ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR LA CANDELARIA, MUNICIPIO DE PIEDECUESTA

ELABORADO POR:

ORIGINAL FIRMADO

_____

EDWIN FERNANDO VALENCIA PINZÓN

Ingeniero Civil – MSC. GEOTECNIA

M.P 68.202-246901 STD

JULIO DE 2026

VERSIONES DEL DOCUMENTO

Versión	Descripción	Fecha

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1 INTRODUCCIÓN 7

2 INFORME HIDRAULICO 8

2.1 OBJETIVO GENERAL 8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
2.3 INTRODUCCIÓN INFORME HIDROLÓGICO 8
2.4 UBICACIÓN HIDROLOGICA 10
2.5 FASE HIDROLÓGICA 11
2.6 ÁREA HIDROGRÁFICA Y SUS CARACTERISTICAS FÍSICAS 11
2.6.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA 11
2.6.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 13
2.6.3 ANCHO MEDIO DE LA CUENCA 18
2.6.4 COEFICIENTE DE COMPACIDAD 19
2.6.5 FACTOR DE FORMA 21
2.6.6 ÍNDICE DE ALARGAMIENTO 21
2.6.7 ÍNDICE DE MELTON (IM) 22
2.7 ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICO 23
2.7.1 PERIODO DE RETORNO (T) 26
2.7.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE DATOS. 28
2.7.3 CÁLCULO DE INTENSIDAD DE LA LLUVIA 36
2.7.4 TORMENTA DE DISEÑO. 41
2.8 ESTIMACIÓN CURVA NUMERO, CN. 46
2.8.1 CLASIFICACION HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS. 49
2.8.2 USO Y TRATAMIENTO DE SUELO. 51
2.8.3 CONDICION HIDROLOGICA. 51
2.8.4 CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE. 52

2.8.5 DETERMIANCIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA. 53
2.8.6 CURVA NUMERO 56
2.9 MODELACIÓN HIDROLÓGICA 60
2.9.1 MÉTODO LLUVIA ESCORRENTIA. 60
2.9.2 MODELO DE COMPUTADOR PARA EL CÁLCULO DE HIDROGRAMA DE CRECIENTE. 60

3 ESTUDIO HIDRÁULICO 68

3.1 GEOMETRIA 68
3.2 COEFICIENTE DE MANNING 69
3.3 DEFINICIÓN DE CAUDALES A MODELAR 70
3.4 RESULTADOS HIDRÁULICOS 70
3.4.1 PLANTA ZONA INUNDABLE 70
3.4.2 PERFIL HIDRÁULICO 73
3.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES 73
3.4.4 REPORTE DETALLADO DE RESULTADOS 73

ANEXO 1

ANEXO 2

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zona de estudio	10
Figura 2. Unidad Hidrográfica de interés. Fuente. Elaboración propia.	12
Figura 3. Subcuencas delimitadas para análisis hidrológico. Fuente. Elaboración propia.	16
Figura 4. Estación IDEAM.	25
Figura 5. División regiones para Colombia.	38
Figura 6. Variables método SCS.	47
Figura 7. Mapa de suelos cuenca de interés.	57
Figura 23. Mapa de cobert1,2uras cuenca de interés,	59
Figura 9. Modelo Hec-Hms.	62
Figura 10. Modelo Hec-Hms.	63
Figura 11. Asignación de datos para la estación creada.	63
Figura 12. Datos de precipitación de entrada para HEC-HMS, PICACHO Y PIEDECUESTA GRANJA TR025.	65
Figura 13. Hidrograma cuenca de estudio -TR25.	65
Figura 14. Hidrograma cuenca de estudio -TR50.	66
Figura 15. Hidrograma cuenca de estudio -TR100.	66
Figura 16 Modelo hidráulico Hec Ras	69
Figura 17 Zona inundable periodo de retorno de 500 años (RAS Mapper)	71
Figura 18 Zona inundable periodo de retorno de 100 años (RAS Mapper)	72
Figura 19 Perfil hidráulico	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 20. Características físicas del área hidrográfica de interés	13
Tabla 21. Valores Tiempos de Concentración.	17
Tabla 22. Ancho de las subcuencas	18
Tabla 23. Clasificación de valores de coeficiente de compacidad del área aferente	19
Tabla 24. Coeficiente de compacidad subcuencas del proyecto	19
Tabla 25. Clasificación de valores del factor de forma del área hidrográfica	21
Tabla 26. Factor de forma subcuencas del proyecto	21
abla 27. Rango de valores para la clasificación del índice de alargamiento	22
Tabla 28. Índice de alargamiento subcuencas del proyecto	22
Tabla 29. Índice de melton subcuencas del proyecto	23
Tabla 30. Estaciones IDEAM.	26
Tabla 31. Periodos de retorno para diseño en obras de drenaje vial.	27
Tabla 32. Precipitación máxima en 24 Hrs.	33
Tabla 33. Precipitación Máxima 24 Horas en mm para periodos de retorno 25, 50, 100 y 500 años.	35
Tabla 34. Valores de regresión de ajuste para Colombia.	37
Tabla 35. Duración de la lluvia PICACHO EL [23190300].	40
Tabla 36. Duración de la lluvia PIEDECUESTA GRANJA [23190700].	41
Tabla 37. Tormenta de diseño 180 min PICACHO EL [23190300].	44
Tabla 38. Tormenta de diseño 180 min PIEDECUESTA GRANJA [23190700].	46
Tabla 39. Clasificación de suelos a efecto umbral de escorrentía.	50
Tabla 40. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedales antecedente.	52
Tabla 41. Número de curva.	53
Tabla 42. Numero de curva para grupo de suelos hidrológicos.	54

Tabla 43. Número curva escorrentía áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 55
Tabla 44. Números de curva CN para condiciones de humedad antecedente tipos I y III 56
Tabla 45. Valores Curva Numero, Sub cuencas. 59
Tabla 46 Generación de caudales cuenca 67
Tabla 47. Resultados (m3/s). 67
Tabla 21 Coeficientes de Rugosidad “n” de Manning para el canal principal, Banca Izquierda y la Banca Derecha 70

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene el estudio hidrológico e hidráulico desarrollado para la construcción del puente vehicular La Candelaria, localizado en el municipio de Piedecuesta, Santander. El análisis se orienta a establecer las condiciones de escorrentía, los caudales de diseño y el comportamiento hidráulico del cauce asociado al sitio de implantación de la estructura, con el fin de aportar criterios técnicos para su dimensionamiento, seguridad hidráulica y adecuada interacción con el entorno fluvial.

1.1 2 INFORME HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar estudio hidrológico e hidráulico y diagnóstico de alternativas de diseño para tramo de Rio Oro del Barrio la Candelaria, en el sector donde se construirá el puente de acceso al barrio La Candelaria, sector el molino localizado en el municipio de Piedecuesta, departamento de Santander.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar estaciones hidro-climatológicas que tengan influencia sobre la cuenca de estudio.
- Delimitación de la cuenca del Rio de Oro.
- Realizar los estudios hidrológicos a partir del análisis de lluvias y climatología del sector de estudio, para la obtención de caudales hidrológicos para periodos de retorno de 25,50, 100 y 500 años.
- Elaborar modelo hidráulico en la zona de estudio para determinar el nivel de aguas máximas extraordinarias en la zona de estudio.
- Con base en el modelo hidráulico, se calculará la socavación que el cauce del río de Oro puede generar sobre las estructuras de protección y contención localizadas en la parte baja del talud de interés, paralelo a su cauce.
- realizar un diagnostico de alternativas para definir la alternativa de diseño para determinar el gálibo del Puente.

1.4 INTRODUCCIÓN informe hidrológico

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo de un análisis hidrológico, hidráulico y de socavación en un tramo del río de Oro, ubicado en el municipio de Piedecuesta, Santander. Para tal fin, se llevó a cabo la recopilación de información secundaria proveniente de entidades oficiales, complementada con el procesamiento y análisis de registros hidrometeorológicos de las estaciones más

representativas en el área de influencia. Dichos datos fueron empleados para la construcción de los modelos hidrológicos e hidráulicos, en los cuales se incorporaron las características físicas de la cuenca —como área de drenaje, pendiente media, tipo de suelos y condiciones de cobertura—, así como los parámetros hidrológicos derivados de metodologías como el Curve Number (CN).

A partir de estos insumos, se aplicaron las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF), con base en información extraída del IDEAM, para diferentes periodos de retorno, lo que permitió simular la respuesta hidrológica de la cuenca y estimar los caudales máximos. Posteriormente, con base en los resultados del modelo hidráulico, se analizaron los procesos de socavación que se presentan sobre las estructuras de protección existentes en el sector de interés.

En campo se ha evidenciado un proceso de erosión localizada en la parte baja de un sistema de gaviones dispuesto al pie de un talud paralelo al cauce. Esta condición compromete la estabilidad de la obra, generando un riesgo estructural debido a la pérdida de material de cimentación y a la modificación de la geometría hidráulica del río. La socavación observada no solo altera el comportamiento natural del flujo y de la margen, sino que también puede desencadenar la desestabilización progresiva del talud, afectando directamente la efectividad de la obra de protección y aumentando el nivel de amenaza sobre el sector aledaño.

En este contexto, la modelación hidrológica e hidráulica constituye una herramienta fundamental para comprender la interacción entre el cauce y las estructuras de protección, permitiendo predecir escenarios de riesgo y evaluar la necesidad de medidas de mitigación. Los resultados del presente estudio ofrecen una base técnica para la planificación y gestión del recurso hídrico en el área, aportando a la toma de decisiones orientadas a la protección de la infraestructura, la reducción de la vulnerabilidad frente a fenómenos de socavación y el mejoramiento de la seguridad hidráulica en el tramo analizado del río de Oro.

1.5 UBICACIÓN hidrologica

La zona del proyecto se ubica en el municipio de Piedecuesta, en el tramo de Rio Oro del Barrio la Candelaria, en el sector donde se hará la ampliación del Puente Vejhicular sobre el Rio de Oro., departamento de Santander, a continuación, se presenta una salida grafica con el fin de tener una georreferenciación del proyecto y de esta forma una idea más clara del presente estudio.

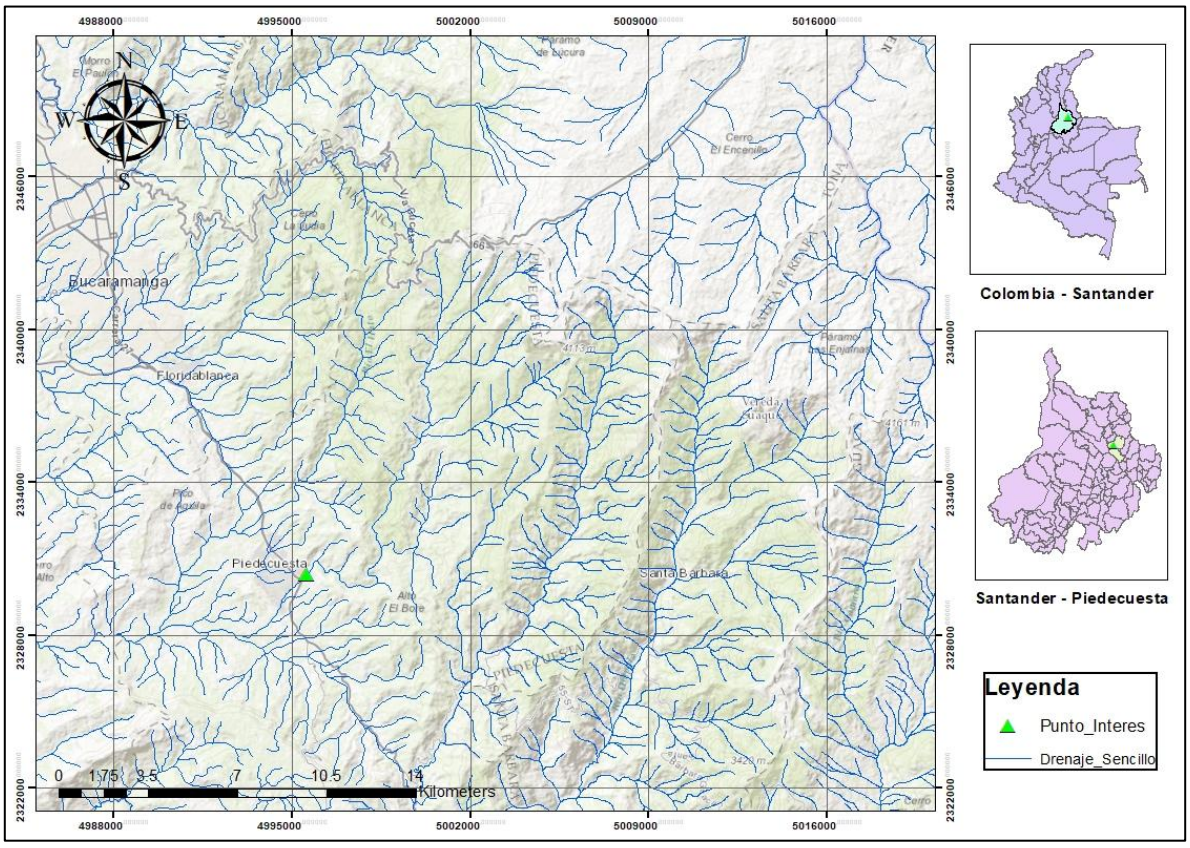


Figura 1. Zona de estudio

Fuente. Elaboración propia.

1.6 FASE HIDROLÓGICA

El presente capitulo comprende los cálculos y procedimientos para la obtención de los caudales máximos instantáneos para las probabilidades recomendadas por INVIAS (2011) de acuerdo con el tipo y dimensiones de la estructura, análisis de nivel máximo de aguas extraordinarias y socavación en gaviones ubicados en talud paralelo a rio de oro.

Todos los procedimientos matemáticos se elaboran con base en los cálculos estadísticos de los datos climatológicos de las estaciones del IDEAM adyacentes y con información suficiente para un adecuado análisis. Adicionalmente, las características morfométricas del área aferente al punto de interés, se desarrollan con base en la cartografía vigente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y se determina la cobertura del suelo con base en las coberturas de tierra para Colombia Corine Land Cover.

Se entiende que la precipitación (Lluvia) es el factor de mayor relevancia para la generación de inundaciones. Se conoce que la precipitación es variable tanto espacial como temporalmente, por lo que se debe hacer una aproximación al comportamiento de la precipitación medida y almacenada en la base de datos. Estos aspectos serán explicados a continuación.

1.7 ÁREA HIDROGRÁFICA Y SUS CARACTERISTICAS FÍSICAS

1.7.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Para delimitar la unidad hidrográfica de interés, es importante definir el punto de análisis de donde se parte a demarcar un área de drenaje superficial en donde las precipitaciones drenan hacia dicho punto, este proceso se realiza teniendo en cuenta la topografía que encierra nuestra área de interés y los drenajes sencillos que se desprenden del drenaje principal.

Para el presente estudio se tuvo en cuenta la unidad hidrográfica que drena hacia el rio de Oro siendo este nuestro drenaje de interés y partiendo desde el inicio de nuestra área de interés.

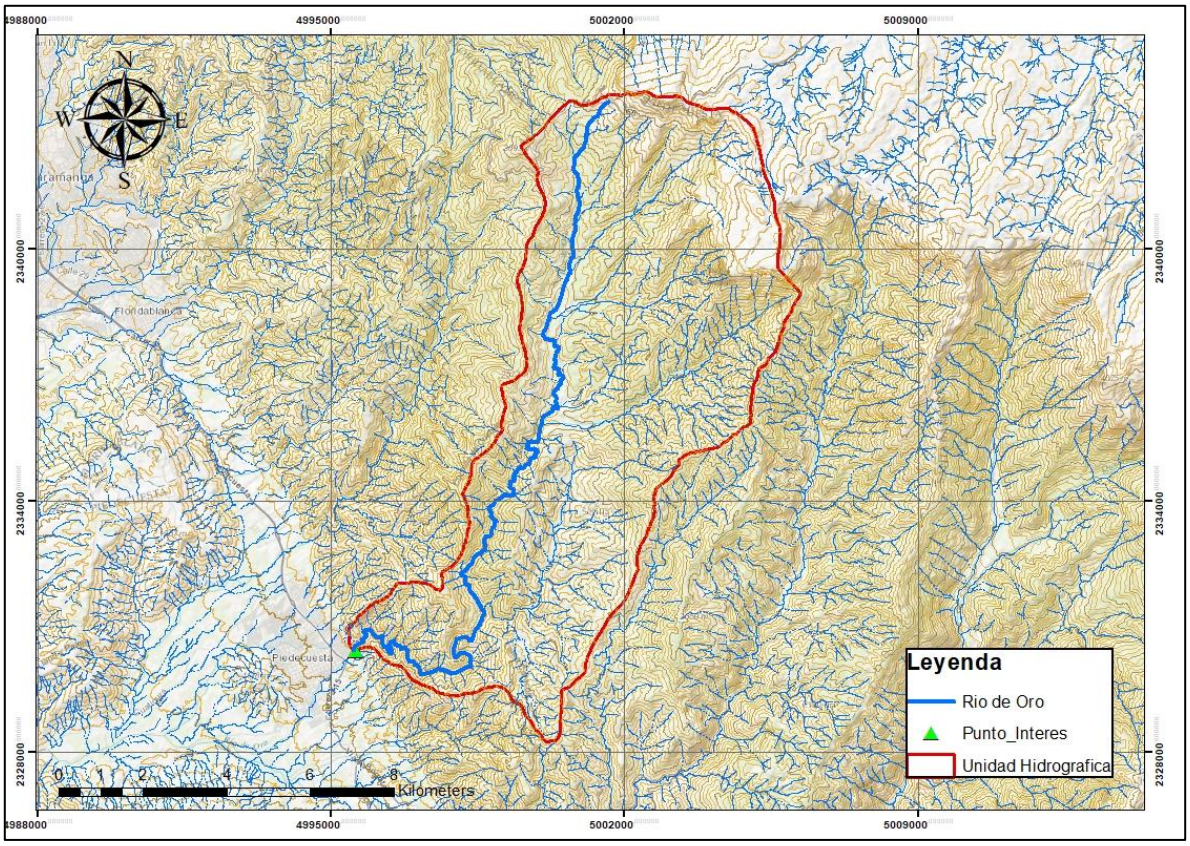


Figura 2. Unidad Hidrográfica de interés.
Fuente. Elaboración propia.

La Unidad hidrográfica presentada en la Figura relacionada con el rio de oro obtuvo un área de 76.93 km2, dado a su tamaño su análisis hidrológico deberá realizarse por medio de un modelo hidrológico.

Las características principales de las unidades hidrográficas se definen como datos morfométricos, los cuales son de gran importancia en la obtención y generación de caudales. Como parte de estas características se encuentra el área de drenaje y tiempo de concentración.

Área de la cuenca. Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica. Identificadas las fuentes a analizar se determinaron los puntos y tramos de cada una de las fuentes.

Longitud y pendiente: Este parámetro se define mediante la longitud horizontal del drenaje y la diferencia entre la cota mayor y menor en dicha longitud. Estos parámetros determinan la capacidad de concentración de flujo, como su velocidad para el desarrollo del caudal pico.

Tiempo de concentración. Es una variable utilizada para el diseño hidrológico para la determinación de capacidad hidráulica límite de determinada estructura, depende de variables propias de cada zona de estudio y depende directamente de las características geomorfológicas de la cuenca y lluvia.

NOMBRE DEL CAUCE	LONGITUD (Km)	ÁREA DE INFLUENCIA (Km^2)	COTA MAYOR (m)	COTA MENOR (m)	S (m/m)
Río de Oro	23.175	76.93	3100	1050	8.85%

Tabla 1. Características físicas del área hidrográfica de interés

Fuente. Elaboración propia.

.

1.7.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma. En general el tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, entre las cuales se cuentan las siguientes (Manual de drenaje INVIAS).

Ecuación de Kirpich:

$$Tc = 0.06628\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal, en (m/m).

Ecuación de Temez:

$$Tc = 0.30(\frac{L}{S^{0.25}})^{0.76}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Ecuación de Giadotti:

$$Tc = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8 * \Delta H^{0.5}}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km2).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Ecuación de Ven Te Chow.

$$Tc = 0.273\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas.

L= Longitud del cauce de interés, en km.

S=Pendiente total del cauce principal en m/m.

Ecuación de Johnstone y Cross.

$$Tc = 0.26\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.5}$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas.

L= Longitud del cauce de interés, en km.

S=Pendiente total del cauce principal en m/Km.

Ecuación de U.S Army Corps of Engineers

$$Tc = 0.28\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas.

L= Longitud del cauce de interés, en km.

S=Pendiente total del cauce principal en m/m.

Con los valores consignados en la Tabla 2, se llevó a cabo el cálculo de los tiempos de concentración, para las diferentes sub cuencas generadas y que se presentan a continuación.

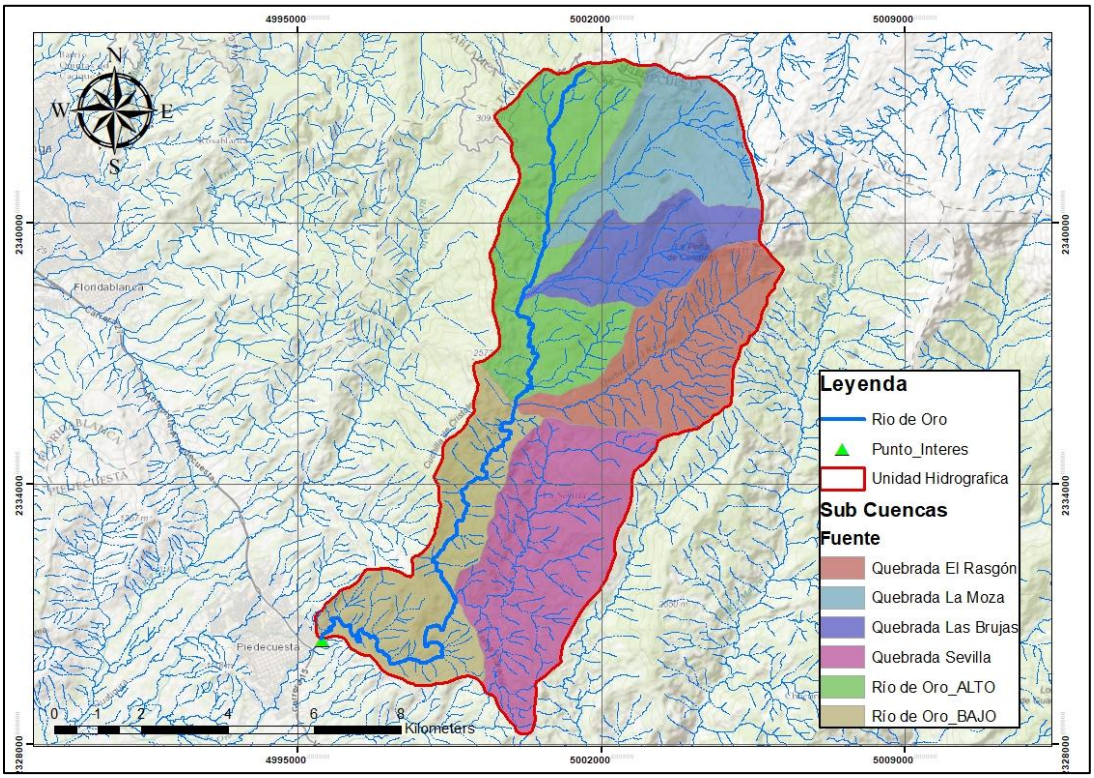


Figura 3. Subcuencas delimitadas para análisis hidrológico. Fuente. Elaboración propia.

Drenaje	*Área (km2)*	*Punto más alto (msnm)*	*Punto más bajo (msnm)*	*Longitud (km)*	*Diferencia cotas*	*pendiente (m/m)*	*Kirpich (min)*	*Temez (min)*	*Ecuación de Giadotti(min)*	*Ven Te Chow (min)*	*Johnstone y Cross (min)*	*U.S Army Corps of Engineers (min)*
Quebrada Sevilla	17.41	2850.00	1650.00	9.25	1200.00	0.13	48.41	59.99	66.17	130.76	79.06	134.31
Quebrada El Rasgón	12.29	3100.00	2150.00	7.76	950.00	0.12	43.25	53.08	62.45	119.05	73.47	118.83
Quebrada Las Brujas	7.51	3250.00	2300.00	5.45	950.00	0.17	28.72	37.91	46.55	84.73	56.33	84.87
Río de Oro BAJO	13.22	2150.00	1050.00	13.76	1100.00	0.08	79.22	88.96	79.57	196.90	108.85	199.17
Quebrada La Moza	10.08	3550.00	2400.00	6.75	1150.00	0.17	34.18	44.81	50.47	97.92	63.07	100.33
Río de Oro ALTO	16.43	3100.00	2150.00	9.41	950.00	0.10	54.04	63.75	73.80	143.27	84.91	142.73

Tabla 2. Valores Tiempos de Concentración.

Fuente. Elaboración propia.

Se toma el método de Giandotti para el presente proyecto, considerando que consigna más variables físicas para su determinación y que los valores arrojados no corresponden a valores extremos (mínimos y máximos) de las ecuaciones expuestas.

Los parámetros mínimos de tiempo de concentración según INVIAS, corresponde a 15min.

1.7.3 ANCHO MEDIO DE LA CUENCA

El ancho de una cuenca se obtiene a través de la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial (o recta) de la misma, se mide en Km. Está expresado mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

A = Ancho de la cuenca (km)

A=Área de la cuenca (Km2)

L=Longitud axial de la cuenca (Km)

NOMBRE DE LA AFLUENTE	ÁREA DE INFLUENCIA (Km^2)	LA (Km)	W (km)
Quebrada Sevilla	17.41	6.091	2.858007224
Quebrada El Rasgón	12.29	6.91	1.778795803
Quebrada Las Brujas	7.51	5.93	1.266872681
Río de Oro_BAJO	13.22	6.99	1.891228612
Quebrada La Moza	10.08	5.57	1.809408797
Río de Oro_ALTO	16.43	8.32	1.97424399

Tabla 3. Ancho de las subcuencas

Fuente. Elaboración propia.

1.7.4 COEFICIENTE DE COMPACIDAD

El coeficiente de compacidad según Gravelius (1914) se define como la razón entre el perímetro del área aferente y la raíz cuadrada de la superficie de la misma, como se muestra a continuación.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{A^{0.5}}$$

Kc = Factor de compacidad (adimensional)

A = Área de la superficie hidrográfica (Km2)

P = Perímetro del área aferente (Km)

Coeficiente de compacidad	Clasificación del índice de compacidad
<1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Tabla 4. Clasificación de valores de coeficiente de compacidad del área aferente

Fuente. Maidment (1992)

NOMBRE DE LA AFLUENTE	ÁREA DE INFLUENCIA (Km^2)	Perímetro (km)	Kc	Clasificación
Quebrada Sevilla	17.408	19.737	1.325	De oval redonda a oval oblonga
Quebrada El Rasgón	12.291	17.370	1.387	De oval redonda a oval oblonga
Quebrada Las Brujas	7.513	14.168	1.447	De oval redonda a oval oblonga
Río de Oro BAJO	13.220	22.640	1.744	De oval oblonga a rectangular oblonga
Quebrada La Moza	10.078	15.898	1.402	De oval redonda a oval oblonga
Río de Oro ALTO	16.426	26.910	1.859	Fuera de rango

Tabla 5. Coeficiente de compacidad subcuencas del proyecto

Fuente. Elaboración propia.

1.7.5 FACTOR DE FORMA

El factor de forma de una cuenca hidrográfica corresponde a la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud axial, como se muestra en la siguiente expresión.

$$Kf = \frac{A}{La^2}$$

Donde:
Kf = Factor de forma (adimensional)
A = Área de la superficie hidrográfica (Km2)
La = Longitud axial del área aferente (Km)

Factor de forma	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Tabla 6. Clasificación de valores del factor de forma del área hidrográfica

Fuente. Horton (1945).

NOMBRE DE LA AFLUENTE	AREA DE INFLUENCIA (Km^2)	LA (m)	Kf	Clasificación
Quebrada Sevilla	17.408122	6.091	0.469218063	Ligeramente ensanchada
Quebrada El Rasgón	12.291	6.910	0.257	Alargada
Quebrada Las Brujas	7.513	5.930	0.214	Muy alargada
Río de Oro_BAJO	13.220	6.990	0.271	Alargada
Quebrada La Moza	10.078	5.570	0.325	Ligeramente alargada
Río de Oro_ALTO	16.426	8.320	0.237	Alargada

Tabla 7. Factor de forma subcuencas del proyecto

Fuente. Elaboración propia.

1.7.6 ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

Es la relación que existe entre la longitud máxima del cauce de la cuenca y su ancho. Para el cálculo del índice de alargamiento se utiliza la ecuación propuesta por (Robert Ermer Horton, 1945) y está definida de la siguiente manera:

$$Ia = \frac{Lb}{w}$$

Donde:

Ia=Índice de alargamiento (adimensional)

Lb= Longitud del cauce (Km)

w=Ancho de la cuenca (Km)

Índice de alargamiento	Clasificación del índice de alargamiento
<1.00	Cuenca achatada
=1.00	Cuenca circular
>1.00	Cuenca alargada

abla 8. Rango de valores para la clasificación del índice de alargamiento

Fuente. Horton (1945)

NOMBRE DE LA AFLUENTE	LONGITUD (Km)	W (km)	IA	Clasificación
Quebrada Sevilla	9.2504	2.8580	3.236669068	Cuenca alargada
Quebrada El Rasgón	7.760626084	1.778795803	4.362853831	Cuenca alargada
Quebrada Las Brujas	5.445419602	1.266872681	4.298316384	Cuenca alargada
Río de Oro_BAJO	13.76315465	1.891228612	7.277361691	Cuenca alargada
Quebrada La Moza	6.747248443	1.809408797	3.728979573	Cuenca alargada
Río de Oro_ALTO	9.411454708	1.97424399	4.767118327	Cuenca alargada

Tabla 9. Índice de alargamiento subcuencas del proyecto

Fuente. Elaboración propia.

1.7.7 ÍNDICE DE MELTON (IM)

De acuerdo con el SGC (2021), el IM es estimado mediante el "…*relieve de la cuenca dividido por la raíz cuadrada de su área…"*, es decir, mediante la siguiente expresión:

$$IM = Hb/\sqrt{A}$$

Donde:

Hb: Es el relieve de la cuenca (Km) (Cota Máx menos Cota Mín de la cuenca en interés).

A: Área de la cuenca (Km2)

este es un índice adimensional y es básicamente un índice de pendiente según Marchi L. y Fontana G.D. (2007). Según el SGC (2021), valores de IM:

- 0-0.15 Incidencia baja
- 0.15-0.5 Amenaza media
- 0.5>Amenaza alta

NOMBRE DE LA AFLUENTE	AREA DE INFLUENCIA (Km^2)	COTA MAYOR (m)	COTA MENOR (m)	IM	Torrencialidad
Quebrada Sevilla	17.408122	2850	1650	0.28761	Amenaza media
Quebrada El Rasgón	12.291479	3100	2150	0.27097	Amenaza media
Quebrada Las Brujas	7.512555	3250	2300	0.34660	Amenaza media
Río de Oro_BAJO	13.219688	2150	1050	0.30254	Amenaza media
Quebrada La Moza	10.078407	3550	2400	0.36224	Amenaza media
Río de Oro_ALTO	16.42571	3100	2150	0.23440	Amenaza media

Tabla 10. Índice de melton subcuencas del proyecto

Fuente. Elaboración propia.

1.8 ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICO

A continuación, se presenta una descripción de la información disponible para el análisis y comprensión de los principales procesos desarrollados, así como el detalle de las actividades realizadas:

- Ubicación de estaciones hidro climatológicas mediante cartografía base.
- Estimación de caudales para diferentes periodos de retorno.

Para evaluar los efectos de la precipitación en el incremento del caudal de los cauces, es necesario caracterizar sus propiedades medibles, tales como duración, intensidad, volumen, frecuencia y el intervalo entre eventos. Además, resulta fundamental conocer la distribución espacial y temporal de la lluvia. En este contexto, se lleva a cabo el análisis correspondiente para caracterizar los eventos de lluvia en la cuenca de estudio, dado que esta información constituye un insumo esencial para la posterior modelación hidráulica.

Con base en la información proporcionada por las estaciones climatológicas de las entidades competentes, como el IDEAM, se identificaron las estaciones ubicadas dentro del área de estudio, seleccionando aquellas que presentan datos homogéneos y consistentes.

Se aplicó un filtro a las estaciones disponibles, priorizando aquellas con series de datos de al menos 10 años de duración. Posteriormente, se identificaron las estaciones que compartían un mismo periodo de registro, con el fin de garantizar coherencia en el análisis temporal.

Para el cálculo de caudales máximos, se emplearon los valores de precipitación máxima en 24 horas registrados por las estaciones seleccionadas. Estos datos se utilizaron sin complementos adicionales, ya que corresponden a eventos extremos que representan adecuadamente las condiciones críticas de diseño.

Para la determinación de la estación a utilizar se ubican las estaciones cercanas al área de influencia con el fin de determinar la estación más representativa. En la **Figura 4** se muestra la estación con mayor porcentaje de influencia sobre la unidad

hidrográfica de interés definido por medio de la metodología de polígonos de Thiessen, con información pertinente operada por el IDEAM, que se encuentra actualmente activa y de la cual se recolecta la información necesaria para el análisis hidrológico.

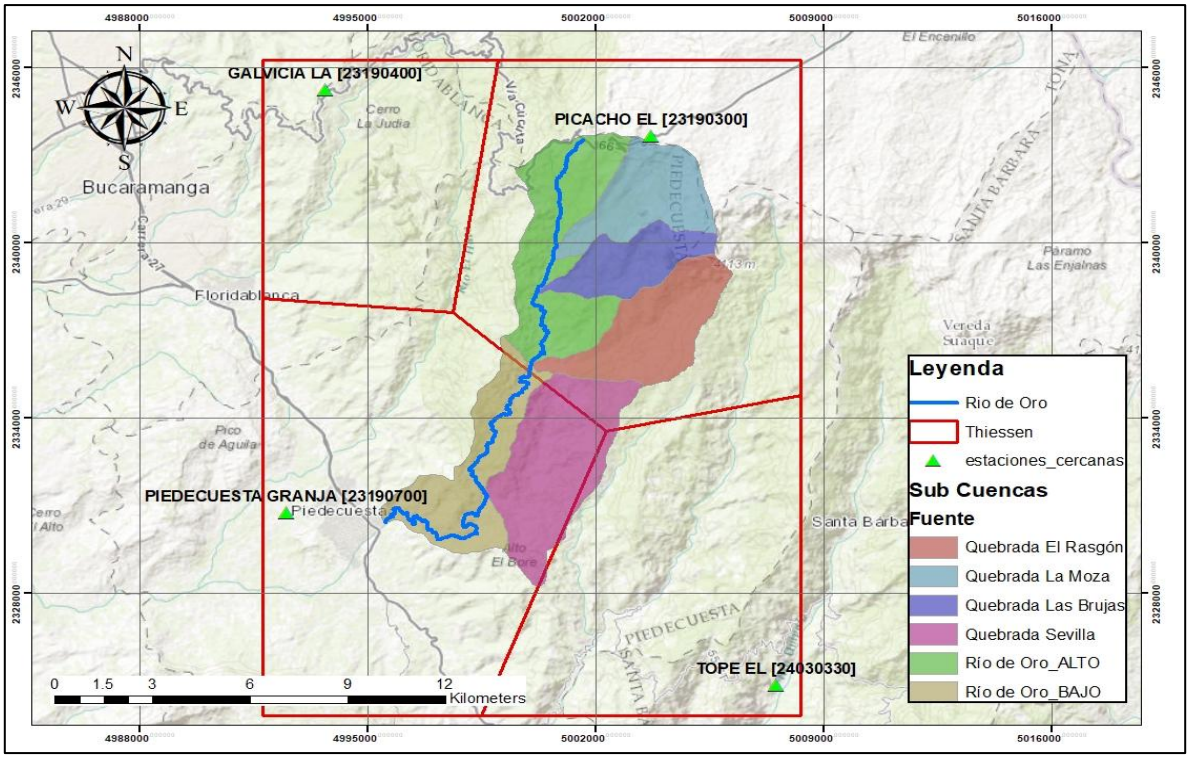


Figura 4. Estación IDEAM.

Fuente. Elaboración propia.

Las estaciones con la cual se decide trabajar son las estaciones PIEDECUESTA GRANJA [23190700] de categoría Pluviográfica y la estación PICACHO EL [23190300] de categoría Pluviométrica, los datos empleados para el análisis contemplan precipitación máxima en 24 horas hasta el año 2024. A continuación, se presenta en la **Tabla 11** las características más importantes de las estaciones utilizada.

Nombre	PIEDECUESTA GRANJA	PICACHO EL
Código	[23190700]	[23190300]
Tipo	Pluviográfica	Pluviométrica
Estado	Activa	Activa
Operada	IDEAM	IDEAM
Departamento	Santander	Santander
Municipio	Piedecuesta	Tona
Fecha de instalación	14/07/1970	15/07/1967

Tabla 11. Estaciones IDEAM.

Fuente: la consultoría, a partir de información del IDEAM e IGAC.

1.8.1 PERIODO DE RETORNO (T)

El período de retorno es un término probabilístico, conocido también como intervalo de recurrencia o frecuencia de diseño, corresponde al intervalo de tiempo en el cual se espera que un evento dado sea igualado o excedido una sola vez en promedio. Otros autores utilizan la probabilidad asociada de ocurrencia del evento, conocida como probabilidad de excedencia anual, que corresponde al inverso del período de retorno (1/T) expresado como porcentaje.

De acuerdo con la normatividad vigente, para la determinación de los niveles máximos de inundación se deben utilizar periodos de retorno de 100 y 500 años, de acuerdo con las siguientes definiciones.

- **Creciente básico:** La creciente básica se define como la creciente que solo tiene 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 100 años.
- **Creciente máximo:** La creciente máxima o súper-creciente es la que tiene un 0.2% de probabilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 500 años.

Sin embargo, según el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, se deberán adoptar los siguientes periodos de retorno para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructura de Caída	10
Alcantarilla de 0.9 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.9 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Tabla 12. Periodos de retorno para diseño en obras de drenaje vial.

Fuente: INVIAS

1.8.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE DATOS.

Los estudios hidrológicos requieren partir de valores extremos (máximos). Para la determinación de éstos se conocen dos distribuciones comúnmente usadas: la distribución de Gumbel tipo I y la distribución Normal.

En el presente estudio se utilizó la distribución de valores extremos Gumbel tipo I, normal, Log normal y Log Gumbel, comúnmente utilizados y de bastante aceptación en el medio, que es un caso especial de la distribución GEV de tres parámetros descrita por el British Flood Studies Report en 1975. A continuación, se presenta la formulación utilizada en cada una de las distribuciones analizadas.

La distribución acumulada viene dada por la ecuación:

$$F(X) = exp^{-exp^{(-\frac{x-u}{\pi})}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{S\sqrt{6}}{\pi} \qquad\qquad u = 0{,}5772\alpha$$

Definiendo la variable reducida,

$$\delta = \frac{x-u}{\alpha}$$

Se tiene entonces que,

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} = e^{-e^{-b}}$$

Dónde:

x = Variable en estudio (Precipitación)

$\bar{x}$ = Media de la variable en estudio

S = Desviación estándar de la variable en estudio

La probabilidad de ocurrencia de un evento con un valor igual o mayor que un valor dado x se expresa con la ecuación, la cual permite determinar la magnitud de la variable hidrológica correspondiente a un periodo de retorno dado.

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} = e^{-e^{-b}}$$

Ajuste de serie de datos a una distribución Gumbel

Función densidad

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\frac{x-\mu}{a} - e^{-\frac{x-\mu}{a}}}$$

Para:

-8 < x < 8

Dónde:

0 < α < 8, es el parámetro de escala

-8 < μ < 8, es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

Función de la distribución acumulada

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{a}}}$$

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como:

$$y = \frac{x - \mu}{a}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Estimación de parámetros método de momentos

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S = 0{,}78S$$

$$\mu = \bar{X} = 0{,}45S$$

Donde;

$$\bar{X} = \mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$$

$$s = \sigma = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

Los parámetros de la distribución Gumbel, por el método de los momentos lineales se encuentran con las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2}$$

$$\mu = \lambda_s - 0{,}5772156649015328 61a$$

Dónde:

λ1= primer momento lineal

λ2= segundo momento lineal

Ajuste de serie de datos a una distribución Log Gumbel

Función de la distribución acumulada

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(\ln x - \mu)}{a}}}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida Log-Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Proceso de cálculo

Para el cálculo de los parámetros de la serie de datos:

x1, x2, x3, ..., xN

Se convierte a sus logaritmos, luego se calcula la media y desviación estándar, con las siguientes ecuaciones:

Media:

$$\bar{X} \ln x = \frac{\sum \ln x}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{X} \ln x)^2}{N - 1}}$$

Estimación de parámetros método de momentos

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S_{\ln x} = 0{,}78 S_{\ln x}$$

$$\mu = \bar{X} \ln 0{,}57721\ a = \bar{X} \ln x\ 0{,}45\ S_{\ln x}$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

Los parámetros de la distribución Log-Gumbel, por el método de los momentos lineales se encuentras con las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2} \qquad \mu = \lambda_1 - 0{,}5772156649015328 61a$$

Dónde:
λ1= primer momento lineal
λ2= segundo momento lineal
Nota: para calcular los momentos lineales λ1, λ2, trabajar con los yi = lnxi.

Para este cálculo se utiliza el software HIDROESTA, este se alimenta con los datos de precipitación máxima en 24 horas. Primero el programa verifica la bondad de ajuste escogida, y determina su confiabilidad de acuerdo con el número de datos y valores. Este software fue desarrollado por Villon Bejar, Maximo. Software para cálculos hidrológicos y su uso es libre.



Software de aplicación de las fórmulas explicadas a usar
Fuente: la consultoría, a partir de información del IDEAM e IGAC

En estudios hidráulicos se exige la determinación de la magnitud de las características hidrológicas que pudieran ocurrir con cierta frecuencia para valores máximos durante un período determinado. Para esto, se deben analizar estadísticamente las observaciones realizadas en los puestos de medida, verificando con qué frecuencia tomaría cada una de ellas determinado valor. Posteriormente, se pueden evaluar las probabilidades teóricas.

Estación	PICACHO EL [23190300]
Año	PT MAX 24 HRS
1975	109
1976	60
1977	59
1978	75
1979	58
1980	70
1981	60
1982	50
1983	60
1984	47
1985	70
1986	65
1987	73
1988	40
1989	42
1990	40
1991	45
1992	32
1993	60
1994	68
1995	68
1996	40
1997	75
1998	68
1999	30

Estación	PICACHO EL [23190300]
Año	PT MAX 24 HRS
2000	35
2001	30
2002	20
2003	15
2004	40
2005	40
2006	50
2007	64.2
2008	46.4
2009	60.7
2010	43.6
2011	38
2012	55.5
2013	48.2
2014	56.7
2015	55.4
2016	91.3
2017	31.1
2018	36.3
2019	41.4
2020	34.6
2021	39.5
2022	42.5
2023	25.8
2024	45.7

Estación	PIEDECUESTA GRANJA [23190700]
Año	PT MAX 24 HRS
1975	103.5
1976	96.2
1977	77
1978	60
1979	80.5
1980	100.1
1981	57.7
1982	73.5
1983	59
1984	64.5
1985	52.5
1986	113
1987	79.3
1988	74.5
1989	64.5
1990	103
1991	111.2
1992	91.9
1993	60.1
1994	79.2
1995	56.6
1996	82.7
1997	94.7
1998	133.5
1999	78.3

Estación	PIEDECUESTA GRANJA [23190700]
Año	PT MAX 24 HRS
2000	65
2001	90.6
2002	47.9
2003	93.3
2004	60.9
2005	93.3
2006	66.8
2007	122.3
2008	88.2
2009	72.8
2010	95
2011	98.7
2012	127.3
2013	128.5
2014	88.5
2015	129
2016	134
2017	127.7
2018	74.3
2019	70
2020	78
2021	92.9
2022	106.5
2023	126.5
2024	114.5

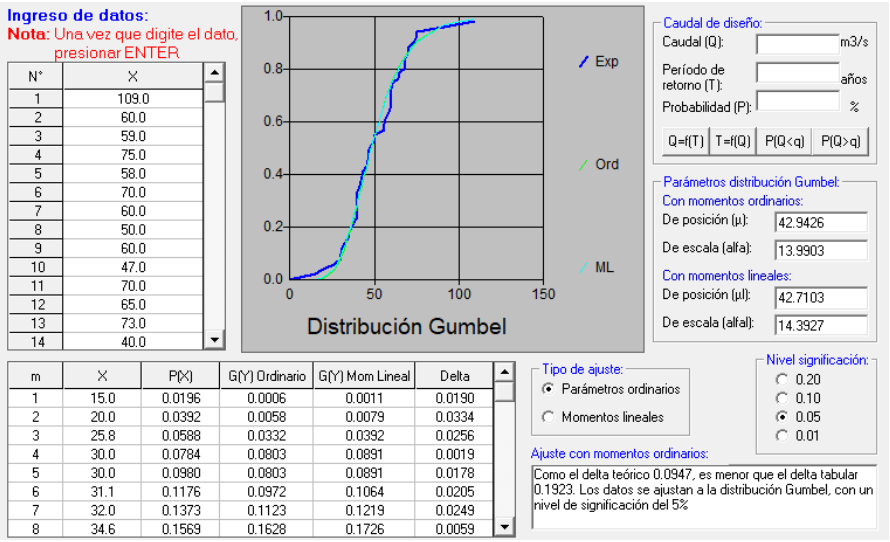
Tabla 13. Precipitación máxima en 24 Hrs.

Fuente. Elaboración propia.

Se procede a calcular el valor máximo para los diferentes períodos de retorno, con la ayuda del mismo software. En el presente estudio se utilizó la distribución de

valores extremos Gumbel para la estación PICACHO EL y PIEDECUESTA GRANJA.

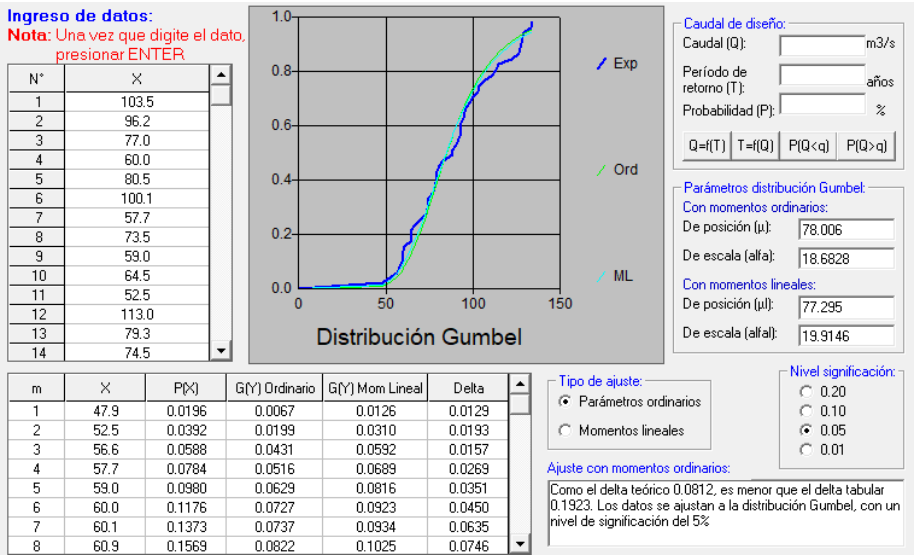
Ajuste de datos a la distribución normal estación PICACHO EL, IDEAM



Gráfica 1. Datos de precipitación max 24 Horas – distribución Gumbel, estación PICACHO EL.

Fuente. Elaboración propia.

Como el delta teórico 0.0947, es menor que el delta tabular 0.1923. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.



Gráfica 2. Datos de precipitación max 24 Horas – distribución Gumbel, estación PIEDECUESTA GRANJA.

Fuente. Elaboración propia.

Como el delta teórico 0.0812, es menor que el delta tabular 0.1923. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

De acuerdo con esta estimación los valores de precipitación máximos para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años se registran en la siguiente tabla.

Estación	Distribución	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años	Tr 500 años
PICACHO EL	Gumbel	87.69	97.53	107.3	129.87
PIEDECUESTA GRANJA	Gumbel	137.76	150.91	163.95	194.09

Tabla 14. Precipitación Máxima 24 Horas en mm para periodos de retorno 25, 50, 100 y 500 años.

Fuente. Elaboración propia.

1.8.3 CÁLCULO DE INTENSIDAD DE LA LLUVIA

Se elaboran curvas sintéticas IDF para diferentes periodos de retorno, la información de precipitación es obtenida a partir de las estaciones analizadas previamente. Para determinar las curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) del área de estudio, se empleó la metodología y los resultados encontrados en la investigación de Rodrigo Vargas (1998) de la Universidad de los Andes, denominado “Curvas Sintéticas de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia” y presentado como método simplificado en el manual de drenaje del Instituto Nacional de Vías INVIAS.

La información de entrada para estimar las curvas IDF sintéticas, corresponde a los resúmenes multianuales de precipitación máxima en 24 horas. El método, divide el territorio nacional en cinco grandes zonas, permitiendo realizar un análisis independiente con estaciones pertenecientes a las mismas regiones geográficas, buscando condiciones meteorológicas regidas por fenómenos similares para cada grupo de estaciones. La división propuesta por Vélez (1983), contempla las siguientes regiones climatológicas: Región Andina (R1), Región Caribe (R2), Región Pacifica (R3), Región Orinoquia (R4) y Región Amazonia (R5). A partir de esta división se calcularon los índices que necesita la ecuación a utilizar (Vargas M. & Díaz Granados, 2000).

La Ecuación de aplicación es:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(\frac{t}{60})^c}$$

Dónde:

i = Intensidad en mm/h

T= Tiempo de retorno en años

t = Duración de la lluvia en minutos.

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

“a, b, c, d” = Parámetros de ajuste de la regresión regionalizados de acuerdo con la Tabla y gráfica.

Región	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía	5.53	0.17	0.63	0.42

Tabla 15. Valores de regresión de ajuste para Colombia.

Fuente. INVIAS.

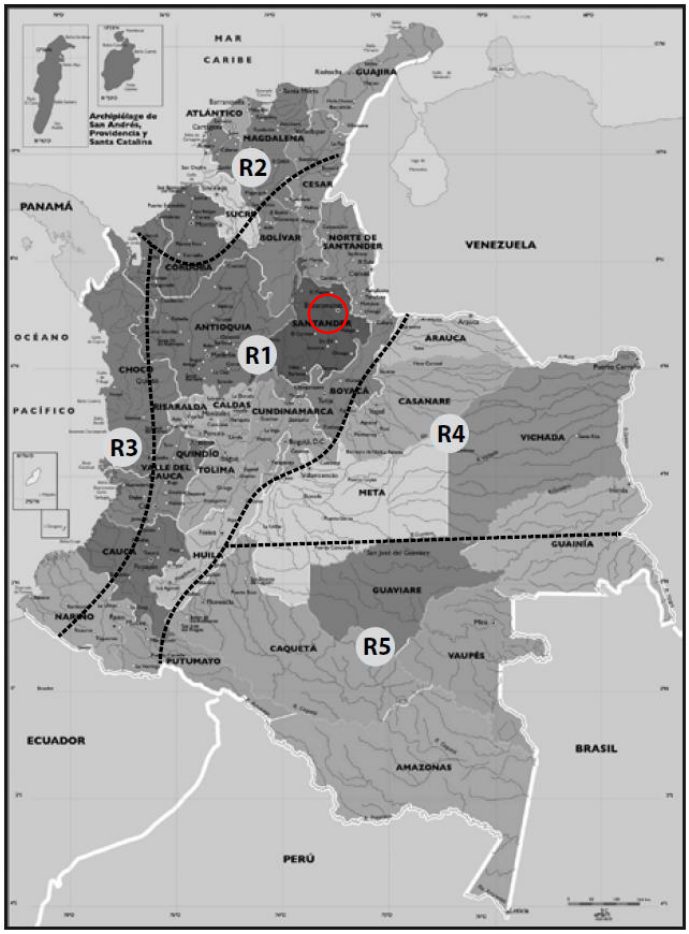
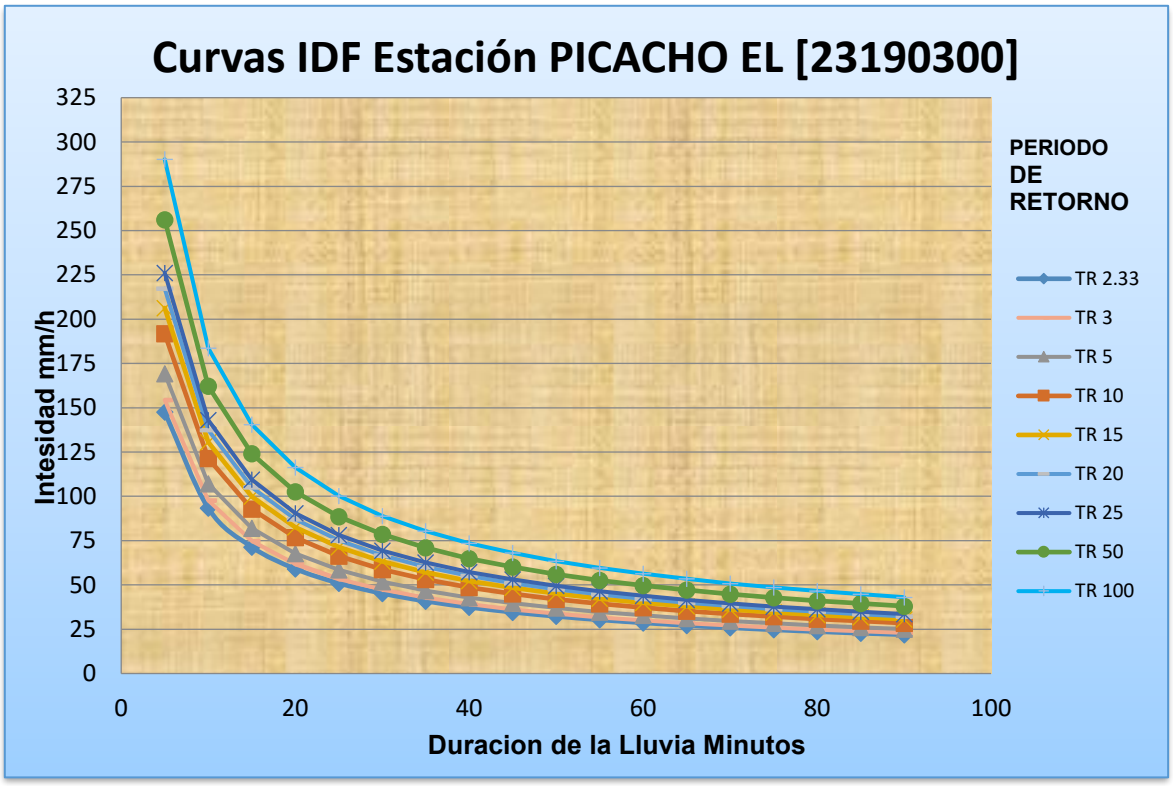


Figura 5. División regiones para Colombia.

Fuente. INVIAS.

Con base en la información presentada en la **Tabla 13** y teniendo en cuenta la metodología anteriormente presentada y que el área de interés se encuentra en la zona andina se calculan y presentan a continuación las curvas IDF relacionadas con la estación PICACHO EL y PIEDECUESTA GRANJA.



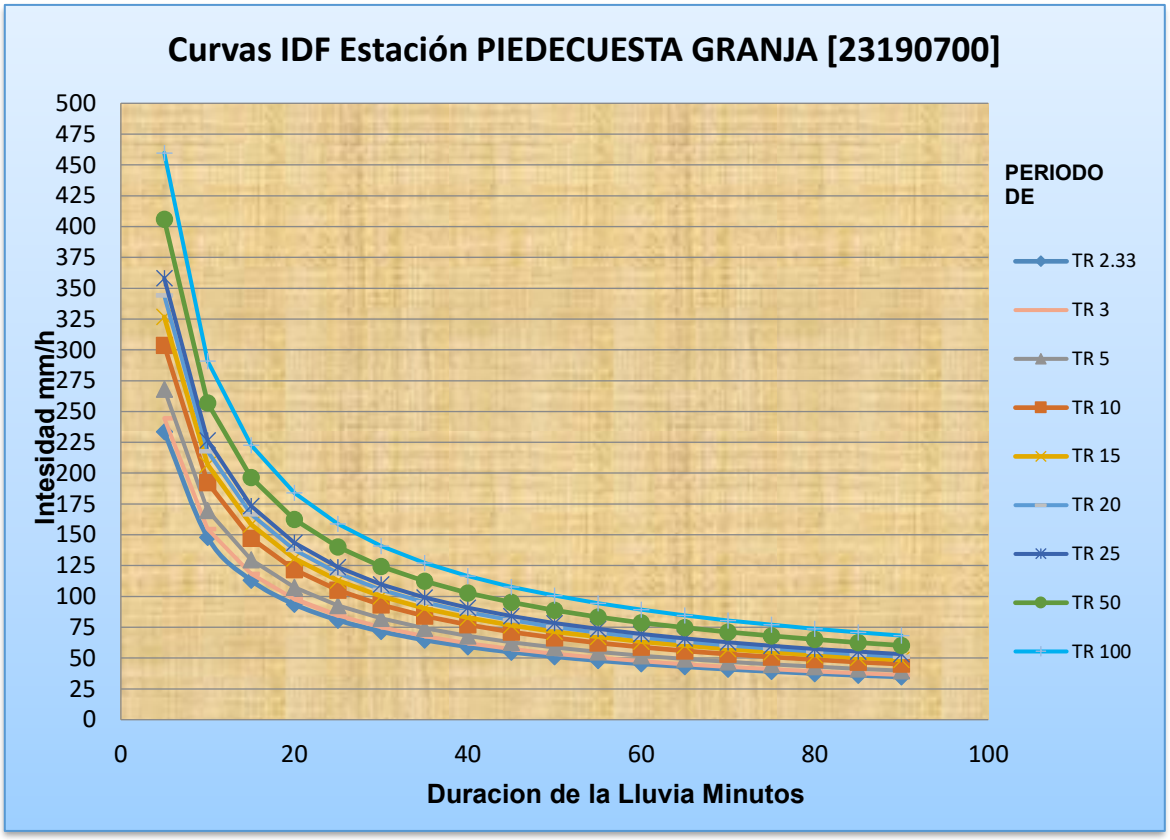
Gráfica 3. Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia, IDF PICACHO EL [23190300].

Fuente. Elaboración propia.

TR	DURACIÓN DE LA LLUVIA											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2.33	147.544	93.377	71.453	59.097	51.004	45.221	40.847	37.401	34.604	32.279	30.311	28.620
3	154.412	97.724	74.779	61.847	53.378	47.326	42.748	39.142	36.214	33.782	31.722	29.952
5	169.283	107.135	81.981	67.804	58.518	51.884	46.865	42.911	39.702	37.035	34.777	32.836
10	191.778	121.372	92.875	76.814	66.295	58.778	53.093	48.614	44.978	41.956	39.398	37.200
15	206.298	130.561	99.907	82.629	71.314	63.229	57.112	52.294	48.383	45.133	42.381	40.016
20	217.262	137.500	105.216	87.021	75.104	66.589	60.148	55.074	50.955	47.532	44.634	42.143
25	226.166	143.135	109.528	90.587	78.182	69.318	62.613	57.331	53.043	49.480	46.463	43.870
50	256.220	162.156	124.083	102.625	88.571	78.529	70.933	64.949	60.091	56.055	52.637	49.700
100	290.267	183.704	140.572	116.262	100.341	88.965	80.359	73.580	68.077	63.504	59.632	56.304
500	387.804	245.433	187.807	155.329	134.058	118.859	107.361	98.304	90.952	84.842	79.670	75.223

Tabla 16. Duración de la lluvia PICACHO EL [23190300].

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 4. Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia, IDF PIEDECUESTA GRANJA [23190700].

Fuente. Elaboración propia.

TR	DURACIÓN DE LA LLUVIA											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2.33	233.697	147.902	113.176	93.604	80.786	71.627	64.698	59.240	54.809	51.127	48.010	45.331
3	244.575	154.786	118.444	97.961	84.546	74.960	67.709	61.997	57.360	53.507	50.245	47.441
5	268.129	169.693	129.851	107.395	92.688	82.180	74.230	67.968	62.885	58.660	55.084	52.010
10	303.759	192.243	147.106	121.666	105.005	93.100	84.094	77.000	71.241	66.455	62.404	58.921

15	326.758	206.798	158.244	130.878	112.955	100.149	90.461	82.830	76.635	71.487	67.128	63.382
20	344.124	217.789	166.654	137.834	118.958	105.472	95.269	87.232	80.708	75.286	70.696	66.751
25	358.227	226.714	173.484	143.483	123.834	109.794	99.173	90.807	84.015	78.372	73.594	69.486
50	405.830	256.841	196.537	162.549	140.289	124.384	112.352	102.874	95.180	88.786	83.373	78.720
100	459.758	290.971	222.654	184.149	158.931	140.913	127.281	116.544	107.828	100.584	94.452	89.181
500	614.249	388.745	297.471	246.028	212.336	188.263	170.051	155.706	144.060	134.383	126.190	119.147

Tabla 17. Duración de la lluvia PIEDECUESTA GRANJA [23190700].

Fuente. Elaboración propia.

1.8.4 TORMENTA DE DISEÑO.

1.8.4.1 HIETOGRAMA DE AGUACEROS ESPACIALES DE DISEÑO DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

Para el cálculo de los hietogramas de aguaceros espaciales de diseño de precipitación efectiva a ser aplicados a los hidrogramas de escorrentía superficial sobre la hoya hidrográfica de interés, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Calcular la curva de masas de los aguaceros espaciales de diseño con base en los hietogramas respectivos.
- Para cada duración de la lluvia seleccionada (congruente con la duración de la lluvia efectiva del hidrograma de escorrentía superficial seleccionado, igual a tr; es decir, tr, 2tr, 3tr, 4tr, etc.), calcular la curva de masas de la precipitación efectiva espacial por medio del método de las curvas CN del Soil Conservation Service.
- Calcular el hietograma de lluvia espacial efectiva sobre la hoya, restando las precipitaciones consecutivas de la curva de masas de precipitación efectiva espacial.

1.8.4.2 HIETOGRAMAS PUNTUALES DE AGUACEROS DE DISEÑO CON CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.

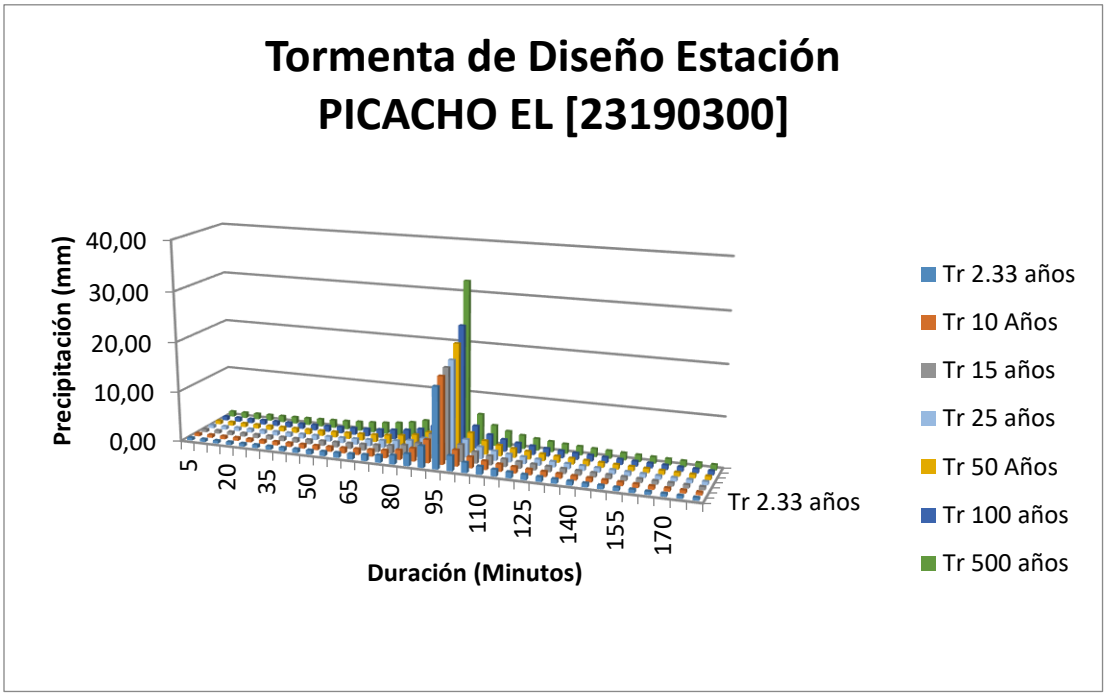
Las bases teóricas para la deducción de las curvas intensidad-duración frecuencia. Se presentaron en documentación explicada anteriormente.

El procedimiento para elaborar la tormenta de diseño es el siguiente:

- Con base en los datos de las curvas intensidad-duración-frecuencia para la estación analizada, representativa de la hoya hidrográfica hasta el sitio de la vía, se deben calcular las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 min, por ejemplo, y los periodos de retorno seleccionados, en intervalos de tiempo congruentes con la duración de la lluvia efectiva del hidrograma de escorrentía superficial seleccionado, igual a tr.

- Posteriormente, con base en estas curvas de masas, se deberán calcular los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos.

- Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, y por medio del método del Bloque Alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente se deben arreglar de la siguiente manera: el valor más bajo se colocará en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se colocará en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubicará en segundo lugar, el cuarto valor en el penúltimo lugar, y así sucesivamente. El resultado corresponde con los hietogramas de lluvia puntual de los aguaceros de diseño.



Gráfica 5. Tormenta de diseño PICACHO EL [23190300].

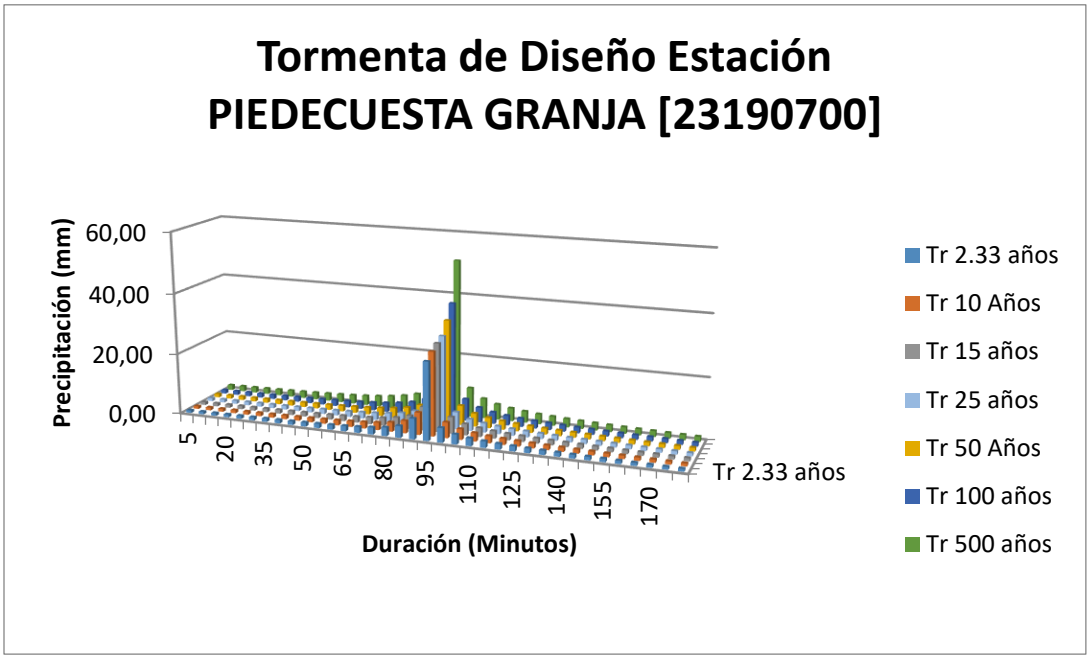
Fuente. Elaboración propia.

INTERVALO	VALORES ARREGLADOS DE LOS INCREMENTOS DE LLUVIA						
	10	15	20	25	50	100	500
0-5	0.52	0.55	0.58	0.61	0.69	0.78	1.04
5-10	0.54	0.58	0.61	0.63	0.72	0.81	1.08
10-15	0.56	0.60	0.63	0.66	0.74	0.84	1.13
15-20	0.58	0.63	0.66	0.69	0.78	0.88	1.18
20-25	0.61	0.66	0.69	0.72	0.81	0.92	1.23
25-30	0.64	0.69	0.73	0.76	0.86	0.97	1.30
30-35	0.68	0.73	0.77	0.80	0.90	1.02	1.37
35-40	0.72	0.77	0.81	0.85	0.96	1.09	1.45
40-45	0.77	0.82	0.87	0.90	1.02	1.16	1.55
45-50	0.82	0.88	0.93	0.97	1.10	1.24	1.66
50-55	0.89	0.96	1.01	1.05	1.19	1.35	1.80
55-60	0.98	1.05	1.11	1.15	1.30	1.48	1.97
60-65	1.08	1.17	1.23	1.28	1.45	1.64	2.19

INTERVALO	VALORES ARREGLADOS DE LOS INCREMENTOS DE LLUVIA						
	10	15	20	25	50	100	500
65-70	1.23	1.32	1.39	1.45	1.64	1.86	2.49
70-75	1.44	1.55	1.63	1.70	1.92	2.18	2.91
75-80	1.77	1.90	2.00	2.08	2.36	2.67	3.57
80-85	2.39	2.57	2.70	2.81	3.19	3.61	4.82
85-90	4.25	4.57	4.81	5.01	5.67	6.43	8.59
90-95	15.98	17.19	18.11	18.85	21.35	24.19	32.32
95-100	2.99	3.22	3.39	3.53	3.99	4.53	6.05
100-105	2.02	2.17	2.29	2.38	2.70	3.05	4.08
105-110	1.58	1.70	1.79	1.86	2.11	2.39	3.20
110-115	1.32	1.42	1.50	1.56	1.77	2.00	2.68
115-120	1.15	1.24	1.30	1.36	1.54	1.74	2.33
120-125	1.03	1.10	1.16	1.21	1.37	1.55	2.08
125-130	0.93	1.00	1.05	1.10	1.24	1.41	1.88
130-135	0.85	0.92	0.97	1.01	1.14	1.29	1.73
135-140	0.79	0.85	0.90	0.93	1.06	1.20	1.60
140-145	0.74	0.80	0.84	0.87	0.99	1.12	1.50
145-150	0.70	0.75	0.79	0.82	0.93	1.05	1.41
150-155	0.66	0.71	0.75	0.78	0.88	1.00	1.33
155-160	0.62	0.67	0.71	0.74	0.83	0.95	1.26
160-165	0.60	0.64	0.67	0.70	0.80	0.90	1.20
165-170	0.57	0.61	0.65	0.67	0.76	0.86	1.15
170-175	0.55	0.59	0.62	0.64	0.73	0.83	1.10
175-180	0.52	0.56	0.59	0.62	0.70	0.79	1.06

Tabla 18. Tormenta de diseño 180 min PICACHO EL [23190300].

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 6. Tormenta de diseño PIEDECUESTA GRANJA [23190700].

Fuente. Elaboración propia.

INTERVALO	VALORES ARREGLADOS DE LOS INCREMENTOS DE LLUVIA						
	10	15	20	25	50	100	500
0-5	0.82	0.88	0.92	0.96	1.09	1.24	1.65
5-10	0.85	0.91	0.96	1.00	1.13	1.28	1.71
10-15	0.88	0.95	1.00	1.04	1.18	1.34	1.79
15-20	0.92	0.99	1.04	1.09	1.23	1.40	1.86
20-25	0.97	1.04	1.09	1.14	1.29	1.46	1.95
25-30	1.02	1.09	1.15	1.20	1.36	1.54	2.05
30-35	1.07	1.15	1.21	1.26	1.43	1.62	2.17
35-40	1.14	1.22	1.29	1.34	1.52	1.72	2.30
40-45	1.21	1.30	1.37	1.43	1.62	1.83	2.45
45-50	1.30	1.40	1.47	1.54	1.74	1.97	2.63
50-55	1.41	1.52	1.60	1.66	1.88	2.13	2.85
55-60	1.54	1.66	1.75	1.82	2.06	2.34	3.12
60-65	1.72	1.85	1.95	2.03	2.29	2.60	3.47
65-70	1.95	2.10	2.21	2.30	2.60	2.95	3.94

INTERVALO	VALORES ARREGLADOS DE LOS INCREMENTOS DE LLUVIA						
	10	15	20	25	50	100	500
70-75	2.28	2.45	2.58	2.69	3.04	3.45	4.61
75-80	2.80	3.01	3.17	3.30	3.74	4.23	5.66
80-85	3.78	4.07	4.28	4.46	5.05	5.72	7.64
85-90	6.73	7.24	7.62	7.93	8.99	10.18	13.60
90-95	25.31	27.23	28.68	29.85	33.82	38.31	51.19
95-100	4.74	5.09	5.37	5.59	6.33	7.17	9.58
100-105	3.20	3.44	3.62	3.77	4.27	4.84	6.46
105-110	2.50	2.69	2.84	2.95	3.35	3.79	5.07
110-115	2.10	2.26	2.38	2.47	2.80	3.17	4.24
115-120	1.82	1.96	2.07	2.15	2.44	2.76	3.69
120-125	1.63	1.75	1.84	1.92	2.17	2.46	3.29
125-130	1.47	1.59	1.67	1.74	1.97	2.23	2.98
130-135	1.35	1.46	1.53	1.60	1.81	2.05	2.74
135-140	1.25	1.35	1.42	1.48	1.68	1.90	2.54
140-145	1.17	1.26	1.33	1.38	1.57	1.77	2.37
145-150	1.10	1.19	1.25	1.30	1.47	1.67	2.23
150-155	1.04	1.12	1.18	1.23	1.39	1.58	2.11
155-160	0.99	1.06	1.12	1.17	1.32	1.50	2.00
160-165	0.94	1.01	1.07	1.11	1.26	1.43	1.91
165-170	0.90	0.97	1.02	1.06	1.21	1.37	1.82
170-175	0.86	0.93	0.98	1.02	1.16	1.31	1.75
175-180	0.83	0.89	0.94	0.98	1.11	1.26	1.68

Tabla 19. Tormenta de diseño 180 min PIEDECUESTA GRANJA [23190700].

Fuente. Elaboración propia.

1.9 ESTIMACIÓN CURVA NUMERO, CN.

El Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América, SCS, desarrolló un método denominado número de curva de escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención

superficial y la infiltración propiamente dicha. En este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográfica:

- Tipo de suelo hidrológico.
- Utilización y tratamiento del suelo.
- Condiciones de la superficie del terreno.
- Condición de humedad antecedente del suelo.

El método del número de curva de escorrentía fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía de 24 horas y, como tal, debe ser usado hasta esta última duración. No toma explícitamente en consideración las variaciones temporales de intensidad de lluvia. La distribución temporal de precipitación puede ser introducida en una etapa posterior. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa, Pe, es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a la retención potencial máxima S.

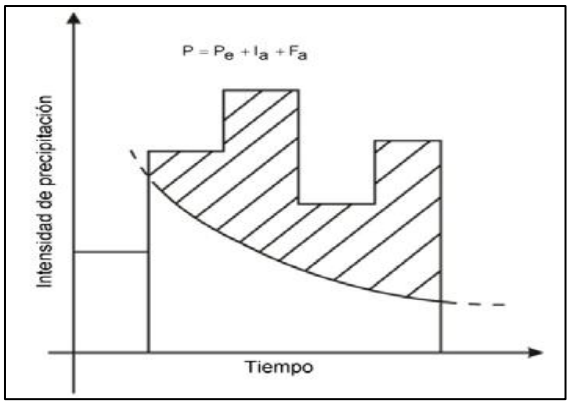


Figura 6. Variables método SCS.

Fuente. INVIAS.

Existe una cierta cantidad de precipitación Ia (abstracción inicial antes de encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es P-I_a. La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad de la precipitación:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Esta es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta, utilizando el método del SCS.
Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica:

$$Ia = 0.2\ S$$

En la que P y S están expresados en pulgadas. Esta fórmula es válida para:

P≥0.2S; si (P-0.2S) ≤0, entonces Pe = 0.

Ya que la máxima retención potencial varía ampliamente, es más apropiado expresarla en términos del número de curva de escorrentía CN, un entero que varía en el rango de 1 a 100, de la siguiente forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

En la que CN es el número de curva de escorrentía (adimensional), y S están en mm. Para CN=100, S=0; y para CN=1, S=25146 mm. De esta manera, las abstracciones totales A (incluyendo intercepción, detención superficial e infiltración propiamente dicha) son iguales a:

$$A = P - P_e$$

Los complejos de cubierta hidrológica del suelo describen una combinación específica de los grupos de suelos hidrológicos, el uso y el tratamiento de la tierra, la condición hidrológica superficial y las condiciones de humedad antecedente. Todos estos factores tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía producida por una cuenca hidrográfica. El grupo hidrológico de suelos describe el tipo de suelo. El uso y el tratamiento del suelo describen el tipo y la condición de la cubierta vegetal. La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca hidrográfica para aumentar o impedir la escorrentía directa. La condición de humedad antecedente tiene en cuenta la historia reciente de la precipitación y, consecuentemente, es una medida de la cantidad almacenada por la cuenca.

1.9.1 CLASIFICACION HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS.

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planteamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía superficial a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos “desnudos”, luego de un humedecimiento prolongado, que son consideradas para estimar la tasa mínima de infiltración, son: profundidad del nivel freático en época de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego de un humedecimiento prolongado, y la profundidad hasta el estrato de permeabilidad muy baja. La influencia de la cobertura vegetal es

tratada independientemente. Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C, y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

a) (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
b) (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
c) (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).
d) (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

GRUPO	INFILTRACIÓN (cuando están muy húmedos)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-Limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a Grande	Franco-Arenosa Franca Franco-Arcillosa-Arenosa Franco-Limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a Pequeña	Franco-Arcillosa Franco-Arcillo-Limosa Arcillo-Arenosa	Imperfecto
D	Muy Lenta	Pequeña (litosuelo) u horizonte de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre
Nota: los terrenos con nivel freático alto se incluyen en el grupo D				

Tabla 20. Clasificación de suelos a efecto umbral de escorrentía.

Fuente. INVIAS.

1.9.2 USO Y TRATAMIENTO DE SUELO.

El efecto de la condición superficial sobre la cuenca hidrográfica se evalúa por medio de las clases de tratamiento y uso del suelo. El uso del suelo pertenece a la cobertura de la cuenca, incluyendo todo tipo de vegetación, humus vegetal, tierras en descanso (suelo limpio), así como usos no agrícolas, como superficies de agua (lagos, ciénagas u otras), superficies impermeables (caminos, techos, etc.) y áreas urbanas. El tratamiento del suelo se aplica principalmente a los usos agrícolas del suelo, y éste incluye prácticas mecánicas, como el perfilado de curvas de nivel o terraceo, y prácticas de manejo, como el control de pastoreo y la rotación de cultivos. Una clase de tratamiento/uso es la combinación frecuentemente encontrada en una cuenca hidrográfica. El método del número de curva de escorrentía distingue entre suelos cultivados, prado y bosques. Para suelos cultivados, identifica los siguientes usos y tratamientos del suelo: tierras en descanso, prados, cultivos de hilera, cultivos de granos, vegetales sembrados cercanamente, rotaciones (de pobre a buena), cultivos en hileras rectas, campos sembrados a lo largo de curvas de nivel y cultivos terraceados.

1.9.3 CONDICION HIDROLOGICA.

Los prados son evaluados con una condición hidrológica de pasto natural. El porcentaje de área cubierta con pasto natural y la intensidad de pastoreo son estimados visualmente.

- Una condición hidrológica pobre corresponde a menos del 50 % de área cubierta y alta intensidad de pastoreo.
- Una condición hidrológica aceptable corresponde al 50 a 75 % del área cubierta y media intensidad de pastoreo.
- Una condición hidrológica buena corresponde a más del 75 % de área cubierta y ligera intensidad de pastoreo.

Los bosques son pequeñas arboledas aisladas o árboles que han sido sembrados para fincas o para usar en granjas. La condición hidrológica para los bosques se determina visualmente como sigue:

- Bosque pobre: Densamente pastado o bosque regularmente quemado, con pocos arbustos y muy pequeña cantidad de humus vegetal.
- Bosque aceptable: con pastos no quemados, con algunos arbustos y moderada cantidad de humus vegetal.
- Bosque bueno: protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

1.9.4 CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE.

El método del número de curva de escorrentía tiene tres niveles de humedad antecedente, dependiendo de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta que se analiza. La condición de humedad antecedente seca (AMC I) tienen el menor potencial de escorrentía, con los suelos estando lo suficientemente secos para un arado satisfactorio o para que una siembra se lleve a cabo. La condición de humedad antecedente promedio (AMC II) tiene un potencial de escorrentía promedio. La condición de humedad antecedente húmeda (AMC III) tiene el mayor potencial de escorrentía, con la cuenca hidrográfica prácticamente saturada de precipitaciones anteriores. La condición de humedad antecedente puede ser determinada a partir de la información de la siguiente tabla.

CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE (AMC)	PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS 5 DÍAS PREVIOS AL EVENTO EN CONSIDERACIÓN (mm)
I	0-36
II	36.1-52.5
III	Más de 52.5

Tabla 21. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedales antecedente.

Fuente. INVIAS.

1.9.5 DETERMIANCIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA.

Actualmente están en uso tablas de número de curva de escorrentía CN para un promedio de la condición AMC II para varias coberturas hidrológicas del suelo. En las siguientes Tablas presentadas por INVIAS se muestran los números de curva para áreas urbanas, para áreas agrícolas cultivadas, y para otros tipos de tierras agrícolas, respectivamente.

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELO			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRACTICA		A	B	C	D
			NUMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	……	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de Nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de Nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras Estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de Nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Tabla 22. Número de curva.

Fuente. INVIAS.

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMEROS DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	……	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas. Caminos y lotes circundantes	……	59	74	82	86

Tabla 23. Numero de curva para grupo de suelos hidrológicos.

Fuente. INVIAS.

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	%PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos golf, cementerios. Etc.)					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y Caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanja abierta (incluyendo derecho de vías)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vías)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vías)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbana:					

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	%PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)		63	77	85	88
Paisajes desértico artificiales (Barreras impermeables de Maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas Urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Tabla 24. Número curva escorrentía áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

Fuente. INVIAS.

En caso de que se tenga una condición de humedad antecedente diferente a la AMC II, para la cual fueron deducidas las tablas anteriores, se puede transformar el valor de CN para otros tipos de humedad antecedente, como se presenta en la Tabla siguiente:

AMC II	ACM I	ACM III
100	100	100
99	97	100
98	94	99
97	91	99
96	89	99

AMC II	ACM I	ACM III
60	40	78
59	39	77
58	38	76
57	37	75
56	36	75

AMC II	ACM I	ACM III
95	87	98
94	85	98
93	83	98
92	81	97
91	80	97
90	78	96
89	76	96
88	75	95
87	73	95
86	72	94
85	70	94
84	68	93
83	67	93
82	66	92
81	64	92
80	63	91
79	62	91
78	60	90
77	59	89
76	58	89
75	57	88
74	55	88
73	54	87
72	53	86
71	52	86
70	51	85
69	50	84
68	48	84
67	47	83
66	46	82
65	45	82
64	44	81
63	43	80
62	42	79
61	41	78

AMC II	ACM I	ACM III
55	35	74
54	34	73
53	33	72
52	32	71
51	31	70
50	31	70
49	30	69
48	29	68
47	28	67
46	27	66
45	26	65
44	25	64
43	25	63
42	24	62
41	23	61
40	22	60
39	21	59
38	21	58
37	20	57
36	19	56
35	18	55
34	18	54
33	17	53
32	16	52
31	16	51
30	15	50
25	15	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13
0	0	0

Tabla 25. Números de curva CN para condiciones de humedad antecedente tipos I y III

Fuente. INVIAS.

1.9.6 CURVA NUMERO

Para realizar el cálculo de la CN, se requiere información de los suelos y las coberturas que se presentan en las unidades hidrográficas de análisis, a continuación, se presentara el mapa de suelos y coberturas para la cuenca de interés entendiendo que esta metodología aplica ya que la unidad hidrográfica cuenta con un área mayor de 2.5 km2.

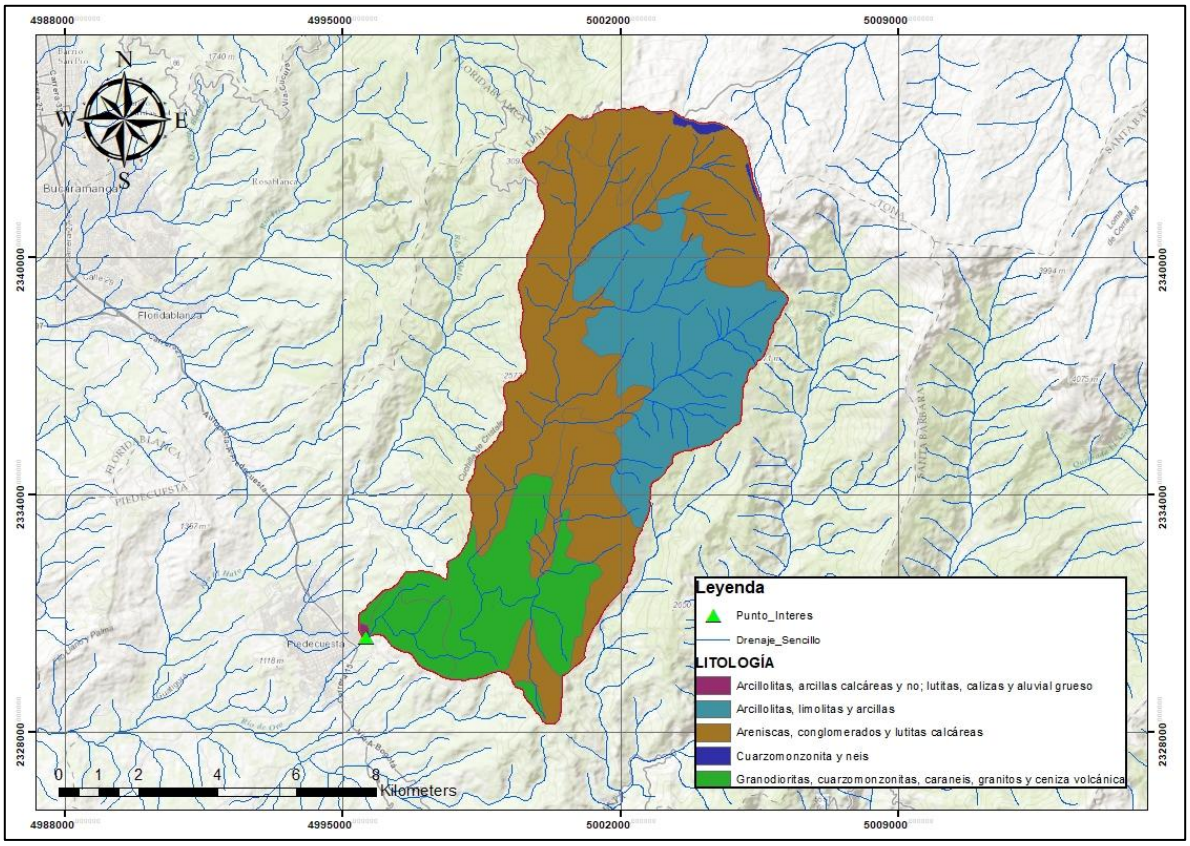


Figura 7. Mapa de suelos cuenca de interés.

Fuente. Elaboración propia

Con base en la información edafológica y litológica disponible para el área de estudio en la cuenca del río de Oro, se observa que la mayoría de las unidades cartográficas de suelo (UCS) presentan características que corresponden al Grupo Hidrológico C según la metodología del Soil Conservation Service (SCS, 1972).

En primer lugar, los suelos asociados a materiales como arcillolitas, limolitas, areniscas, conglomerados y granodioritas se caracterizan por tener texturas dominantes franco arcillosa, arcillosa y franco arcillo arenosa, con presencia de reacciones fuertemente ácidas y saturación de aluminio alta, lo que limita la permeabilidad y favorece la escorrentía superficial. Estos factores son representativos de los suelos tipo C, los cuales se definen por infiltración lenta a moderada y capacidad de drenaje restringida.

Asimismo, el relieve identificado en la mayoría de las unidades corresponde a pendientes moderadas a fuertemente escarpadas (12–25%, 25–50% y >50%), lo cual incrementa la velocidad de escurrimiento y reduce aún más el tiempo de concentración, reforzando la necesidad de clasificarlos dentro de este grupo hidrológico.

En términos climáticos, predominan condiciones de frío a muy húmedo en las zonas de montaña y de medio seco a húmedo en áreas de lomerío. Dichas condiciones, combinadas con texturas arcillosas y franco arcillosas, así como con profundidades moderadas a superficiales, generan suelos con limitada capacidad de infiltración en eventos de precipitación intensa, ajustándose al comportamiento esperado en el grupo C.

Finalmente, al analizar el porcentaje de área representada por cada UCS, se evidencia que las unidades con estas características (LRC, MHB, MHD, MQB y MLB) abarcan la mayor proporción de la superficie total del proyecto, lo que permite establecer de manera representativa que el tipo de suelo hidrológico predominante es C, y por tanto debe emplearse como base para la modelación hidrológica e hidráulica.

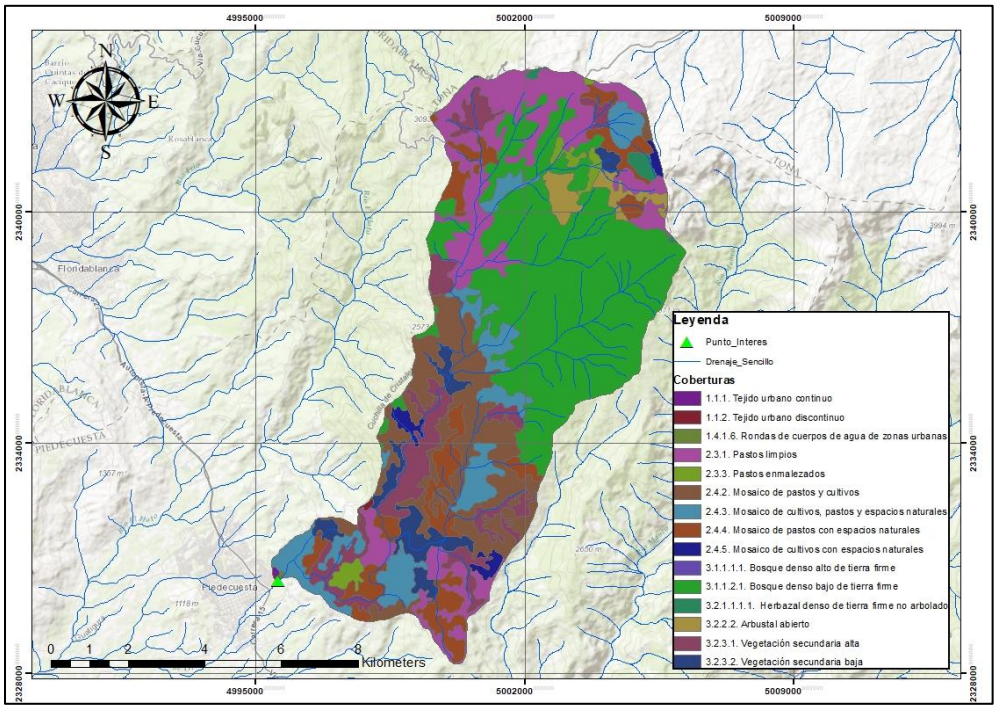


Figura 8. Mapa de coberturas cuenca de interés,

Fuente. Elaboración propia

Teniendo en cuenta todas las coberturas y tipos de suelo, se obtiene un número de curva para las sub cuencas delimitadas, estos valores se presentan en la Tabla 26.

NOMBRE	CN
Quebrada Sevilla	63.886
Quebrada El Rasgón	60.281
Quebrada Las Brujas	60.982
Río de Oro BAJO	63.282
Quebrada La Moza	62.630
Río de Oro ALTO	64.248

Tabla 26. Valores Curva Numero, Sub cuencas.

Fuente. Elaboración propia

1.10 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

1.10.1 MÉTODO LLUVIA ESCORRENTIA.

Para la determinación de los caudales máximos se utilizó, el Modelo Lluvia-Escorrentía propuesto por el U.S. Soil Conservation Service (U.S.S.C.S finalmente con el Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) implementado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Lo anterior teniendo en cuenta el área de drenaje de la cuenca de influencia del presente proyecto, es superior a 2,5 Km2.

1.10.2 MODELO DE COMPUTADOR PARA EL CÁLCULO DE HIDROGRAMA DE CRECIENTE.

El cálculo del hidrograma total se realiza considerando el hidrograma unitario afectado por la escorrentía directa o precipitación efectiva en cada duración unitaria del hietograma, el cual se va desplazando de acuerdo con la duración para todos los incrementos de la lluvia efectiva. El hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas para cada valor constante de tiempo. Para ello, se puede usar el modelo de computador HEC-HMS, A continuación, se presenta una descripción teórica del modelo de computador HEC-HMS:

Para los trabajos particulares relacionados con estos estudios, se utilizó la versión más reciente de este modelo hidrológico HEC-HMS 4.12.

Filosofía del modelo: El modelo computacional HEC-HMS ha sido diseñado para simular la escorrentía superficial en una corriente de agua en respuesta a un evento de precipitación como un sistema interconectado de componentes hidrológicas e hidráulicas. Cada componente se modela como un aspecto del proceso precipitación – escorrentía dentro de una porción de la hoya hidrográfica, comúnmente referida como una sub-hoya. Una componente puede representar una entidad de escorrentía superficial, un canal de una corriente, o un embalse. La

representación de una componente requiere un conjunto de parámetros que especifican las características particulares de tal componente y las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que ocurren y la involucran METODO DEL U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (U.S. S.C.S.).

Desarrollo de modelo HEC – HMS para cuenca de estudio.

Las consideraciones para el desarrollo de este modelo se presentan a continuación: Primero se estimará una duración de precipitación máxima, para este caso se tomará un valor de 24 horas teniendo en cuenta la precipitación calculada para los periodos de retorno a analizar. La curva número adoptada se estimará teniendo en cuenta el tipo de suelo y coberturas, siempre tomando valores que generen un mayor escurrimiento para manejar factor de seguridad teniendo en cuenta el objeto del estudio. Las precipitaciones máximas se considerarán de acuerdo a los diferentes periodos de retorno expuestos y calculados anteriormente. Las precipitaciones se especializarán teniendo en cuenta el análisis presentado anteriormente, o sea por influencia de la estación.

Con las intensidades para diferentes duraciones, iniciando en 5 y hasta 180 minutos se encuentra la precipitación para cada intervalo de 5 minutos, datos que se consignaran en el HEC HMS. Estos datos corresponden a la columna incremento de lluvia.

Modelo HEC – HMS.

Después de crear una tormenta de diseño con los datos de la estación considerada y de estimar el valor de la Curva número se procede a generar un modelo Hidrológico en HEC HMS. Una vez creado el nuevo proyecto con el nombre de Rio de Oro, se introduce los datos de las subcuencas tales como área, Tc, y la CN. El proyecto se realizó con una cuenca y se simuló el tránsito del caudal hasta llegar al punto de interés del proyecto, el cual reúne el valor del caudal total de la cuenca de interés.

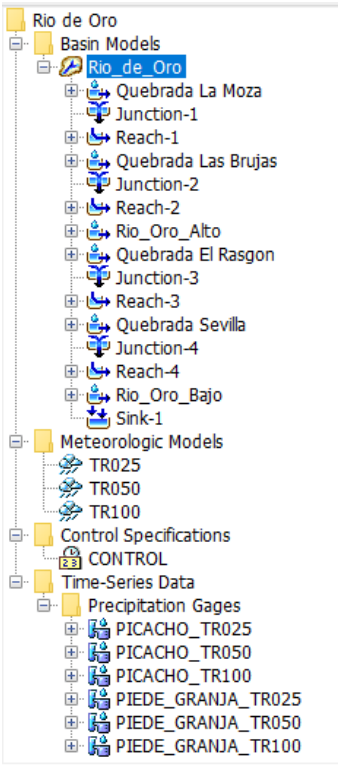


Figura 9. Modelo Hec-Hms.

Se crea el modelo meteorológico, en la pestaña Componentes, una vez creada se escoge la opción especificar Hidrograma. Ya que se introduce manualmente.

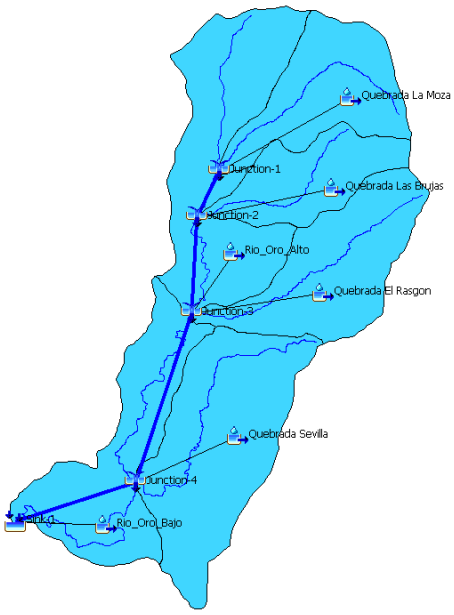


Figura 10. Modelo Hec-Hms.

Paso seguido se crea una estación, en la que se introducen los valores de la lluvia de diseño calculados; para la cual se ha utilizado la curvas IDF tomando la intensidad para los periodos de retorno de análisis (25, 50 y 100 años) de acuerdo a valores ponderados con las estaciones de influencia por cuenca, con estas intensidades se calcula la precipitación para un intervalo de 5 minutos.

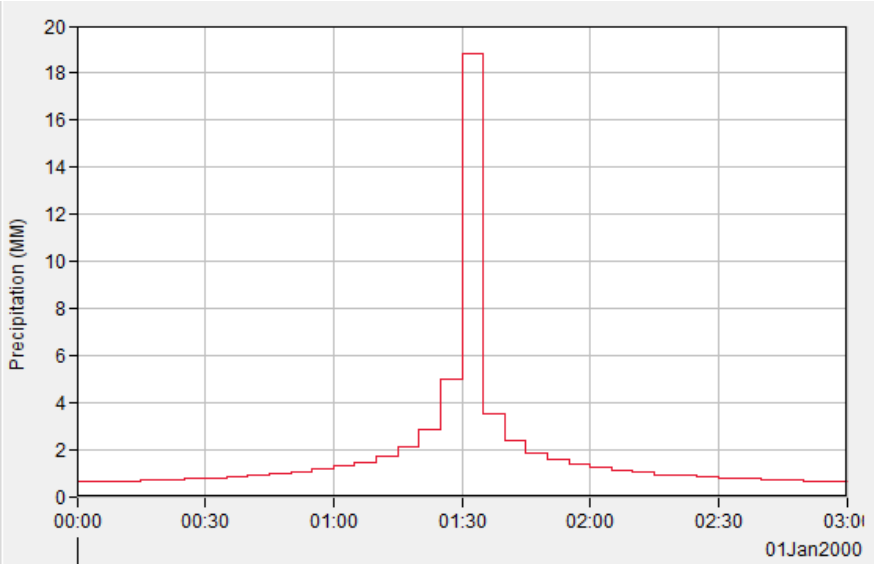
Es necesario asignar a la estación creada el intervalo de entrada de información, para este caso será 5 minutos ya que así se diseñó la tormenta. Asignar una fecha que no será relevante en este caso ya que se modela una lluvia de 180 minutos de duración.

Gage Name: TR-025	
*Start Date (ddMMMYYYY)	01ene.2000
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMMYYYY)	01ene.2000
*End Time (HH:mm)	03:00

Figura 11. Asignación de datos para la estación creada.

Fuente. Elaboración propia.

Para este caso se asigna una fecha de 01 de enero de 2000, ya que ésta no es relevante al momento de obtener los resultados, se debe tener cuidado con la hora de inicio y finalización, puesto que esta deberá corresponder a 3 horas que equivalen a los 180 minutos diseñados y se introducen los datos para la tormenta de diseño que corresponda.



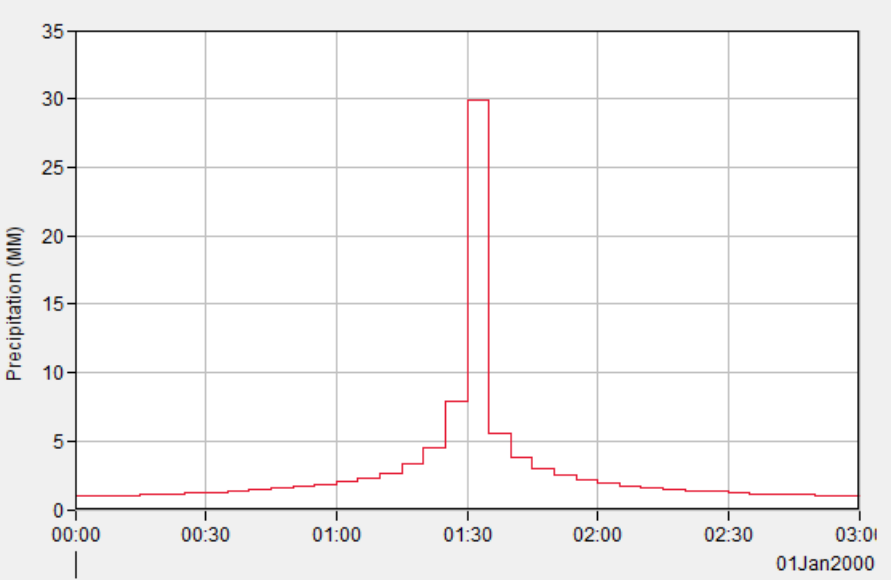


Figura 12. Datos de precipitación de entrada para HEC-HMS, PICACHO Y PIEDECUESTA GRANJA TR025.

Fuente. Elaboración propia.

Una vez ingresada toda la información base a el programa se procede a correr el mismo y los resultados obtenidos para los diferentes periodos de retorno son presentados a continuación:

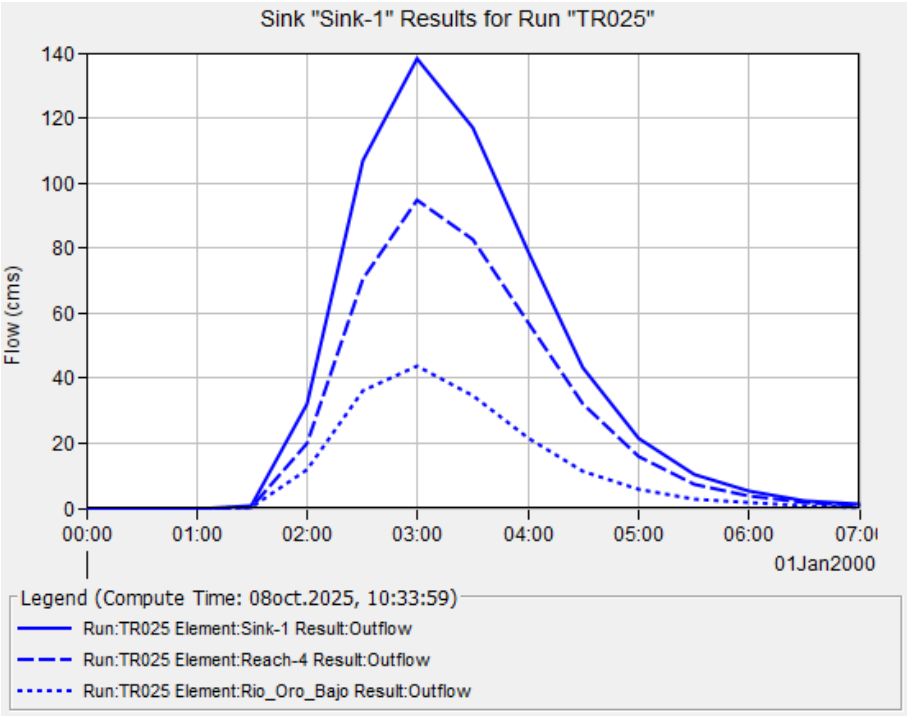


Figura 13. Hidrograma cuenca de estudio -TR25.

Fuente. Elaboración propia.

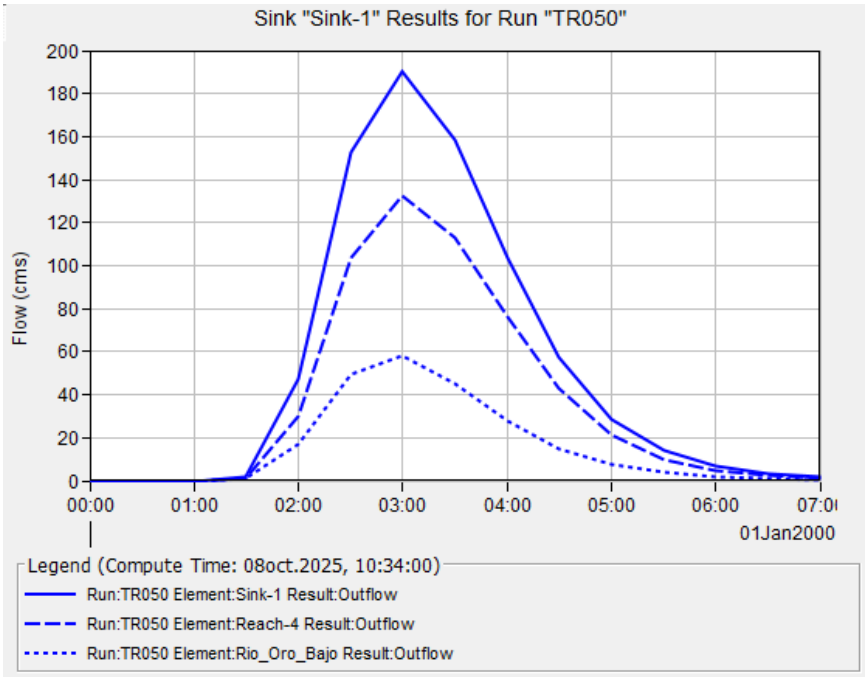


Figura 14. Hidrograma cuenca de estudio -TR50.

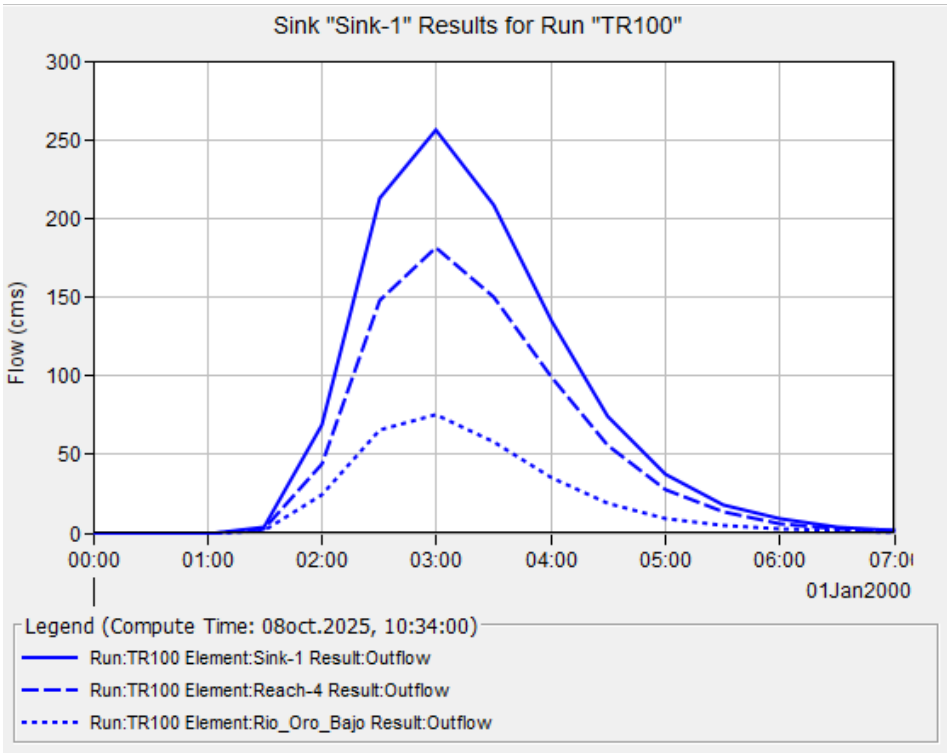


Figura 15. Hidrograma cuenca de estudio -TR100.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 27 Generación de caudales cuenca

PERIODO DE RETORNO Tr	CAUDAL MAXIMO m3/seg
2 AÑOS	18.30
5 AÑOS	28.37
10 AÑOS	38.33
25 AÑOS	55.26
50 AÑOS	71.44
100 AÑOS	138.2
500 AÑOS	152.54

Tabla 28. Resultados (m3/s).

Fuente. Elaboración propia.

2 ESTUDIO HIDRÁULICO

En el presente informe se presenta la simulación hidráulica con los caudales evaluados por métodos de lluvia-escorrentía para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años sobre la Quebrada Ruitoque del municipio de Floridablanca.

La simulación hidráulica de los caudales se realizará en Flujo Gradualmente variado permanente, mediante el programa HEC-RAS del *U.S. Army Corps of Engineers* (Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos), el cual permite modelar las modificaciones locales originadas en el tramo de estudio.

2.1 GEOMETRIA

La geometría del modelo hidráulico se basó en la topografía realizada a detalle para el presente estudio. El modelo 3d se trabajó en el software Civil 3D, Autodesk.

Una vez depurado el modelo 3D, la información geométrica de las secciones se exportó al HEC RAS mediante la opción que el CIVIL 3D tiene para este fin.

Los datos geométricos considerados en el HEC RAS se presentan en el Anexo 2.

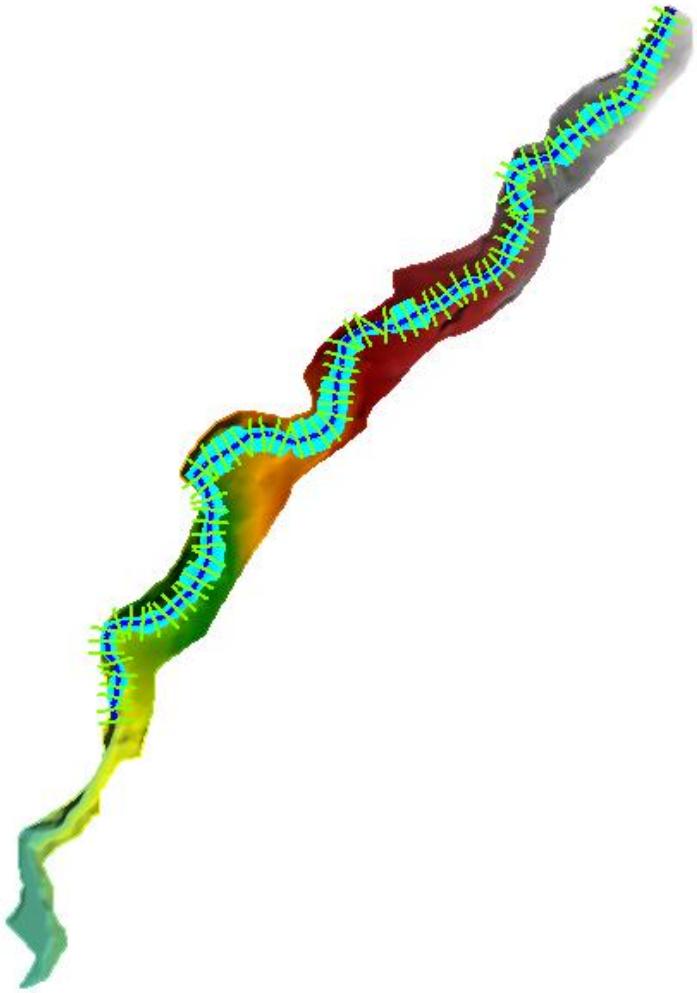


Figura 16 Modelo hidráulico Hec Ras

2.2 COEFICIENTE DE MANNING

Para determinar los coeficientes de rugosidad de Manning se tomó en cuenta el tipo de vegetación y conformación que pudieran afectar la rugosidad del canal principal del cauce y las zonas de la planicie de inundación. Se hizo una evaluación de las Bancas Izquierda y derecha, el canal principal tanto canalizado como en condiciones naturales sin canalizar. En la Tabla 29 se presentan los coeficientes de Rugosidad de Manning.

Tabla 29 Coeficientes de Rugosidad "n" de Manning para el canal principal, Banca Izquierda y la Banca Derecha

Localización	Tipo de canal y descripción	"n" de Manning
Banca Derecha	Maleza espesa y arbustiva	0.10
Canal Principal	Canales principales: material aluvial del cauce, Limpios, tortuosos, bancos de arena y rocas.	0.072
Banca Izquierda	Maleza espesa y arbustiva	0.10

2.3 DEFINICIÓN DE CAUDALES A MODELAR

El modelo hidráulico contempló evaluar en flujo uniforme, la lámina de agua en las distintas secciones del modelo para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Los caudales considerados corresponden a los evaluados en la Tabla 27.

2.4 RESULTADOS HIDRÁULICOS

Los resultados hidráulicos del modelo se presentan en los siguientes reportes:

2.4.1 Planta zona inundable

Se determina la zona inundable para periodos de retorno de 500 y 100 años.

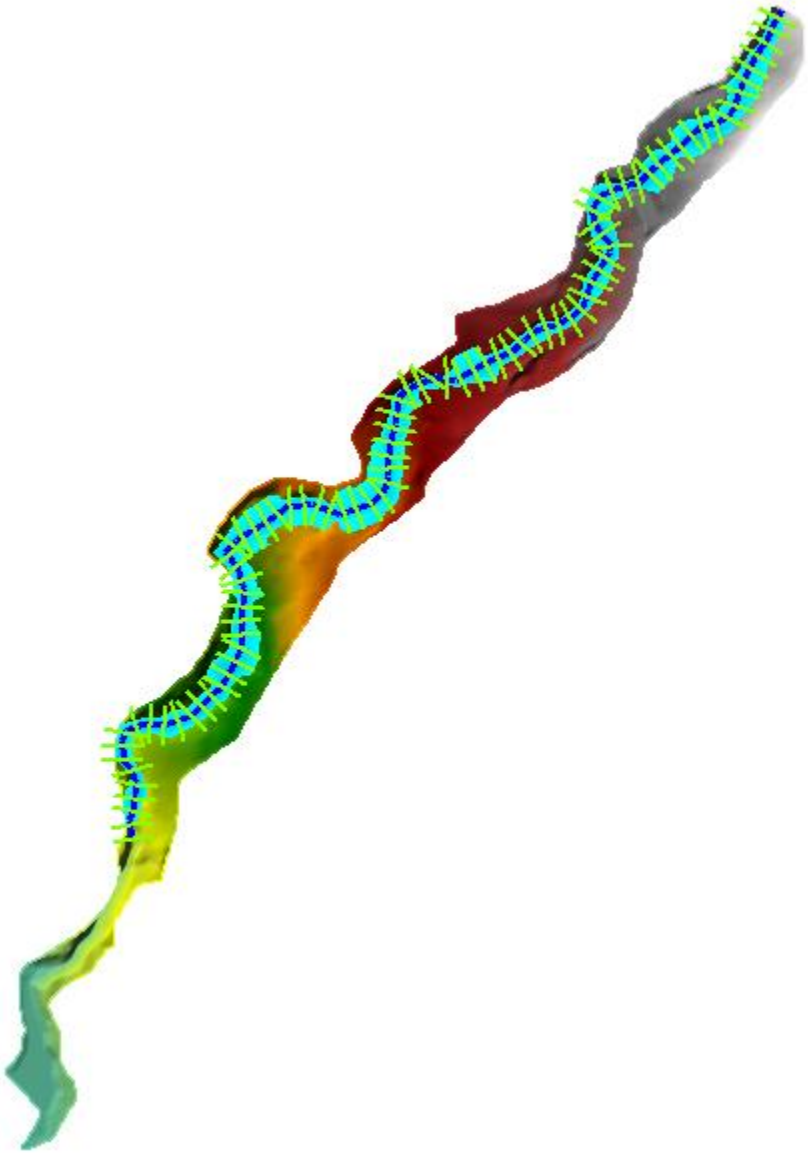


Figura 17 Zona inundable periodo de retorno de 500 años (RAS Mapper)

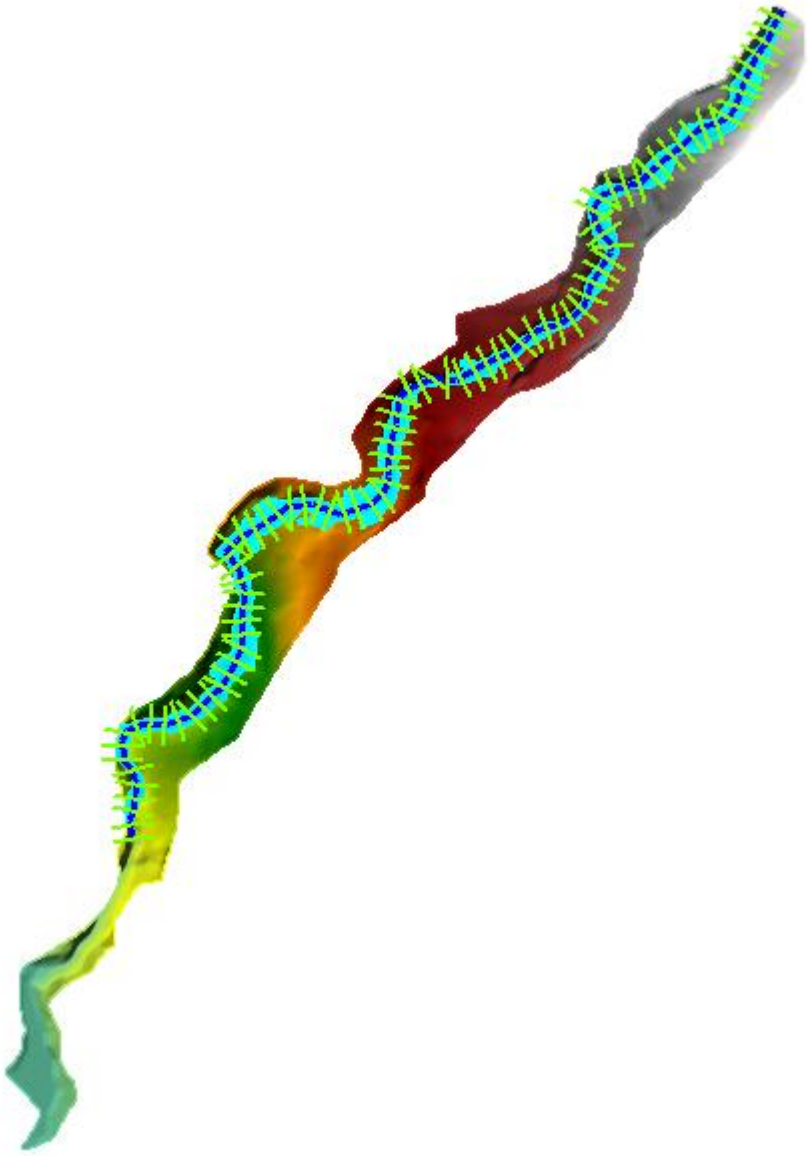


Figura 18 Zona inundable periodo de retorno de 100 años (RAS Mapper)

2.4.2 Perfil hidráulico

El perfil hidráulico se presenta para los distintos periodos de retorno considerados.

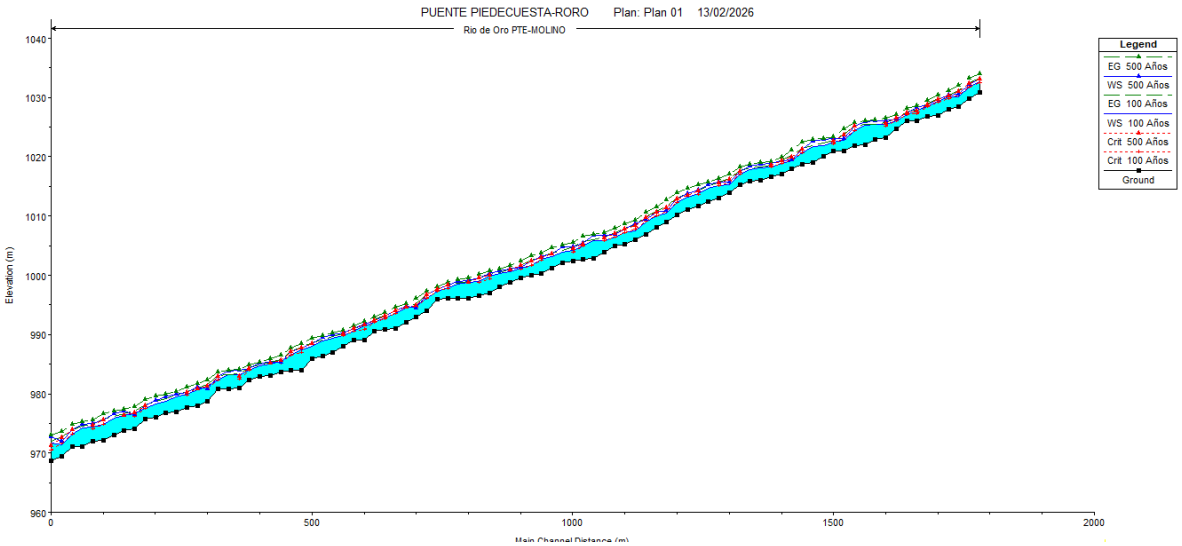


Figura 19 Perfil hidráulico

2.4.3 Secciones transversales

Se presenta para cada sección transversal del modelo, los niveles de inundación para los periodos de retorno considerados en el Anexo 1.

2.4.4 Reporte detallado de resultados

El reporte detallado de resultados hidráulicos para cada sección del modelo y periodos de retorno consideras se presentan en el Anexo 2.