DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

MUNICIPIO DE PAUNA

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN EL BARRIO CENTRO Y EL BARRIO EL TOPO DEL MUNICIPIO DE PAUNA

CAPITULO 5. ESTUDIOS Y DISEÑOS HIDROLÓGICOS

CONSULTOR

ING. ESP. FABIÁN SUAREZ MARTÍNEZ

CONSULTORÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES

VERSION 1

2024

Contenido

CAPITULO 5. ESTUDIOS Y DISEÑOS HIDROLÓGICOS 1
1. Estación Pluviométrica Representativa 5
2. Distribución espacial de la precipitación 6
3. Régimen de precipitación 7
4. Curvas de intensidad – duración – frecuencia IDF 16
4.1. Estación de Pauna 16
5. Morfometría de las áreas de drenaje 20
5.2. Factores de forma 21
5.1.1. índice de Gravelius 22
5.1.2. Coeficiente de Homogeneidad 22
5.1.3. Factor forma 23
5.1.4. índice de alargamiento 23
5.1.5. Relación de circularidad 24
5.1.6. Resultados 24
5.2. Factores de relieve 25
5.2.1. Altura media 27
5.2.2. Pendiente media de la cuenca 28
5.2.3. Altura mediana 28
5.2.4. Longitud cauce 33
5.2.5. Longitud cauce principal 33
5.2.6. Pendiente media del cauce 33
5.2.7. Resultados 34
5.3. Factores de cauce 35
5.3.1. Orden de Horton Strhaler 35
5.3.2. Leyes de Horton 36
5.3.3. Densidad de drenaje 38
5.3.4. Resultados 39
6. Delimitación de áreas de drenaje y caudales de respuesta hidrológica 39
6.1. Caudales de aguas lluvias 40
7. Localización del proyecto 48
8. Ubicación de las estaciones climatológicas de interés 49
ANEXOS 50

Figura 1. Estaciones pluviométricas representativas. 6
Figura 2. Boxplot mensual de Pauna 8
Figura 3. Datos de la estación Pauna 10
Figura 4. Frecuencia Relativa de Datos Observados y Esperados 12
Figura 5. Precipitación máxima en 24 hrs 16
Figura 6. Curva IDF estación Pauna 18
Figura 7. Microcuencas de estudio para el proyecto 21
Figura 8. Drenajes y alturas de las microcuencas 27
Figura 9. Curva Hipsométrica microcuenca Manotera 29
Figura 10. Curva hipsométrica microcuenca Paunera 30
Figura 11. Ilustración sobre los tipos de afluentes respecto a su curva hipsométrica 32
Figura 12. Topografia de Paunera 34
Figura 13. Topografia de Manotera 34
Figura 14. Relación de bifurcación para Manotera 37
Figura 15. Relación de bifurcación para Paunera 38
Figura 16. Localización del proyecto 48

Tabla 1. Estaciones pluviométricas cerca a la localización del proyecto 5
Tabla 2. Registro de precipitación máxima 24 hrs 9
Tabla 3. Datos estación Pauna 10
Tabla 4. Datos de Frecuencia 12
Tabla 5. Datos de Precipitación para método de Gumbel 14
Tabla 6. Parámetros Estadísticos 14
Tabla 7. Cálculo de las Precipitaciones diaria máximas probables para distintas frecuencias 15
Tabla 8. Coeficientes de Vargas,Diaz-Granados 17
Tabla 9. Valores máximos y promedios de precipitación mensual y anual 19
Tabla 10. Intensidades probables (mm/h) para periodos de diseño 19
Tabla 11. Geometría de las cuencas de estudio 21
Tabla 12. Intervalos para clasificar el coeficiente de Gravelius 22
Tabla 13. Intervalos para clasificar el factor de forma 23
Tabla 14. Resultados de los factores de forma 25
Tabla 15. Resultados de factores de relieve 35
Tabla 16. Catalogación de la densidad de drenaje de una cuenca 38
Tabla 17. Resultados de cuenca 39
Tabla 18. Resultados hidráulicos modelación optimización alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado. 44
Tabla 19. Resultados hidráulicos pozos de inspección alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado. 46
Tabla 20. Áreas aferentes red alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado. ... 47

REGISTRO DOCUMENTAL

TIPO DE DOCUMENTO: Informe de Ejecución de Proyectos de Consultoría
TÍTULO DEL DOCUMENTO: Estudios y diseños para la construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial en el barrio Centro y el barrio El Topo del municipio de Pauna
TÍTULO DE PRODUCTO: 05_ESTUDIOS Y DISEÑOS HIDROLÓGICOS
ELABORACION Y REVISION INTERNA

Responsable	**Revisión**		
	1	2	3
Elaboración	Fabián Suárez Martínez Ingeniero Sanitario y Ambiental Diseñador hidráulico		
	Noviembre 2024		
Revisión	Gineth Rodríguez Munevar Ingeniera Sanitaria Directora de la consultoría		
	Diciembre 2024		
Aprobación	Fabián Suárez Martínez Ingeniero Sanitario y Ambiental Contratista de la consultoría		
	Diciembre 2024		

REVISION DEL ENTE CONTRATANTE

Responsable	**Revisión**		
	1	2	3
Supervisión	Ing. Andrés Felipe Arias Vargas Secretario de Planeación Ing. Luis Eladio Cuellar Jiménez Jefe Unidad Servicios Públicos		
	Diciembre 2024		

ORIGEN DE LAS MODIFICACIONES

Responsable	**Modificaciones**		
	Origen	**Modificación**	**Registro documental**
1	Documento técnico de presentación Versión 1		PAUNA-EDHIDRO-01-24

CONTROL DE DISTRIBUCION

Responsable	**Distribución**		
	Formato	Remitido	Entidad
1	Impreso	Municipio de Pauna	Contratante
1	Magnético	Municipio de Pauna	Contratante

1. Estación Pluviométrica Representativa

La selección de la estación pluviométrica representativa se realizó mediante un análisis exhaustivo de los registros de las estaciones meteorológicas y climatológicas activas en la zona de estudio. Para este proceso, se utilizó la plataforma de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos del IDEAM, examinando las estaciones ubicadas dentro de un radio de aproximadamente 25 kilómetros alrededor del perímetro del casco urbano del municipio de Pauna. A continuación, se presenta la selección de las estaciones representativas:

Tabla 1. Estaciones pluviométricas cerca a la localización del proyecto

Código	Nombre	Cota	Tipo	Municipio	Cuenca	Longitud de Registro		Estado
						Inicio	Fin	
23125060	ALBANIA	1690	CO	Albania	2312 (Rio Carare - Minero)	3/15/1974		Activa
23125090	PAUNA	1225	ME	Pauna	2312 (Rio Carare - Minero)	3/15/1993		Activa
23120250	BORBUR 2	681	PM	San Pablo de Borbur	2312 (Rio Carare - Minero)	2/15/1975		Activa
23155080	OTANCHE	1100	CO	Otanche	2312 (Rio Carare - Minero)	3/15/1975		Activa
23120050	MUZO	850	PM	Muzo	2312 (Rio Carare - Minero)	6/15/1958		Activa

Fuente: El estudio

En la tabla 1 se usan las siguientes observaciones:

- CO: Estación climática ordinaria
- ME: Estación meteorológica
- PM: Estación Pluviométrica

El municipio de Pauna se ubica en la zona de bosque premontano húmedo, caracterizado por una elevación entre 850 y 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), que configura un territorio predominantemente montañoso. Siguiendo la metodología propuesta por el profesor José Daniel Pabón Caicedo en su estudio "Propuesta para el rediseño de la red de observaciones meteorológicas en Colombia" (2002), se establece un criterio técnico para la distribución de estaciones meteorológicas.

Según este criterio, en zonas montañosas se recomienda una estación meteorológica por cada 500 km² de territorio. Aplicando este principio, se definió un radio de investigación de 12.6 kilómetros alrededor del límite urbano del municipio, con el objetivo de garantizar una cobertura representativa de las condiciones climáticas locales.

Fuente: El estudio

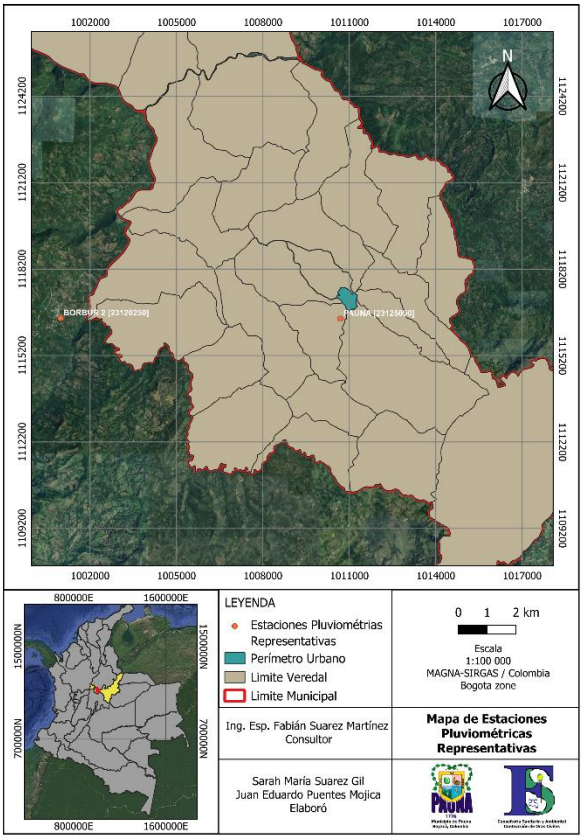


Figura 1. Estaciones pluviométricas representativas.

Tras un análisis detallado de la ubicación de las estaciones pluviométricas en la zona, se determinó que la estación PAUNA [23125090] es la más representativa debido a su proximidad al perímetro urbano del municipio.

2. Distribución espacial de la precipitación

La generación de la distribución espacial de la precipitación requiere considerar dos factores fundamentales: la disponibilidad de información y la topografía del terreno. En este caso, se identificaron limitaciones significativas en los datos del IDEAM que comprometen un análisis comprehensivo.

Las restricciones principales son:

1. Cobertura incompleta de estaciones pluviométricas

1.1. La mayoría de las estaciones carecen de registros completos

1.2. No se cubren adecuadamente los puntos cardinales (norte, sur, este, noroeste, sureste)

1.3. Imposibilidad de realizar una estimación precisa de la distribución espacial

2. Condicionantes topográficas

2.1. La compleja orografía del territorio restringe el área de influencia de cada estación

2.2. Cada estación no puede representar efectivamente más de 500 km²

Como consecuencia de estas limitaciones, la estación PAUNA [23125090] se constituye como la única fuente viable para estimar la distribución de precipitación, permitiendo caracterizar las condiciones pluviométricas del límite urbano municipal.

3. Régimen de precipitación

Para el análisis del régimen de precipitación, se estableció un periodo de estudio comprendido entre 1994 y 2023, seleccionando la estación PAUNA [23125090] por contar con registros completos durante este intervalo temporal. El proceso de tratamiento de datos se desarrolló mediante RStudio, implementando una metodología sistemática de depuración y control de calidad.

Inicialmente, se aplicó el código Anómalos.R, fundamentado en la regla de Tukey, que permitió identificar y eliminar valores atípicos mediante el uso de cuantiles 5 y 95. Este procedimiento posibilitó calcular umbrales estadísticos para filtrar la información, generando un archivo CSV donde los datos anómalos se señalaron con el valor -5000. Como complemento, se produjo un boxplot mensual de la estación que facilitó la visualización de la distribución de la precipitación.

Posteriormente, se ejecutó el código IDW(1).R para profundizar en la depuración de los datos. Esta etapa consideró información de dos estaciones adicionales representativas: MUZO [23120050] y OTANCHE [23125080]. El proceso incluyó una revisión meticulosa para garantizar que los datos anómalos no coincidieran consecutivamente en más de dos de las tres estaciones, asegurando así la consistencia y confiabilidad de la información meteorológica.

Fuente: El estudio

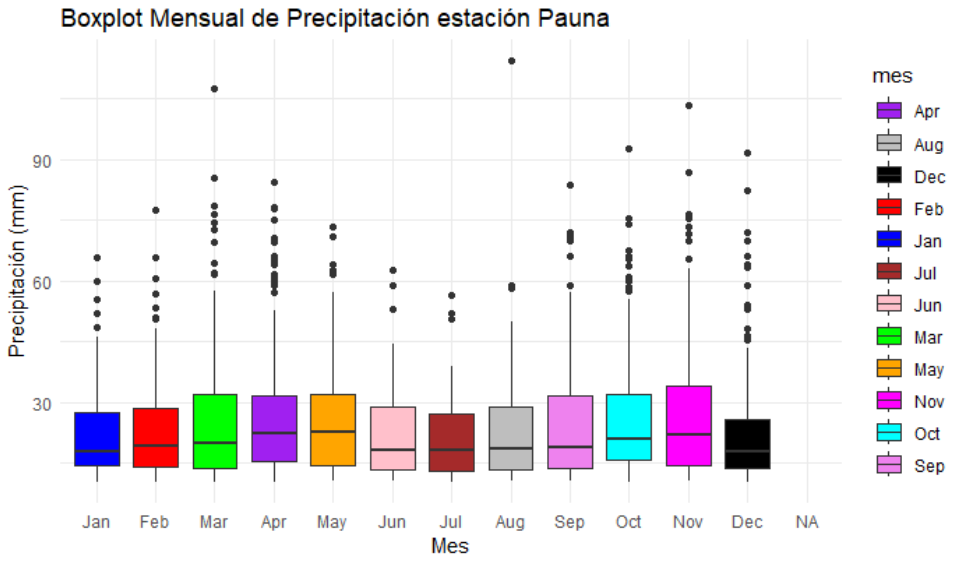


Figura 2. Boxplot mensual de Pauna

Tras obtener los datos depurados de la estación, se implementó un riguroso análisis estadístico orientado a identificar y evaluar la presencia de valores atípicos tanto en los extremos superiores como inferiores de la distribución de precipitación. La metodología empleada consistió en seleccionar los valores máximos mensuales correspondientes a cada año, lo que permitió construir una caracterización exhaustiva de los registros pluviométricos más significativos.

El proceso de análisis implicó un examen detallado de los datos, donde se extrajeron sistemáticamente los valores de precipitación máxima para cada mes dentro de cada año del periodo de estudio. Este procedimiento proporcionó una perspectiva precisa sobre el comportamiento extremo de las precipitaciones, facilitando la identificación de patrones y variaciones significativas en el régimen de lluvias.

La compilación de estos valores máximos mensuales se realizó con el propósito de establecer una base sólida para la interpretación de las características pluviométricas de la zona, permitiendo un análisis más profundo de los eventos de precipitación más relevantes

Tabla 2. Registro de precipitación máxima 24 hrs

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Estación	PAUNA [23125090]					Latitud	5.649				Departamento		Boyacá		
						Longitud	-73.981								
Parámetro	Precipitación Máxima en 24 hr (mm)					Altitud	1225				Municipio		Pauna		
Año	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Pmax24**	**Log(P24hr)**
1994	32	43	54	43	32	31	51	13	55	61	73	37	**73**	**1.87**
1995	19	61	107	78	71	33	35	34	71	41	25	72	**107**	**2.03**
1996	31	31	49	29	27	53	29	35	23	49	62	48	**62**	**1.79**
1997	27	31	29	66	57	35	6	13	66	44	104	18	**104**	**2.01**
1998	40	43	39	60	62	11	14	40	72	68	45	33	**72**	**1.86**
1999	56	66	48	46	27	63	34	29	51	49	37	64	**66**	**1.82**
2000	28	22	65	71	23	45	34	13	54	42	49	70	**71**	**1.85**
2001	19	23	70	49	53	19	33	25	39	74	42	26	**74**	**1.87**
2002	16	24	76	75	74	26	56	50	40	37	39	64	**76**	**1.88**
2003	60	41	56	45	54	37	18	20	50	47	50	92	**92**	**1.96**
2004	33	57	62	40	28	11	52	12	56	44	73	39	**73**	**1.86**
2005	30	36	23	30	47	41	29	15	35	52	39	54	**54**	**1.73**
2006	66	42	45	46	54	38	11	44	14	93	65	25	**93**	**1.97**
2007	43	8	38	52	54	13	29	33	35	51	47	42	**54**	**1.73**
2008	23	22	55	71	64	22	31	39	50	43	62	23	**71**	**1.85**
2009	34	78	58	44	52	18	7	20	28	42	36	25	**78**	**1.89**
2010	27	53	30	78	51	27	51	31	57	60	87	38	**87**	**1.94**
2011	46	44	53	65	63	43	31	59	48	76	76	64	**76**	**1.88**
2012	39	14	43	62	39	32	17	48	59	55	63	25	**63**	**1.80**
2013	10	38	51	70	51	27	18	39	28	38	33	33	**70**	**1.84**
2014	49	51	37	85	44	13	36	17	33	53	77	53	**85**	**1.93**
2015	37	29	86	51	57	13	5	17	47	66	72	13	**86**	**1.93**
2016	34	22	46	52	32	44	12	30	51	49	70	82	**82**	**1.92**
2017	52	37	74	41	42	44	4	114	47	38	40	47	**114**	**2.06**
2018	28	20	35	33	41	42	13	27	84	59	56	38	**84**	**1.92**
2019	33	34	79	36	25	16	19	18	38	42	59	29	**79**	**1.89**
2020	37	31	34	35	25	25	27	25	70	66	49	45	**70**	**1.84**
2021	10	38	22	60	38	37	39	42	50	44	37	38	**60**	**1.78**
2022	19	51	73	57	34	27	17	34	39	37	54	59	**73**	**1.86**
2023	31	48	49	64	39	19	18	41	33	44	55	35	**64**	**1.81**

Fuente: El estudio

En el análisis estadístico se determinó un umbral de datos dudosos altos y bajos, para ello se estableció una precipitación máxima y mínima aceptada, donde se estableció una constante Kn=2.563 de acuerdo con el tamaño de la muestra que en este caso es de 30 años, para determinar el límite máximo y mínimo con las siguientes ecuaciones:

$$Xh_{max} = Media + Desviación\ Estandar * Kn$$

$$P_{max} = 1^{Xhmax}$$

$$Xh_{min} = Media - Desviación\ Estandar * Kn$$

$$P_{max} = 1^{Xhmin}$$

A partir de estas fórmulas se obtuvo la siguiente información:

Tabla 3. Datos estación Pauna

Año	Pmax24	Valor Máximo	Valor Mínimo
1994	73.3	120.89	47.37
1995	107.4	120.89	47.37
1996	62	120.89	47.37
1997	103.5	120.89	47.37
1998	72	120.89	47.37
1999	65.7	120.89	47.37
2000	70.5	120.89	47.37
2001	74	120.89	47.37
2002	76.3	120.89	47.37
2003	91.5	120.89	47.37
2004	73.2	120.89	47.37
2005	54	120.89	47.37
2006	92.7	120.89	47.37
2007	54	120.89	47.37
2008	70.7	120.89	47.37
2009	77.6	120.89	47.37
2010	86.7	120.89	47.37
2011	75.5	120.89	47.37
2012	63	120.89	47.37
2013	69.5	120.89	47.37
2014	84.5	120.89	47.37
2015	85.5	120.89	47.37
2016	82.3	120.89	47.37
2017	114.3	120.89	47.37
2018	83.6	120.89	47.37
2019	78.5	120.89	47.37
2020	69.8	120.89	47.37
2021	59.6	120.89	47.37
2022	72.6	120.89	47.37
2023	64	120.89	47.37

Fuente: El estudio

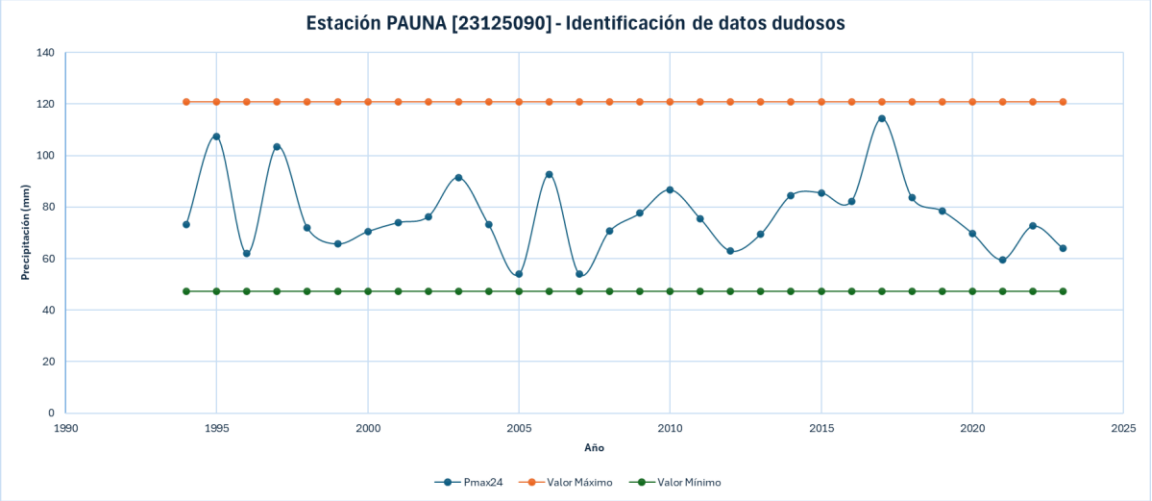


Figura 3. Datos de la estación Pauna

Esta gráfica muestra la evolución de los datos de precipitación recogidos en la estación Pauna a lo largo de los años, desde 1994 hasta 2023. Permite visualizar las tendencias y variaciones en los valores de Precipitación Máxima Diaria (Pmax24), Valor Máximo y Valor Mínimo medidos en esta estación.

Al examinar la gráfica, se observa que los valores de Precipitación Máxima Diaria (Pmax24) presentan una alta variabilidad a lo largo del período analizado. Hay picos y valles pronunciados que reflejan la irregularidad de los eventos de precipitación extrema registrados en la estación. Por ejemplo, se identifica un pico cercano a los 120 mm en el año 2017, seguido de una caída considerable en los años siguientes.

Por otro lado, la línea que representa el Valor Máximo muestra una tendencia general ascendente, lo que indica que los valores máximos de precipitación diaria han ido en aumento con el paso de los años. En contraste, la línea del Valor Mínimo presenta una tendencia más estable, con fluctuaciones más suaves a lo largo del tiempo.

Estos patrones en los datos de precipitación son importantes para comprender la dinámica climática y meteorológica de la zona, así como para la planificación y gestión de los recursos hídricos. La variabilidad observada en los eventos de precipitación extrema y la tendencia al aumento de los valores máximos pueden tener implicaciones relevantes para la prevención de inundaciones, el diseño de infraestructura y la adaptación a los posibles efectos del cambio climático en la región.

Tras verificar que los datos de precipitación se encontraban dentro de los límites estadísticamente aceptables, se procedió a realizar un análisis de frecuencia relativa mediante la prueba de bondad de ajuste. El proceso implicó la definición de intervalos específicos de precipitación para determinar la frecuencia observada, con el objetivo de evaluar la distribución estadística de los datos.

Mediante un análisis riguroso, se determinó que los datos de precipitación siguen una distribución normal, confirmado mediante un nivel de significancia del 5%, lo que representa un 95% de probabilidad de confianza estadística. Este resultado permite validar la representatividad y consistencia de los registros pluviométricos analizados.

Tabla 4. Datos de Frecuencia

Frec. Esperada	Frec. Observada
0.102	0.100
0.238	0.300
0.340	0.333
0.238	0.167
0.068	0.067
0.014	0.033

Fuente: El estudio

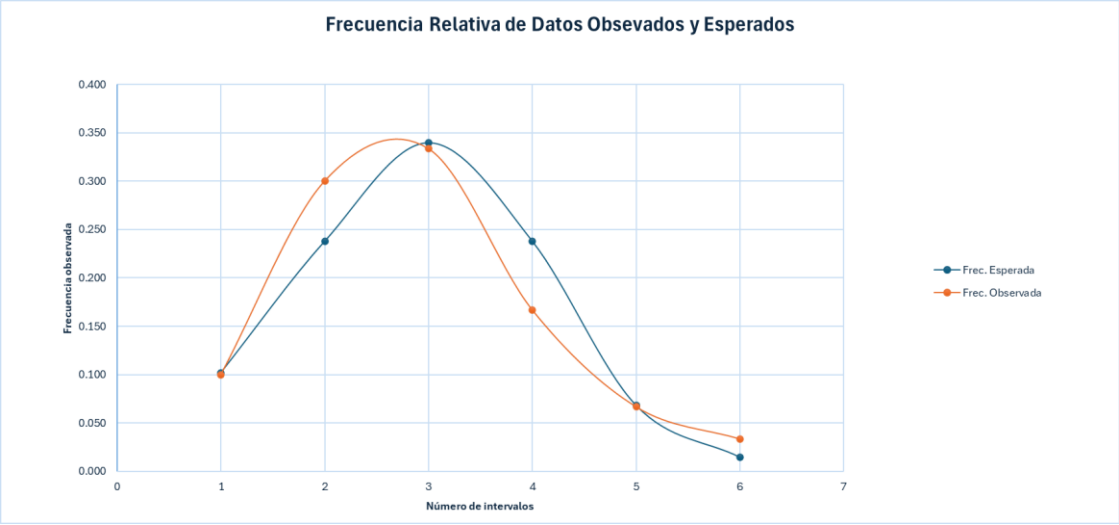


Figura 4. Frecuencia Relativa de Datos Observados y Esperados

En la gráfica, las formas generales de las dos líneas son similares, lo que indica que los datos siguen una distribución aproximadamente normal, pero hay algunas diferencias en los valores específicos y en las posiciones de los picos. Esto puede deberse a diferentes factores como la calidad de los datos, la variabilidad natural, y cambios en las condiciones y características de la cuenca como urbanizaciones, deforestaciones o modificaciones en la red de drenaje.

Continuando con el análisis estadístico, se llevó a cabo la prueba de Kolmogórov-Smirnov, que evalúa la bondad de ajuste entre una distribución de probabilidad observada y una distribución teórica o

esperada. Para ello, se evaluaron seis métodos de distribución: Normal, Log-Normal, Pearson III, Log-Pearson, Gumbel y Log-Gumbel.

El proceso implicó el cálculo de la función de distribución acumulada empírica, la función de distribución acumulada teórica y la diferencia máxima absoluta (D). Posteriormente, se comparó el valor D calculado con un valor crítico tabulado o calculado, que depende del tamaño de la muestra (30) y del nivel de significancia deseado (5%).

Si el valor D calculado es menor que el valor crítico, no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir, los datos se ajustan a la distribución teórica esperada. Por el contrario, si el valor D calculado es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que los datos no se ajustan a la distribución teórica esperada.

El análisis determinó que los datos se ajustaban a las distribuciones Log-Pearson, Pearson II, Normal y Gumbel. Dado que la distribución Gumbel cumplía con la prueba de Kolmogórov-Smirnov, se procedió a calcular las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias utilizando este método.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, estudios de datos pluviométricos de miles de estaciones indican que multiplicar las cantidades máximas anuales de lluvia diaria, para un solo intervalo fijo de observaciones de una a 24 horas, por el factor de 1.13, proporciona una aproximación

mayor a los valores de los máximos reales. A continuación, se presentan los datos obtenidos y la correspondiente gráfica de frecuencia.

Tabla 5. Datos de Precipitación para método de Gumbel

No	Año	Precipitación	
		x_i	$(x_i - x_m)^2$
1	1994	73.30	13.15
2	1995	107.40	928.62
3	1996	62.00	222.81
4	1997	103.50	706.14
5	1998	72.00	24.27
6	1999	65.70	126.04
7	2000	70.50	41.30
8	2001	74.00	8.57
9	2002	76.30	0.39
10	2003	91.50	212.38
11	2004	73.20	13.89
12	2005	54.00	525.63
13	2006	92.70	248.80
14	2007	54.00	525.63
15	2008	70.70	38.77
16	2009	77.60	0.45
17	2010	86.70	95.52
18	2011	75.50	2.04
19	2012	63.00	193.95
20	2013	69.50	55.16
21	2014	84.50	57.36
22	2015	85.50	73.50
23	2016	82.30	28.87
24	2017	114.30	1396.77
25	2018	83.60	44.53
26	2019	78.50	2.48
27	2020	69.80	50.79
28	2021	59.60	300.21
29	2022	72.60	18.72
30	2023	64.00	167.10
	Suma	2308	6124

Fuente: El estudio

Tabla 6. Parámetros Estadísticos

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr
Número de datod (N)	30
Sumatoria	2308
Valor Máximo	114.30
Valor Mínimo	54.00
Media (Xm)	76.93
Varianza	211.17
Desviación Estandar (S)	14.53
Coeficiente Variación	0.19
Coeficiente de Sesgo	0.82
Alfa	11.330
Miu	70.387

Fuente: El estudio

Tabla 7. Cálculo de las Precipitaciones diaria máximas probables para distintas frecuencias

Calculo de las Precipitaciones diaria máximas probables para distintas frecuencias				
Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación mm	Probabilidad Ocurrencia	Corrección Intervalo Fijo
Años	Y_t	Xt (mm)	F (X_T)	Xt (mm)
2	0.367	74.540	0.5	84.230
5	1.500	87.382	0.8	98.742
10	2.250	95.885	0.9	108.350
25	3.199	106.628	0.96	120.489
50	3.902	114.597	0.98	129.495
100	4.600	122.508	0.99	138.434
200	5.296	130.390	0.995	147.341
500	6.214	140.789	0.998	159.092
1000	6.907	148.648	0.999	167.972
10000	9.210	174.742	0.9999	197.459

Fuente: El estudio

Fuente: El estudio

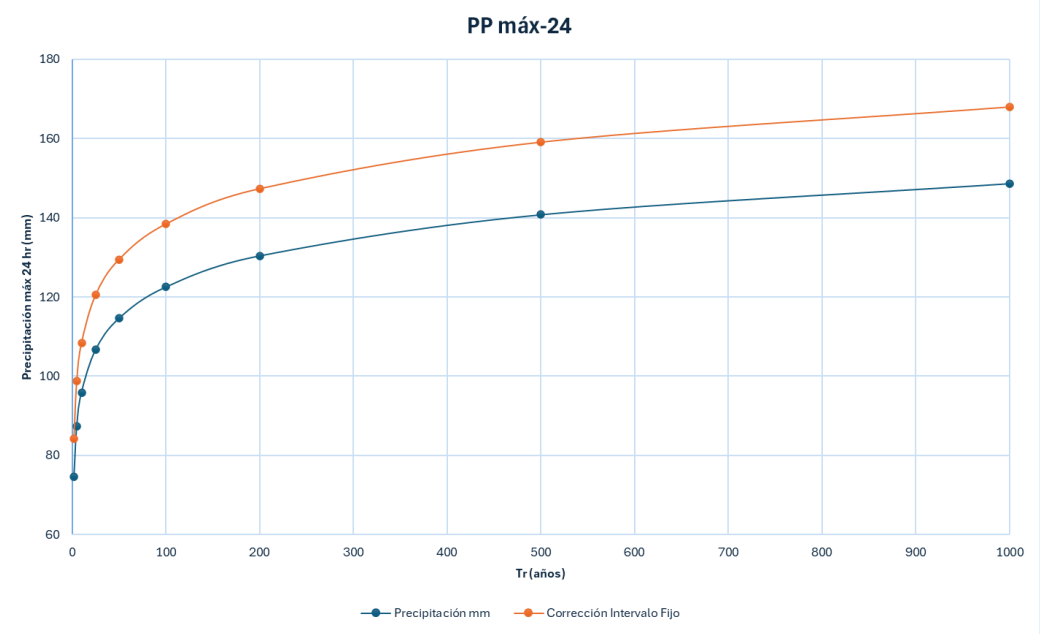


Figura 5. Precipitación máxima en 24 hrs

La curva azul representa la precipitación máxima en milímetros. Esta curva muestra un incremento gradual y constante de la precipitación máxima a medida que pasan los años, lo que indica una tendencia al aumento de eventos de precipitación extrema en la zona.

La curva naranja representa la "Corrección Intervalo Fijo", que es un factor de ajuste aplicado a las precipitaciones máximas anuales para obtener una aproximación a los valores máximos reales, según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial. Este factor de corrección se aplica cuando se dispone de un único intervalo fijo de observaciones (1 a 24 horas).

La tendencia creciente de la precipitación máxima sugiere que se están produciendo cambios en el régimen hidrológico de la zona, posiblemente relacionados con el cambio climático u otros factores.

4. Curvas de intensidad – duración – frecuencia IDF

4.1. Estación de Pauna

La estación pluviométrica analizada en este estudio dispone de registros diarios que abarcan un período mínimo de 30 años. Por esta razón, las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) se

elaboran empleando el método de Vargas y Díaz-Granados, este método fue desarrollado específicamente para las condiciones climáticas y topográficas del país, caracterizado por una alta variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Se basa en la transformación de datos pluviométricos de series históricas a través de un modelo matemático que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración del evento y su período de retorno.

Esta estación está ubicada en la Región Andina (R1), por lo que se utilizan los coeficientes correspondientes a esta región para determinar la intensidad probable.

Tabla 8. Coeficientes de Vargas,Diaz-Granados

Región	a	b	c	d	e	f	g
(R1) Andina	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01

Fuente: Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia

El procedimiento implica analizar las máximas precipitaciones registradas en la estación meteorológicas para diferentes duraciones (como 5, 10, 15, 30 minutos y 1, 2, 6 horas). Posteriormente, los datos se ajustan mediante ecuaciones empíricas que integran parámetros específicos determinados por regresión, incluyendo el coeficiente de intensidad, el exponente de duración y el término relacionado con la frecuencia. La formulación del método tiene en cuenta las características geográficas y climatológicas de la región, permitiendo generar curvas IDF adaptadas a cada zona del país.

Fuente: El estudio

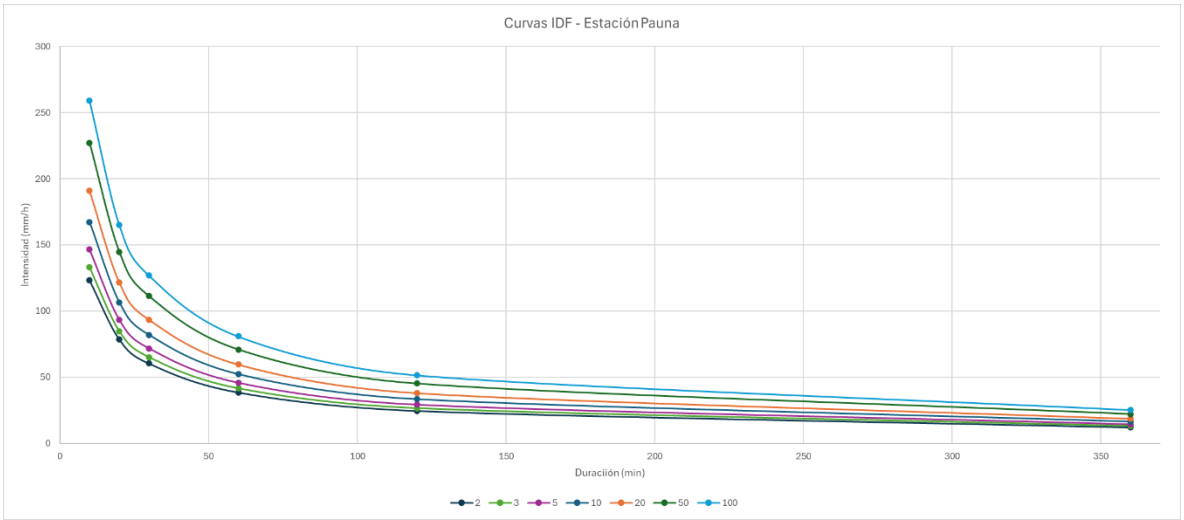


Figura 6. Curva IDF estación Pauna

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) presentadas en la gráfica constituyen una herramienta técnica de gran relevancia para la gestión de recursos hídricos y el diseño de infraestructura hidráulica en la zona de la estación Pauna. Estas curvas representan la relación entre la intensidad de precipitación, la duración del evento y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

Al examinar en detalle las curvas IDF, se observa una tendencia clara: a medida que aumenta la duración del evento de precipitación, la intensidad disminuye de manera exponencial. Por ejemplo, para una duración de tan solo 5 minutos, la intensidad puede alcanzar valores de alrededor de 250 mm/h, mientras que, para eventos de 60 minutos, la intensidad se reduce aproximadamente entre 80 mm/h y 40 mm/h. Este comportamiento refleja la dinámica típica de los eventos de lluvia, donde los picos de mayor intensidad se concentran en períodos de tiempo más cortos.

Un aspecto fundamental de estas curvas es la representación de diferentes períodos de retorno, los cuales indican la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento de precipitación. Las curvas que corresponden a períodos de retorno más altos, como la de 100 años, muestran valores de intensidad significativamente mayores en comparación con las curvas de menor período de retorno, como la de 2 años. Esta información es crucial para el diseño de obras de infraestructura que deben estar preparadas para soportar eventos extremos con baja probabilidad de ocurrencia, pero con consecuencias potencialmente severas.

Tabla 9. Valores máximos y promedios de precipitación mensual y anual

PAUNA					
Año	Número de días con lluvia	Valores máximos de		Suma precipitación anual	
		Año	(mm)	Año	Vr Anual (mm)
1994	223	1994	73	1994	2353.8
1995	221	1995	107	1995	2670.8
1996	238	1996	62	1996	2273.5
1997	162	1997	104	1997	1783.5
1998	224	1998	72	1998	2562.2
1999	250	1999	66	1999	3001.7
2000	237	2000	71	2000	2281.6
2001	202	2001	74	2001	1974.4
2002	184	2002	76	2002	2469.5
2003	194	2003	92	2003	2336.4
2004	203	2004	73	2004	2128.3
2005	207	2005	54	2005	2275.5
2006	211	2006	93	2006	2336.7
2007	219	2007	54	2007	2418.5
2008	252	2008	71	2008	2720.9
2009	207	2009	78	2009	2004.1
2010	237	2010	87	2010	2821.6
2011	250	2011	76	2011	3462.6
2012	206	2012	63	2012	2104.4
2013	206	2013	70	2013	2055.9
2014	177	2014	85	2014	2074.7
2015	147	2015	86	2015	1706.7
2016	207	2016	82	2016	2121.6
2017	201	2017	114	2017	2435.2
2018	204	2018	84	2018	2232.4
2019	198	2019	79	2019	2009.2
2020	213	2020	70	2020	2169.9
2021	242	2021	60	2021	2498.9
2022	261	2022	73	2022	2797.8
2023	204	2023	64	2023	2091.8
N	**212.900**	**M**	**76.927**	**PT**	**2339.138**

Fuente: El estudio

Tabla 10. Intensidades probables (mm/h) para periodos de diseño

		Intensidades Probables (mm/h) para Periodos de Retorno (años)						
Duración (h)	Duración (min)	2	3	5	10	20	50	100
0.17	10	123.21	133.08	146.64	167.29	190.83	227.12	259.09
0.33	20	78.52	84.81	93.45	106.61	121.61	144.74	165.12
0.50	30	60.33	65.16	71.80	81.91	93.44	111.21	126.86
1.00	60	38.45	41.53	45.76	52.20	59.55	70.87	80.85
2.00	120	24.50	26.46	29.16	33.27	37.95	45.16	51.52
6.00	360	12.00	12.96	14.28	16.29	18.58	22.11	25.23

Fuente: El estudio

Complementando el análisis anterior, esta tabla presenta los valores de intensidades probables de precipitación (en mm/h) para diferentes duraciones y períodos de retorno en la zona de la estación Pauna.

Los datos muestran que, a medida que aumenta el período de retorno, los valores de intensidad también se incrementan para cada duración específica. Por ejemplo, para una duración de 30 minutos, la intensidad probable es de 60.33 mm/h para un período de retorno de 2 años, mientras que, para un período de retorno de 100 años, la intensidad aumenta a 111.21 mm/h.

Esta información es crucial para el diseño de infraestructura hidráulica y la planificación de estrategias de manejo de recursos hídricos en la región, ya que permite anticipar y dimensionar adecuadamente las capacidades de drenaje, control de inundaciones y aprovechamiento del agua, considerando eventos climáticos extremos con diferentes probabilidades de ocurrencia.

5. Morfometría de las áreas de drenaje

La morfometría de cuencas hidrográficas representa un campo de estudio científico especializado que analiza cuantitativamente las características geométricas, topológicas y estructurales de las unidades hidrológicas. Esta disciplina emerge como una herramienta fundamental para comprender la configuración espacial, la dinámica hidro-geomorfológica y los procesos de evolución geológica de los sistemas de drenaje.

El análisis morfométrico de cuencas hidrográficas permite establecer parámetros cuantitativos que revelan información crítica sobre la morfología del terreno, la red de drenaje, la capacidad de escorrentía, la susceptibilidad a procesos erosivos y la respuesta hidrológica ante diferentes condiciones ambientales. Mediante técnicas de medición precisas y herramientas geoespaciales avanzadas, los investigadores pueden caracterizar la geometría de los sistemas de drenaje, evaluando aspectos como la forma, la pendiente, la densidad de cauces y la distribución espacial de los elementos hidrológicos.

La importancia de la morfometría de cuencas se extiende más allá de la descripción geográfica, constituyéndose como una metodología fundamental para la gestión integral de recursos hídricos, la planificación territorial, la evaluación de riesgos ambientales y la comprensión de los procesos de transformación del paisaje. Al proporcionar una base cuantitativa para el análisis hidrológico, esta disciplina contribuye significativamente a la toma de decisiones en campos como la hidrología, geomorfología, conservación ambiental y planificación urbana y regional.

Fuente: El estudio

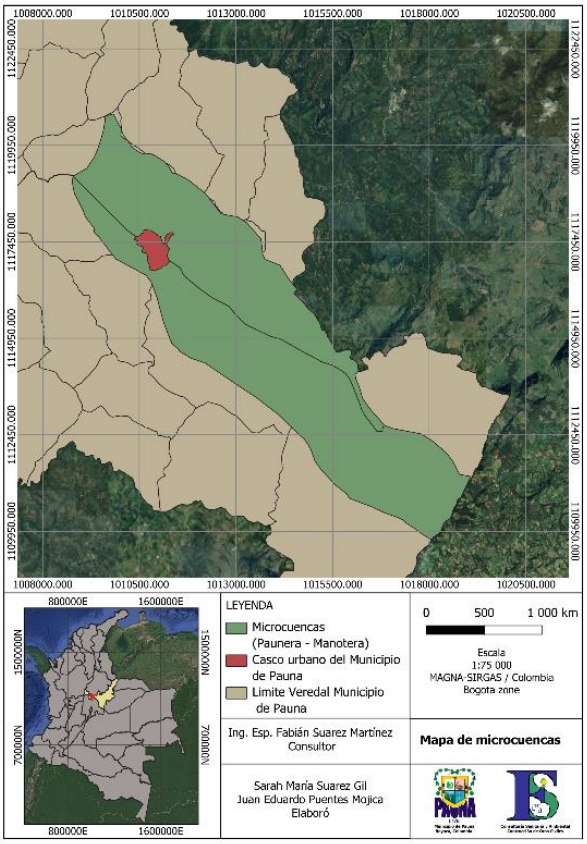


Figura 7. Microcuencas de estudio para el proyecto

5.2. Factores de forma

Los factores de forma en morfometría constituyen indicadores cuantitativos que permiten caracterizar la geometría de una cuenca hidrográfica, determinando su configuración espacial y potencial comportamiento hidrodinámico. Estos parámetros proporcionan una evaluación sistemática de la estructura morfológica, permitiendo analizar aspectos fundamentales como la capacidad de concentración de escorrentía, la respuesta hidrológica ante eventos de precipitación y la dinámica geomorfológica del sistema de drenaje.

Tabla 11. Geometría de las cuencas de estudio

Quebrada Manotera		Quebrada Paunera	
A(km2)	18.81	A(km2)	13.87
P(km)	29.612	P(km)	24.869
Lmax(km)	13.164	Lmax(km)	10.803
Bmax(km)	2.4259	Bmax(km)	2.1115

Fuente: El estudio

5.1.1. índice de Gravelius

El Índice de Gravelius o índice de compacidad mide la forma de una cuenca hidrográfica en relación con un círculo, la forma más eficiente para el drenaje.

$$K_c = \frac{P_c}{2\sqrt{\pi A_c}}$$

Un valor cercano a 1 indica una cuenca casi circular, lo que favorece una rápida concentración del flujo, mientras que valores mayores reflejan formas más alargadas o irregulares, asociadas con una respuesta hidrológica más lenta.

Tabla 12. Intervalos para clasificar el coeficiente de Gravelius

Clase	Rango	Descripción
K_c	1 a 1.25	Redonda
	1.25 a 1.5	Oblonga
	> 1.5	Rectangular

Fuente: Tomado de Corporación autónoma regional del Valle del Cauca

Este índice se emplea en estudios de escorrentías, modelos hidrológicos y gestión de riesgos de inundación, aunque no considera factores como pendiente, rugosidad del suelo o cobertura vegetal, por lo que debe complementarse con otros análisis.

5.1.2. Coeficiente de Homogeneidad

El coeficiente de homogeneidad se basa en la relación entre el área de la cuenca A y el producto entre la distancia más larga de manera longitudinal de la cuenca $L_{máx}$ y la distancia más larga de manera transversal de la cuenca $B_{máx}$, por lo tanto, el coeficiente de homogeneidad para la cuenca se denota como

$$C_H = \frac{A}{L_{máx} B_{máx}}$$

donde por notación si $C_H \approx 1$ se dice que es una cuenca circular y si $C_H \ll 1$ se considera a la cuenca con una geometría alargada

5.1.3. Factor forma

El factor de forma se basa en los mismos parámetros del coeficiente de homogeneidad expresando una relación entre el área de la cuenca A y el cuadrado de la distancia más larga de manera longitudinal de la cuenca $L_{máx}$, así, se expresa el factor de forma como

$$F = \frac{A}{L_{máx}^2}$$

donde nuevamente el CVC da una referencia de los resultados indicando que “el factor de forma mide las tendencias de crecidas rápidas e intensas si se presenta un evento de lluvias intensas” (CVC, s.f). De igual manera, la CVC proporciona una manera de entender el factor de forma.

Tabla 13. Intervalos para clasificar el factor de forma

Clase	Rango	Descripción
F	≈ 1	Redonda
	$\ll 1$	Alargada

Fuente: Tomado de Corporación autónoma regional del Valle del Cauca

5.1.4. índice de alargamiento

El índice de alargamiento es una relación entre los parámetros antes mencionados L_máx y B_máx, donde su expresión deja ver más fácilmente la inferencia de la misma, entre más grande sea L_máx con respecto a B_máx la cuenca será de una geometría alargada, por lo tanto, para esta situación F≫1, pero si B_máx tiene un valor similar a L_máx, la cuenca será de una geometría redonda, pues F≈1.

$$I_a = \frac{L_{máx}}{B_{máx}}$$

5.1.5. Relación de circularidad

La relación de circularidad expresa una relación entre el área de la cuenca P y el área de un círculo que tenga el mismo perímetro de la cuenca. Este parámetro se denota como:

$$R_c = \frac{A}{\frac{\pi}{4}\left(\frac{P}{\pi}\right)^2}$$

donde un estudio elaborado en México por parte del Colegio de postgraduados indica que los límites de la relación de circularidad toman valores de 1 para una cuenca circular y valores de 0.785 para una cuenca alargada. Si R_c≈1 la cuenca tiene una geometría circular y si R_c≪1, la cuenca tiene una geometría alargada.

5.1.6. Resultados

Echar un vistazo a estos datos morfométricos de las cuencas Manotera y Paunera resulta bastante interesante. Permiten tener una mejor comprensión de cómo son realmente estas áreas de drenaje y sus diferencias clave.

Por un lado, el índice de Gravelius indica que la cuenca Manotera tiene una forma más circular, con un valor de 1.88, mientras que Paunera muestra una silueta más alargada, con 1.93. Esto sugiere que la escorrentía en Manotera probablemente tienda a concentrarse más rápidamente, en comparación con la cuenca Paunera donde el agua tardaría un poco más en llegar a los cauces principales.

Otro dato relevante es la homogeneidad (relación perímetro/diámetro). Aquí vemos que Paunera tiene un valor de 0.82, bastante superior al 0.43 de Manotera. Esto reafirma la idea de que Paunera tiene una forma más elongada y menos compacta que su contraparte.

Los índices de forma y alargamiento apuntan en la misma dirección. Paunera presenta valores más elevados en ambos casos (0.16 y 5.12, respectivamente), lo que concuerda con su configuración más alargada en comparación a Manotera (0.08 y 5.46).

Por último, la relación de circularidad también respalda estas observaciones. Manotera tiene un valor de 0.28, más cercano a la unidad que el 0.27 de Paunera, confirmando que esta última cuenca se aleja más de una forma circular ideal.

En resumen, el análisis de estos parámetros morfométricos revela diferencias interesantes en la geometría y estructura espacial de estas dos cuencas. Información valiosa que sin duda ayudará a comprender mejor su comportamiento hidrológico y las implicaciones de manejo que puedan tener.

Tabla 14. Resultados de los factores de forma

	Manotera	Paunera
Gravelius (kc)	1.8837	1.9261
Homogeneidad (C_H)	0.4343	0.8246
Factor de forma (F)	0.0800	0.1612
Indice de alargamiento (Ia)	5.4264	5.1163
Relación de circularidad (Rc)	0.2818	0.2696

Fuente: El estudio

5.2. Factores de relieve

Los factores de relieve son elementos clave en la morfometría, especialmente en la hidrología, ya que influyen directamente en los procesos de escorrentía, distribución del agua y formación de cuencas.

La pendiente, la altitud, la forma del terreno y la orientación afectan la acumulación y el movimiento del agua en una cuenca hidrográfica. La pendiente, por ejemplo, determina la velocidad de la escorrentía, mientras que las áreas más elevadas actúan como divisores naturales de aguas, redirigiendo los flujos hacia diferentes cuerpos de agua. La forma del terreno puede afectar la formación de cuencas cerradas o abiertas, influyendo en la acumulación de agua en zonas bajas.

En términos hidrológicos, estos factores también inciden en la erosión y la infiltración del agua. Terrenos con pendiente pronunciada tienden a generar mayor escorrentía superficial, lo que puede aumentar el riesgo de inundaciones y arrastre de sedimentos. Por otro lado, áreas planas o con pendiente suave favorecen la infiltración del agua en el suelo, lo que es crucial para la recarga de acuíferos. La morfometría permite analizar estos factores de manera cuantitativa, proporcionando información esencial para la gestión de recursos hídricos, la prevención de desastres naturales y la planificación de infraestructuras hidrológicas.

Fuente: El estudio

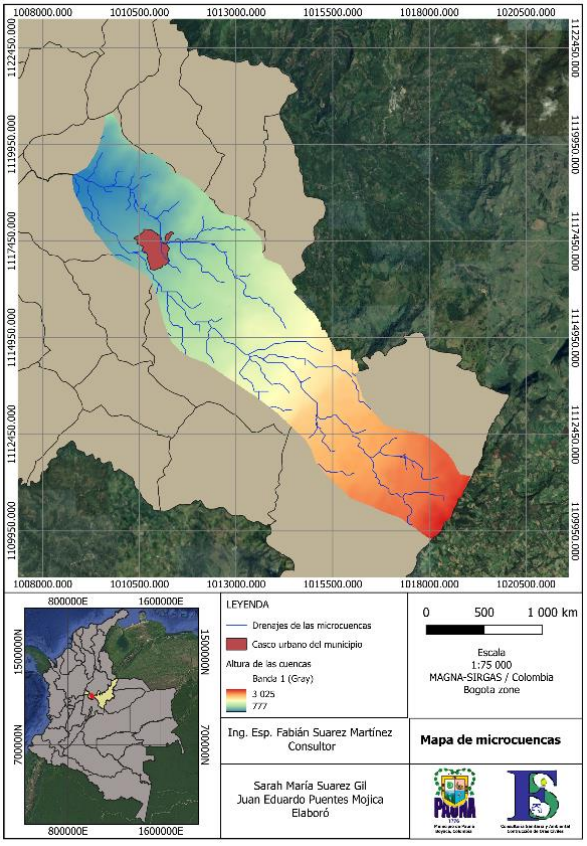


Figura 8. Drenajes y alturas de las microcuencas

5.2.1. Altura media

La altura media en un área geográfica se calcula promediando las elevaciones dentro de esa zona. En QGIS, esto se realiza utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) y la herramienta de Estadísticas de Zonas. El DEM contiene valores de elevación por píxel, representando la superficie del terreno. Para obtener la altura media, es necesario definir la zona de interés mediante un archivo vectorial (p. ej., polígonos que delimiten regiones) y luego aplicar el cálculo estadístico a los valores de elevación dentro de esas áreas.

En QGIS, el proceso comienza cargando el DEM y el vector de zonas. Después, se utiliza la herramienta Zonal Statistics (Estadísticas de Zona), disponible en el menú de procesamiento. Al configurarla, se

selecciona el DEM como capa raster, el vector como capa de zonas, y se elige el tipo de estadísticas a calcular, incluyendo la media. El resultado será un nuevo archivo vectorial o tabla que asigna a cada zona un valor de altura media, útil para análisis ambientales, hidrológicos o de planificación territorial.

5.2.2. Pendiente media de la cuenca

La pendiente media es un valor que indica la inclinación promedio de una superficie en un área determinada. Se calcula a partir de un modelo digital de elevaciones (DEM), el cual proporciona datos sobre las variaciones de altura del terreno. En QGIS, la pendiente se puede obtener a partir de un DEM usando la herramienta de *"Análisis de pendientes"* (Raster -> Análisis de Terreno -> Pendiente), que calcula la inclinación de cada celda en grados o porcentaje de pendiente. Sin embargo, cuando se desea obtener la pendiente media para una zona específica, como un polígono de interés, se puede usar la herramienta *"Estadísticas de zona"*.

La herramienta *"Estadísticas de zona"* (Raster -> Zonal Statistics) permite calcular estadísticas de un raster (como el DEM) dentro de las zonas definidas por un polígono. Para obtener la pendiente media de una zona, primero se debe calcular el raster de pendiente a partir del DEM. Luego, con el polígono de la zona de interés, se puede ejecutar la herramienta *"Estadísticas de zona"* para extraer la pendiente media dentro de ese polígono, seleccionando la capa raster de pendiente y configurando la estadística de interés como "media". Esta herramienta proporciona un valor preciso de la pendiente promedio para el área definida, lo que es útil para análisis de terreno y planificación.

5.2.3. Altura mediana

5.2.3.1. Curva hipsométrica

Las curvas hipsométricas son representaciones gráficas que muestran la distribución de la altitud o elevación de un terreno dentro de una determinada área. Estas curvas permiten visualizar cómo se distribuyen las distintas alturas a lo largo de una región, facilitando la comprensión de la topografía y la variabilidad en la elevación. La información se presenta generalmente en un gráfico en el que se coloca en el eje horizontal el porcentaje o área acumulada de la superficie del terreno, y en el eje

vertical se representa la altitud. Este tipo de curva es útil para estudiar la forma del relieve y sus características, como la presencia de montañas, valles, planicies, etc.

Las curvas hipsométricas son utilizadas en diversas disciplinas, como la geografía, la planificación territorial, la ingeniería y la ecología. Por ejemplo, en estudios de cuencas hidrográficas, permiten entender la distribución de las altitudes que influencian el drenaje y los procesos hidrológicos. En el campo de la geografía, ayudan a identificar la proporción de una región que se encuentra por encima o por debajo de ciertos umbrales altitudinales. Para generar curvas hipsométricas, generalmente se utilizan modelos digitales de elevación (DEM), que proporcionan información precisa sobre la altitud de cada punto de un terreno, y se analizan con herramientas de SIG como QGIS.

Fuente: El estudio

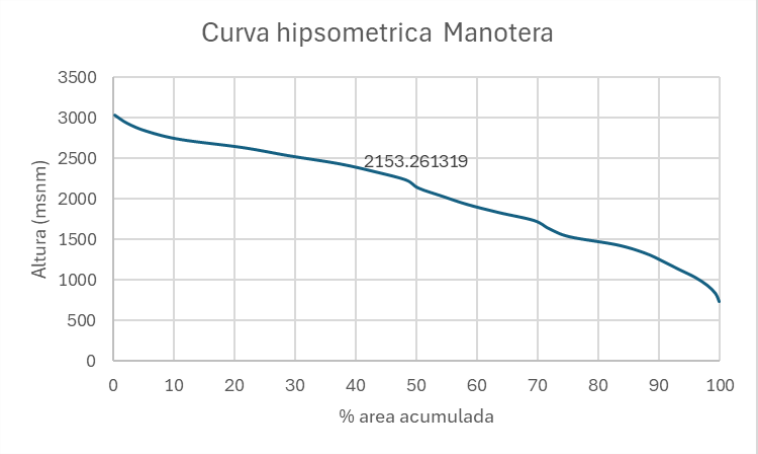


Figura 9. Curva Hipsométrica microcuenca Manotera

La curva hipsométrica de la cuenca Manotera presenta un análisis detallado de la distribución espacial de la elevación dentro de esta cuenca hidrográfica. Estos datos proporcionan información valiosa sobre la geomorfología y las características topográficas de la zona.

Al examinar la curva, se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de área acumulada, la elevación disminuye de manera gradual y constante. Esto indica que la cuenca Manotera tiene una topografía relativamente uniforme, sin cambios bruscos de elevación.

Analizando la forma de la curva, se aprecia que tiene un perfil característico de cuencas con predominio de laderas de pendiente suave y una planicie de inundación bien desarrollada. El punto de inflexión alrededor del 20% del área acumulada sugiere una transición entre las partes altas de la cuenca y las zonas de menor elevación.

Estos datos hipsométricos son fundamentales para comprender la dinámica hidrológica de la cuenca Manotera. La distribución de elevaciones influye directamente en los procesos de escorrentía, infiltración y almacenamiento de agua, lo cual a su vez afecta aspectos como los tiempos de respuesta ante eventos de precipitación, la susceptibilidad a inundaciones y la disponibilidad de recursos hídricos.

En resumen, el análisis de esta curva hipsométrica proporciona información detallada sobre la geomorfología de la cuenca Manotera, lo cual es esencial para la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos en la región, así como para el diseño de infraestructura y la evaluación de riesgos asociados a fenómenos hidrológicos.

Fuente: El estudio

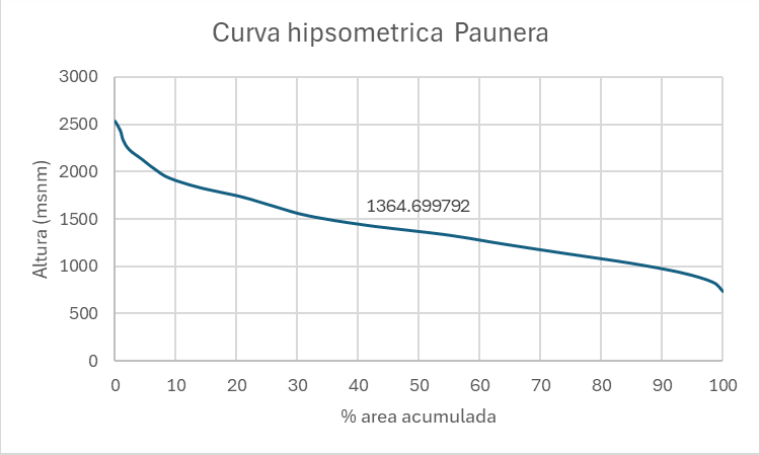


Figura 10. Curva hipsométrica microcuenca Paunera

La curva hipsométrica de la cuenca Paunera presenta un perfil característico de una cuenca con una topografía más contrastada y accidentada en comparación con la cuenca Manotera.

Al analizar la forma de la curva, se observa que la disminución de la elevación a medida que aumenta el porcentaje de área acumulada es mucho más pronunciada que en el caso de Manotera. Esto indica que Paunera tiene una mayor variabilidad altitudinal, con sectores de mayor elevación y zonas de menor cota más definidas.

El punto de inflexión de la curva, ubicado alrededor del 30% del área acumulada, sugiere la presencia de una transición más marcada entre las partes altas y bajas de la cuenca. Esta distribución bimodal de las elevaciones podría estar asociada a características geomorfológicas particulares, como la presencia de relieves escarpados, laderas pronunciadas y sectores de planicie de inundación más limitados.

Estos rasgos hipsométricos de la cuenca Paunera tienen implicaciones directas en los procesos hidrológicos. La mayor variabilidad altitudinal y la transición más abrupta entre zonas altas y bajas pueden generar respuestas más diferenciadas ante eventos de precipitación, con tiempos de concentración más cortos en las áreas de mayor pendiente y potencial de generación de escorrentía superficial.

En resumen, el análisis de la curva hipsométrica de la cuenca Paunera revela una topografía más accidentada y diversa en comparación con Manotera, lo cual debe ser considerado en la planificación y gestión integral de los recursos hídricos de la región, así como en el diseño de infraestructura y la evaluación de riesgos asociados a fenómenos hidrológicos extremos.

Fuente: El estudio

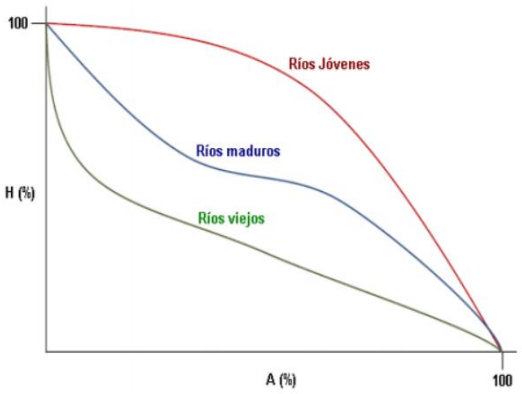


Figura 11. Ilustración sobre los tipos de afluentes respecto a su curva hipsométrica

Se observa que la cuenca Manotera presentaba una topografía más uniforme y suave, con una transición gradual en la disminución de la elevación. Esto se asemeja más al perfil de la curva hipsométrica para "Ríos maduros", donde el cambio de elevación es más moderado a lo largo del porcentaje de área acumulada.

Por otro lado, la cuenca Paunera mostraba una mayor variabilidad altitudinal y una transición más abrupta entre las zonas altas y bajas. Este tipo de perfil topográfico se relaciona mejor con la curva hipsométrica para "Ríos jóvenes", la cual presenta una pendiente más pronunciada, indicando cambios más bruscos en la elevación.

Adicionalmente, la presencia de un punto de inflexión más marcado en la curva de Paunera sugiere cierta similitud con la forma de la curva para "Ríos viejos", donde se aprecia una transición más definida entre las partes altas y bajas de la cuenca.

Entonces, podemos decir que la cuenca Manotera presenta rasgos más cercanos a un sistema fluvial maduro, con una topografía más suavizada, mientras que la cuenca Paunera muestra características más propias de un sistema joven, con una mayor variabilidad altitudinal y transiciones más abruptas.

Este tipo de analogías entre las curvas hipsométricas de las cuencas y los perfiles típicos de ríos en diferentes estadios de desarrollo nos ayuda a comprender mejor la geomorfología de estas áreas de

drenaje y su potencial respuesta hidrológica ante eventos de precipitación o intervenciones en el territorio.

5.2.4. Longitud cauce

La longitud de cuenca principal constituye un elemento fundamental en la caracterización hidrológica de una cuenca hidrográfica. Esta variable, que representa la distancia lineal recorrida por el cauce principal desde su nacimiento hasta su desembocadura, proporciona información valiosa sobre la forma, la respuesta hidrológica y la conectividad de la cuenca.

5.2.5. Longitud cauce principal

La longitud del cauce principal es un parámetro morfométrico de suma importancia en el análisis de cuencas hidrográficas, ya que influye de manera directa en su respuesta hidrológica. Una mayor longitud del cauce principal implica un mayor tiempo de concentración, es decir, el tiempo que tarda el agua en recorrer toda la cuenca desde su punto más alejado hasta la salida. Esto significa que cuencas con cauces principales más largos tienden a tener eventos de crecida más lentos y menos picudos, en comparación con cuencas más cortas. Además, la longitud del cauce principal está relacionada con la forma de la cuenca y su relieve, influyendo en procesos como la erosión, el transporte de sedimentos y la calidad del agua.

5.2.6. Pendiente media del cauce

Este parámetro fue calculado con el perfil del cauce más largo identificado en la cuenca, para ello se hizo uso del software QGIS y de un complemento que permite a través de modelo de elevación calcular un perfil del terreno, el cual será el perfil del cauce más largo dentro de la cuenca. Enseguida se analizó el perfil generado por la aplicación para determinar secciones del cauce en donde no haya cambios de pendiente significativos.

Perfil topográfico de Paunera

Fuente: El estudio

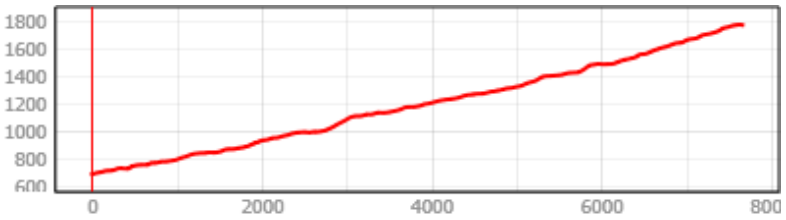


Figura 12. Topografia de Paunera

Perfil topográfico de Manotera

Fuente: El estudio

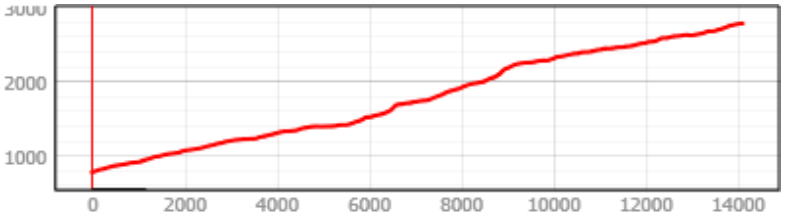


Figura 13. Topografia de Manotera

5.2.7. Resultados

Los resultados morfométricos de las cuencas Manotera y Paunera proporcionan información valiosa para el estudio hidrológico de la zona. Analizando los datos, se pueden destacar algunas diferencias clave entre estas dos cuencas.

En cuanto a las alturas y pendientes, la cuenca Manotera presenta una mayor altura media (2022,87 msnm) y una pendiente media más pronunciada (13,24 grados) en comparación con Paunera (1356,53 msnm y 16,07 grados, respectivamente). Estas diferencias en elevación y pendiente pueden influir significativamente en la dinámica de escurrimiento y la respuesta hidrológica de cada cuenca.

Por otro lado, la longitud total del cauce principal en la cuenca Manotera (47,37 km) es más del doble que en Paunera (20,51 km), lo cual sugiere que Manotera tiene una red de drenaje más extensa y compleja. Esto podría repercutir en los tiempos de concentración de la escorrentía y la susceptibilidad a crecidas.

En cuanto a la pendiente media del cauce principal, ambas cuencas presentan valores similares, con 14,13% en Manotera y 14,63% en Paunera. Esta característica afecta directamente la velocidad de flujo y el potencial erosivo de la corriente.

Estos datos morfométricos brindan información fundamental para comprender el comportamiento hidrológico de estas cuencas. Las diferencias en alturas, pendientes y longitudes de cauce se traducen en distintas respuestas ante eventos de precipitación, como tiempos de concentración, volúmenes de escorrentía, picos de caudal y procesos de erosión y sedimentación. Por lo tanto, estos resultados serán insumos clave para modelar y simular la dinámica hídrica de la zona, evaluar riesgos por crecidas, diseñar obras de control y manejo de agua, y en general, planificar un adecuado aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos en la región.

Tabla 15. Resultados de factores de relieve

	Manotera	Paunera
Altura media (msnm)	2022.87	1356.53
Pendiente media cuenca (grados)	13.24	16.07
Altura mediana (msnm)	2153.26132	1364.69
Longitud cauce (km)	47.37	20.513
Longitud cauce principal (km)	14.19	7.408
Pendiente media del cauce principal (%)	14.1296688	14.6328294

Fuente: El estudio

5.3. Factores de cauce

5.3.1. Orden de Horton Strhaler

Para obtener el orden de la cuenca se aplicó el modelo de Horton-Strhaler que dice que siempre que un arroyo no tiene afluentes, independientemente de donde se encuentre en la cuenca, este será de primer orden. Cuando se unen dos o más cauces del mismo orden, el orden del cauce se incrementa en 1. El orden de la cuenca será entonces el número de orden mayor, el cual a su vez corresponde al cauce principal de la cuenca.

5.3.2. Leyes de Horton

Con relación al número de orden de los cauces, Horton en 1945 encontró 3 leyes, conocidas como las leyes de Horton, las cuales dicen que: La relación de bifurcación, la relación de longitud y la relación de áreas permanecen constantes de un orden a otro en una cuenca. Estas relaciones se explican a continuación. La relación de áreas no se calculó para este proyecto.

- **Relación de bifurcación (Rb):**

Se define como la relación entre el número de cauces de cualquier orden (N_u) y el número de cauces de orden superior (N_{u+1}).

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

La tendencia lineal descendente observada en la gráfica tiene implicaciones importantes en la comprensión de la dinámica de la red de drenaje de Manotera. Esta relación inversa entre el orden del cauce y el número de cauces es característica de las redes de drenaje naturales y se explica por el proceso de confluencia de los cauces a medida que aumentan de orden. Sin embargo, es importante destacar que esta gráfica solo muestra una parte de la complejidad de la red de drenaje.

Fuente: El estudio

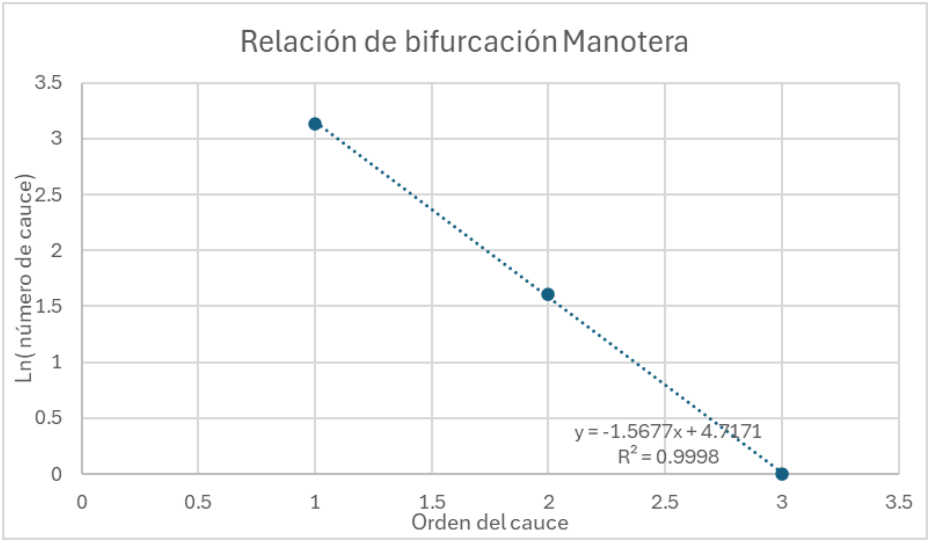


Figura 14. Relación de bifurcación para Manotera

La gráfica presentada muestra una relación lineal negativa entre el logaritmo natural del número de cauces (en el eje y) y el orden del cauce (en el eje x) en la zona de Paunera. Esto significa que, al igual que en Manotera, a medida que aumenta el orden de un cauce, el número de cauces disminuye de forma exponencial en Paunera.

El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.786, lo que indica que el modelo lineal ajustado a los datos explica una gran parte de la variabilidad observada, aunque no tanto como en el caso de Manotera. Esta relación, aunque fuerte, sugiere un comportamiento ligeramente menos regular y predecible de la red de drenaje en Paunera en comparación con Manotera.

Fuente: El estudio

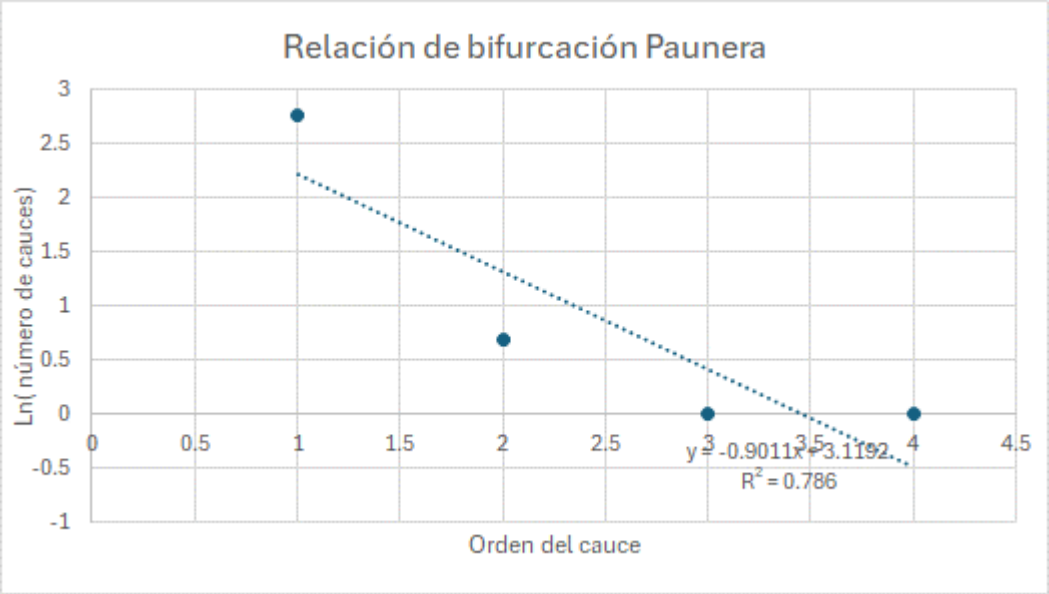


Figura 15. Relación de bifurcación para Paunera

5.3.3. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje de una cuenca es la relación entre la longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividida por la superficie total de la cuenca. Dicha relación es representada por:

$$D_D = \frac{L_T}{A}$$

Esta relación permite catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, con esta se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km2 o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. Esta catalogación se puede determinar bajo los siguientes criterios, los cuales han sido determinados de forma empírica llegando a esa conclusión.

Tabla 16. Catalogación de la densidad de drenaje de una cuenca

Clase	Rango	Descripción
D_D	< 1.4	Pobremente drenada
	> 1.4	Bien drenada

5.3.4. Resultados

Los resultados obtenidos al comparar las variables de relación de bifurcación y densidad de drenaje en las zonas de Manotera y Paunera revelan diferencias significativas en sus características geomorfológicas.

Manotera muestra una red de drenaje notablemente más compleja y densa en comparación con Paunera. La alta relación de bifurcación indica una mayor ramificación de los canales, lo cual sugiere un relieve más accidentado y una historia geológica más activa, posiblemente con procesos erosivos más intensos. Por otro lado, la elevada densidad de drenaje en Manotera evidencia una mayor capacidad para drenar el agua, lo que podría estar relacionado con suelos más permeables o una mayor pendiente del terreno.

En contraste, Paunera presenta una red de drenaje menos desarrollada, con una menor relación de bifurcación y densidad de drenaje. Estas características sugieren un relieve menos accidentado y una historia geológica más estable, con procesos erosivos menos intensos.

Tabla 17. Resultados de cuenca

	Manotera	Paunera
Relación de bifurcación	4.8181	2.1810
densidad de drenaje	2.5183	1.4789

Fuente: El estudio

6. Delimitación de áreas de drenaje y caudales de respuesta hidrológica

El contenido de este numeral fue extraído del Informe de estudios y diseños hidráulico del municipio de Pauna. Para la determinar los caudales se utilizaron los datos de intensidad determinados para la curva IDF de la estación PAUNA [23125090] (Tabla 10).

6.1. Caudales de aguas lluvias

El **método racional** es uno de los métodos más utilizados para calcular el caudal máximo de escorrentía en áreas urbanas y rurales debido a lluvias intensas. Este método se basa en una fórmula simple que relaciona la lluvia, la superficie drenada, y el coeficiente de escorrentía.

Fórmula del Método Racional

La fórmula general es:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

donde:

- QQQ es el **caudal máximo** (en **m³/s**),
- CCC es el **coeficiente de escorrentía**, que depende del tipo de suelo, uso del terreno, y cobertura del área,
- III es la **intensidad de la lluvia** (en **mm/h**),
- AAA es el **área de cuenca** (en **ha** o **km²**).

Descripción de los parámetros

1. **Coeficiente de escorrentía (C):**

El coeficiente de escorrentía refleja la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía superficial. Su valor depende de las características del terreno, como la impermeabilidad del suelo y el tipo de cobertura. Algunos ejemplos de valores de CCC son:

- Áreas pavimentadas o asfalto: C≈0.8−0.95C
- Áreas de césped o vegetación densa: C≈0.3−0.5
- Suelos agrícolas o bosques: C≈0.2−0.4C

2. Intensidad de la lluvia (I):

La intensidad de la lluvia se refiere a la cantidad de lluvia que cae en un período de tiempo determinado. Suele expresarse en **mm/h** (milímetros por hora). Se calcula a partir del cálculo del tiempo de concentración y se verifica en las curvas IDF del municipio de Pauna.

3. Área de cuenca (A):

El área de cuenca es la extensión territorial que contribuye al flujo de agua, usualmente en **hectáreas (ha)** o **kilómetros cuadrados (km²)**.

Paso a paso para el cálculo:

1. **Determinar el área de la cuenca (A)**: Estima o calcula el área en hectáreas o kilómetros cuadrados de la cuenca que contribuye al caudal de la lluvia.
2. **Establecer el coeficiente de escorrentía (C)**: Selecciona el valor adecuado de coeficiente según las características del terreno.
3. **Determinar la intensidad de la lluvia (I)**: Se verifica a partir del tiempo de concentración y se compara en las curvas IDF del municipio.
4. **Sustituir los valores en la fórmula** para calcular el caudal máximo.

RESULTADOS HIRÁULICOS RED ALCANTARILLADO PLUVIAL

Fuente: El Autor

TRAMO	POZO INICIAL	POZO FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA DEL TRAMO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (In)	MATERIAL	CAUDAL (l/s)	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA q/Q (%)	FUERZA TRACTIVA (PASCAL)
CO-42	PLL-26 (Nuevo)	PLL-32 (Nuevo)	3.61	30.1	24	PVC	215.3	9.468	5.33	8.4	66.982
CO-43	PLL-32 (Nuevo)	PLL-33 (Nuevo)	4.07	43.6	24	PVC	579.56	5.55	5.85	29.5	67.307
CO-69	PLL-30	PLL-31	4.00	15	12	PVC	57.81	6.4	3.41	17.4	31.085
CO-70	PLL-24 (Nuevo)	PLL-31	4.13	12.4	12	PVC	193.73	12.903	6.14	41.1	89.42
CO-71	PLL-23 (Nuevo)	PLL-24 (Nuevo)	3.08	51	12	PVC	195.62	6.627	4.8	57.9	52.234
CO-72	PLL-20	PLL-21	3.20	41.1	12	PVC	118.33	4.574	3.68	42.2	31.995
CO-81	PLL-2	PLL-3	2.51	34.3	12	PVC	95.87	14.606	5.3	19.1	73.839
CO-82	PLL-1	PLL-2	2.29	43.6	10	PVC	95.87	5.344	3.71	51.4	33.603
CO-83	PLL-1	PLL-6	2.66	45.1	10	PVC	95.86	3.747	3.24	61.4	25.121
CO-103	PLL-63 (Nuevo)	PLL-64 (Nuevo)	3.66	62.4	16	PVC	408.7	11.811	7.16	42.1	110.128
CO-104	PLL-55	PLL-56	2.92	48	24	PVC	383.44	5.354	5.15	19.9	55.051
CO-105	PLL-56	PLL-57 (Nuevo)	3.11	42.5	24	PVC	380.18	5.082	5.04	20.3	52.647
CO-106	PLL-57 (Nuevo)	O-2	6.20	17.2	36	PVC	779.69	18.43	9.39	7.4	184.866
CO-132	PLL-12 (Nuevo)	PLL-13	3.25	37.9	16	PVC	493.84	9.208	6.84	57.6	96.576
CO-133	PLL-13	PLL-14	3.53	35.7	16	PVC	491.81	5.994	5.79	71.1	67.52

TRAMO	POZO INICIAL	POZO FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA DEL TRAMO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (In)	MATERIAL	CAUDAL (l/s)	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA q/Q (%)	FUERZA TRACTIVA (PASCAL)
CO-134	PLL-14	PLL-9	3.64	4	20	PVC	604.87	5.635	5.99	49.8	69.992
CO-135	PLL-9	PLL-15	3.06	48.7	20	PVC	604.56	5.595	5.98	49.9	69.572
CO-136	PLL-15	PLL-18	3.44	30.3	20	PVC	600.71	7.657	6.7	42.4	89.471
CO-161	PLL-59	PLL-60	2.70	40.8	10	PVC	316.08	28.676	9.3	73.2	203.683
CO-162	L-60	PLL-61	2.40	29.6	10	PVC	314.85	24.054	8.67	79.6	175.024
CO-164	PLL-61	PLL-63 (Nuevo)	3.07	23.2	16	PVC	313.89	7.802	5.73	39.8	71.147
CO-166	PLL-64 (Nuevo)	PLL-65 (Nuevo)	3.61	15.2	16	PVC	405.46	6.579	5.74	56	68.281
CO-167	PLL-65 (Nuevo)	PLL-57 (Nuevo)	3.47	26.4	24	PVC	404.48	4.318	4.84	23.4	47.518
CO-179	PLL-10A	PLL-12 (Nuevo)	3.38	90.7	16	PVC	368.85	7.409	5.87	48	72.616
CO-180	PLL-18	PLL-19	4.52	7.4	20	PVC	787.55	3.378	5.2	83.7	49.818
CO-181	PLL-19	O-3	3.34	54.9	24	PVC	786.74	11.475	8.28	27.9	135.925
CO-182	PLL-66 (Nuevo)	PLL-55	2.72	50.4	24	PVC	323.57	7.956	5.65	13.8	69.865
CO-183	PLL-67 (Nuevo)	PLL-10	3.21	67.1	16	PVC	183.21	7.869	4.97	23.1	57.461
CO-196	PLL-10	PLL-62	3.32	68.6	10	PVC	78.55	3.426	2.98	52.6	21.725
CO-198	PLL-40	PLL-39	3.16	46	10	PVC	63.53	10.174	4.2	24.7	47.763
CO-199	PLL-16	PLL-39	2.99	33.5	10	PVC	63.53	4.388	3.1	37.6	24.449
CO-200	PLL-16	PLL-17	2.54	83.8	8	PVC	63.52	2.47	2.44	90.9	14.831
CO-201	PLL-17	PLL-18	3.25	90.7	8	PVC	63.52	6.692	3.64	55.2	34.556
CO-202	PLL-45	PLL-44	3.06	11.6	10	PVC	174.31	8.534	5.09	74	60.818
CO-203	PLL-44	PLL-43	3.00	12.1	10	PVC	174.61	36.446	8.82	35.9	199.205
CO-204	PLL-43	PLL-42	3.71	10.5	10	PVC	174.9	26.571	7.86	42.1	154.711
CO-205	PLL-42	PLL-41	4.47	44.6	10	PVC	176.36	16.771	6.63	53.4	106.943
CO-214	PLL-41	PLL-40	4.10	8.5	10	PVC	176.64	16.118	6.53	54.6	103.583

TRAMO	POZO INICIAL	POZO FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA DEL TRAMO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (In)	MATERIAL	CAUDAL (l/s)	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA q/Q (%)	FUERZA TRACTIVA (PASCAL)
CO-228	PLL-47	PLL-48	2.93	73.2	24	PVC	1022.79	7.008	7.41	46.4	101.729
CO-231	PLL-48	PLL-49	3.19	41.9	24	PVC	1101.34	7.375	7.7	48.7	109.07
CO-232	PLL-49	PLL-50	3.55	9.9	24	PVC	1094.84	9.192	8.34	43.4	130.038
CO-233	PLL-50	PLL-52	3.27	75.1	24	PVC	1146	5.672	7.04	57.8	89.327
CO-234	PLL-52	O-5	2.37	41.3	24	PVC	1223.95	9.564	8.71	47.5	140.151
CO-235	PLL-51	PLL-52	3.23	70.2	12	PVC	92.32	12.991	5.02	19.5	66.261
CO-236	PLL-47	PLL-47A	2.99	41.3	24	PVC	851.39	6.199	6.75	41.1	85.834
CO-237	PLL-47A	PLL-45	3.36	35.2	24	PVC	856.06	7.386	7.22	37.8	99
CO-240	PLL-45	PLL-38	4.06	82.3	24	PVC	691.28	7.23	6.76	30.9	89.301
CO-246	PLL-34	PLL-35	3.71	40.7	12	PVC	125.42	8.01	4.59	33.8	51.322
CO-247	PLL-35	PLL-36	2.60	26.2	12	PVC	124.38	19.847	6.36	21.3	104.989
CO-248	PLL-36	PLL-38	3.70	12.1	12	PVC	123.89	8.512	4.68	32.4	53.61
CO-251	PLL-8	PLL-14	3.01	84.5	8	PVC	117.13	9.538	4.76	85.3	56.522
CO-253	PLL-12 (Nuevo)	PLL-11 (Nuevo)	3.45	76.4	10	PVC	130.62	9.882	5.04	51.5	62.182
CO-259	PLL-23 (Nuevo)	PLL-23A	3.15	19.3	12	PVC	115.96	13.523	5.44	24	75.256
CO-260	PLL-23A	PLL-22	3.10	7.1	12	PVC	116.17	4.225	3.56	43.1	29.803
CO-261	PLL-22	PLL-21	2.80	35.8	12	PVC	117.14	5.475	3.92	38.2	36.822
CO-277	PLL-26 (Nuevo)	PLL-25	2.87	34.1	16	PVC	217.21	7.889	5.21	27.4	61.82
CO-278	PLL-25	PLL-71 (Nuevo)	3.01	23.9	16	PVC	218.51	8.41	5.34	26.7	65.199
CO-279	PLL-71 (Nuevo)	PLL-5	3.15	53.7	12	PVC	221.68	6.406	4.87	66.8	53.025
CO-281	PLL-5	PLL-4	3.12	70.2	12	PVC	224.78	13.846	6.55	46.1	100.218
CO-284	PLL-3	PLL-4	2.94	19.3	12	PVC	94.75	12.902	5.05	20.1	66.629
CO-285	PLL-6	PLL-68 (Nuevo)	2.80	16.9	16	PVC	184.97	1.598	2.78	51.8	16.119

TRAMO	POZO INICIAL	POZO FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA DEL TRAMO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (In)	MATERIAL	CAUDAL (l/s)	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA q/Q (%)	FUERZA TRACTIVA (PASCAL)
CO-286	PLL-68 (Nuevo)	PLL-67 (Nuevo)	2.95	60.5	16	PVC	184.48	3.802	3.82	33.5	32.358
CO-293	PLL-31	PLL-32 (Nuevo)	4.64	37.7	24	PVC	367.81	11.485	6.68	13	98.46
CO-295	PLL-33 (Nuevo)	PLL-38	4.23	66.2	24	PVC	574.88	5.408	5.78	29.7	65.715
CO-297	PLL-46	PLL-47	2.93	54.1	12	PVC	178.61	15.656	6.45	34.4	101.069
CO-298	PLL-34	PLL-69 (Nuevo)	3.59	42.1	12	PVC	126.31	13.99	5.63	25.7	80.159
CO-299	PLL-69 (Nuevo)	PLL-70 (Nuevo)	3.22	48.7	12	PVC	127.76	5.277	3.96	42.4	36.988
CO-300	PLL-70 (Nuevo)	PLL-28	3.45	39.6	12	PVC	129.68	1.439	2.41	82.4	12.685
CO-301	PLL-28	PLL-27 (Nuevo)	2.54	36.7	12	PVC	131.53	1.281	2.3	88.6	11.479
CO-306	PLL-63 (Nuevo)	PLL-336 (Nuevo)	3.27	24.5	16	PVC	96.45	9.102	4.36	11.3	48.92
CO-313	PLL-10	PLL-10A	3.36	6	16	PVC	259.06	4.667	4.51	42.5	43.657

Tabla 18. Resultados hidráulicos modelación optimización alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado.

Fuente: El Autor

ID POZO	COTA TERRENO (m)	COTA BATEA (m)	DIAMETRO DE POZO (m)	ALTURA DE POZO A BATEA (m)	CAUDAL DE ENTRADA (l/s)	CAUDAL DE SALIDA (l/s)	PROFUNDIDAD DE AGUA EN EL POZO (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO DE ENTRADA	GRADIENTE HIDRÁULICO DE SALIDA
PLL-1	1,159.13	1,157.99	1.20	1.34	0	191.73	0.24	1,158.23	1,158.23
PLL-2	1,156.81	1,155.66	1.20	1.35	95.87	95.87	0.24	1,155.90	1,155.90
PLL-3	1,152.01	1,150.65	1.20	1.56	94.75	94.75	0.24	1,150.89	1,150.89
PLL-4	1,149.74	1,148.16	1.20	1.78	94.09	224.78	0.3	1,148.46	1,148.46
PLL-5	1,139.98	1,138.44	1.20	1.74	221.68	221.68	0.3	1,138.74	1,138.74
PLL-6	1,157.82	1,156.30	1.20	1.72	95.86	184.97	0.31	1,156.61	1,156.61
PLL-8	1,145.05	1,143.88	1.20	1.37	0	117.13	0.2	1,144.08	1,144.08
PLL-9	1,137.39	1,135.59	1.20	2.00	604.56	604.56	0.48	1,136.08	1,136.08
PLL-10	1,149.99	1,148.45	1.20	1.74	259.06	259.06	0.36	1,148.81	1,148.81
PLL-10A	1,149.99	1,148.17	1.20	2.02	258.86	368.85	0.39	1,148.56	1,148.56
PLL-11 (Nuevo)	1,150.89	1,149.00	1.20	2.09	0	130.62	0.25	1,149.25	1,149.25
PLL-12 (Nuevo)	1,143.01	1,141.45	1.20	1.76	493.84	493.84	0.4	1,141.85	1,141.85
PLL-13	1,139.65	1,137.96	1.20	1.89	491.81	491.81	0.4	1,138.36	1,138.36
PLL-14	1,137.66	1,135.82	1.20	2.04	604.87	604.87	0.48	1,136.30	1,136.30
PLL-15	1,134.13	1,132.87	1.20	1.46	600.71	600.71	0.48	1,133.35	1,133.35
PLL-16	1,140.16	1,138.69	1.20	1.67	0	127.05	0.2	1,138.89	1,138.89
PLL-17	1,137.69	1,136.62	1.20	1.27	63.52	63.52	0.2	1,136.82	1,136.82
PLL-18	1,132.73	1,130.55	1.20	2.38	662.1	787.55	0.5	1,131.05	1,131.05
PLL-19	1,132.64	1,130.30	1.20	2.54	786.74	786.74	0.56	1,130.86	1,130.86
PLL-20	1,145.31	1,143.51	1.20	2.00	0	118.33	0.26	1,143.77	1,143.77
PLL-21	1,143.03	1,141.63	1.20	1.60	117.14	117.14	0.26	1,141.89	1,141.89
PLL-22	1,141.07	1,139.67	1.20	1.60	116.17	116.17	0.26	1,139.93	1,139.93
PLL-23 (Nuevo)	1,138.21	1,136.76	1.20	1.65	115.58	195.62	0.3	1,137.06	1,137.06
PLL-23A	1,141.07	1,139.37	1.20	1.90	115.96	115.96	0.26	1,139.63	1,139.63
PLL-24 (Nuevo)	1,135.01	1,133.38	1.20	1.83	193.73	193.73	0.3	1,133.68	1,133.68
PLL-25	1,134.39	1,132.99	1.20	1.60	217.21	217.21	0.33	1,133.32	1,133.32
PLL-26 (Nuevo)	1,131.77	1,130.30	1.20	1.67	215.3	215.3	0.3	1,130.60	1,130.60
PLL-27 (Nuevo)	1,141.67	1,140.44	1.20	1.43	0	131.53	0.27	1,140.71	1,140.71
PLL-28	1,141.28	1,139.97	1.20	1.51	129.68	129.68	0.27	1,140.24	1,140.24
PLL-30	1,134.24	1,132.74	1.20	1.70	0	57.81	0.19	1,132.93	1,132.93
PLL-31	1,134.28	1,131.78	1.20	2.70	250.95	367.81	0.4	1,132.18	1,132.18
PLL-32 (Nuevo)	1,129.59	1,127.45	1.20	2.34	579.56	579.56	0.49	1,127.94	1,127.94
PLL-33 (Nuevo)	1,126.96	1,125.03	1.20	2.13	574.88	574.88	0.49	1,125.52	1,125.52
PLL-34	1,133.45	1,130.94	1.20	2.71	125.42	125.42	0.27	1,131.21	1,131.21
PLL-35	1,128.88	1,127.68	1.20	1.40	124.38	124.38	0.27	1,127.95	1,127.95
PLL-36	1,123.88	1,122.48	1.20	1.60	123.89	123.89	0.27	1,122.75	1,122.75

ID POZO	COTA TERRENO (m)	COTA BATEA (m)	DIAMETRO DE POZO (m)	ALTURA DE POZO A BATEA (m)	CAUDAL DE ENTRADA (l/s)	CAUDAL DE SALIDA (l/s)	PROFUNDIDAD DE AGUA EN EL POZO (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO DE ENTRADA	GRADIENTE HIDRÁULICO DE SALIDA
PLL-38	1,123.75	1,121.45	1.20	2.50	691.28	691.28	0.53	1,121.98	1,121.98
PLL-39	1,138.74	1,137.22	1.20	1.72	63.53	63.53	0.2	1,137.42	1,137.42
PLL-40	1,134.18	1,132.54	1.20	1.84	62.27	176.64	0.25	1,132.79	1,132.79
PLL-41	1,133.63	1,131.17	1.20	2.66	176.36	176.36	0.25	1,131.42	1,131.42
PLL-42	1,125.70	1,123.69	1.20	2.21	174.9	174.9	0.25	1,123.94	1,123.94
PLL-43	1,122.60	1,120.90	1.20	1.90	174.61	174.61	0.25	1,121.15	1,121.15
PLL-44	1,117.79	1,116.49	1.20	1.50	174.31	174.31	0.25	1,116.74	1,116.74
PLL-45	1,117.26	1,115.50	1.20	1.96	856.06	856.06	0.57	1,116.07	1,116.07
PLL-46	1,120.35	1,118.81	1.20	1.74	0	178.61	0.29	1,119.10	1,119.10
PLL-47	1,111.73	1,110.34	1.20	1.59	1022.79	1022.79	0.59	1,110.93	1,110.93
PLL-47A	1,114.50	1,112.90	1.20	1.80	851.39	851.39	0.57	1,113.47	1,113.47
PLL-48	1,106.75	1,105.21	1.20	1.74	1011.77	1101.34	0.59	1,105.80	1,105.80
PLL-49	1,103.77	1,102.12	1.20	1.85	1094.84	1094.84	0.59	1,102.71	1,102.71
PLL-50	1,103.11	1,101.21	1.20	2.10	1093.42	1146	0.6	1,101.81	1,101.81
PLL-51	1,107.93	1,106.07	1.20	2.06	0	92.32	0.24	1,106.31	1,106.31
PLL-52	1,098.32	1,096.95	1.20	1.57	1223.95	1223.95	0.6	1,097.55	1,097.55
PLL-55	1,162.05	1,160.59	1.20	1.66	320.96	383.44	0.4	1,160.99	1,160.99
PLL-56	1,159.48	1,158.02	1.20	1.66	380.18	380.18	0.4	1,158.42	1,158.42
PLL-57 (Nuevo)	1,157.51	1,155.86	1.20	1.85	779.69	779.69	0.52	1,156.38	1,156.38
PLL-59	1,187.50	1,186.00	1.20	1.70	0	316.08	0.25	1,186.25	1,186.25
PLL-60	1,175.50	1,174.30	1.20	1.40	314.85	314.85	0.25	1,174.55	1,174.55
PLL-61	1,168.38	1,167.18	1.20	1.40	313.89	313.89	0.38	1,167.56	1,167.56
PLL-62	1,152.58	1,150.80	1.20	1.98	0	78.55	0.22	1,151.02	1,151.02
PLL-63 (Nuevo)	1,167.24	1,165.37	1.20	2.07	408.7	408.7	0.4	1,165.77	1,165.77
PLL-64 (Nuevo)	1,159.79	1,158.00	1.20	1.99	405.46	405.46	0.4	1,158.40	1,158.40
PLL-65 (Nuevo)	1,158.82	1,157.00	1.20	2.02	404.48	404.48	0.42	1,157.42	1,157.42
PLL-66 (Nuevo)	1,165.86	1,164.60	1.20	1.46	0	323.57	0.37	1,164.97	1,164.97
PLL-67 (Nuevo)	1,155.40	1,153.73	1.20	1.87	183.21	183.21	0.31	1,154.04	1,154.04
PLL-68 (Nuevo)	1,157.31	1,156.03	1.20	1.48	184.48	184.48	0.31	1,156.34	1,156.34
PLL-69 (Nuevo)	1,137.91	1,136.83	1.20	1.28	126.31	126.31	0.27	1,137.10	1,137.10
PLL-70 (Nuevo)	1,141.54	1,139.40	1.20	2.34	127.76	127.76	0.27	1,139.67	1,139.67
PLL-71 (Nuevo)	1,136.61	1,135.00	1.20	1.81	218.51	218.51	0.34	1,135.34	1,135.34
PLL-336 (Nuevo)	1,169.00	1,167.60	1.20	1.60	0	96.45	0.22	1,167.82	1,167.82

Tabla 19. Resultados hidráulicos pozos de inspección alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado.

Fuente: El Autor

ID	AREA AFERENTE (Ha)	POZO DE SALIDA	TIEMPO DE CONCENTRACION	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	CAUDAL TOTAL POR AREA (l/s)
CM-1	1.681	PLL-66 (Nuevo)	20	0.65	323.57
CM-4	0.607	PLL-31	20	0.65	116.86
CM-5	0.679	PLL-11 (Nuevo)	20	0.65	130.62
CM-6	0.683	PLL-27 (Nuevo)	20	0.65	131.53
CM-8	0.594	PLL-40	20	0.65	114.37
CM-9	0.66	PLL-16	20	0.65	127.05
CM-10	0.652	PLL-18	20	0.65	125.46
CM-11	0.609	PLL-8	20	0.65	117.13
CM-12	0.571	PLL-10A	20	0.65	109.99
CM-13	0.408	PLL-62	20	0.65	78.55
CM-14	0.463	PLL-6	20	0.65	89.11
CM-15	0.325	PLL-55	20	0.65	62.48
CM-16	0.375	PLL-46	20	0.65	72.09
CM-17	0.553	PLL-46	20	0.65	106.51
CM-18	0.48	PLL-51	20	0.65	92.32
CM-19	0.465	PLL-48	20	0.65	89.58
CM-20	0.273	PLL-50	20	0.65	52.58
CM-22	0.416	PLL-23 (Nuevo)	20	0.65	80.04
CM-23	0.3	PLL-30	20	0.65	57.81
CM-24	0.996	PLL-1	20	0.65	191.73
CM-25	0.501	PLL-336 (Nuevo)	20	0.65	96.45
CM-26	1.642	PLL-59	20	0.65	316.08
CM-27	0.615	PLL-20	20	0.65	118.33
CM-28	0.679	PLL-4	20	0.65	130.7

Tabla 20. Áreas aferentes red alcantarillado pluvial municipio de Pauna – Escenario proyectado.

Se puede observar en la tabla anterior, que las redes proyectadas dentro del diseño del alcantarillado pluvial del Municipio de Pauna cumplen con los criterios definidos en la resolución 0330 frente a velocidades y esfuerzos cortantes.

7. Localización del proyecto

La localización del proyecto comprende todo el perímetro urbano actual del municipio de Pauna.

Fuente: El Autor

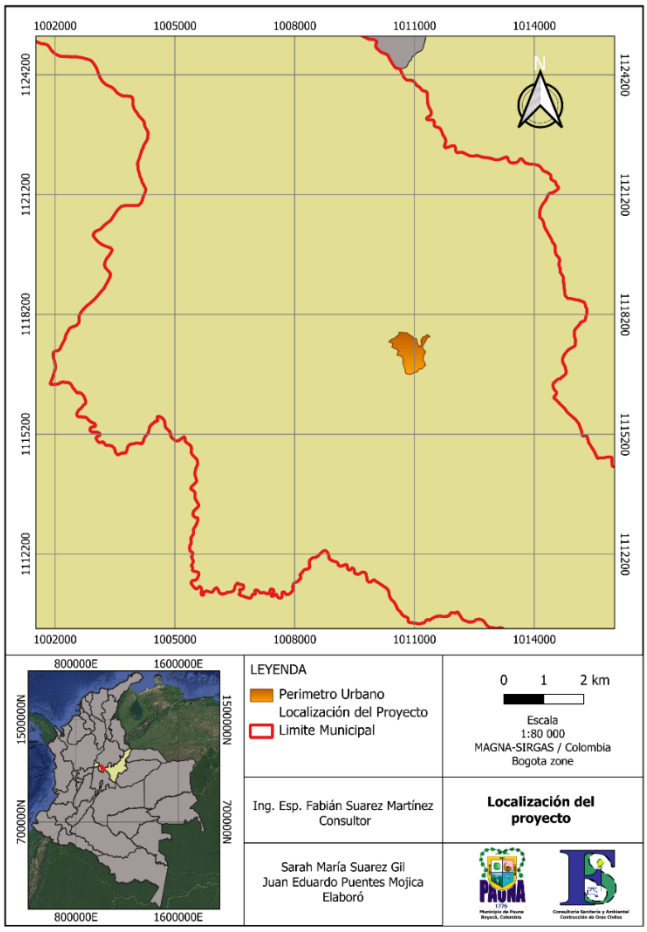


Figura 16. Localización del proyecto

8. Ubicación de las estaciones climatológicas de interés

Como se mencionó en el numeral 1 en el cual se presentaron las estaciones climatológicas representativas, las únicas estaciones considerables para el proyecto según el estudio fueron la estación de PAUNA [23125090] y la estación de BORBUR 2 [23120250] (Ver Figura 1).

ANEXOS

ANEXO No 1

Mapa de Estaciones Pluviométricas Representativas

ANEXO No 2

Mapa de Microcuencas de Estudio para el Proyecto

ANEXO No 3

Mapas de Drenajes y Alturas de las Microcuencas

ANEXO No 4

Mapa de Localización del Proyecto

ANEXO No 5

Memoria de Cálculo

Curvas IDF Estación Pauna

ANEXO No 6

Memoria de Cálculo

Análisis Estadístico

ANEXO No 7

Memoria de Cálculo

Precipitación Máxima Probable en 24 horas

ANEXO No 8

Memoria de Cálculo

Factores de Forma, Relieve y Cauce

ANEXO No 9

Memoria de Cálculo

Curvas Hipsométricas Paunera y Manotera