

CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO N° 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA.



HIDROLOGÍA Y DRENAJE VIAL

INFORME ELABORADO PARA:



MUNICIPIO DE TUNJA

FIRMA CONSULTORA:

OSPAM INGENIERÍA S.A.S.

NIT: 901.003.346-5 – Cel: 312 418 88 05
ospaming@outlook.com – Calle 73ª 1ª este - 02
Tunja Boyacá

DICIEMBRE DE 2023

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. CONSIDERACIONES	6
1.1 OBJETIVOS	6
1.1.1 Objetivo General	6
1.1.2 Objetivos Específicos	6
1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.2.1 Alcances	6
1.2.2 Limitaciones	7
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	7
1.4 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO	10
2.1 INFORMACIÓN HIDRO CLIMATOLÓGICA	10
2.1.1 Brillo solar	11
2.1.2 Evaporación	12
2.1.3 Temperatura	13
2.1.4 Humedad Relativa	14
2.1.5 Nubosidad	15
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO	17
3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS	17
3.1.1 Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas	17
3.1.2 Análisis número de días lluviosos multianual mensual	21
3.1.3 Análisis estadístico valores totales mensuales de precipitación.	25

3.2	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA – IDF	27
3.2.1	Cálculo de curvas IDF	27
4.	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL	29
4.1	Talud adyacente a la vía	29
4.2	CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA	32
4.3	Método seleccionado para la estimación de caudales	33
4.3.1	Parámetros Generales de Cálculo	33
4.4	CAUDAL DE DISEÑO	37
4.5	CÁLCULO HIDRÁULICO OBRAS PROPUESTAS	38
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica – Municipio de Tunja.	8
Figura 2. Ubicación del proyecto.	9
Figura 3. Ubicación Estación de estudio.	10
Figura 4. Valores medidos de brillo solar(horas).	11
Figura 5. Valores medios de evaporación (mm).	12
Figura 6. Valores medios mensuales de temperatura (°C).	13
Figura 7. Mapa temperatura media anual (°C) Departamento de Boyacá.	14
Figura 8. Valores medios mensuales de humedad relativa (%).	15
Figura 9. Valores medios mensuales multianuales de nubosidad	16
Figura 10. Histograma de frecuencia valores P _{máx} 24h.	20
Figura 11. Histograma de valores máxima precipitación mensual (24h) multianual.	21
Figura 12. Histograma del número de días lluviosos multianual mensual.	24
Figura 13. Mapa de días con lluvia total anual- Departamento de Boyacá.	25
Figura 14. Valores totales mensuales de precipitación.	26
Figura 15. Mapa de precipitación total anual- Departamento de Boyacá.	26
Figura 16. Curvas IDF del IDEAM– Estación U.P.T.C (Tunja).	28
Figura 17. Talud en estudio	29
Figura 18. Talud en estudio	30
Figura 19. Propuesta de las obras de drenaje – Talud	31
Figura 20. Áreas de drenaje.	37

Figura 21. Reporte Gráfico y Tabular Bentley - FlowMaster	39
Figura 22. Informes Gráficos y Tabulares Personalizados - FlowMaster	40
Figura 23. Hidráulica Zanja de Coronación	42
Figura 24. Zanja de coronación propuesta	43
Figura 25. Detalle de zanja en el pie del talud	44
Figura 26. Resultados de cálculo Zanjas de coronación y de base de terraplén	45
Figura 27. Comportamiento hidráulico de Zanjas de coronación y de base de terraplén	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de estación pluviométrica.	11
Tabla 2. Representación de la nubosidad.	16
Tabla 3. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.	17
Tabla 4. Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.	19
Tabla 5. Cálculo del histograma de frecuencia - valores máximos mensuales en 24 horas.	19
Tabla 6. Valores máximos de precipitación mensual (24h) multianual y desviaciones estándar.	21
Tabla 7. Histórico de número de días mensuales de precipitación.	22
Tabla 8. Número de días mensuales de precipitación multianual y desviaciones estándar.	23
Tabla 9. Valores totales mensuales de precipitación.	25
Tabla 10. Coeficientes de impermeabilidad	34
Tabla 11. Períodos de retorno según tipo de obra	35
Tabla 12. Caudal	37
Tabla 13. Parámetros de diseño cuneta vial	41
Tabla 14. Cálculos hidráulicos - pendiente critica de 0.3%	44

1. CONSIDERACIONES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

El presente documento tiene como finalidad determinar las características hidrológicas y condiciones de drenaje vial para el CONTRATO No. 2055 DE 2023 cuyo objeto es "CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO N° 15001-33-33-007-2011-00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA.", a desarrollarse en el área urbana del Municipio de Tunja, del Departamento de Boyacá.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una descripción de las condiciones hidrológicas de la zona del proyecto para el dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias.
- Evaluar las estructuras de drenaje existentes y establecer las posibles necesidades de mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
- Diseñar las estructuras de drenaje y subdrenaje necesarias para el mejoramiento del sistema de drenaje superficial.

1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.2.1 Alcances

Los estudios hidráulicos de infraestructura vial tienen como alcance, la verificación de las estructuras de drenaje existente y la proyección de las obras nuevas requeridas para un adecuado drenaje del corredor vial. Este estudio tiene como alcance el diseño de obras menores para el drenaje superficial como cunetas, sumideros, alcantarillas, zanjas de coronación y disipadores de energía, en dado caso de ser necesarias, para garantizar el adecuado drenaje de la vía.

También se contempla el diseño e implementación de obras de drenaje subsuperficial (filtros) con el fin de abatir el nivel freático e interceptar filtraciones que puedan aflorar en la banca vial. Las obras contempladas en este componente son drenes longitudinales, transversales u horizontales.

En los tramos a intervenir, se cuenta con el diagnóstico de las redes existentes, para conocer si se requiere la optimización, ampliación y/o proyección de las redes de alcantarillado pluvial y/o combinado, el cual es generado por la empresa operadora del sistema de alcantarillado y acueducto de la ciudad de Tunja.

Este estudio se realiza acorde al manual de drenaje de carreteras del INVIAS y cumpliendo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Resolución 0330 de 2017, Resolución Número 0799 de 2021) y además normatividad vigente aplicable.

1.2.2 Limitaciones

Este estudio no contempla el diseño de obras tipo puentes, drenajes especiales para el control y mitigación de fallas geológicas o geotécnicas, ya que estos son estudios de caso que requieren ser estudiados de manera particular y están fuera del alcance del proyecto.

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Municipio de Tunja se encuentra ubicado en la Provincia Centro del departamento de Boyacá, sobre la Cordillera de los Andes. La altitud de la cabecera municipal oscila entre los 2782 m.s.n.m., está situada a 5°32'25" de latitud Norte y a 73°21'41"O de longitud Oeste.

El municipio limita al norte con los municipios de Motavita y Cóbbita, al sur con el municipio de Ventaquemada, al oriente con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá y al occidente con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora.

Tiene una extensión territorial de 121.49 Km² y está conformado por las siguientes veredas:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Barón Gallero | 4. El Porvenir |
| 2. Barón Germania | 5. La Esperanza |
| 3. Chorroblanco | 6. La Hoya |

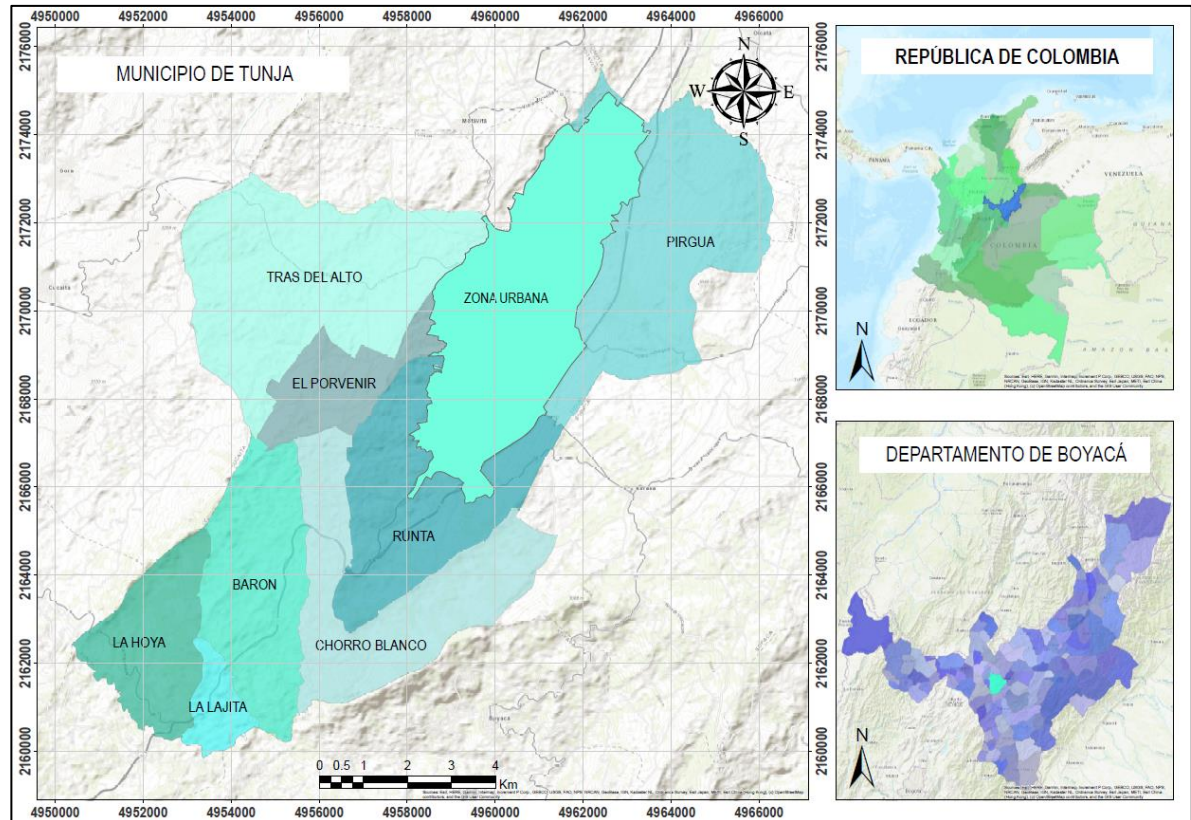
7. La Lajita

8. Pírgua

9. Runta

10. Tras del Alto

Figura 1. Ubicación Geográfica – Municipio de Tunja.



Fuente: El Estudio

1.4 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sector donde se evalúan las condiciones de drenaje superficial se encuentra localizado sobre el talud derecho de la Avenida Oriental dirección Tunja-Bogotá sector San Ignacio entre las calles 19 y 20 de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá. La siguiente figura da a conocer la ubicación espacial del tramo vial en estudio con respecto al municipio.

Figura 2. Ubicación del proyecto.



Fuente: El Estudio.

2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

La recopilación de información para el estudio hidro climatológico comprende tanto la toma de información de campo, como la de la investigación en documentos oficiales y entidades estatales como lo es el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y el EOT municipal. En la zona de estudio se cuenta con una estación climática principal con datos que son representativos para el área de estudio por su distancia, altura y correlación espacial.

En la siguiente imagen se puede observar la ubicación de la estación del IDEAM con respecto a la ubicación del proyecto en estudio.

Figura 3. Ubicación Estación de estudio.



Fuente: El Estudio.

2.1 INFORMACIÓN HIDRO CLIMATOLÓGICA

En el IDEAM, se recopilaban los datos de brillo solar, evaporación, temperatura, humedad relativa, nubosidad y precipitación, incluyendo las lluvias máximas en 24 horas

(mm) y número de días mensuales con precipitación, de igual forma se seleccionó la estación UPTC para el análisis de las curvas IDF. Para el estudio del corredor se identificó la estación con registros de precipitación que resultarán representativos del comportamiento de la precipitación del sitio en estudio y, por ende, se seleccionó la estación meteorológica U P T C la cual se relaciona en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de estación pluviométrica.

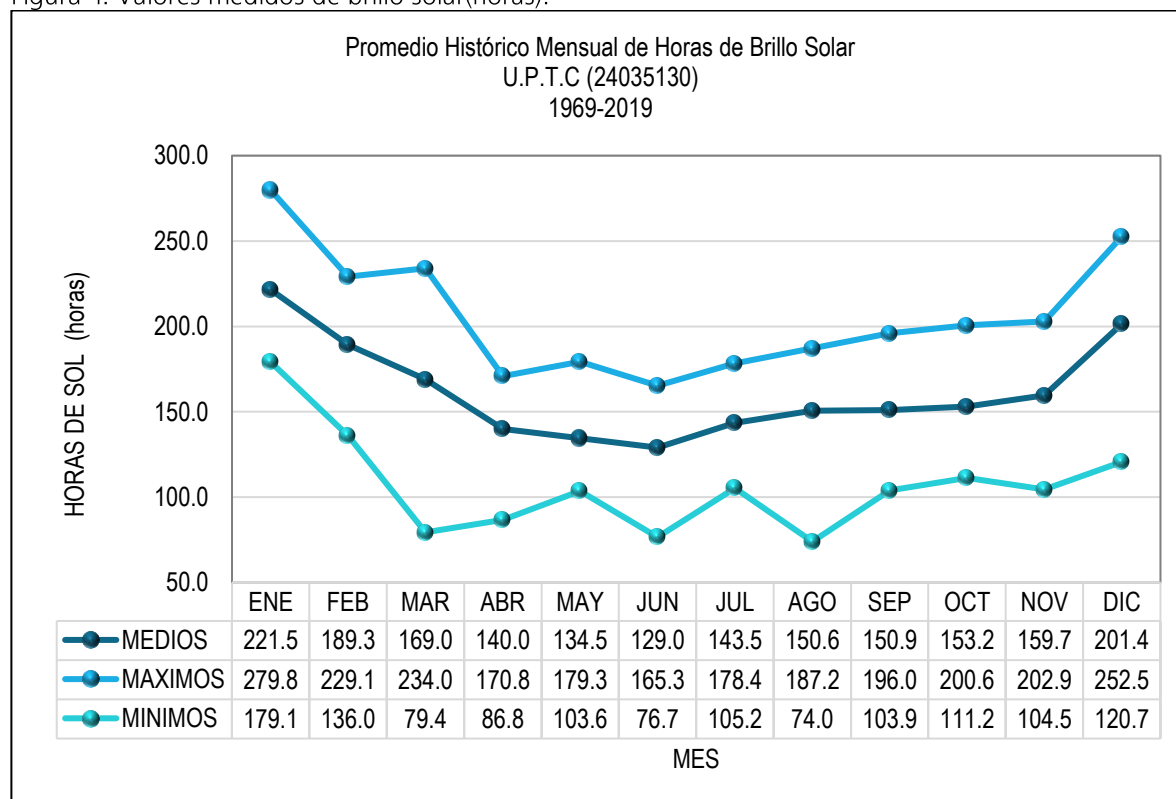
Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Categoría
24035130	U P T C	CHULO	Elevación: 2690	TUNJA	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL
			Latitud: 5.543077		
			Longitud: -73.360813		

Fuente: El Estudio.

2.1.1 Brillo solar

Se refiere a la cantidad de horas de sol que recibe una región en un tiempo dado.

Figura 4. Valores medidos de brillo solar(horas).



Fuente: El Estudio.

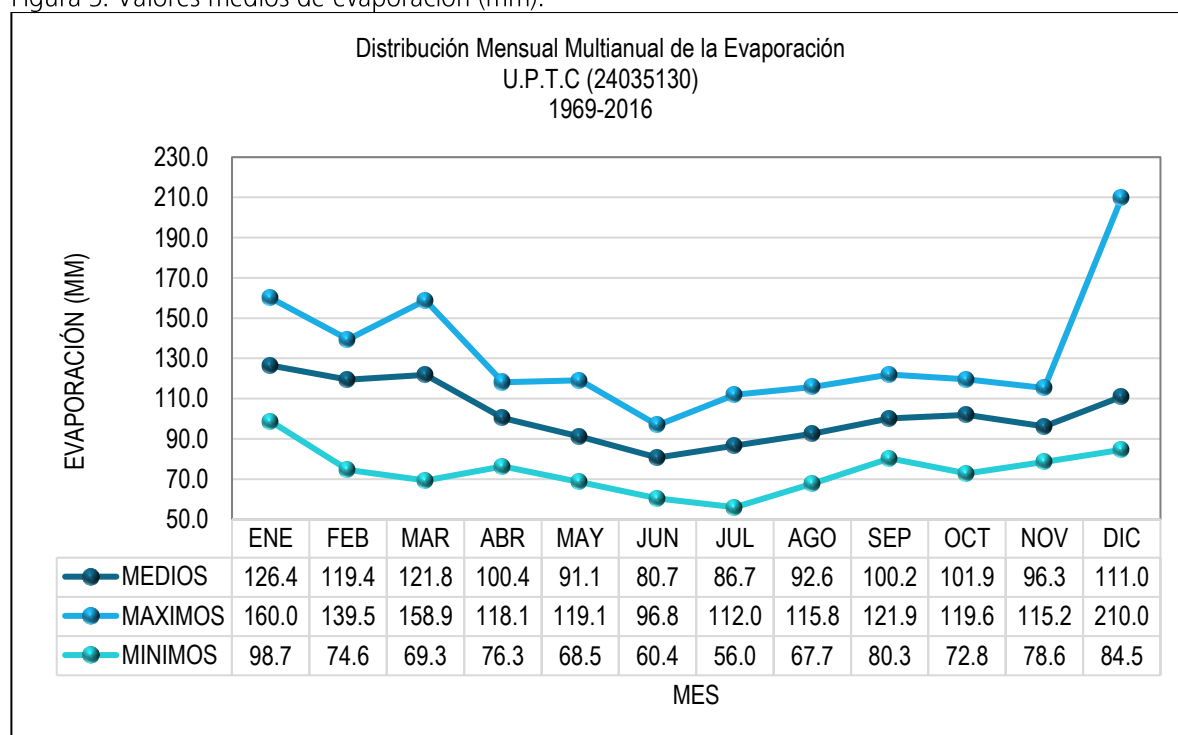
La estación U.P.T.C, que se encuentra ubicada en el municipio, genera registros de un total de 1947 horas de brillo solar al año, siendo enero y diciembre los meses de mayor luminosidad, mientras que las menores insolaciones se presentan en los meses de mayo y junio.

2.1.2 Evaporación

Se define como la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo y de superficie libre del líquido, se mide en milímetros. Para el área donde se localiza el proyecto, se tiene que los valores más elevados se dan en los meses de enero y diciembre.

Los registros de evaporación corresponden a las observaciones de la estación climatológica anteriormente referenciada con un total anual de 1228.4 milímetros.

Figura 5. Valores medios de evaporación (mm).

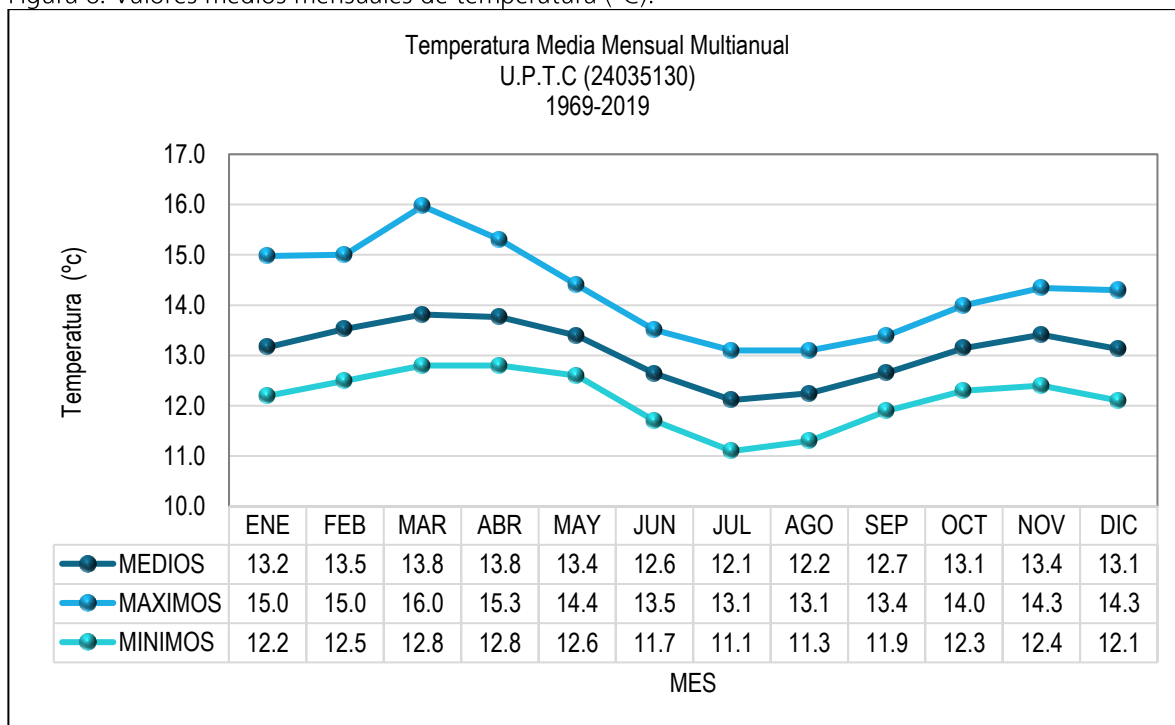


Fuente: El Estudio.

2.1.3 Temperatura

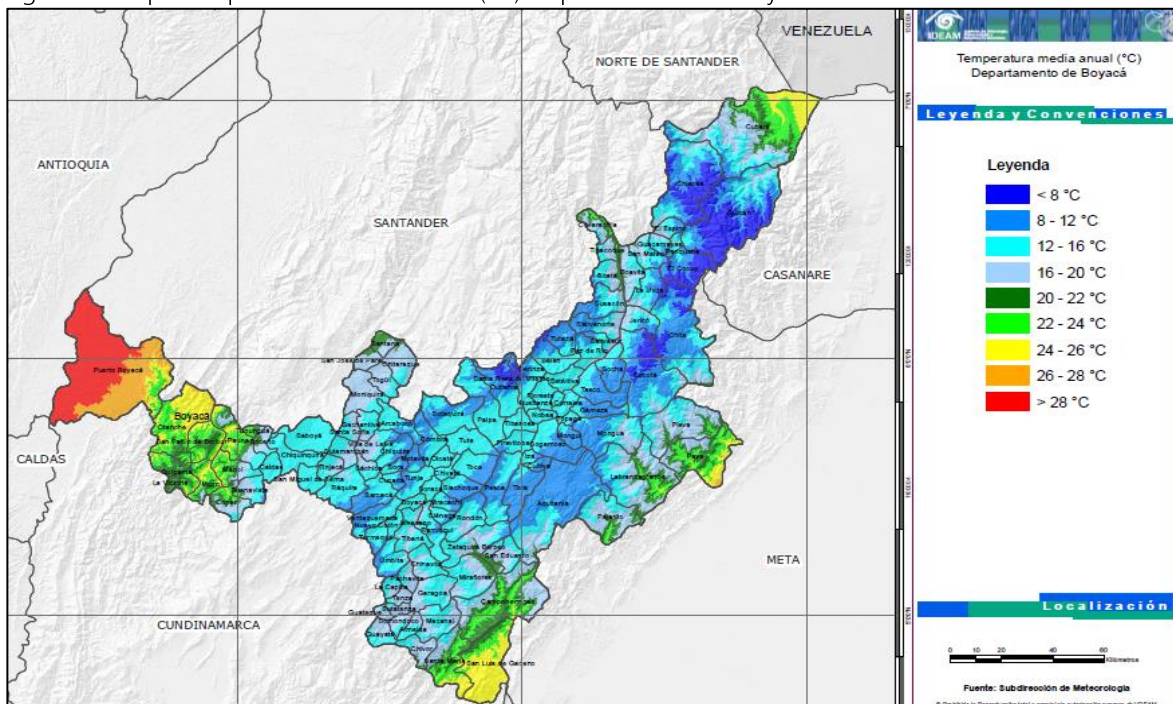
La temperatura atmosférica es la medida del calor en el aire, de acuerdo la información de la estación, la temperatura media multianual registrada es de 13.1 °C, los valores máximos tienen un promedio de 15.8 °C y los mínimos de 11.1°C.

Figura 6. Valores medios mensuales de temperatura (°C).



Fuente: El Estudio.

Figura 7. Mapa temperatura media anual (°C) Departamento de Boyacá.



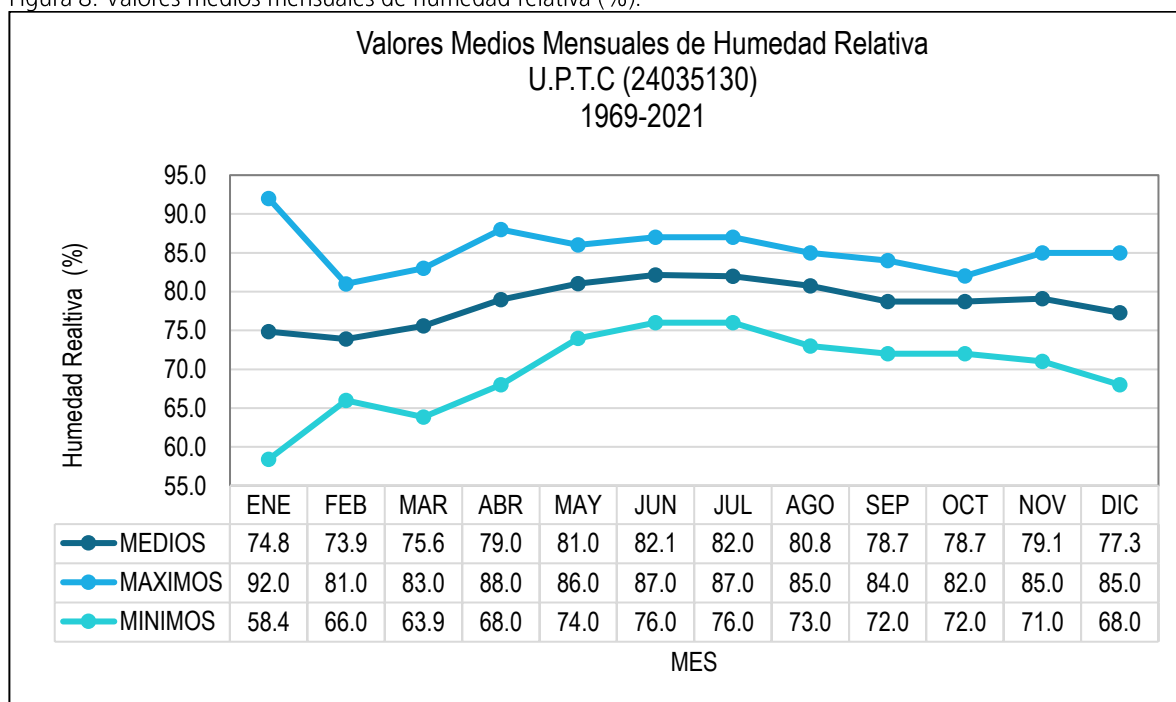
Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/temperatura-Boyacá>.

2.1.4 Humedad Relativa

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Humedad relativa se asume como la relación expresada en porcentaje (%), entre la tensión real del vapor de agua y la tensión de saturación a la misma temperatura.

En la estación de referencia se registra una humedad relativa media multianual de 78.6%, los valores máximos tienen un promedio de 92.0% y los valores mínimos de 59.0%.

Figura 8. Valores medios mensuales de humedad relativa (%).



Fuente: El Estudio.

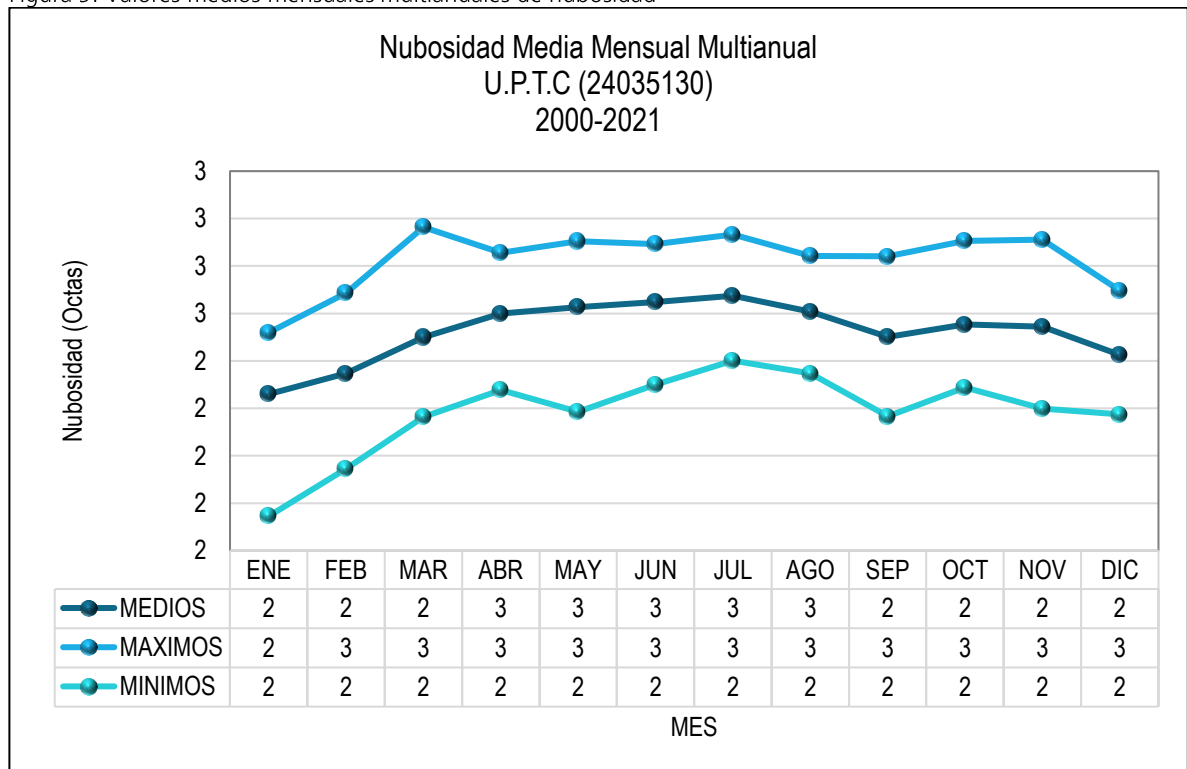
2.1.5 Nubosidad

Una nube es un conjunto visible de partículas minúsculas de agua líquida, o de hielo, o de ambas a la vez, suspendidas en el aire. Este conjunto puede también contener partículas procedentes de vapores industriales, de humo o de polvo. La unidad de medida de la nubosidad se llama OCTA, que corresponde a la octava parte del cielo.¹

En la estación de referencia se registra una nubosidad media multianual de 2 octas, el valor máximo promedio es de 3 octas y los valores mínimos corresponden a 2 octas.

¹ Manual del Observador Meteorológico, IDEAM, 2019

Figura 9. Valores medios mensuales multianuales de nubosidad



Fuente: El Estudio.

La clave utilizada para cifrar la nubosidad es la siguiente:

Tabla 2. Representación de la nubosidad.

CIFRA DE LA CLAVE	NUBOSIDAD
1 Cielo despejado	No hay nubes. Una octa o menos pero sin nubes (1/8 de cielo cubierto) Dos octas (2/8 de cielo cubierto)
2 Cielo parcialmente cubierto	Tres octas (3/8 de cielo cubierto) Cuatro octas (4/8 de cielo cubierto) Cinco octas (5/8 de cielo cubierto) Seis octas (6/8 de cielo cubierto)
3 Cielo cubierto	Siete octas o más, pero el cielo no enteramente cubierto (7/8 de cielo cubierto) Ocho octas (8/8 cielo enteramente cubierto)

Fuente: IDEAM.

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS

Con el fin de establecer el régimen de lluvias del área de influencia del proyecto, se analizó estadísticamente la información histórica obtenida del IDEAM de la estación mencionada en numerales anteriores.

De esa estación se efectuó la consecución de la siguiente información con un histórico de 57 años, que van desde 1962 hasta el año 2020. Esta información fue depurada debido a la falta de datos en algunos años.

- Número días mensuales de precipitación.
- Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm).
- Valores totales mensuales de precipitación (mm).

3.1.1 Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas

Los valores máximos mensuales de precipitación en 24h se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1962					12.8	15.3	9.4	9.4	8.5	23.0	27.0	16.3	27.0
1963	9.8	3.1	14.5	15.7	18.5	15.3	16.1	7.3	4.5	8.8	26.6	0.4	26.6
1964		0.5	9.5	21.5	25.3	18.0	8.2	13.7	3.6	11.6	11.4	15.6	25.3
1965	11.0	12.0	8.5	25.0	16.0	4.6	17.5	7.0	4.5	27.3	40.5	1.9	40.5
1966		0.2	16.5	25.0	8.0	31.8	15.4	14.0	6.3	14.5	32.6	12.4	32.6
1967	4.7	4.3	12.1	13.6	23.8	24.5							24.5
1968	4.4	5.2	9.8	31.7	4.3	21.2	7.1	8.4	21.9	8.3	20.1	19.5	31.7
1969	31.6	3.5	0.5	23.0	12.7	31.3	7.4	5.4	9.3	16.8	12.5	12.7	31.6
1970	12.8	3.8	1.1	10.6	17.1	4.8	11.6	9.6	9.3	42.8	10.9	2.7	42.8
1971	16.1	12.6	18.9	10.3	24.8	15.8	25.2	17.5	12.8	24.3	11.6	12.2	25.2
1972	16.4	19.6	19.1	26.5	17.5	10.8	11.0	13.0	7.3	24.2	9.6	6.0	26.5
1973	0.4	14.7	18.8	6.9	19.7	24.7	9.3	14.8	23.9	17.0	17.7	13.2	24.7

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1974	6.5	10.2	30.9	15.0	15.1	13.0	9.3	11.8	24.6	14.4	22.6	6.8	30.9
1975	0.5	6.3	11.5	26.0	18.7	17.3	13.7	7.8	12.9	31.6	17.2	18.8	31.6
1976	1.4	9.2	15.1	19.2	25.0	10.7	10.0	5.1	15.9	25.8	25.9	23.1	25.9
1977	0.1	0.4	17.6	26.9	20.2	12.6	6.6	12.8	13.4	12.5	19.4	15.0	26.9
1979	13.1	9.6	11.1	33.4	26.6	25.5	9.8	23.1	16.3	37.3	23.8	12.5	37.3
1980	3.3	7.0	11.2	6.2	10.0	23.5	7.4	8.8	45.7	25.6	7.2	6.1	45.7
1982	3.0	12.7	19.6	23.1	15.2	8.8	8.7	7.3	7.5	21.4	8.6	8.3	23.1
1983	6.1	5.4	15.2	12.7	12.6	10.9	6.7	12.7	3.1	6.7	4.1	17.1	17.1
1984	20.8	13.8	22.9	12.2	39.5	20.8	11.8	16.0	13.9	20.9	22.7	4.3	39.5
1985	4.4	1.4	12.0	11.3	22.4	9.0	14.5	12.0	11.4	32.5	42.3	19.6	42.3
1986	4.4	15.0	21.9	16.5	13.5	13.7	4.9	5.0	28.5	23.6	23.3	4.3	28.5
1987	1.6	6.7	15.0	27.6	20.7	9.7	18.8	22.2	6.2	20.4	9.6	7.6	27.6
1988	6.7	14.5	21.2	34.6	10.0	11.7	17.2	7.2	22.3	19.2	20.9	16.5	34.6
1989	1.3	11.4	28.6	6.5	23.3	17.6	7.0	10.7	28.5	13.2	14.4	10.9	28.6
1990	9.2	11.4	11.5	22.7	25.5	6.5	6.2	8.0	8.2	15.6	11.0	21.5	25.5
1991	0.4	6.3	15.2	9.2	28.2	8.3	5.8	6.3	13.4	12.4	14.6	9.8	28.2
1992	16.0	3.6	17.1	9.3	31.0	5.1	6.0	12.2	12.4	8.0	22.4	5.0	31.0
1993	15.2	9.9	9.2	11.6	31.8	12.3	15.1	4.0	16.4	18.4	21.0	6.4	31.8
1994	13.1	27.7	14.2	16.7	24.1	14.5	13.7	7.8	19.8	42.4	13.8	2.0	42.4
1995	1.0	12.7	14.5	13.5	14.5	11.3	7.6	21.4	16.6	66.9	17.7	8.0	66.9
1996	11.4	13.2	11.1	14.7	19.8	15.0	10.8	12.5	5.3	13.8	23.5	13.4	23.5
1997	22.6	4.8	10.0	18.1	11.8	6.0	4.3	9.2	21.4	24.5	19.9	2.4	24.5
1998	0.5	13.5	17.5	10.4	34.0	24.9	12.8	16.0	10.0	15.2	15.1	0.1	34.0
1999	22.9	27.5	16.5	14.5	8.3	14.3	11.0	9.2	24.8	29.2	24.6	23.8	29.2
2000	2.3	7.9	14.6	20.6	14.5	36.2	17.8	13.2	23.3	17.8	15.0	11.5	36.2
2001	2.0	21.0	9.8	2.8	19.2	11.2	8.7	6.2	21.1	10.2	14.3	15.3	21.1
2002	4.8	5.7	26.3	16.8	41.5	8.8	13.4	18.3	20.9	21.4	11.0	6.6	41.5
2003	1.0	11.4	19.8	25.4	13.0	9.7	9.5	5.1	23.6	19.3	32.4	22.4	32.4
2004	9.6	12.4	12.8	23.8	23.3	11.0	11.8	8.2	23.6	16.3	17.0	21.4	23.8
2005	10.5	9.9	4.2	23.5	17.2	8.5	8.6	10.2	12.3	12.7	32.3	11.9	32.3
2006	29.4	4.2	21.6	33.2	10.8	30.1	15.0	3.5	26.9	24.8	29.0	16.0	33.2
2007	4.3	4.5	18.2	31.1	10.3	8.5	9.6	11.6	6.8	18.3	18.0	8.1	31.1
2008	8.4	4.0	11.3	10.5	24.0	6.6	11.2	15.5	8.4	12.6	20.6	11.4	24.0
2009	16.8	9.8	15.8	25.1	26.5	15.0	6.8	5.6	17.7	20.0	20.4	3.5	26.5
2010	0.7	15.9	7.1	29.1	25.6	13.9	28.0	8.5	13.0	17.9	24.7	22.6	29.1
2011	5.1	27.2	23.0	37.8	34.9	12.0	22.2	7.7	14.2	15.6	29.3	24.4	37.8

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2012	14.2	4.3	11.6	56.4	12.4	8.8	10.8	6.7	5.6	8.1	9.9	12.5	56.4
2013	1.7	20.3	8.9	24.5	36.6	21.5	14.6	17.1	14.6	15.9	16.0	27.8	36.6
2014	0.7	25.9	34.6	18.9	15.4	4.9	3.2	3.3	3.5	24.7	12.8	15.8	34.6
2015	11.8	16.2	14.3	4.9	10.9	15.3	8.6	9.0	7.2	10.3	12.3	6.7	16.2
2016	2.9	1.7	3.2	23.8	30.0	5.8	12.2	8.3	17.2	28.1	17.3	9.9	30.0
2017	26.3	12.0	21.4	16.6	27.8		14.9	15.9	4.4	12.8	8.2	15.5	27.8
2018	17.8	1.0	31.2	38.2	20.0	12.0	5.9	13.4	19.5	18.4	32.0	7.2	38.2
2019	4.2	4.2	38.0	37.0	19.0	16.3	11.7	9.5	22.4	13.1	23.3	5.5	38.0
2020	23.0	25.6	4.0			5.0	16.0	10.8	11.8	4.4	28.6	4.6	28.6
MEDIOS	9.1	10.3	15.6	20.4	20.3	14.3	11.4	10.7	14.8	19.9	19.5	11.7	14.8
MÁXIMOS	31.6	27.7	38.0	56.4	41.5	36.2	28.0	23.1	45.7	66.9	42.3	27.8	66.9
MÍNIMOS	0.1	0.2	0.5	2.8	4.3	4.6	3.2	3.3	3.1	4.4	4.1	0.1	0.1

Fuente: IDEAM.

Realizando el análisis estadístico, tanto de las medidas de tendencia central, de dispersión y de forma, se tienen las siguientes tablas y el histograma de frecuencia absoluta y acumulada que describen estadísticamente los valores presentados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.

VARIABLE	VALOR
No. de años	57
No. Total meses	684
No. Meses registrados	669
Precipitación Máx.	66.9 mm
Precipitación Mín.	0.1 mm
Precipitación Media	14.8 mm
Desviación Estándar	8.9 mm
Mediana	13.2 mm
Rango	66.8 mm
Intervalos	8
Rango de intervalo	9.0 mm

Fuente: EL ESTUDIO.

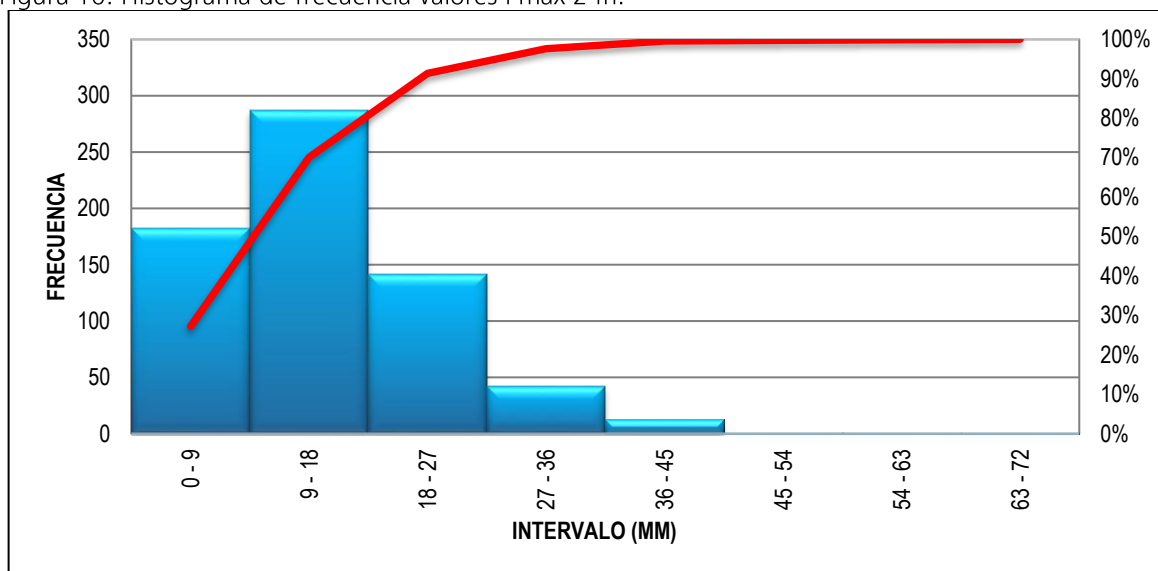
Tabla 5. Cálculo del histograma de frecuencia - valores máximos mensuales en 24 horas.

No.	Intervalo	Límite Máx. Intervalo	Frecuencia	Porcentaje Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Porcentaje F. Acumulada
1	0 - 9	9	182	27.2%	182	27.2%

No.	Intervalo	Límite Máx. Intervalo	Frecuencia	Porcentaje Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Porcentaje F. Acumulada
2	9 - 18	18	287	42.9%	469	70.1%
3	18 - 27	27	142	21.2%	611	91.3%
4	27 - 36	36	42	6.3%	653	97.6%
5	36 - 45	45	13	1.9%	666	99.6%
6	45 - 54	54	1	0.1%	667	99.7%
7	54 - 63	63	1	0.1%	668	99.9%
8	63 - 72	72	1	0.1%	669	100.0%

Fuente: EL ESTUDIO.

Figura 10. Histograma de frecuencia valores P_{máx} 24h.



Fuente: EL ESTUDIO.

Como se puede observar los datos presentan una tendencia unimodal en el intervalo de 9 a 18 mm. Además, se observa que la tendencia de los datos es a ser sesgados hacia la derecha; de este análisis podemos obtener que las lluvias máximas diarias más recurrentes varían en este rango.

En la siguiente tabla se muestran los promedios mensuales multianuales de los valores máximos de precipitación en 24 horas, expresados en milímetros y como porcentaje respecto al máximo multianual general, incluyendo los valores de desviación estándar (en mm y porcentaje) para cada mes del año.

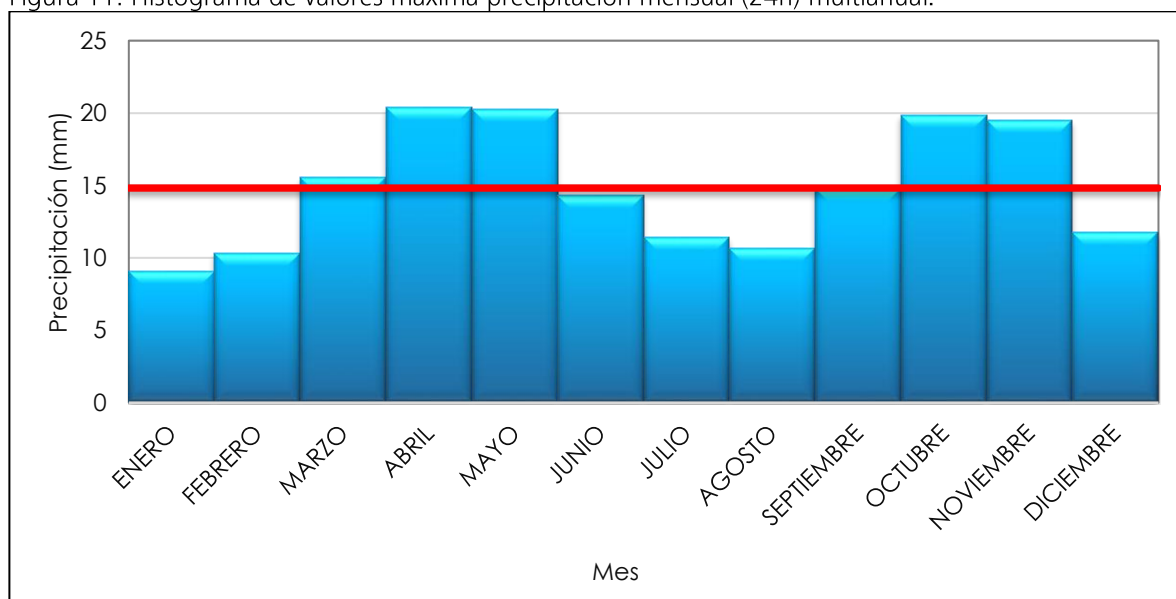
Tabla 6. Valores máximos de precipitación mensual (24h) multianual y desviaciones estándar.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Pm (mm)	9.1	10.3	15.6	20.4	20.3	14.3	11.4	10.7	14.8	19.9	19.5	11.7	14.8
σ (mm)	8.3	7.3	7.8	10.3	8.4	7.5	5.0	4.7	8.4	10.5	8.3	6.9	8.9
Pm (%)	61.2	69.7	105.0	137.6	136.7	96.6	76.9	71.9	99.8	134.0	131.4	79.1	100.0
Pm: Precipitación media mensual Pmax 24h							σ : Desviación Estándar						

Fuente: EL ESTUDIO.

En la siguiente gráfica se muestra el histograma de los promedios mensuales multianuales de los valores máximos de precipitación en 24 horas obtenido a partir de la información obtenida del IDEAM.

Figura 11. Histograma de valores máxima precipitación mensual (24h) multianual.



Fuente: EL ESTUDIO.

Del comportamiento multianual de los valores máximos de precipitación se observa que los meses de mayor precipitación son abril, mayo, octubre y noviembre. Los meses de menor precipitación son enero, febrero, julio, agosto y diciembre. El pico se presenta en el mes de abril, con un máximo multianual en un día de 20.4 mm.

3.1.2 Análisis número de días lluviosos multianual mensual

El número de días mensuales de precipitación histórico obtenido del IDEAM es el presentado en la siguiente tabla.

Tabla 7. Histórico de número de días mensuales de precipitación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1962					17	19	18	16	14	16	16	6	122
1963	3	9	9	20	22	13	21	11	10	13	17	2	150
1964		2	1	20	14	24	19	12	12	14	10	6	134
1965	4	2	1	17	15	12	14	12	5	14	17	1	114
1966		1	10	5	5	12	17	19	13	15	11	11	119
1967	5	4	13	18	22	26							88
1968	4	5	6	25	19	20	22	19	15	16	12	3	166
1969	10	9	1	17	15	17	17	15	13	22	10	5	151
1970	7	6	3	14	23	20	16	17	19	17	16	14	172
1971	13	10	17	14	24	17	14	20	19	13	16	10	187
1972	14	8	17	20	15	16	13	16	16	15	12	5	167
1973	1	1	10	13	15	18	19	20	24	19	18	14	172
1974	9	10	18	18	22	14	14	15	19	21	18	7	185
1975	1	8	13	17	19	16	22	23	14	17	15	23	188
1976	7	6	24	21	18	15	15	18	14	18	16	14	186
1977	2	2	7	17	17	22	12	16	17	15	16	5	148
1979	4	3	15	20	20	20	15	21	16	25	23	11	193
1980	5	8	6	17	14	21	20	17	14	14	9	9	154
1982	6	14	15	20	20	14	22	19	16	21	16	10	193
1983	3	14	11	23	19	14	20	22	12	17	9	11	175
1984	12	10	9	17	17	21	20	27	23	16	17	4	193
1985	3	4	11	14	20	19	18	19	22	18	13	10	171
1986	7	14	12	18	17	23	16	12	13	24	15	8	179
1987	2	6	9	15	17	16	22	17	17	21	15	6	163
1988	2	7	5	15	11	21	23	21	22	23	22	10	182
1989	5	11	21	9	18	19	20	13	16	18	14	4	168
1990	5	9	16	18	20	15	21	17	11	18	16	9	175
1991	2	6	18	18	22	14	21	23	19	28	21	8	200
1992	2	4	9	15	15	17	21	14	17	8	17	9	148
1993	6	7	16	18	22	18	22	17	16	16	20	6	184
1994	9	12	15	17	23	19	17	23	17	19	16	2	189
1995	2	5	11	16	18	17	17	20	11	11	13	16	157
1996	9	11	16	12	23	25	25	21	15	20	14	11	202
1997	12	8	9	13	13	13	24	15	11	12	12	2	144
1998	2	4	10	12	23	20	22	21	9	13	13	1	150
1999	9	21	14	18	17	17	20	13	20	19	15	10	193
2000	6	9	13	18	24	20	18	21	24	18	14	11	196

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2001	3	5	11	9	19	19	16	20	20	14	14	15	165
2002	7	4	16	16	16	21	14	16	15	14	12	8	159
2003	1	7	15	20	15	18	19	19	14	21	18	8	175
2004	3	5	7	19	22	18	18	14	14	21	12	8	161
2005	6	5	5	18	23	19	18	19	14	18	19	9	173
2006	12	6	20	21	16	25	15	18	11	23	11	10	188
2007	3	2	10	14	22	17	16	22	15	24	14	12	171
2008	5	7	12	15	18	20	18	22	16	15	25	8	181
2009	9	8	17	17	11	20	17	17	11	14	5	6	152
2010	1	8	11	21	23	18	27	15	11	22	24	15	196
2011	3	17	19	23	24	16	18	16	15	21	21	15	208
2012	7	8	17	22	13	17	22	14	13	13	10	5	161
2013	1	11	10	11	22	8	15	16	10	15	21	9	149
2014	2	10	10	15	13	17	16	10	15	16	15	10	149
2015	5	10	13	16	9	17	16	13	8	11	15	4	137
2016	2	5	7	15	15	17	19	14	17	16	17	10	154
2017	10	6	21	12	16		15	15	12	14	17	11	149
2018	8	4	13	21	20	22	25	14	13	18	18	2	178
2019	5	3	18	17	23	17	14	16	11	15	17	11	167
2020	8	5	4			1	14	7	11	6	12	5	73
MEDIOS	5.4	7.3	11.9	16.7	18.1	17.7	18.4	17.1	14.8	17.1	15.4	8.5	168
MÁXIMOS	14.0	21.0	24.0	25.0	24.0	26.0	27.0	27.0	24.0	28.0	25.0	23.0	28
MÍNIMOS	1.0	1.0	1.0	5.0	5.0	1.0	12.0	7.0	5.0	6.0	5.0	1.0	1

Fuente: IDEAM.

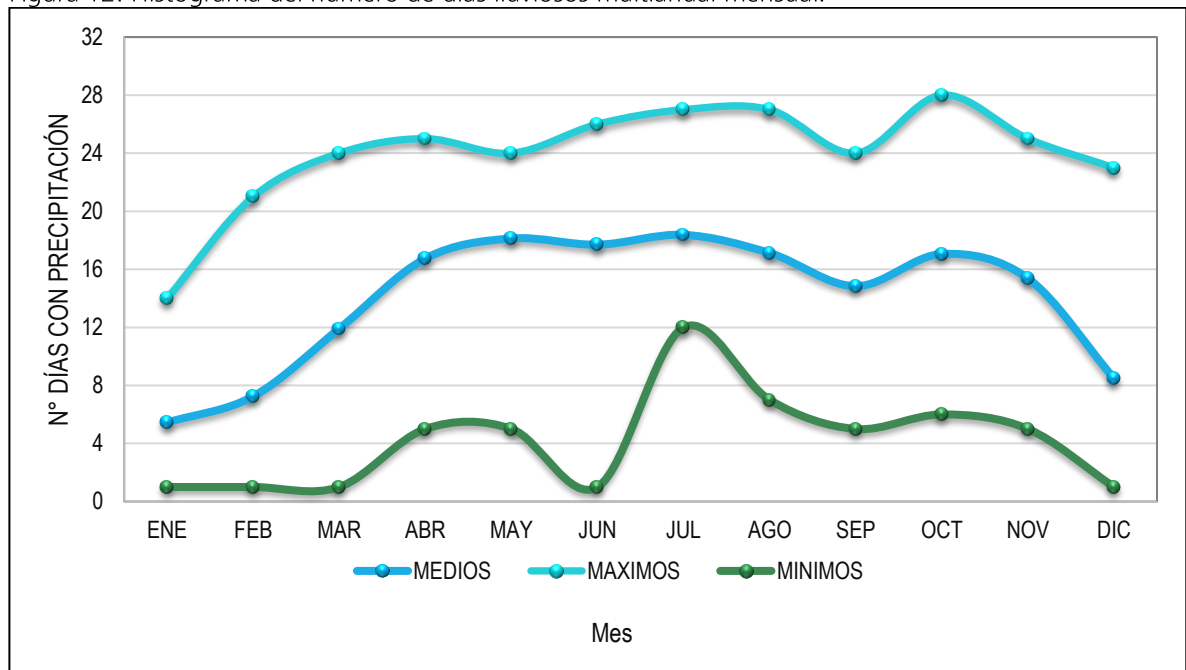
Analizando estos valores y representando estos valores en histograma, se obtiene la siguiente tabla y figura.

Tabla 8. Número de días mensuales de precipitación multianual y desviaciones estándar.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Pm (Días)	5.4	7.3	11.9	16.7	18.1	17.7	18.4	17.1	14.8	17.1	15.4	8.5	14
σ (Días)	3.5	4.0	5.3	3.8	4.2	4.1	3.4	3.8	4.0	4.2	3.9	4.3	6
Pm (%)	38.8	51.7	84.9	119.3	129.1	126.1	130.9	122.0	105.7	121.5	109.5	60.4	100
Pm: Promedio del número de días mensuales de precipitación										σ : Desviación Estándar			

Fuente: EL ESTUDIO.

Figura 12. Histograma del número de días lluviosos multianual mensual.

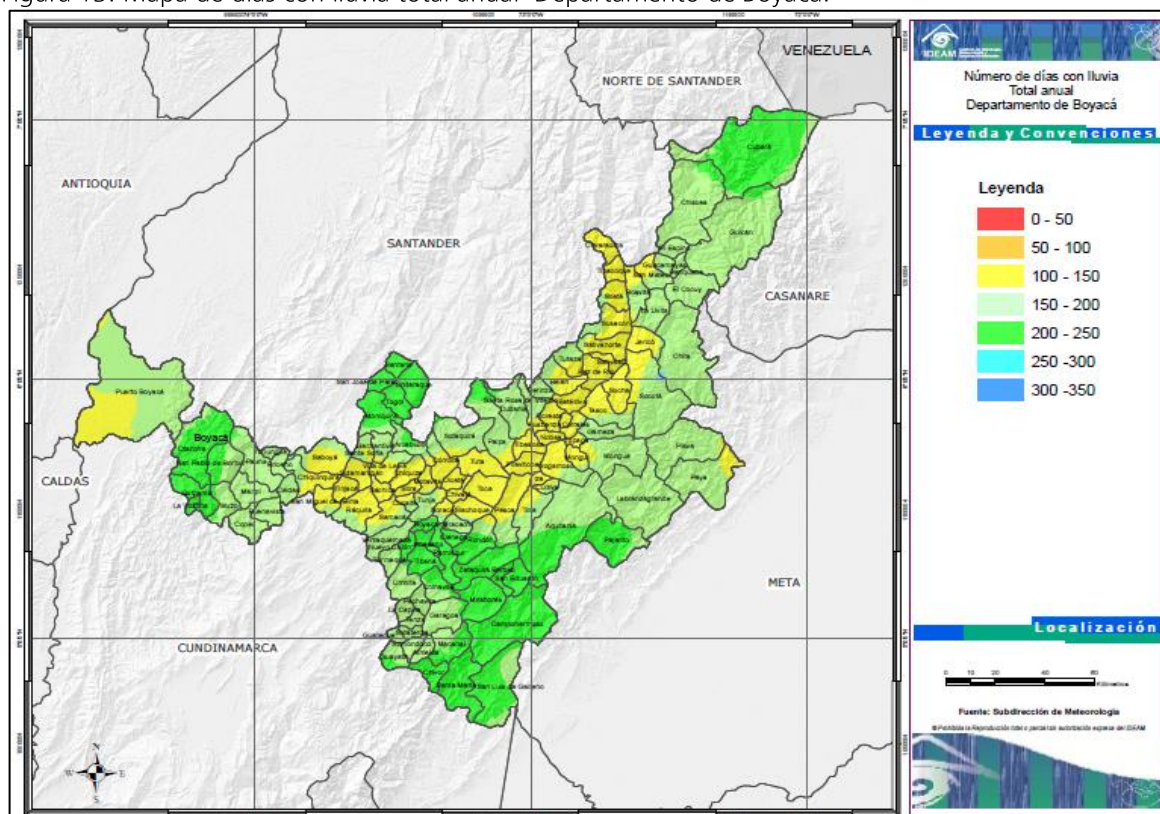


Fuente: EL ESTUDIO.

Se puede analizar que el número de días promedio multianual de lluvias es de 14 días, presentándose en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre el menor número de días lluviosos.

Como síntesis del análisis estadístico se puede concluir que los meses de diciembre, enero y febrero son recomendables para llevar a cabo labores de construcción, debido a que son los menos lluviosos; los demás meses presentan una mayor intensidad y frecuencia de lluvias, lo cual podría llegar a entorpecer el normal desarrollo de las labores constructivas.

Figura 13. Mapa de días con lluvia total anual- Departamento de Boyacá.



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/ndias-Boyacá.pdf>

3.1.3 Análisis estadístico valores totales mensuales de precipitación.

La estación que se encuentra ubicada cerca de la zona de estudio genera registros de un total anual promedio de 643 mm de precipitación al año, el máximo registra un valor de 303.0 mm y el mínimo de 0.1 mm, siendo abril, mayo, octubre y noviembre los meses de mayor precipitación promedio, mientras que las menores precipitaciones se presentan en los meses de enero, febrero y diciembre.

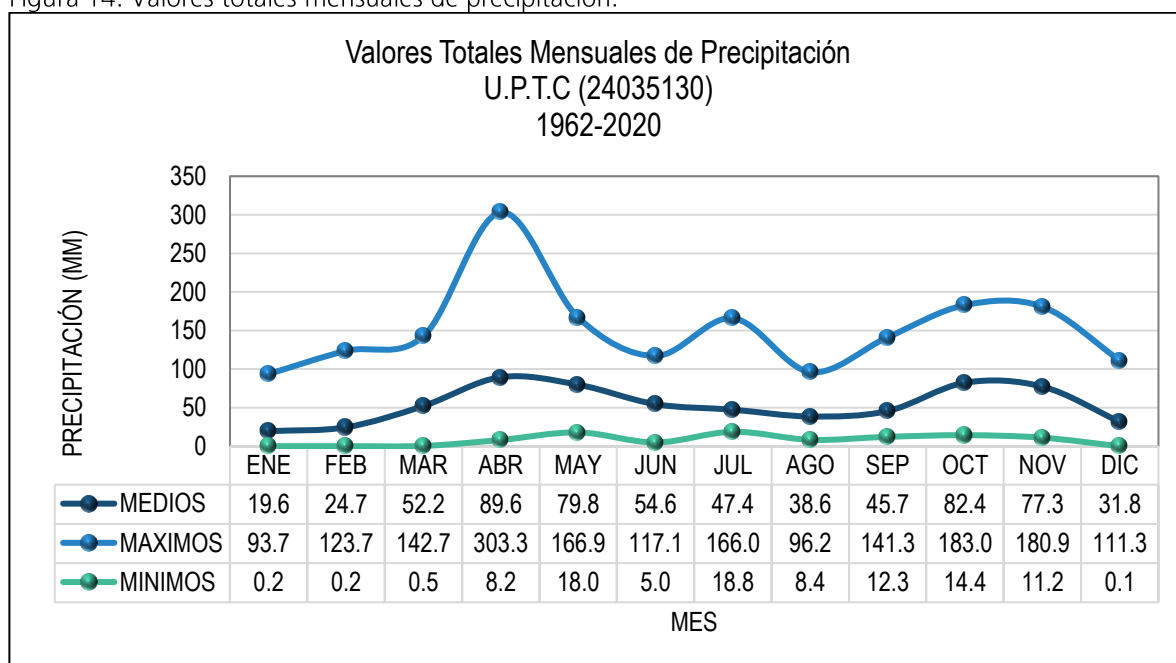
Los valores totales mensuales de precipitación se presentan en la siguiente tabla y figura.

Tabla 9. Valores totales mensuales de precipitación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
MEDIOS	19.6	24.7	52.2	89.6	79.8	54.6	47.4	38.6	45.7	82.4	77.3	31.8	643.7
MÁXIMOS	93.7	123.7	142.7	303.3	166.9	117.1	166.0	96.2	141.3	183.0	180.9	111.3	303.3
MÍNIMOS	0.2	0.2	0.5	8.2	18.0	5.0	18.8	8.4	12.3	14.4	11.2	0.1	0.1

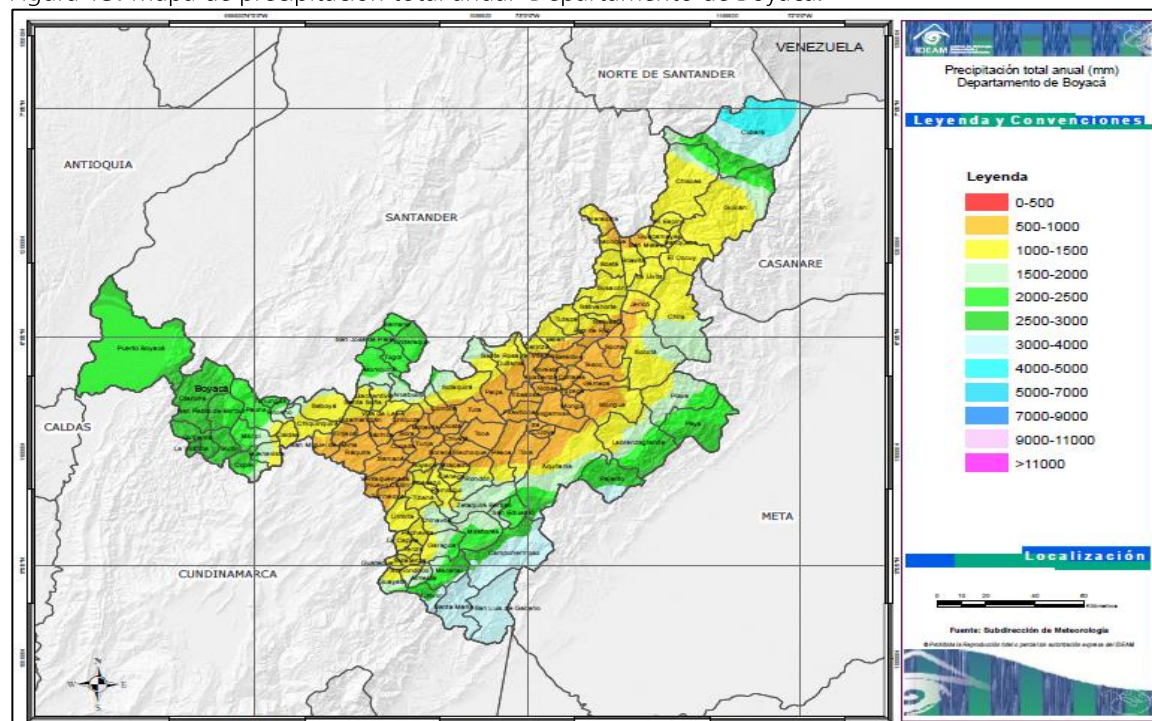
Fuente: IDEAM.

Figura 14. Valores totales mensuales de precipitación.



Fuente: El Estudio.

Figura 15. Mapa de precipitación total anual- Departamento de Boyacá.



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/precipitacion-boyaca>.

3.2 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA – IDF

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos.

3.2.1 Cálculo de curvas IDF

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, mediante el manejo de información hidrometeorológica elaboró las Curvas IDF con los datos obtenidos de la estación U P T C del municipio de Tunja, Boyacá. El cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia IDF, se llevó a cabo por el IDEAM empleando la distribución de probabilidad de Gumbel para el ajuste de los datos de intensidades de precipitación mediante el método L-momentos para estimar los parámetros de la ecuación y las unidades.

La ecuación generalizada para calcular la intensidad, en función de los coeficientes y la duración requerida está dada por:

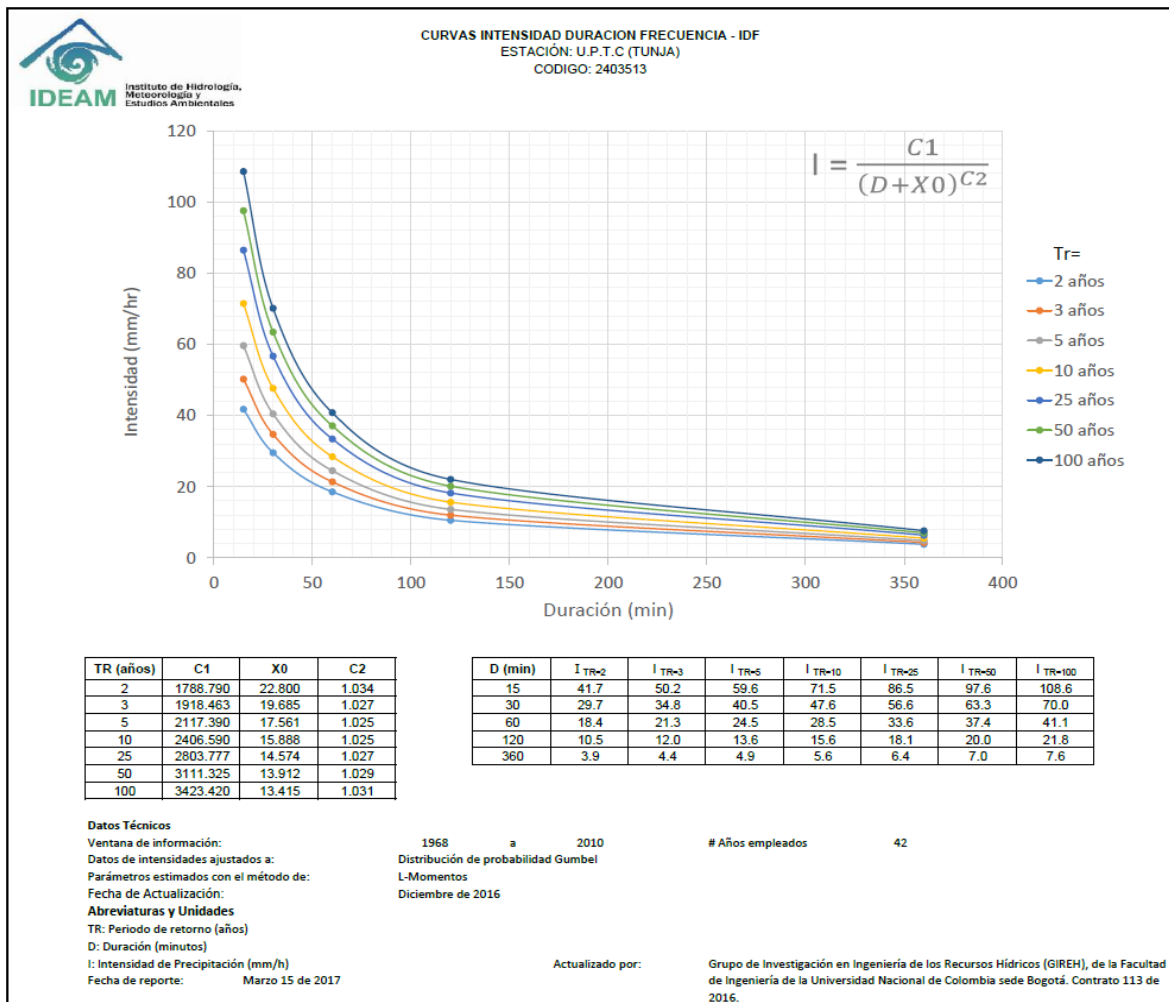
$$I = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}}$$

Donde: I: Intensidad de Precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

C1, X0, C2: Coeficientes para la ecuación de Intensidades.

Las curvas IDF del IDEAM se construyeron con datos de lluvias de corta duración.

Figura 16. Curvas IDF del IDEAM– Estación U.P.T.C (Tunja).



Fuente: IDEAM

4. OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

En este numeral se dan a conocer las obras y medidas a implementarse para mitigar los efectos a causa de las corrientes de aguas superficiales y subsuperficiales que pueden generar problemas de inestabilidad en la zona de estudio.

4.1 Talud adyacente a la vía

Se definen 3 zonas acorde a las observaciones identificadas en el talud de estudio y se presentan a continuación:

Figura 17. Talud en estudio



Fuente: El estudio.

En la zona adyacente de la vía se aprecia un talud con procesos de remoción en masa, característica de taludes con pendientes elevadas, una de las razones que afectan la estabilidad del talud se debe a procesos de erosión hidráulica y eólica y un inadecuado manejo del drenaje superficial, el cual también influye a la exposición de problemas por infiltración de aguas.

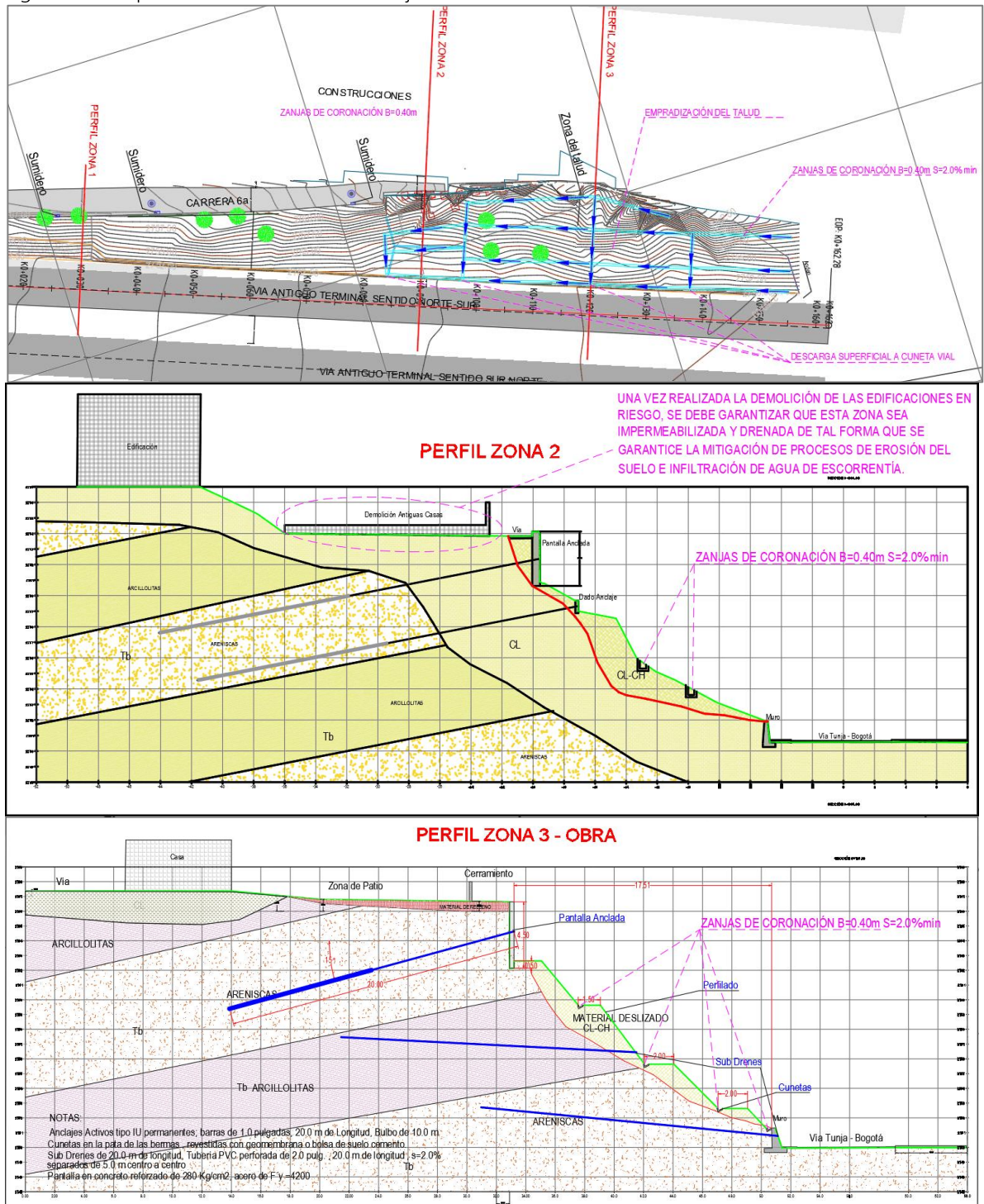
Figura 18. Talud en estudio



Fuente: El estudio.

Debido a que la inestabilidad de este talud repercute también en la estabilidad de la vía, se proponen las siguientes obras de drenaje:

Figura 19. Propuesta de las obras de drenaje – Talud



Fuente: El estudio.

Para una mejor apreciación de las obras propuestas es necesario observar los planos anexos a este documento.

Las obras que aquí se plantean corresponden a zanjas de coronación con un ancho de $B=0.40\text{m}$, altura de $H=0.5\text{m}$ y una pendiente longitudinal mínima $S=2.0\%$ mín, en sacos de suelo cemento, los cuales descargarán sus aguas de manera superficial a la cuneta vial.

Adicionalmente, una vez realizada la demolición de las edificaciones en riesgo, se debe garantizar que esta zona sea impermeabilizada y drenada de tal forma que se garantice la mitigación de procesos de erosión del suelo e infiltración de agua de escorrentía.

4.2 CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

Un estudio analítico de la topografía del sitio es un paso fundamental a la hora de la formulación de las acciones y obras a realizar con el fin de controlar el drenaje superficial y subsuperficial del sitio, ya que de este análisis se puede obtener la siguiente información:

- Clasificación del tipo de terreno por sus características de elevación y pendientes, entre escarpado, montañoso, ondulado o plano.
- Configuración de las pendientes de la ladera o talud.
- Usos y ocupación del suelo.
- Presencia de obstrucciones.
- Existencia de cuerpos de agua.
- Confluencia o desembocaduras dentro del área de influencia.
- Presencia de obras de drenaje existentes.
- Trazado actual de la vía.
- Determinación de áreas aferentes para las obras de drenaje a proponer.

La información obtenida del análisis topográfico se convierte en una herramienta muy útil para el posterior análisis hidráulico, el cual es fundamental para determinar las condiciones de drenaje y de esta forma garantizar la estabilidad del sitio y de las obras.

4.3 Método seleccionado para la estimación de caudales

Se recomienda utilizar el método racional para estimar el caudal de diseño para las obras de drenaje debido a que el área aferente al deslizamiento presenta una cuenta menor a 2.5 Km², y es uno de los métodos de mayor aplicación para el cálculo de caudales extremos en áreas pequeñas como el del caso en estudio.

Este método permite calcular los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, mediante un método matemático que utiliza las características hidrológicas y morfométricas de cada cuenca, relaciona los caudales de las cuencas en un punto dado con la precipitación máxima que cae sobre la cuenca.

El método racional propone la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Método racional

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde:

- Q = Caudal máximo, (m³/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- i = Intensidad de la lluvia, (mm/h)
- A = Área de Drenaje, (km²)

4.3.1 Parámetros Generales de Cálculo

A continuación, se definen los criterios generales que permitirán el análisis y estimación de los caudales, acorde a la metodología ya descrita en el subtítulo anterior.

4.3.1.1 Uso del suelo

EL uso de suelo del área de influencia del proyecto tiene características urbanas, con zonas duras con poca permeabilidad, como es el caso de tejados y pavimentos, también se considerarán las zonas verdes existentes y proyectadas. Las características del uso del suelo son fundamentales para determinar la rugosidad y coeficientes de escorrentía a tener en cuenta en los cálculos hidráulicos en la estimación de caudales y dimensionamiento de obras de drenaje.

4.3.1.2 Coeficientes de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del período de diseño.

Para áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

Tabla 10. Coeficientes de impermeabilidad

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubiertas	0.90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0.90
Vías adoquinadas	0.85
Zonas comerciales o industriales	0.90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0.60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0.45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0.30
Laderas sin vegetación	0.60
Laderas con vegetación	0.30
Parques recreacionales	0.30

Fuente: Manuales de buenas prácticas de ingeniería. RAS 2016. TÍTULO D.

Para este proyecto se toma un valor de 0.90 correspondiente a pavimentos asfálticos y superficies de concreto y un valor de 0.45 correspondiente a zona residencial con casas rodeadas de jardines, para un valor promedio de 0.60.

4.3.1.3 Períodos de retorno recomendados según tipo de obra

Este proyecto contempla la evaluación hidráulica de la corona vial, la cual cumplirá la función de canal hasta entregar sus aguas hasta los sumideros.

En función del tipo de obra y de su importancia, los respectivos períodos de retorno adoptados para determinar los caudales de diseño son los mostrados en la

Tabla 11. Para este proyecto se adoptó el período de retorno de 10 años.

Tabla 11. Períodos de retorno según tipo de obra

TIPO DE OBRA	Período de Retorno (Años)
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.9 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 31.

4.3.1.4 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya 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 la misma².

Debido a que el tiempo de concentración es inversamente proporcional a la intensidad de lluvias, se recomienda desde el punto de vista de seguridad utilizar el método de Kirpich, con el cual se obtienen menores tiempos de concentración.

La ecuación de Kirpich es:

Ecuación 2. Tiempo de concentración, ecuación Kirpich

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

² INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 2.

Fuente: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 2.

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).

Para las obras de drenaje, debido a que su tiempo Tc da menor a 15 minutos se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual a 15 min, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoyo y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.

4.3.1.5 Intensidad de precipitación

Teniendo en cuenta el tipo de obra, período de retorno y tiempo de concentración se calcula la intensidad de precipitación en base a las curvas IDF halladas para el área de influencia del proyecto. Debido a que el área de estudio es relativamente pequeña (menor a 50 ha), no se considerarán reducciones a causa del efecto de variabilidad de la precipitación. Se utilizarán los valores puntuales representativos obtenidos directamente de las curvas IDF.

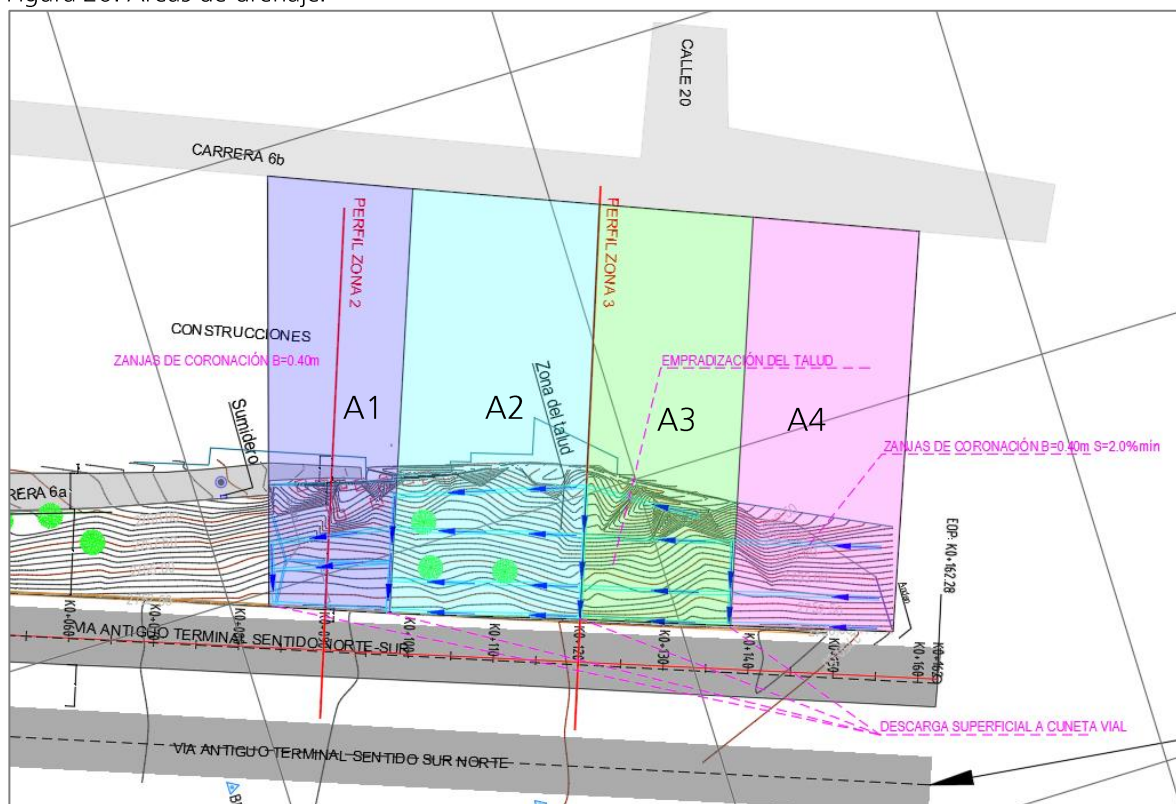
La intensidad para este proyecto, con un Tc de 15 minutos y un Tr de 10 años, es de 71.5 mm/h.

4.3.1.6 Área aferente

Con base en la topografía del terreno y las pendientes regionales, se realiza una estimación del área de drenaje tributaria asociada a las zonas con influencia hidrológica, en particular, a aquellas definidas por la parte superior del talud. La ubicación de las estructuras de drenaje se determina conforme a los cortes longitudinales del talud y en consideración de las condiciones de drenaje preexistentes.

A continuación, se presentan las áreas de drenaje previamente identificadas, diseñadas específicamente para facilitar la evacuación del caudal correspondiente a los puntos de salida de agua de las zanjas de coronación.

Figura 20. Áreas de drenaje.



Fuente: El Estudio.

4.4 CAUDAL DE DISEÑO

El área aferente crítica (mayor punto de concentración) que se tiene es de 0.11 ha, obtenido de medición directa en planos. Aplicando el método racional, teniendo un tiempo de concentración de $T_c = 15$ min, un período de retorno de 10 años, una intensidad de lluvias de 71.5 mm/h y un coeficiente de escorrentía de $C=0.60$, se obtiene un caudal de $0.013 \text{ m}^3/\text{s}$ (13.06 l/s).

Tabla 12. Caudal

ÁREA	ÁREA (m ²)	ÁREA (ha)	Coef. C	Tc (min)	Período de retorno TR (años)	Intensidad, I (mm/h)	Caudal Q (l/s)
A1	787.40	0.08	0.60	15	10	71.50	9.38

ÁREA	ÁREA (m ²)	ÁREA (ha)	Coef. C	Tc (min)	Período de retorno TR (años)	Intensidad, I (mm/h)	Caudal Q (l/s)
A2	1096.03	0.11	0.60	15	10	71.50	13.06
A3	867.44	0.09	0.60	15	10	71.50	10.34
A4	921.43	0.09	0.60	15	10	71.50	10.98

Fuente: El Estudio

4.5 CÁLCULO HIDRÁULICO OBRAS PROPUESTAS

4.5.1.1 Presentación del software de diseño

El software empleado para la modelación hidráulica de las cunetas fue el programa Bentley FlowMaster; programa muy potente e ideal para este tipo de cálculos.

FlowMaster es un paquete computacional de la empresa Bentley Systems, Incorporated; sirve para realizar rápidamente cálculos hidráulicos para docenas de tipos de elementos, desde tuberías, canales abiertos y hasta para sumideros y presas.

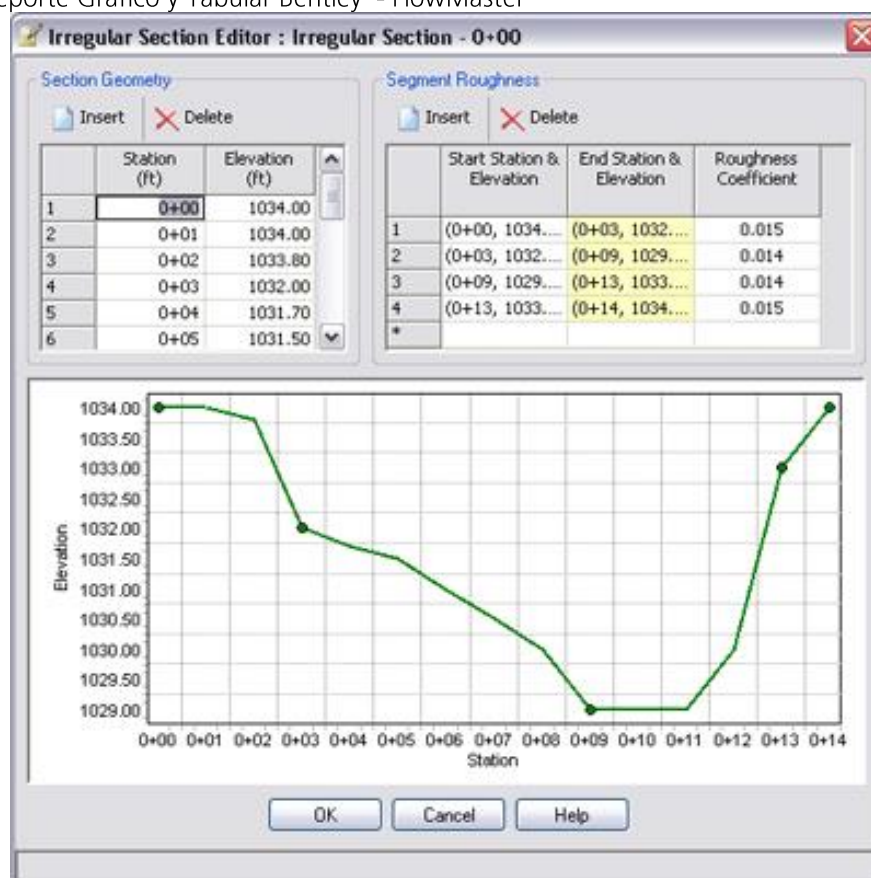
4.5.1.2 Hidráulica de canales abiertos – Bentley FlowMaster

Diseño y análisis de canales, diques, y tuberías a superficie libre de cualquier forma incluyendo box, circular, elíptica, parabólica y canales irregulares.

Bajo flujo uniforme encuentra el caudal, la profundidad normal, las dimensiones del canal, la pendiente, o la rugosidad, y compara los resultados utilizando diferentes métodos de fricción.

Lleva a cabo cálculos de flujo gradualmente variado de cualquier elemento a superficie libre, generar vistas de perfil de los resultados obtenidos, y también permite ver los cálculos en forma de tabla.

Figura 21. Reporte Gráfico y Tabular Bentley - FlowMaster



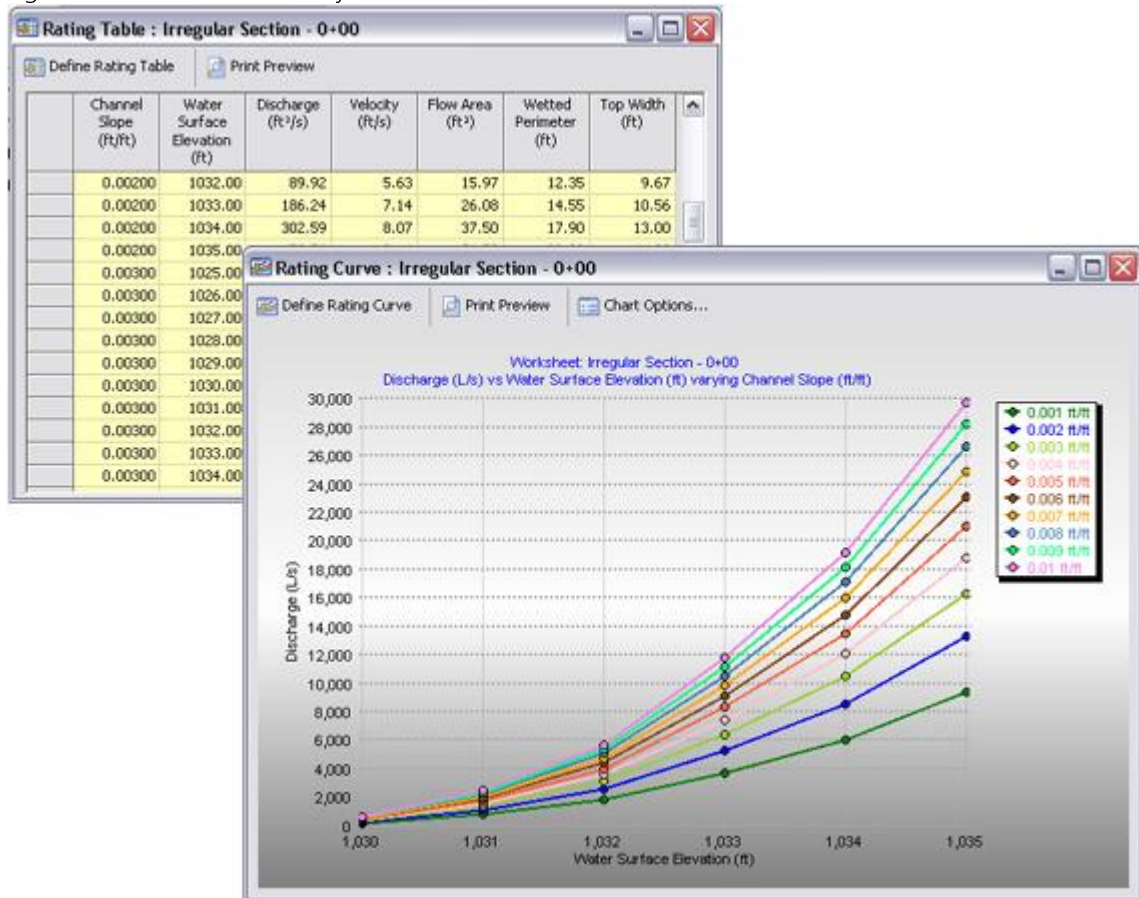
Fuente: Bentley Systems, Incorporated.

4.5.1.3 Gráfica e informes – Bentley FlowMaster

Utilizando las capacidades de elaboración de informes de FlowMaster, se puede crear rápidamente informes de resumen o un registro completo de su análisis y diseño.

Tiene la facilidad de generar informes tabulares personalizados, gráficos, diagramas de corte transversal, curvas de rendimiento, y las tablas de calificación para apoyar la toma de decisiones más inteligentes.

Figura 22. Informes Gráficos y Tabulares Personalizados - FlowMaster



Fuente: Bentley Systems, Incorporated.

4.5.1.4 Cálculo hidráulico

La capacidad de una cuneta (zanja de coronación), depende de su forma, pendiente y rugosidad. La sección se modela como un canal de sección trapezoidal y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme. Ésta ha sido usualmente representada mediante el nomograma de Izzard representado en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Caudal de la cuneta - Izzard

$$Q = 0.375 \cdot Y_0^{\frac{8}{3}} \cdot (Z/n) \cdot S_0^{1/2}$$

Fuente: RAS 2.000.

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

Y_o = mayor profundidad de flujo (m)

Z = pendiente transversal

S_o = pendiente longitudinal

n = coeficiente de rugosidad de Manning

El valor adoptado del coeficiente de Manning “ n ” para las superficies de diseño es de 0.025, teniendo en cuenta que es una superficie correspondiente a recubrimientos con bolsas de suelo cemento.

Se calculó el caudal de escurrimiento por el método racional debido a los tamaños de áreas tributarias.

La intensidad de lluvia correspondiente a tiempo de concentración de 15 minutos (T_c mínimo recomendado para este tipo de estudios) y período de retorno de 10 años de las curvas IDF de la estación seleccionada como representativa para la zona del proyecto.

Para el análisis hidráulico de las cunetas, se adoptó como criterio el que su capacidad fuera suficiente para evacuar los caudales aportados por la vía y por las zonas aledañas que drenan hacia ella, para una lluvia con un período de retorno de 5 años.

Los parámetros de diseño considerados son:

Tabla 13. Parámetros de diseño cuneta vial

DATOS ZANJA DE CORONACIÓN- CUNETAS	
Período de retorno	10 años
Tiempo de concentración inicial	15 minutos
Pendiente longitudinal	Mínima de 2.0%
Material	Bolsas Suelo- Cemento
Coeficiente de Manning	0.025

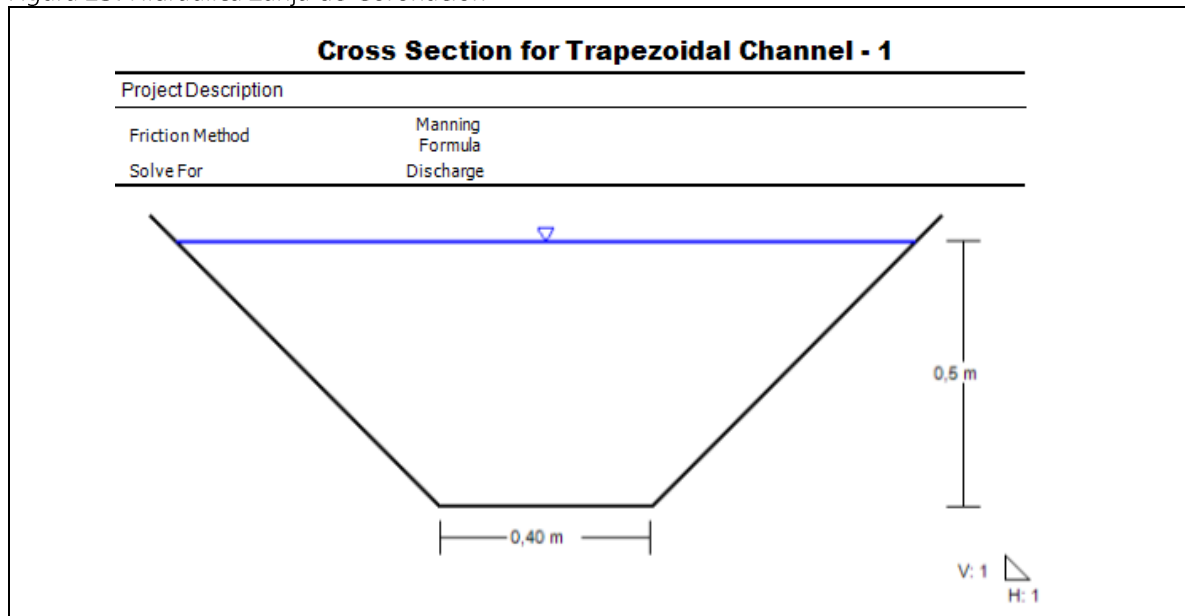
Fuente: El estudio.

Estos parámetros de diseño como el periodo de retorno, el tiempo de concentración inicial, el coeficiente de escurrimiento y las curvas IDF se describieron en los numerales anteriores. Los parámetros como la pendiente longitudinal son obtenidos directamente de la topografía de la zona.

Según estos parámetros, la cuneta se modeló para las condiciones más críticas de caudal y pendiente. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de dos por ciento (2.0%) como pendiente mínima deseable según el INVIAS³.

La sección de la cuneta establecida corresponde al siguiente esquema:

Figura 23. Hidráulica Zanja de Coronación

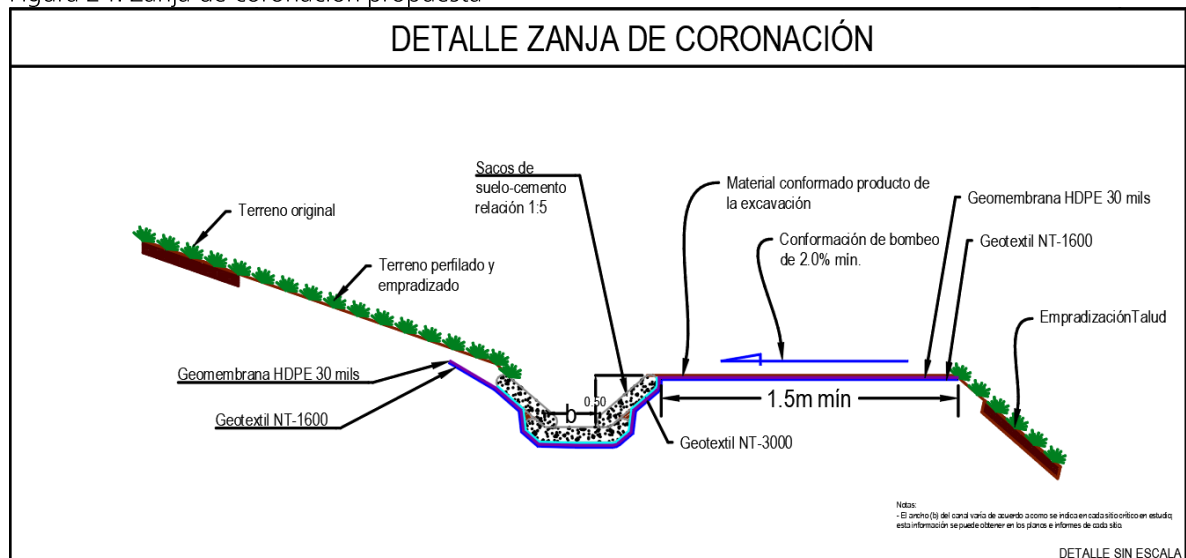


Fuente: El Estudio- Software Bentley FlowMaster, Bentley Systems, Incorporated.

Para este proyecto se plantea una zanja de coronación trapezoidal debido a que cumplirá la función de interceptar y de darle continuidad a los flujos de agua provenientes de las terrazas y de los disipadores de energía.

³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. cit., p. 127.

Figura 24. Zanja de coronación propuesta



Fuente: El estudio.

Debido a que la zanja propuesta tiene como finalidad darles continuidad a las obras de drenaje del talud adyacente, por tanto, se adopta como sección inicial 0.40 m de base y mínimo 0.50 m de altura.

Las zanjas de coronación son utilizadas para interceptar las aguas lluvias, evitando su paso por el talud. Son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud de corte o en proximidades de la base del terraplén, respectivamente.

Se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas para evitar infiltraciones que puedan afectar el talud de la vía y que la impermeabilización se complemente con un correcto mantenimiento en el que, cuando menos cada dos años, se reparen las fisuras y las grietas que se presenten.

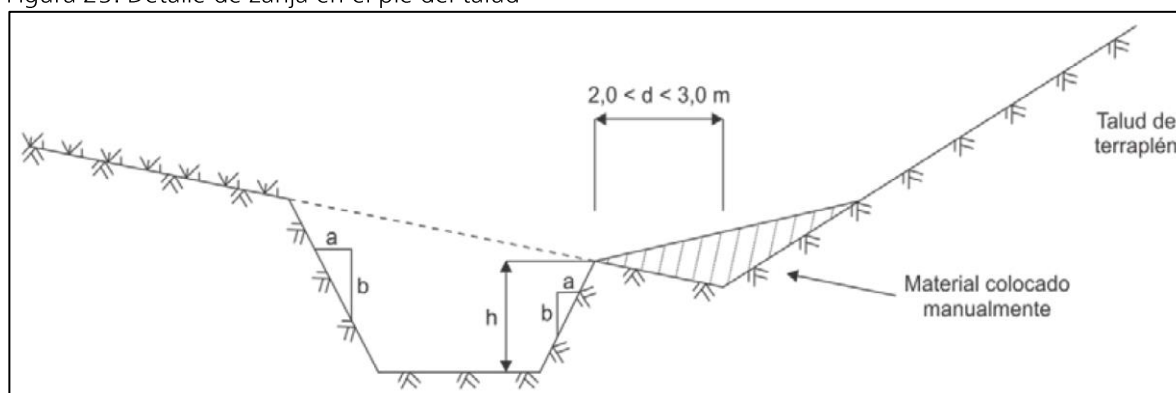
Las zanjas en el pie o base de los terraplenes captan las aguas que escurren hacia los terraplenes, protegiéndolos de la erosión, y captan también las aguas de la cuneta de terraplén.

El recubrimiento de este tipo de zanjas se debe decidir en función de la velocidad del flujo y del tipo de suelo pues, como se ha mencionado, en suelos permeables las infiltraciones pueden llegar a desestabilizar los taludes.

La separación mínima recomendada para las zanjas de coronación es de tres metros (3.0 m) desde el borde de la corona del talud, para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.

En terraplén, las zanjas en el pie del talud se proyectan paralelas al mismo a una distancia de 2.0 a 3.0 m, apilando el material excavado entre la zanja y el terraplén.

Figura 25. Detalle de zanja en el pie del talud



Fuente: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 4 – 29.

4.5.1.5 Cálculo hidráulico

El cálculo hidráulico se llevó a cabo teniendo en cuenta las condiciones más críticas, en donde se presenta una baja pendiente y el caudal máximo. Apoyados en el software de cálculo Bentley FlowMaster V8i, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 14. Cálculos hidráulicos - pendiente crítica de 0.3%

HIDRÁULICA ZANJA DE CORONACIÓN	
Pendiente longitudinal (%)	2.0
Caudal (m ³ /s)	389.21
Base (m)	0.40
Altura H	0.50
Pendiente lado izquierdo (%)	100
Pendiente lado derecho (%)	100
Manning, n	0.025
Área mojada (m ²)	0.5

HIDRÁULICA ZANJA DE CORONACIÓN	
Perímetro mojado (m)	1.8
Velocidad (m/s)	2.23

Fuente: El estudio.

Figura 26. Resultados de cálculo Zanjas de coronación y de base de terraplén

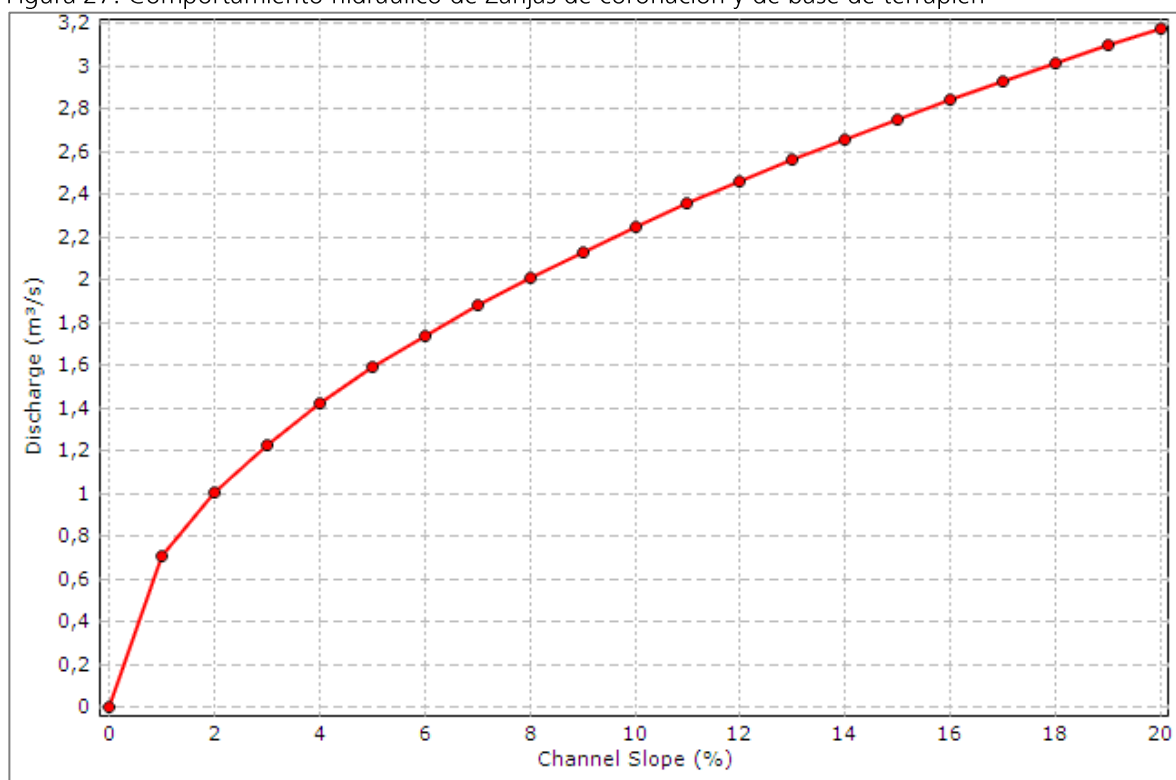
Project Description	
Friction Method	Manning Formula
Solve For	Discharge
Input Data	
Roughness Coefficient	0,025
Channel Slope	2,00 %
Normal Depth	0,5 m
Left Side Slope	100 %
Right Side Slope	100 %
Bottom Width	0,40 m
Results	
Discharge	1,00 m ³ /s
Flow Area	0,5 m ²
Wetted Perimeter	1,8 m
Hydraulic Radius	0,2 m
Top Width	1,40 m
Critical Depth	0,6 m
Critical Slope	1,24 %
Velocity	2,23 m/s
Velocity Head	0,25 m
Specific Energy	0,75 m
Froude Number	1,258
Flow Type	Supercritical
GVF Input Data	
Downstream Depth	0,0 m
Length	0,0 m
Number Of Steps	0
GVF Output Data	
Upstream Depth	0,0 m
Profile Description	N/A
Profile Headloss	0,00 m
Downstream Velocity	Infinito m/s
Upstream Velocity	Infinito m/s
Normal Depth	0,5 m
Critical Depth	0,6 m
Channel Slope	2,00 %
Critical Slope	1,24 %

Fuente: El estudio.

Se puede apreciar que la sección propuesta de 0.4 x 0.50 metros es capaz de transportar el caudal de diseño y además de garantizar un borde libre suficiente, lo cual le da un mayor grado de protección ante posibles lluvias con un período de retorno superior al de diseño.

La siguiente gráfica da a conocer el comportamiento de la sección propuesta ante una variación de la pendiente:

Figura 27. Comportamiento hidráulico de Zanjas de coronación y de base de terraplén



Fuente: El estudio.

La sección propuesta para las zanjas de coronación y de base de terraplén es capaz de interceptar y evacuar el caudal de diseño estimado, garantizando un borde libre suficiente para prever posibles tormentas con un período de retorno superior al de diseño, así como también la acumulación de sedimentos y de basuras, tendientes a aparecer debido a deficientes programas de mantenimiento y conservación de este tipo de obras.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las características hidro climáticas y el régimen de lluvias se definieron con base a la información disponible en el banco del IDEAM.
- Se recomienda llevar a cabo la construcción de las medidas de mitigación y estabilización en época de verano; como síntesis del análisis estadístico se puede concluir que los meses de diciembre, enero y febrero son recomendables para llevar a cabo labores de construcción, debido a que son los menos lluviosos; los demás meses presentan una mayor intensidad y frecuencia de lluvias, lo cual podría llegar a entorpecer el normal desarrollo de las labores constructivas.
- La localización de las obras propuestas se presenta en los numerales anteriores, además en los planos de drenaje; sin embargo, durante la construcción se pueden hacer modificaciones en conjunto con la interventoría, si se encuentran sitios que lo ameriten por condiciones particulares del terreno.
- Para la mitigación de los problemas de inestabilidad que presenta esta zona, se debe realizar manejo de aguas en la corona del deslizamiento, así como la construcción de canales en sacos de suelo cemento en la base de cada terraza para disminuir el efecto erosivo que genera el flujo libre de escorrentía sobre el talud, garantizando un flujo controlado mediante este tipo de estructura que garantiza su conducción y disipación.
- Las laderas y terrazas deben ser empradizada con el fin de disminuir la infiltración en estas zonas y así garantizar la estabilidad de los taludes y por ende, de las terrazas.
- Para garantizar el adecuado funcionamiento de las obras de drenaje es de vital importancia programar labores de limpieza, manteamiento y rehabilitación en periodos de tiempo no mayores a un año, para prevenir y corregir posibles daños como agrietamientos, taponamientos y demás factores que puedan afectar las condiciones óptimas de operación.
- Las obras que aquí se plantean corresponden a zanjas de coronación con un ancho de $B=0.40\text{m}$, altura de $H=0.5\text{m}$ y una pendiente longitudinal mínima $S=2.0\%$ mín, en sacos de suelo cemento, los cuales descargarán sus aguas de manera superficial a la cuneta vial.

- Adicionalmente, una vez realizada la demolición de las edificaciones en riesgo, se debe garantizar que esta zona sea impermeabilizada y drenada de tal forma que se garantice la mitigación de procesos de erosión del suelo e infiltración de agua de escorrentía.

Cordialmente,

A large, stylized handwritten signature in black ink, which appears to read "Oscar Fabián Pacheco Merchán", is positioned above the printed name.

OSCAR FABIÁN PACHECO MERCHÁN
Ingeniero Civil
M.P.: 25202-254768 CND
Ingeniero en Transporte y Vías
M.P.: 01109-1017 CPITV
Magíster en Ingeniería Civil – Hidroambiental

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá D.C.: INVIA, 2008.

_____. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C.: INVIA, 2009.

REYES TRUJILLO, Aldemar, ULISES BARRIOS, Fabián y CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Colección: Ciencias naturales y exactas. Primera edición. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2010.

VARGAS MR., DÍAZ GRANADOS O.M. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Santafé de Bogotá: Universidad de los Andes, 1998.

ANEXOS

A.1 VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES															SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION															
FECHA DE PROCESO : 2018/09/28															ESTACION : 24035130 U P T C
LATITUD	0533 N	TIPO EST	CP	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION									1962-FEB
LONGITUD	7321 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUNJA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	2690 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA-CASAN	CORRIENTE	CHULO										

A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL

1962	4	10					17	19	18	16	14	16	16	6	122 3
1963	4	11	3	9	9	20	22	13	21	11	10	13	17	2	150
1964	4	11		2	1	20	14	24	19	12	12	14	10	6	134 3
1965	4	11	4	2	1	17 3	15 3	12	14 3	12	5	14 3	17	1	114 3
1966	4	11		1	10	5	5 3	12	17	19	13	15 3	+	11 3	108 3
1967	4	11	5	4	13	18	22	26							88 3
1968	4	11	4	5	6	25	19	20	22	19	15	16	12	3	166
1969	2	1	10	9	+	17	15	17	17	15	13	22	10	5	150 3
1970	2	1	7	6	3	14	23	20	16	17	19	17	16	14	172
1971	2	1	13	10	17	14	24	17	14	20	19	13	16	10	187
1972	2	1	14	8	17	20	15	16	13	16	16	15	12	5	167
1973	2	1	1	1	10	13	15	18	19	20	24	19	18	14	172
1974	2	1	9	10	18	18	22	14	14	15	19	21	18	7	185
1975	2	1	1	8	13	17	19	16	22	23	14	17	15	23	188
1976	2	1	7	6	24	21	18	15	15	18	14	18	16	14	186
1977	2	1	2	2	7	17	17	22	12	16	17	15	16	5	148
1978	2	1	3	5	14	21	17	24	17	18	12	16	11	11	169
1979	2	1	4	3	15	20	20	20	15	21	16	25	23	11	193
1980	2	1	5	8	6	17	14	21	20	17	14	14	9	9	154
1981	2	1	4	9	8	20	24	21	16	17	16	16	16	7	174
1982	2	1	6	14	15	20	20	14	22	19	16	21	16	10	193
1983	2	1	3	14	11	23	19	14	20	22	12	17	9	11	175
1984	2	1	12	10	9	17	17	21	20	27	23	16	17	4	193
1985	2	1	3	4	11	14	20	19	18	19	22	18	13	10	171
1986	2	1	7	14	12	18	17	23	16	12	13	24	15	8	179
1987	2	1	2	6	9	15	17	16	22	17	17	21	15	6	163
1988	2	1	2	7	5	15	11	21	23	21	22	23	22	10	182
1989	2	1	5	11	21	9	18	19	20	13	16	18	14	4	168
1990	2	1	5	9	16	18	20	15	21	17	11	18	16	9	175
1991	2	1	2	6	18	18	22	14	21	23	19	28	21	8	200
1992	2	1	2	4	9	15	15	17	21	14	17	8	17	9	148
1993	2	1	6	7	16	18	22	18	22	17	16	16	20	6	184
1994	2	1	9	12	15	17	23	19	17	23	17	19	16	2	189
1995	2	1	2	5	11	16	18	17	17	20	11	11	13	16	157
1996	2	01	9	11	16	12	23	25	25	21	15	20	14	11	202
1997	2	01	12	8	9	13	13	13	24	15	11	12	12	2	144
1998	1	01	2	4	10	12	23	20	22	21	9	13	29	31	196
1999	1	01	9	21	14	18	17	17	20	13	20	19	15	9	192
2000	1	01	6	9	13	18	24	20	18	21	24	18	14	11	196
2001	1	01	3	5	11	9	19	19	16	20	20	14	14	15	165
2002	1	01	7	4	16	16	16	21	14	16	15	14	12	8	159
2003	1	01	1	7	15	20	15	18	19	19	14	21	18	8	175
2004	1	01	3	5	7	19	22	18	18	14	14	21	12	8	161
2005	1	01	6	5	5	18	23	19	18	19	14	18	19	9	173
2006	1	01	12	6	20	21	16	25	15	18	11	23	11	10	188

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL			
VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION																	
FECHA DE PROCESO : 2018/09/28														ESTACION : 24035130 U P T C			
LATITUD		0533 N		TIPO EST		CP		DEPTO		BOYACA		FECHA-INSTALACION		1962-FEB			
LONGITUD		7321 W		ENTIDAD		01 IDEAM		MUNICIPIO		TUNJA		FECHA-SUSPENSION					
ELEVACION		2690 m.s.n.m		REGIONAL		06 BOYACA-CASAN		CORRIENTE		CHULO							

A#O		EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	

2007	1	01		3	2	10	14	22	17	16	22	15	24	14	12 3	171	3
2008	1	01		5	7	12	15	18	20	18	22	16	15	25	8	181	
2009	1	01		9	8	17	17	11	20	17	17	11	14	5	6	152	
2010	1	01		1	8	11	21	23	18	27	15	11	22	24	15	196	
2011	1	01		3	17	19	23	24	16	18	16	15	21	21	15	208	
2012	1	01		7	8	17	22	13	17	22	11	13	13	10	5	158	
2013	1	01		1	11	10	11	22	8	15	16	10	15	21	9	149	
2014	1	01		2	10	10	15	13	17	16	10	15	16	15	10	149	
2015	1	01		5	10	13	16	9	17	16	13	8	11	15	4	137	
2016	1	01		2	5	7	15	15	17	19	14	17	16	17	10	154	
2017	1	01		10	6	21	12	16								65	3
MEDIOS				5	7	12	17	18	18	18	17	15	17	16	9	171	
MAXIMOS				14	21	24	25	24	26	27	27	24	28	29	31	31.0	
MINIMOS				1	1	1	5	5	8	12	10	5	8	5	1	1.0	

A.2 NÚMERO DE DÍAS MENSUALES CON PRECIPITACIÓN

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION															
FECHA DE PROCESO : 2018/09/28														ESTACION : 24035130 U P T C	
LATITUD	0533 N	TIPO EST	CP	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1962-FEB								
LONGITUD	7321 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUNJA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	2690 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA-CASAN	CORRIENTE	CHULO										

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL

1962	4	10					17	19	18	16	14	16	16	6	122 3
1963	4	11	3	9	9	20	22	13	21	11	10	13	17	2	150
1964	4	11		2	1	20	14	24	19	12	12	14	10	6	134 3
1965	4	11	4	2	1	17 3	15 3	12	14 3	12	5	14 3	17	1	114 3
1966	4	11		1	10	5	5 3	12	17	19	13	15 3	4	11 3	108 3
1967	4	11	5	4	13	18	22	26							88 3
1968	4	11	4	5	6	25	19	20	22	19	15	16	12	3	166
1969	2	1	10	9	4	17	15	17	17	15	13	22	10	5	150 3
1970	2	1	7	6	3	14	23	20	16	17	19	17	16	14	172
1971	2	1	13	10	17	14	24	17	14	20	19	13	16	10	187
1972	2	1	14	8	17	20	15	16	13	16	16	15	12	5	167
1973	2	1	1	1	10	13	15	18	19	20	24	19	18	14	172
1974	2	1	9	10	18	18	22	14	14	15	19	21	18	7	185
1975	2	1	1	8	13	17	19	16	22	23	14	17	15	23	188
1976	2	1	7	6	24	21	18	15	15	18	14	18	16	14	186
1977	2	1	2	2	7	17	17	22	12	16	17	15	16	5	148
1978	2	1	3	5	14	21	17	24	17	18	12	16	11	11	169
1979	2	1	4	3	15	20	20	20	15	21	16	25	23	11	193
1980	2	1	5	8	6	17	14	21	20	17	14	14	9	9	154
1981	2	1	4	9	8	20	24	21	16	17	16	16	16	7	174
1982	2	1	6	14	15	20	20	14	22	19	16	21	16	10	193
1983	2	1	3	14	11	23	19	14	20	22	12	17	9	11	175
1984	2	1	12	10	9	17	17	21	20	27	23	16	17	4	193
1985	2	1	3	4	11	14	20	19	18	19	22	18	13	10	171
1986	2	1	7	14	12	18	17	23	16	12	13	24	15	8	179
1987	2	1	2	6	9	15	17	16	22	17	17	21	15	6	163
1988	2	1	2	7	5	15	11	21	23	21	22	23	22	10	182
1989	2	1	5	11	21	9	18	19	20	13	16	18	14	4	168
1990	2	1	5	9	16	18	20	15	21	17	11	18	16	9	175
1991	2	1	2	6	18	18	22	14	21	23	19	28	21	8	200
1992	2	1	2	4	9	15	15	17	21	14	17	8	17	9	148
1993	2	1	6	7	16	18	22	18	22	17	16	16	20	6	184
1994	2	1	9	12	15	17	23	19	17	23	17	19	16	2	189
1995	2	1	2	5	11	16	18	17	17	20	11	11	13	16	157
1996	2	01	9	11	16	12	23	25	25	21	15	20	14	11	202
1997	2	01	12	8	9	13	13	13	24	15	11	12	12	2	144
1998	1	01	2	4	10	12	23	20	22	21	9	13	29	31	196
1999	1	01	9	21	14	18	17	17	20	13	20	19	15	9	192
2000	1	01	6	9	13	18	24	20	18	21	24	18	14	11	196
2001	1	01	3	5	11	9	19	19	16	20	20	14	14	15	165
2002	1	01	7	4	16	16	16	21	14	16	15	14	12	8	159
2003	1	01	1	7	15	20	15	18	19	19	14	21	18	8	175
2004	1	01	3	5	7	19	22	18	18	14	14	21	12	8	161
2005	1	01	6	5	5	18	23	19	18	19	14	18	19	9	173
2006	1	01	12	6	20	21	16	25	15	18	11	23	11	10	188

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION															
FECHA DE PROCESO : 2018/09/28														ESTACION : 24035130 U P T C	
LATITUD	0533 N	TIPO EST	CP	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1962-FEB								
LONGITUD	7321 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUNJA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	2690 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA-CASAN	CORRIENTE	CHULO										

A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL

2007	1	01	3	2	10	14	22	17	16	22	15	24	14	12 3	171 3
2008	1	01	5	7	12	15	18	20	18	22	16	15	25	8	181
2009	1	01	9	8	17	17	11	20	17	17	11	14	5	6	152
2010	1	01	1	8	11	21	23	18	27	15	11	22	24	15	196
2011	1	01	3	17	19	23	24	16	18	16	15	21	21	15	208
2012	1	01	7	8	17	22	13	17	22	11	13	13	10	5	158
2013	1	01	1	11	10	11	22	8	15	16	10	15	21	9	149
2014	1	01	2	10	10	15	13	17	16	10	15	16	15	10	149
2015	1	01	5	10	13	16	9	17	16	13	8	11	15	4	137
2016	1	01	2	5	7	15	15	17	19	14	17	16	17	10	154
2017	1	01	10	6	21	12	16								65 3
MEDIOS			5	7	12	17	18	18	18	17	15	17	16	9	171
MAXIMOS			14	21	24	25	24	26	27	27	24	28	29	31	31.0
MINIMOS			1	1	1	5	5	8	12	10	5	8	5	1	1.0

A.3 VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24H

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mm±)															
EN 24 HORAS															
FECHA DE PROCESO : 2018/09/28														ESTACION : 24035130 U P T C	
LATITUD	0533 N	TIPO EST	CP	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1962-FEB								
LONGITUD	7321 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUNJA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	2690 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA-CASAN	CORRIENTE	CHULO										

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL

1962	4	10					12.8	15.3	9.4	9.4	8.5	23.0	27.0	16.3	27.0 3
1963	4	11	9.8	3.1	14.5	15.7	18.5	15.3	16.1	7.3	4.5	8.8	26.6	.4	26.6
1964	4	11		.5	9.5	21.5	25.3	18.0	8.2	13.7	3.6	11.6	11.4	15.6	25.3 3
1965	4	11	11.0	12.0	8.5	25.0 3	16.0 3	4.6	17.5 3	7.0	4.5	27.3 3	40.5	1.9	40.5 3
1966	4	11		.2	16.5	25.0	8.0 3	31.8	15.4	14.0	6.3	14.5 3	*	12.4 3	31.8 3
1967	4	11	4.7	4.3	12.1	13.6	23.8	24.5							24.5 3
1968	4	11	4.4	5.2	9.8	31.7	4.3	21.2	7.1	8.4	21.9	8.3	20.1	19.5	31.7
1969	2	01	31.6	3.5	*	23.0	12.7	31.3	7.4	5.4	9.3	16.8	12.5	12.7	31.6 3
1970	2	01	12.8	3.8	1.1	10.6	17.1	4.8	11.6	9.6	9.3	42.8	10.9	2.7	42.8
1971	2	01	16.1	12.6	18.9	10.3	24.8	15.8	25.2	17.5	12.8	24.3	11.6	12.2	25.2
1972	2	01	16.4	19.6	19.1	26.5	17.5	10.8	11.0	13.0	7.3	24.2	9.6	6.0	26.5
1973	2	01	.4	14.7	18.8	6.9	19.7	24.7	9.3	14.8	23.9	17.0	17.7	13.2	24.7
1974	2	01	6.5	10.2	30.9	15.0	15.1	13.0	9.3	11.8	24.6	14.4	22.6	6.8	30.9
1975	2	01	.5	6.3	11.5	26.0	18.7	17.3	13.7	7.8	12.9	31.6	17.2	18.8	31.6
1976	2	01	1.4	9.2	15.1	19.2	25.0	10.7	10.0	5.1	15.9	25.8	25.9	23.1	25.9
1977	2	01	.1	.4	17.6	26.9	20.2	12.6	6.6	12.8	13.4	12.5	19.4	15.0	26.9
1978	2	01	.9	30.7	32.6	17.7	33.3	10.8	11.4	12.0	13.6	20.3	6.1	7.8	33.3
1979	2	01	13.1	9.6	11.1	33.4	26.6	25.5	9.8	23.1	16.3	37.3	23.8	12.5	37.3
1980	2	01	3.3	7.0	11.2	6.2	10.0	23.5	7.4	8.8	45.7	25.6	7.2	6.1	45.7
1981	2	01	7.6	9.7	2.4	28.4	37.2	17.6	9.7	19.5	9.6	24.0	20.8	11.9	37.2
1982	2	01	3.0	12.7	19.6	23.1	15.2	8.8	8.7	7.3	7.5	21.4	8.6	8.3	23.1
1983	2	01	6.1	5.4	15.2	12.7	12.6	10.9	6.7	12.7	3.1	6.7	4.1	17.1	17.1
1984	2	01	20.8	13.8	22.9	12.2	39.5	20.8	11.8	16.0	13.9	20.9	22.7	4.3	39.5
1985	2	01	4.4	1.4	12.0	11.3	22.4 1	9.0	14.5	12.0	11.4	32.5	42.3	19.6	42.3
1986	2	01	4.4	15.0	21.9	16.5	13.5	13.7	4.9	5.0	28.5	23.6	23.3	4.3	28.5
1987	2	01	1.6	6.7	15.0	27.6	20.7	9.7	18.8	22.2	6.2	20.4	9.6	7.6	27.6
1988	2	01	6.7 1	14.5	21.2	34.6	10.0	11.7 1	17.2	7.2	22.3	19.2	20.9	16.5	34.6
1989	2	01	1.3	11.4	28.6	6.5	23.3	17.6	7.0	10.7	28.5	13.2	14.4	10.9	28.6
1990	2	01	9.2 1	11.4	11.5 1	22.7	25.5	6.5	6.2	8.0	8.2	15.6	11.0	21.5	25.5
1991	2	01	.4	6.3	15.2	9.2	28.2	8.3	5.8	6.3	13.4	12.4	14.6	9.8	28.2
1992	2	01	16.0 1	3.6	17.1	9.3 1	31.0	5.1 1	6.0 1	12.2	12.4	8.0	22.4	5.0	31.0
1993	2	01	15.2 1	9.9 1	9.2 1	11.6 1	31.8	12.3 1	15.1	4.0 1	16.4	18.4	21.0	6.4 1	31.8
1994	2	01	13.1	27.7	14.2	16.7	24.1	14.5	13.7	7.8	19.8	42.4	13.8	2.0	42.4
1995	2	01	1.0	12.7	14.5	13.5	14.5	11.3	7.6	21.4	16.6	66.9	17.7	8.0	66.9
1996	2	01	11.4	13.2	11.1	14.7	19.8	15.0	10.8	12.5	5.3	13.8	23.5	13.4	23.5
1997	2	01	22.6	4.8	10.0	18.1	11.8	6.0	4.3	9.2	21.4	24.5	19.9	2.4 1	24.5
1998	1	01	.5	13.5	17.5	10.4	34.0	24.9	12.8	16.0	10.0	15.2	15.1	.1	34.0
1999	1	01	22.9	27.5	16.5	14.5	8.3	14.3	11.0	9.2	24.8	29.2	24.6	23.8	29.2
2000	1	01	2.3	7.9	14.6	20.6	14.5	36.2	17.8	13.2	23.3	17.8	15.0	11.5	36.2
2001	1	01	2.0	21.0	9.8	2.8	19.2	11.2	8.7	6.2	21.1	10.2	14.3	15.3	21.1
2002	1	01	4.8	5.7	26.3	16.8	41.5	8.8	13.4	18.3	20.9	21.4	11.0	6.6	41.5
2003	1	01	1.0	11.4	19.8	25.4	13.0	9.7	9.5	5.1	23.6	19.3	32.4	22.4	32.4
2004	1	01	9.6	12.4	12.8	23.8	23.3	11.0	11.8	8.2	23.6	16.3	17.0	21.4	23.8
2005	1	01	10.5	9.9	4.2	23.5	17.2	8.5	8.6	10.2	12.3	12.7	32.3	11.9	32.3
2006	1	01	29.4	4.2	21.6	33.2	10.8	30.1	15.0	3.5	26.9	24.8	29.0	16.0	33.2

Bogotá D.C., diciembre de 2023

Señores
ALCALDIA DE TUNJA
Tunja.

Ref: Memorial responsabilidad.

Respetados Señores:

OSCAR FABIAN PACHECO MERCHAN, Profesional en Ingeniería Civil con maestría en hidro ambiental, por medio de este memorial manifiesto que el componente hidráulico para el estudio denominado "SI-178 CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN Y/O AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN Y/O MODIFICACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO N° 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA", fue desarrollado de acuerdo con los lineamientos técnicos vigentes en el marco del CCP-14 y/o NSR-10, por panto asumo la responsabilidad por los resultados de los mismos.

Atentamente,



OSCAR PACHECO MERCHAN
C.C. No. 1.049.606.085 DE TUNJA
M.P 25202-254768 CND

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

La Fundación Universitaria Agraria de Colombia
-Uniagraria-

Personería Jurídica No. 2590 del 13 de marzo de 1986

En nombre de la República de Colombia
y mediante autorización del Ministerio de Educación Nacional
Teniendo en cuenta que

Oscar Fabián Pacheco Merchán

cedula de ciudadanía No. 614966655 de Bogotá

Cumplió satisfactoriamente los requisitos académicos exigidos por la Institución
y las disposiciones legales y reglamentarias, le confiere el Título de

Ingeniero Civil

En constancia de lo anterior se firma y sella este Diploma en
Bogotá, D.C., el 17 de Mayo del año 2013

Escuela Superior "Uniagraria"
Registro del Título No. 01759433 Egresado de Año 53
Bogotá, D.C. 17 de Mayo del año 2013


El Rector



El Vicerrector Académico



El Director



El Secretario Académico


A.S.

República de Colombia



LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Autorizada por el Ministerio de Educación Nacional
Teniendo en cuenta que

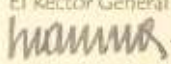
Oscar Fabián Pacheco Merchán

C.C. N°: 1.049.606.085 de Tunja

Aprobó los estudios programados y cumplió con las exigencias
legales y reglamentarias, le confiere el Título de

**Magíster en Ingeniería Civil
con Énfasis en Hidroambiental**

En constancia se firma y sella en Tunja
a los 24 días del mes de agosto de 2018

El Rector General


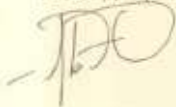
El Rector Seccional



El Secretario Seccional



El Decano de Facultad



Registro interno No. 707.329.24-08-2018

Folia 17 Libro 18

**CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA**

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que OSCAR FABIAN PACHECO MERCHAN, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1049606085, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-254768 desde el 04 de Julio de 2013, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1247.
2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.
3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**
4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.
5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los dieciseis (16) días del mes de Agosto del año dos mil veintitres (2023).



Rubén Dario Ochoa Arbeláez



Firmal del titular (*)

(*) Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado.
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

REPUBLICA DE COLOMBIA
CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA



MATRÍCULA PROFESIONAL No.
25202-254768 CND
INGENIERO CIVIL
DE FECHA: 04/07/2013
OSCAR FABIAN
PACHECO MERCHAN
C.C. 1049606035
FUNDACION UNIVERSITARIA
AGRARIA DE COL. UNIAGRARIA

Juan Manuel Sanchez
PRESIDENTE DEL CONSEJO

