ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO



JUNIO DE 2021

CONTROL DE REVISIONES		
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1	(JUNIO -2021)	

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
ANA VANESSA NISPERUZA ESPITIA	LAURA MARTÍNEZ MORALES	JAMILTON ECHEVERRI DIAZ
		
INGENIERO CIVIL. M.P. 22202-384098 COR	INGENIERO SANITARIA Y AMBIENTAL M.P. 22236-345950 COR	INGENIERO CIVIL. ESP. M.P. 22202-269762 COR

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO 8
2. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA 9
2.1. Localización del proyecto 9
2.2. Topografía 9
2.3. Clima y Temperatura. 10
2.4. Hidrografía 11
3. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO 11
3.1. Identificación y delimitación de las áreas aportante de la vía 11
3.2. Cálculo de parámetro morfométricos 12
4. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO 14
4.1. Estaciones meteorológicas 14
4.2. Datos de precipitación de las estaciones de estudio 16
4.3. Análisis de frecuencia de precipitaciones para la estación más cercana 18
4.4. Periodo de retorno de estudio 21
4.5. Cálculo de la precipitación media por el método de Isoyetas 22
4.6. Elaboración de curvas IDF 23
4.7. Tormenta de diseño 25
4.8. Hietograma de diseño 27
5. PARÁMETROS PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES 30
5.1. Coeficiente de escorrentía 31
5.2. Periodo de retorno 32
5.3. Numero de Curva 32

5.4. Coeficiente de rugosidad 35
5.5. Tiempo de concentración....35
5.6. Intensidad de precipitación....36
6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES....37
6.1. Estimación del caudal por el modelo de infiltración SCS (NRCS)....38
6.2. Estimación del caudal con HEC-HMS usando el modelo del SCS (NRCS)....38
6.3. Selección del caudal de escorrentía....41
7. VALORACIÓN DE LA LONGITUD VIAL EN FUNCIÓN DE LAS CURVAS IPL....42
8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD....44
8.1. Valoración de la longitud de la vía en función de las curvas IPL....45
9. OBRAS HIDRÁULICAS A CONSTRUIR....47
10. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES....47

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general del proyecto de estudio....10
Ilustración 2 Parámetros climáticos promedio....11
Ilustración 3 Delimitación de áreas aferentes de la via....12
Ilustración 4 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas....16
Ilustración 5 Mapa Isoyetal asociado a la P Media general en 24 horas....22
Ilustración 6 Selección de precipitación media para el área del proyecto....23
Ilustración 7 Esquema de un hidrograma de crecida....25
Ilustración 8 Grupo hidrológico del suelo según el SCS, RAS....32
Ilustración 9 Grupo hidrológico del suelo según el SCS. G. Monsalve....33
Ilustración 10 Identificación de suelos de las vías del municipio de cerete....34
Ilustración 11 Disposición de áreas de drenaje proyectadas en HEC-HMS de la vía....40
Ilustración 12 Hidrogramas de crecida TR 5 Años para el área A1-1....40

Ilustración 13 Sección transversal típica con variables para el cálculo las Curvas IPl - Ancho de Impluvium (B) 42

GRAFICAS

Grafica 1 Modelo de línea de tendencia y modelo de ajuste por el método de Gumbel.....19
Grafica 2 Curvas IDF (Intensidad – Duración y Frecuencia) 24
Grafica 3 Calculo del tiempo de duración de la lluvia.....27
Grafica 4 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 5 Años.....30
Grafica 5 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 25 Años.....30
Grafica 6 Curvas (IPL) intensidad – pendiente vía – longitud vial.....43
Grafica 7 Curvas (IPL) intensidad – pendiente – longitud vial TR 25 Años 46

TABLAS

Tabla 1 Parámetros morfométricos parte 1 de la vía 13
Tabla 2 Parámetros morfométricos parte 2 de la vía 13
Tabla 3 Valores interpretativos de la densidad de drenaje.....13
Tabla 4 Característica cualitativa de una cuenca de acuerdo con su pendiente.....13
Tabla 5 Valores interpretativos del factor forma 14
Tabla 6 Estaciones pluviométricas seleccionadas del área de estudio 15
Tabla 7 Precipitaciones Máxima 24 Horas.....17
Tabla 8 Precipitaciones Media en 24 horas 18
Tabla 9 Ecuaciones de ajuste y cálculo de P max 24 horas para diferentes periodos de retorno.....19
Tabla 10 Valores necesarios para el análisis de frecuencia de lluvias por el método de Gumbel 20
Tabla 11 Distribución Gumbel valores de Yn y Sn 20
Tabla 12 Periodo de retorno asociado a la Pmax histórica en 24 horas 20
Tabla 13 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema 21
Tabla 14 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema 22
Tabla 15 Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe 24
Tabla 16 Estación meteorológica de referencia minutal.....25
Tabla 17 Estación meteorológica de referencia minutal (Probabilidad de excedencia) 26

Tabla 18 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 5 Años 28
Tabla 19 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 25 Años 29
Tabla 20 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para la vía 31
Tabla 21 Valores de coeficiente de escorrentía referencia.....31
Tabla 22 Valores de número de curva referencia 32
Tabla 23 Selección del grupo hidrológico de la cuenca.....34
Tabla 24 Valores de número de curva calculados.....34
Tabla 25 Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas.....35
Tabla 26 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc 36
Tabla 27 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag) 36
Tabla 28 Cálculo de la intensidad de precipitación para la vía 37
Tabla 29 Calculo de caudales por el método racional para las vías 38
Tabla 30 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para la vía 41
Tabla 31 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 5 años para la vía 41
Tabla 32 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 25 años para la vía 41
Tabla 33 Parámetros generación curvas IPL para la Vía 43
Tabla 34 Valores de Longitud de vía.....44
Tabla 35 Parámetros generación curvas IPL para la Vía TR 25 años 45
Tabla 36 Valores de Longitud de la vía.....46
Tabla 37 Ubicación de alivios Tipo Vía Chuchurubí- Cerete 47

ANEXOS

ANEXO 1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

ANEXO 2. ANÁLISIS DE FRECUENCIA POR GUMBEL

ANEXO 3. CURVAS IDF SINTÉTICAS

ANEXO 4. ECUACIONES PARA CÁLCULO DEL TC

ANEXO 5. HIDROGRAMAS DE CRECIDA

ANEXO 6. CURVAS IPL

ANEXO 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE CURVAS IPL TR 25 AÑOS

ANEXO 8. PLANO DETALLES RED PLUVIAL

1. RESUMEN EJECUTIVO

Para el diseño de estructuras hidráulicas, es necesario conocer el comportamiento hidrológico de la zona de estudio o zona de influencia que genere escorrentías superficiales para posteriormente plantear diseños y modelaciones hidráulicas que convengan el buen funcionamiento y la durabilidad de la estructura a diseñar, mitigando el riesgo de inundación de la zona y el colapso de las estructuras diseñadas. Por tal motivo en este resumen ejecutivo se describe de manera breve la metodología y el proceso para la obtención de resultados. Como primera medida se realiza una localización del proyecto con el fin de conocer características morfométricas y pluviométricas de la zona de estudio. Tal descripción se realizará en el **numeral 2** y sirve como referencia tanto para el consultor como para el ente revisor para darse una idea del comportamiento fisiográfico del área de estudio.

Posteriormente en el **numeral 3** se realiza el análisis morfométrico de las áreas aferentes que afectan la vía a intervenir. Inicialmente se delimitan las cuencas haciendo uso de Google Earth y la topografía medida en campo. Una vez delimitadas y seccionadas las cuencas aportantes a cada tramo vial, se describen los parámetros morfométricos de la misma.

En el **numeral 4** se realiza el análisis pluviométrico de la zona de estudio. Como primera medida es necesario conocer las estaciones meteorológicas que convergen o inciden en la cuenca hidrográfica, motivo por el cual se descargó de la página del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) las series históricas multianuales de precipitación máxima multianual en 24 horas. Seguidamente, se efectúo un análisis de frecuencia de lluvias calculando las probabilidades de excedencia y así encontrar los periodos de retorno para una serie multianual de precipitaciones máximas en 24 horas. Con la información obtenida se generan los mapas isoyetales asociados a los diferentes periodos de retorno, información que permite conocer la precipitación máxima en 24 horas y precipitación que afecta las cuencas hidrográficas en función de la interacción del polígono formado por las estaciones meteorológicas de estudio, por último, se calcula el tiempo de duración de la lluvia o tormenta de diseño, el cual se representa mediante el hietograma de diseño.

En el **numeral 5 y 6.** Se estima el caudal bajo el modelo precipitación-escorrentía por el método racional y por el método del número de curva. Para la estimación de los caudales por el método racional se calcula la intensidad de precipitación (I) la cual se puede hallar gráficamente en las curvas IDF para un periodo de retorno especifico y el tiempo de concentración estimado; también con la ecuación de Díaz- Granados se puede realizar el mismo procedimiento de forma más precisa, adicional se calcula el coeficiente de escorrentía en función del tipo de suelo del área de estudio. Por último, Se estima el caudal por el método de infiltración SCS (NRCS) el método del número de curva, se hará uso del software HEC-HMS del cuerpo de ingenieros de los estados unidos, para lo cual se debe conocer el *Tlag* (tiempo de retardo), numero de curva según la cobertura y textura del suelo, el área de cada cuenca, la longitud del cauce principal (longitud vial) y el hietograma de diseño en función del tiempo de duración de la lluvia para un periodo de retorno especifico; una vez hallados los caudales por los dos métodos se realiza un análisis de selección de caudales para no sobre estimar ni sub estimar los mismos.

En el **numeral 7,** se determina la longitud (L) máxima de vía, esta variable se emplea como guía a la hora de la ubicación de los puntos donde se deben ubicar alivios, desagües. Etc. Este procedimiento se hace con el fin de evitar desbordamiento en la vía. Este proceso consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc. en este apartado se usa como material metodológico Cartilla Guía Para Evaluación de cantidades y Ejecución de Presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea, del ministerio de transporte Instituto Nacional de Vías. Finalmente se procede a la ubicación de las obras hidráulicas complementarias para su buen funcionamiento si es requerido.

En el **numeral 8**, se realiza un análisis de sensibilidad en el cual se calcula el caudal asociado a un periodo de retorno máximo presentado en la zona estudiada, se evalúa si en estas condiciones podrían exceder las condiciones de diseño, dicho análisis se realiza con el caudal asociado a la precipitación máxima historia de la estación más cercana al proyecto.

En el **numeral 9**, se realiza la localización y detalles constructivos de las obras hidráulicas a construir, estructuras encargadas de hacer la recolección, direccionamiento y evacuación de las escorrentías superficiales; garantizando así un buen drenaje vial.

Por último, en el **numeral 10** se consignan una serie de recomendaciones y conclusiones que deben ser tenidas en cuenta por la empresa que vaya a desarrollar el proyecto durante la etapa constructiva

2. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

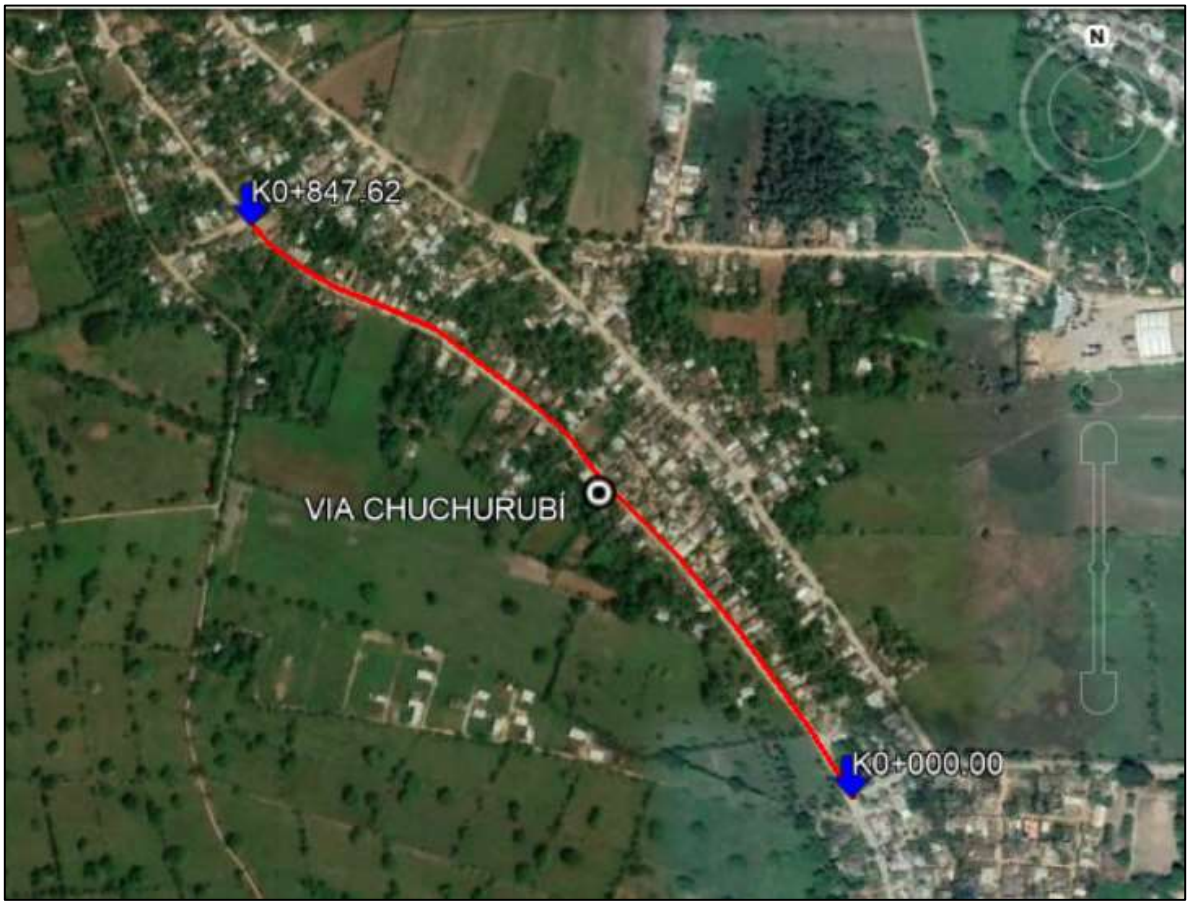
2.1. Localización del proyecto

El proyecto se encuentra localizado entre los Municipios de Cerete, en el Departamento de Córdoba, Colombia. Limita por el norte con los Municipios de San Pelayo y Chimá, por el este con el Municipio de Ciénaga de Oro, por el oeste con el Municipio de Montería y por el sur con los Municipios de San Carlos y Montería. Las vías objeto de contrato, están ubicadas en el corregimiento de Rabolargo, municipio de Cerete, departamento de Córdoba, **ver Ilustración 1.**

2.2. Topografía

La región presenta dos tipos de topografía: una completamente plana que se localiza sobre todo el valle del Río Sinú con pendientes que no superan el 3% y, otra al noreste con relieve ligeramente ondulado ha quebrado, con pendientes hasta del 50% en donde las principales unidades fisiográficas son abanicos. La parte media del valle del Río Sinú se localiza a la altura de Cereté inclinándose hacia el oriente debido a la rápida sedimentación del río en relación con las orillas del valle.

Dentro de la planicie fluvio-lacustre existe una serie de terrazas bajas, compuestas generalmente por materiales finos que corresponden a arcillas finas y arenas finas. Estos materiales son poco permeables y facilitan los encharcamientos en épocas de lluvias y agrietamiento en los periodos secos. **Ver ilustración 1.**

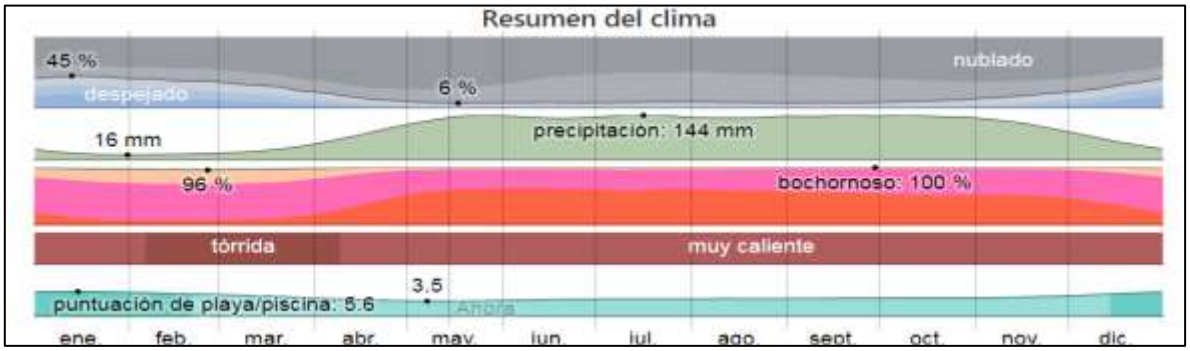


Fuente: Google Earth
Ilustración 1 Localización general del proyecto de estudio

2.3. Clima y Temperatura.

La posición latitudinal y la ausencia de elevaciones orográficas significativas, colocan a la totalidad del área del proyecto, dentro de lo que comúnmente se ha denominado tierras cálidas con diferentes precipitaciones y temperaturas moderadas. Los veranos son cortos y tórridos, los inviernos son caliente y mojados y está opresivo y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 22 °C o sube a más de 39 °C.

La región en términos generales, presenta características rústicas, debido a la acción de los vientos secos provenientes del noreste, que, al llegar al Continente, se llevan consigo la poca humedad atmosférica existente, hasta encontrar barreras donde se depositan las masas de aire. La humedad relativa es del 80.1%, según los datos registrados en la estación Turipaná. La variación es mínima; en marzo ocurre la humedad relativa más baja en el año con 76.2%, mientras que en noviembre se presenta la mayor con 83%.



Fuente: IDEAM agosto de 2018
Ilustración 2 Parámetros climáticos promedio.

2.4. Hidrografía

Se encuentra distribuida en microrregiones de la siguiente forma:

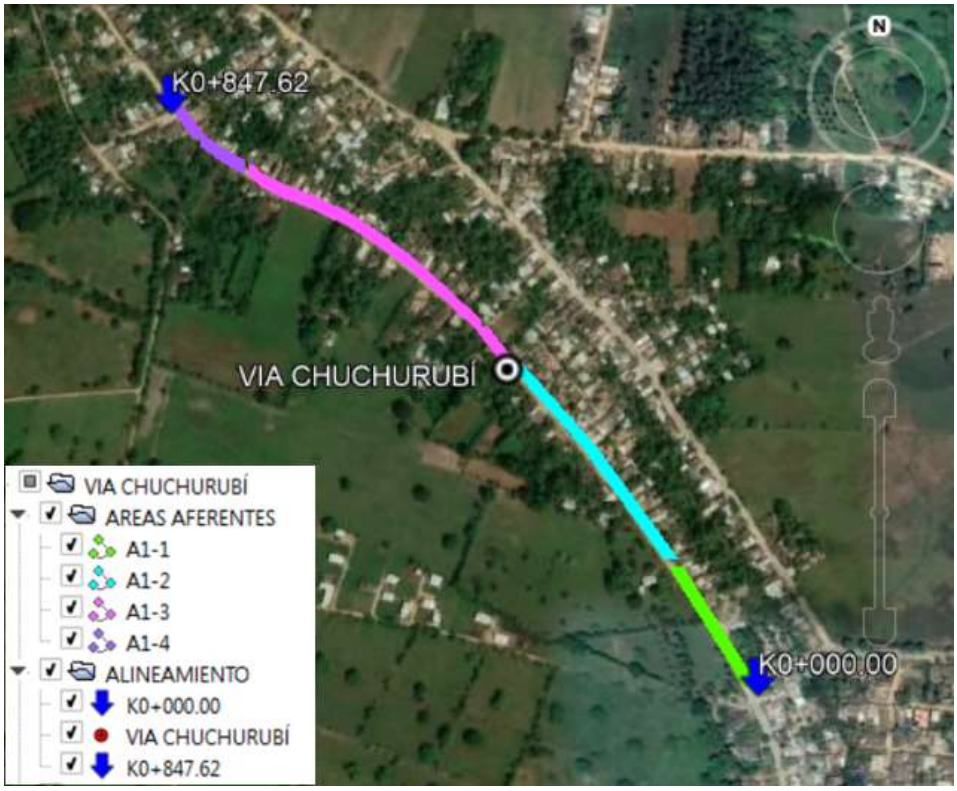
Micro Región 1: integrada por la cabecera municipal y los corregimientos de Martínez, Manguelito, Mateo Gómez, Retiro de los Indios y Rabolargo, está bañada por el Caño Bugre y sus brazos y el Brazo de Lara en su gran mayoría, la Ciénaga de Wilches y una parte de la Ciénaga la Granchina. La Micro Región 2: pertenece a una zona homogénea bien definida, comprende el corregimiento de Severá, en total es alimentada por el brazo de Lara (cauce principal del Río Sinú) la Ciénaga de Corralito, los caños del Vidrial y Caño Viejo y los arroyos Trementino y El Coco. La Micro Región 3: integrada por los corregimientos de Cuero Curtido y Tres Marías. Es la parte de mayores pendientes del Municipio y está atravesada por los arroyos El Coco y Trementino.

3. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

Mediante este análisis cuantitativo se busca conocer las características físicas de las áreas aferentes del proyecto estudiado. Cabe resaltar que el análisis morfométrico no solo se realiza a cuencas de gran escala, también se puede realizar a microcuencas.

3.1. Identificación y delimitación de las áreas aportante de la vía

Como primera medida es necesario realizar la delimitación de las áreas tributarias del proyecto; en este caso este ejercicio se realiza en función del comportamiento de drenaje de las zonas de influencia. Posteriormente se definió el área aferente y la distribución de la red de drenaje con sus respectivas áreas de drenaje. Para el análisis hidrológico e hidráulico se procedió a estudiar la vía , sus areas aferentes y sistema de drenaje y por otro lado las cuencas que conforman las áreas aferentes para el análisis de las estructuras necesarias para el correcto drenaje de los terrenos adyacentes al proyecto. Evitando así desbordamientos y deterioros en la vía a construir. Ver **ilustración 3.**



Fuente: Google Earth

Ilustración 3 Delimitación de áreas aferentes de la via

3.2. Cálculo de parámetro morfométricos

El cálculo de parámetros morfométricos se realizó en función de la definición del área aferente. A continuación, se presenta en la **Tabla 1 y 2 .** los parámetros morfométricos calculados para el área aferente. En las tablas **3, 4 y 5** se presentan los valores de referencia para determinar el tipo de terreno en función de la pendiente, la categoría de la cuenca en función de la densidad de drenaje y la forma de la cuenca en función del factor de forma.

En términos generales conocer las características físicas y morfométricas de un área de drenaje independiente de su tamaño, nos permite deducir el comportamiento de la misma en función del drenaje; la forma de la cuenca nos permite conocer la susceptibilidad de la misma, para el caso particular de las cuencas alargadas o muy alargadas el tiempo de recorrido es más largo, en otras palabras, tiene mayor tiempo de concentración, generando menor violencia en las crecidas y picos de crecidas menos súbitos para lluvias concentradas; situación contraria para cuencas redondeadas. Por otro lado, la densidad de drenaje permite tener una idea del tipo de vegetación y permeabilidad del suelo. Una cuenca con densidad de drenaje baja puede ser un indicador de una cuenca pobremente drenada y con una respuesta hidrológica lenta.

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area Unitaria (m2)	Area Acumulada (m2)	Area (Km2)	Area (ha)	Longitud de tramo (m)	Pendiente (%)
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+235.00	1410.00	1410.00	0.00141	0.141	235.00	0.23%
	A1-2	K0+235.00	K0+405.00	1020.00	1020.00	0.00102	0.102	170.00	0.39%
	A1-3	K0+405.00	K0+560.00	930.00	930.00	0.00093	0.093	155.00	0.64%
	A1-4	K0+560.00	K0+750.00	1140.00	1140.00	0.00114	0.114	190.00	0.52%
	A1-5	K0+560.00	K0+847.62	1725.72	1725.72	0.00173	0.1726	287.62	0.21%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1 Parámetros morfométricos parte 1 de la vía

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Perimetro (m)	Diametro Cuenca Circular (km)	Ancho Medio (m)	Densidad de Drenaje (km/km2)	Indice de Gravelius	Factor de Forma
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+235.00	482.00	0.04	6.00	166.67	3.59	0.03
	A1-2	K0+235.00	K0+405.00	352.00	0.04	6.00	166.67	3.09	0.04
	A1-3	K0+405.00	K0+560.00	322.00	0.03	6.00	166.67	2.96	0.04
	A1-4	K0+560.00	K0+750.00	392.00	0.04	6.00	166.67	3.25	0.03
	A1-5	K0+560.00	K0+847.62	587.24	0.05	6.00	166.67	3.96	0.02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Parámetros morfométricos parte 2 de la vía

Densidad de Drenaje (Km/Km^2)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

Tabla 3 Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez (1979)

Tabla 4 Característica cualitativa de una cuenca de acuerdo con su pendiente

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 -1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)
Tabla 5 Valores interpretativos del factor forma

4. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

En este numeral se busca encontrar valores que relacionan variables de precipitación con periodos de retorno que posteriormente serán utilizados para el cálculo del tiempo de concentración, intensidad de precipitación y caudal de escorrentía.

4.1. Estaciones meteorológicas

Cerete es un municipio que está localizado en el departamento de Córdoba, Las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron las de subregión del Urabá y la subregión del Sinú alto y medio**.** Durante el desarrollo del estudio, se solicitó al IDEAM los valores de precipitaciones multianuales máximas en 24 horas. La información de los valores multianuales de las estaciones meteorológicas se puede observar en el **anexo 1.** En la **tabla 6** se puede observar algunas características de cada una de las estaciones y en la **ilustración 4** la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

Municipio	Nombre de Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Corriente
San Pelayo	San Antonio	13080010	8.9359	-75.9533	50	Sinú
San Pelayo	Carrillo	13070180	8.9844	-75.8318	20	Sinú
San Carlos	Buenos Aires 1	13070170	8.7728	-75.7497	9	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Santa Rosa	13070100	8.7411	-75.6014	140	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Carrizal	13070110	8.6819	-75.7535	40	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Coroza 2	13070190	8.8047	-75.7650	9	Sinú
San Carlos	San Carlos	13070090	8.7906	-75.7014	60	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Callemar	13070120	8.6975	-75.6778	95	Caño Aguas Prieta
Montería	Boca De La Ceiba	13070070	8.8299	-75.8561	20	Sinú
Montería	Buenos Aires	13060020	8.4758	-75.7653	55	Caño Betanci
Montería	Sabanal	13070280	8.7886	-75.7514	10	Sinú
Montería	San Anterito	13060010	8.5578	-75.8611	75	Ay Aguaviva
Montería	Loma Verde	13050030	8.5019	-76.1753	100	Qda Florisanto
Montería	Santa Cruz Hacienda	13050020	8.6675	-76.1239	220	Qda Florisanto
Montería	Santa Lucia	13050010	8.8486	-76.0453	120	Qda Del Medio

Municipio	Nombre de Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Corriente
Montería	Tampa	13070290	8.6247	-75.7672	20	Sinú
Montería	Maracayo	13065020	8.4106	-75.8844	25	Ay Betanci
Montería	Univ. de córdoba	13075050	8.7939	-75.8615	15	Sinú
Ciénaga De Oro	ciénaga de oro	13077070	8.8725	-75.6258	10	Caño Aguas Prieta
Ciénaga De Oro	salado el	13075020	8.9139	-75.5822	40	Ay Aguas Prieta
Cereté	Cereté	13070050	8.8903	-75.7863	20	Caño Bugre
Cereté	Rabolargo	13070040	8.9506	-75.7425	19	Caño Bugre
Cereté	Turipana	13075030	8.8395	-75.8019	20	Caño Bugre
Tierralta	caramelo	13060030	8.2661	-75.9039	60	Cauca
Tierralta	Tierralta	13030010	8.1867	-76.0531	100	Canal Floresta
Chima	chima	13075010	9.1508	-75.6221	20	Lago Cuesta Abajo
Chinu	Chinu - Aut	25020470	9.1178	-75.3933	125	Suarez
Planeta Rica	Planeta Rica - Aut	25025190	8.3993	-75.5837	90	San Miguel
Sahagún	Trementino	25021210	8.8179	-75.4742	136	Caño Tapoa
Sahagún	Jobo El Tablón	25020720	8.6372	-75.3836	130	San Juan De Urabá
Sahagún	Sahagún	25020140	8.9508	-75.4519	60	Caño Violo
Sahagún	Colomboy	25025170	8.7409	-75.4988	125	San Juan De Urabá
Puerto Escondido	Cristo Rey - Aut	12045020	9.0711	-76.2244	15	Cienaga Zapatoza
Puerto Escondido	Jaramagal	12040010	8.9008	-76.2208	90	Canal San Carlos
Valencia	Pezval	13040030	8.2622	-76.1692	80	Cauca
Pueblo Nuevo	Sajonia Hacienda - Aut	25020600	8.4897	-75.6014	100	Yaguara
Arboletes	Arboletes	12045010	8.8469	-76.4319	4	Magdalena
Arboletes	Carmelo El	12030020	8.6169	-76.3814	50	Magdalena
Montelibano	San Francisco	25010100	8.1292	-75.7600	160	N/A
Montelíbano	Pica	25010080	8.0311	-75.6831	100	N/A
Tierralta	Quimari	13040010	8.0667	-76.3333	200	N/A
Tierralta	Represa Urra	13015040	8.0142	-76.2031	300	N/A
Sincelejo	Pastora La	13090230	9.2933	-75.4919	58	N/A
Sincelejo	Puerta Roja Aut	25025350	9.3164	-75.3875	160	N/A
Corozal	Aeropuerto Rafael Barvo	25025080	9.3339	-75.2831	166	N/A
Corozal	Hato Nuevo	25020990	9.1783	-75.1903	80	N/A
Colosó	Paraíso El	13090060	9.4739	-75.3708	100	N/A
Colosó	Primates	13095020	9.5301	-75.3514	200	N/A
Tolú	Santa Angela Hacienda	13090090	9.4853	-75.5125	20	N/A
Tolú	Tolú	13090070	9.5192	-75.5911	2	N/A
Toluviejo	Argentina	13090100	9.4858	-75.4686	20	N/A
Toluviejo	Toluviejo	13090050	9.4380	-75.4400	60	N/A
San Antero	Villa Marcela	13070440	9.3522	-75.7189	40	N/A

Fuente: IDEAM (Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales)
Tabla 6 Estaciones pluviométricas seleccionadas del área de estudio



Fuente: Google Earth
Ilustración 4 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas

4.2. Datos de precipitación de las estaciones de estudio

Para el análisis pluviométrico, se seleccionan las precipitaciones medias y máximas en 24 horas de una serie histórica de precipitaciones. Los datos seleccionados de precipitación media y máxima se realizan para que, durante la generación de las curvas isoyetales, se generé el mapa para cada tipo de precipitación antes mencionada y en función del tipo de lluvia recurrente de la zona, se asocie el valor más acorde a las condiciones (orográficas, ciclónicas o convectivas). se define la precipitación máxima en 24 horas presentada en la **Tabla 7** y la precipitación media en 24 horas en la **Tabla 8**.

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Max en 24 Horas
1	SANTA ROSA	13070100	8.741111	-75.601417	137.00
2	BUENOS AIRES 1	13070170	8.772778	-75.749722	160.00
3	CARRIZAL	13070110	8.681944	-75.753528	145.00
4	SAN CARLOS	13070090	8.790556	-75.701389	141.00
5	COROZA 2	13070190	8.804722	-75.765000	150.00
6	CALLEMAR	13070120	8.697500	-75.677778	150.00
7	BOCA DE LA CEIBA	13070070	8.829917	-75.856111	135.00
8	SANTA LUCIA	13050010	8.848611	-76.045278	170.00
9	SAN ANTERITO	13060010	8.557778	-75.861111	150.00
10	TAMPA	13070290	8.624722	-75.767222	170.00
11	SANTA CRUZ HACIENDA	13050020	8.667500	-76.123889	148.00
12	LOMA VERDE	13050030	8.501944	-76.175278	126.00
13	SABANAL	13070280	8.788611	-75.751389	136.00

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Max en 24 Horas
14	BUENOS AIRES	13060020	8.475833	-75.765278	138.00
15	MARACAYO	13065020	8.410556	-75.884444	137.00
16	UNIV DE CÓRDOBA	13075050	8.793889	-75.861528	182.00
17	RABOLARGO	13070040	8.950611	-75.742472	140.00
18	CERETÉ	13070050	8.890333	-75.786250	202.60
19	TURIPANA	13075030	8.839528	-75.801889	145.40
20	SAN ANTONIO	13080010	8.935861	-75.953333	139.00
21	CARRILLO	13070180	8.984444	-75.831778	150.00
22	SALADO EL	13075020	8.913889	-75.582222	130.00
23	CIÉNAGA DE ORO	13077070	8.872500	-75.625833	156.00
24	CARAMELO	13060030	8.266111	-75.903889	138.00
25	TIERRALTA	13030010	8.186667	-76.053056	150.00
26	CHIMA	13075010	9.150750	-75.622083	130.00
27	CHINÚ AUT	25020470	9.117778	-75.393333	142.00
29	PLANETA RICA	25025190	8.399333	-75.583722	160.00
30	COLOMBOY	25021210	8.817944	-75.474194	158.40
31	SAHAGÚN	25020720	8.637222	-75.383611	147.00
32	TREMENTINO	25020140	8.950833	-75.451944	180.00
33	JOBO EL TABLON	25025170	8.740861	-75.498833	140.00
34	CRISTO REY AUT	12045020	9.071111	-76.224444	167.50
35	JARAMAGAL	12040010	8.900833	-76.220833	210.00
36	PEZVAL	13040030	8.262222	-76.169167	130.00
37	SAJONIA HACIENDA AUT	25020600	8.489722	-75.601389	142.00
38	ARBOLETES	12045010	8.846944	-76.431944	172.60
39	CARMELO EL	12030020	8.616944	-76.381389	182.00
40	BUENAVISTA	25020520	8.222222	-75.467500	150.00
41	AYAPEL	25025030	8.295064	-75.164556	183.30
42	SAN FRANCISCO	25010100	8.129167	-75.760000	140.00
43	PICA PICA	25010080	8.031111	-75.683056	170.00
44	QUIMARI	13040010	8.066667	-76.333333	150.00
45	REPRESA URRA	13015040	8.014167	-76.203056	165.50
46	PASTORA LA	13090230	9.293333	-75.491944	120.00
47	PUERTA ROJA AUT	25025350	9.316389	-75.387500	133.00
48	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	25025080	9.333889	-75.283056	128.00
49	HATO NUEVO	25020990	9.178333	-75.190278	151.00
50	PARAISO EL	13090060	9.473889	-75.370833	149.20
51	PRIMATES	13095020	9.530139	-75.351361	135.00
52	SANTA ANGELA HACIENDA	13090090	9.485278	-75.512500	155.00
53	TOLU	13090070	9.519167	-75.591111	150.00
54	ARGENTINA	13090100	9.485833	-75.468611	165.00
55	TOLUVIEJO	13090050	9.438000	-75.440000	146.00
56	VILLA MARCELA	13070440	9.352222	-75.718889	177.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Precipitaciones Máxima 24 Horas

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Media en 24 Horas
1	SANTA ROSA	13070100	8.741111	-75.601417	100.24
2	BUENOS AIRES 1	13070170	8.772778	-75.749722	99.55
3	CARRIZAL	13070110	8.681944	-75.753528	100.31
4	SAN CARLOS	13070090	8.790556	-75.701389	97.63
5	COROZA 2	13070190	8.804722	-75.765000	87.48
6	CALLEMAR	13070120	8.697500	-75.677778	90.00
7	BOCA DE LA CEIBA	13070070	8.829917	-75.856111	92.89
8	SANTA LUCIA	13050010	8.848611	-76.045278	89.29

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Media en 24 Horas
9	SAN ANTERITO	13060010	8.557778	-75.861111	88.89
10	TAMPA	13070290	8.624722	-75.767222	88.23
11	SANTA CRUZ HACIENDA	13050020	8.667500	-76.123889	75.04
12	LOMA VERDE	13050030	8.501944	-76.175278	82.11
13	SABANAL	13070280	8.788611	-75.751389	88.93
14	BUENOS AIRES	13060020	8.475833	-75.765278	90.97
15	MARACAYO	13065020	8.410556	-75.884444	90.72
16	UNIV DE CÓRDOBA	13075050	8.793889	-75.861528	82.18
17	RABOLARGO	13070040	8.950611	-75.742472	89.92
18	CERETÉ	13070050	8.890333	-75.786250	95.62
19	TURIPANA	13075030	8.839528	-75.801889	90.35
20	SAN ANTONIO	13080010	8.935861	-75.953333	85.32
21	CARRILLO	13070180	8.984444	-75.831778	93.17
22	SALADO EL	13075020	8.913889	-75.582222	80.37
23	CIÉNAGA DE ORO	13077070	8.872500	-75.625833	93.49
24	CARAMELO	13060030	8.266111	-75.903889	94.40
25	TIERRALTA	13030010	8.186667	-76.053056	101.20
26	CHIMA	13075010	9.150750	-75.622083	80.79
27	CHINÚ AUT	25020470	9.117778	-75.393333	101.58
29	PLANETA RICA	25025190	8.399333	-75.583722	97.30
30	COLOMBOY	25021210	8.817944	-75.474194	85.21
31	SAHAGÚN	25020720	8.637222	-75.383611	85.91
32	TREMENTINO	25020140	8.950833	-75.451944	93.91
33	JOBO EL TABLON	25025170	8.740861	-75.498833	97.08
34	CRISTO REY AUT	12045020	9.071111	-76.224444	100.96
35	JARAMAGAL	12040010	8.900833	-76.220833	95.45
36	PEZVAL	13040030	8.262222	-76.169167	89.54
37	SAJONIA HACIENDA AUT	25020600	8.489722	-75.601389	89.18
38	ARBOLETES	12045010	8.846944	-76.431944	115.29
39	CARMELO EL	12030020	8.616944	-76.381389	90.40
40	BUENAVISTA	25020520	8.222222	-75.467500	99.08
41	AYAPEL	25025030	8.295064	-75.164556	116.06
42	SAN FRANCISCO	25010100	8.129167	-75.760000	102.87
43	PICA PICA	25010080	8.031111	-75.683056	96.06
44	QUIMARI	13040010	8.066667	-76.333333	82.20
45	REPRESA URRA	13015040	8.014167	-76.203056	116.79
46	PASTORA LA	13090230	9.293333	-75.491944	74.81
47	PUERTA ROJA AUT	25025350	9.316389	-75.387500	75.91
48	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	25025080	9.333889	-75.283056	76.20
49	HATO NUEVO	25020990	9.178333	-75.190278	96.26
50	PARAISO EL	13090060	9.473889	-75.370833	90.11
51	PRIMATES	13095020	9.530139	-75.351361	78.02
52	SANTA ANGELA HACIENDA	13090090	9.485278	-75.512500	103.01
53	TOLU	13090070	9.519167	-75.591111	105.63
54	ARGENTINA	13090100	9.485833	-75.468611	105.41
55	TOLUVIEJO	13090050	9.438000	-75.440000	92.62
56	VILLA MARCELA	13070440	9.352222	-75.718889	90.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Precipitaciones Media en 24 horas

4.3. Análisis de frecuencia de precipitaciones para la estación más cercana

El análisis de frecuencia de lluvias se ejecuta con las precipitaciones máximas en 24 horas. En función de lo mencionado anteriormente se procede a calcular la probabilidad de excedencia la cual indica

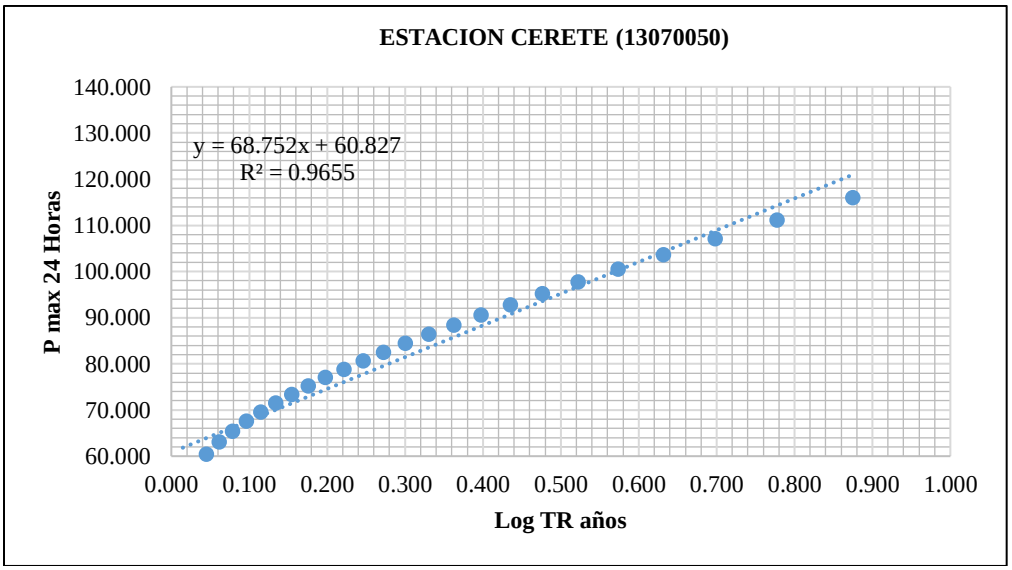
dentro de una serie de datos la probabilidad que un dato sea excedido por los demás datos que ocurrieron en la serie histórica. En este caso particular para el cálculo de la probabilidad de excedencia se utilizó el método de Gumbel; método que permite calcular el periodo de retorno de ocurrencia de una precipitación máxima. Una vez realizado el análisis de frecuencia de lluvias, se calcula la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Esta información es de gran importancia a la hora de realizar la sensibilidad.

En la **gráfica 1** se observa el comportamiento del periodo de retorno en escala logarítmica (eje X) y las precipitaciones máximas en 24 horas en escala aritmética (eje Y); adicional se puede observar la línea de tendencia que mejor se ajusta al modelo con su respectiva ecuación. Una vez encontrada la ecuación de ajuste de cada método se puede calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno; sin embargo, la metodología de Gumbel permite analíticamente calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Ver **Anexo 2.**

PERIODO DE RETORNO GUMBEL - ESTACION CERETE (/13070050)					
TR (años)	**Log TR**	**P(x)**	**F(x)**	**P(mm) (Gumbel)**	**P (Media) mm**
2	0.301	0.50	0.50	84.4	134.6
5	0.699	0.20	0.80	107.1	
10	1.000	0.10	0.90	122.1	
25	1.398	0.04	0.96	141.0	
50	1.699	0.02	0.98	155.1	
75	1.875	0.01	0.99	163.3	
100	2.000	0.01	0.99	169.1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Ecuaciones de ajuste y cálculo de P max 24 horas para diferentes periodos de retorno



Fuente: Elaboración propia

Grafica 1 Modelo de línea de tendencia y modelo de ajuste por el método de Gumbel

Para el proceso de cálculo por el método de Gumbel se utilizaron las variables presentadas en la **Tabla 10** y **Tabla 11** en las siguientes expresiones expresión:

$$-\ln\left(-\ln\left(f(x)\right)*\alpha\right)+\mu \quad donde \quad \alpha=\frac{Sx}{Sn} \quad y \quad \mu=x(media)-(yn*\alpha) \quad Ec.1$$

Datos para calcular por Gumbel		
Desviación Estandar	Sx	22.1733
De la Tabla	Sn	1.10864
Alfa	α	20.0004
Media	X	87.7637
De la Tabla	Yn	0.53527
Miu	μ	77.0580
Numero de datos	n	29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Valores necesarios para el análisis de frecuencia de lluvias por el método de Gumbel

n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n
2	0.4043	0.4984	37	0.5418	1.1339	84	0.5576	1.1967
3	0.4286	0.6435	38	0.5424	1.1363	86	0.5580	1.1980
4	0.4458	0.7315	39	0.5430	1.1388	88	0.5583	1.1994
5	0.4588	0.7928	40	0.5436	1.1413	90	0.5586	1.2007
6	0.4690	0.8388	41	0.5442	1.1436	92	0.5589	1.2020
7	0.4774	0.8749	42	0.5448	1.1458	94	0.5592	1.2032
8	0.4843	0.9043	43	0.5453	1.1480	96	0.5595	1.2044
9	0.4902	0.9288	44	0.5458	1.1499	98	0.5598	1.2055
10	0.4952	0.9497	45	0.5463	1.1519	100	0.5600	1.2065
11	0.4996	0.9676	46	0.5468	1.1538	150	0.5646	1.2253
12	0.5035	0.9833	47	0.5473	1.1557	200	0.5672	1.2360
13	0.5070	0.9972	48	0.5477	1.1574	250	0.5688	1.2429
14	0.5100	1.0095	49	0.5481	1.1590	300	0.5699	1.2479
15	0.5128	1.0206	50	0.5485	1.1607	400	0.5714	1.2545
16	0.5157	1.0316	51	0.5489	1.1623	500	0.5724	1.2588
17	0.5181	1.0411	52	0.5493	1.1638	750	0.5738	1.2651
18	0.5202	1.0493	53	0.5497	1.1653	1000	0.5745	1.2685

Fuente: Manual de drenaje vial INVIAS

Tabla 11 Distribución Gumbel valores de Yn y Sn

Con base en la precipitación máxima histórica en 24 horas de la estación más cercana a la zona de estudio, se calculó el periodo de retorno asociado a dicha precipitación. En la **tabla 12** se presenta el año, la precipitación máxima en 24 horas y el periodo de retorno asociado a dicho evento.

PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA PMAX HISTÓRICA		
Año	**Pmax 24-h (mm)**	**TR (años)**
1996	137	25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Periodo de retorno asociado a la Pmax histórica en 24 horas

Se realizo el análisis de lluvia donde se tuvieron precipitaciones medias y precipitaciones máximas en 24 horas, de acuerdo a la ubicación del proyecto, se manejó la precipitación media en 24 horas puesto que tiene mejor adaptación a las condiciones de la zona en estudio, debido que este proyecto se encuentra ubicado en una zona con latitud media (no es muy alta ni baja) donde las lluvias ciclónicas tienen gran influencia en su comportamiento hidrológico, por consiguiente al seleccionar la variable precipitación media se produce una mayor seguridad en el diseño.

4.4. Periodo de retorno de estudio

Se define como periodo de retorno TR para eventos hidrológicos máximos al tiempo esperado máximo en años para que el caudal pico de la creciente sea igualado o excedido, por tal motivo está asociado al análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas y a su probabilidad de excedencia expresado por medio de curvas isoyetas o polígonos (Thiessen).

Por otra parte, el periodo de retorno está asociado a las características del área de drenaje y la estructura hidráulica a construir. De lo anterior, se define: un periodo de retorno asociado a las condiciones actuales del área de drenaje, cobertura del suelo, relevancia del proyecto, y condiciones particulares de las obras hidráulicas necesarias para la evacuación de las escorrentías superficiales. Durante el desarrollo del proyecto serán considerados los siguientes periodos de retorno:

- ***5 años*** *en función del tipo de estructura vial y en función del área aferente*
- ***25 años*** *en función de la P Max histórica*

Tal selección se realiza en función de las condiciones de drenaje y la clasificación de las **Tablas 13 y 14**.

Obras de drenaje vial	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

Fuente: Tabla 5.1 Manual de drenaje vial

Tabla 13 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

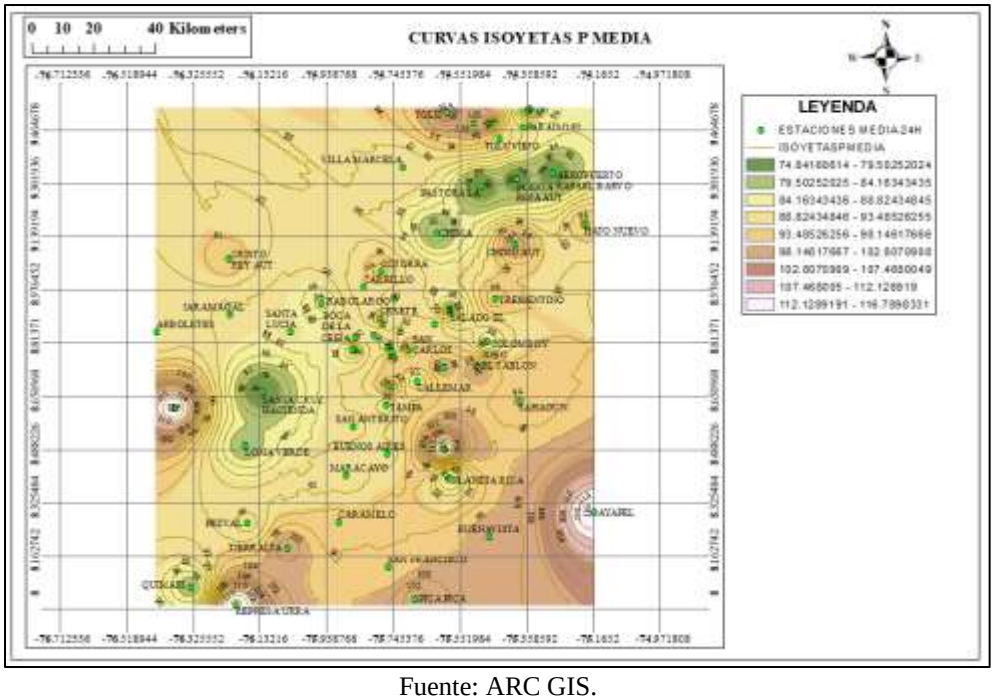
Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Fuente: Tabla número 16 resolución 330 de 2017

Tabla 14 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

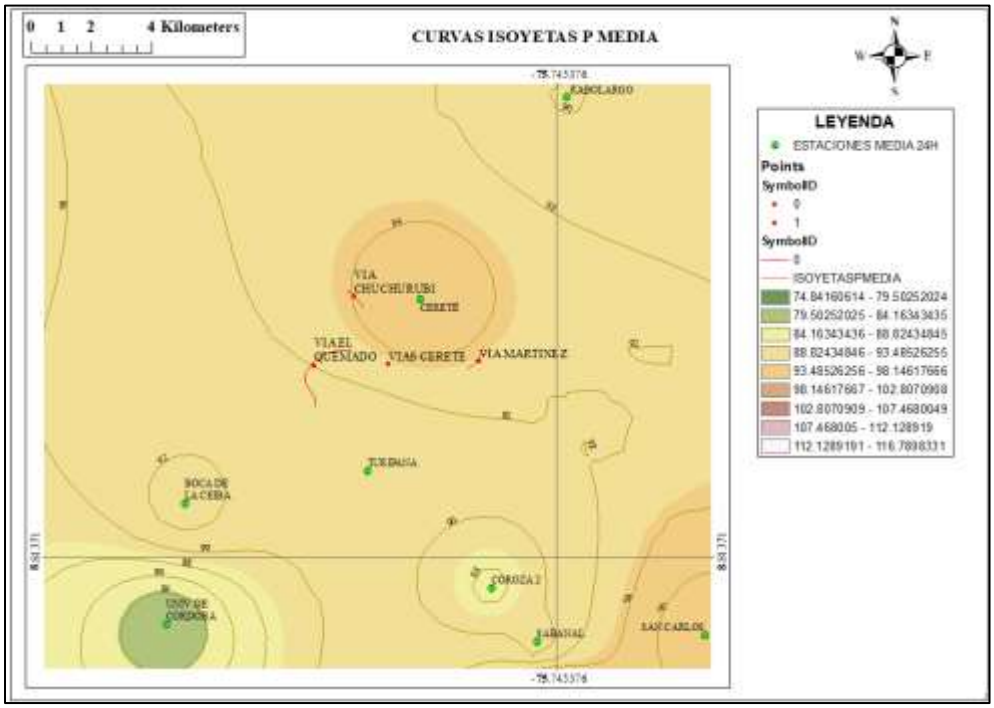
4.5. Cálculo de la precipitación media por el método de Isoyetas

Se define como curva o línea Isoyeta a la línea con igual precipitación, método que consiste en trazar las curvas Isoyetas mediante un proceso de interpolación que se realiza para hallar la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones meteorológicas. Para la ejecución de este proceso es necesario tener valores de precipitación de las estaciones meteorológicas con igual serie histórica de años, ver **tablas 7 y 8**. El cual desarrollaron con el software ARC-GIS 10 por el método de interpolación de IDW el cual presentó la mejor bondad de ajuste durante el análisis espacial



Fuente: ARC GIS.

Ilustración 5 Mapa Isoyetal asociado a la P Media general en 24 horas



Fuente: Google Earth.
Ilustración 6 Selección de precipitación media para el área del proyecto

En la **ilustración 5** se consigna el mapa isoyetal asociado a la P Media y en la **Ilustración 6**, se observa la precipitación media (P media 24 Horas) para el área de estudio.

4.6. Elaboración de curvas IDF

Las curvas IDF se definen como la representación gráfica de una intensidad de precipitación (mm/h) que puede variar durante la duración de una tormenta, para una duración en intervalos iguales en minutos o horas desde el inicio hasta el fin de la lluvia asociado a un periodo de retorno llamado frecuencia, aclarando este concepto una precipitación de 1/50 significa que es probable que se presente una vez cada 50 años (periodo de retorno).

Las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) se elaboran con información de precipitaciones obtenidas de estaciones meteorológicas, ya sea información de pluviogramas, pluviógrafos o mapas isoyetales y son de gran importancia para el diseño de estructuras hidráulicas ya que permiten calcular la intensidad de precipitación para un periodo de retorno.

Haciendo un análisis al comportamiento de las curvas IDF, se puede observar que a medida que disminuye el tiempo de concentración y aumenta el periodo de retorno, aumenta la intensidad de precipitación; variable que permite controlar una ocurrencia máxima en el momento de realizar el diseño de la estructura hidráulica, convirtiéndose en la línea extrema de inundación para un periodo de retorno alto y baja probabilidad de ocurrencia. Como no se cuenta con información de

pluviogramas, para la elaboración de las curvas IDF se utilizó la ecuación sintética de Díaz- Granados para la región Caribe con sus respectivos coeficientes los cuales se describe en la **tabla 15.** En el **anexo 3** se encuentran los datos calculados y en la **gráfica 2** las curvas IDF asociadas a diferentes periodos de retorno. La ecuación mencionada se presenta a continuación.

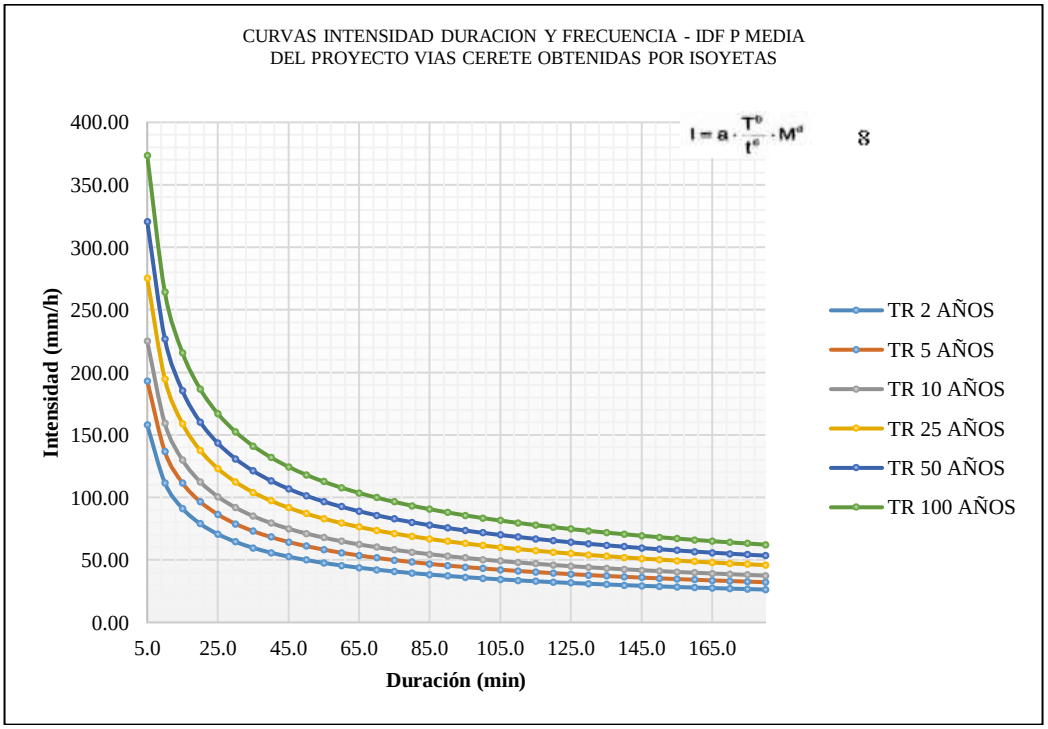
$$I = a\,\frac{T^b}{t^c}\,M^d \; Ec.(8) Diaz - Granados, Región\ Caribe \qquad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

I = Intensidad de precipitación. (mm/h)
T = Periodo de retorno (años)
t = Tiempo de duración (min)
M = Precipitación máxima en 24 horas (mm) valor hallado por Isoyetas

Region Caribe				
	a	**b**	**c**	**d**
EC.8	24.85	0.22	0.50	0.10

Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados
Tabla 15 Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe



Fuente: Elaboración propia
Grafica 2 Curvas IDF (Intensidad – Duración y Frecuencia)

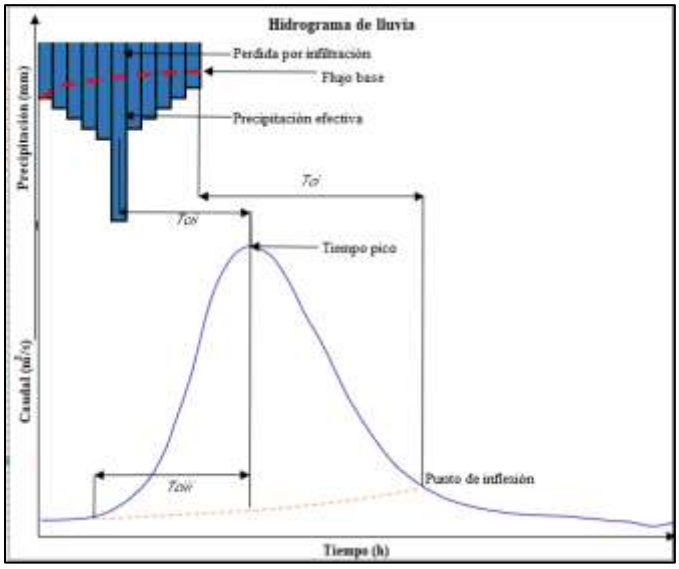
4.7. Tormenta de diseño

El tiempo de duración de la lluvia o tormenta de diseño se convierte en una de las variables más sensibles a la hora de calcular la precipitación neta ya que con este tiempo se genera el hietograma de diseño para el cálculo de la precipitación neta y posteriormente la generación del hidrograma de crecida.

En la **ilustración 7,** se puede observar el comportamiento de un hidrograma de crecida; este hidrograma permite conocer después de iniciada la lluvia, el momento en que toda la escorrentía provocada por ese tiempo de duración de la lluvia expresada en precipitaciones ya ha pasado; y se encuentra en la curva de agotamiento. Dicho de otra forma, entre más dure la precipitación más tarda la cuenca en evacuar la escorrentía, son directamente proporcionales. Esta consultoría utilizo la metodología de probabilidad de excedencia para estimar el tiempo de duración de la lluvia de la zona de estudio. Para tal propósito se tomó como referencia la información de precipitación suministrada por el IDEAM en intervalos de 60 min, La información de la estación meteorológica utilizada se puede observar en la **tabla 16.**

Estación	ID IDEAM	Municipio	Coordenadas Geograficas		Altura SNMM	Periodo de funcionamiento		Corriente	Datos de analisis		Intervalo de tiempo (min)
			Latitud	Longitud		Inicio	Final		Desde	Hasta	
TREMENTINO	25020430	MONTERIA	8.7166°	75.666°	19	mar-2014	NA	CAÑO AGUAS PRIETA	01/06/2015	15/12/2017	10

Fuente: Elaboración propia
Tabla 16 Estación meteorológica de referencia minutal



Fuente: Elaboración propia
Ilustración 7 Esquema de un hidrograma de crecida

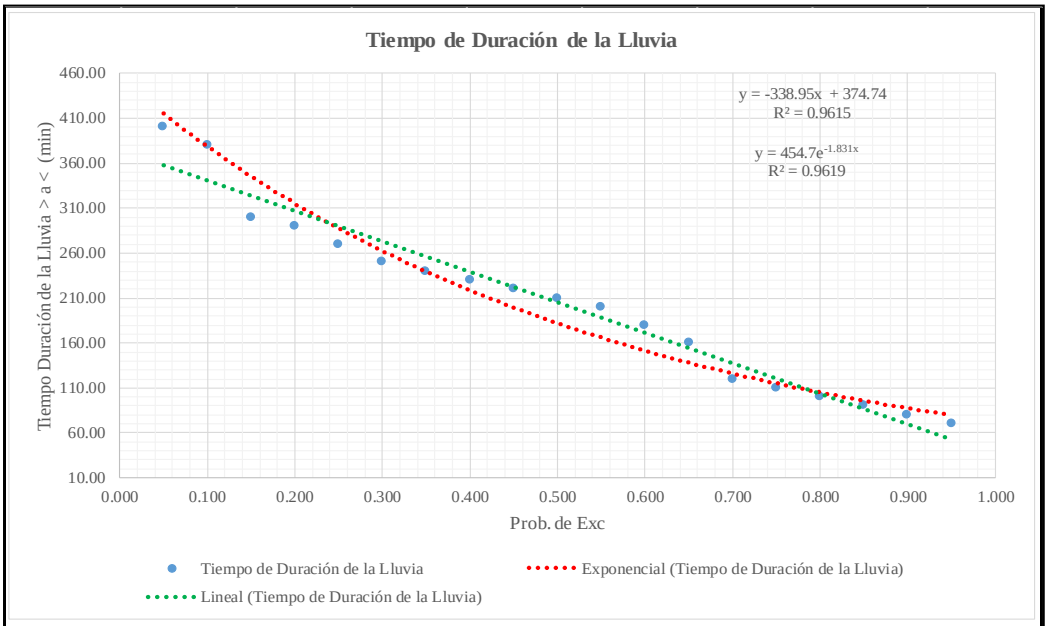
En la **Tabla 17** se puede observar los periodos seleccionados para el análisis de excedencia, el tiempo de duración de la lluvia y la precipitación medida en función de la duración del evento "información suministrada por el "IDEAM".

Con la información obtenida se realiza un análisis de excedencia de duración de la lluvia, donde se calcula la probabilidad de excedencia; con este valor y el tiempo de duración de la lluvia, se genera una gráfica en la cual se proyectan dos líneas de tendencia y de las cuales se halla su respectiva ecuación, así posteriormente poder calcular el tiempo de duración de la lluvia para un Q75. Ver **grafica 3**.

Fecha de Precipitación	Precipitación Medida (mm)	Tiempo Duración de la Lluvia > a < (min)	Rango jerárquico promedio	Prob. De Exc.
21/09/2016 1:00	42.4	400	1	0.05
19/11/2016 17:20	35.14	380	2	0.1
24/06/2016 3:50	39.53	300	3	0.15
28/05/2017 17:00	65.19	290	4	0.2
16/04/2017 21:50	73.4	270	5	0.25
25/06/2016 15:20	53.08	250	6	0.3
26/08/2016 6:00	58.78	240	7	0.35
17/09/2015 5:20	34.88	230	8	0.4
12/09/2017 11:20	44.63	220	9	0.45
9/10/2015 3:50	23.84	210	10	0.5
12/06/2015 22:50	25.52	200	11	0.55
20/05/2017 5:20	32.85	180	12	0.6
14/08/2016 3:40	27.02	160	13	0.65
5/07/2017 18:10	43.86	120	14	0.7
10/04/2016 11:30	31.44	110	15	0.75
27/07/2015 3:50	49.22	100	16	0.8
19/07/2015 14:10	36.68	90	17	0.85
26/04/2017 4:20	25.94	80	18	0.9
29/10/2015 11:40	27.64	70	19	0.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Estación meteorológica de referencia minutal (Probabilidad de excedencia)



Calculo del tiempo de duración de la lluvia para una probabilidad de excedencia del 75%				
(Duración de la Lluvia)	K1	K2	X	Tipo de Tendencia
115.17	454.7	-1.831	0.75	Tiempo de duración de la lluvia (min) Tendencia Exponencial
120.53	-338.95	374.74	0.75	Tiempo de duración de la lluvia (min) Tendencia Lineal

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Calculo del tiempo de duración de la lluvia

4.8. Hietograma de diseño

Los hietogramas de diseño permiten reflejar la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo de las horas más lluviosas asociadas para un periodo de retorno definido. Para desarrollar este método es necesario definir un periodo de retorno para un tiempo específico, en este caso se escoge un periodo de retorno de **5 años** en correlación con la información suministrada en el **numeral 4.4 y 25 años** para la realización del análisis de sensibilidad, con dichos periodos se confecciona un hietograma de lluvias asociado a un tiempo específico (tiempo de duración de la lluvia).

Para generar el hietograma de diseño, es necesario conocer la intensidad de precipitación, para lo cual se utiliza los valores obtenidos en el **numeral 4.6.**

Conociendo el tiempo de duración del evento, se procede a generar los hietogramas de diseño; el método seleccionado es el de los bloques alternos para los periodos de retorno seleccionados. En las **Tablas 18 y 19** se observa la distribución de la lluvia en intervalos de 5 min y en las **gráficas 4 y 5** el comportamiento del evento desde que inicia hasta que termina.

Hietograma de Diseño 5 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	193.24	0.08	16.10	16.10	1.63
10	136.64	0.17	22.77	6.67	1.70
15	111.57	0.25	27.89	5.12	1.78
20	96.62	0.33	32.21	4.31	1.87
25	86.42	0.42	36.01	3.80	1.98
30	78.89	0.50	39.44	3.44	2.11
35	73.04	0.58	42.61	3.16	2.28
40	68.32	0.67	45.55	2.94	2.49
45	64.41	0.75	48.31	2.76	2.76
50	61.11	0.83	50.92	2.61	3.16
55	58.26	0.92	53.41	2.49	3.80
60	55.78	1.00	55.78	2.37	5.12
65	53.60	1.08	58.06	2.28	16.10
70	51.65	1.17	60.25	2.19	6.67
75	49.89	1.25	62.37	2.11	4.31
80	48.31	1.33	64.41	2.05	3.44
85	46.87	1.42	66.40	1.98	2.94
90	45.55	1.50	68.32	1.92	2.61
95	44.33	1.58	70.19	1.87	2.37
100	43.21	1.67	72.02	1.82	2.19
105	42.17	1.75	73.79	1.78	2.05
110	41.20	1.83	75.53	1.74	1.92
115	40.29	1.92	77.23	1.70	1.82
120	39.44	2.00	78.89	1.66	1.74
125	38.65	2.08	80.52	1.63	1.66

Fuente: Elaboración propia

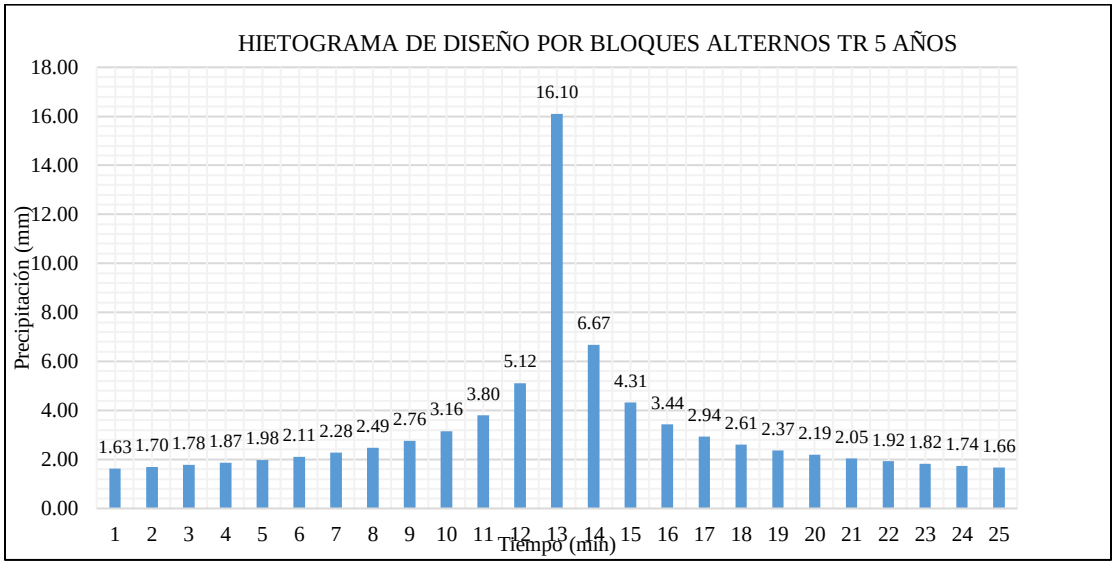
Tabla 18 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 5 Años

Hietograma de Diseño 25 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	275.34	0.08	22.95	22.95	2.32
10	194.70	0.17	32.45	9.50	2.42

Hietograma de Diseño 25 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
15	158.97	0.25	39.74	7.29	2.53
20	137.67	0.33	45.89	6.15	2.67
25	123.14	0.42	51.31	5.42	2.82
30	112.41	0.50	56.20	4.90	3.01
35	104.07	0.58	60.71	4.50	3.25
40	97.35	0.67	64.90	4.19	3.54
45	91.78	0.75	68.84	3.94	3.94
50	87.07	0.83	72.56	3.72	4.50
55	83.02	0.92	76.10	3.54	5.42
60	79.48	1.00	79.48	3.38	7.29
65	76.37	1.08	82.73	3.25	22.95
70	73.59	1.17	85.85	3.12	9.50
75	71.09	1.25	88.87	3.01	6.15
80	68.84	1.33	91.78	2.91	4.90
85	66.78	1.42	94.60	2.82	4.19
90	64.90	1.50	97.35	2.74	3.72
95	63.17	1.58	100.02	2.67	3.38
100	61.57	1.67	102.61	2.60	3.12
105	60.08	1.75	105.15	2.53	2.91
110	58.70	1.83	107.62	2.47	2.74
115	57.41	1.92	110.04	2.42	2.60
120	56.20	2.00	112.41	2.37	2.47
125	55.07	2.08	114.73	2.32	2.37

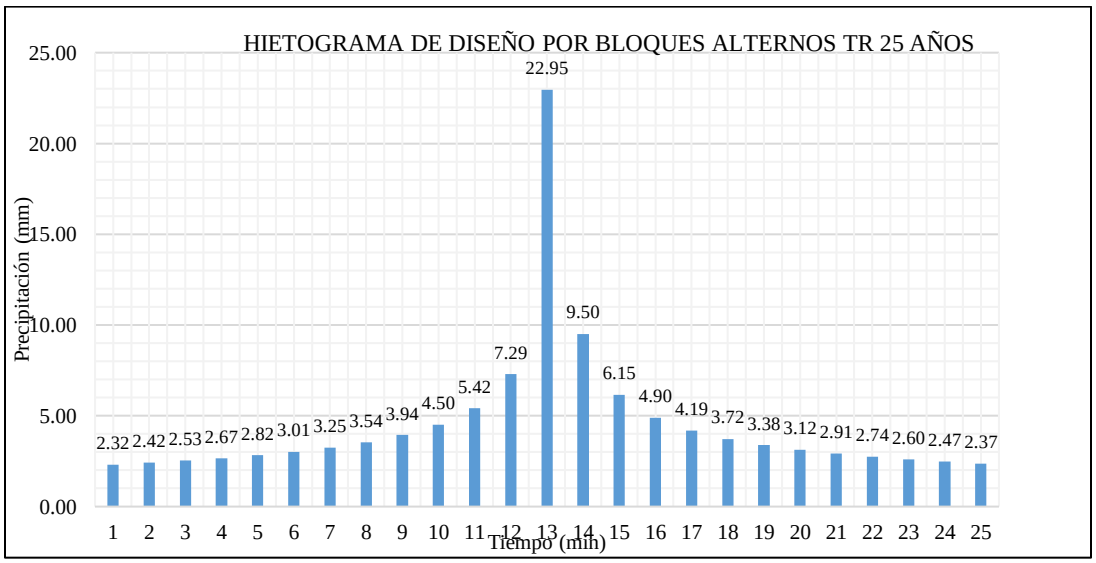
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 25 Años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 5 Años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 5 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 25 Años

5. PARÁMETROS PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Una vez realizado el análisis morfométrico y el análisis pluviométrico, se procede a definir las variables para la estimación de caudales. En este numeral, se definen los valores de los diferentes parámetros para el cálculo de caudal de escorrentía por el método racional.

5.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía C es la variable más sensible en la aplicación del método racional ya que incide en la tasa de escorrentía pico en relación con la tasa de lluvia para el área de drenaje. Los valores seleccionados se obtuvieron de la **tabla 20.** La selección del coeficiente de escorrentía se realizó en función de la proyección, la cual se determina en función de las características de la superficie del área; el valor para la cobertura del suelo se obtiene de la **Tabla 21**, en donde se observa que el coeficiente de escorrentía está asociado al periodo de retorno para la vía.

Tramo de estudio	Caracteristicas de la Superficie	Coeficiente de escorentia	
		5 Años	25 Años
Vía Cerete – Chuchurubí	Áreas desarrolladas, Concreto / Techo	0.80	0.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para la vía

TABLA 15.1.1
Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

	Periodo de retorno (años)						
Característica de la superficie	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Fuente: Tabla 15.1.1 Ven T Chow

Tabla 21 Valores de coeficiente de escorrentía referencia

5.2. Periodo de retorno

Con base a lo descrito en el **numeral 4.4 y** experiencia del consultor se hace la selección de los periodos retornos que serán empleados en este proyecto. Seleccionando un periodo de retorno de **5 años** en correlación con la información suministrada para el análisis hidrológico e hidráulico de la vía **y 25 años** para la realización del análisis de sensibilidad.

5.3. Numero de Curva

El número de curva (CN) como un numero de curva adimensional que varían de $0 \leq CN \leq 100$ en donde se tiene en cuenta la descripción del uso de suelo o cobertura y la textura del mismo en función del grupo hidrológico del suelo que varían de A hasta D, ver **Tabla 22 e ilustración 8**.

Grupo hidrológico de suelo	Textura del suelo
A	Arena, arena margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7,62 mm/h)
B	Limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3,81 a 7,62 mm/h)
C	Margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1,27 a 3,81 mm/h)
D	Marga arcillosa, marga arcillo limosa, arcilla arenosa, arcilla limosa o arcilla (capacidad de infiltración de 0 a 1,27 mm/h)

Fuente: Tabla D.4.4 Titulo D, RAS
Ilustración 8 Grupo hidrológico del suelo según el SCS, RAS

Tipo de cobertura y condición hidrológica		Área impermeable promedio	Números de curva para cada tipo de suelos			
			A	B	C	D
Espacios abiertos	Cobertura pobre (cobertura de pastos < 50%)		68	79	86	89
	Cobertura parcial (cobertura de pastos de 50% a 75%)		49	69	79	84
	Cobertura buena (cobertura de pastos > 75%)		39	61	74	80
Áreas impermeables	Parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otros.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Andenes pavimentados y sumideros		98	98	98	98
	Zanjas o diques pavimentados		83	89	92	93
	Zona cubierta de gravas		76	85	89	91
	Zona cubierta de arenas o polvo		72	82	87	89
Zonas urbanas	Zonas comerciales y de negocios	85%	89	92	94	95
	Zona industrial	72%	81	88	91	93
Zonas residenciales (por tamaño del lote)	500 m2 o menos	65%	77	85	90	92
	1000 m2	38%	61	75	83	87
	1350 m2	30%	57	72	81	86
	2000 m2	25%	54	70	80	85
	4000 m2	20%	51	68	79	84
	8000 m2	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas permeables en desarrollo y sin vegetación			77	86	91	94

Fuente: Tabla D.4.5 Titulo D, RAS
Tabla 22 Valores de número de curva referencia

Para la selección del grupo hidrológico, esta consultoría también considera los parámetros propuestos en el **numeral 4.8.2.2** del libro (Hidrología en la Ingeniería, 2da Edición) de German Monsalve. Las características de control se muestran en la **ilustración 9.**

Para el cálculo del número de curva, inicialmente se define la cobertura del suelo como se muestra en la **tabla 23**. Posteriormente, para definir el grupo hidrológico del suelo, esta consultoría se apoya en los datos abiertos que se encuentran en la página del IGAC: https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-agrologia, de donde se puede extraer un archivo Shapefile con las características de textura del suelo, el cual se superpone con la ubicación de la zona de estudio y así clasificar el grupo hidrológico de la cuenca.

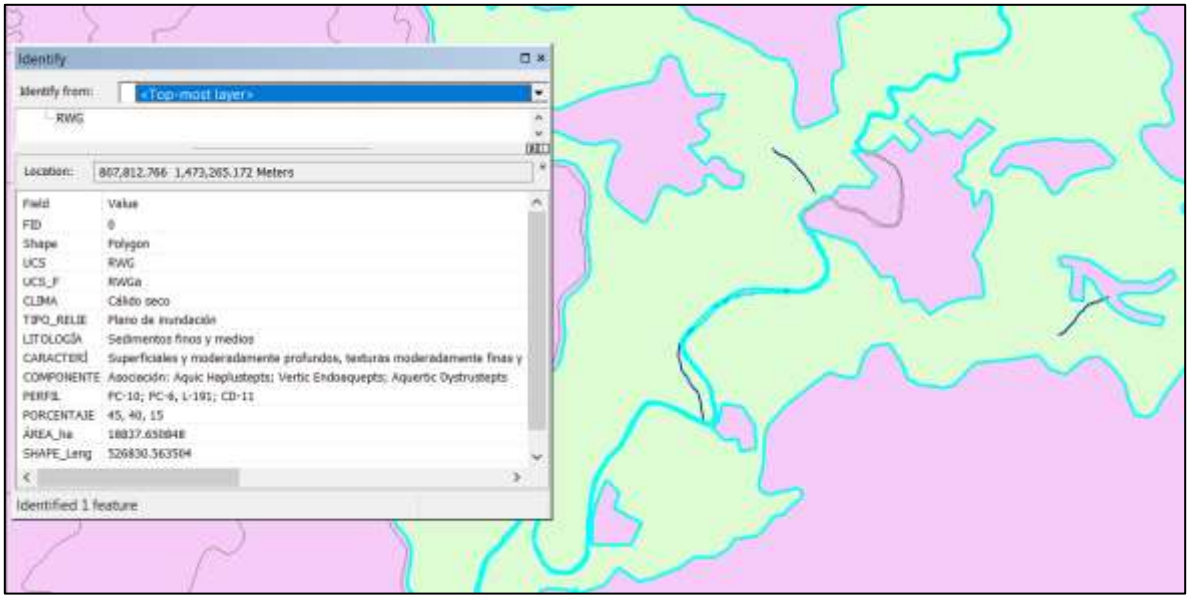
Grupo Hidrologico del Suelo	Textura del Suelo
A	(Bajo potencia de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Consisten de arenas o gravas profundas bien y excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	(Moderadamente bajo 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 de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o alkali, 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 de 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 alkali, y suelos pocos profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

Fuente: Numeral 4.8.2.2, Hidrología en la Ingeniería 2da edición, German Monsalve.
Ilustración 9 Grupo hidrológico del suelo según el SCS. G. Monsalve

SUELO	I	GRUPO
UCS	RWG	B
UCS_F	RWGA	
TIPO RELIEVE	Plano de inundacion	
CLIMA	Calido seco	
CARACTERÍSTICAS	Superficiales y moderadamente profundos, texturas moderadamente finas y finas, susceptibles a inundaciones y encharcamientos ocasionales, drenaje natural	

SUELO	I	GRUPO
	imperfecto a pobre, fertilidad baja a alta	

Fuente: Elaboración propia
Tabla 23 Selección del grupo hidrológico de la cuenca.



Fuente: ARC-GIS.
Ilustración 10 Identificación de suelos de las vías del municipio de cerete

Para el cálculo del número de curva, inicialmente se define el tipo cobertura del suelo y la condición hidrológica**.** Posteriormente, se define el grupo hidrológico del suelo bajo la consideración que toda el área aportante de las cuencas urbanas son impermeables o lo serán en poco tiempo por el desarrollo urbanístico que se da en las zonas urbanas municipales. **Ver Tabla 23.** Bajo la anterior consideración, el número de curva obtenido se presenta en la **tabla 24**.

Tramo de estudio	Tipo de Cobertura y Condición Hidrológica	Numero de Curva
Vía Cerete – Chuchurubi	Áreas impermeables, parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otras.	98

Fuente: Elaboración propia
Tabla 24 Valores de número de curva calculados

5.4. Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad se selecciona en función de la cobertura del suelo y se toma como referencia de los valores establecidos en la **tabla 25**. El valor seleccionado es:

i. ***0.016*** *para el cálculo del tiempo de concentración de las vías*

Tabla 10.1
Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas[1 16]

Tipo de cuneta o pavimento	Coeficiente de Manning (*n*)
Cuneta en concreto liso	0.012
Pavimento asfáltico	
Textura suave	0,013
Textura áspera	0,016
Cuneta en asfalto	
Suave	0,013
Áspero	0,015
Pavimento rígido	
Terminado con llana	0,014
Terminado con escoba	0,016
Revestimiento con adoquines	0,02
Cunetas con pequeñas pendientes longitudinales hasta del 2 % están sujetas a la acumulación de sedimentos; para estos casos, los valores de *n* indicados anteriormente se deben incrementar entre 0.002 y 0.005.	

Fuente: Tabla 10.1 Drenaje Urbano Elementos de diseño – Héctor Rodríguez
Tabla 25 Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas.

5.5. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo mínimo necesario para que los diferentes puntos espaciales de un área de drenaje estén aportando las escorrentías superficiales y de forma simultánea a un punto de salida o de convergencia hidráulica de la cuenca . El cálculo del tiempo de concentración permite dimensionar estructuras hidráulicas como canales abiertos o tuberías siendo una variable sumamente importante para la determinación del caudal ya sea por el método racional o el método de la curva, por lo cual diferentes autores al entender la importancia de este parámetro a la hora de evaluar el Tc en el diseño hidrológico desarrollaron diferentes modelos empíricos para la estimación de este parámetro.

Las fórmulas que actualmente se utilizan para el cálculo del tiempo de concentración tienen uso específico según el tipo de cuenca donde se va a emplear, tamaño de la cuenca, pendiente de la misma y variables de cobertura y precipitación; sin embargo, la precisión a la hora de calcular el caudal puede variar considerablemente por la variabilidad que se da en el resultado entre una y otra ecuación. La variable tiempo de concentración será utilizada en el método racional en el cálculo de la intensidad de precipitación y posteriormente el caudal de escorrentía.

La estimación del Tc de las diferentes áreas de drenaje se calcula con el promedio de diferentes modelos utilizados para el cálculo de esta variable, las fórmulas utilizadas se observan en el **anexo 4**.

Los parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc se pueden observar en la **tabla 26** y el valor calculado del Tc se consigna en las **tablas 27**. Si durante el proceso de cálculo del tiempo de concentración, el valor hallado es inferior a 15 min, se debe seleccionar **como mínimo 15 min** para no sobre estimar el valor de la intensidad de precipitación, ya que 15 min se considera el valor crítico del Tc. El cálculo del coeficiente de rugosidad (n) y la pendiente media del cauce principal, se presenta a continuación:

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	(Ls) Longitud Vial (m)	(Sc) Pendiente (m/m)	(A) Area Acumulada (m2)	(A) Area Acumulada (Km2)	(n) Coeficiente Rugosidad	.(C) Coeficiente Escorrentia	(i) Intensidad Precipitación (mm/h)	(P2) Pmax 24h TR 2 Años (mm)
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+235.00	235.00	0.0023	1410.00	0.00141	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-2	K0+235.00	K0+405.00	170.00	0.0039	1020.00	0.00102	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-3	K0+405.00	K0+560.00	155.00	0.0064	930.00	0.00093	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-4	K0+560.00	K0+750.00	190.00	0.0052	1140.00	0.00114	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-5	K0+560.00	K0+847.62	287.62	0.0021	1725.72	0.00173	0.016	0.800	111.700	94.203

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc

Area Aportantes	Kirpich (1940)	Millers (1951)	Kerby (1959)	Carter (1961)	FAA (1970)	McCuen (1984)	NRSC (1986)	TxDOT (1994)	Papadakis - Kazan (1987 - 2010)	Sheridan (1994 - 2010)	Ventura - Heras (2013)	Tc Seleccionado (min)	Tlag (min)
A1-1	14	4	11	15	7	12	24	24	8	9	8	15	9
A1-2	9	3	8	11	5	9	14	17	6	6	6	15	9
A1-3	7	3	7	9	4	8	11	14	5	4	5	15	9
A1-4	8	3	8	10	5	9	14	17	6	6	6	15	9
A1-5	16	4	12	18	9	14	31	28	9	11	9	15	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag)

5.6. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación se define como la tasa promedio de lluvia en (mm/h) para una cuenca o microcuenca de drenaje, se define de manera particular para cada área y se selecciona con base en la selección de la lluvia de diseño para un periodo de retorno específico. En este caso particular, la selección de la intensidad de precipitación será calculada de la ecuación sintética de Díaz-Granados presentada en el **numeral 4.6 (ecuación 2).**

El tiempo de duración de la **ecuación 2** ***(t),*** se extrae del tiempo de concentración estimado y seleccionado en las **tablas 27** Otra forma de calcular la intensidad de precipitación es ingresando a la **gráfica 1** a la curva con el periodo de retorno especificado y el tiempo de concentración. En la **tabla 28.** se puede observar la intensidad de precipitación calculada para el área de drenaje.

N° Alineamiento	Tc (Horas)	Intensidad de Precipitación (mm/h)	
		TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	0.25	111.57	158.97
	0.25	111.57	158.97
	0.25	111.57	158.97
	0.25	111.57	158.97
	0.25	111.57	158.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Cálculo de la intensidad de precipitación para la vía

6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

En este capítulo se realizó la estimación de caudales por el método racional y numero de curvas, en el primer método se usó un modelo de lluvia-escorrentía de las cuencas estudiadas, este método es aplicable a cuencas menores a 80ha, se calcula el caudal por el modelo de infiltración SCS (servicio de conservación de suelo de los Estados Unido). Este procedimiento usa un modelo de precipitación efectiva por un evento de lluvia, asignando un numero de curva dependiendo el tipo de suelo donde se encuentre el área de estudio. Esta consideración se aplicó para las cuencas que excedían un área de 80 ha, consiguiendo así un valor más acertado en relación a la dimensión del punto estudiado.

Para la estimación del caudal por el método racional se debe emplear la **ecuación 3**. El método racional es un método de estimación de caudales modelo lluvia-escorrentía basado en modelos de abstracción con un raciocinio simple el cual es útil en cuencas menores de 80Ha como se menciona en el artículo 135 de la resolución 0330 de 2017.

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \qquad EC\ 3$$

Donde

Q = Caudal de escorrentía en (m3/s).
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de precipitación en (mm/h).
A = Área de la cuenca en (Ha).

Como principio para el análisis de la red de drenaje, se considera que las escorrentías superficiales se desplazaran por la vía que funcionan como un canal abierto.

Para la modelación hidráulica, es necesario calcular el caudal de escorrentía en función de las variables obtenidas en los anteriores numerales**.** En la **Tabla 29**, se puede observar el cálculo de caudal por el método racional de los diferentes tramos viales para los tiempos de retorno seleccionados.

N° Alineamiento	Area Aportantes	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area de Drenaje (Ha)	Caudal Unitario (M3/S)	
					TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+235.00	0.141	0.0350	0.0548
	A1-2	K0+235.00	K0+405.00	0.102	0.0253	0.0396
	A1-3	K0+405.00	K0+560.00	0.093	0.0231	0.0361
	A1-4	K0+560.00	K0+750.00	0.114	0.0283	0.0443
	A1-5	K0+560.00	K0+847.62	0.173	0.0428	0.0671

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Calculo de caudales por el método racional para las vías

6.1. Estimación del caudal por el modelo de infiltración SCS (NRCS)

Modelo desarrollado el SCS (Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos). Este modelo permite determinar la precipitación efectiva producida por un evento de lluvia. Este método asigna un número de curva para cada tipo de suelo dependiendo de sus características de permeabilidad. El cálculo del caudal de escorrentía directa se puede realizar como se muestra a continuación en la **ecuación 4.**

$$P = \frac{(P_t - 0.2S)^2}{(P_t - 0.8S)} \qquad EC\ 4$$

El valor de retención potencial maxima (S) se puede calcular utilizando la siguiente expresión. **Ecuacion 5.**

$$S = 25.4\ \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad EC\ 5$$

Donde
P = Profundidad de precipitación efectiva (m)
S= Retención potencial máxima (m)
P_t = Profundidad de precipitación total (m).
CN = Valor del número de curva

La aplicación de esta metodología se encuentra consignada en el software HEC-HMS, el cual será explicado en el siguiente numeral.

6.2. Estimación del caudal con HEC-HMS usando el modelo del SCS (NRCS)

El software HEC-HMS fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos, permite calcular el caudal de escorrentía y generar el hidrograma de lluvia donde se puede observar

el caudal pico y el tránsito de duración de la lluvia. Para hacer uso del software es necesario contar con los siguientes datos:

- ✓ *Hietograma de diseño en función de la duración de la lluvia.*
- ✓ *Numero de curva seleccionado.*
- ✓ *Tiempo de retardo (Lag Time) (min).*
- ✓ *Área de la cuenca en (km2).*
- ✓ *Selección del método de estimación de pérdida. (SCS Curver Number)*
- ✓ *Método de transformación (SCS Unit Hydrograph)*

El HEC-HMS es un sistema de modelación hidrológica desarrollado para estimar el caudal de escorrentía, volumen de agua en función del caudal generado por la lluvia y permite generar el hidrograma de lluvia de salida de una cuenca o varias microcuencas, estimando caudales pico y tiempos picos para condiciones de lluvia extrema en un día. Una de las ventajas de este método es que la perdida por infiltración se realiza con el método del número de curva del cual se mencionó anteriormente que no solo considera la cobertura del suelo, sino que también considera la textura del mismo. Este programa se deriva directamente del HEC-1, conservando en esencia su filosofía.

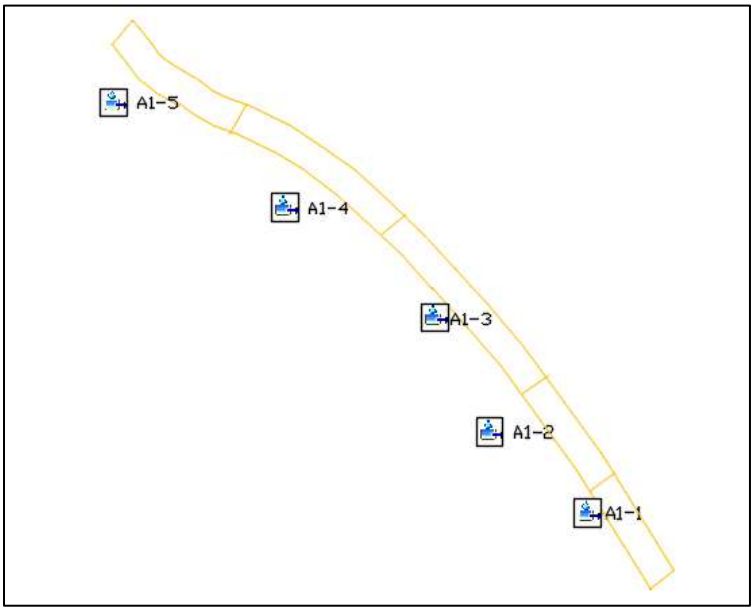
Para la modelación hidráulica, es necesario calcular el caudal de escorrentía en función de las variables definidas en los numerales anteriores**.** En las **Tablas 18 y 19** los hietogramas de diseño asociado al tiempo de duración de la lluvia, en la **tabla 24** se puede observar el valor del número de curva, en la **Tabla 27**, se puede observar el valor del tiempo de retardo para la cuenca (Tlag), en la **Tabla 26** se puede observar el área aferente de la vía.

En la **Ilustración 11**, se puede observar las diferentes áreas que compone la cuenca hidrográfica, adicional se puede observar la disposición de subcuencas y conexiones para la estimación del caudal de escorrentía. En la **Ilustración 12** se observa el hidrograma de lluvia de la cuenca **A1-1** para un TR de **5 años**, los demás hidrogramas de crecida serán consignados en el **anexo 5**.

Cabe resaltar que los hidrogramas de crecida nos permiten representar gráficamente la duración de la lluvia desde el momento de inicio del evento hasta llegar al caudal pico el cual representa el mayor riesgo hidráulico, por consiguiente, es el valor utilizado para el diseño de estas estructuras.

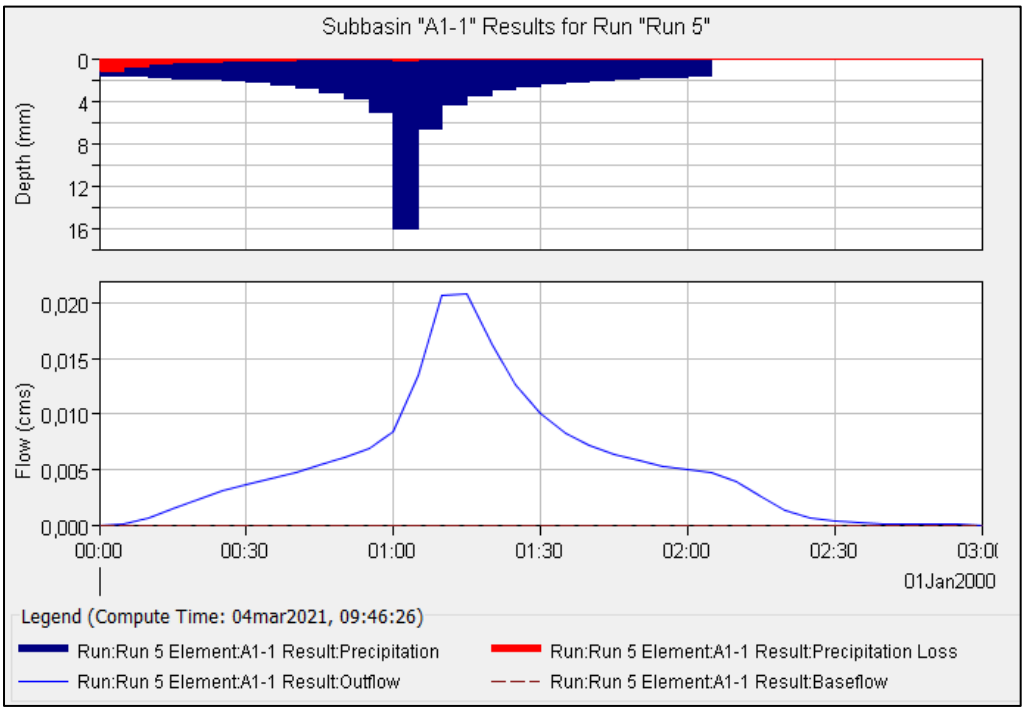
En el eje de las ordenadas se puede ver representada la distribución de caudales de escorrentía y en el eje de las abscisas el tiempo de duración de la lluvia. El área bajo la curva representa el volumen de agua que no es más que un producto de la distribución del caudal por el tiempo de duración de la lluvia; dicho de otra forma, un hidrograma es la representación gráfica de $Q = f(t)$. Adicional, la **Ilustración 12** permite evidenciar la perdida de precipitación por infiltración y la precipitación efectiva en escorrentía superficial.

En la **Tabla 30** se puede observar el caudal pico que drenara por el área aferente una vez realizada la modelación hidrológica.



Fuente: Software HEC-HMS

Ilustración 11 Disposición de áreas de drenaje proyectadas en HEC-HMS de la vía



Fuente: HEC-HMS

Ilustración 12 Hidrogramas de crecida TR 5 Años para el área A1-1.

Calculo de Caudal Metodo Numero de Curva							
A N°	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area Aportantes	Area (m2)	Area de Drenaje (km2)	Caudal Unitario (M3/S)	
						TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	K0+000.00	K0+235.00	A1-1	1410.00	0.00141	0.039	0.056
	K0+235.00	K0+405.00	A1-2	1020.00	0.00102	0.028	0.040
	K0+405.00	K0+560.00	A1-3	930.00	0.00093	0.026	0.037
	K0+560.00	K0+750.00	A1-4	1140.00	0.00114	0.031	0.045
	K0+560.00	K0+847.62	A1-5	1725.72	0.00173	0.048	0.068

Fuente: Software HEC-HMS - (Elaboración propia)
Tabla 30 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para la vía

6.3. Selección del caudal de escorrentía

Una vez estimado el caudal de escorrentía por el método racional y por el modelo de infiltración del SCS (NRCS) con el software HEC-HMS, se genera un cuadro comparativo de caudales para la selección de caudales para cada zona o área aferente. La **Tabla 31 y 32**, permite observar la similitud en el cálculo de caudales por los dos métodos por lo cual se genera un promedio de caudales.

A N°	Area Aportantes	Area (Ha)	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Metodo Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 5 Años (m3/s)
					Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
Alineamiento 1	A1-1	0.1269	K0+000.00	K0+235.00	0.035	0.039	0.037
	A1-2	0.0918	K0+235.00	K0+405.00	0.025	0.028	0.027
	A1-3	0.0837	K0+405.00	K0+560.00	0.023	0.026	0.025
	A1-4	0.1026	K0+560.00	K0+750.00	0.028	0.031	0.030
	A1-5	0.1553	K0+560.00	K0+847.62	0.043	0.048	0.045

Fuente: Elaboración propia
Tabla 31 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 5 años para la vía

A N°	Area Aportantes	Area (Ha)	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Metodo Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 25 Años (m3/s)
					Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
Alineamiento 1	A1-1	0.1269	K0+000.00	K0+235.00	0.055	0.056	0.055
	A1-2	0.0918	K0+235.00	K0+405.00	0.040	0.040	0.040
	A1-3	0.0837	K0+405.00	K0+560.00	0.036	0.037	0.037
	A1-4	0.1026	K0+560.00	K0+750.00	0.044	0.045	0.045
	A1-5	0.1553148	K0+560.00	K0+847.62	0.067	0.068	0.068

Fuente: Elaboración propia
Tabla 32 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 25 años para la vía

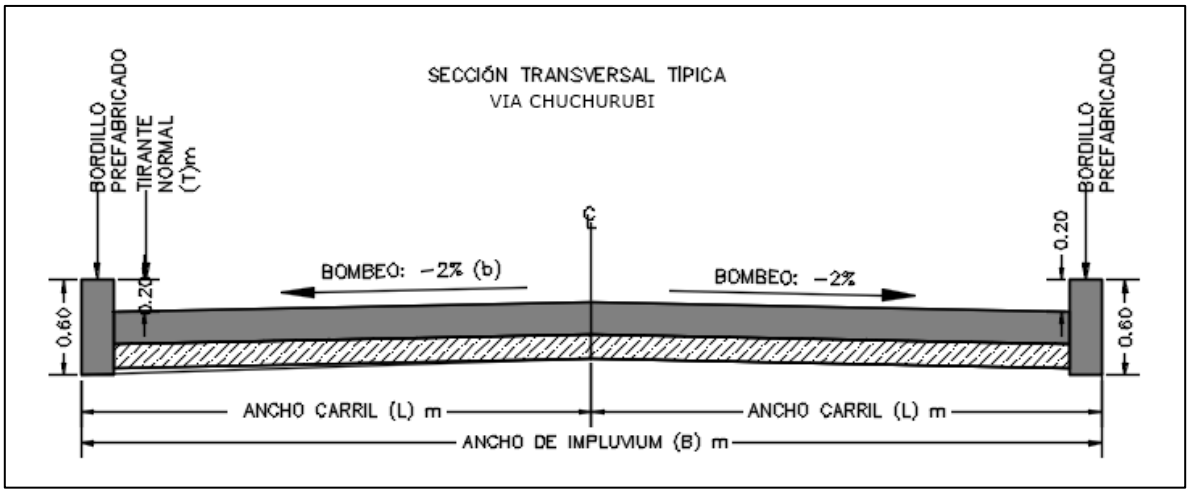
7. VALORACIÓN DE LA LONGITUD VIAL EN FUNCIÓN DE LAS CURVAS IPL

En este punto del diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) máxima de vía.

De la igualdad Qe = Qc se obtiene un valor de L, magnitud que indica el sitio donde se rebosa la vía y donde es necesario desviar el agua mediante alivios o desagües. La expresión para el cálculo de L deducida de la igualdad Qe = Qc es:

$$L = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * a}{n * C_e * I * B} \qquad EC\ 6$$

Donde:
R = Radio Hidráulico en metros.
S = Pendiente de la vía en tanto por uno, igual a la pendiente de la rasante de la vía.
a = Área hidráulica de la sección transversal de la vía, en m2.
n = coeficiente de rugosidad de Manning.
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de precipitación en (mm/h).
B= Ancho de Impluvium (m)
Qe= Caudal de Escorrentía
Qc= Caudal de Captación



Fuente: Elaboración propia
Ilustración 13 Sección transversal típica con variables para el cálculo las Curvas IPl - Ancho de Impluvium (B)

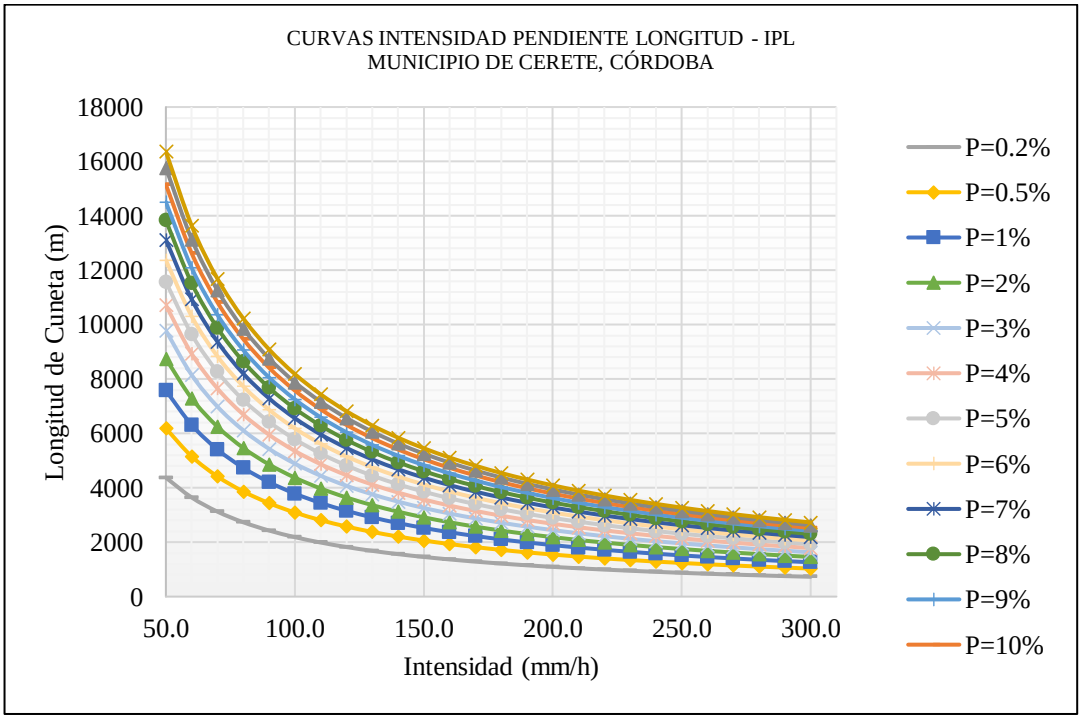
Aplicando los anteriores criterios de diseño se elaboran las curvas I-P-L con adaptación a las geometrías de la vía, como ancho, altura de bordillo, relación de talud definido, Intensidad, tiempo

de concentración, entre otros parámetros; Ver **tabla 33.** Se determina la Longitud máxima donde la vía podría presentar desbordamiento. En el **anexo 7** se indican los valores para organizar las curvas I-P-L y en las **Grafica 6** se presentan las correspondientes curvas.

Parametros Generación Curvas IPL		
Variable	**Und**	**Via**
Tirante normal (m)	T	0.20
Bombeo (%)	b	2.00%
Ancho de la via (m)	L	2.70
Área hidráulica (m2)	A	0.47
Área hidráulica (Ha)	a	5E-05
Perímetro mojado (m)	P	3.05
Radio Hidráulico (m)	R	0.15
Coeficiente de Manning	n	0.016
Tiempo de concentración (min)	Tc	15.00
Coeficiente de escorrentía	C	0.80
Ancho de Impluvium (m)	B	5.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Parámetros generación curvas IPL para la Vía



Fuente: Elaboración propia

Grafica 6 Curvas (IPL) intensidad – pendiente vía – longitud vial.

Con la información anterior se calculan las longitudes máximas para diferentes valores de pendiente de la rasante (S), **ver Tabla 2,** estos valores solo son una guía que nos permite tomar la decisión de la ubicación de los desagües de las escorrentías superficiales recolectadas en la vía**. Ver Tabla 34.**

Tramo	Pendiente (%)	I (mm/h)	Longitud (m)
A-1	0.47	111.57	4250
	0.58		4720
	0.66		5035
	0.29		3340
	0.54		4555
	0.23		2970
	0.32		3505
	0.29		3340
	0.24		3035
	0.32		3505
	0.30		3395
	0.80		5545

Fuente: Elaboración propia
Tabla 34 Valores de Longitud de vía.

La **tabla 34,** presenta las longitudes de la vía en función de las pendientes calculadas, esta tabla es solo una referencia ya que, en el momento de determinar la longitud de la vía y la posición de los alivios, se ajustan a la longitud máxima propuesta en la cartilla de **obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural**, tal documento menciona que "En caso de no contar con una obra de drenaje transversal (alcantarilla, box Culvert, puente) o una corriente natural para evacuar el agua proveniente de la vía que tienen una longitud máxima de 100 m, se sugiere disponer el agua en el terreno natural mediante bajantes, alivios, empedrados o rip-rap, tal como se plantea en el Manual de Drenaje (2009) en la sección 4.2" (Instituto Nacional de Vías - INVÍAS, 2019, pág. 13). Según lo antes mencionado se toma la consideración de emplear una longitud de vía de 100 metros, garantizando que a esta distancia no presentara desbordamiento, conformando así un sistema de drenaje óptimo para el presente proyecto. La ubicación exacta de los alivios se muestra en la **tabla 37 del capítulo 9.**

8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este numeral se pretende realizar un análisis de sensibilidad en función del periodo de retorno (Tr). La finalidad de esta metodología es evaluar el comportamiento hidráulico de las estructuras para el

drenaje superficial de la vía diseñadas en caso de que se presente un evento de lluvia asociado a un periodo de retorno de **25 años**.

8.1. Valoración de la longitud de la vía en función de las curvas IPL

En este punto del diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) máxima de vía, asociada al periodo de sensibilidad seleccionado siendo este un valor **25 años,** donde se relacionan variables como precipitación, intensidad de lluvia y coeficiente de escorrentía asociado al periodo de **25 años.**

Se emplea la teoría y ecuaciones utilizadas en el **capítulo 7** ; donde se obtiene un valor de L, magnitud que indica el sitio donde se rebosa la vía y donde es necesario desviar el agua mediante alivios o desagües.

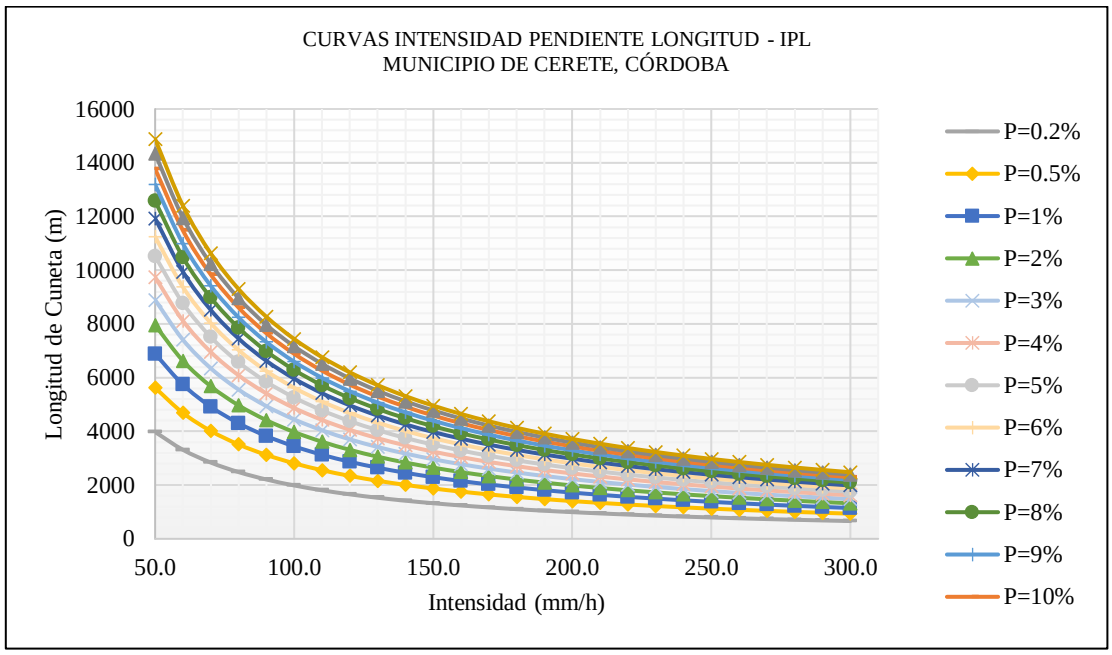
Aplicando los anteriores criterios de diseño se elaboran las curvas I-P-L con adaptación a las geometrías de la vía, como ancho, altura de bordillo, relación de talud definido, Intensidad, tiempo de concentración, entre otros parámetros; se determina la Longitud máxima donde la vía podría presentar desbordamiento de un tramo de vía en estudio.

En el **anexo 7** se indican los valores para organizar las curvas I-P-L y en las **Grafica 7** se presentan las correspondientes curvas.

Parametros Generación Curvas IPL		
Variable	**Und**	**Via**
Tirante normal (m)	T	0.20
Bombeo (%)	b	2.00%
Ancho de la via (m)	L	2.70
Área hidráulica (m2)	A	0.47
Área hidráulica (Ha)	a	5E-05
Perímetro mojado (m)	P	3.05
Radio Hidráulico (m)	R	0.15
Coeficiente de Manning	n	0.016
Tiempo de concentración (min)	Tc	15.00
Coeficiente de escorrentía	C	0.88
Ancho de Impluvium (m)	B	5.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Parámetros generación curvas IPL para la Vía TR 25 años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 7 Curvas (IPL) intensidad – pendiente – longitud vial TR 25 Años

Con la información anterior se calculan las longitudes máximas para diferentes valores de pendiente de la rasante (S), **ver Tabla 36,** estos valores solo son una guía que nos permite observar la distancia de desbordamiento de la vía según su geometría, precipitación, entro otras variables, Por normativa se empleó como se mencionó anteriormente que la longitud de ubicación de los alivios se hiciera a **100 metros**. Con este análisis se corrobora que la vía no presentara desbordamiento debido a que la longitud empleada en el diseño es inferior a la máxima según las curvas IPL. La localización exacta se encuentra en la **tabla 37,** del **capítulo 9 Obras hidráulicas a construir.**

Tramo	Pendiente (%)	I (mm/h)	Longitud (m)
A-1	0.47	158.97	2710
	0.58		3010
	0.66		3210
	0.29		2130
	0.54		2905
	0.23		1895
	0.32		2235
	0.29		2130
	0.24		1935
	0.32		2235
	0.30		2165
	0.80		3535

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Valores de Longitud de la vía.

9. OBRAS HIDRÁULICAS A CONSTRUIR

Para el presente proyecto se empleará un sistema de recolección de escorrentías superficiales; En primera media serán transportadas por la vía, funcionando como un canal abierto que transporta las escorrentías, las cuales son direccionadas por el sistema de bombeo y peralte hacia los bordes viales, posteriormente el caudal es drenado hacia los terrenos laterales, por medio de alivios; localizados en los puntos bajos y cada 100 metros, esta información se puede visualizar en la **tabla 37**, aquí se presenta abscisa, coordenadas Norte - Este y lado de la vía donde será construido esta obra hidráulica. Conforme a la teoría de la **cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural.**

Ubicación de alivios Via Chuchurubi- Cerete						
Item	Abscisa	Coordenadas		Coordenadas		Lado de la via
		Norte	Este	Latitud	Longitud	
1	K0+110.00	1474975.49	1140112.17	75° 48' 13.54"	8° 53' 20.20"	Izquierdo
2	K0+180.00	1475035.74	1140075.58	75° 48' 14.73"	8° 53' 22.16"	Derecho
3	K0+180.00	1475032.01	1140070.57	75° 48' 14.89"	8° 53' 22.04"	Izquierdo
4	K0+290.00	1475122.95	1140008.51	75° 48' 16.91"	8° 53' 25.01"	Derecho
5	K0+290.00	1475118.96	1140003.59	75° 48' 17.08"	8° 53' 24.88"	Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Ubicación de alivios Tipo Vía Chuchurubí- Cerete

10. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- Se recomienda conservar la pendiente longitudinal de diseño para no alterar las velocidades de evacuación de escorrentías superficiales.

- Se recomienda durante la etapa de revisión al estudio, ser informado al consultor cualquier observación ya que este es el responsable del estudio.

- Para el desarrollo del análisis morfométrico de las áreas aferentes que afectan la vía a intervenir. se delimitan las cuencas hidrográficas haciendo uso de modelos digitales de elevación (DEM), los cuales son post procesados en software como Global Mapper, como complemento se hace una verificación con la ayuda de Google Earth y la topografía medida en campo. Una vez delimitadas y seccionadas las cuencas aportantes a cada tramo vial, se describen los parámetros morfométricos de la misma.

- Se recomienda durante la etapa constructiva conservar todos los parámetros de diseño establecidos por esta consultoría, cualquier modificación debe ser informada para su aprobación.

- Se recomienda durante la construcción del tramo vial que el constructor conserve el dimensionamiento planteado por la consultoría, cualquier modificación puede afectar el drenaje ya que se vería afectado el caudal de escorrentía que puede transportar la estructura hidráulica.

- Para el presente proyecto se empleará un sistema de recolección de escorrentías superficiales descrito de la siguiente manera; En primera media serán transportadas por la vía, funcionando como un canal abierto que transporta las escorrentías, las cuales son direccionadas por el sistema de bombeo y peralte hacia los bordes viales, posteriormente el caudal es drenado hacia los terrenos laterales, por medio de alivios; localizados en los puntos bajos y cada 100 metros, esta información se puede visualizar en la **tabla 37,** Conforme a la teoría de la **Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural. Estructuras proyectadas** Con el fin de evitar desbordamientos y futuros daños en la vía estudiada. Para mayor claridad, se genera el plano de hidrológico e hidráulico en el cual se evidencia claramente el sistema de drenaje. **Ver anexo 8 Plano Detalles Red Pluvial.**

- En consideración de la pendiente longitudinal, se puede concluir que la lámina de agua no será excesiva, a tal punto que genere hidro planeo.

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

AÑO	DATOS DE PRECIPITACIÓN MAX 24 HORAS (mm) ESTACIONES																											
	TIERRALTA				CHIMA	CHINÚ	PLANETA RICA	SAHAGÚN				PUERTO ESCONDIDO		VALENCIA	PUEBLO NUEVO	ARBOLETES		SAN CARLOS						MONTERIA			
	CARAMELO	QUIMARI	TIERRALTA	REPRESA DE URRA	CHIMA	CHINÚ AUT	PLANETA RICA	COLOMBOY	SAHAGÚN	TREMENTINO	JOBO EL TABLON	CRISTO REY AUT	JARAMAGAL	PEZVAL	SAJONIA HACIENDA AUT	ARBOLETES	CARMELOEL	SANTA ROSA	BUENOS AIRES 1	CARRIZAL	SAN CARLOS	COROZA 2	CALLEMAR	BOCA DE LA CEIBA	SANTA LUCIA	SAN ANTERITO	TAMPA
1979	83	138	99		125	100	124	70	82	76	130	117	65	86	93	129	74	88	95	99	106	90	76	135	87	81	61
1980	60	73	106		78	95	93	70	52	95	89	129	85	89	88	138	98	114	78	115	61	50	114	131	73	85	92
1981	132	72	72		50	98	160	68	102	125	85	64	80	83	46	100	76	106	113	75	139	130	115	100	86	80	71
1982	72	110	95		95	119	75	83	86	92	111	132	82	87	85	173	182	90	64	100	103	46	102	115	105	82	51
1983	124	102	61		71	136	136	61	115	120	39	125	81	79	93	158	42	84	83	137	124	85	100	86	90	90	56
1984	85	80	144		90	113	101	120	147	95	107	55	91	102	130	122	130	64	100	98	123	86	150	66	78	90	105
1985	138	130	75		110	107	69	65	75	80	115	144	105	81	105	110	147	137	103	75	141	100	60	100	82	52	86
1986	87	103	146		110	118	56	105	100	103	90	145	110	103	119	148	78	120	95	133	70	50	90	56	105	90	170
1987	78	100	116		60	64	140	115	120	120	95	75	64	94	84	102	69	100	70	85	87	70	100	92	85	81	102
1988	70	97	104		70	138	70	115	110	131	120	108	150	89	85	162	90	120	70	93	89	64	62	93	170	150	84
1989	100	141	77		85	100	46	52	85	117	80	79	170	82	101	158	55	130	108	100	123	100	100	93	110	109	72
1990	114	150	95		130	65	160	107	135	180	82	134	85	88	91	105	105	135	145	90	90	150	80	110	97	102	110
1991	55	90	66		75	125	152	64	90	67	120	77	90	60	142	95	47	114	95	102	90	115	100	100	130	67	70
1992	90	82	130		58	120	130	30	126	97	73	126	60	96	104	98	106	96	160	80	84	67	91	64	94	60	95
1993	67	68	44		57	63	93	65	80	80	103	92	210	81	86	130	83	109	60	90	52	90	85	110	140	65	110
1994	123	90	81		114	93	131	83	62	90	100	86	90	82	113	125	100	113	135	104	98	90	80	109	90	60	72
1995	92	90	130		84	134	71	82	104	90	93	97	53	78	85	55	92	90	83	84	98	80	103	82	70	80	84
1996	71	84	65		58	77	83	42	109	75	110	98	73	80	96	99	132	120	90	91	94	118	68	94	85	102	80
1997	119	97	130		130	113	89	85	83	78	88	133	92	130	92	22	82	104	120	100	98	120	92	90	60	85	112
1998	79	4	150		52	89	97	84	65	66	120	69	115	90	103	22	91	88	102	91	112	92	107	86	85	70	90
1999	110	4	119		80	117	88	84	78	74	85	168	130	80	90	82	127	73	84	120	92	44	67	105	28	50	13
2000	101	20	87		50	45	78	65	61	15	80	117	81	103	41	67	39	82	133	100	92	125	80	130	65	85	150
2001	81	30	110		85	142	65	86	62	70	80	108	81	90	64	134	55	85	98	102	91	86	90	68	90	99	120
2002	71	83	119		85	87	94	92	85	120	100	101	81	121	109	122	84	124	85	83	45	75	70	70	75	98	80
2003	90	70	94		53	64	81	76	66	90	60	136	106	95	64	135	83	135	125	119	71	93	90	89	95	91	87
2004	109	30	115		55	114	70	79	87	90	140	119	86	73	71	135	90	88	87	100	90	82	70	75	80	117	100
2005	128		134	115	90	101	81	66	53	100	130	77	116	106	74	89	60	125	115	106	122	95	90	78	60	138	100
2006	100		104	148	75	127	83	63	74	70	94	100	111	102	65	135	100	90	132	100	115	50	135	90	95	65	90
2007	83		115	87	82	74	83	105	76	145	80	157	68	102	103	90	77	110	100	84	130	103	90	75	75	81	80
2008	115		92	88	82	78	127	132	83	95	90	74	82	115	90	136	97	110	80	110	112	87	97	110	120	140	90
2009	90		75	166	58	100	111	136	108	114	90	96	92	104	92	144	60	95	130	68	123	95	110	61	82	90	56
2010	79		90	133	76	90	92	158	79	145	130	16	63	77	96	143	74	75	93	132	110	65	113	97	80	79	88
2011	85		135	132	95	135	105	73	74	64	100	4	110	88	77	134	150	67	100	145	120	100	70	90	134	102	96
2012	101		107	105	114	126	110	114	75	65	80	94	75	83	77	118	87	75	94	132	80	83	28	90	90	120	101
2013	131		80	97	62	78	97	95	68	87	140	110	110	80	84	123	103	105	88	93	75	102	10	65	70	87	48
2014	135		115	80	84	112	89	63	70	75	90	94	133	103	78	109	90	84	93	84	90	92	135	135	60	112	125
2015	60		74	129	75	136	105	83	72	95	80	115	86	56	79	112	76	70	81	105	50	85	100	95	93	56	75
2016	82		95	122	66	67	65	102	68	78	90	66	65	64	95	123	105	94	96	87	120	70	100	95	79	87	80
Pmax	**138.00**	**150.00**	**150.00**	**165.50**	**130.00**	**142.00**	**160.00**	**158.40**	**147.00**	**180.00**	**140.00**	**167.50**	**210.00**	**130.00**	**142.00**	**172.60**	**182.00**	**137.00**	**160.00**	**145.00**	**141.00**	**150.00**	**150.00**	**135.00**	**170.00**	**150.00**	**170.00**
Pmedia	**94.40**	**82.20**	**101.20**	**116.79**	**80.79**	**101.58**	**97.30**	**85.21**	**85.91**	**93.91**	**97.08**	**100.96**	**95.45**	**89.54**	**89.18**	**115.29**	**90.40**	**100.24**	**99.55**	**100.31**	**97.63**	**87.48**	**90.00**	**92.89**	**89.29**	**88.89**	**88.23**

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

AÑO	DATOS DE PRECIPITACIÓN MAX 24 HORAS (mm) ESTACIONES																									
	MONTERIA						CERETÉ			SAN PELAYO		CIÉNAGA DE ORO		BUENAVISTA	AYAPEL	MONTELIBANO		SINCELEJO		COROZAL		COLOSÓ		TOLU		TOLUVIEJO		SAN ANTERO
	SANTA CRUZ HACIENDA	LOMA VERDE	SABANAL	BUENOS AIRES	MARACAYO	U. CÓRDOBA	RABOLARGO	CERETÉ	TURIPANA	SAN ANTONIO	CARRILLO	SALADO EL	CIÉNAGA DE ORO	BUENAVISTA	AYAPEL	PICA PICA	SAN FRANCISCO	PASTORA LA	PUERTA ROJA AUT	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	HATO NUEVO	PARAISO EL	PRIMATES	SANTA ANGELA HACIENDA	TOLU	ARGENTINA	TOLUVIEJO	VILLA MARCELA
1979	65	126	80	92	95	39	100	190	103	76	79	97	50			120	78			61.1	89			37	150	50	94	
1980	97	115	73	138	135	79	122	76	54	95	122	76	120			100	170			84	62			110	91	57	67	
1981	69	64	135	95	83	100	83	87	114	0	118	73	156			105	97			84.6	130				132	77	52	
1982	72	98	65	61	80	57	91	67	70	90	75	90	140			9	107			77	70			103	113	90	96	
1983	110	66	110	70	82	96	108	137	134	90	86	88	85			100	158			72	103			100	125	106	122	
1984	65	77	90	106	102	69	112	74	83	55	85	75	55			88	80			103	108			130	135	82	98	
1985	95	96	71	110	91	71	81	76	106	90	93	69	70			110	128		72	87.3	151		60.6	92	133	114	125	
1986	81	63	72	97	96	73	85	50	103	69	53	83	76			85	99			95.2	85	149.2	97.5	145	140	165	135	
1987	107	73	95	65	90	82	90	90	65	83	107	94	97			110	77		66	63.8	70	79.9	78.5	128	90	132	74	
1988	63	95	105	112	111	103	95	71	111	100	122	41	100			95	107			63	95	111	90.3	93	109	135	108	114
1989	78	87	115	115	87	83	140	82	97	135	150	93	100			74	81			62	65	75.6	55	135	118	106	63	71
1990	55	80	98	102	137	143	98	106	145	94	87	97	135	85	145	130	100	45	68	75	69	12.6	52	70	120	100	135	73
1991	140	80	66	67	110	60	103	98	52	85	86	87	125	110	136	140	101	70	62.5	56	90.1	77.5	81.5	40	20	40	55	81
1992	148	100	101	97	66	68	70	78	75	89	85	68	80	98	153	110	65	60	68	65	56	102.7	75	95	136			103
1993	70	90	96	75	87	84	75	113	84	102	78	89	110	90	108	130	106	90	97	128	98.1	71.1	70.4	80	94	140	95	130
1994	78	74	90	62	76	76	140	132	67	100	109	116	75	80	95	110	82	75	71	98.8	91.5	96.2	98.6	153.2	113	163	102	48
1995	62	60	90	115	99	64	75	90	69	93	72	69	140	95	152	105	133	120	55.5	84.4	81	83.4	77.1	62	135	139	124	82
1996	86	80	70	129	87	84	140	137	103	126	84	76	60	92	112	110	91	65	93.5	100.1	99	81.3	57.5	120	133	91	68	95
1997	88	90	125	103	76	182	70	79	94	82	73	61	105	95	81	140	93	65	89	78.2	135	113.8	58.5	95	83	98	96	87
1998	86	85	80	90	90	79	94	123	117	139	105	85	90	135	52	95	150	70	86	58.4	142	87.7	76	112	116	104	120	128
1999	89	67	87	19	83	57	140	63	76	75	102	41	98	105	81	46	100	30	61	81.4	122.2	129.5	60	130	127	80	95	98
2000	60	57	106	107	83	80	70	100	61	60	66	82	120	97	183	82	82	95	93.5	80.5	96	92.6	97	140	91	138	82	52.9
2001	84	76	80	70	12	71	100	98	101	70	76	78	60	115	100	81	109	60	51.5	49.4	81	96.8	90	120	67	130	83	58.4
2002	73	83	75	69	65	51	78	64	62	75	74	64	140	90	95	93	121	54	77	65.2	135	93.6	65	115	70	90	106	96.1
2003	65	115	100	80	90	145	78	73	103	75	90	85	100	130	90	88	100	65	0	53.5	100	87.2	80.6	49	120	122	146	87
2004	16	94	85	93	76	54	49	119	76	80	50	56	120	110	133	130	99	85	98.5	77.5	77	85.1	50.9	105	97	90	34	60
2005	75	95	90	125	130	94	96	98	90	85	132	118	60	90	147	90	110	75	78	84	90	50.1	130	130	132	108	62	64
2006	68	85	136	100	70	101	90	52	97	100	102	81	70	80	105	77	102	70	103	61.5	118	72.6	60.2	80	121	74	64	92
2007	75	124	95	112	135	85	64	121	105	65	150	64	50	130	134	105	84	80	78	54	123	134.9	68	82	47	92	118	70
2008	57	58	92	100	90	88	101	96	103	72	99	87	50	150	126	116	84	85	55	73.2	95	64.8	100	97	87	98	106	87
2009	52	42	78	100	110	84	84	109	111	80	111	87	79	90	110	75	91	80	133	35.5	105	83.9	45	90	65	87	73	67
2010	79	72	80	92	81	74	75	203	92	85	100	117	135	90	164	99	96	90	83	72.5	108	128.8	135	155	120.4	150	130	133
2011	75	50	76	102	76	83	80	99	129	75	107	130	99	75	75	115	102	75	62.0	78	98.0	94.2	130.0	130	138.0	130	91.0	98.0
2012	72	77	87	75	100	110	82	87	69	90	75	102	95	60	103	124	110	80	84.3	73.7	80	99.2	76	104	67.5	81	131	177
2013	65	69	61	75	80	57	67	88	77	75	104	91	80	100	116	52	110	95	75.2	91.3	79.0	98.2	65.0	130	124.0	126	70.0	75.0
2014	36	70	57	51	83	52	65	72	83	110	94	67	91	94	144	65	46	75	84	114	67	89.5	82	74	80	110	63	109
2015	60	90	65	60	106	51	60	82	65	103	81	56	65	90	82	78	115	90	80	90.4	68	67.5	6.9	106	53.5	92	58	109
2016	36	97	103	126	97	95	66	55	90	74	59	23	72		112	68	145	76		63	126	82.8	126.5	74	120.4	113	86	85
Pmax	**148.00**	**126.00**	**136.00**	**138.00**	**137.00**	**182.00**	**140.00**	**202.60**	**145.40**	**139.00**	**150.00**	**130.00**	**156.00**	**150.00**	**183.30**	**140.00**	**170.00**	**120.00**	**133.00**	**128.00**	**151.00**	**149.20**	**135.00**	**155.00**	**150.00**	**165.00**	**146.00**	**177.00**
Pmedia	**75.04**	**82.11**	**88.93**	**90.97**	**90.72**	**82.18**	**89.92**	**95.62**	**90.35**	**85.32**	**93.17**	**80.37**	**93.49**	**99.08**	**116.06**	**96.06**	**102.87**	**74.81**	**75.91**	**76.20**	**96.26**	**90.11**	**78.02**	**103.01**	**105.63**	**105.41**	**92.62**	**90.70**

SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LLUVIAS P MAX 24 HORAS

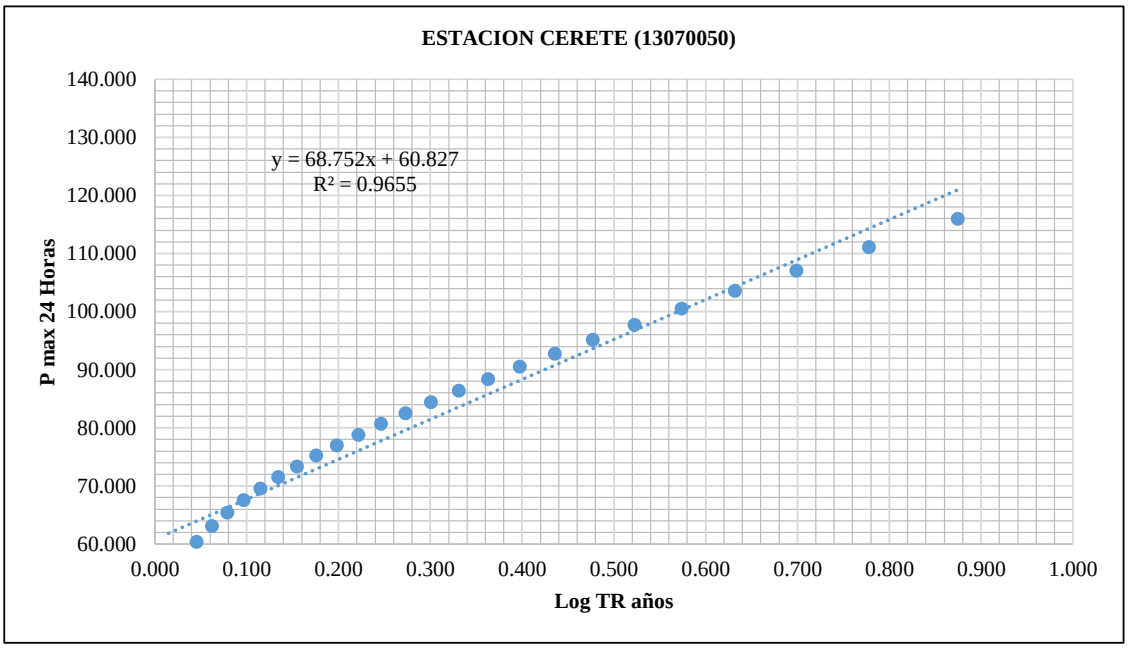
ESTACION CERETE (13070050)

Año	Pmax 24-hr (mm)	Pmax 24-hr (mm) < a >	Rango jerarquico promedio ®	Prob. de Exc. (P(x))	Tr (Tiempo de Retorno)	Log Tr (Tiempo de Retorno)	F(x)	Pmax 24-hr (mm) Gumbel
1987	90	52	29.0	0.967	1.034	0.015	0.033	52.575
1988	71	55	28.0	0.933	1.071	0.030	0.067	57.133
1989	82	63	27.0	0.900	1.111	0.046	0.100	60.377
1990	106	64	26.0	0.867	1.154	0.062	0.133	63.046
1991	98	71	25.0	0.833	1.200	0.079	0.167	65.394
1992	78	72	24.0	0.800	1.250	0.097	0.200	67.540
1993	113	73	23.0	0.767	1.304	0.115	0.233	69.554
1994	132	78	22.0	0.733	1.364	0.135	0.267	71.479
1995	90	79	21.0	0.700	1.429	0.155	0.300	73.345
1996	137	82	20.0	0.667	1.500	0.176	0.333	75.177
1997	79	82	19.0	0.633	1.579	0.198	0.367	76.992
1998	123	87	18.0	0.600	1.667	0.222	0.400	78.807
1999	63	88	17.0	0.567	1.765	0.247	0.433	80.635
2000	100	90	16.0	0.533	1.875	0.273	0.467	82.491
2001	98	90	15.0	0.500	2.000	0.301	0.500	84.388
2002	64	96	14.0	0.467	2.143	0.331	0.533	86.343
2003	73	98	13.0	0.433	2.308	0.363	0.567	88.372
2004	119	98	12.0	0.400	2.500	0.398	0.600	90.493
2005	98	98	11.0	0.367	2.727	0.436	0.633	92.730
2006	52	99	10.0	0.333	3.000	0.477	0.667	95.113
2007	121	100	9.0	0.300	3.333	0.523	0.700	97.677
2008	96	106	8.0	0.267	3.750	0.574	0.733	100.472
2009	109	109	7.0	0.233	4.286	0.632	0.767	103.566
2011	99	113	6.0	0.200	5.000	0.699	0.800	107.057
2012	87	119	5.0	0.167	6.000	0.778	0.833	111.098
2013	88	121	4.0	0.133	7.500	0.875	0.867	115.943
2014	72	123	3.0	0.100	10.000	1.000	0.900	122.066
2015	82	132	2.0	0.067	15.000	1.176	0.933	130.534
2016	55	137	1.0	0.033	30.000	1.477	0.967	144.745
			29					

SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LLUVIAS P MAX 24 HORAS

ESTACION CERETE (13070050)



PERIODO DE RETORNO GUMBEL - ESTACION CERETE (/13070050)

TR (años)	Log TR	P(x)	F(x)	P(mm) (Gumbel)	P (Media) mm
2	0.301	0.50	0.50	84.4	134.6
5	0.699	0.20	0.80	107.1	
10	1.000	0.10	0.90	122.1	
25	1.398	0.04	0.96	141.0	
50	1.699	0.02	0.98	155.1	
75	1.875	0.01	0.99	163.3	
100	2.000	0.01	0.99	169.1	

PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA PMAX HISTORICA

Año	Pmax 24-h (mm)	TR (años)
1996	137	25

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 3 CALCULO DE INTENSIDAD PARA GENERACIÓN DE CURVAS IDF

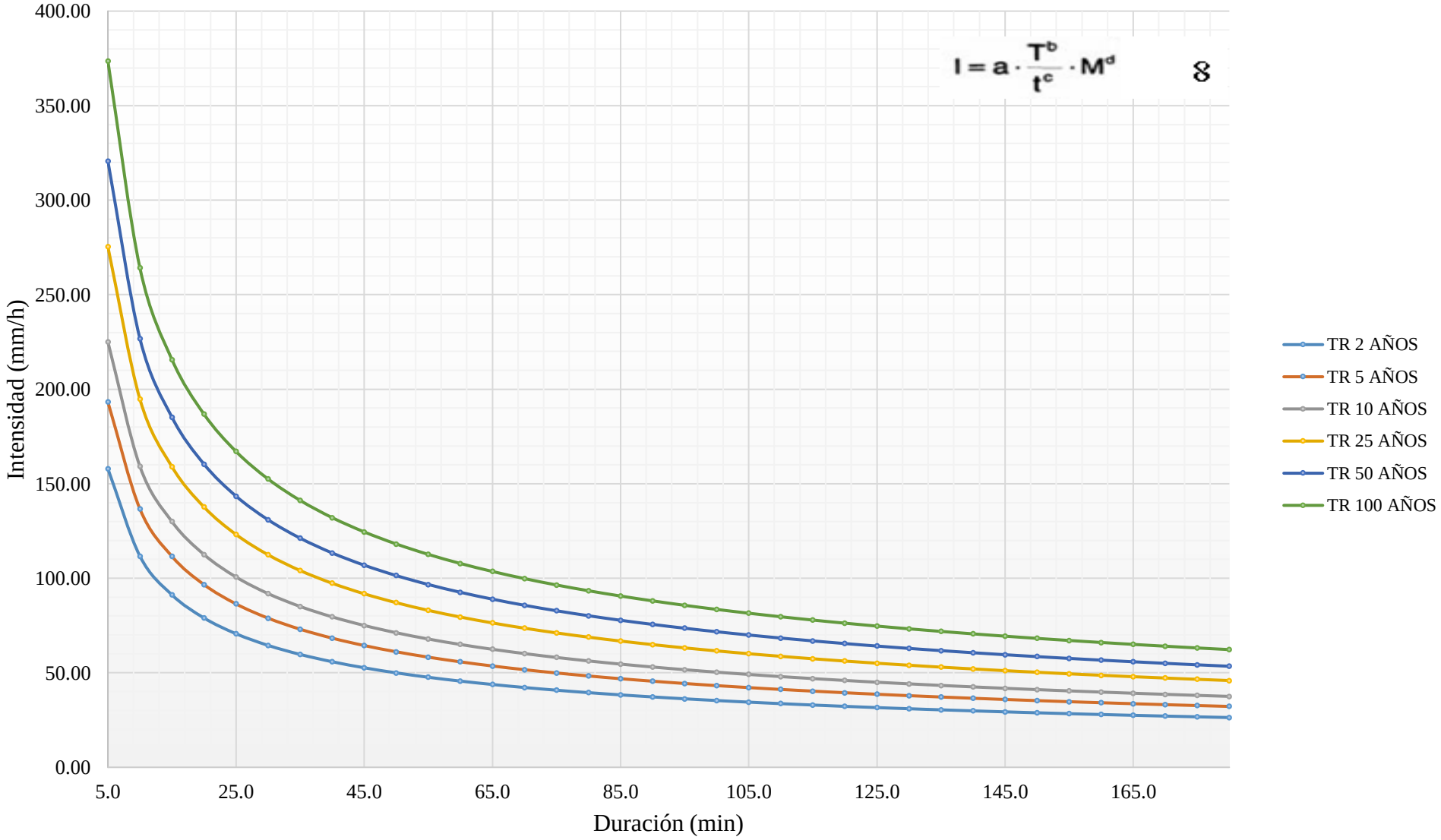
Análisis para curvas IDF cálculos con curvas sintéticas región caribe ec 8 (Díaz Granados)

Valores Calculados Para El Proyecto Vias en el municipio de Cerete

Tiempo de Duración en Horas (t)		Precipitación Media en 24 Horas (mm)						
		94.203	94.203	94.203	94.203	94.203	94.203	
		Periodo de Retorno en Años (TR)						
Minutos	**Horas**	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	
5.0	0.08	157.96	193.24	225.07	275.34	320.70	373.53	INTENSIDAD DE LLUVIAS EN MM/HORAS
10.0	0.17	111.70	136.64	159.15	194.70	226.77	264.12	
15.0	0.25	91.20	111.57	129.95	158.97	185.16	215.66	
20.0	0.33	78.98	96.62	112.54	137.67	160.35	186.76	
25.0	0.42	70.64	86.42	100.66	123.14	143.42	167.05	
30.0	0.50	64.49	78.89	91.89	112.41	130.92	152.49	
35.0	0.58	59.70	73.04	85.07	104.07	121.21	141.18	
40.0	0.67	55.85	68.32	79.58	97.35	113.38	132.06	
45.0	0.75	52.65	64.41	75.02	91.78	106.90	124.51	
50.0	0.83	49.95	61.11	71.17	87.07	101.41	118.12	
55.0	0.92	47.63	58.26	67.86	83.02	96.69	112.62	
60.0	1.00	45.60	55.78	64.97	79.48	92.58	107.83	
65.0	1.08	43.81	53.60	62.42	76.37	88.95	103.60	
70.0	1.17	42.22	51.65	60.15	73.59	85.71	99.83	
75.0	1.25	40.79	49.89	58.11	71.09	82.80	96.44	
80.0	1.33	39.49	48.31	56.27	68.84	80.17	93.38	
85.0	1.42	38.31	46.87	54.59	66.78	77.78	90.59	
90.0	1.50	37.23	45.55	53.05	64.90	75.59	88.04	
95.0	1.58	36.24	44.33	51.64	63.17	73.57	85.69	
100.0	1.67	35.32	43.21	50.33	61.57	71.71	83.52	
105.0	1.75	34.47	42.17	49.11	60.08	69.98	81.51	
110.0	1.83	33.68	41.20	47.99	58.70	68.37	79.64	
115.0	1.92	32.94	40.29	46.93	57.41	66.87	77.89	
120.0	2.00	32.24	39.44	45.94	56.20	65.46	76.25	
125.0	2.08	31.59	38.65	45.01	55.07	64.14	74.71	
130.0	2.17	30.98	37.90	44.14	54.00	62.89	73.25	
135.0	2.25	30.40	37.19	43.32	52.99	61.72	71.89	
140.0	2.33	29.85	36.52	42.53	52.03	60.61	70.59	
145.0	2.42	29.33	35.88	41.80	51.13	59.55	69.36	
150.0	2.50	28.84	35.28	41.09	50.27	58.55	68.20	
155.0	2.58	28.37	34.71	40.42	49.45	57.60	67.09	
160.0	2.67	27.92	34.16	39.79	48.67	56.69	66.03	
165.0	2.75	27.50	33.64	39.18	47.93	55.83	65.02	
170.0	2.83	27.09	33.14	38.60	47.22	55.00	64.06	
175.0	2.92	26.70	32.66	38.04	46.54	54.21	63.14	
180.0	3.00	26.33	32.21	37.51	45.89	53.45	62.25	

Coeficientes	a	24.85
	b	0.22
	c	0.50
	d	0.10

CURVAS INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA - IDF P MEDIA
DEL PROYECTO EN EL MUNICIPIO DE CERETE OBTENIDAS POR ISOYETAS

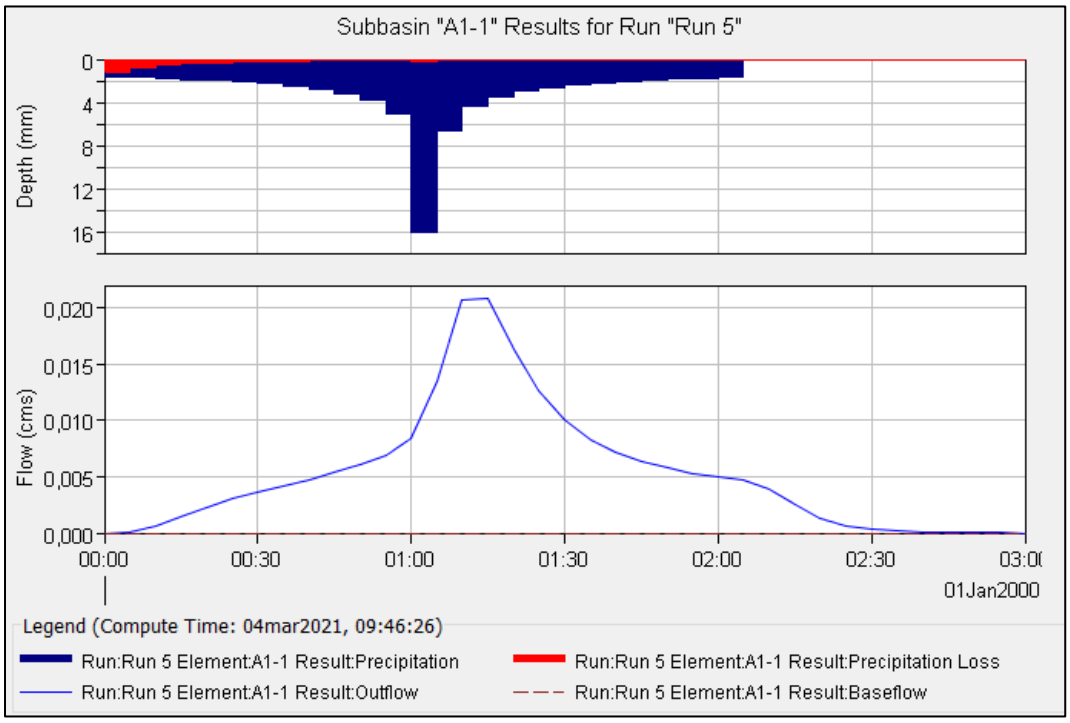


	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.		
ANEXO 4 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
Ecuación de Kirpich (Kirpich, 1940).	$Tc = 0.663 = \left(\frac{L_s^2}{Sc}\right)^{0.385}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Kirpich (1940) calibró dos modelos empíricos para estimar el tiempo de concentración en pequeñas cuencas en Pensilvania y Tennessee, con áreas que variaban entre 0,4 y 45,3 Ha, con pendientes media entre 3% y 10%. Los valores de Tc estimados, se deben multiplicar por 0,4 (flujo de canal sobre suelo natural) y 0,2 (flujo de canal revestido en concreto) (Gericke & Smithers, 2014).*
Ecuación de Millers (Miller, 1951 & ADNRW 2007)	$Tc = 10.7\left[\frac{nLs^{0.333}}{(So)^{0.2}}\right]$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) n = Coeficiente de Rugosidad Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Metodo desarrollado del nomograma de flujo laminar, concentrado y canal, fue publicado por el Instituo de Ingenieros de Australia (IEA, 1977)*
Método de Kerby (Kerby, 1959)	$Tc = 1.4394\left(\frac{nL_S}{S_c^{0.5}}\right)^{0.467}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) n = Coeficiente de Rugosidad Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Este método está basado en el uso experimental para cuencas hidrográficas con áreas de drenaje menores a 4 Ha y Pendientes menores al 1%. (Sharifi & Seyed, 2011)*
Método de Carter (Carter, 1961)	$Tc = 0.0015476\frac{L_S^{0.6}}{S_c^{0.3}} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Método desarrollado para cuencas urbanas con áreas menores de 20,8 km2 y canales con longitud inferior a 11,3 km (Sharifi & Hosseini, 2011). Se recomienda para cuencas cuyo cauce principal tiene un flujo de canales naturales (Salimi, E. T. 2017).*
Método de la agencia federal de aviación (FAA, 1970)	$Tc = \frac{0.0165626(1.1 - C)Ls^{0.5}}{(100Sc)^{0.333}}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc= Pendiente media del cauce (m/m) C=Coeficiente de escorrentia metodo Racional	*Desarrollado por ingenieros de EE.UU a partir del drenaje de los campos de aviación (Salimi, E. T. 2017). Comúnmente utilizado en el flujo laminar urbano (Gericke & Smithers, 2014). Desarrollado para flujo laminar y concentrado dominante, (Sharifi & Seyed, 2011)*
Metodo empirico y semianalitico para flujo de canal (McCuen et al, 1984)	$Tc = 3.686\left[\frac{Ls^{0.5552}}{i_2^{0.7164}\, Sc^{0.2070}}\right] * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Ecuación desarrollada para estimar el Tc en 48 cuencas urbanas con areas menores de 16 km2(Gericke & Smithers, 2014).*

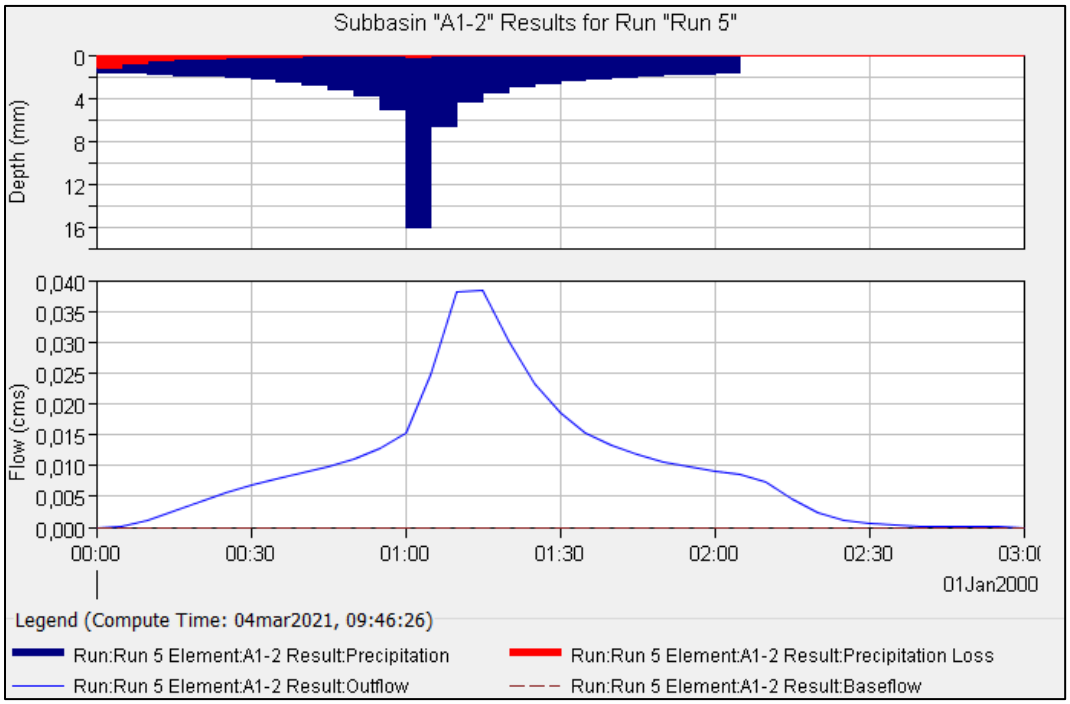
SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANEXO 4 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

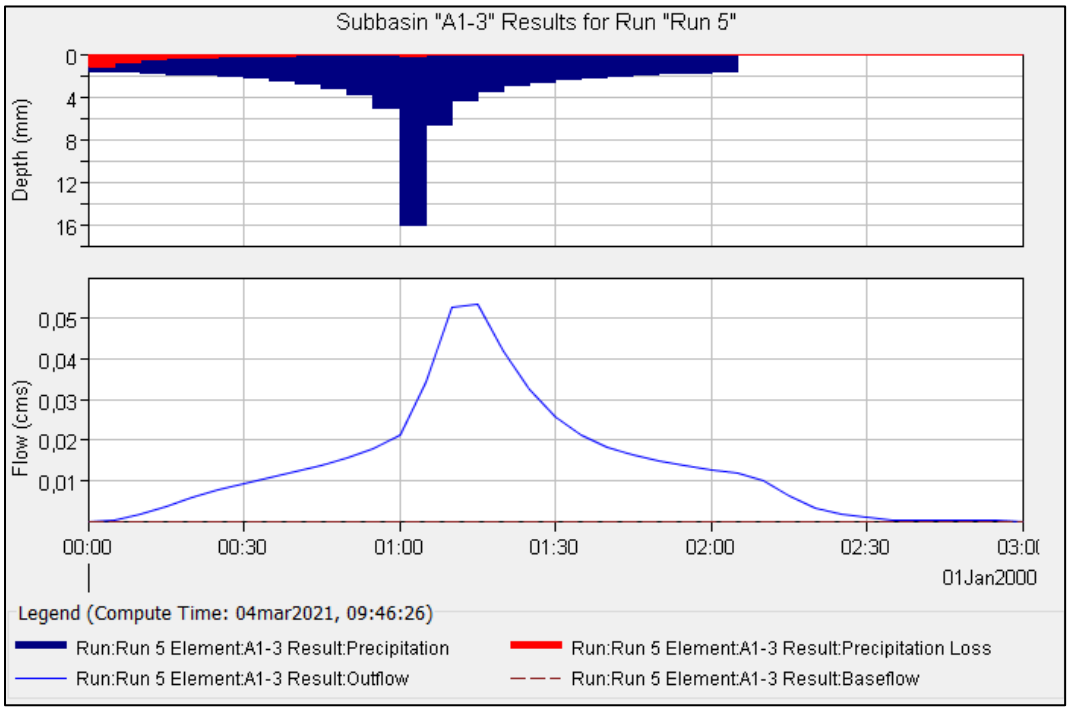
Ecuación NRCS método de la onda cinemática. (Welle and Woodward, 1986)	$Tc = \frac{5.476}{P_2^{0.5}} \left(\frac{nL_S}{\sqrt{S_C}}\right)^{0.8}$	TC = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad P2 = Precipitación maxima 24 horas TR 2 Años	*Este es un método muy utilizado en áreas pavimentadas y se basa en la relación de la intensidad y duración de la lluvia asociada a un periodo de retorno de 2 años. Adicionalmente el método fue desarrollado para evitar el proceso iterativo de la fórmula original del método de onda cinemática (Gericke & Smithers, 2014).*
Método TxDOT (1994).	$Tc = 0.702(1.1 - C)L_S^{0.5} S_C^{-0.333}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) C = Coeficiente de escorrentia metodo Racional	*Resulta de la modificación al modelo del método de la agencia federal de aviación (FAA, 1970) (Citado en (Li & Chibber, 2008). El departamento de transtauporte de Texas (TxDOT), adoptó en su manual de diseño hidráulico, la metodología planteada anteriormente para estimar el Tc en cuencas de la región de Texas (Fang, Thompson, Cleveland, & Pradhan, Variations of Time of Concentration Estimates Using NRCS Velocity Method, 2007)*
Metodo empirico y semianalitico para flujo de canal Papadakis-Kazan (1987, USDA NRCS 2010)	$Tc = 2.154 \left[\frac{n^{0.52} L_S^{0.5}}{i^{0.38} S_C^{0.31}}\right] *60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad	*Desarrolado en cuencas de aprox 12.4 km2, con datos experimentales del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, Universidad de Colorado y Universidad de Illinoi. Se realizaron analisis de regresion lineal multiple de 375 datos del Tc. (Gericke & Smithers, 2014).*
Metodo empirico para flujo de canal Sheridan's (1994, USDA NRCS 2010)	$Tc = 2.154 \left[\frac{n^{0.52} 2.2 L_S^{0.92}}{i^{0.38} S_C^{0.31}}\right] *60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad	*Desarrolado en cuencas entre 2.6 y 334.4 km2 en Georgia EE.UU. Se realizaron analisis de regresion lineal multiple encontrando que la variable mas significativa fue la longitud del cauce principal. (Gericke & Smithers, 2014).*
Ecuación de Ventura - Heras(Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013)	$Tc = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75} *60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (%)	*Esta ecuación es aplicable a cuencas pequeñas (Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013), adicional es utilizada en flujo de canales*



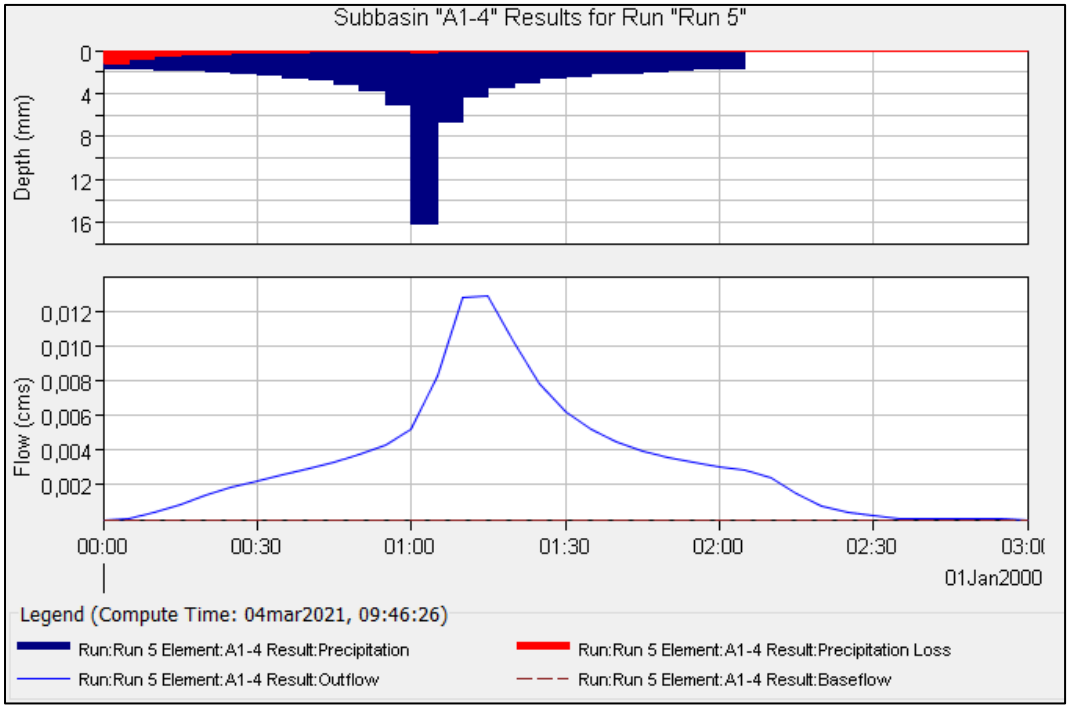
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-1



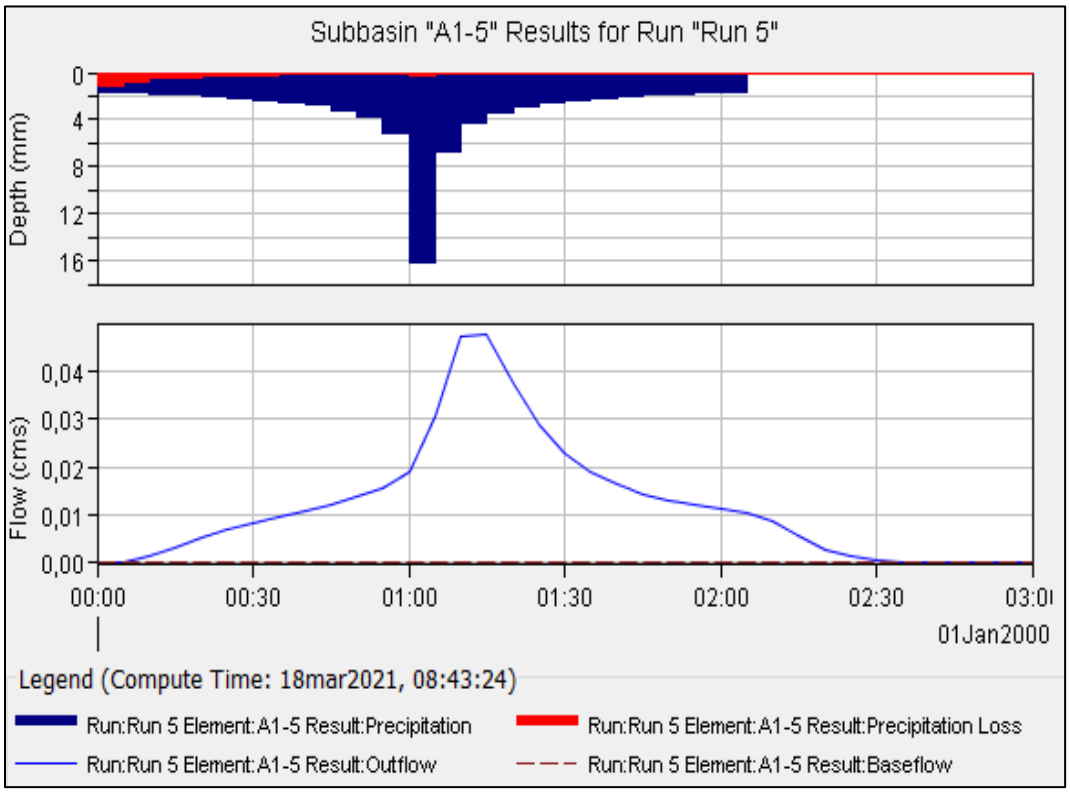
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-2



Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-3



Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-4



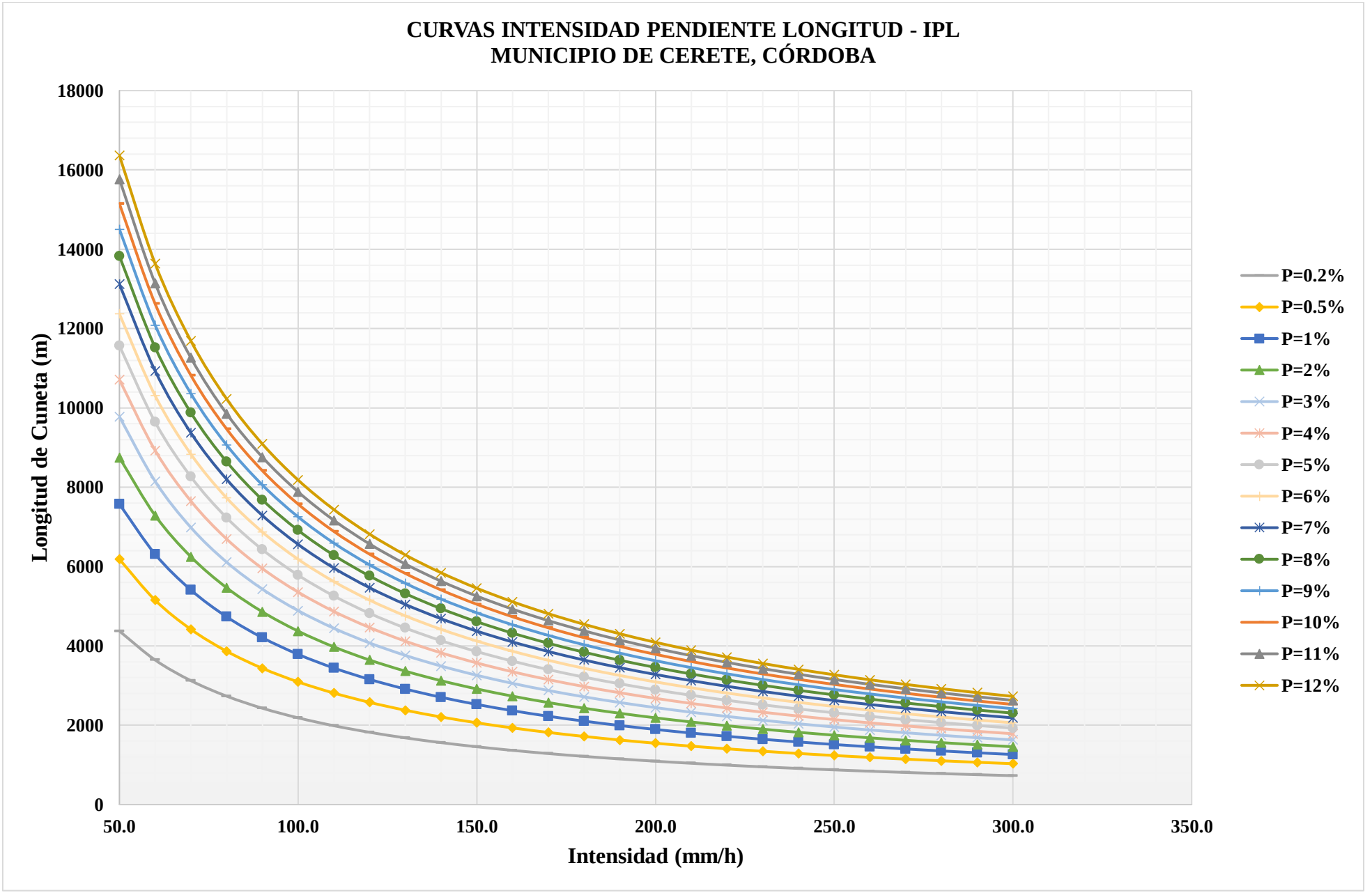
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-4

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 6 CALCULO DE LONGITUD PARA GENERACION DE CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD CURVAS IPL

Valores Calculados de la Longitud de la via (m)

Intensidad (mm/h)	Pendiente Longitudinal de la Via (%)													
	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	1.10%	1.20%	1.30%	1.40%
50.0	4373	6185	7575	8746	9779	10712	11570	12369	13120	13829	14504	15149	15768	16363
60.0	3644	5154	6312	7289	8149	8927	9642	10308	10933	11524	12087	12624	13140	13636
70.0	3124	4418	5410	6247	6985	7651	8265	8835	9371	9878	10360	10821	11263	11688
80.0	2733	3865	4734	5466	6112	6695	7231	7731	8200	8643	9065	9468	9855	10227
90.0	2430	3436	4208	4859	5433	5951	6428	6872	7289	7683	8058	8416	8760	9091
100.0	2187	3092	3787	4373	4889	5356	5785	6185	6560	6915	7252	7575	7884	8181
110.0	1988	2811	3443	3976	4445	4869	5259	5622	5963	6286	6593	6886	7167	7438
120.0	1822	2577	3156	3644	4074	4463	4821	5154	5466	5762	6043	6312	6570	6818
130.0	1682	2379	2913	3364	3761	4120	4450	4757	5046	5319	5579	5827	6065	6293
140.0	1562	2209	2705	3124	3492	3826	4132	4418	4686	4939	5180	5410	5631	5844
150.0	1458	2062	2525	2915	3260	3571	3857	4123	4373	4610	4835	5050	5256	5454
160.0	1367	1933	2367	2733	3056	3348	3616	3865	4100	4322	4533	4734	4927	5113
170.0	1286	1819	2228	2572	2876	3151	3403	3638	3859	4067	4266	4456	4638	4813
180.0	1215	1718	2104	2430	2716	2976	3214	3436	3644	3841	4029	4208	4380	4545
190.0	1151	1628	1993	2302	2573	2819	3045	3255	3453	3639	3817	3987	4149	4306
200.0	1093	1546	1894	2187	2445	2678	2893	3092	3280	3457	3626	3787	3942	4091
210.0	1041	1473	1803	2082	2328	2550	2755	2945	3124	3293	3453	3607	3754	3896
220.0	994	1406	1721	1988	2222	2435	2630	2811	2982	3143	3296	3443	3584	3719
230.0	951	1344	1647	1901	2126	2329	2515	2689	2852	3006	3153	3293	3428	3557
240.0	911	1288	1578	1822	2037	2232	2410	2577	2733	2881	3022	3156	3285	3409
250.0	875	1237	1515	1749	1956	2142	2314	2474	2624	2766	2901	3030	3154	3273
260.0	841	1189	1457	1682	1881	2060	2225	2379	2523	2659	2789	2913	3032	3147
270.0	810	1145	1403	1620	1811	1984	2143	2291	2430	2561	2686	2805	2920	3030
280.0	781	1104	1353	1562	1746	1913	2066	2209	2343	2470	2590	2705	2816	2922
290.0	754	1066	1306	1508	1686	1847	1995	2133	2262	2384	2501	2612	2719	2821
300.0	729	1031	1262	1458	1630	1785	1928	2062	2187	2305	2417	2525	2628	2727

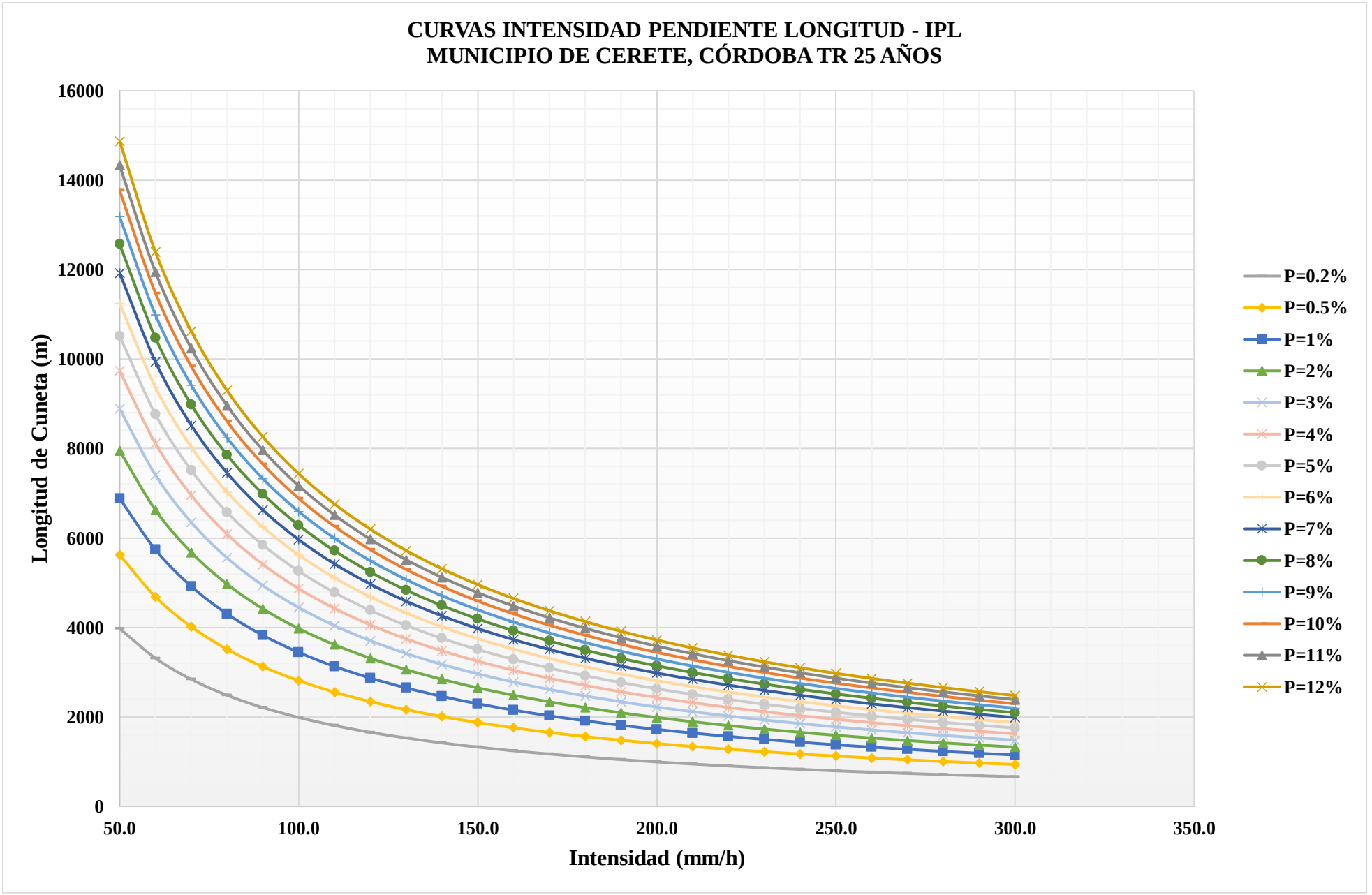

CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD - IPL
MUNICIPIO DE CERETE, CÓRDOBA
Longitud de Cuneta (m)
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
50.0
100.0
150.0
200.0
250.0
300.0
350.0
Intensidad (mm/h)
P=0.2%
P=0.5%
P=1%
P=2%
P=3%
P=4%
P=5%
P=6%
P=7%
P=8%
P=9%
P=10%
P=11%
P=12%

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 7 CALCULO DE LONGITUD VIAL CON DE CURVAS IPL TR 25 AÑOS

Valores Calculados de la Longitud de la via (m)

Intensidad (mm/h)	Pendiente Longitudinal de la Via (%)													
	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	1.10%	1.20%	1.30%	1.40%
50.0	3976	5622	6886	7951	8890	9738	10519	11245	11927	12572	13186	13772	14334	14875
60.0	3313	4685	5738	6626	7408	8115	8765	9371	9939	10477	10988	11477	11945	12396
70.0	2840	4016	4919	5679	6350	6956	7513	8032	8519	8980	9418	9837	10239	10625
80.0	2485	3514	4304	4970	5556	6086	6574	7028	7454	7858	8241	8607	8959	9297
90.0	2209	3124	3826	4417	4939	5410	5844	6247	6626	6984	7325	7651	7964	8264
100.0	1988	2811	3443	3976	4445	4869	5259	5622	5963	6286	6593	6886	7167	7438
110.0	1807	2556	3130	3614	4041	4426	4781	5111	5421	5715	5993	6260	6516	6762
120.0	1657	2343	2869	3313	3704	4058	4383	4685	4970	5238	5494	5738	5973	6198
130.0	1529	2162	2648	3058	3419	3745	4046	4325	4587	4835	5071	5297	5513	5721
140.0	1420	2008	2459	2840	3175	3478	3757	4016	4260	4490	4709	4919	5119	5313
150.0	1325	1874	2295	2650	2963	3246	3506	3748	3976	4191	4395	4591	4778	4958
160.0	1242	1757	2152	2485	2778	3043	3287	3514	3727	3929	4121	4304	4479	4649
170.0	1169	1654	2025	2339	2615	2864	3094	3307	3508	3698	3878	4051	4216	4375
180.0	1104	1562	1913	2209	2469	2705	2922	3124	3313	3492	3663	3826	3982	4132
190.0	1046	1480	1812	2092	2339	2563	2768	2959	3139	3308	3470	3624	3772	3915
200.0	994	1406	1721	1988	2222	2435	2630	2811	2982	3143	3296	3443	3584	3719
210.0	947	1339	1640	1893	2117	2319	2504	2677	2840	2993	3139	3279	3413	3542
220.0	904	1278	1565	1807	2020	2213	2391	2556	2711	2857	2997	3130	3258	3381
230.0	864	1222	1497	1729	1933	2117	2287	2445	2593	2733	2866	2994	3116	3234
240.0	828	1171	1435	1657	1852	2029	2191	2343	2485	2619	2747	2869	2986	3099
250.0	795	1124	1377	1590	1778	1948	2104	2249	2385	2514	2637	2754	2867	2975
260.0	765	1081	1324	1529	1710	1873	2023	2162	2294	2418	2536	2648	2757	2861
270.0	736	1041	1275	1472	1646	1803	1948	2082	2209	2328	2442	2550	2655	2755
280.0	710	1004	1230	1420	1587	1739	1878	2008	2130	2245	2355	2459	2560	2656
290.0	685	969	1187	1371	1533	1679	1814	1939	2056	2168	2273	2374	2471	2565
300.0	663	937	1148	1325	1482	1623	1753	1874	1988	2095	2198	2295	2389	2479


CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD - IPL
MUNICIPIO DE CERETE, CÓRDOBA TR 25 AÑOS
Longitud de Cuneta (m)
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
50.0
100.0
150.0
200.0
250.0
300.0
350.0
Intensidad (mm/h)
P=0.2%
P=0.5%
P=1%
P=2%
P=3%
P=4%
P=5%
P=6%
P=7%
P=8%
P=9%
P=10%
P=11%
P=12%