CONSTRUCCIÓN DE MALECÓN TURÍSTICO EN LA RIVERA DEL CAÑO AGUAS PRIETAS, MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO, CÓRDOBA.

NOVIEMBRE DE 2025

VERSIÓN DE CAMBIOS			
Diseñó	Revisó	Aprobó:	VERSIÓN
			001
JUAN FRANCISCO DURANGO GRISALES **Contratista** **Dirección Departamental de Proyectos** **Gobernación de Córdoba.** **Ingeniero Civil – M.Sc. Recursos Hídricos** **M.P 22202339714 COR**		**INTERVENTORÍA O CONTRATANTE**	14112025

CONTENIDO

1. GENERALIDADES 5
2. ALCANCE 5
3. CÓDIGOS Y NORMATIVIDAD APLICABLE 6
4. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 6
5. OBJETIVOS 8
5.1 OBJETIVO GENERAL 8
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 8
6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO 8
6.1 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO 10
6.2 VALIDACIÓN ESTADÍSTICA 11
6.2.1 DATOS FALTANTES 11
6.3 ANÁLISIS DE DOBLE MASA 12
6.4 MÓDULO PLUVIOMÉTRICO 14
6.5 PRECIPITACIONES ANUALES 15
6.6 VARIABILIDAD TEMPORAL. 18
6.7 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL 19
7. ANÁLISIS DE FRECUENCIA HIDROLÓGICO 20
7.1 DISTRIBUCIÓN GUMBEL 21
7.2 PARETO 21
7.3 DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III 22
7.4 DISTRIBUCIÓN NORMAL 24
7.5 DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL DE 3 PARÁMETROS 24
7.6 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE ESTADÍSTICO KOLMOGOROV-SMIRNOV 25
7.7 INTENSIDAD DE DISEÑO 32

7.8 HIETOGRAMA DE DISEÑO 36
7.9 ÁREA DE DRENAJE (A) 40
7.1 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE 44
7.2 CARACTERIZACIÓN DEL RELIEVE 44
7.3 PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO (Tr) 47
7.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA © 48
7.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc) 49
7.6 ESTIMACIÓN DE CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL 51
8. ANÁLISIS HIDRÁULICO 55
8.1 COEFICIENTE DE MANNING 58
8.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO 62
9. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 63
10. REFERENCIAS 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estación seleccionada EL SALADO_EST. Fuente: Catalogo Nacional de Estaciones, IDEAM (2025). 11
Tabla 2: Análisis de doble masa. Fuente: Elaboración propia (2025). 13
Tabla 3: Módulos pluviométricos de la zona. Fuente: Elaboración propia (2025). 14
Tabla 4: Comportamiento estadístico de la precipitación para la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). 16
Tabla 5: Análisis estadístico mensual multianual de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). 17
Tabla 6: Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y distribuciones de probabilidad. Fuente: Elaboración propia (2025). 31
Tabla 7: Prueba de bondad de ajuste y cálculo de P máx. 24 horas para diferentes periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia (2025). 31
Tabla 8: Precitaciones máximas en 24 horas anual multianual. Fuente: Elaboración propia (2025). 33
Tabla 9: Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe. Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados (2000). 34
Tabla 10: Intensidades estimadas para la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). 35
Tabla 11: Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia Tr 10 Años. Fuente: Elaboración propia (2025). 37
Tabla 12: Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia Tr 25 Años. Fuente: Elaboración propia (2025). 39
Tabla 13: Áreas aferentes de los alineamientos. Fuente: Elaboración propia (2025). 45
Tabla 14. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025). 46
Tabla 15. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025). 46
Tabla 16. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025). 46

Tabla 42: Periodos de retorno especificados por el INVIAS para obras de drenaje. Fuente: INVIAS (2009). 47
Tabla 43: Coeficiente de Escorrentía para áreas urbanas. Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS (2009). 48
Tabla 44: Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025). 49
Tabla 45:Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025). 49
Tabla 46. Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025). 49
Tabla 72: Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025). 53
Tabla 73: Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025). 53
Tabla 74. Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025). 54
Tabla 100; Valores del coeficiente de rugosidad de Manning. Fuente: RAS (2016). 59
Tabla 101: Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025). 60
Tabla 102: Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025). 61
Tabla 103. Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025). 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización del municipio de Ciénaga de Oro. Fuente: Google Earth. ... 7
Figura 2: Polígonos de Thiessen de estaciones cercanas a la vía. Fuente: Elaborado en SIG (2025). ... 9
Figura 3: Localización de estación EL SALADO_EST. Fuente: CNE IDEAM (2025). ... 10
Figura 4: Curva masa de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 14
Figura 5: Precipitaciones totales anuales, estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 19
Figura 6: Precipitaciones mensuales multianuales, estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 19
Figura 7: Ajustes de distribución de probabilidad de la estación EL SALADO_EST en escala normal. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025). ... 27
Figura 8: Ajustes de distribución de probabilidad de la estación EL SALADO_EST en escala LOG. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025). ... 28
Figura 9: Histograma de funciones de probabilidad en escala normal. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025). ... 29
Figura 10: Histograma de funciones de probabilidad en escala LOG. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025). ... 30
Figura 11: Mapa de regiones para IDF sintéticas. Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados ... 35
Figura 12: Curvas INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 36
Figura 13. Hietograma de diseño por bloques alternos Tr 10 Años. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 38
Figura 14: Hietograma de diseño por bloques alternos Tr 25 Años. Fuente: Elaboración propia (2025). ... 39
Figura 15. Cuencas vías Urbanas alineamientos 1, 2 y 3. Fuente: Elaborado en Global Mapper (2025). ... 42

Figura 16: Ancho para cálculo de área de caudal de escorrentía. Fuente: INVIAS (2013). 42
Figura 17. Áreas aferentes de los alineamientos 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia (2025). 43

1. GENERALIDADES

En este informe se presentarán los cálculos y resultados del estudio hidrológico y el diseño hidráulico de cunetas y obras de drenaje del proyecto de CONSTRUCCIÓN DE MALECÓN TURÍSTICO EN LA RIVERA DEL CAÑO AGUAS PRIETAS, MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO, CÓRDOBA.

El estudio consiste en el análisis y diseño hidráulico de las obras de conducción de aguas lluvias que afectan la vía en consideración. Se diseñan las estructuras necesarias siguiendo las recomendaciones hechas en el manual de drenaje del INVIAS.

Para el diseño de las estructuras se tomó base del estudio hidrológico para utilizar los caudales que circularan por las obras hidráulicas.

2. ALCANCE

El alcance de este informe comprende los cálculos necesarios para definir las obras de drenaje superficial del proyecto de CONSTRUCCIÓN DE MALECÓN TURÍSTICO EN LA RIVERA DEL CAÑO AGUAS PRIETAS, MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO, CÓRDOBA.

El alcance del proyecto debe cumplir con las expectativas propuestas:

- Ejecutar visitas de campo al sitio del proyecto para poder visualizar y evaluar las condiciones actuales del pavimento a construir.
- Inspeccionar los datos del levantamiento topográfico para poder realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico.
- Recopilar y revisar datos disponibles más cercanos de precipitación proporcionados por el IDEAM, para poder analizar la escorrentía superficial que se genera en la cuenca que hace parte de la zona de influencia del proyecto.
- Realizar el estudio hidrológico de la cuenca aferente al pavimento y a sus estructuras hidráulicas, considerando los datos morfológicos, de uso del suelo, la precipitación, la información generada en el modelo digital de

terreno y softwares especializados que permitan procesar toda la información base. Este estudio permitirá la estimación de los caudales de escorrentía superficial que se generan en cada período de retorno evaluado.

- Se implementará un modelo hidráulico, en el software HY8 para evaluar las condiciones hidráulicas de cada estructura.

3. CÓDIGOS Y NORMATIVIDAD APLICABLE

Los elementos considerados dentro del alcance del proyecto cumplirán con las normas vigentes, estándares de diseño, decretos y resoluciones legales nacionales que Se listan a Continuación:

- ✓ INVIAS, MANUAL DE DRENAJE DE CARRETERAS.
- ✓ GUÍA DE PAVIMENTO INVIAS.
- ✓ GUÍA DE OBRAS MENORES PARA VÍAS TERCIARIAS – ADR-INVIAS

4. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el municipio de Ciénaga de Oro en el departamento de Córdoba. En la Figura 1 y Figura 1 se muestra la localización del municipio y de los tramos de vía a intervenir.

Figura 1: Localización del municipio de Ciénaga de Oro. Fuente: Google Earth.



5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar el diseño hidráulico de las obras de drenaje superficial transversal requeridas el proyecto de CONSTRUCCIÓN DE MALECÓN TURÍSTICO EN LA RIVERA DEL CAÑO AGUAS PRIETAS, MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO, CÓRDOBA y su respectiva comprobación mediante herramientas computacionales.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Ejecutar el diseño y verificación de las secciones hidráulicas que se requieren para evacuar satisfactoriamente el caudal máximo probable de las estructuras requeridas en el proyecto y la optimización de las estructuras existentes.

6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para seleccionar la estación más cercana a la zona se empleó la metodología de polígonos de Thiessen, la cual es implementada para delimitar áreas de influencia de estaciones meteorológicas y obtener la precipitación ponderada que afecta a una zona específica (X. Liu, Ye, Liu, Xie, & Fan, 2015); este método se desarrolla mediante la creación de figuras geométricas regulares, cuyos límites están formados por las bisectrices perpendiculares a las líneas que unen pluviómetros adyacentes (Carlo, Guelfi, & López-Vázquez, 2015); para este caso solo se utilizó para determinar las estaciones que tenían influencia directa en la zona de estudio tal como lo muestra la siguiente figura:

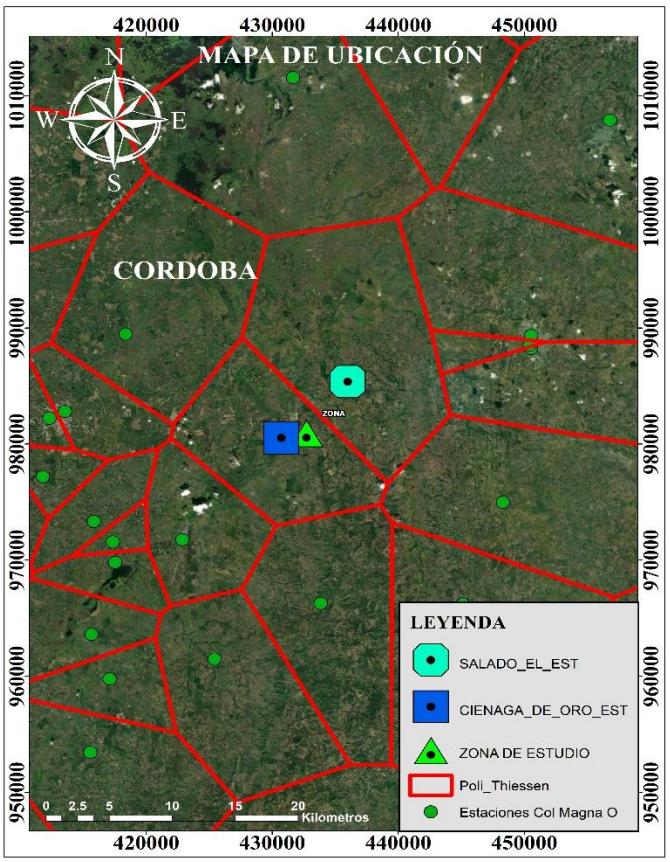


Figura 2: Polígonos de Thiessen de estaciones cercanas a la vía. Fuente: Elaborado en SIG (2025).

Con base en la figura anterior, se puede apreciar que la estaciones que tiene incidencia directa sobre la cuenca de la vía a intervenir es: CIENAGA DE ORO_EST (Pluviométrica Convencional) estando ubicada a 2.06 km, siendo la más cercana pero no cuenta con un registro de datos de 30 años, por tal razón se escoge la estación la estación SALADO EL_EST (Climatológica Convencional) la cual está a 5.54 km. Para realizar el análisis hidrológico de la zona, se han utilizado los valores de precipitación mensual de la estación EL SALADO_EST, localizada como se muestra a continuación.

13075020	
FID	2373
CODIGO	13075020
nombre	SALADO EL [13075020]
CATEGORIA	Climática Ordinaria
TECNOLOGIA	Convencional
ESTADO	Activa
FECHA_INST	15/10/1964
altitud	40
latitud	8,913889
longitud	-75,582222
DEPARTAMEN	Córdoba
MUNICIPIO	Ciénaga De Oro
AREA_OPERA	Area Operativa 02 - Atlántico-Bolivar-Sucre
AREA_HIDRO	Caribe
ZONA_HIDRO	Sinú
ENTIDAD	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

Figura 3: Localización de estación EL SALADO_EST. Fuente: CNE IDEAM (2025).

6.1 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

Una precipitación de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia — escorrentía y tránsito de caudales. Una precipitación de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de lluvia en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación, o mediante un mapa de isoyetas que especifique el patrón espacial de la precipitación.

Se selecciona la estación más cerca al área del proyecto del catálogo de estaciones climatológicas del IDEAM, encontrándose que la estación EL SALADO_EST, cuya información se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Estación seleccionada EL SALADO_EST. Fuente: Catalogo Nacional de Estaciones, IDEAM (2025).

DATOS ESTACIÓN	
CÓDIGO	13075020
NOMBRE	SALADO EL [13075020]
CATEGORÍA	Climática Ordinaria
ELEVACIÓN (m.s.n.m)	40
LATITUD	8.913889
LONGITUD	-75.582222
DEPARTAMENTO	Córdoba
MUNICIPIO	Ciénaga De Oro

6.2 VALIDACIÓN ESTADÍSTICA

6.2.1 DATOS FALTANTES

Para completar los datos faltantes, se emplea la siguiente formulación:

$$Px = \frac{1}{n}\left[\left(\frac{Nx}{N1}\right)P1 + \left(\frac{Nx}{N1}\right)P2 + \cdots + \left(\frac{Nx}{Nn}\right)Pn\right]$$

Donde N es el número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación “x”, la cual será completada en su registro. Px es la precipitación de la estación “X” durante el periodo de tiempo a completar. P1…Pn es la precipitación de la estacione 1 a la n durante el mismo periodo de tiempo que se desea completar. Nx es la precipitación media multianual histórica de la estación “X.

6.3 ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Para el estudio se utilizó el análisis de doble masa, este método se aplica para determinar la consistencia de la información de precipitación obtenida, y considera que, para zonas meteorológicas homogéneas de precipitación obtenidos en diferentes puntos para un mismo periodo anual, deben guardar una relación de tal manera que se pueda representar gráficamente. Su metodología se enseña a continuación:

- Se selecciona el periodo en común del grupo de estaciones utilizadas para el estudio
- Se determina la precipitación anual para cada estación; estimando los datos si los tienen.
- Los valores de precipitación anual se deben acumular en orden cronológico, a partir del año más antiguo en común de las estaciones utilizadas, hasta el más reciente, en este caso son 1994 y 2024, respectivamente.
- Se grafican los valores de las precipitaciones acumuladas de cada estación, para determinar la estación patrón.
- Si los puntos en la gráfica presentan una tendencia, es decir, si se puede trazar una recta sin quiebres sobre ellos, significa que son estadísticamente consistentes.
- Si los puntos presentan mucha dispersión, los datos no son estadísticamente significativos y se debe proceder a su eliminación.

En la siguiente tabla se presenta la precipitación anual cada estación y su precipitación anual acumulada:

Tabla 2: Análisis de doble masa. Fuente: Elaboración propia (2025).

AÑO/MES	TOTALES	ACUMULADO
1994	1744	1744
1995	1372	3116
1996	1503	4618.8
1997	947	5566.2
1998	1298	6864.1
2000	1154	8018.2
2001	1564	9582
2002	940	10522
2003	1475	11997
2004	1210	13206.8
2005	1527	14733.6
2006	1147	15880.2
2007	1205	17085.4
2008	1363	18448.4
2009	1608	20056.8
2010	1844	21900.4
2011	1544	23444.1
2012	1828	25272.3
2013	1369	26641.7
2014	1277	27918.2
2015	1032	28950.2
2016	1051	30001
2017	1343	31344.1
2018	1442	32786
2019	1462	34248.2
2020	1262	35510.5
2021	1570	37080.5
2022	1667	38747.4
2023	1358	40106
2024	1379	41484

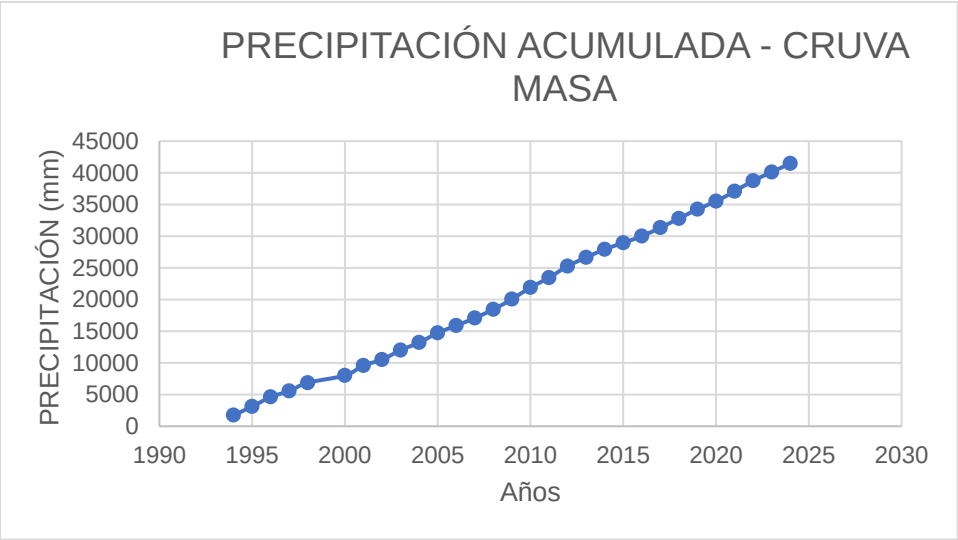


Figura 4: Curva masa de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

6.4 MÓDULO PLUVIOMÉTRICO

A continuación, se presentan los módulos pluviométricos anuales de las estaciones, entendiéndose por modulo pluviométrico de una estación al promedio aritmético de las precipitaciones anuales registradas.

Se toman los datos comprendidos entre los años 1994 y 2024, el cual es el periodo común para las estaciones.

Tabla 3: Módulos pluviométricos de la zona. Fuente: Elaboración propia (2025).

ESTACIÓN	SALADO EL_EST
MODULO PLUVIOMÉTRICO (mm)	1383

Determinado con la siguiente formula:

$$\bar{X} = \frac{\sum P}{n}$$

Donde P es el módulo pluviométrico de las diferentes estaciones y n el número de módulos obtenidos para hacer el promedio.

6.5 PRECIPITACIONES ANUALES

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua que se deposita en la superficie de la tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se y cae de la solución, es decir, precipita. El aire a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

En el municipio de Cienaga de Oro los valores de precipitación no presentan grandes cambios, lo que contribuye a mantener un factor climático casi homogéneo, con precipitaciones mayores a 940 mm, a excepción de las cercanías de la zona sur. En las tablas siguientes se muestra el comportamiento de las lluvias a escala anual para la estación EL SALADO_EST, la cual registra mayores valores de precipitación media anual.

Tabla 4: Comportamiento estadístico de la precipitación para la estación EL SALADO_EST.
Fuente: Elaboración propia (2025).

AÑO	PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (mm)		
	MÁXIMA	MÍNIMA	TOTAL ANUAL
1994	116	0	1744
1995	69	0	1372
1996	76	0	1503
1997	61	0	947
1998	85	0	1298
2000	82	0	1154
2001	78	0	1564
2002	64	0	940
2003	85	0	1475
2004	56	0	1210
2005	118	0	1527
2006	81	0	1147
2007	64	0	1205
2008	87	0	1363
2009	87	0	1608
2010	117	0	1844
2011	130	0	1544
2012	102	0	1828
2013	91	0	1369
2014	67	0	1277
2015	56	0	1032
2016	59	0	1051
2017	148	0	1343
2018	68	0	1442
2019	55	0	1462
2020	69	0	1262
2021	107	0	1570
2022	100	0	1667
2023	101	0	1358
2024	58	0	1379
PROMEDIO	84	0	1383
MÍN	55	0	940
MÁX	148	0	1844
D.E	23.82	0	234.1
VARIANZA	567.24	0	54802.52
COEF. ASIMETRIA	0.83		0.01
CURTOSÍS	0.11		-0.39

La precipitación máxima diaria promedio en el período analizado es de 84 mm. La desviación estándar, que mide la dispersión de los datos respecto al promedio, es de 23.82 mm. Este valor indica que, en general, las precipitaciones máximas diarias no presentan grandes desviaciones con respecto al promedio.

Al calcular el coeficiente de variación (C.V.), que se obtiene dividiendo la desviación estándar entre el promedio y multiplicando por 100, se obtuvo un C.V. de 28.36%. Dado que este valor es inferior al 30%, se concluye que los datos de la precipitación máxima diaria son relativamente homogéneos. Esto implica que la variabilidad en los valores extremos de precipitación es baja en comparación con el promedio, lo que sugiere una estabilidad en los eventos de lluvia más intensos registrados durante el período.

Tabla 5: Análisis estadístico mensual multianual de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

AÑO/MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1994	5.1	0	41	84.7	314.7	237.7	132.7	282.9	209.3	137.1	268.1	30.4
1995	1.4	0	1.3	116.9	134.2	215.7	146.3	282.5	157.1	209.6	30.5	76.9
1996	0	23.2	46.9	157.2	174.1	206.7	153.2	261.5	122.6	124	200	33.3
1997	12.4	48.7	0.5	98.2	84.4	149.3	126.9	93.9	179.4	103.5	37.5	12.7
1998	0	0.1	5	129.5	305.7	111.3	123.9	240.8	100.4	56.3	122	102.9
2000	43.6	33.2	3.8	67.1	299	187.2	97.6	112.3	156	86.1	46.5	21.7
2001	39.4	0.5	2.3	123.6	203	103	129.1	277.3	317.8	121.1	183.9	62.8
2002	7.2	0.5	0	89.2	142.1	176.8	160.6	61.6	97.1	146.8	26.1	32
2003	0.3	60	44.2	238.9	173.5	170.9	157.7	138.5	242.1	51.5	141.4	56
2004	80	0.1	0.9	72	109.9	75.8	165.3	153.7	302.8	135.9	86.3	27.1
2005	24.1	0	28	85.2	285.6	92.7	231.2	221.7	192.4	197.9	139.7	28.3
2006	7.2	16.6	119	151	80.1	119.2	95.9	188.1	92.3	100.7	156	20.5
2007	0	1.4	40.4	124.3	72.5	171	178.4	212.3	89.4	166.8	72.4	76.3
2008	22.9	16.8	34.2	62.9	168.4	160.4	128.4	206.2	221.7	62.3	278.4	0.4
2009	13.8	1.5	59.2	146	144.3	297.6	321.3	106.5	141.6	311.4	49.9	15.3
2010	1.7	7.1	74.2	103.9	133	130.6	223.1	317.9	319.1	252.8	162.6	117.6
2011	17.2	21.4	59.8	200.7	206.1	210.1	102.7	151.1	114.9	74.5	285.1	100.1
2012	11.8	26.8	77.4	87.7	229.1	230.7	185.8	403.8	290.3	106.5	166.3	12
2013	4.5	35	76.5	36.9	267.7	169.5	199.2	154	126.2	179.4	65.2	55.3
2014	32.8	0	18.6	176	82.6	210	87.1	270.6	233	97.5	50.8	17.5
2015	0.7	64	24	119.6	170.4	66.4	122.1	172.4	125.2	167.2	0	0
2016	1.5	28.2	0	74.6	167.8	172.9	159.7	168.2	88.8	74.2	76.5	38.4
2017	23.6	0	60.6	37.8	133.8	153.1	191.3	327.6	284.9	68.1	35.5	26.8
2018	53.6	1.2	70.5	233.8	203.1	152.5	114.9	139.8	272.9	156.3	40	3.3
2019	39.3	15.4	9.2	124.1	204.1	124.2	191.7	176.8	242.6	98.5	133.7	102.6
2020	0	5.8	13.5	45.8	243.6	233.5	173.6	145.8	116.4	142.7	130.2	11.4
2021	0.5	0	17.3	361.1	150.3	171.4	76.3	312.6	163.7	265.5	26.9	24.4
2022	4.9	107.4	62.4	169.3	83.1	216.4	256.6	157.1	247.1	221.7	135.6	5.3

AÑO/MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2023	42.5	32.9	30.9	105.9	141.5	206.3	127.9	113.7	120.2	226.1	165.8	44.6
2024	3	16	5.2	95.4	201.8	171.4	204.1	213.9	167.5	176.7	82.7	40.8
TOTALES	495.00	563.80	1026.80	3719.30	5309.50	5094.30	4764.60	6065.10	5534.80	4318.70	3395.60	1196.70
MEDIA	16.50	18.80	34.23	123.98	176.99	169.81	158.82	202.17	184.50	143.96	113.19	39.89
MODA	0	0	0	#N/D	#N/D	171.4	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
DESVIACIÓN ESTANDAR	20.02	24.97	31.03	68.38	70.07	52.5	53.98	81.11	75.19	66.98	78.16	33.24
VARIANZA	387.26	602.25	930.68	4519.01	4745.53	2663.7	2816.2	6359.15	5464.14	4335.99	5904.82	1068.07
CURTOSIS	2.09	4.45	0.1	3.9	-0.59	0.07	1.5	-0.22	-1.18	-0.09	-0.17	-0.01
ASIMETRÍA	1.5	1.93	0.77	1.65	0.43	0.04	1	0.53	0.41	0.7	0.72	0.98
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00	36.90	72.50	66.40	76.30	61.60	88.80	51.50	0.00	0.00
MÁXIMO	80.00	107.40	119.00	361.10	314.70	297.60	321.30	403.80	319.10	311.40	285.10	117.60

6.6 VARIABILIDAD TEMPORAL.

Para el registro de precipitación suministrado en la tabla, se observa que a escala anual las lluvias presentan cierta variabilidad. Los coeficientes de variación, obtenidos para los diferentes meses, se encuentran por encima del 30%, lo que indica que las precipitaciones no son uniformes y pueden ocurrir fluctuaciones marcadas entre los años y los meses más húmedos. Estos valores reflejan una alta dispersión respecto al promedio mensual, lo que sugiere cambios considerables en los patrones de precipitación.

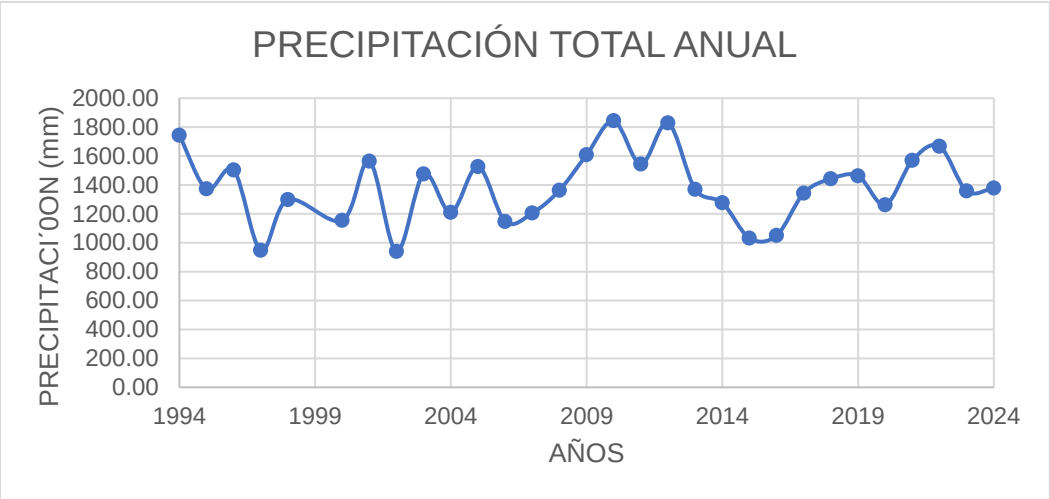


Figura 5: Precipitaciones totales anuales, estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

6.7 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

El comportamiento de las lluvias promedio mensual en las estaciones fluctúa entre 16.5 mm y 202.17 mm, tal como lo muestra la siguiente figura:

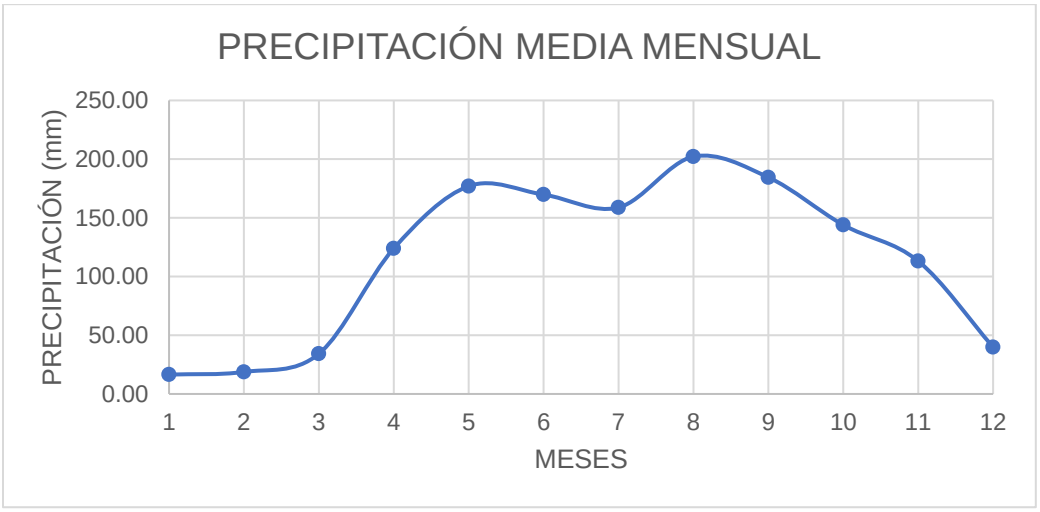


Figura 6: Precipitaciones mensuales multianuales, estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

Esto sugiere que en a la zona se pueden experimentar meses muy secos, con precipitaciones cercanas a 16.5 mm, mientras que otros meses pueden experimentar precipitaciones significativamente más altas, hasta 202.17 mm. Como característica general de la región se aprecia un periodo de lluvia entre marzo y octubre y un periodo seco de diciembre a marzo, además se presenta un veranillo entre junio y julio.

7. ANÁLISIS DE FRECUENCIA HIDROLÓGICO

El análisis de frecuencia de lluvias se ejecuta con las precipitaciones máximas en 24 horas, la cual sirve para predecir el comportamiento típico de lluvia del área de estudio. 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 utilizaron, entre otras, las distribuciones de normal o Gauss, Log - Normal, Gumbel o de valores extremos, Log-Gumbel y Log Pearson tipo III principalmente.

Este análisis es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia de eventos pasados o futuros, se realiza calculando el factor de frecuencia empleando diferentes métodos para finalmente escoger el método con el mejor ajuste de las distribuciones de probabilidades. Los valores máximos en hidrología de drenaje (precipitación o caudales), deben ser tratados a través de distribuciones probabilísticas. Aunque existen numerosas distribuciones de probabilidad para valores máximos, es muy común en hidrología utilizar para estos valores las distribuciones de probabilidad Gumbel (escuela europea) y log-Pearson Tipo III (escuela americana). (INVIAS, 2009).

7.1 DISTRIBUCIÓN GUMBEL

La distribución Gumbel se usa para el cálculo de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos, teniendo buenos resultados (Aparicio, 1992). La función de distribución que representa esta distribución es:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

La función de densidad de densidad de probabilidad es:

$$F(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Donde α y β son parámetros de la función y se estiman de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S}$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45\,S$$

La función teórica de probabilidad de Gumbel posee un coeficiente de asimetría o sesgo Cs igual 1.139. Esto significa que, si los datos de una muestra se ajustan a esta distribución, su coeficiente de asimetría debe estar cercano a este valor. Para el caso de esta distribución de probabilidad de Gumbel, para calcular la recta de mejor ajuste de los datos históricos, en el método de momentos se utilizan las características estadísticas de la muestra, como media y desviación típica, y se relacionan con la variable original y la variable reducida mediante una ecuación (que, a su vez, está ligada a la probabilidad) para el cálculo de la recta de mejor ajuste, la cual es graficada en papel probabilístico. (Invias, 2009).

7.2 PARETO

La distribución de Pareto es ampliamente utilizada en la modelación de fenómenos en los que una pequeña cantidad de eventos tiene un impacto significativo, como la distribución de ingresos, el tamaño de las empresas, o eventos extremos como caudales máximos. Esta distribución se define en términos de su función de densidad de probabilidad (PDF) y depende de dos parámetros principales: la escala (x_m) y la forma (α).

La función de densidad de probabilidad (PDF) para la distribución de Pareto está dada por:

$$f(x) = \frac{\alpha x_m^{\alpha}}{x^{\alpha+1}}$$

Donde:

- x ≥ xm > 0
- α>0 es el parámetro de forma, que determina la "cola" de la distribución.
- x_m es el valor mínimo (escala) de x.

La función de distribución acumulada (CDF) es:

$$f(x) = 1 - \left(\frac{x_m}{x}\right)^{\alpha}$$

Parámetros:

- $\boldsymbol{x_m}$**:** Es el valor mínimo posible de la variable x, es decir, el umbral a partir del cual se considera la distribución.
- **α:** Es el parámetro de forma, que controla el decrecimiento de la cola de la distribución. Cuanto mayor es α, más rápido decrece la función.

Propiedades:

- **Media:** Para α>1, la media de la distribución de Pareto es:

$$E(x) = \frac{\alpha x_m}{\alpha - 1}$$

- **Varianza:** Para α>2, la varianza es:

$$Var(x) = \frac{\alpha x_m^2}{(\alpha - 1)^2(\alpha - 2)}$$

7.3 DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III

Esta distribución es ampliamente usada en el mundo para el análisis de frecuencia de Caudales máximos. Esta se trabaja igual que para la Pearson Tipo III pero con Xy y Sy como la media y desviación estándar de los logaritmos de la variable original X (Aparicio, 1992).

$$F(x) = \frac{\lambda^{\beta}(y-\epsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(y-e)}}{xr(\beta)}$$

Donde:

$$y = \log x$$

$$\log x \geq \epsilon$$

$$\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left[\frac{2}{C_s(y)}\right]^2$$

$$\epsilon = \bar{y} - S_y\sqrt{\beta}$$

7.4 DISTRIBUCIÓN NORMAL

Este tipo de distribución establece que si una secuencia de variables aleatorias *X* son independientes y están idénticamente distribuidas con media (μ) y varianza; entonces la distribución de la suma de N de esas variables aleatorias, tienden a la distribución normal. (Aparicio, 1992).

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Donde: X son los datos de caudal, μ es el valor promedio, σes la varianza de la serie de datos.

Para que el grupo de datos se ajuste a la distribución Normal se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Las probabilidades deben ser estables
- Los valores consecutivos deben ser independientes
- La variable debe ser continua.

7.5 DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL DE 3 PARÁMETROS

La distribución Log-Normal se puede aplicar si la variable aleatoria esta normalmente distribuida, se aplica a variables hidrológicas formadas como productos de otras variables. (Aparicio, 1992).

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2{\sigma_y}^2}\right)}$$

Donde: y es el logaritmo natural de la serie; x es la serie registrada y μ es la varianza de datos en Y.

Algunas limitaciones de este tipo de distribución son que solamente tiene dos parámetros y por otro lado que requiere que los logaritmos de los datos sean simétricos alrededor de su media.

7.6 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE ESTADÍSTICO KOLMOGOROV-SMIRNOV

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada fa (xm) y la estimada $f(xm)$.

$$D = máx|F_O(x_m) - F(x_m)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si D < d, se acepta la hipótesis nula.

$$F_O(x_m) = 1 + \frac{m}{n+1}$$

Donde: m= número de orden del dato xm en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos.

Cuando en la serie histórica se observan outliers (valores atípicos) es necesario verificar la sensibilidad del ajuste debido a la presencia de estos. (Ashkar, et al. 1994). Para el ajuste a las distribuciones Log-Normal, Log-Gumbel y Log-Pearson se requiere transformar la variable al campo logarítmico para modelarla, con lo que se disminuye la varianza muestral, pero también se filtran las variaciones reales de los datos. La distribución Log - Normal de dos parámetros sólo es recomendable sí el coeficiente de asimetría es cercano a cero. Las distribuciones Gumbel y Log -

Gumbel son recomendables si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.13. Para ajustar distribuciones de tres parámetros (Log Normal III, Log Pearson) se requiere estimar el coeficiente de asimetría de la distribución; para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años, (Kite, 1988). Las distribuciones de dos parámetros son usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos, porque reducen la varianza de la muestra (Ashkar, et al. 1994). Para seleccionar la distribución de probabilidades adecuada se debe tratar de utilizar información adicional del proceso hidrológico que permita identificar la forma en que se distribuye la variable. Usualmente es muy difícil determinar las propiedades físicas de los procesos hidrológicos para identificar el tipo de distribución de probabilidad que es aplicable.

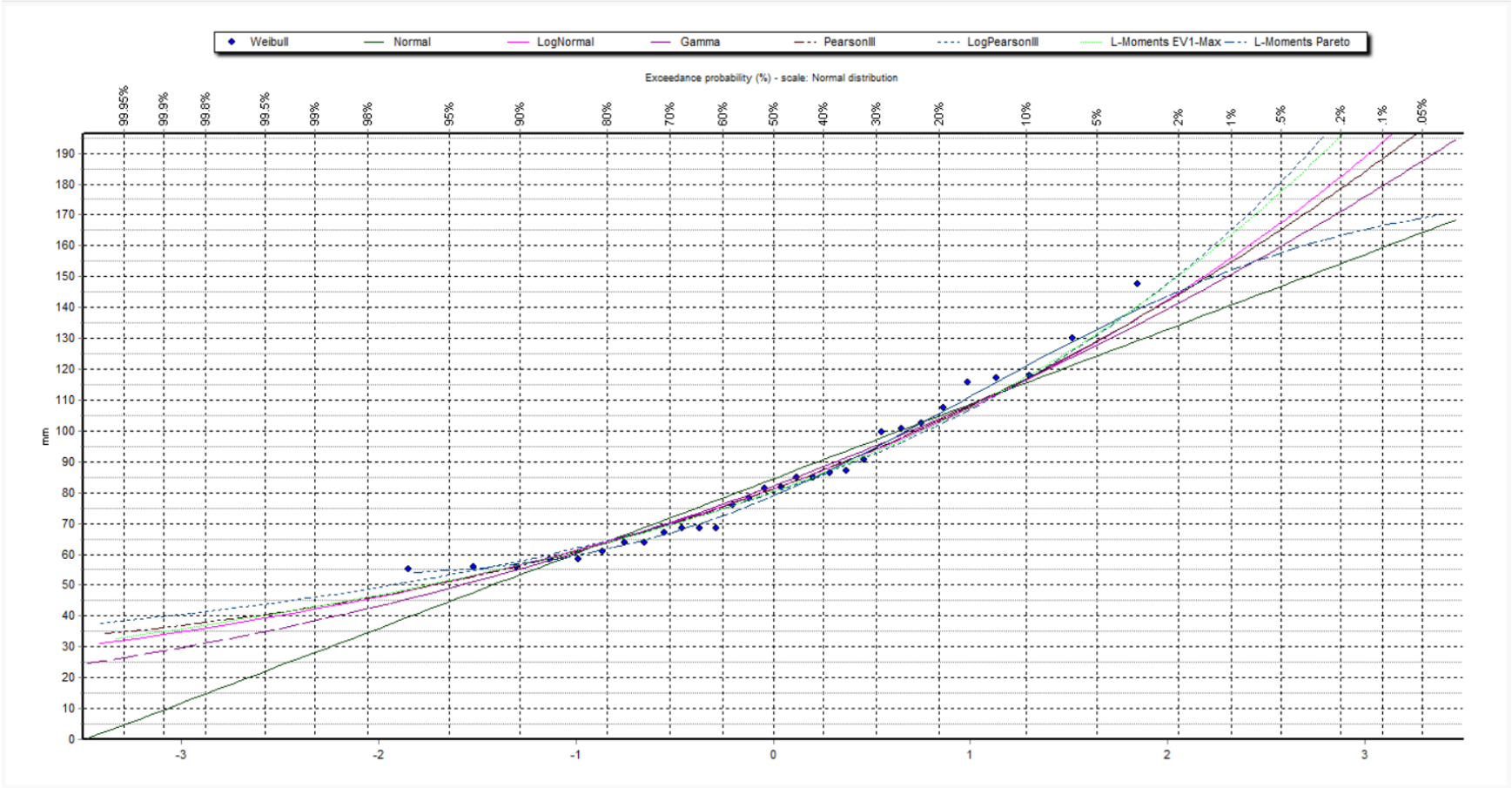


Figura 7: Ajustes de distribución de probabilidad de la estación EL SALADO_EST en escala normal. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025).

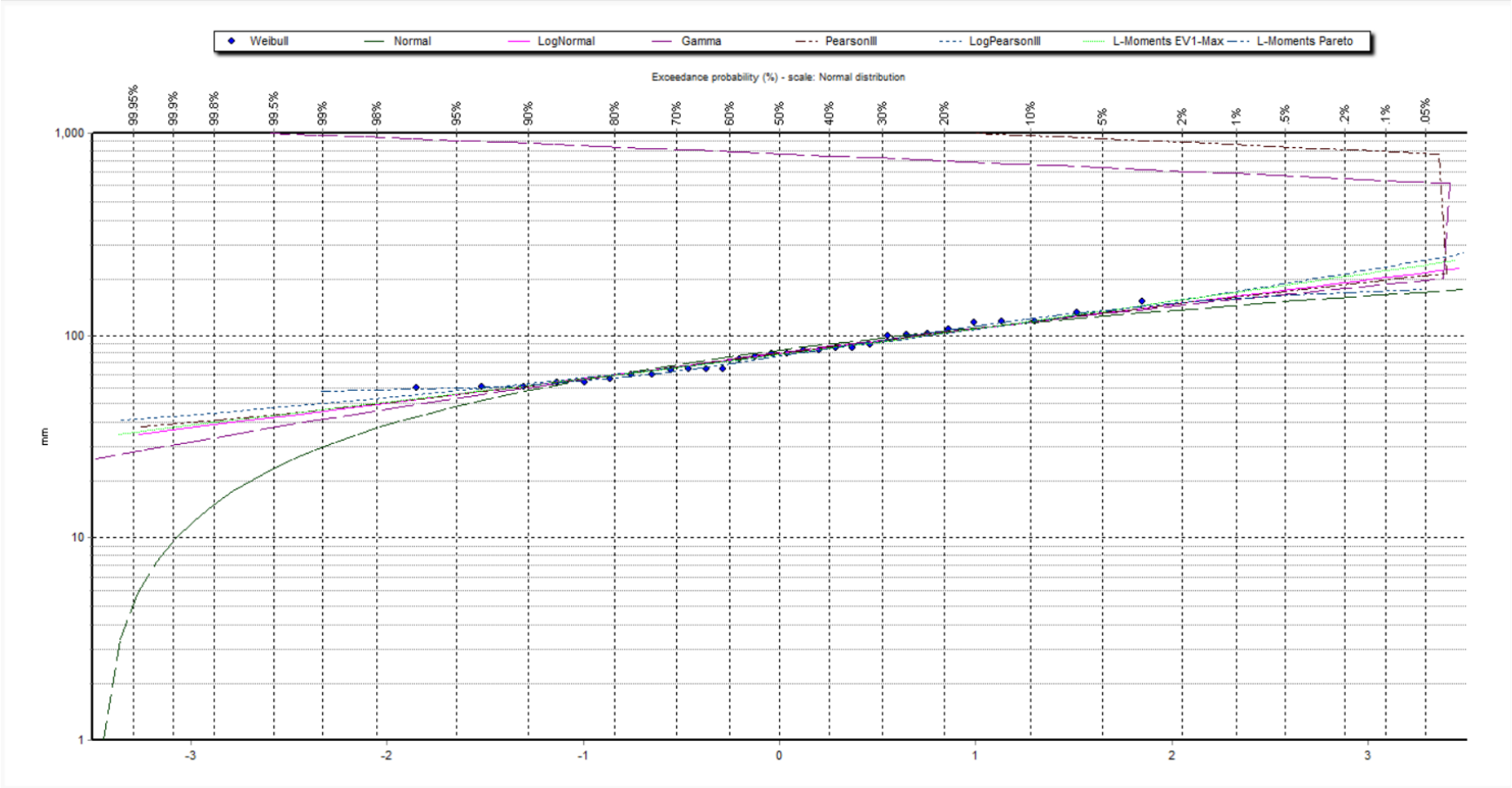


Figura 8: Ajustes de distribución de probabilidad de la estación EL SALADO_EST en escala LOG. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025).

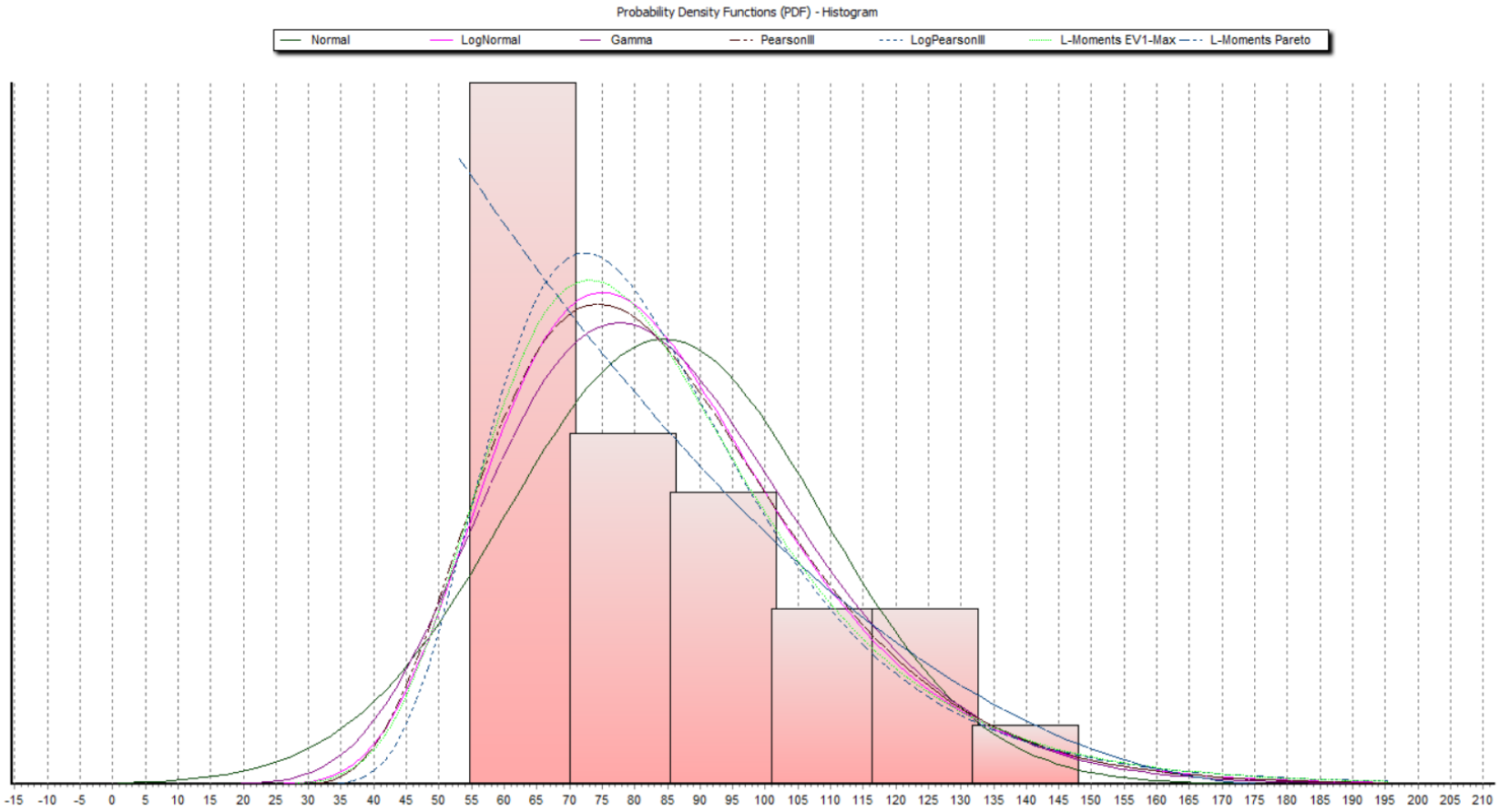


Figura 9: Histograma de funciones de probabilidad en escala normal. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025).

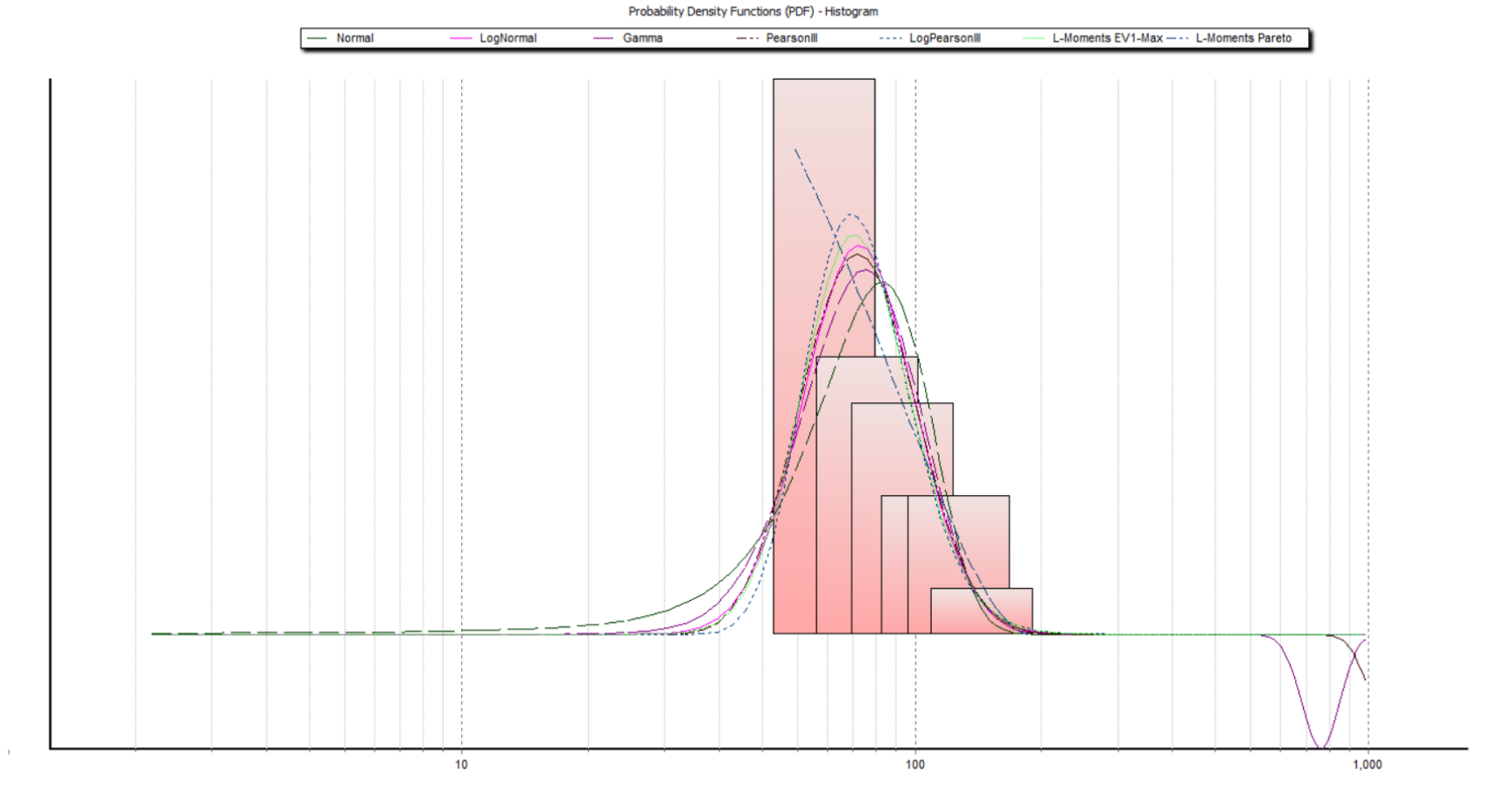


Figura 10: Histograma de funciones de probabilidad en escala LOG. Fuente: Elaborado en Hydrognom (2025).

En la Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 se observa el comportamiento de la probabilidad de ocurrencia (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 comprobado mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. Una vez encontrada la ecuación de ajuste de cada método se puede calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno, ver Tabla 6.

Tabla 6: Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y distribuciones de probabilidad. Fuente: Elaboración propia (2025).

F. Distribución	Tr (años)								
	2.33	5	10	15	20	25	50	100	500
Normal	88.7894	104.854	115.511	120.829	124.311	126.875	134.216	140.82	154.187
LogNormal	85.371	102.868	116.411	123.822	128.93	132.823	144.636	156.157	182.362
Gamma	86.4898	103.891	116.616	123.327	127.854	131.254	141.31	150.764	171.108
Pearson III	85.4565	103.294	116.857	124.159	129.138	132.903	144.162	154.901	178.446
Log Pearson III	84.1164	101.933	116.722	125.191	131.185	135.841	150.428	165.333	201.785
EV1-Max (Gumbel)	92.2098	104.364	111.131	114.196	116.103	117.461	121.146	124.228	129.891
Pareto (L-Moments)	83.984	105.591	120.899	128.319	132.997	136.324	145.186	152.190	163.301

Tabla 7: Prueba de bondad de ajuste y cálculo de P máx. 24 horas para diferentes periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia (2025).

Test Kolmogorov-Smirnov					
F. Distribución	Nivel de significancia				
	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.615775	0.131
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.780805	0.113
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.768297	0.114
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.823644	0.108
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.81786	0.108
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.763856	0.115
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999749	0.05598
F. Distribución seleccionada					Pareto (L-Moments)

Según lo anterior las distribuciones apropiadas para la serie de tiempo son la Pearson lll, Log Pearson lll y Pareto (L-Moment); De acuerdo con los resultados de la prueba de bondad de ajuste, la distribución tipo Pareto presenta menor valor “D”, por ende Pareto (L-Moment) se utiliza de mejor manera para determinar valores extremos y caracteriza generalmente el comportamiento de crecientes y sequías (máximos y mínimos) en series de tiempo de precipitación y/o caudales; dado lo anterior para la estimación de los de la precipitación y caudales correspondientes a diferentes periodos de retorno se empleará la siguiente distribución con menor valor “D” que corresponde a la Pareto (L-Moment).

7.7 INTENSIDAD DE DISEÑO

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 u horas desde el inicio hasta el fin de la lluvia asociado a un periodo de retorno llamado frecuencia, en otras palabras, una precipitación de 1/50 significa que es probable que se presente una vez cada 50 años (periodo de retorno).

La metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos). Para Colombia se propone el método de Vargas & Diaz-Granados (1998). En este estudio se dedujeron curvas intensidad-duración frecuencia por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación. La mejor correlación obtenida, sin embargo, fue la que se obtuvo con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas en una estación, y es la que se propone para los estudios, además de que es la más sencilla de utilizar.

$$i = \frac{axT^b xM^d}{T^c}$$

Dónde:

▪ I = Intensidad de precipitación (mm/h)

▪ T = Periodo de retorno (años)

▪ t = Tiempo de duración (min)

▪ M = Precipitación media en 24 horas (mm)

▪ a, b, c, d: coeficientes de regresión para la región de interés

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 a con sus respectivos coeficientes regresión obtenidos por los autores mencionados, las precipitaciones máximas en 24 horas por año son las que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 8: Precitaciones máximas en 24 horas anual multianual. Fuente: Elaboración propia (2025).

Año	No. Días Lluvia	Prec. Máx. 24h
1994	111	115.6
1995	128	68.6
1996	124	76
1997	104	61
1998	125	85
2000	139	81.7
2001	117	78.2
2002	100	63.8
2003	138	84.8
2004	134	56
2005	131	117.8
2006	144	81.4
2007	154	63.7
2008	144	86.5
2009	121	87.2
2010	171	117
2011	157	130
2012	141	102.3
2013	135	90.5
2014	112	67.1
2015	97	56
2016	129	58.5
2017	133	147.6
2018	134	68.3
2019	129	55.1
2020	120	68.5
2021	137	107.4

Año	No. Días Lluvia	Prec. Máx. 24h
2022	146	99.5
2023	114	100.5
2024	127	58.4
PROMEDIO	**129.87**	**84.47**

Se utilizan los coeficientes de regresión de la región caribe (R1 en la Figura 11) mostrados en a la Tabla 9.

Tabla 9: Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe. Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados (2000).

REGIÓN	a	b	c	d
ANDINA (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
CARIBE (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
PACIFICO (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
ORINOQUIA (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

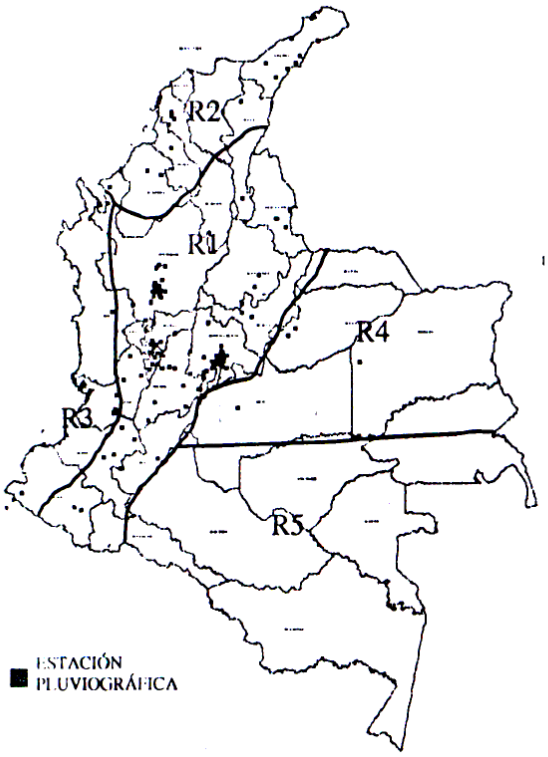


Figura 11: Mapa de regiones para IDF sintéticas. Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados

A partir de los coeficientes anteriores y empleando la ecuación mostrada del numeral 7.7 se obtienen los valores de la Tabla 10.

Tabla 10: Intensidades estimadas para la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

	Intensidades (mm/h)					
Tr (años)	**10**	**20**	**30**	**60**	**120**	**360**
2.33	114.26	80.79	65.97	46.65	32.98	19.04
5	135.16	95.57	78.03	55.18	39.02	22.53
10	157.42	111.32	90.89	64.27	45.44	26.24
15	172.11	121.70	99.37	70.26	49.68	28.69
20	183.36	129.65	105.86	74.86	52.93	30.56
25	192.58	136.18	111.19	78.62	55.59	32.10
50	224.31	158.61	129.50	91.57	64.75	37.38
100	261.26	184.74	150.84	106.66	75.42	43.54
500	372.26	263.23	214.92	151.97	107.46	62.04

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la zona del proyecto se muestran en la Figura 12:

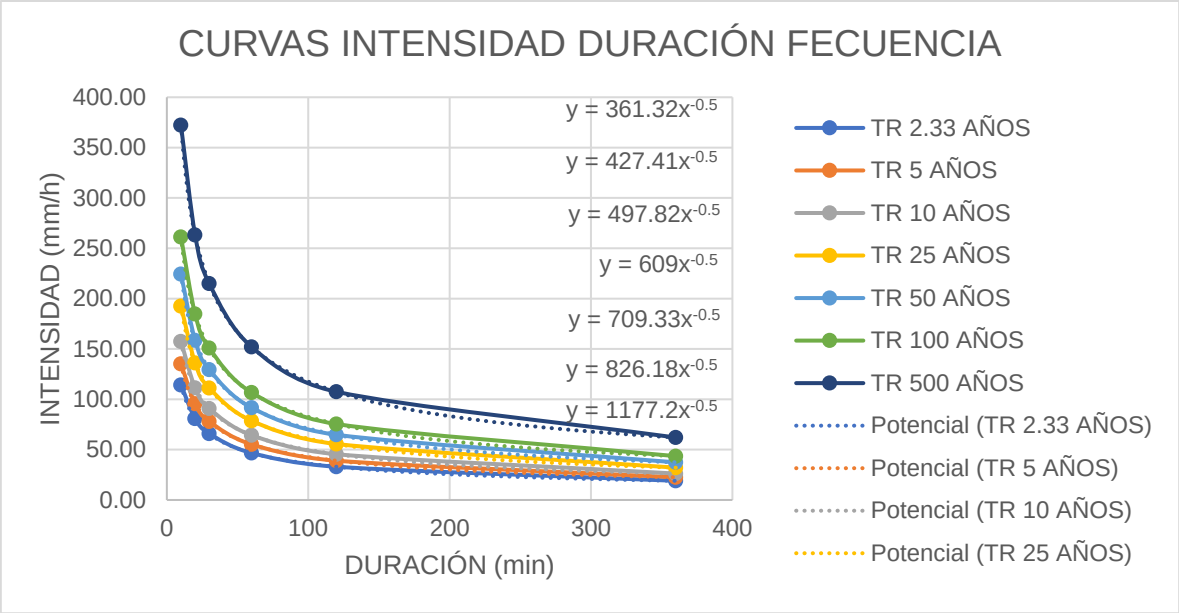


Figura 12: Curvas INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA de la estación EL SALADO_EST. Fuente: Elaboración propia (2025).

7.8 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 10 y 25 años para confeccionar 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.

Para el tiempo de duración del evento proyectó una lluvia típica de 1440 minutos y se generó el hietograma asociado al periodo de retorno, por el método de bloques alternos. En la Tabla 11 se observa la distribución de las lluvias en intervalos de 60

min y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el c omportamiento del evento desde que inicia hasta que termina.

Tabla 11: Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia Tr 10 Años. Fuente: Elaboración propia (2025).

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS						
Instante (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Precipitación acumulada (mm)**	**Precipitación (mm)**	**Intensidad parcial (mm/h)**	**Precipitación Alternada (mm)**	**Int. Parcial Alternada (mm)**
60	54.62	54.62	54.62	54.62	1.32	1.32
120	32.48	64.96	10.33	10.33	1.42	1.42
180	23.96	71.89	6.93	6.93	1.53	1.53
240	19.31	77.25	5.36	5.36	1.67	1.67
300	16.34	81.68	4.43	4.43	1.84	1.84
360	14.25	85.49	3.81	3.81	2.05	2.05
420	12.69	88.85	3.36	3.36	2.34	2.34
480	11.48	91.86	3.02	3.02	2.75	2.75
540	10.51	94.61	2.75	2.75	3.36	3.36
600	9.71	97.13	2.53	2.53	4.43	4.43
660	9.04	99.48	2.34	2.34	6.93	6.93
720	8.47	101.66	2.19	2.19	54.62	54.62
780	7.98	103.72	2.05	2.05	10.33	10.33
840	7.55	105.66	1.94	1.94	5.36	5.36
900	7.17	107.50	1.84	1.84	3.81	3.81
960	6.83	109.24	1.75	1.75	3.02	3.02
1020	6.52	110.91	1.67	1.67	2.53	2.53
1080	6.25	112.51	1.60	1.60	2.19	2.19
1140	6.00	114.04	1.53	1.53	1.94	1.94
1200	5.78	115.51	1.47	1.47	1.75	1.75
1260	5.57	116.93	1.42	1.42	1.60	1.60
1320	5.38	118.30	1.37	1.37	1.47	1.47
1380	5.20	119.62	1.32	1.32	1.37	1.37
1440	5.04	120.90	1.28	1.28	1.28	1.28

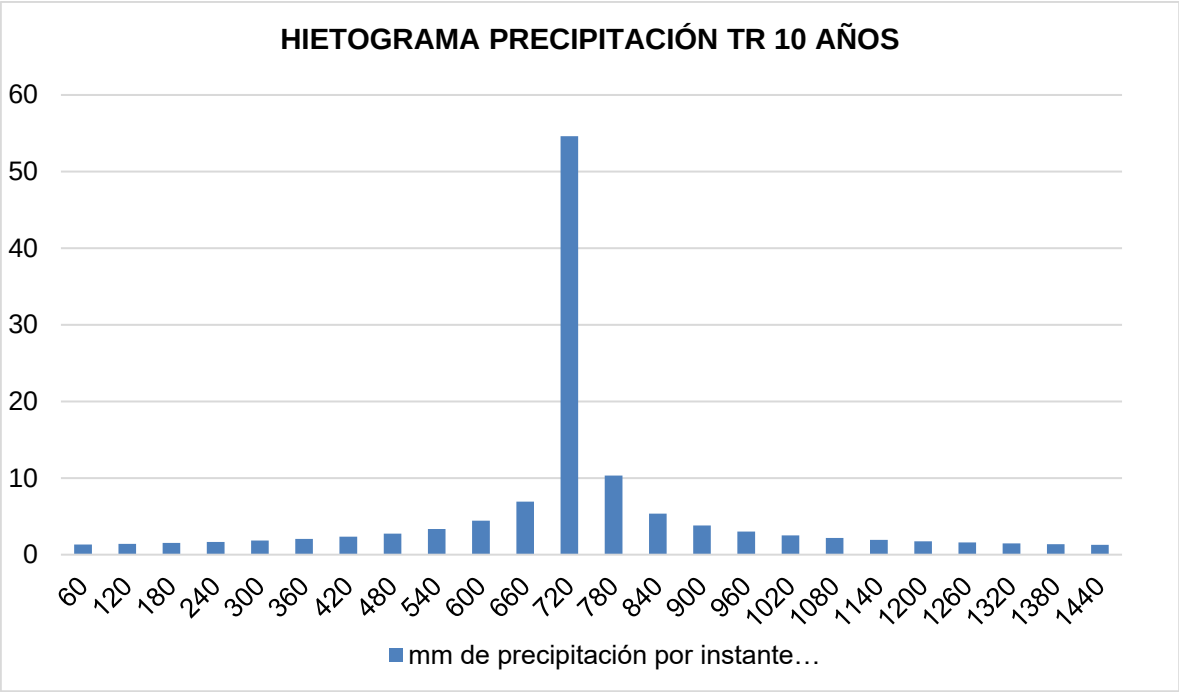


Figura 13. Hietograma de diseño por bloques alternos Tr 10 Años. Fuente: Elaboración propia (2025).

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS						
Instante (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Precipitación acumulada (mm)**	**Precipitación (mm)**	**Intensidad parcial (mm/h)**	**Precipitación Alternada (mm)**	**Int. Parcial Alternada (mm)**
60	61.59	61.59	61.59	61.59	1.49	1.49
120	36.62	73.24	11.65	11.65	1.60	1.60
180	27.02	81.06	7.81	7.81	1.73	1.73
240	21.78	87.10	6.04	6.04	1.88	1.88
300	18.42	92.10	5.00	5.00	2.07	2.07
360	16.07	96.40	4.30	4.30	2.32	2.32
420	14.31	100.18	3.79	3.79	2.64	2.64
480	12.95	103.58	3.40	3.40	3.10	3.10
540	11.85	106.68	3.10	3.10	3.79	3.79
600	10.95	109.53	2.85	2.85	5.00	5.00
660	10.20	112.17	2.64	2.64	7.81	7.81
720	9.55	114.63	2.47	2.47	61.59	61.59
780	9.00	116.95	2.32	2.32	11.65	11.65
840	8.51	119.14	2.19	2.19	6.04	6.04
900	8.08	121.21	2.07	2.07	4.30	4.30
960	7.70	123.18	1.97	1.97	3.40	3.40
1020	7.36	125.06	1.88	1.88	2.85	2.85
1080	7.05	126.86	1.80	1.80	2.47	2.47
1140	6.77	128.59	1.73	1.73	2.19	2.19

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS						
Instante (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Precipitación acumulada (mm)**	**Precipitación (mm)**	**Intensidad parcial (mm/h)**	**Precipitación Alternada (mm)**	**Int. Parcial Alternada (mm)**
1200	6.51	130.25	1.66	1.66	1.97	1.97
1260	6.28	131.85	1.60	1.60	1.80	1.80
1320	6.06	133.39	1.54	1.54	1.66	1.66
1380	5.86	134.88	1.49	1.49	1.54	1.54
1440	5.68	136.32	1.44	1.44	1.44	1.44

Tabla 12: Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia Tr 25 Años. Fuente: Elaboración propia (2025).

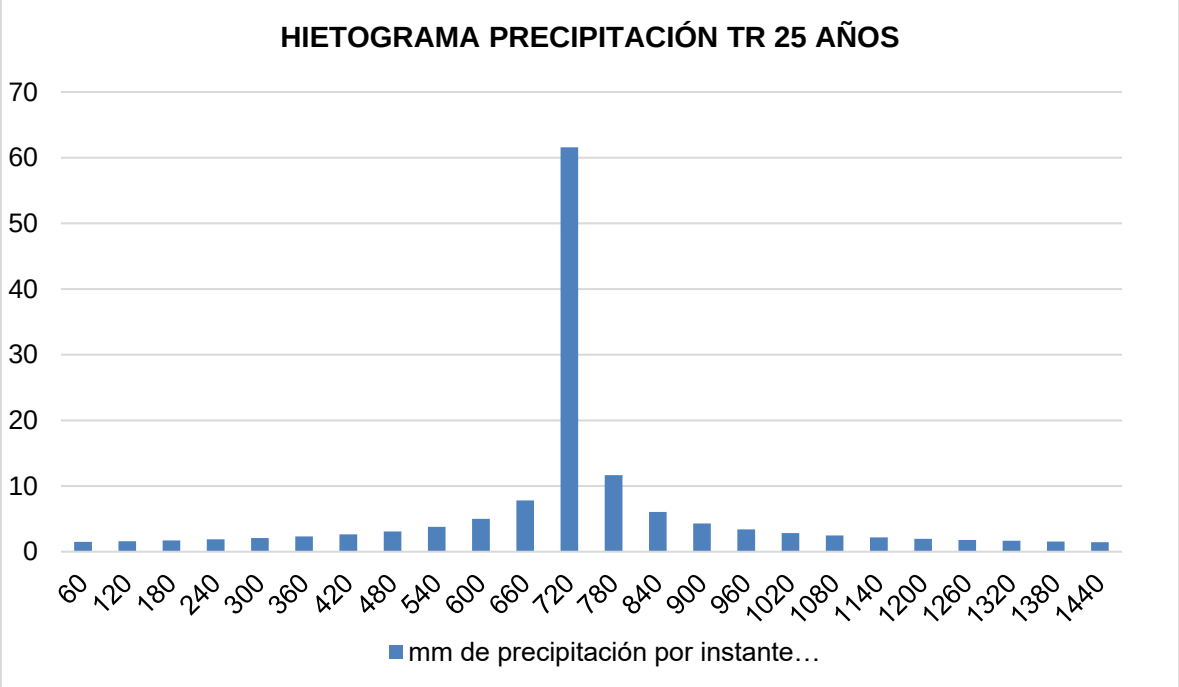


Figura 14: Hietograma de diseño por bloques alternos Tr 25 Años. Fuente: Elaboración propia (2025).

7.9 ÁREA DE DRENAJE (A)

Una cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con una o varias corrientes superficiales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

Las áreas de drenaje para cada una de las estructuras fueron delimitadas utilizando un sistema de información geográfico teniendo como insumo principal los archivos “shapes” para construir los modelos de elevación digital. La técnica que se utilizó fue la de encontrar las divisorias de agua teniendo como base los puntos demarcados en las abscisas sobre la vía.

El área de drenaje corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio. Las áreas se determinaron por medio de Google Earth y el sistema de información geográfica (SIG), las cuales contribuyen a los sistemas que se están diseñando. Con el fin de delimitar las áreas contribuyentes a la escorrentía superficial para cada vía se realizó el trazado de las áreas aferentes de cada una. Las áreas de drenaje corresponden a pequeños cultivos y canales artesanales construidos por la comunidad aledaña.

El área de drenaje está definida por una divisoria o parte aguas estructurada topográficamente en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas, por uno o varios cursos de agua interconectados entre sí, hacia un único punto de salida.

Para realizar el modelamiento hidrológico fue necesario evaluar y determinar las corrientes que aportan a la condición de flujo de la cuenca a modelar, por lo que fue fundamental realizar un estudio hidrológico y una modelación de la zona de estudio que involucró a todas las corrientes a portantes a la escorrentía del sector, con la herramienta de hidrología que nos proporciona el sistema de información geográfica y el cual nos permite identificar variables hidrológicas como: Los drenajes, la

dirección del flujo, la acumulación del flujo, la delimitación de la cuenca y subcuencas y la clasificación del drenaje de acuerdo con su orden.

Los parámetros de la cuenca se determinaron con el siguiente procedimiento:

- Se identificaron las coordenadas del sitio de construcción, con el fin de delimitar la parte de la cuenca que drena hacia ese punto.
- Se procedió a conseguir los archivos tipo “shape” de cuerpos de un área amplia en donde pudiera estar comprendida la cuenca. Esto para poder procesar la información en un sistema de información geográfica, de curvas de nivel a modelo digital de elevación.
- Se montó el archivo “shape”, se generó el modelo ráster y se efectuó el modelo digital de elevación DEM.

Se logro determinar que el área de la cuenca es de 0.01 km2 y que presenta orden 1 con un patrón de drenaje dendrítico, es decir, se caracteriza por tener una distribución similar a un árbol con ramificaciones de afluentes en muchas direcciones y con ángulos variables (Singh et al., 2013). En la figura siguiente se presenta la delimitación del área de la cuenca utilizando el modelo digital de elevaciones del IGAC (2018), el cual posee una resolución de 12.5x12.5 m (se anexa documentación de MDE).

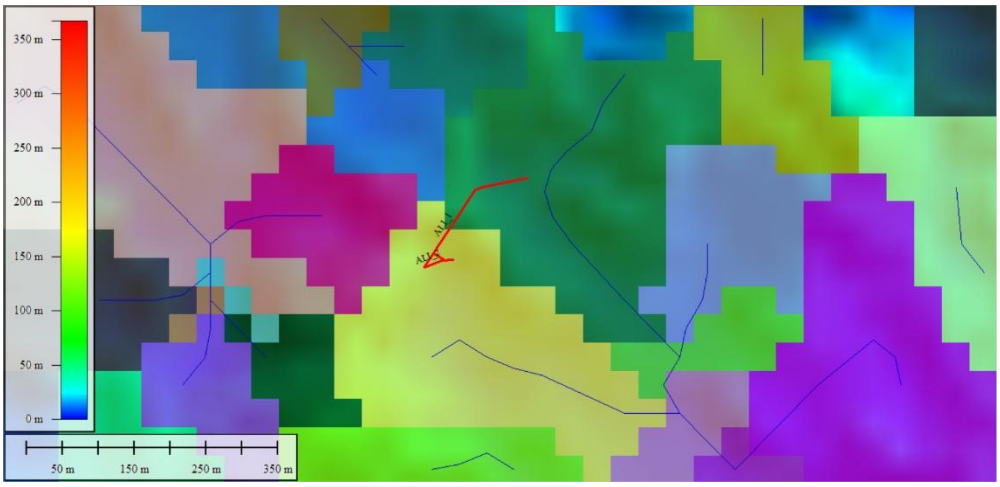


Figura 15. Cuencas vías Urbanas alineamientos 1, 2 y 3. Fuente: Elaborado en Global Mapper (2025).

La GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS calcula la sección típica de una cuneta para un ancho máximo para el cálculo de los caudales de 25 m, el cual es una condición crítica de análisis (situación más desfavorable) y que se estima con altas pendientes, tal como se muestra en la figura 5.5 de dicha guía y que se anexa a continuación en la Figura 16.

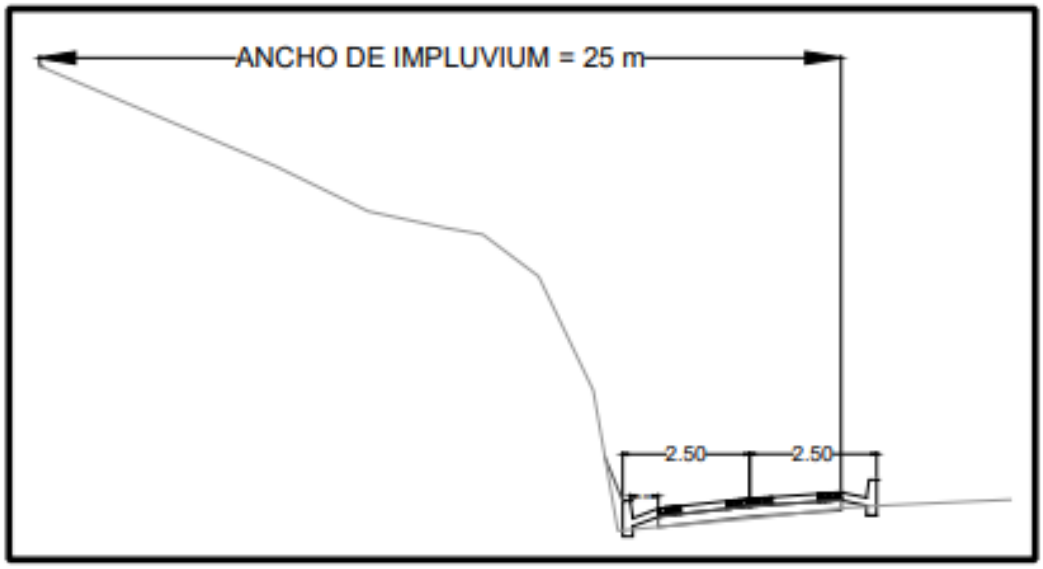


Figura 16: Ancho para cálculo de área de caudal de escorrentía. Fuente: INVIAS (2013).

Dado que la pendiente del terreno no es tan pronunciada como la del ejemplo de diseño del INVIAS (2013), se selecciona un ancho impluvium de 15 m, sin embargo, para aquellas zonas en los que el pavimento se encuentre dentro del perímetro urbano, en necesario establecer áreas aferentes que sean las que tributen a cada pavimento.



Figura 17. Áreas aferentes de los alineamientos 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia (2025).

7.1 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE

Para la determinación de la pendiente media del cauce se empleó la metodología de Taylor y Schwarz, por medio de una muestra estadística de las pendientes normales a las curvas de nivel de las secciones escogidas.

$$S = \left[\frac{L}{\sum \frac{Li}{\sqrt{Si}}}\right]^2$$

Donde,

S. pendiente ponderada del cauce en (m/m).

L. Longitud del cauce en (m)

li. Longitud de cada tramo.

Si. Pendiente de cada subtramo.

7.2 CARACTERIZACIÓN DEL RELIEVE

En cuanto al relieve de una hoya hidrográfica, se pueden definir varios parámetros topográficos que controlan la velocidad con que se da la escorrentía superficial y por lo tanto el tiempo de concentración. A continuación, se definirán estas características.

- **PENDIENTE MEDIA.** Es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la hoya. Constituye una característica importante, puesto que condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y subterráneo en la hoya hidrográfica (Gámez Morales, 2009).
- **ELEVACIÓN MEDIA.** Esta es una característica que está relacionada con la temperatura y la precipitación, a su vez la variación de la temperatura influye en la variación de pérdidas de agua por evaporación, por esta razón en hidrología se utiliza como parámetro representativo (Gámez Morales, 2009).

Tabla 13: Áreas aferentes de los alineamientos. Fuente: Elaboración propia (2025).

AREAS AFERENTES	
A1	538.422143
A2	151.830028
A3	225.822187
A4	495.650244
A5	85.466646
A6	4.368855
A7	96.722896
A8	31.660998
A9	156.777163
A10	46.802732
A11	193.247372
A12	68.360968
A13	3873.2184
A14	1011.73842
A15	941.465438
A16	5804.9446
A17	533.493315
A18	98.012174
A19	324.996553
A20	522.267157

Tabla 14. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 1											
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	(km)	M2	M2	M2	Km2		
K0+000.000	K0+062.331	62.33	-2.64%	-0.026	0.062	373.99	1681.10	2055.09	0.002	18%	82%
K0+062.331	K0+072.331	10.00	-2.64%	-0.026	0.010	60.00	269.71	329.71	0.000	18%	82%
K0+072.331	K0+082.331	10.00	-0.44%	-0.004	0.010	60.00	269.71	329.71	0.000	18%	82%
K0+082.331	K0+175.275	92.94	-0.44%	-0.004	0.093	557.66	2506.75	3064.41	0.003	18%	82%
K0+175.275	K0+191.275	16.00	-0.44%	-0.004	0.016	96.00	431.53	527.53	0.001	18%	82%
K0+191.275	K0+207.275	16.00	16.10%	0.161	0.016	96.00	431.53	527.53	0.001	18%	82%
K0+207.275	K0+210.914	3.64	16.10%	0.161	0.004	21.83	98.15	119.98	0.000	18%	82%

Tabla 15. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 2											
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	(km)	M2	M2	M2	Km2		
K0+000.000	K0+009.970	9.97	-15.32%	-0.153	0.010	59.82	242.86	302.68	0.000	20%	80%
K0+009.970	K0+016.970	7.00	-15.32%	-0.153	0.007	42.00	170.52	212.52	0.000	20%	80%
K0+016.970	K0+023.970	7.00	-3.47%	-0.035	0.007	42.00	170.52	212.52	0.000	20%	80%
K0+023.970	K0+033.545	9.58	-3.47%	-0.035	0.010	57.45	233.24	290.69	0.000	20%	80%

Tabla 16. Áreas de drenaje ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 3											
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	(km)	M2	M2	M2	Km2	0	0
K0+000.000	K0+012.816	12.82	-0.85%	-0.009	0.013	76.90	78.46	155.36	0.000	49%	51%

NOTA #1: LAS ABSCISAS HACEN REFERENCIA A LOS ALINEAMIENTOS VERTICALES CON PENDIENTE.

7.3 PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO (Tr)

El periodo de retorno puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especifica. La probabilidad de ocurrencia del evento X ≥ xt en cualquier observación puede relacionarse con el periodo de retorno de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{P(X \geq xt)} = \frac{1}{1 - P(X \leq xt)}$$

Siguiendo las indicaciones establecidas por el INVIAS (2009, 2013) se recomiendan unos periodos de retorno para diferentes obras de drenaje vial, las cuales se relacionan en la Tabla 17.

Tabla 17: Periodos de retorno especificados por el INVIAS para obras de drenaje. Fuente: INVIAS (2009).

OBRAS DE DRENAJE	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0,9 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores de 0,9 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz entre 10 m y 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular. La selección del período de diseño está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio. Según la recomendación del INVIAS (2011) se escoge un periodo de retorno de 5 años para cunetas y de 10 años para alcantarillas de 0.90 m de diámetro; para box culvert un periodo de 25 años.

7.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ©

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc. Como puede comprenderse, el proceso de escorrentía es complejo y en la práctica deben introducirse simplificaciones. El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1.

La escorrentía dependerá de la zona urbana a que corresponda y a los materiales constituyentes de la superficie. Atendiendo a la zonificación pueden adoptarse los siguientes valores:

Tabla 18: Coeficiente de Escorrentía para áreas urbanas. Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS (2009).

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA c	
PRADOS		
Suelos arenosos, planos, 2%	O.O5 – 0.10	
Suelos arenosos promedio 2 -7 %	0.15 – 0.20	
Suelos pesados (arcillosos) planos 2%	0.13 – 0.17	
Suelos pesados (arcillosos) promedio 2 -7 %	0.18 – 0.22	
Suelos pesados (arcillosos) pendientes 7%	0.25- 0.35	
DISTRITOS COMERCIALES		
Áreas de centro de ciudad		0.70 – 0.95
Áreas vecinas		0.50 – 0.70
RESIDENCIAL		
Casas individuales separadas	0.30 – 0.50	
Casas multifamiliares separadas	0.40 – 0.60	
Casas multifamiliares unidas	0.60 – 0.75	
Suburbana	0.25 – 0.40	
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 – 0.70	
INDUSTRIAL		
Áreas livianas	0.50 – 0.80	
Áreas pesadas	0.60 – 0.90	
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 – 0.25	
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 – 0.35	
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 – 0.40	
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 – 0.30	
CALLES		
Asfaltadas	0.70 – 0.95	
Concreto	0.80 – 0.95	
Ladrillo	0.70 – 0.85	
CALZADAS Y ALAMEDAS	1	0.75 – 0.85
TECHOS	1	0.75 – 0.95

Analizando los diferentes alineamientos encontrados en este proyecto se establecen que se presentan áreas de concreto con un coeficiente de escorrentía de 0.9, y por último con áreas residenciales de tipo casas multifamiliares unidas con coeficientes de 0.65.

Tabla 19: Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 1													
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESOCRRENTÍA VÍAS	COEF. ESCORRENTÍA ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	M2	M2	M2	Km2			CONCRETO		
K0+000.000	K0+062.331	62.33	-2.64%	-0.0264	373.99	1681.10	2055.09	0.00206	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+062.331	K0+072.331	10.00	-2.64%	-0.0264	60.00	269.71	329.71	0.00033	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+072.331	K0+082.331	10.00	-0.44%	-0.0044	60.00	269.71	329.71	0.00033	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+082.331	K0+175.275	92.94	-0.44%	-0.0044	557.66	2506.75	3064.41	0.00306	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+175.275	K0+191.275	16.00	-0.44%	-0.0044	96.00	431.53	527.53	0.00053	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+191.275	K0+207.275	16.00	16.10%	0.1610	96.00	431.53	527.53	0.00053	18%	82%	0.9	0.65	0.695
K0+207.275	K0+210.914	3.64	16.10%	0.1610	21.83	98.15	119.98	0.00012	18%	82%	0.9	0.65	0.695

Tabla 20:Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 2													
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESOCRRENTÍA VÍAS	COEF. ESCORRENTÍA ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	M2	M2	M2	Km2			CONCRETO		
K0+000.000	K0+009.970	9.97	-15.32%	-0.1532	59.82	242.86	302.68	0.00030	20%	80%	0.9	0.65	0.699
K0+009.970	K0+016.970	7.00	-15.32%	-0.1532	42.00	170.52	212.52	0.00021	20%	80%	0.9	0.65	0.699
K0+016.970	K0+023.970	7.00	-3.47%	-0.0347	42.00	170.52	212.52	0.00021	20%	80%	0.9	0.65	0.699
K0+023.970	K0+033.545	9.58	-3.47%	-0.0347	57.45	233.24	290.69	0.00029	20%	80%	0.9	0.65	0.699

Tabla 21. Coeficientes de escorrentía para ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 3													
ABCISA		LONGITUD	PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	ÁREA DE DRENAJE VÍA	ÁREA DE DRENAJE AFERENTES	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL	% ÁREA VÍAS	% ÁREAS ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESOCRRENTÍA VÍAS	COEF. ESCORRENTÍA ZONAS ALEDAÑAS	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO
INCIAL	FINAL	(m)	TERRENO	TERRENO	M2	M2	M2	Km2			CONCRETO		
K0+000.000	K0+012.816	12.82	-0.85%	-0.0085	76.90	78.46	155.36	0.00016	49%	51%	0.9	0.65	0.774

7.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc)

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de esta. En general, el tiempo de concentración se calcula

por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las cuales se cuentan las siguientes:

- **Ecuación de Kirpich (1940):**

$$t_c = 0.06628(\frac{L}{S^{0.5}})^{0.77}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

- **Ecuación de Témez:**

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

Donde: Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

- **Ecuación de Ventura – Heras:**

$$t_c = 0.30(\frac{L}{S^{0.25}})^{0.75}$$

Donde, Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Se evalúa el tiempo de concentración con la fórmula de Kirpich y se sigue la recomendación del manual de drenaje del INVIAS “Aunque el cálculo de los diferentes tiempos de concentración para una hoya hidrográfica difiere de acuerdo con la fórmula empleada, se requiere que se utilice, desde el punto de vista de la seguridad en relación con menores tiempos de concentración (mayores intensidades de precipitación y/o histogramas de lluvias más concentrados), la fórmula de Kirpich. Por otro lado, se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual a 15 min (Referencia 2.6), con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoya y no sobreestimar la

intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración". Es decir que para los tiempos de concentración menores a 15 minutos se utilizara el valor de 15 min.

7.6 ESTIMACIÓN DE CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL

A partir de la identificación de la red hídrica de drenajes obtenida con la caracterización de las microcuencas, se logró establecer un drenaje principal que se acumula en los puntos de más bajo nivel de la zona; también se identificó un drenaje secundario que discurre directamente a un canal de excedentes existente sobre el costado sur hasta encontrarse con el drenaje principal.

Para la estimación de los caudales máximos de entrada al predio del proyecto, se utilizó el Método del Racional, en razón a que el área de la microcuenca aportante es menor a 90 Ha, que es la recomendación del INVIAS (2011). La duración de las lluvias de diseño se establece igual al tiempo de concentración de la cuenca, toda vez que esta es la condición más desfavorable y que es una práctica recomendada en hidrología (Chow, 1994).

El método o fórmula racional es u¡" de 'as ecuaciones más adecuadas para el cálculo del caudal pico en pequeñas áreas asociadas con el drenaje de vías, esta metodología se considera válida para áreas inferiores a 0,9 km² (ASCE, 1992) (Rodríguez, 2013) y se fundamenta en la siguiente ecuación:

$$Q = 0.278\, C * I * A$$

Donde Q es el caudal en m^3/s; C es el coeficiente de escorrentía que depende las pendientes, el tipo y uso del suelo; A es el área de drenaje de la cuenca y 0.278 corresponde al factor de conversión de unidades.

Esta metodología establece que el caudal pico ocurre cuando toda el área contribuye al flujo y la intensidad de la lluvia es uniforme en un tiempo igual al tiempo de concentración de la hoya (o microcuenca, en este caso) (H. Rodríguez, 2013).

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad de la precipitación en un período de tiempo dado (Chow, 1994). La selección de este coeficiente en general se realizar de acuerdo con las coberturas del suelo. Este valor también se puede calcular para una lluvia de características conocidas, siempre y cuando se conozca la respuesta de la hoya en términos del caudal de escorrentía superficial (Monsalve, 2004).

Tabla 22: Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 1											
ABCISA		PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA TOTAL	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO	PERIODO DE RETORNO	Tc Kirpich promedio	Tc Kirpich Escogido	INTENSIDAD	CAUDAL	CAUDAL ACUMILADO
INCIAL	FINAL	TERRENO	(km)	Km2		Años	min	min	mm/hr	m3/s	m3/s
K0+000.000	K0+062.331	-0.0264	0.062	0.00206	0.695	10	5.677	15.000	128.54	0.0511	0.051
K0+062.331	K0+072.331	-0.0264	0.010	0.00033	0.695	10	1.407	15.000	128.54	0.0082	0.059
K0+072.331	K0+082.331	-0.0044	0.010	0.00033	0.695	10	2.246	15.000	128.54	0.0082	0.067
K0+082.331	K0+175.275	-0.0044	0.093	0.00306	0.695	10	12.214	15.000	128.54	0.0762	0.144
K0+175.275	K0+191.275	-0.0044	0.016	0.00053	0.695	10	3.195	15.000	128.54	0.0131	0.161
K0+191.275	K0+207.275	0.1610	0.016	0.00053	0.695	10	1.272	15.000	128.54	0.0131	0.016
K0+207.275	K0+210.914	0.1610	0.004	0.00012	0.695	10	0.416	15.000	128.54	0.0030	0.003

Tabla 23: Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 2											
ABCISA		PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA TOTAL	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO	Tr	Tc promedio	Tc Escogido	INTENSIDAD	CAUDAL	CAUDAL ACUMILADO
INCIAL	FINAL	TERRENO	(km)	Km2		Años	min	min	mm/hr	m3/s	m3/s
K0+000.000	K0+009.970	-0.1532	0.010	0.00030	0.699	10	0.902	15.000	128.54	0.0076	0.008
K0+009.970	K0+016.970	-0.1532	0.007	0.00021	0.699	10	0.690	15.000	128.54	0.0053	0.013
K0+016.970	K0+023.970	-0.0347	0.007	0.00021	0.699	10	1.006	15.000	128.54	0.0053	0.018
K0+023.970	K0+033.545	-0.0347	0.010	0.00029	0.699	10	1.272	15.000	128.54	0.0073	0.025

Tabla 24. Caudales de drenaje para ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 3											
ABCISA		PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	ÁREA TOTAL	COEF. ESCORRENTÍA PONDERADO	Tr	Tc promedio	Tc Escogido	INTENSIDAD	CAUDAL	CAUDAL ACUMILADO
INCIAL	FINAL	TERRENO	(km)	Km2		Años	min	min	mm/hr	m3/s	m3/s
K0+000.000	K0+012.816	-0.0085	0.013	0.00016	0.774	10	2.334	15.000	128.54	0.0043	0.004

NOTA ACLARATORIA: Las pendientes negativas indican el sentido del flujo del agua, en la tabla se muestra de que abscisa a que abscisa sería el sentido del flujo del agua según la pendiente de diseño geométrico.

8. ANÁLISIS HIDRÁULICO

El drenaje en los proyectos comprende varios matices que han de ser tratados separadamente. Unos se refieren al control de las aguas subterráneas que afectan de un modo u otro el proyecto llegando a él por infiltración; el manejo de estas se logra mediante obras de subdrenaje como drenes en zanja, trincheras filtrantes o drenes horizontales. El control de las aguas de escorrentía se logra mediante la construcción de estructuras de drenaje como canales, alcantarillas o cunetas, entre otras; y el control de los procesos de erosión en los cauces torrenciales de quebradas o ríos es realizado con el establecimiento de canales o estructuras de corrección como diques, jarillones, defensas laterales o espolones. La ubicación oportuna de las estructuras hidráulicas son el soporte de las soluciones de estabilidad y el control de erosión de taludes y laderas y de la corrección de cauces torrenciales; su omisión representa en casi todos los casos la destrucción de las obras existentes. Las obras hidráulicas constituyen en sí mismas una garantía de la estabilidad de los tratamientos. Las cunetas se construyen generalmente en sitios donde se ha efectuado un banqueo de tamaño apreciable, como vías.

La sección transversal de la vía y dentro de ella la de la cuneta, juega un papel fundamental en la seguridad vial, por lo que, al proyectar las cunetas con una determinada sección, este aspecto debe ser considerado. Cunetas con una sección inadecuada pueden originar problemas de encunetamiento de los vehículos y, en los casos más graves, hasta vuelco, más aún sí por limitaciones de espacio se proyectan berma-cunetas, las que necesariamente implican circulación o permanencia de vehículos cerca a la cuneta.

En el caso del drenaje sobre la misma vía, se indica que la pendiente de la berma coincide con la del carril de circulación adyacente; es decir, la pendiente del bombeo, la cual es máximo del 4% en entre tangencias, 8% en peraltes de vías principales y secundarias y 6% en vías terciarias.

Esta limitación en la profundidad de la cuneta trae como consecuencia una limitación en la capacidad hidráulica de la cuneta, siendo necesario el empleo de zanjas de coronación y de una menor distancia entre alcantarillas para desaguar las cunetas.

Las características hidráulicas sobre la vía es un flujo espacialmente variable; no obstante, para el diseño se pueden suponer condiciones de flujo permanente y uniforme en las áreas laterales de escorrentías, para simplificar el cálculo de los parámetros hidráulicos necesarios en el diseño de las entradas o sumideros correspondientes al esparcimiento máximo, el caudal máximo y la profundidad de la lámina de agua sobre los sumideros.

El dimensionamiento o diseño hidráulico de la vía consiste en verificar que la capacidad hidráulica de la estructura, estimada con la expresión de Manning, sea superior al caudal de diseño (INVIAS, 2009), los cuales se encuentran calculados en las tablas 8 y 10. A continuación, se muestra la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n}\left(AR^{2/3}S^{1/2}\right)$$

Donde: Q: caudal, en metros cúbicos por segundo (m^3/s). n: coeficiente de rugosidad de Manning. A: área mojada, en metros cuadrados (m^2). R: radio hidráulico, en metros (m). S: pendiente, en metros por metro (m/m).

Como el área tributaria de la cuenca es pequeña (< 90 Ha) se utiliza el método racional para calcular el caudal:

$$Qec = 0.28\ C.i.A\gamma$$

Donde Qec es el caudal de escorrentía en m^3/seg, C es el coeficiente de escorrentía, i corresponde a la intensidad para un tiempo de concentración de 10 minutos y

periodo de retorno de 5 años en mm/h y Aγ es el área tributaria en Km², que corresponde al ancho Impluvium (B) y la longitud de la cuneta (L).

El caudal que puede transportar la berma-cuneta tipo a sección plena, dada una pendiente longitudinal de la vía, se puede encontrar mediante la aplicación de la Ecuación de continuidad y la Fórmula de Manning.

$$Qc = \frac{1}{n} A . Rh^{2/3} . S^{1/2}$$

Donde Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s). n: Coeficiente de rugosidad de Manning; A: Área mojada, en metros cuadrados (m²); Rh: Radio hidráulico, en metros (m) y S: Pendiente, en metros por metro (m/m).

La pendiente coincide usualmente con la pendiente longitudinal de la vía, salvo en aquellos casos en que se requiere una mayor capacidad hidráulica o por facilidad de desagüe se proyecta la cuneta en contrapendiente por un corto tramo. En estos casos especiales se debe verificar que la pendiente sea, como mínimo, la menor recomendada por el INVIAS, es decir 0.5% y 0.3% en zonas planas.

El diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la berma-cuneta, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) de rebose de la cuneta.

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

$$L = \frac{a . Rh^{2/3} . S^{1/2} . 10^6}{0.28 . n . C . A\gamma}$$

Con la anterior expresión se calculan las longitudes de la cuneta para diferentes valores de pendiente de la rasante (S).

La cuneta propuesta de una longitud (L), debe chequearse contra la acción erosiva del agua, aunque al ser construida en concreto la erosión solo se producirá cuando la velocidad del agua supere los 3 m/seg. La erosión se presentará en longitudes muy largas con fuertes pendientes, longitudes que son superiores a las longitudes (L) de rebosamiento. En conclusión, la cuneta primero se rebosa y luego se erosiona y en el sitio de rebosamiento se ubica un aliviadero o una alcantarilla para la evacuación del agua de la berma-cuneta.

8.1 COEFICIENTE DE MANNING

El coeficiente de Manning es una de las formas de expresar la cantidad de resistencia al movimiento del agua en cauces, naturales o artificiales. Este coeficiente de resistencia al flujo es muy variable porque depende de una serie factores como la vegetación, irregularidad, obstrucciones, nivel, caudal, régimen de circulación, entre otros. Para este proyecto escogió un coeficiente de Manning de 0.015. En la siguiente tabla se presentan algunos valores de n Manning de acuerdo con el tipo de material del conducto.

Tabla 25; Valores del coeficiente de rugosidad de Manning. Fuente: RAS (2016).

Material	n
CONDUCTOS CERRADOS	
Asbesto – cemento	0.011 – 0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011 – 0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015 – 0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0,012 – 0,015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	**0,015 – 0,017**
Gres vitrificado	0.011 – 0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011 – 0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010 – 0.015
Metal corrugado	0.022 – 0.026
Colectores de ladrillo	0.013 – 0.017
CONDUCTOS ABIERTOS	
Canal revestido en ladrillo	0.012 – 0.018
Canal revestido en concreto	**0.011 – 0.020**
Canal excavado	0.018 – 0.050
Canal revestido rip-rap	0.20 – 0.035

Tabla 26: Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 1. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 1																	
ABSCISA		LONGITUD	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Y)	BORDE LIBRE (L)	ALTURA BORDILLO	T1	P	ÁREA	RH	COEF. MANNING	V	Q DISEÑO	Q HIDROLOGICO	CHEQUEO CAUDALES	OBS.
INICIAL	FINAL	(m)	TERRENO	(km)	m	m	m		m	m2	m	n	m/s	m3/s	m3/s		
K0+000.00	K0+062.33	62.33	0.0264	0.06	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	3.409	2.897	0.051075	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+062.33	K0+072.33	10.00	0.0264	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	3.409	2.897	0.008194	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+072.33	K0+082.33	10.00	0.0044	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	1.392	1.183	0.008194	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+082.33	K0+175.28	92.94	0.0044	0.09	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	1.392	1.183	0.076160	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+175.28	K0+191.28	16.00	0.0044	0.02	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	1.392	1.183	0.013111	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+191.28	K0+207.28	16.00	0.1610	0.02	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	8.418	7.155	0.013111	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+207.28	K0+210.91	3.64	0.1610	0.00	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	8.418	7.155	0.002982	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO

Tabla 27: Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 2. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 2																	
ABSCISA		LONGITUD	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Y)	BORDE LIBRE (L)	ALTURA BORDILLO	T1	P	ÁREA	RH	COEF. MANNING	V	Q DISEÑO	Q HIDROLOGICO	CHEQUEO CAUDALES	OBS.
INICIAL	FINAL	(m)	TERRENO	(km)	m	m	m		m	m2	m	n	m/s	m3/s	m3/s		
K0+000.00	K0+009.97	9.97	0.1532	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	8.211	6.980	0.007565	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+009.97	K0+016.97	7.00	0.1532	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	8.211	6.980	0.005311	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+016.97	K0+023.97	7.00	0.0347	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	3.908	3.322	0.005311	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO
K0+023.97	K0+033.55	9.58	0.0347	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	3.908	3.322	0.007265	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO

Tabla 28. Comprobación hidráulica de drenaje de ALINEAMIENTO 3. Fuente: Elaboración propia (2025).

ALIENAMIENTO 3																	
ABSCISA		LONGITUD	PENDIENTE (m/m)	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Y)	BORDE LIBRE (L)	ALTURA BORDILLO	T1	P	ÁREA	RH	COEF. MANNING	V	Q DISEÑO	Q HIDROLOGICO	CHEQUEO CAUDALES	OBS.
INICIAL	FINAL	(m)	TERRENO	(km)	m	m	m		m	m2	m	n	m/s	m3/s	m3/s		
K0+000.00	K0+012.82	12.82	0.0085	0.01	0.17	0.03	0.20	5.00	5.34	0.85	0.16	0.014	1.934	1.644	0.004296	CUMPLE	DRENAJE EN PAVIMENTO

De acuerdo con las modelaciones anteriores, los cada uno de los tramos es capaz de transportar los caudales calculados para un periodo de retorno de 10 años, por tal razón se debe conservar una altura de bordillo mínima de 0.2 m, y las pendientes y anchos de carril definidos en el diseño geométrico, sin embargo, es necesario hacer obras de drenaje para evacuar el agua que se acumula en los puntos bajos del perfil de la vía y para reducir el tiempo de concentración del flujo del agua.

8.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Es fundamental garantizar que las vías no generen estancamientos de agua en las zonas pobladas circundantes, evitando afectaciones a la infraestructura y a la calidad de vida de los habitantes. Por ello, es imprescindible revisar constantemente los diseños geométricos y, cuando sea necesario, implementar medidas correctivas que aseguren un adecuado drenaje y circulación de las aguas. A continuación unas observaciones de los diseños:

- ALINEAMIENTO 1: Es necesario que se analicen las salidas de agua lluvia provenientes de los tejados y patios de las casas para corroborar la necesidad de instalar sifones invertidos que permita la salida del agua por rebose sobre el nivel de la capa de rodadura de la vía, en aquellas viviendas que están ubicadas desde la abscisa K0+014.552 hasta la abscisa K0+210.914. Además en dicho alineamiento hay un punto bajo en la abscisa K0+191.275 que no tiene hacia donde drenar el agua y se empoza, se recomienda revisar el diseño geométrico.
- ALINEAMIENTO 2: Es necesario que se analicen las salidas de agua lluvia provenientes de los tejados y patios de las casas para corroborar la necesidad de instalar sifones invertidos que permita la salida del agua por rebose sobre el nivel de la capa de rodadura de la vía, en aquellas viviendas que están ubicadas desde la abscisa K0+000 hasta la abscisa K0+033.545.

9. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Se le recomienda al contratista seguir todas las recomendaciones y diseños de la presente consultoría.

Se recomienda durante el análisis estructural conservar los parámetros calculados durante el análisis hidrológico y modelación hidráulica; cualquier modificación debe ser comunicada al consultor para evaluar las posibles alternativas de diseño.

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

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 considerar las observaciones del apartado 8.2 y mantener la rasante de la vía que las casas no queden enterradas y que en los casos donde constructivamente no se pueda ejecutar de esa manera deben hacer un sifón invertido con una caja para evacuar las aguas lluvias provenientes de los tejados y en ningún momento se pueden conectar las aguas residuales a los drenajes de aguas lluvias.

Se debe realizar mantenimiento continuo a las obras existentes, con el fin de que la acumulación de residuos no afecte la capacidad hidráulica y de esta manera evitar que se produzcan inundaciones o encharcamientos.

Los caudales de diseño se calcularon utilizando la metodología propuesta en el método racional.

En el estudio hidrológico e hidráulico de la vía, se proyectaron los caudales de escorrentía que se generaba en cada tramo proyectado y se verificó la capacidad de transporte de la vía, verificando que el tirante normal de la lámina de agua no sobrepasa la altura del bordillo de la berma cuneta por ende los caudales pueden ser evacuados por la sección de la vía y el bordillo.

La capacidad de la vía se realizó conservando las pendientes longitudinales del diseño geométrico.

Las especificaciones técnicas de diseño se soportan en resoluciones, normatividad y bibliografía existente.

10. REFERENCIAS

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO - RAS/2000, Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico, del Ministerio de Desarrollo; Bogotá 2000.

AZEVEDO NETTO, de J.M. y ÁLVAREZ ACOSTA, Guillermo. Manual de Hidráulica, Ed. HARLA S.A. DE C.V., México, 1976.

MINISTERIO DEL TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL VÍAS – INVIAS, “Manual de Drenaje para carreteras”, Bogotá, 2009.

MINISTERIO DEL TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL VÍAS – INVIAS, “Cartilla para diseño de pavimento con placa huella”, Bogotá, 2013.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, “Hydraulic Design of Highway Culverts, Hydraulic Design Series Number 5 (HDS 5), J.M. Norman, R.J. Houghtlen, W.J. Johnston, Virginia, September 1985.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, “Manual de carreteras Volumen II, Parte II”, Dirección General de Obras Públicas. Dirección de Vialidad, Santiago de Chile, junio 2002.

Chow, V. Maidment, D. Mays, L., 1994. Hidrología Aplicada. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana S.A. 1994.

Díaz, Bernardo. 2012. Hidrología e Hidráulica Aplicada. Editorial Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias.

Suárez Díaz, Jaime. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Ediciones Universidad Industrial de Santander. 2001. Pág. 141.

Jiménez Salas, José A., 1980. Geotecnia y Cimientos. Editorial Rueda, 1980.

Riccardi, G., Basile, P. A., Stenta, H., Riesco, G. y Baglietto, P. Ajuste regional de predoctores de erosión en lechos cohesivos. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza (Argentina), mayo, 2005.

CARTA DE RESPONSABILIDAD

Montería, noviembre de 2025

Yo **JUAN FRANCISCO DURANGO GRISALES,** realice el estudio hidráulico e hidrológico del contrato de referencia siguiendo los requisitos del Manual drenaje de INVIAS (2009, 2013, 2019), y asumo toda la responsabilidad por el alcance de este. Informe requerido para la **"CONSTRUCCIÓN DE MALECÓN TURÍSTICO EN LA RIVERA DEL CAÑO AGUAS PRIETAS, MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO, CÓRDOBA",** siempre y cuando el constructor cumpla las recomendaciones dichas en el presente informe.

Cualquier modificación al Estudio hidráulico e hidrológico, únicamente con mi autorización directa.

VALIDO PARA HEH PAV URBANO
EN CIÉNAGA DE ORO

_____

JUAN FRANCISCO DURANGO GRISALES
Contratista
Dirección Departamental de Proyectos
Gobernación de Córdoba.
Ingeniero Civil – M.Sc. Recursos Hídricos
M.P 22202339714 COR