegetación de las cuencas de estudio (INEGI serie VII).

5.4.2. 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 11 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 intermontanas 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.

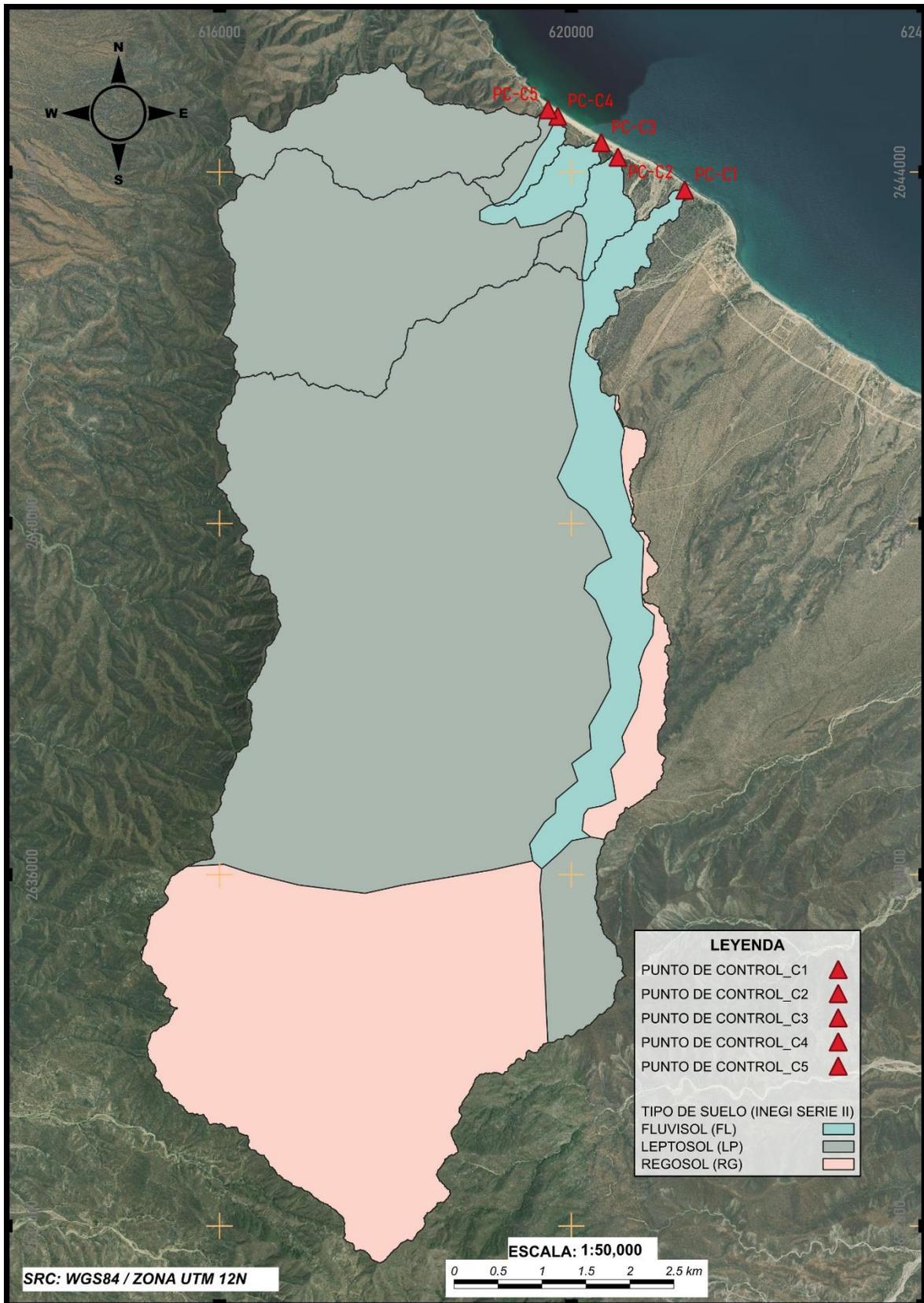


Figura 111 Mapa de tipo de suelo de las cuencas de estudio (INEGI serie II)

5.4.3. 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.

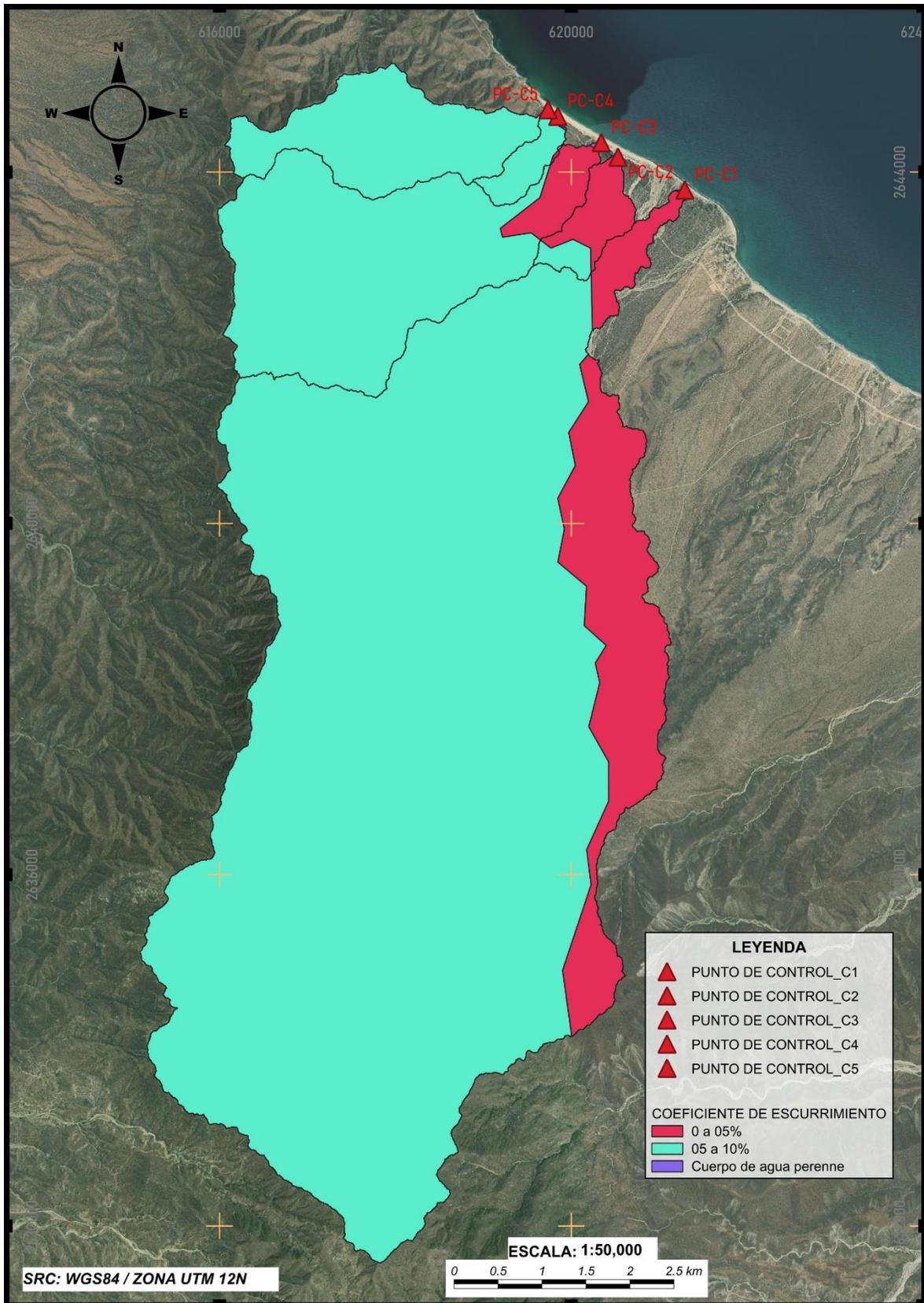


Figura 12 Coeficiente de escurrimiento en la zona de estudio.

5.5. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO

5.5.1. METODOLOGÍAS POR EMPLEAR

5.5.1.1. 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.

5.5.1.2. 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.

5.5.1.3. 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.

5.5.1.4. 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.

5.5.2 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.

5.5.3 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.

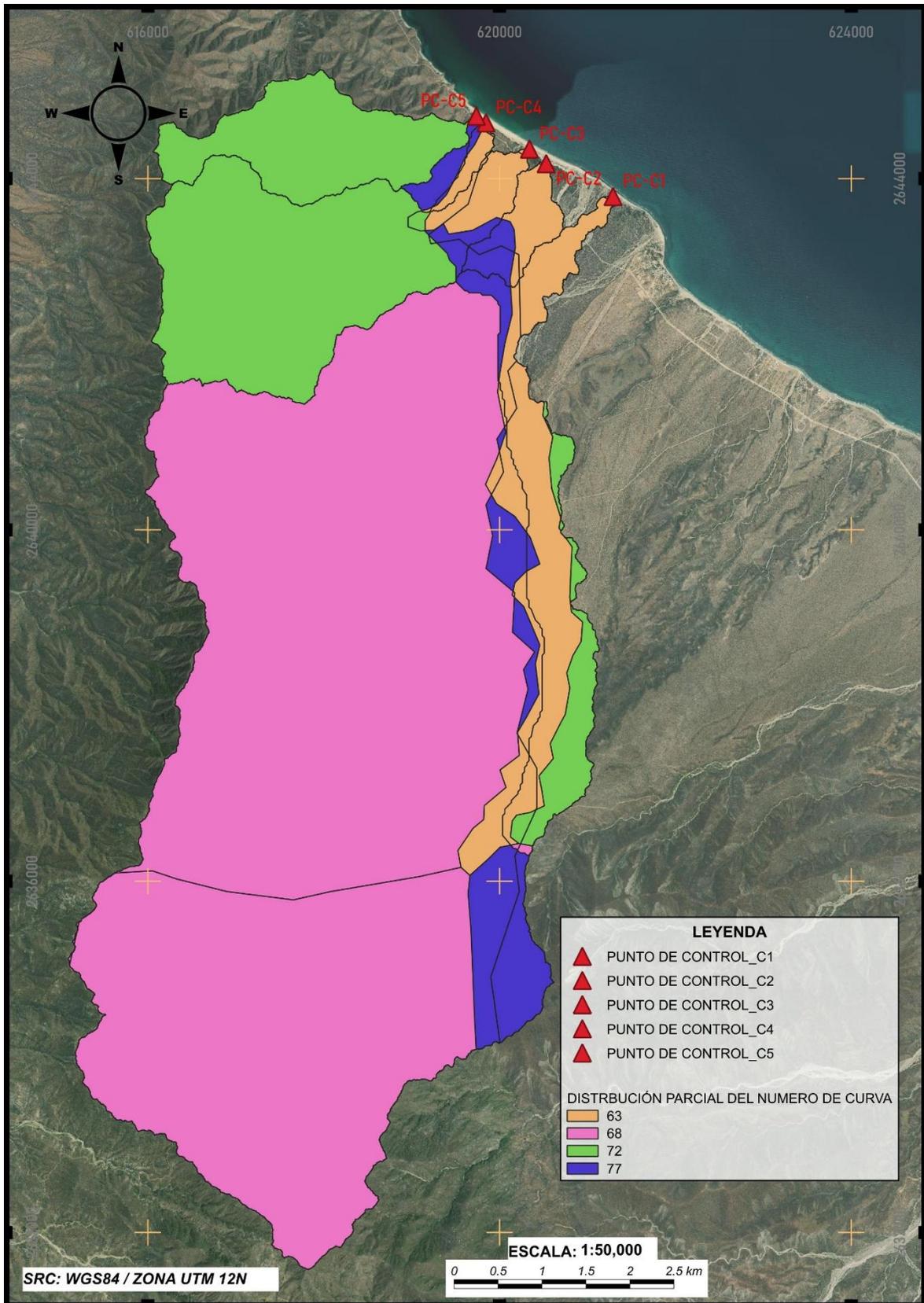


Figura 12 Distribución parcial del número de curva de la zona de estudio.

5.5.3.1 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 solo dos grupos A y B bajo condiciones de cobertura pobre y buena.

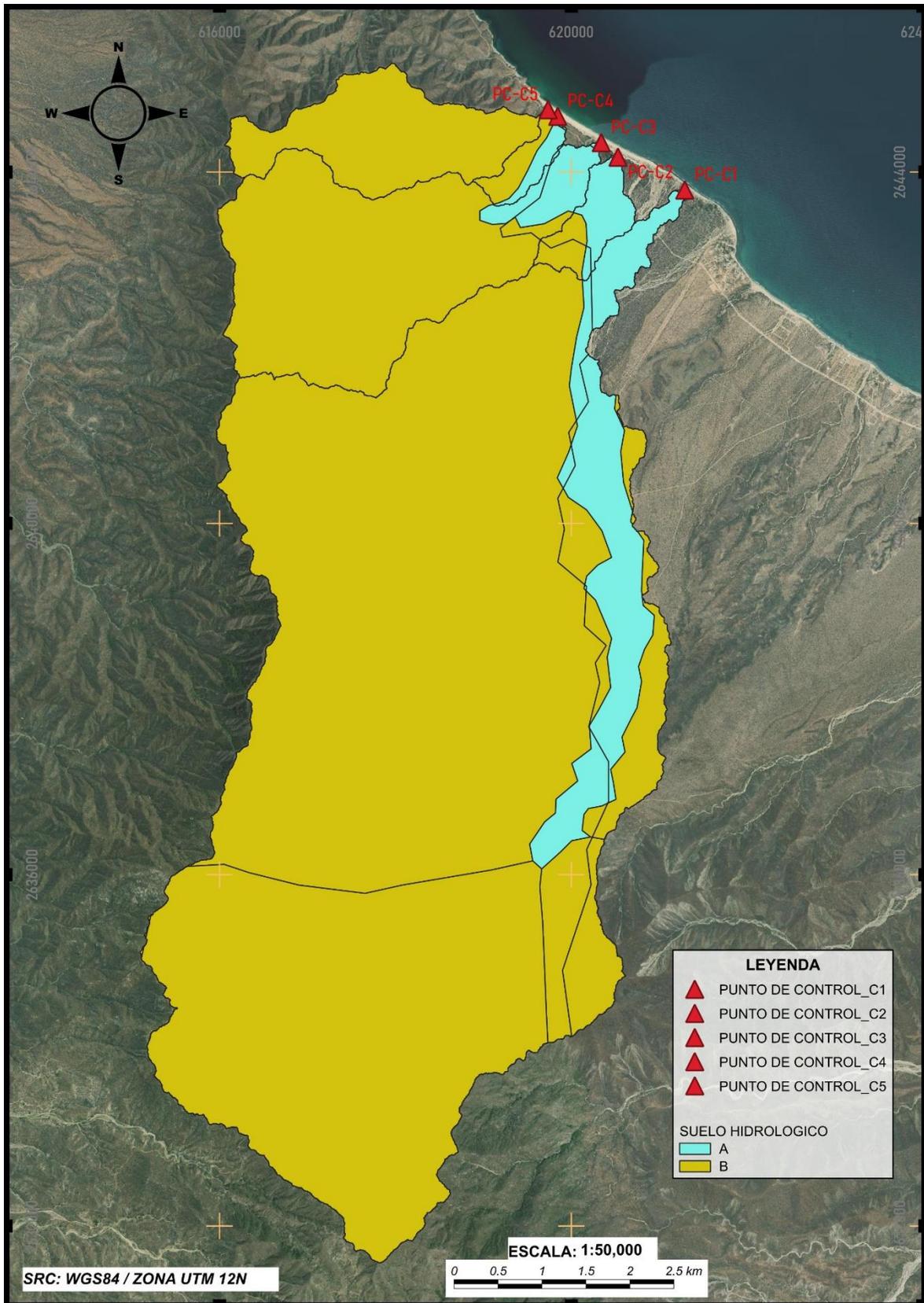


Figura 14 Tipo de suelo hidrológico de las cuencas de estudio.

5.5.3.2 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 4 Coeficiente CN por cuenca.

| Cuenca | CN |
|--------|----|
| C1 | 68 |

| Cover description | Hydrologic condition ^{2/} | Curve numbers for hydrologic soil group | | | |
|--|------------------------------------|---|----|----|----|
| | | 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, a los datos de la estación 3197 se les realizó limpieza y determinación de datos faltantes para esto se apoyó con la estación más cercana que es la estación 3050.

Cuadro 5 Datos de estaciones utilizadas.

| | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Estación: | 3197 | 3097 |
| Nombre: | La palmilla | San Juan de los Planes |
| Estado: | Baja California Sur | Baja California Sur |
| Municipio: | La Paz | La Paz |
| Latitud: | 23.7922 | 23.9680 |
| Longitud: | -109.875 | -109.9361 |
| Altura (msnm): | 540 | 20 |
| Situación: | Operando | Operando |
| Datos desde: | 1 de noviembre de 2000 | 01 de octubre de 1951 |
| Hasta: | 31 de diciembre de 2023 | 15 de julio de 2024 |
| Total, de registro utilizado | 23 años | 57 años |

Cuadro 6 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 3197.

| Año | Ene | Feb. | Mar | Abri | May | Juni | Julio | Agos | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 2001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 605.9 | 0 | 0 | 0 |
| 2002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 29 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.4 | 0 | 280 | 4.5 | 0 | 0 |
| 2004 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66.5 | 36 | 12.4 | 23.3 | 0 | 5.5 |
| 2005 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 2006 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 | 31 | 433 | 0 | 0 | 0 |
| 2007 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 358 | 0 | 0 | 0 |
| 2008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2009 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 40 | 0 | 0 | 5 |
| 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 20 | 32 | 30 | 0 | 5 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|----|---|----|-----|------|------|-----|------|------|----|
| 2013 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 23 | 53 | 24 | 0 | 0 |
| 2014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61 | 56 | 125 | 54.5 | 0 | 5 |
| 2015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 34.5 | 35 | 25 | 24 | 0 | 0 |
| 2016 | 0 | 11.5 | 12 | 0 | 0 | 0 | 5 | 89 | 81 | 8 | 0 | 0 |
| 2017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.5 | 329 | 15 | 27.5 | 0 | 0 |
| 2018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 117 | 25 | 27 | 24 | 47 | 0 | 22 |
| 2019 | 11.3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 164 | 75 | 81.5 | 0 |
| 2020 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.7 | 38.5 | 47 | 0 | 0 | 6 |
| 2021 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 35 | 10 | 120 | 145 | 20 | 0 | 0 |
| 2022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 29 | 129 | 0 | 0 | 0 |
| 2023 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 42.5 | 25 | 299 | 3 | 0 |

Cuadro 7 Información climatológica de lluvias máximas en 24 horas, estación 3097.

| Año | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agos. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 1952 | 0.01 | 0.01 | 0 | 24 | 0.01 | 0 | 2 | 14 | 26 | 0 | 0 | 11 |
| 1953 | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 60 | 150 | 22 | 19.5 | 2.5 | 0.2 |
| 1954 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 79 | 17 | 6 | 4 | 0 | 0 |
| 1955 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 70 | 40 | 60 | 0 | 0 |
| 1956 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 4 | 0 | 0 | 18 | 0.3 | 5 |
| 1957 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 15 | 0 | 0 | 45 |
| 1958 | 30 | 20 | 5 | 0 | 0.1 | 0 | 30 | 25 | 40 | 100 | 20 | 5 |
| 1959 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 170 | 17 | 0 | 13 |
| 1960 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 17 | 5 | 25 | 0 | 7 |
| 1961 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 37 | 17 | 0 | 8 |
| 1962 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 | 14 | 0 | 0 |
| 1963 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 24 | 8 | 3 | 0 | 55 |
| 1964 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 10 | 53 | 20 | 0 | 0 |
| 1965 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 55 | 38 | 16 | 3 | 2 | 20 |
| 1966 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 22 | 0 | 0 | 25 |
| 1967 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 40 | 33 | 17 | 15 | 11 |
| 1968 | 15 | 33 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 2 | 3 | 5 |
| 1970 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 1971 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 30 | 9 | 0 | 5 |
| 1972 | 12 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 24 | 10 | 10 | 40 | 20 | 0 |
| 1973 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 37 | 110 | 0 | 0 | 0 |
| 1974 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 12 | 14 | 0 | 5.6 | 2 |
| 1975 | 14 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 3 | 12 | 10 | 0 | 0 |
| 1976 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 160 | 14 | 16 | 11 |
| 1977 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 5 | 4 | 0 |
| 1978 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 69 | 10 | 0 | 0 |
| 1979 | 8 | 11 | 0 | 0 | 24 | 0 | 10 | 9 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 1980 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8 | 5 | 12 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|------|------|
| 1981 | 27 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 12 | 24 | 80 | 50 | 0 | 0 |
| 1982 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 140 | 0 | 18 | 31 |
| 1983 | 12 | 2 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 43 | 55.4 | 30 | 6.1 | 15.5 |
| 1984 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.3 | 22.4 | 30 | 3.4 | 0 | 20.5 |
| 1985 | 17.5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 20 | 30 | 16 | 2.5 | 0 |
| 1986 | 0 | 0 | 0 | 14.5 | 0 | 0 | 21.5 | 35 | 14.5 | 35 | 0 | 16 |
| 1987 | 0 | 0 | 0 | 4.5 | 0 | 0 | 28.4 | 2 | 2 | 68.7 | 5.5 | 0 |
| 1988 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0.1 | 36 | 0 | 0 |
| 1989 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.9 | 28.5 | 4.5 | 0 | 8 | 33 |
| 1994 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 5 | 2 | 0 | 20 | 18 |
| 1997 | 31 | 0 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 37.5 | 1 |
| 1999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 30 | 10.5 | 0 | 0 | 0 |
| 2001 | 1 | 0 | 5 | 0 | 1.8 | 0 | 0 | 2 | 240 | 2 | 2 | 0 |
| 2002 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 13 | 5 | 2 | 1.5 |
| 2003 | 5.5 | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 | 163 | 2 | 0 | 0 |
| 2004 | 24 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 39 | 3.5 | 13.5 | 0 | 0.01 |
| 2005 | 3 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 28 | 0 | 0 | 0 |
| 2006 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 10.5 | 299.5 | 14 | 0 | 0.01 |
| 2007 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 229 | 3 | 1 | 3 |
| 2008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 7 | 9 | 4 | 0 | 0 |
| 2009 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 70 | 27 | 0 | 10 |
| 2010 | 1 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 58 | 1 | 0 | 0 |
| 2011 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 17 | 1 | 16 | 0 |
| 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 74 | 4 | 0 | 10 |
| 2013 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 57 | 10 | 2 | 3 |
| 2014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 23 | 106 | 2 | 0 | 0 |
| 2015 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 | 9 | 28 | 22 | 57 | 0 |
| 2016 | 0 | 0 | 3.5 | 0.01 | 0.01 | 0.5 | 0.01 | 23 | 40 | 0 | 1 | 0 |
| 2017 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 124 | 0 | 0 | 0 | 0.01 |

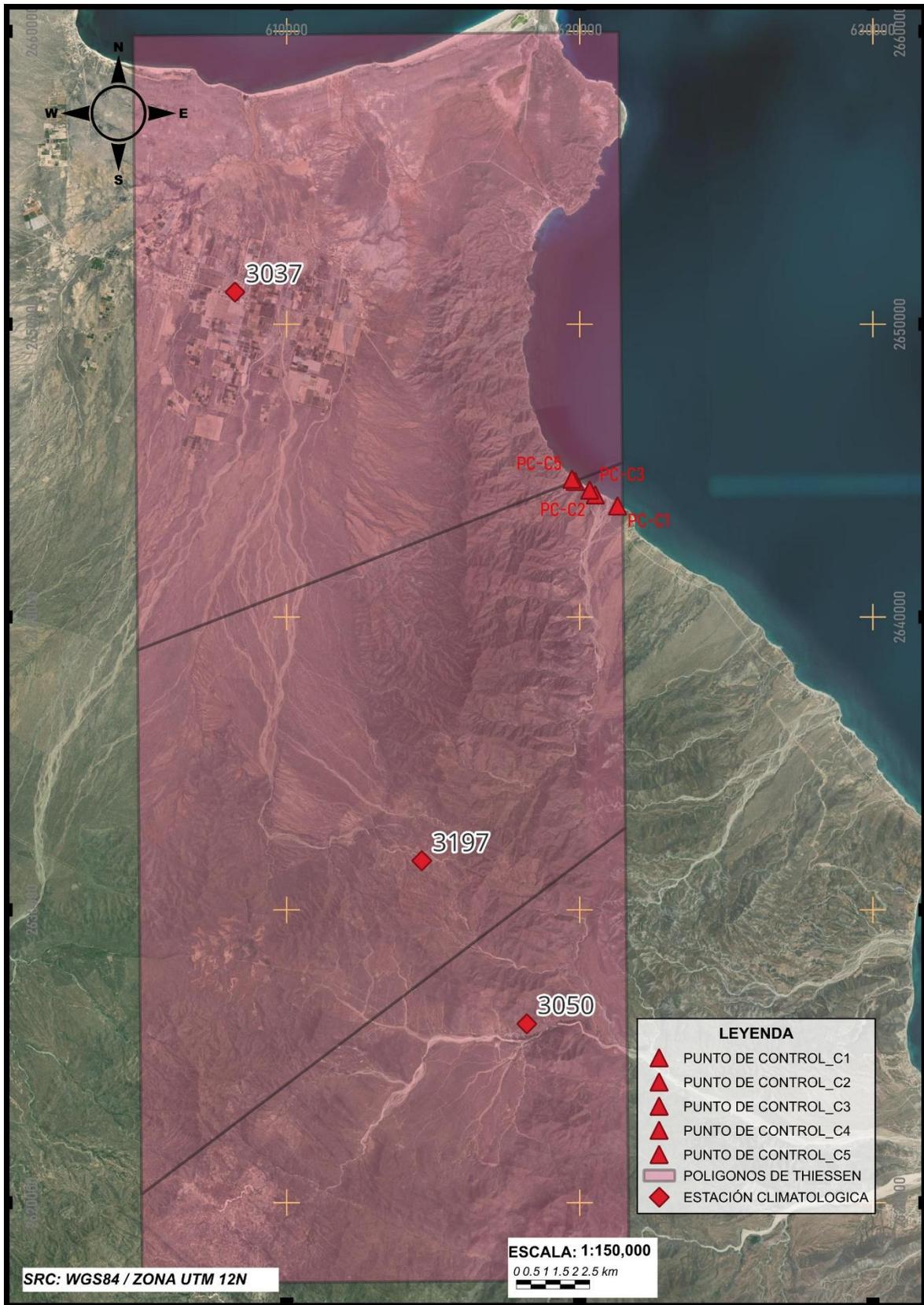


Figura 13 Polígonos de Thiessen sobre el área de estudio.

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 3197

| Datos de Cálculo | |
|------------------|-------|
| \bar{y} | 1.961 |
| S_y | 0.453 |
| Σn | 23 |
| K_n | 2.448 |
| y_H | 3.069 |
| y_L | 0.853 |

| 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 3037

| Datos de Cálculo | |
|------------------|-------|
| \bar{y} | 1.705 |
| S_y | 0.342 |
| Σn | 57 |
| K_n | 2.738 |
| y_H | 2.643 |
| y_L | 0.768 |

| Datos Prueba | |
|--------------|------------|
| P_H | 439.652 mm |
| P_L | 5.859 mm |

| Precipitaciones registradas | | |
|-----------------------------|------------|------|
| $P_{max} 24hrs$ | 299.500 mm | BIEN |
| $P_{min} 24hrs$ | 11.000 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, donde las dos series de precipitaciones de la 3197 y 3037 tienen homogeneidad en sus series de datos.

Estación 3197

| PRUEBA DE HELMERT | |
|-------------------|---------|
| NO. DATOS: | 23.000 |
| MEDIA: | 151.757 |
| S - C: | 12.000 |
| TOTAL "C": | 10.000 |
| S - C: | 2.000 |
| $(n_j - 1)^{1/2}$ | 4.690 |

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

| | | | | |
|--------------|----|---|----|-------|
| -4.690 | <= | 2 | <= | 4.690 |
| ES HOMOGENEA | | | | |

| AÑO | $P_{max} 24hrs$ | D | SIGNO |
|------|-----------------|---------|-------|
| ---- | mm | mm | ---- |
| 2001 | 605.9 | 454.14 | |
| 2002 | 29.0 | -122.76 | C |
| 2003 | 280.0 | 128.24 | C |
| 2004 | 66.5 | -85.26 | C |
| 2005 | 30.0 | -121.76 | S |
| 2006 | 433.0 | 281.24 | C |
| 2007 | 358.0 | 206.24 | S |

| | | | |
|------|-------|---------|---|
| 2008 | 20.0 | -131.76 | C |
| 2009 | 39.0 | -112.76 | S |
| 2010 | 40.0 | -111.76 | S |
| 2011 | 23.0 | -128.76 | S |
| 2012 | 34.0 | -117.76 | S |
| 2013 | 53.0 | -98.76 | S |
| 2014 | 125.0 | -26.76 | S |
| 2015 | 35.0 | -116.76 | S |
| 2016 | 89.0 | -62.76 | S |
| 2017 | 329.0 | 177.24 | C |
| 2018 | 117.0 | -34.76 | C |
| 2019 | 164.0 | 12.24 | C |
| 2020 | 47.0 | -104.76 | C |
| 2021 | 145.0 | -6.76 | S |
| 2022 | 129.0 | -22.76 | S |
| 2023 | 299.0 | 147.24 | C |

| PRUEBA DE T STUDENT | | | |
|---------------------|---------|-------------|---------|
| Grupo 01 | | Grupo 02 | |
| NO. DATOS: | 11.000 | NO. DATOS: | 11.000 |
| MEDIA: | 174.945 | MEDIA: | 115.182 |
| DESV. STD.: | 208.498 | DESV. STD.: | 84.559 |

| | |
|---------------------------|--------|
| GRADOS LIBERTAD (u) : | 20.000 |
| NIVEL SIGNIFICANCIA (a) : | 0.050 |
| VALOR T STUDENT (T) : | 2.086 |

$$X_1 - X_2: 59.764$$

$$n_1 * S_1^2: 478187.630$$

$$n_2 * S_2^2: 78651.800$$

$$1/n_1 + 1/n_2: 0.182$$

$$t_d: 0.840$$

| | | |
|--------------|-----|-------|
| 0.840 | '=< | 2.086 |
| ES HOMOGENEA | | |

| AÑO | P _{max24hrs} | AÑO | P _{max24hrs} |
|------|-----------------------|------|-----------------------|
| ---- | mm | ---- | mm |
| 2001 | 605.900 | 2012 | 34.000 |
| 2002 | 29.000 | 2013 | 53.000 |
| 2003 | 280.000 | 2014 | 125.000 |
| 2004 | 66.500 | 2015 | 35.000 |
| 2005 | 30.000 | 2016 | 89.000 |
| 2006 | 433.000 | 2017 | 329.000 |
| 2007 | 358.000 | 2018 | 117.000 |
| 2008 | 20.000 | 2019 | 164.000 |
| 2009 | 39.000 | 2020 | 47.000 |
| 2010 | 40.000 | 2021 | 145.000 |

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

=< HOMOGENEA

| 2011 | 23.000 | 2022 | 129.000 | >= |
|--------------------------|---------|------------|------------|----|
| PRUEBA DE CREAMER | | | | |
| | TOTAL | VALORES 60 | VALORES 30 | |
| NO. DATOS: | 23.000 | 14.000 | 7.000 | |
| MEDIA: | 151.757 | 116.357 | 175.714 | |
| DESV. STD.: | 157.902 | 95.845 | 101.631 | |
| t: | | -0.224 | 0.152 | |
| $n_w (n_j - 2) :$ | | 294.000 | 147.000 | |
| $n_j - n_w [1 + t_w^2]:$ | | 8.296 | 15.839 | |
| $t_w:$ | | -1.33 | 0.46 | |

NO
HOMOGENEA

GRADOS LIBERTAD (u) : 20.000
 NIVEL SIGNIFICANCIA (a) : 0.050
 VALOR T STUDENT (T) : 2.086

$t_{60} > T: 1.335 > 2.086$ ES
HOMOGENEA
 $t_{30} > T: 0.462 > 2.086$ ES
HOMOGENEA

| AÑO | BLOQUE 1 | BLOQUE 2 | BLOQUE 3 |
|------|----------|----------|----------|
| ---- | mm | mm | mm |
| 2001 | 605.90 | | |
| 2002 | 29.00 | | |
| 2003 | 280.00 | | |
| 2004 | 66.50 | | |
| 2005 | 30.00 | | |
| 2006 | 433.00 | | |
| 2007 | 358.00 | | |
| 2008 | 20.00 | | |
| 2009 | 39.00 | | |
| 2010 | 40.00 | 40 | |
| 2011 | 23.00 | 23 | |
| 2012 | 34.00 | 34 | |
| 2013 | 53.00 | 53 | |
| 2014 | 125.00 | 125 | |
| 2015 | 35.00 | 35 | |
| 2016 | 89.00 | 89 | |
| 2017 | 329.00 | 329 | 329.00 |
| 2018 | 117.00 | 117 | 117.00 |
| 2019 | 164.00 | 164 | 164.00 |
| 2020 | 47.00 | 47 | 47.00 |
| 2021 | 145.00 | 145 | 145.00 |
| 2022 | 129.00 | 129 | 129.00 |
| 2023 | 299.00 | 299 | 299.00 |

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

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

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

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

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

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

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

40.8 41
 20.4 20

Estación 3037

| PRUEBA DE HELMERT | |
|-------------------|--------|
| NO. DATOS: | 57.000 |
| MEDIA: | 69.291 |
| S - C: | 31.000 |
| TOTAL "C": | 25.000 |
| S - C: | 6.000 |
| $(n_j - 1)^{1/2}$ | 7.483 |

28.5

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

| | | |
|--------------|---|----------|
| -7.483 <= | 6 | <= 7.483 |
| ES HOMOGENEA | | |

56.000

| AÑO | P _{max} 24hrs | D | SIGNO |
|------|------------------------|--------|-------|
| ---- | mm | mm | ---- |
| 1952 | 26.0 | -43.29 | |
| 1953 | 150.0 | 80.71 | C |
| 1954 | 79.0 | 9.71 | S |
| 1955 | 70.0 | 0.71 | S |
| 1956 | 18.0 | -51.29 | C |
| 1957 | 45.0 | -24.29 | S |
| 1958 | 100.0 | 30.71 | C |
| 1959 | 170.0 | 100.71 | S |
| 1960 | 32.0 | -37.29 | C |
| 1961 | 37.0 | -32.29 | S |
| 1962 | 125.0 | 55.71 | C |
| 1963 | 55.0 | -14.29 | C |
| 1964 | 53.0 | -16.29 | S |
| 1965 | 55.0 | -14.29 | S |
| 1966 | 32.0 | -37.29 | S |
| 1967 | 40.0 | -29.29 | S |
| 1968 | 35.0 | -34.29 | S |
| 1970 | 60.0 | -9.29 | S |
| 1971 | 30.0 | -39.29 | S |
| 1972 | 40.0 | -29.29 | S |
| 1973 | 110.0 | 40.71 | C |
| 1974 | 18.0 | -51.29 | C |
| 1975 | 15.0 | -54.29 | S |
| 1976 | 160.0 | 90.71 | C |
| 1977 | 25.0 | -44.29 | C |
| 1978 | 69.0 | -0.29 | S |
| 1979 | 24.0 | -45.29 | S |
| 1980 | 12.0 | -57.29 | S |
| 1981 | 80.0 | 10.71 | C |

| | | | |
|------|-------|--------|---|
| 1982 | 140.0 | 70.71 | S |
| 1983 | 55.4 | -13.89 | C |
| 1984 | 30.0 | -39.29 | S |
| 1985 | 30.0 | -39.29 | S |
| 1986 | 35.0 | -34.29 | S |
| 1987 | 68.7 | -0.59 | S |
| 1988 | 36.0 | -33.29 | S |
| 1989 | 33.0 | -36.29 | S |
| 1994 | 20.0 | -49.29 | S |
| 1997 | 45.0 | -24.29 | S |
| 1999 | 30.0 | -39.29 | S |
| 2001 | 240.0 | 170.71 | C |
| 2002 | 13.0 | -56.29 | C |
| 2003 | 163.0 | 93.71 | C |
| 2004 | 75.0 | 5.71 | S |
| 2005 | 28.0 | -41.29 | C |
| 2006 | 299.5 | 230.21 | C |
| 2007 | 229.0 | 159.71 | S |
| 2008 | 11.0 | -58.29 | C |
| 2009 | 70.0 | 0.71 | C |
| 2010 | 58.0 | -11.29 | C |
| 2011 | 17.0 | -52.29 | S |
| 2012 | 74.0 | 4.71 | C |
| 2013 | 57.0 | -12.29 | C |
| 2014 | 106.0 | 36.71 | C |
| 2015 | 57.0 | -12.29 | C |
| 2016 | 40.0 | -29.29 | S |
| 2017 | 124.0 | 54.71 | C |

| PRUEBA DE T STUDENT | | | |
|---------------------|--------|-------------|--------|
| Grupo 01 | | Grupo 02 | |
| NO. DATOS: | 28.000 | NO. DATOS: | 28.000 |
| MEDIA: | 60.179 | MEDIA: | 76.450 |
| DESV. STD.: | 45.275 | DESV. STD.: | 73.345 |

| | |
|---------------------------|--------|
| GRADOS LIBERTAD (u) : | 54.000 |
| NIVEL SIGNIFICANCIA (a) : | 0.050 |
| VALOR T STUDENT (T) : | 2.005 |

| | |
|-----------------|------------|
| $X_1 - X_2$: | -16.271 |
| $n_1 * S_1^2$: | 57395.963 |
| $n_2 * S_2^2$: | 150626.757 |

| AÑO | P _{max} 24hrs | AÑO | P _{max} 24hrs |
|------|------------------------|------|------------------------|
| ---- | mm | ---- | mm |
| 1952 | 26.000 | 1981 | 80.000 |
| 1953 | 150.000 | 1982 | 140.000 |
| 1954 | 79.000 | 1983 | 55.400 |
| 1955 | 70.000 | 1984 | 30.000 |
| 1956 | 18.000 | 1985 | 30.000 |
| 1957 | 45.000 | 1986 | 35.000 |
| 1958 | 100.000 | 1987 | 68.700 |
| 1959 | 170.000 | 1988 | 36.000 |
| 1960 | 32.000 | 1989 | 33.000 |
| 1961 | 37.000 | 1994 | 20.000 |
| 1962 | 125.000 | 1997 | 45.000 |
| 1963 | 55.000 | 1999 | 30.000 |
| 1964 | 53.000 | 2001 | 240.000 |
| 1965 | 55.000 | 2002 | 13.000 |
| 1966 | 32.000 | 2003 | 163.000 |
| 1967 | 40.000 | 2004 | 75.000 |
| 1968 | 35.000 | 2005 | 28.000 |
| 1970 | 60.000 | 2006 | 299.500 |
| 1971 | 30.000 | 2007 | 229.000 |
| 1972 | 40.000 | 2008 | 11.000 |
| 1973 | 110.000 | 2009 | 70.000 |
| 1974 | 18.000 | 2010 | 58.000 |
| 1975 | 15.000 | 2011 | 17.000 |
| 1976 | 160.000 | 2012 | 74.000 |
| 1977 | 25.000 | 2013 | 57.000 |
| 1978 | 69.000 | 2014 | 106.000 |
| 1979 | 24.000 | 2015 | 57.000 |
| 1980 | 12.000 | 2016 | 40.000 |

$$1/n_1 + 1/n_2 : 0.071$$

$$t_d : -0.981$$

| | | |
|--------------|-----|-------|
| 0.981 | '=< | 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

| PRUEBA DE CREAMER | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|------------|
| | TOTAL | VALORES 60 | VALORES 30 |
| NO. DATOS: | 57.000 | 34.000 | 17.000 |
| MEDIA: | 69.291 | 75.135 | 97.735 |
| DESV. STD.: | 60.849 | 70.504 | 86.372 |
| t: | | 0.096 | 0.467 |
| n _w (n _j - 2) : | | 1870.000 | 935.000 |

GRADOS LIBERTAD (u) : 54.000
 NIVEL SIGNIFICANCIA (a) : 0.050
 VALOR T STUDENT (T) : 2.005

| | | | | | | | |
|--------------------------|--|--------|--------|---------------|------------|-------|---------------------------------------|
| $n_j - n_w [1 + t_w^2]:$ | | 22.686 | 36.285 | $t_{60} > T:$ | 0.872 > | 2.005 | ES HOMOGENEA NO ES HOMOGENEA |
| $t_w:$ | | 0.87 | 2.37 | $t_{30} > T:$ | 2.373 > | 2.005 | |

| AÑO | BLOQUE 1 | BLOQUE 2 | BLOQUE 3 |
|------|----------|----------|----------|
| ---- | mm | mm | mm |
| 1952 | 26.00 | | |
| 1953 | 150.00 | | |
| 1954 | 79.00 | | |
| 1955 | 70.00 | | |
| 1956 | 18.00 | | |
| 1957 | 45.00 | | |
| 1958 | 100.00 | | |
| 1959 | 170.00 | | |
| 1960 | 32.00 | | |
| 1961 | 37.00 | | |
| 1962 | 125.00 | | |
| 1963 | 55.00 | | |
| 1964 | 53.00 | | |
| 1965 | 55.00 | | |
| 1966 | 32.00 | | |
| 1967 | 40.00 | | |
| 1968 | 35.00 | | |
| 1970 | 60.00 | | |
| 1971 | 30.00 | | |
| 1972 | 40.00 | | |
| 1973 | 110.00 | | |
| 1974 | 18.00 | | |
| 1975 | 15.00 | | |
| 1976 | 160.00 | 160 | |
| 1977 | 25.00 | 25 | |
| 1978 | 69.00 | 69 | |
| 1979 | 24.00 | 24 | |
| 1980 | 12.00 | 12.00 | |
| 1981 | 80.00 | 80.00 | |
| 1982 | 140.00 | 140.00 | |
| 1983 | 55.40 | 55.40 | |
| 1984 | 30.00 | 30.00 | |
| 1985 | 30.00 | 30.00 | |
| 1986 | 35.00 | 35.00 | |
| 1987 | 68.70 | 68.70 | |
| 1988 | 36.00 | 36.00 | |

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

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

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

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

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

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

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

40.8 41
20.4 20

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 1989 | 33.00 | 33.00 | |
| 1994 | 20.00 | 20.00 | |
| 1997 | 45.00 | 45.00 | |
| 1999 | 30.00 | 30.00 | |
| 2001 | 240.00 | 240.00 | 240.00 |
| 2002 | 13.00 | 13.00 | 13.00 |
| 2003 | 163.00 | 163.00 | 163.00 |
| 2004 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| 2005 | 28.00 | 28.00 | 28.00 |
| 2006 | 299.50 | 299.50 | 299.50 |
| 2007 | 229.00 | 229.00 | 229.00 |
| 2008 | 11.00 | 11.00 | 11.00 |
| 2009 | 70.00 | 70.00 | 70.00 |
| 2010 | 58.00 | 58.00 | 58.00 |
| 2011 | 17.00 | 17.00 | 17.00 |
| 2012 | 74.00 | 74.00 | 74.00 |
| 2013 | 57.00 | 57.00 | 57.00 |
| 2014 | 106.00 | 106.00 | 106.00 |
| 2015 | 57.00 | 57.00 | 57.00 |
| 2016 | 40.00 | 40.00 | 40.00 |
| 2017 | 124.00 | 124 | 124 |

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 se observa que tanto la estación 3197 y la 3037 cumplen con independencia en sus datos ya que en ningún momento sobrepasan el límite inferior y superior.

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.

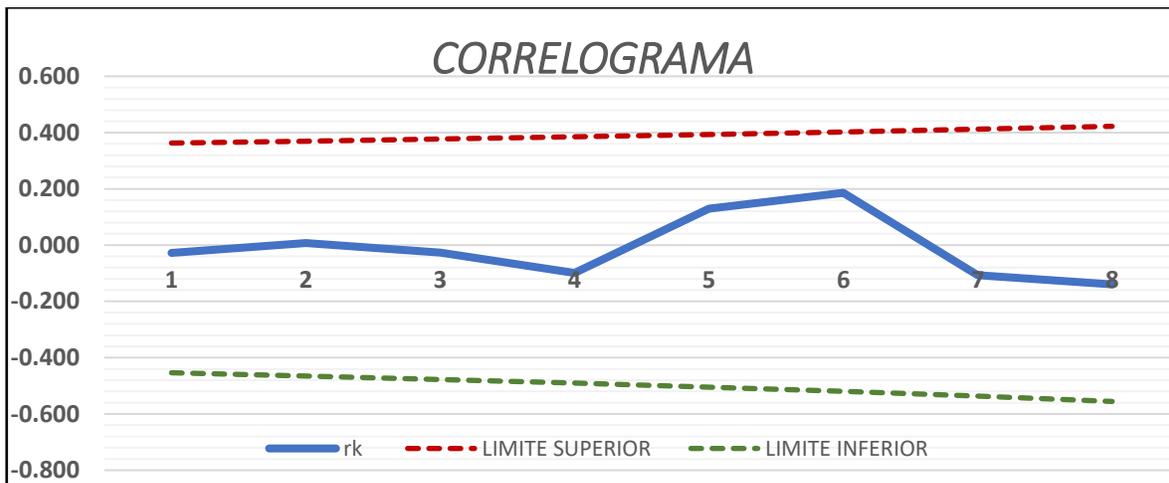


Figura 16 Correlograma de los datos de la estación 3197.

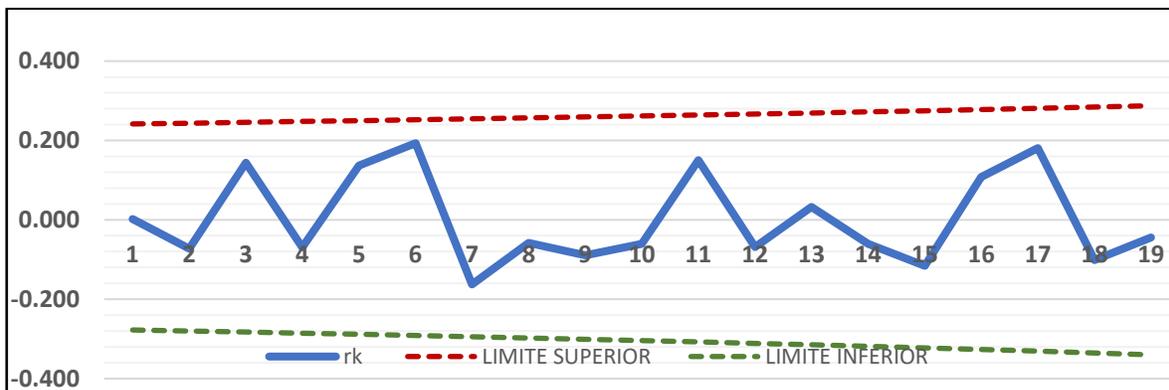


Figura 17 Correlograma de los datos de la estación 3037.

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 cuadros 8 y 9, se utilizó para el análisis de frecuencias el software Ax desarrollado por el CENAPRED (2015), de acuerdo con el manual de este se recomienda que para registro o datos que sean de eventos extraordinarios como lo son ciclones o huracanes, se utilice la función de Doble Gumbel ya que permite analizar con mayor exactitud este tipo de muestras.

Cuadro 8 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 3197.

| Resumen de errores estándar Archivo analizado: 3197.txt | | | | |
|---|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| Función | Momentos | | Máxima Verosimilitud | |
| | 2 parámetros | 3 parámetros | 2 parámetros | 3 parámetros |
| Normal | 73.238 | ----- | 73.238 | ----- |
| Lognormal | 57.020 | 48.609 | 44.391 | 46.814 |
| Gumbel | 51.087 | ----- | 68.618 | ----- |
| Exponencial | 38.386 | ----- | 42.030 | ----- |
| Gamma | 41.868 | 44.088 | 50.377 | 11111.000 |
| Doble Gumbel | 31.680 | | | |

Mínimo error estándar: 31.680

Calculado por la función: Doble Gumbel

Cuadro 9 Resultados de análisis de diferentes funciones de la estación 3097

| Función | Momentos | | Máxima Verosimilitud | |
|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| | 2 parámetros | 3 parámetros | 2 parámetros | 3 parámetros |
| Normal | 28.870 | ----- | 28.870 | ----- |
| Lognormal | 12.813 | 13.749 | 11.689 | 13.453 |
| Gumbel | 17.782 | ----- | 24.430 | ----- |
| Exponencial | 10.486 | ----- | 9.114 | ----- |
| Gamma | 12.710 | 12.187 | 18.143 | 11111.000 |
| Doble Gumbel | 8.505 | | | |

Mínimo error estándar: 8.505

Calculado por la función: Doble Gumbel

Aceptar

Cuadro 10 Evaluacion de distribuciones, estacion 3197.

| Período de Retorno | Probabilidad | | Distribución Normal | Distribución LogNormal 2P | Distribución Exponencial 2P | Distribución Gamma 2P | Distribución Gamma 3P | Distribución Gumbel | Distribución Gumbel Doble |
|-------------------------|--------------|---------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| ORDEN CORRELACIÓN: | | | 6.0000 | 2.0000 | 1.0000 | | 4.0000 | 3.0000 | 5.0000 |
| ORDEN ERROR CUADRÁTICO: | | | 6.0000 | 3.0000 | 2.0000 | | 5.0000 | 4.0000 | 1.0000 |
| años | % | INVERSA | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 2 | 50.000% | 0.50000 | 151.700 | 105.100 | 103.300 | 101.200 | 113.700 | 125.800 | 104.300 |
| 5 | 20.000% | 0.80000 | 284.300 | 216.200 | 248.000 | 243.600 | 260.200 | 265.400 | 294.000 |
| 10 | 10.000% | 0.90000 | 353.900 | 315.100 | 357.500 | 351.500 | 360.900 | 357.800 | 415.400 |
| 20 | 5.000% | 0.95000 | 411.400 | 430.200 | 466.900 | 457.700 | 456.900 | 446.400 | 498.200 |
| 25 | 4.000% | 0.96000 | 428.200 | 471.100 | 502.200 | 491.000 | 487.000 | 474.500 | 522.500 |
| 50 | 2.000% | 0.98000 | 476.200 | 610.800 | 611.600 | 590.600 | 577.700 | 561.200 | 594.700 |
| 100 | 1.000% | 0.99000 | 519.300 | 771.600 | 721.100 | 680.400 | 663.600 | 647.100 | 664.100 |
| 200 | 0.500% | 0.99500 | 558.800 | 955.500 | 830.600 | 755.900 | 742.400 | 732.800 | 732.400 |
| 500 | 0.200% | 0.99800 | 606.600 | 1238.400 | 975.300 | 827.700 | 830.400 | 845.800 | 821.700 |
| 1,000 | 0.100% | 0.99900 | 640.100 | 1488.600 | 1084.700 | 860.300 | 880.200 | 931.200 | 889.200 |
| 5,000 | 0.020% | 0.99980 | 711.200 | 2165.500 | 1338.900 | 892.900 | 942.300 | 1129.500 | 1043.300 |
| 10,000 | 0.010% | 0.99990 | 739.500 | 2542.800 | 1448.400 | 896.900 | 950.900 | 1214.800 | 1110.000 |

Cuadro 11 Evaluación de distribuciones, estación 3097.

| Período de Retorno | Probabilidad | | Distribución Normal | Distribución LogNormal 2P | Distribución Exponencial 2P | Distribución Gamma 2P | Distribución Gamma 3P | Distribución Gumbel | Distribución Gumbel Doble |
|-------------------------|--------------|---------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| ORDEN CORRELACIÓN: | | | 6.0000 | 5.0000 | 4.0000 | | 2.0000 | 3.0000 | 1.0000 |
| ORDEN ERROR CUADRÁTICO: | | | 6.0000 | 5.0000 | 4.0000 | | 1.0000 | 2.0000 | 3.0000 |
| años | % | INVERSA | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 2 | 50.000% | 0.50000 | 69.300 | 52.100 | 50.600 | 52.400 | 51.300 | 59.300 | 47.600 |
| 5 | 20.000% | 0.80000 | 120.400 | 98.400 | 106.400 | 108.400 | 107.000 | 113.100 | 105.000 |
| 10 | 10.000% | 0.90000 | 147.200 | 137.200 | 148.600 | 148.700 | 147.800 | 148.700 | 164.500 |
| 20 | 5.000% | 0.95000 | 169.400 | 180.600 | 190.800 | 187.600 | 187.600 | 182.900 | 204.300 |
| 25 | 4.000% | 0.96000 | 175.900 | 195.700 | 204.400 | 199.800 | 200.100 | 193.700 | 215.900 |
| 50 | 2.000% | 0.98000 | 194.400 | 246.100 | 246.600 | 236.600 | 237.600 | 227.100 | 250.200 |
| 100 | 1.000% | 0.99000 | 211.000 | 302.500 | 288.800 | 270.800 | 272.100 | 260.300 | 283.000 |
| 200 | 0.500% | 0.99500 | 226.200 | 365.400 | 331.000 | 301.000 | 301.900 | 293.300 | 315.300 |
| 500 | 0.200% | 0.99800 | 244.700 | 459.400 | 386.800 | 332.400 | 331.700 | 336.900 | 357.500 |
| 1,000 | 0.100% | 0.99900 | 257.600 | 540.400 | 429.000 | 348.400 | 346.100 | 369.800 | 389.300 |
| 5,000 | 0.020% | 0.99980 | 285.000 | 752.400 | 527.000 | 365.700 | 361.200 | 446.200 | 462.600 |
| 10,000 | 0.010% | 0.99990 | 295.900 | 867.000 | 569.200 | 368.000 | 363.300 | 479.100 | 495.900 |

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, así mismo la literatura y método menciona que para cuencas pequeñas (menores a 250 km²) el tiempo de concentración es igual al tiempo de retraso.

Cuadro 12 Cálculo de tiempo de concentración y retraso de la Cuenca 1.

| Autor | Ecuación | Tiempo de Concentración (t _c) | Tiempo de Retraso (t _r) |
|---------|--|---|-------------------------------------|
| ---- | ---- | hrs | hrs |
| Carter | $T_c = \frac{45.636 \cdot L^{0.60}}{S^{0.30}}$ | 1.277 | 0.766 |
| Chow | $Tr = 0.00505 \left(\frac{L}{S}\right)^{0.64}$ | 1.525 | 1.525 |
| Kirpich | $t_{ca} = 0.0003245 \left(\frac{L}{S_{100}}\right)^{0.77}$ | 1.841 | 1.105 |
| Rowe | $t_c = \left(\frac{0.86L^2}{S_{100}}\right)^{0.385}$ | 1.835 | 1.101 |
| SCS | $t_c = \frac{L^{1.15}}{3085 \Delta H_{100}^{0.38}}$ | 1.812 | 1.087 |

Cuadro 133 Datos iniciales por cuenca.

| DATOS INICIALES | | | |
|------------------------|---|--------------------|----------|
| Parámetros | Unidad | C1 | |
| Cauce Principal | <i>Longitud de Cauce Principal:</i> | m | 16842.24 |
| | <i>Longitud de Cauce Principal:</i> | km | 16.84 |
| | <i>Elev. Máxima:</i> | msnm} | 853.97 |
| | <i>Elev. Mínima:</i> | msnm} | 4.81 |
| | <i>Desnivel</i> | m | 849.16 |
| | <i>Pendiente de Cauce Principal:</i> | m/m (adimensional) | 0.05 |
| | <i>Pendiente de Cauce Principal:</i> | m/km (millar) | 50.42 |
| | <i>Pendiente de Cauce Principal:</i> | % | 5.04 |
| Cuenca | <i>Área de la cuenca de estudio:</i> | km ² | 43.97 |
| | <i>Tamaño de cuenca:</i> | Pequeña / Grande | Pequeña |
| | <i>Pendiente media:</i> | % | 40.80 |
| | <i>Número de Curva CN (Método SCS-CN):</i> | ---- | 68.00 |
| Diseño | <i>Tiempo de Concentración (t_c)</i> | hrs | 1.53 |
| | <i>Tiempo de Retraso (t_r)</i> | hrs | 1.53 |

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.

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

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

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

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

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

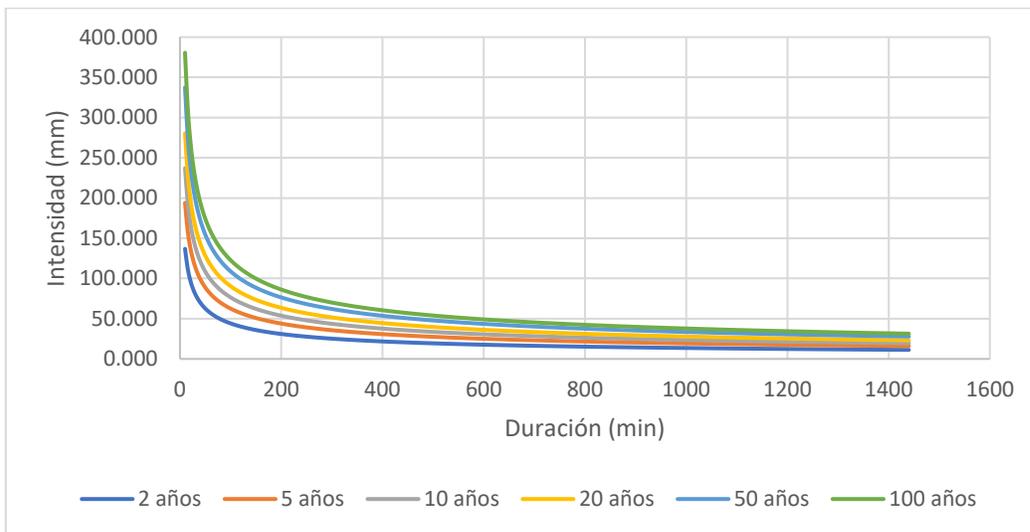


Figura 18 Curva IDT metodología de CHEN (2 a 100 años).

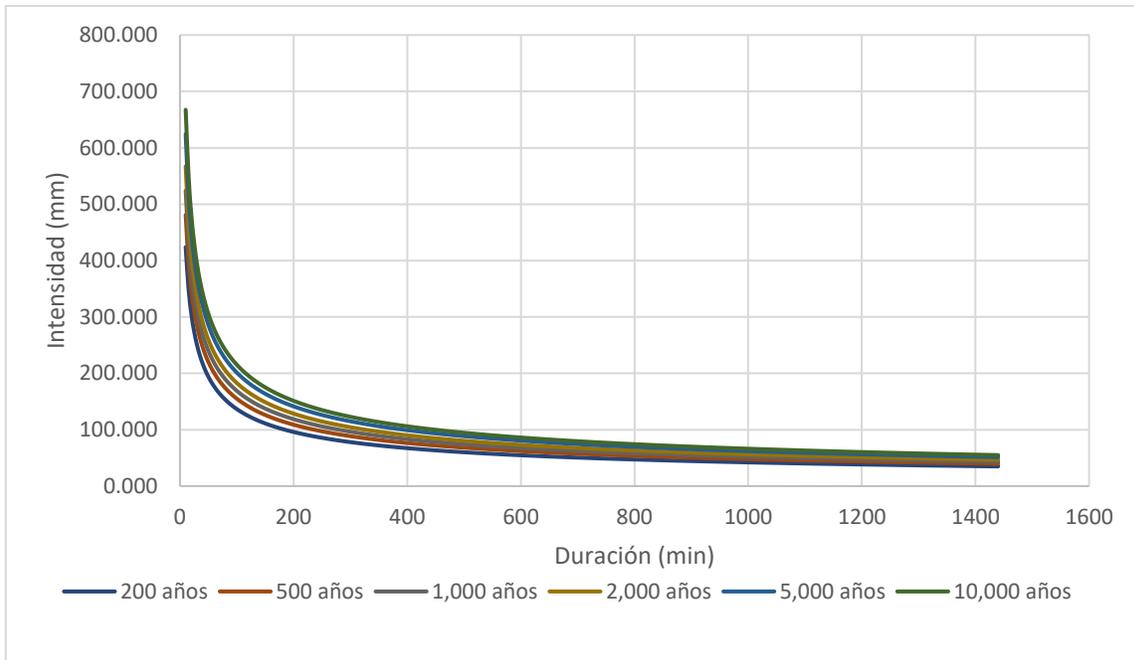


Figura 19 Curva IDT metodología de CHEN (200 a 10,000 años).

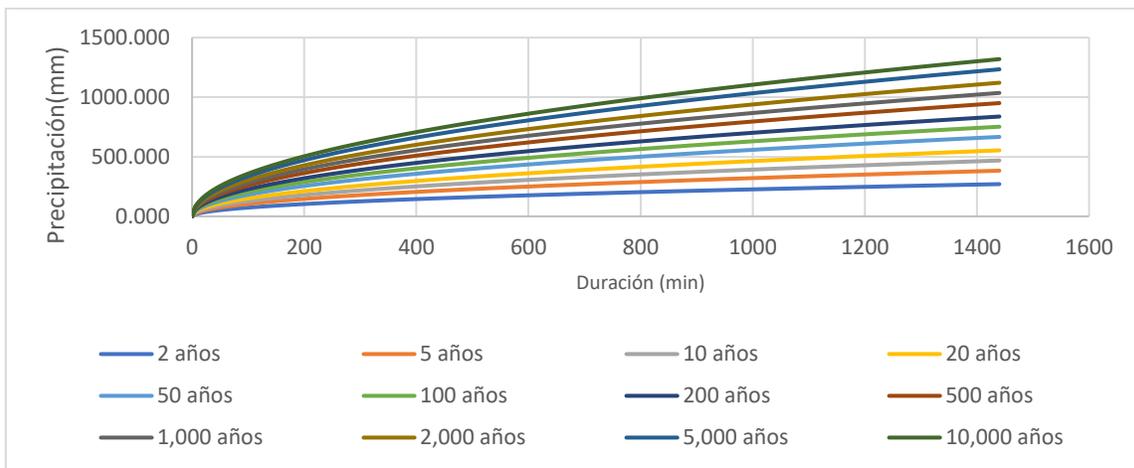


Figura 20 Curva PDT metodología de CHEN (2 a 10,000 años).

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

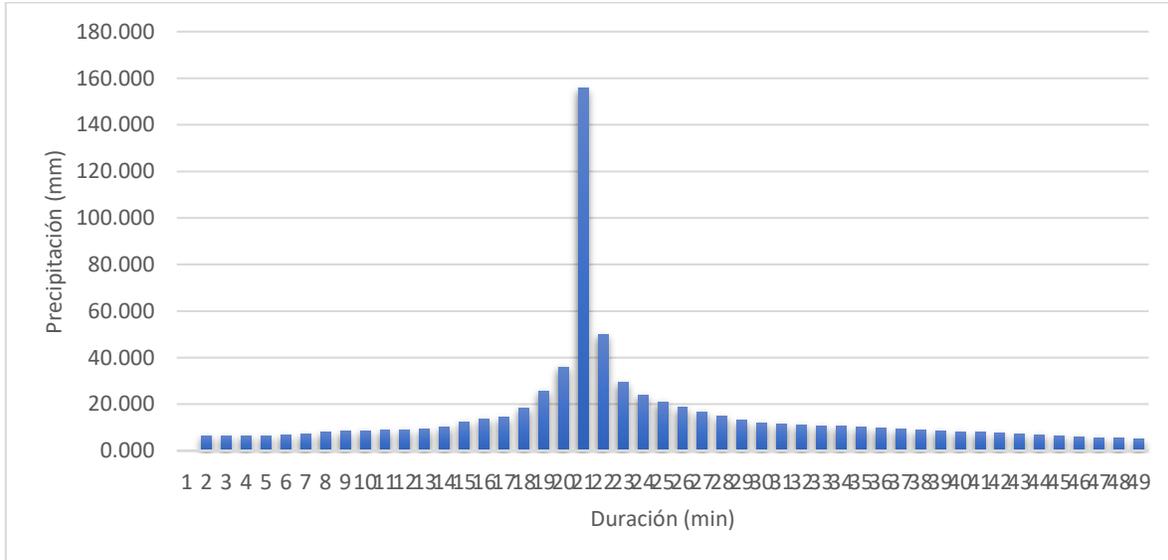
La determinación de las curvas IDF sigue una serie de pasos estructurados:

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 pacifico, 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.



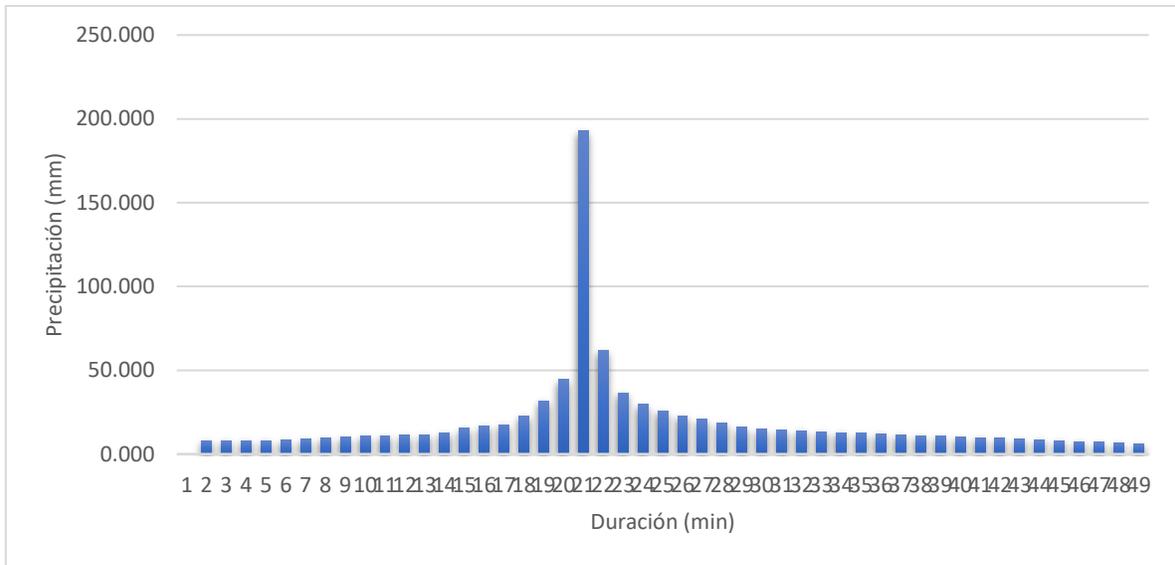


Figura 22 Hietograma sintético tr 500 años (Método SCS) Cuenca 1.

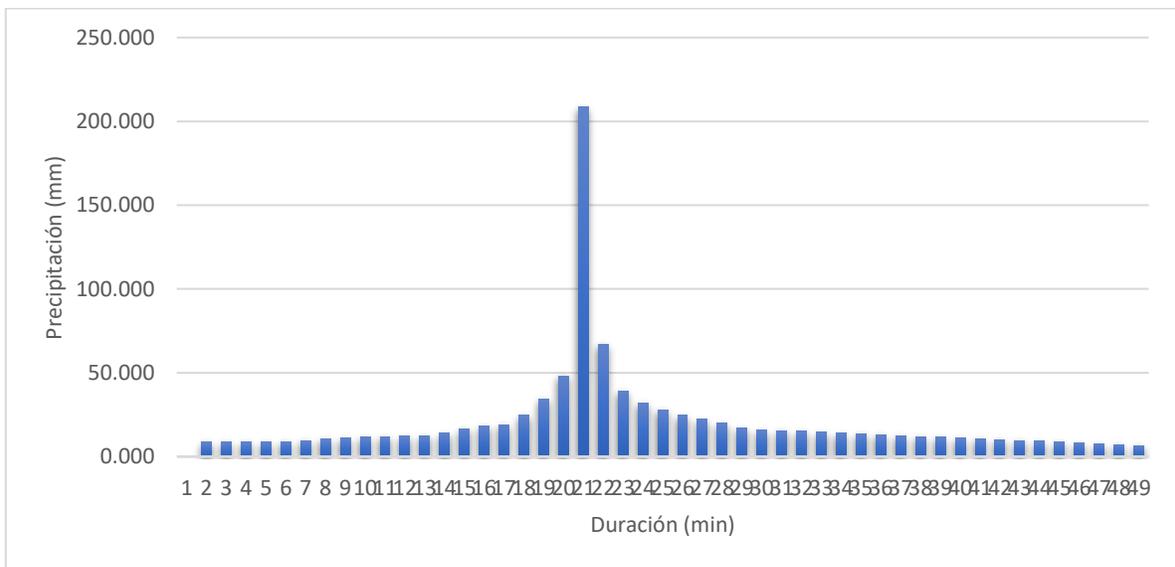


Figura 23 Hietograma sintético tr 1000 años (Método SCS) Cuenca 1.

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, en este caso se obtuvo la precipitación de los datos de la estación 3197, a los datos obtenidos para cada periodo de retorno se le aplicó un factor de observación con la finalidad de homogenizar los mismos por algún error que hubiese existido al momento de obtenerlos.

La 3197 tiene influencia directa sobre la C1 ya que se encuentra muy cerca de la misma.

Cuadro 144 Precipitación de diseño, Cuenca 1.

| No. | Año | ESTACIÓN 3197 | PMA | Factor de observación | PMA Corregida |
|-----|-------|------------------|------------|-----------------------|---------------|
| | | Pmax 24hrs | Pmax 24hrs | | Pmax 24hrs |
| | | mm | mm | | mm |
| 1 | 2 | 104.300 | 104.300 | 1.13 | 117.859 |
| 2 | 5 | 294.000 | 294.000 | 1.13 | 332.220 |
| 3 | 10 | 415.400 | 415.400 | 1.13 | 469.402 |
| 4 | 20 | 498.200 | 498.200 | 1.13 | 562.966 |
| 5 | 25 | 522.500 | 522.500 | 1.13 | 590.425 |
| 6 | 50 | 594.700 | 594.700 | 1.13 | 672.011 |
| 7 | 100 | 664.100 | 664.100 | 1.13 | 750.433 |
| 8 | 200 | 732.400 | 732.400 | 1.13 | 827.612 |
| 9 | 500 | 821.700 | 821.700 | 1.13 | 928.521 |
| 10 | 1000 | 889.200 | 889.200 | 1.13 | 1004.796 |
| 11 | 5000 | 1043.300 | 1043.300 | 1.13 | 1178.929 |
| 12 | 10000 | 1110.000 | 1110.000 | 1.13 | 1254.300 |

VII.RESULTADOS

7. MODELO HIDROLÓGICO

7.1. 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.

7.1.1. 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 15 Gasto calculado Método Racional para la Cuenca 1.

| Datos | Periodo de retorno T_r , en años | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 500 | 1,000 |
| Área (km ²) | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 |
| t_c (hr) | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow |
| | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 |
| d (hr) | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 |
| I (mm/hr) | 47.663 | 67.189 | 81.961 | 96.733 | 116.260 | 131.031 | 165.330 | 180.101 |
| P (mm) | 72.700 | 102.485 | 125.016 | 147.547 | 177.332 | 199.863 | 252.179 | 274.710 |
| CN | 68.000 | 68.000 | 68.000 | 68.000 | 68.000 | 68.000 | 68.000 | 68.000 |
| Pe (mm) | 14.145 | 31.168 | 46.335 | 62.866 | 86.239 | 104.779 | 149.822 | 169.854 |
| C (formula) | 0.195 | 0.304 | 0.371 | 0.426 | 0.486 | 0.524 | 0.594 | 0.618 |
| Q_p (m ³ /s) | 113.358 | 249.787 | 371.335 | 503.821 | 691.141 | 839.724 | 1200.707 | 1361.247 |

7.1.2. 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 1616 Gasto calculado Método Unitario Triangular para la Cuenca 1.

| Datos | Periodo de retorno T_r , en años | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 500 | 1,000 |
| Área (km ²) | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 | 43.97 |
| CN | 68.000 | 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 | 119.529 |
| t_c (hr) | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow | Chow |
| | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 |
| d (hr) | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 |
| d (min) | 91.519 | 91.519 | 91.519 | 91.519 | 91.519 | 91.519 | 91.519 | 91.519 |
| t_r (hr) | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 | 1.525 |
| t_p (hr) | 2.288 | 2.288 | 2.288 | 2.288 | 2.288 | 2.288 | 2.288 | 2.288 |
| t_b (hr) | 6.109 | 6.109 | 6.109 | 6.109 | 6.109 | 6.109 | 6.109 | 6.109 |
| I (mm/hr) | 47.663 | 67.189 | 81.961 | 96.733 | 116.260 | 131.031 | 165.330 | 180.101 |
| P (mm) | 72.700 | 102.485 | 125.016 | 147.547 | 177.332 | 199.863 | 252.179 | 274.710 |
| I_a (mm) | 23.906 | 23.906 | 23.906 | 23.906 | 23.906 | 23.906 | 23.906 | 23.906 |
| P_e (cm) | 1.4145 | 3.1168 | 4.6335 | 6.2866 | 8.6239 | 10.4779 | 14.9822 | 16.9854 |
| P_e (mm) | 14.145 | 31.168 | 46.335 | 62.866 | 86.239 | 104.779 | 149.822 | 169.854 |
| Q_p (m ³ /s) | 56.543 | 124.594 | 185.222 | 251.306 | 344.742 | 418.855 | 598.914 | 678.991 |

7.1.3. 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 | $Qd = A * X * Y * Z$ $X = \frac{He_b}{D_{diseño}} \quad (\text{factor de escurrimiento})$ $Y = 0.278 \frac{He}{He_b} \quad (\text{factor climático})$ $Z = \frac{Qp}{Qe} \quad (\text{factor de reducción})$ |
|----------------|--|

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

| <i>Parámetros Iniciales</i> | |
|--------------------------------|----------|
| Área (km ²): | 7.05080 |
| CN: | 71.00 |
| Longitud Cauce (m): | 5914.8 |
| S _m de Cauce (m/m): | 0.10348 |
| S _m de Cauce (%): | 10.3487 |
| <i>S (mm)</i> | 103.7465 |
| <i>I_a (mm)</i> | 20.7493 |
| tr Chow (hrs): | 0.620 |

Cuadro 17 Gasto calculado Método CHOW.

| Cuenca | Periodos de retorno (Tr = años - m ³ /seg) | | | | | | | |
|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 500 | 1000 |
| C1 | 129.22 | 245.98 | 346.65 | 453.21 | 600.34 | 715.05 | 989.03 | 1109.39 |

7.2. SELECCIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DE PROYECTO

Para determinar el gasto o caudal que llega al punto de salida "PC1", 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 18 Resumen de caudales obtenidos con las diferentes metodologías empleadas, Cuenca 1.

| COMPARACIÓN DE CAUDALES | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| TR | RACIONAL | HUT | CHOW | SCS |
| años | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s |
| 2 | 113.358 | 56.543 | 129.221 | 84.700 |
| 5 | 249.787 | 124.594 | 245.980 | 563.200 |
| 10 | 371.335 | 185.222 | 346.653 | 902.800 |
| 20 | 503.821 | 251.306 | 453.208 | 1131.900 |
| 50 | 691.141 | 344.742 | 600.335 | 1407.300 |
| 100 | 839.724 | 418.855 | 715.047 | 1601.800 |
| 500 | 1200.707 | 598.914 | 989.034 | 2041.500 |
| 1,000 | 1361.247 | 678.991 | 1109.386 | 2228.900 |

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 19 Resumen de caudales pico en m³/s obtenidos para diferente Tr en cada cuenca.

| Cuenca | Tr (años – m ³ /s) | | |
|--------|-------------------------------|--------|--------|
| | 100 | 500 | 1000 |
| C1 | 1601.8 | 2041.5 | 2228.9 |

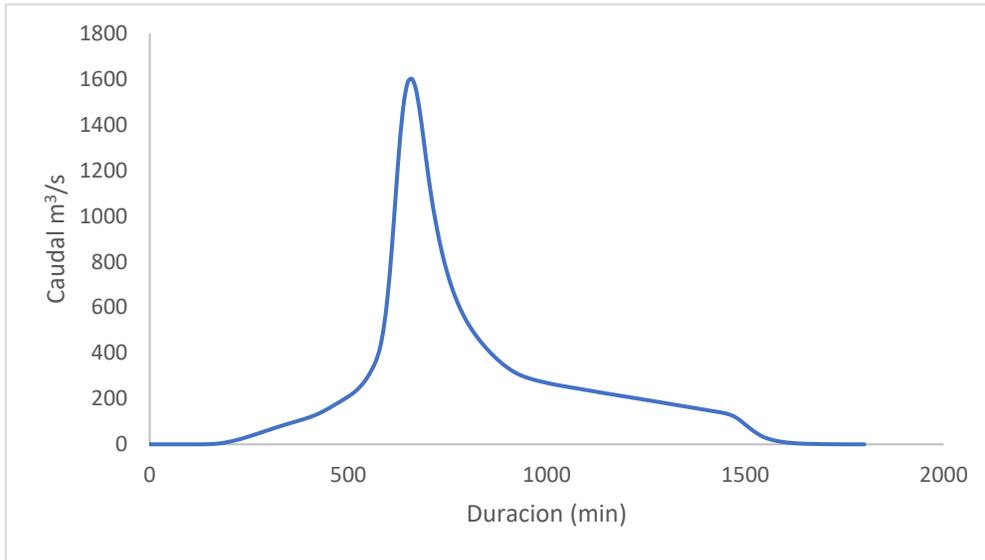


Figura 24 Hidrograma por el Método SCS, TR 100 años, Cuenca 1.

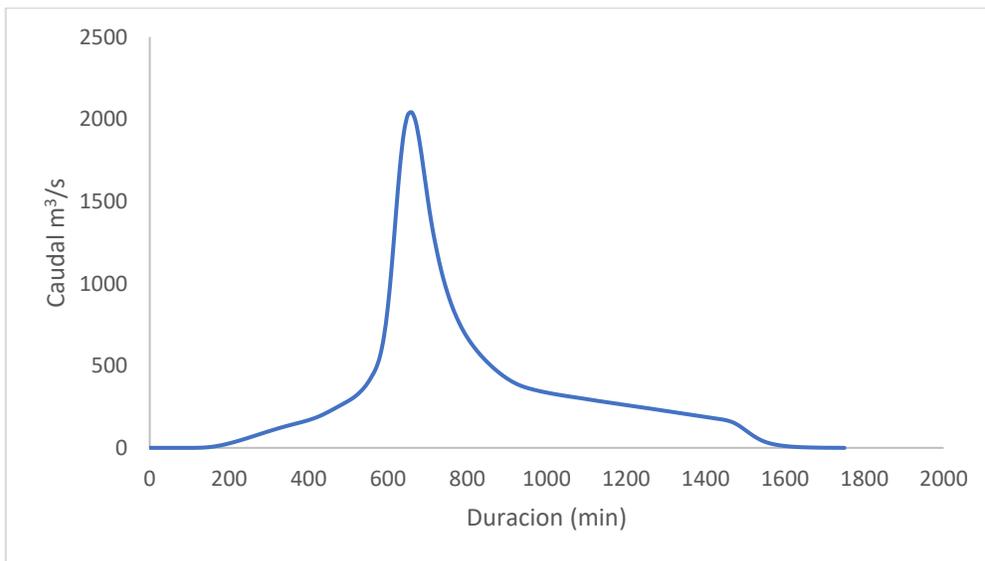


Figura 14 Hidrograma por el Método SCS, TR 500 años, Cuenca 1.

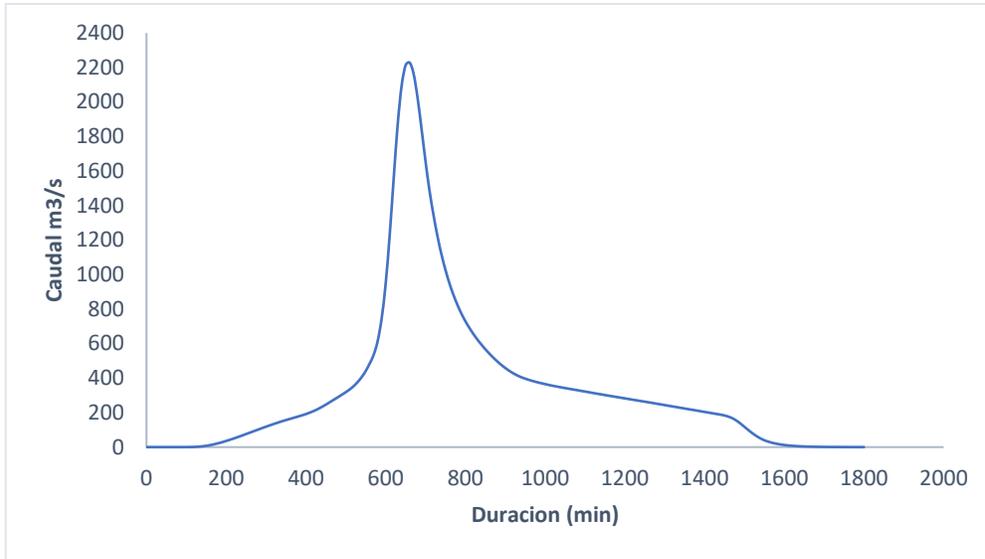


Figura 26 Hidrograma por el Método SCS, TR 1000 años, Cuenca 1

7.4. MODELACIÓN DE INUNDACIONES PARA CADA PERIODO DE TR DE 100, 500 Y 1000

7.4.1 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

La modelación de inundación se realizó en el software IBER V3.3.1. Los datos de entrada fueron procesados en un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se obtuvo el modelo digital del terreno (DEM) de Land Wiever (Figura 7), el DEM tiene una resolución espacial de 5 x 5 metros.

7.4.2 GENERACIÓN DE GEOMETRÍAS Y MALLA DE CÁLCULO

La generación de las geometrías fue realizada mediante SIG tomando en cuenta las rugosidades para cada tipo de suelo y vegetación, la malla utilizada se realizó tomando en cuenta la topografía del terreno y uso de suelo, con la metodología RTIN esto para mayor detalle de la hidrodinámica, se utilizó malla no estructurada de triángulos-rectángulos a partir del modelo digital del terreno en formato ASCII de ArcInfo.

Se ingresaron los valores correspondientes a los coeficientes de rugosidad al modelo de acuerdo con la siguiente tabla, en IBER para su posterior modelamiento.

Cuadro 170 Coeficiente de rugosidad por uso de suelo.

| Uso de suelo | Coefficiente de rugosidad |
|--------------|---------------------------|
| Rio | 0.025 |
| Pradera | 0.05 |

7.4.3 ASIGNACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ENTRADA

Se introdujeron los gastos correspondientes a los diferentes Tr tal y como se muestra en cada hidrograma (100, 500 y 1000), se introdujeron los gastos a las corrientes principales de cada cuenca, se modeló bajo régimen permanente con un tiempo de simulación suficiente (108000.000 s o 30 horas) para que el caudal de salida igualara al de entrada, este tiempo es el mismo que el del hidrograma del Tr 1000.

7.4.4 RESULTADOS - COMPORTAMIENTO DE TIRANTES Y ÁREAS DE INUNDACIÓN.

Se establecieron diferentes puntos de evaluación los cuales fueron llamados puntos críticos de observación, estos fueron establecidos donde se observó que el agua alcanza mayor altura o calado como se observa en la Figura 31, para la corriente principal de la C4 se tiene el punto crítico 1, las modelaciones realizadas fueron para un Tr de 100, 500 y 1000 años.

De acuerdo con los resultados de la modelación de 1000 años en los puntos críticos de observación en la corriente de la C2, el tirante máximo de agua que se alcanza es de 3.17 m a las 11.38 horas de iniciada la tormenta de modelación como se observa en cada una de las figuras de análisis de los puntos críticos, esta altura del tirante en el punto crítico es debido a que la topografía en dicho lugar hace una depresión, la altura promedio del tirante de agua de la corriente de la C2 es de 0.10 m antes de que ingrese la corriente de la C1, dichas corrientes se unen a las 09.30 horas de iniciada la tormenta, tal y como se puede observar en la Figura 27, antes de esta hora toda el agua está pasando por la parte suroeste de la zona de estudio, a partir de las 12.5 horas inicia a decrecer. Cuando las corrientes se juntan el tirante promedio del área en que se ve inundada por dicha corriente sin contemplar las depresiones es de 0.225m.

Respecto al área inundada en todo el predio por el Tr de 1000 años, esta es de 40.13 hectáreas, al referirse a que es inundada se hace la aclaración que en mucha del área el tirante varía siendo este mínimo, como ya se mencionó anteriormente, un área de 40.13 hectáreas se ve ocupada por agua a las 10 horas disminuyendo está a las 13.05 horas. Como se muestra en la Figura 27, el área que es susceptible a inundarse queda desaguada a las 30 horas del inicio de la tormenta, solo en las depresiones queda agua estancada, la topografía es de gran ayuda ya que debido a esta el escurrimiento se desplaza rápidamente hacia el mar.

Dada la pequeña diferencia del área de inundación, el comportamiento hidrodinámico del agua es muy similar para los Tr de 500 y 100 años, al final de cuenta los tirantes, que se reflejen en la modelación, seguirán siendo mínimos.

Cuadro 18 Área inundada de acuerdo con Tr

| Tr años | Área inundada en hectáreas |
|----------------|-----------------------------------|
| 1000 | 40.13 |
| 500 | 39.77 |
| 100 | 38.18 |

En lo que respecta a las velocidades que alcanza el escurrimiento en m/s para un $T_r=1000$ años en la corriente principal de la cuenca (C1), se observa en la Figura 28, que la corriente de la C1 alcanza velocidades máximas de 4.25 y un mínimo de 0.51 m/s. estos resultados de velocidades se deben a las pendientes de la zona de estudio, lo que se correlaciona con la velocidad en la que se desaguan.



Figura 27 Cotas de agua en punto crítico 1 de la Cuenca 2 a 33500 T_r 1000.

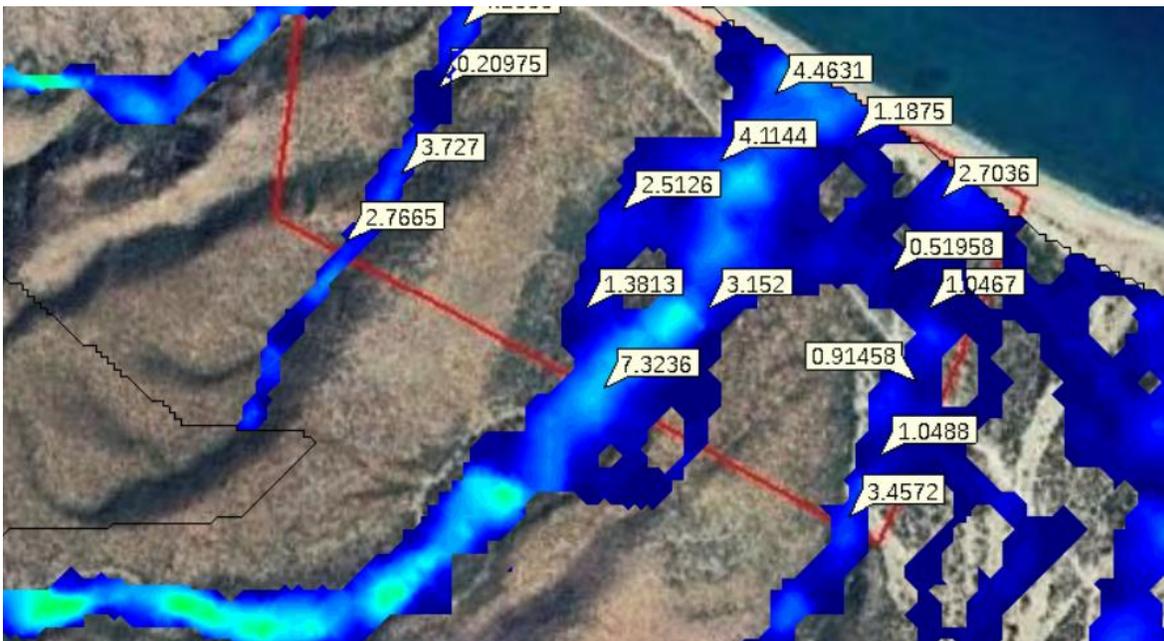


Figura 28 Valores de velocidad en m/s de las corrientes principales.

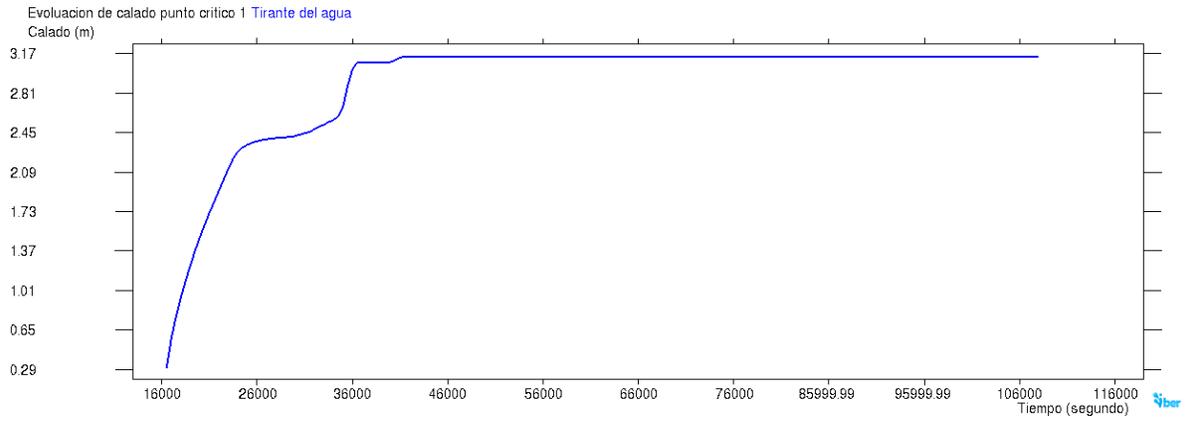


Figura 29 Evolución de calado Punto Crítico 1 a Tr 100.

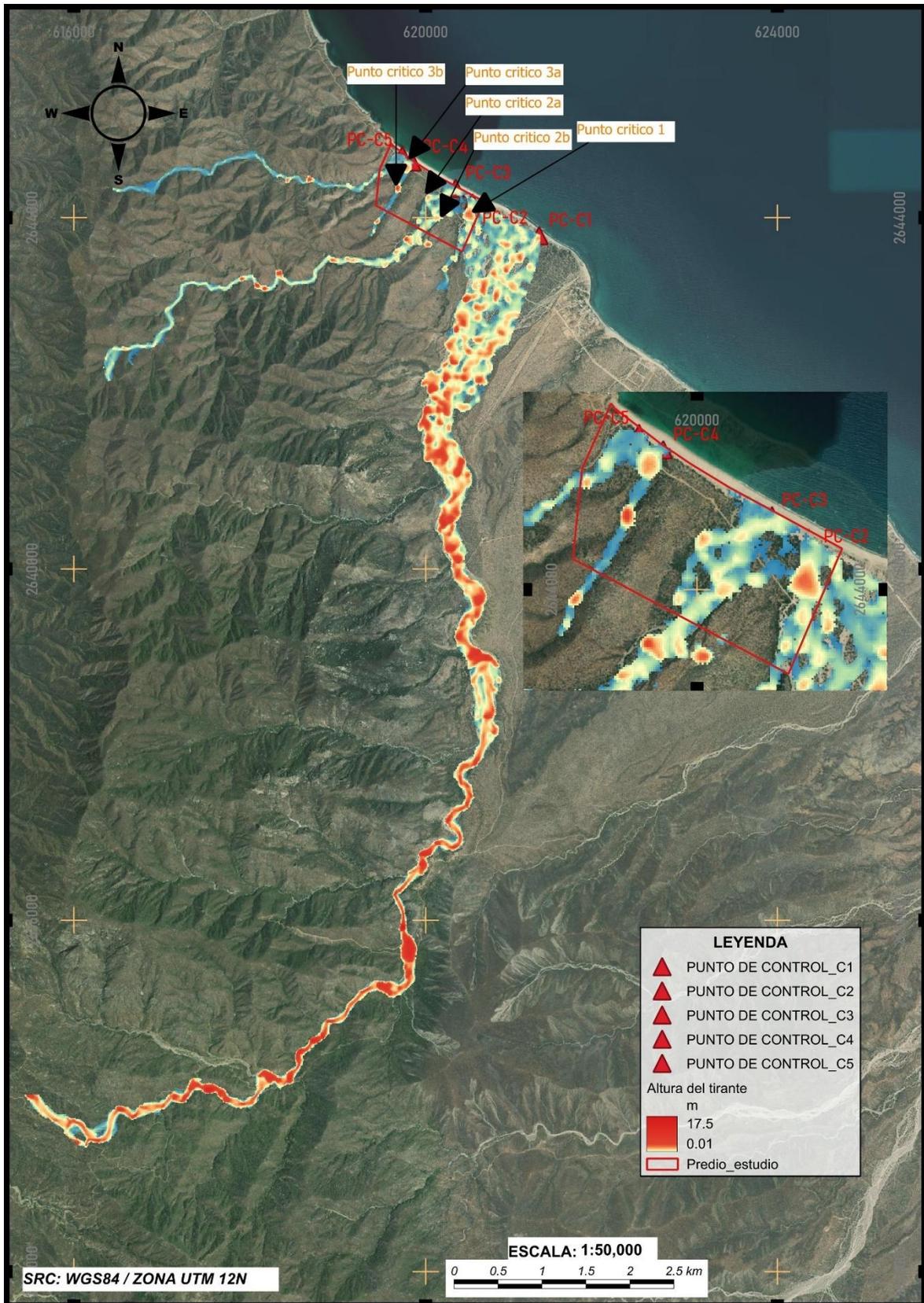


Figura 30 Puntos críticos en la zona de estudio y altura del tirante.

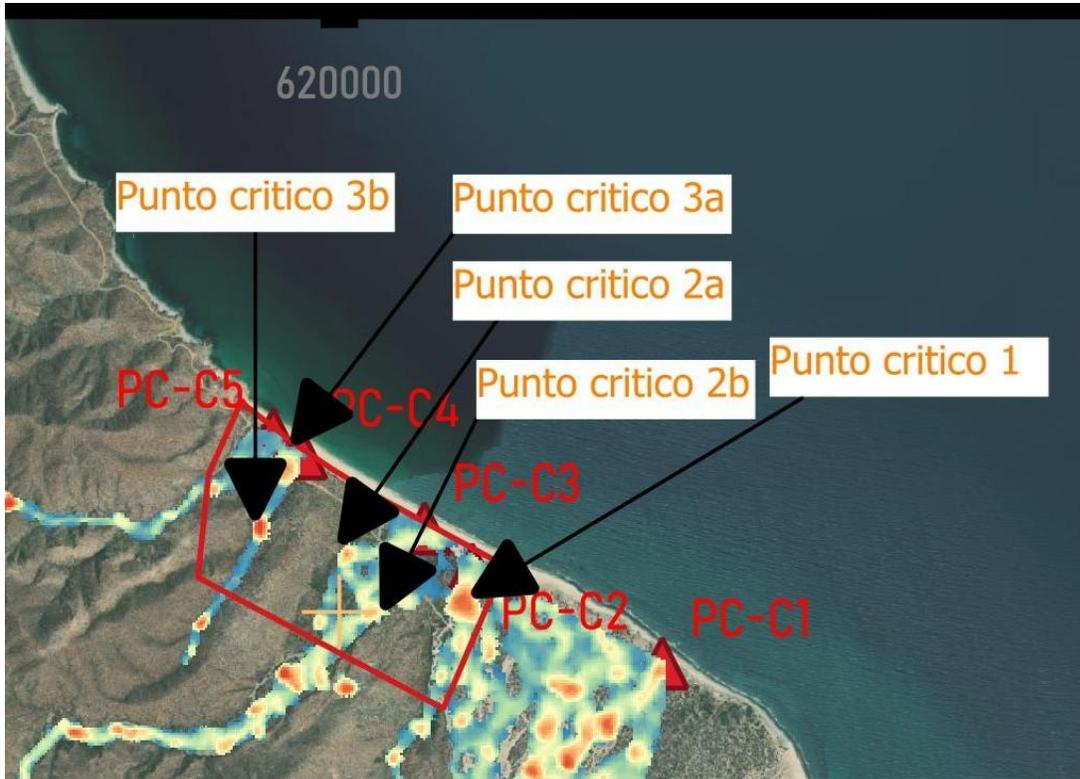


Figura 31 Puntos críticos por altura del tirante.

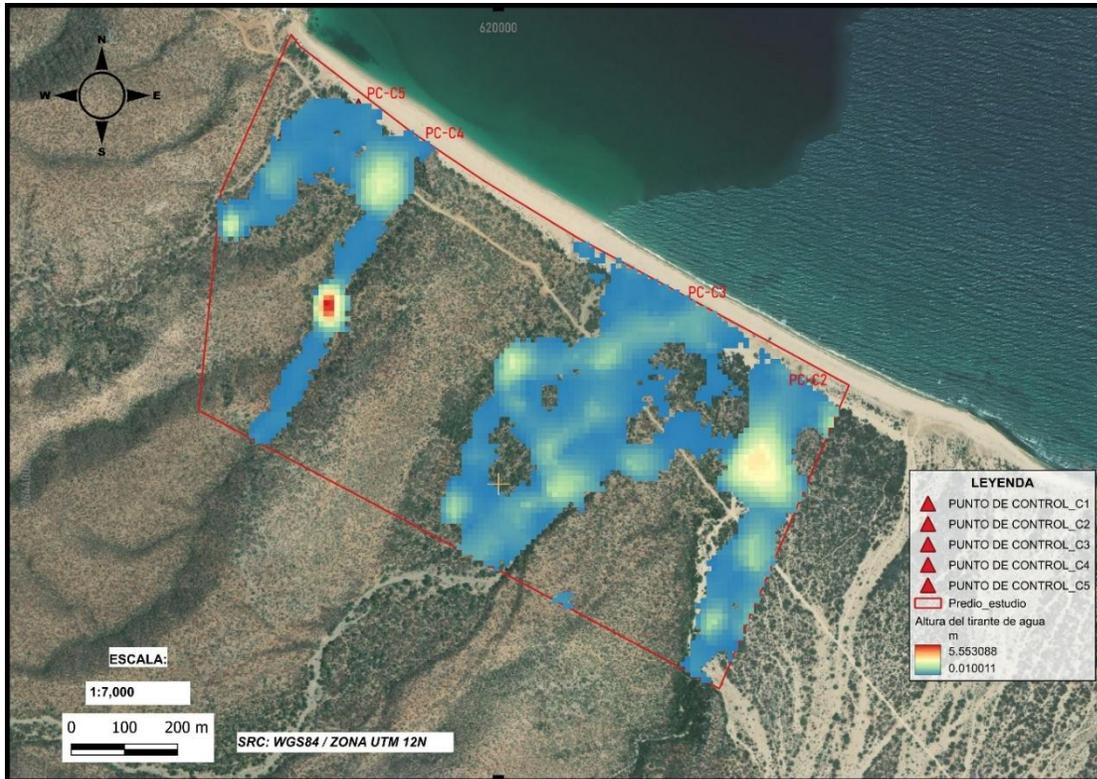


Figura 32 Altura del tirante de agua.

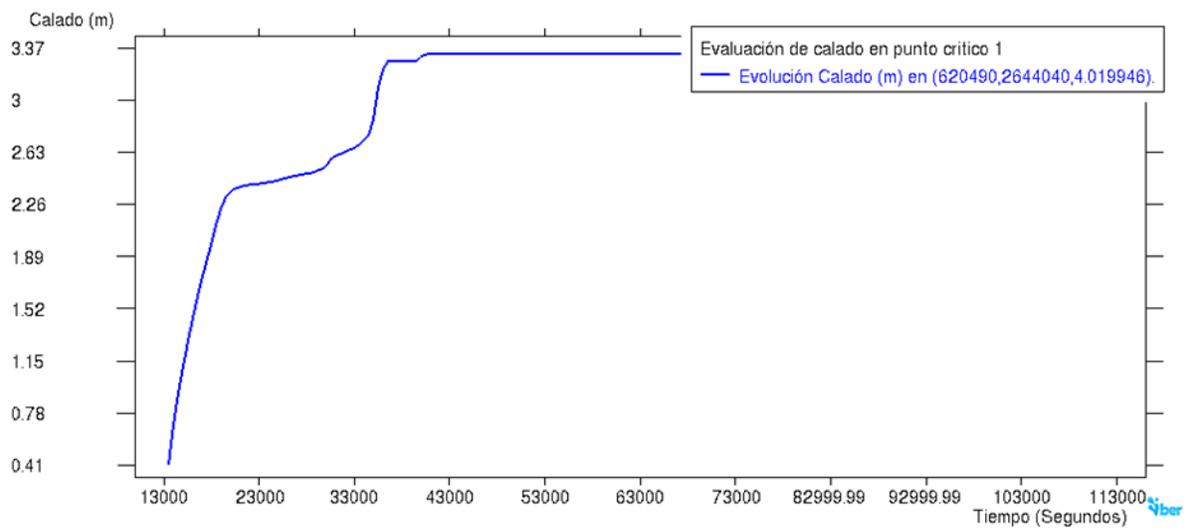


Figura 33 Evaluación de calado en el punto crítico 1.

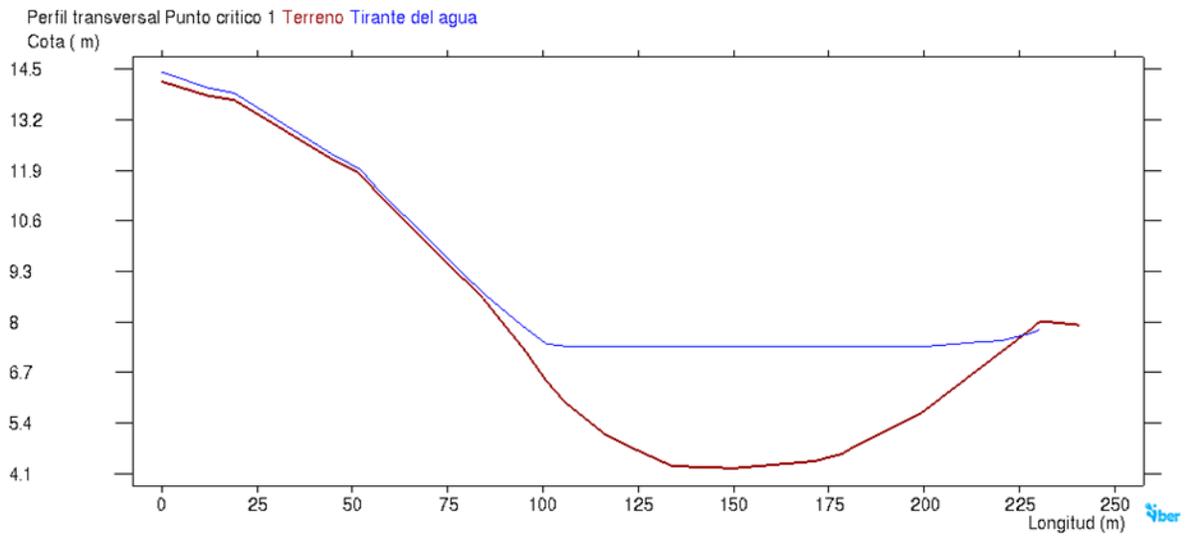


Figura 34 Perfil transversal en el punto crítico 1.

VIII. CONCLUSIÓN

Dados los resultados de la modelación de inundación se recomienda dependiendo de la finalidad que se busque en el uso de la zona de estudio:

Para las corrientes de la C1 se puede construir un canal de llamada, el cual en hidráulica es una sección de un canal que se diseña para controlar o regular el flujo del agua, generalmente en estructuras como esclusas, vertederos o sistemas de irrigación. Es crucial en la ingeniería hidráulica para garantizar un flujo adecuado y evitar problemas como erosión o sedimentación. Además, se recomienda el encauzamiento del arroyo El Piojillo y El Cajoncito. Si se realizan ambas acciones el escurrimiento de la cuenca C1 ya no aportaría a otras zonas.

Es importante mencionar que se pudiera profundizar los causes ya existentes para minimizar la inversión de obra, lo anterior, de nuevo, dependiendo de la finalidad de la zona de estudio.

Como ya se mencionó en los resultados de inundación, los tirantes que se alcanzan son mínimos y en conjunto con la topografía el desagüe de la zona de estudio se efectúa de forma rápida. Las zonas que se deberían de atender son aquellas depresiones formadas de manera natural en las que se queda el agua estancada.

La necesidad de obras hidráulicas para el control de escurrimientos es prioritaria para el desarrollo de infraestructura en la zona de estudio.

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.

Bouslih, 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* .

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

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

CHOW, V.; D.R. MAIDMENT y L. W. MAYS (2000); Hidrología Aplicada; McGraw-Hill.

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.