

## DOCUMENTOS ACTA 04 CONT 064-21 LUISA FERNANDA PARRA



**De** <dolly.camacho@ibal.gov.co>

**Destinatario** <sgeneral@ibal.gov.co>

**Fecha** 2021-10-13 09:41

 DOCUMENTOS ACTA 04 CONT 064-21 LUISA FERNANDA PARRA.PDF (~1,2 MB)

ADJUNTO DOCUMENTOS DEL ASUNTO PARA TRÁMITE PERTINENTE

	<b>SOPORTES DOCUMENTALES PARA TRAMITE DE CUENTA</b>  <b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	<b>CÓDIGO:</b> GJ-R-050
		<b>FECHA VIGENCIA:</b> 2016-10-12
		<b>VERSIÓN:</b> 02
		Página 1 de 1

Ibagué,

Doctor(a)  
**OLGA LUCÍA LIÉVANO RODRIGUEZ**  
 Secretaria General  
 IBAL E.S.P S. A  
 Ibagué

*D/Doval*  
 08-10-21  
 10:40

**REF: ENVIO SOPORTES PARA TRAMITE DE CUENTA DEL CONTRATO N° 064 del 2021.**

Cordial Saludo:

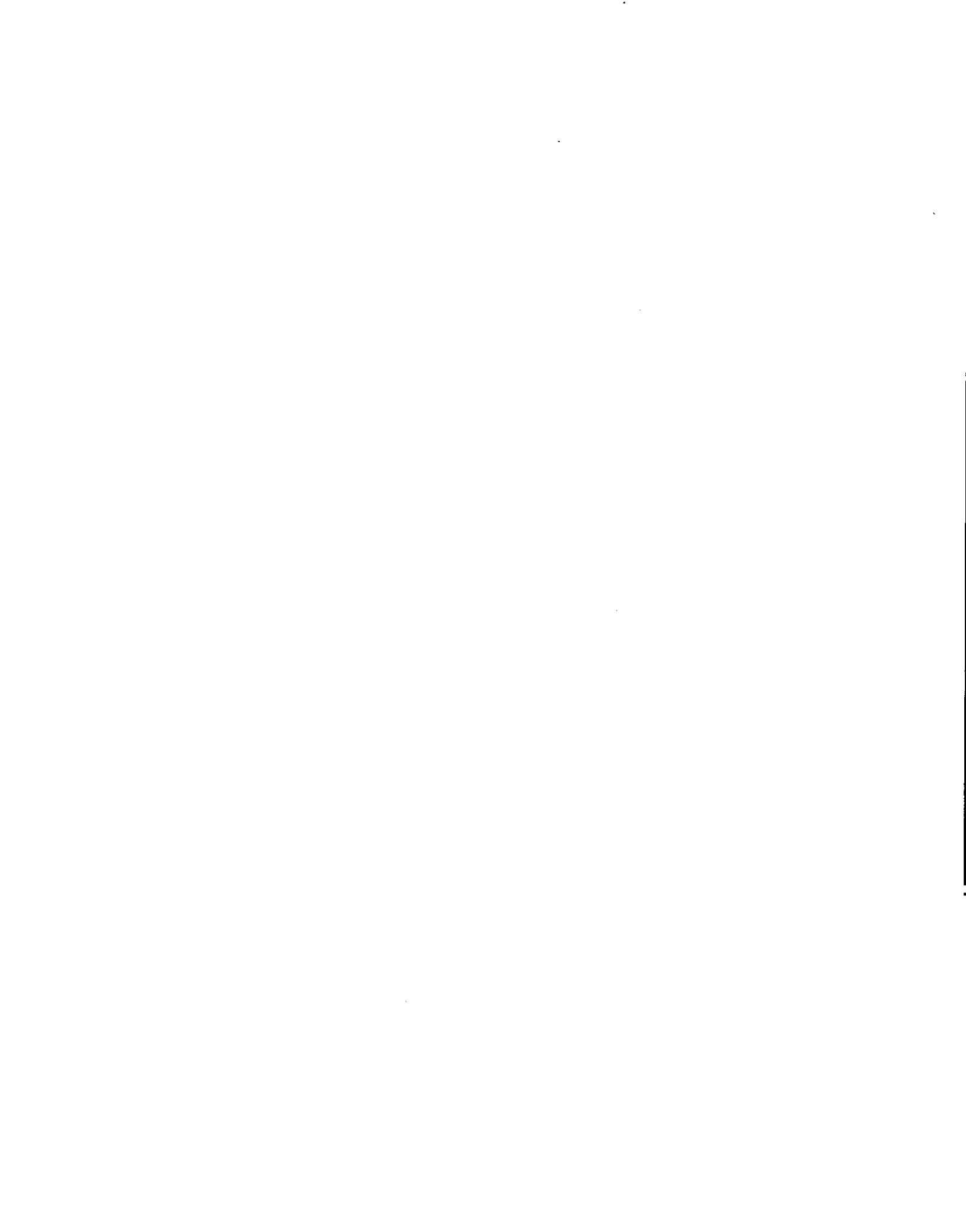
Por medio de la presente me dirijo a usted con el fin de allegarle los soportes documentales originales para que obren dentro de la carpeta del archivo de gestión de la secretaria general, así como también las copias de los documentos que son requeridos por la oficina de contabilidad para el respectivo tramite de cuenta, para lo cual me permito relacionar al detalle los documentos que adjunto, de la siguiente manera:

DOCUMENTOS ACTA PARCIAL N° 04:

- Acta parcial No.04. ✓
- Cuenta de Cobro No.04. ✓
- Ficha técnica de evaluación y reevaluación. ✓
- Planilla de seguridad social. ✓

Atentamente,

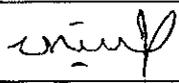
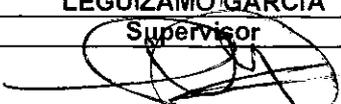
  
 CARLOS ALBERTO LEGUIZAMO GARCÍA  
 Supervisor



	<b>ACTA PARCIAL</b> <b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	<b>CÓDIGO:</b> GJ-R-033
		<b>FECHA VIGENCIA:</b> 2021-07-15
		<b>VERSIÓN:</b> 06
		<b>Página 1 de 2</b>

<b>Contrato No.</b>	064 del 06 de mayo de 2021			
<b>Objeto</b>	"CONTRATAR LOS SERVICIOS DE UN PROFESIONAL JUNIOR GRADO 2 EN INGENIERÍA CIVIL, PARA FORTALECER LOS PROCESOS QUE TIENE A CARGO LA DIRECCIÓN DE PLANEACION EN LA EMPRESA IBAGUEREÑA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO IBAL S.A E.S.P OFICIAL".			
<b>Valor total</b>	VEINTIDOS MILLONES DOSCIENTOS MIL PESOS (\$22.200.000,00) M/CTE			
<b>Contratista</b>	LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ			
<b>Supervisor</b>	CARLOS ALBERTO LEGUIZAMO GARCÍA – Director de Planeación			
<b>Fecha de inicio</b>	20 de mayo de 2021			
<b>Fecha de terminación</b>	19 de noviembre de 2021			
<b>Plazo de Ejecución</b>	SEIS (06) MESES, contados a partir de la suscripción del acta de iniciación, previa acreditación del cumplimiento de los requisitos de legalización y perfeccionamiento.			
<b>FECHA DE ELABORACIÓN DEL ACTA PARCIAL</b>		<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>
		2021	10	05
En la ciudad de Ibagué, en la fecha antes indicada, contratista y supervisor suscriben la presente Acta Parcial No. 04 del contrato antes identificado. Para completar y soportar los trámites necesarios para su correspondiente pago.				
<b>Periodo informado</b>	20 de agosto de 2021 a 19 de septiembre de 2021 ✓			
<b>Informe de las actividades desarrolladas y avaladas por el supervisor</b>	Modelación hidrológica de paso elevado Calucaima 1 en informe: "Análisis Geomorfológico e hidrológico sub-cuenca del río Alvarado Punto 1 Calucaima" Modelación hidrológica de paso elevado Calucaima 2 en informe: "Análisis Geomorfológico e hidrológico sub-cuenca del río Alvarado Punto 2 Calucaima"			
<b>Evidencias de la ejecución del contrato</b>	Los documentos que reposan en las carpetas y los diferentes procesos publicados en el SECOP I, cuentan con mi visto bueno y mi firma en cada uno de los documentos revisados y/o proyectados. Adicionalmente informe de actividades con visto bueno del supervisor del contrato y anexos en digital.			
<b>ESTADO DE CUENTA</b>				
<b>Valor Contrato</b>	VEINTIDOS MILLONES DOSCIENTOS MIL PESOS (\$22.200.000,00) M/CTE			
<b>Valor Acta No. 01</b>	TRES MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS (\$ 3.700.000) M/CTE.			
<b>Valor Acta No. 02</b>	TRES MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS (\$ 3.700.000) M/CTE.			
<b>Valor Acta No. 03</b>	TRES MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS (\$ 3.700.000) M/CTE.			
<b>Valor Acta No. 04</b>	TRES MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS (\$ 3.700.000) M/CTE.			
<b>Saldo(Valor pendiente para pago )</b>	SIETE MILLONES CUATROCIENTOS (7.400.000,00) MCTE. ✓			

	<b>ACTA PARCIAL</b>	<b>CÓDIGO: GJ-R-033</b>
	<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	<b>FECHA VIGENCIA:</b> 2021-07-15
		<b>VERSIÓN: 06</b>
		<b>Página 2 de 2</b>

APORTES AL SISTEMA DE SEGURIDAD SOCIAL			
PERSONA JURIDICA			
El contratista presentó certificación suscrita por el revisor fiscal o el representante legal acreditando que se encuentra a paz y salvo en el pago de aportes al Sistema de Seguridad Social Integral y pagos de parafiscales a que hubiere lugar.			
<b>APORTA CERTIFICACION REPRESENTANTE LEGAL</b>	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>
<b>APORTA CERTIFICACION REVISOR FISCAL</b> (En caso de aportar certificación del revisor fiscal deberá adjuntar con ella, copia de la tarjeta profesional y certificado de antecedentes de la Junta Central de Contadores)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>
PERSONA NATURAL			
<b>Entidad en donde se realiza el pago.</b>	<b>APORTES EN LÍNEA</b>	<b>Valor total del aporte</b>	<b>\$ 486.200</b>
Planilla	9423651880 - SALUD, PENSIÓN Y 7808809267 ARL	Salud	\$ 185.000
<b>Periodo cotizado</b>	<b>De</b>	<b>01/09/2021</b>	<b>Pensión</b>
	<b>Hasta</b>	<b>31/09/2021</b>	<b>ARL</b>
			\$ 236.800
			\$ 64.400
ANEXOS:			Marque con x
Recibo de pago de seguridad social			X
Copia planillas de aporte			X
<b>Firma</b>			
<b>Nombre</b>	<b>LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ</b>	<b>CARLOS ALBERTO LEGUIZAMO GARCÍA</b>	
	Contratista	Supervisor	
<b>V° B° Profesional Salud Ocupacional IBAL</b>	<b>CLAUDIA COMBITA ZAMBRANO</b> Profesional Salud Ocupacional IBAL		



IBAL S.A E.S.P

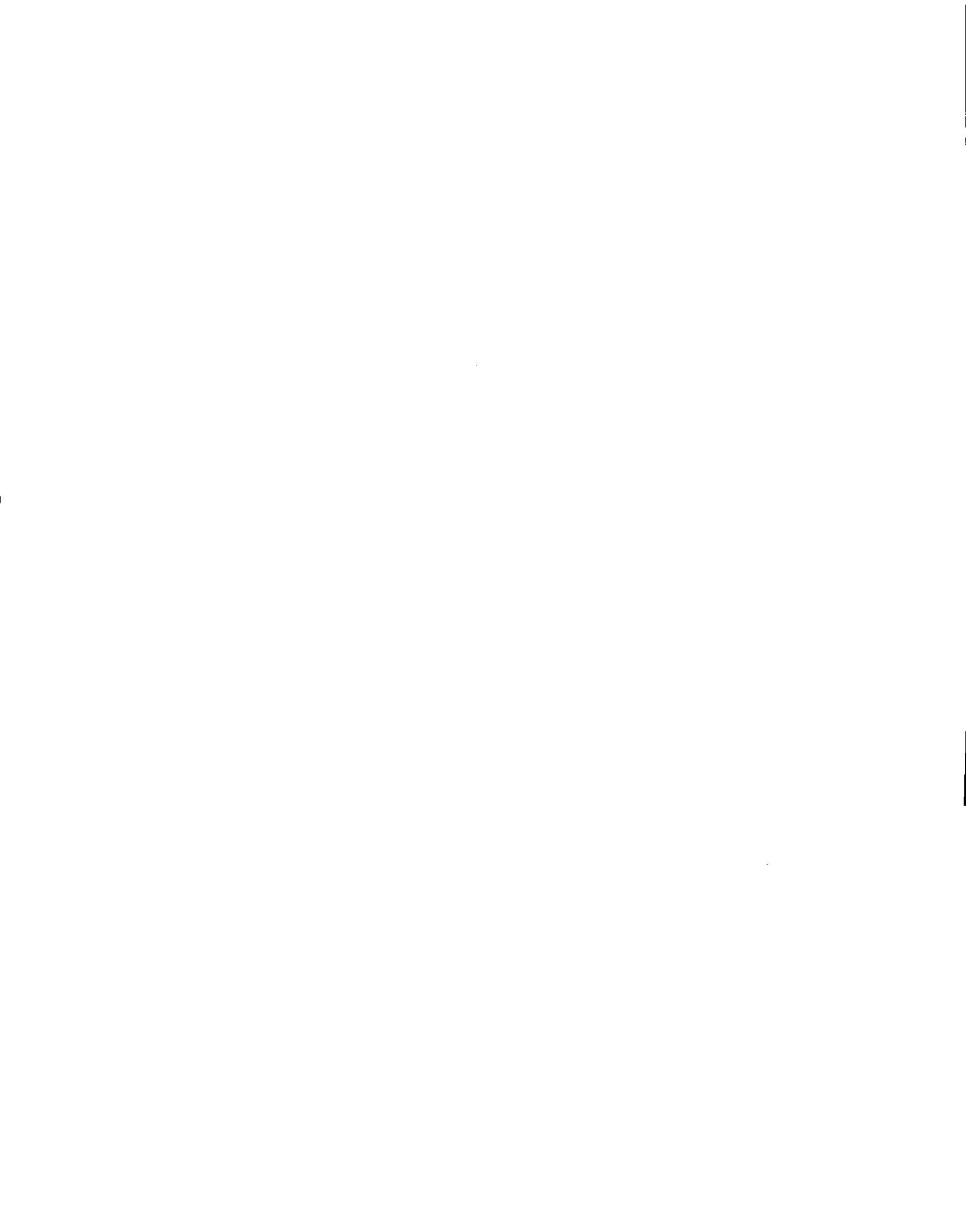


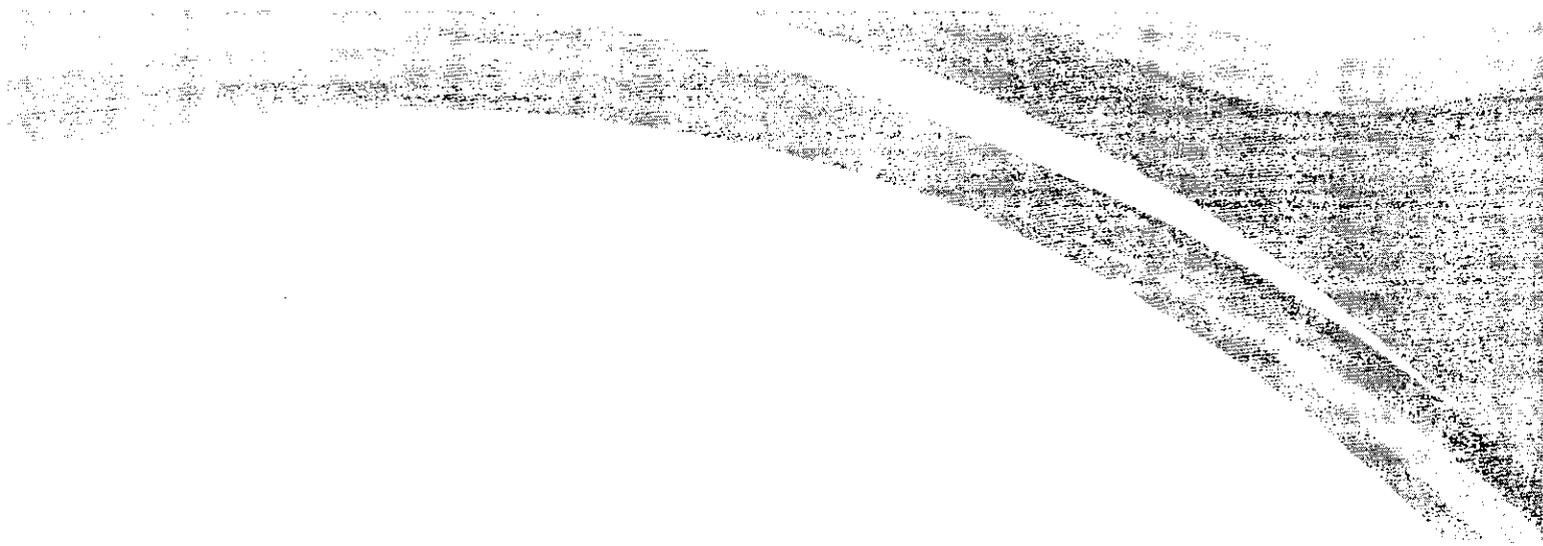
Informe de Actividades

INFORMACIÓN DEL CONTRATO	
OBJETO:	"CONTRATAR LOS SERVICIOS DE UN PROFESIONAL JUNIOR GRADO 2 EN INGENIERÍA CIVIL, PARA FORTALECER LOS PROCESOS QUE TIENE A CARGO LA DIRECCIÓN DE PLANEACION EN LA EMPRESA IBAGUEREÑA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO IBAL S.A E.S. P OFICIAL".
PERIODO DEL INFORME:	20 DE AGOSTO - 19 DE SEPTIEMBRE DE 2021
FECHA DEL INFORME:	05 DE OCTUBRE DE 2021

ACTIVIDADES FINALIZADAS EN EL PERÍODO EVALUADO		Responsables
No. actividad	Actividades	
1	Modelación hidrológica de paso elevado Calucaima 1 en informe: "Análisis Geomorfológico e hidrológico sub-cuenca del río Alvarado Punto 1 Calucaima"	LUIZA FERNANDA PARRA GÓMEZ
2	Modelación hidrológica de paso elevado Calucaima 2 en informe: "Análisis Geomorfológico e hidrológico sub-cuenca del río Alvarado Punto 2 Calucaima"	LUIZA FERNANDA PARRA GÓMEZ

ELABORADO POR:		REVISADO POR:
Nombres y apellidos	LUIZA FERNANDA PARRA GÓMEZ Contratista	CARLOS ALBERTO LEGUIZAMO GARCÍA Supervisor
Firmas		





# Análisis Geomorfológico e Hidrológico

sub-cuenca del Río Alvarado

Punto 1 Calucaima

2021



## Tabla de contenido

.....	1
1. Introducción .....	5
2. Alcance .....	6
3. Localización de la sub-cuenca del río Alvarado-Calucaima 1 .....	7
4. Caracterización de la Micro-Cuenca.....	8
5. Clima Regional, Zona Andina .....	12
6. Recopilación de datos de Estaciones .....	13
6.1 Datos de PPT .....	13
6.2 Datos de temperatura .....	16
7. Tiempo de concentración .....	20
8. Estimación de Caudales.....	21
8.1 Caudales por el método Racional .....	21
8.1.1 Curva IDF.....	21
Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Colombia .....	21
8.1.2 Coeficiente de escorrentía .....	23
8.1.3 Aplicación el método Racional .....	25
8.2 Estimación de caudal por análisis probabilísticos .....	27
8.2.1 Funciones de distribución de probabilidad.....	27
8.2.2 Distribución de la precipitación en espacio y tiempo .....	31
8.2.2.1 Factor de reducción Areal (FRA) .....	32
8.2.2.2 Factor de reducción temporal .....	33
8.2.2.3 Hietograma de diseño.....	34
8.2.3 Pérdidas por el número de curva (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2008) .....	39
8.2.4 Hidrograma de diseño .....	41
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 5 años. ....	42
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 25 años.....	43
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 50 años.....	44
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 100 años.....	45
9 Conclusiones.....	46
10 Referencias.....	48

## Tabla de Tablas

Tabla 1. Parámetros fisiomorfométricos de la cuenca Olivares .....	11
Tabla 2. Datos de la estación Hacienda Palogrande .....	14
Tabla 3. Lluvia diaria máxima por año .....	14
Tabla 4. Datos de la estación Climática Cajamarca .....	16
Tabla 5. Valores de temperatura.....	17
Tabla 6. Parámetros para la región Andina.....	22
Tabla 7. Valores de la curva IDF para la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima 1) .....	22
Tabla 8 . Metodo Prevet para coeficiente de escorrentia .....	24
Tabla 9. Datos Para método Racional .....	26
Tabla 10. PPT para diferentes periodos de retorno según ajustes de FDP .....	31
Tabla 11. Aplicación de FRA a la PPT de diseño.....	32
Tabla 12. Factor de reducción temporal.....	33
Tabla 13. PPT con corrección temporal .....	34
Tabla 14. Porcentajes distribución ii de Huff .....	36
Tabla 15. PPT Acumulada según distribución ii de Huff.....	36
Tabla 16. Hietograma de diseño .....	37
Tabla 17. Número de curva.....	40
Tabla 18. Ponderado del número de curva .....	40
Tabla 19. Datos hidrograma Tr 5 .....	42
Tabla 20. Datos hidrograma Tr 25 .....	43
Tabla 21. Datos hidrograma Tr 50 .....	44
Tabla 22. Datos hidrograma Tr 100 .....	45

## Tabla de Figuras

Figura 1. Localización micro-cuenca viaducto 1 Calucaima, sub-cuenca del Río Alvarado	7
Figura 2. Mapa de alturas cuenca viaducto 1 Calucaima .....	8
Figura 3. Mapa de pendientes de la cuenca viaducto 1 Calucaima.....	9
Figura 4. Mapa de distribución de áreas acumuladas de la cuenca viaducto 1 Calucaima .....	10
Figura 5. Curva hipsométrica de la cuenca viaducto 1 Calucaima .....	10
Figura 6 . Ubicación de las estaciones.....	13
Figura 7. Distribución temporal de precipitación en la estación Aeropuerto Perales .....	16
Figura 8. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria .....	18
Figura 9. Distribución temporal de la temperatura media diaria .....	18
Figura 10. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria.....	19
Figura 11. Tiempo de concentración.....	20
Figura 12. Curva IDF para la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima 1).....	23
Figura 13 . Mapa de suelos.....	24
Figura 14. Serie de datos de PPT y estadísticas.....	28
Figura 15. Ajuste de distribución Gumbel para estación Perales.....	28
Figura 16. Ajuste de distribución TCEV para estación Perales .....	29
Figura 17. Ajuste de distribución GEV para estación Perales .....	29
Figura 18. Ajuste de distribución Lognormal 2 para estación Perales .....	30
Figura 19. Ajuste de distribución Log Gumbel para estación Perales.....	30
Figura 20. Elección de coeficiente de duración de PPT .....	34
Figura 21. Distribuciones de tiempo para tormentas. Propuestas por Huff.....	35
Figura 22. Lluvias de diseño acumuladas .....	37
Figura 23. Hietogramas de diseño para cada período de retorno.....	38
Figura 24. Mapa de número de curva de la cuenca .....	39
Figura 25. Hidrograma Tr 5.....	42
Figura 26. Hidrograma Tr 25.....	43
Figura 27. Hidrograma Tr 50.....	44
Figura 28. Hidrograma Tr 100.....	45

## **1. Introducción**

El análisis geomorfológico de una cuenca es importante en la medida que permite caracterizarla y vislumbrar el tipo de respuesta que esta tendría ante diferentes eventos de precipitación, según factores como su pendiente, mapa de elevación, curva hipsométrica, área, longitud y ancho, entre otras. Además, es un insumo indispensable al momento de hablar de la hidrología de una cuenca, ya que permite calcular parámetros como su tiempo de concentración, y sumándole datos de precipitación, es posible obtener la intensidad y de ella los hietogramas de diseño o/y su caudal de diseño.

El objetivo del presente informe, es realizar una caracterización geomorfológica que eventualmente permita obtener el caudal de la sub-Cuenca en el punto donde se ubica el viaducto 1 Ubicado en Calucaima en el municipio de Ibagué-Tolima, dato que es importante en la elaboración de los respectivos diseños.

A continuación, se presentan los cálculos, gráficos y parámetros obtenidos al realizar el estudio hidrológico de la cuenca delimitada por el viaducto No.1 de Calucaima.

## **2. Alcance**

Mediante el presente informe se pretende dar cumplimiento a compromisos adquiridos mediante el contrato 064 del 06 de mayo del 2021. En este documento se realiza un estudio hidrológico de la sub-cuenca del río Alvarado al punto del viaducto No.1 en Calucaima, con el fin de determinar caudales del drenaje que permitan determinar la ubicación adecuada para el viaducto.

### 3. Localización de la sub-cuenca del río Alvarado-Calucaima 1

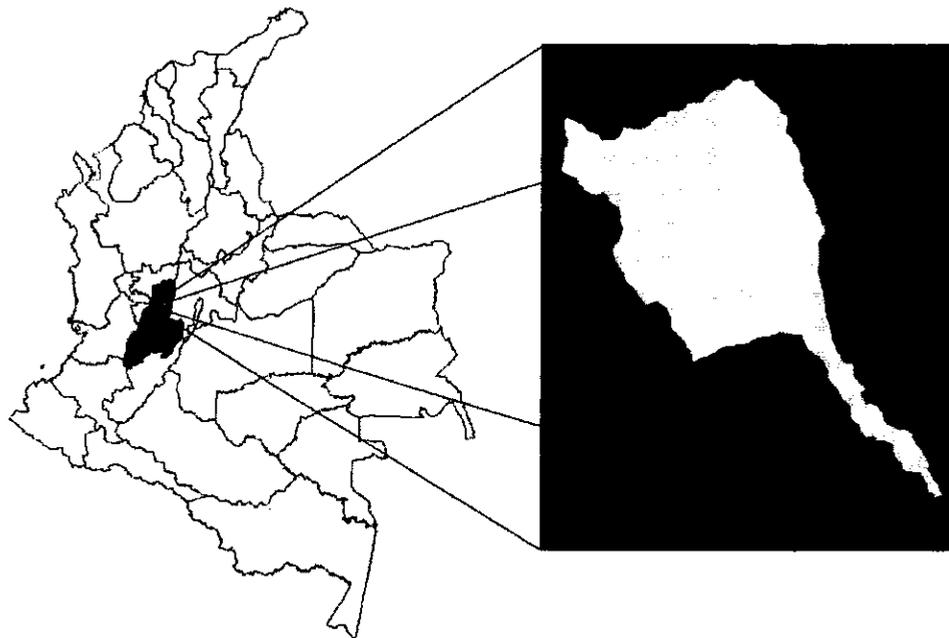


Figura 1. Localización micro-cuenca viaducto 1 Calucaima, sub-cuenca del Río Alvarado  
La micro-cuenca del drenaje que pasa por el viaducto No. 1 se encuentra ubicada en la vertiente oriental de la cordillera central, en el municipio de Ibagué, con un área pequeña de aproximadamente 9,79 km<sup>2</sup>, su ubicación en el departamento se observa en la figura No. 1, el punto de cierre tiene como coordenadas 4,453961° Latitud, -75,146451° Longitud.

#### 4. Caracterización de la Micro-Cuenca

Para la caracterización y parametrización de la cuenca, se realizó un análisis partiendo del mapa de pendientes, dirección de flujos y flujos acumulados, quienes fueron calculados a partir del modelo de elevación digital del terreno (MDT) de la NASA (con resolución de 12mx12m).

En la Figura 2 se observa el mapa de alturas, donde se aprecia su carácter montañoso en la parte alta y media de la cuenca, quien parte desde el páramo, tiene su topografía más fuerte en la parte media y finaliza con pendientes menores en una zona más plana llegando a la parte urbana del municipio de Ibagué. El mapa de pendientes se puede observar en la Figura 3

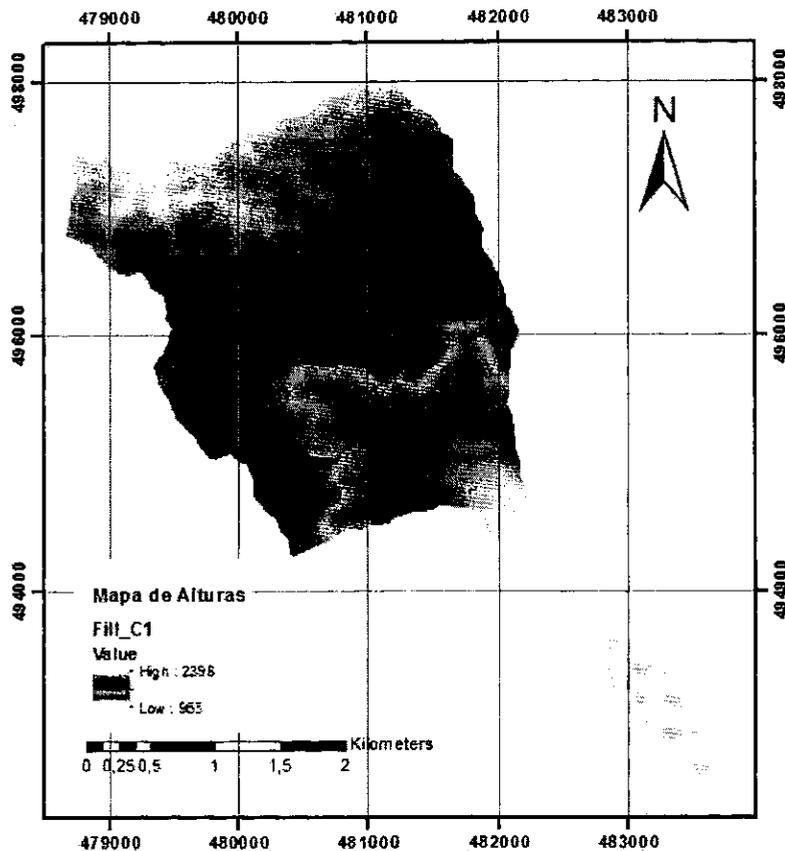


Figura 2. Mapa de alturas cuenca viaducto 1 Calucaima

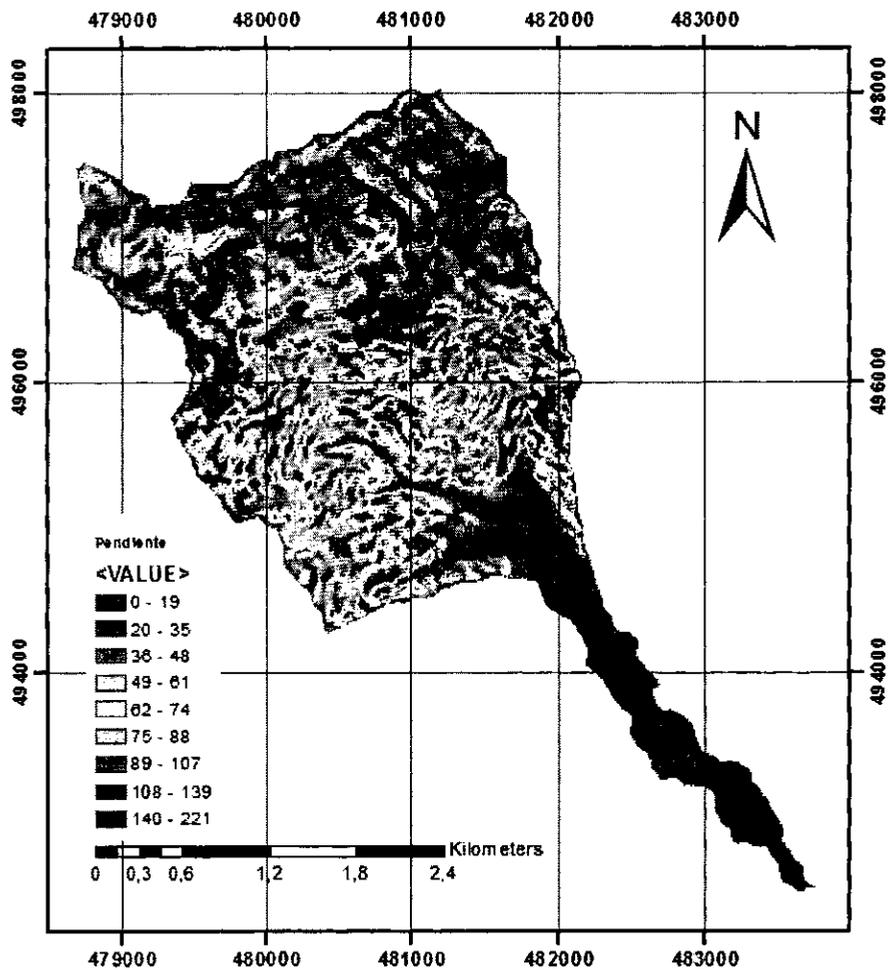


Figura 3. Mapa de pendientes de la cuenca viaducto 1 Calucaima

A continuación, se presenta el mapa de áreas utilizado para la construcción de la curva hipsométrica de la cuenca en la Figura 4, quien representa una distribución de área acumulada en contraste con la elevación, y clasifica una cuenca según su forma, como cuenca joven con desequilibrio y potencial erosivo, cuenca madura en equilibrio, y como cuenca vieja con desequilibrio y deposición de sedimentos.

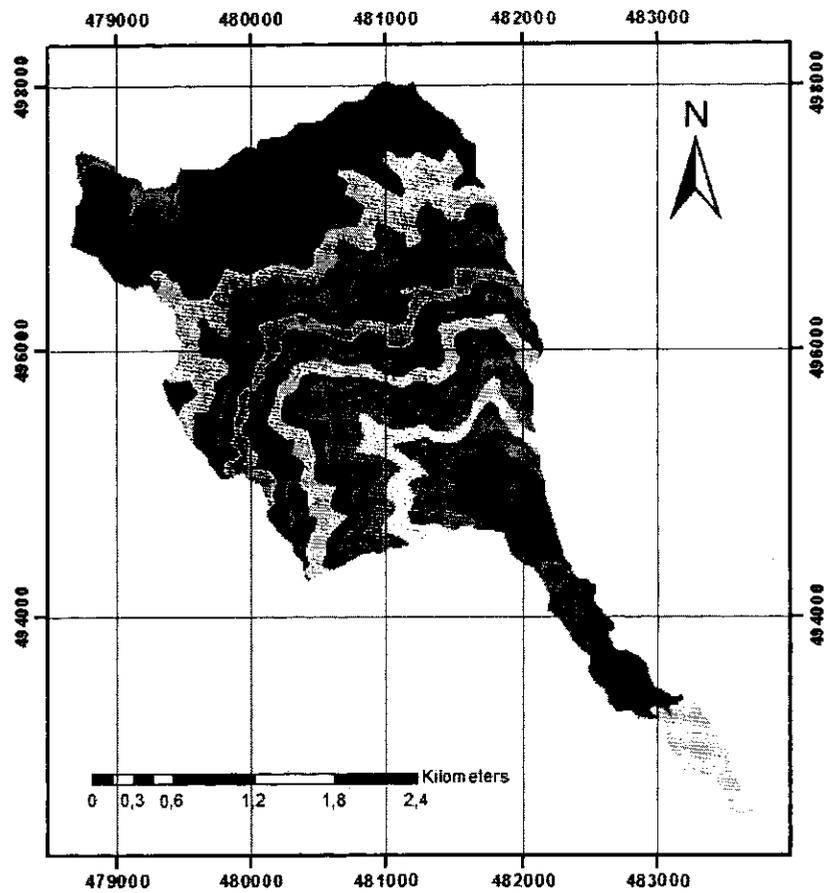


Figura 4. Mapa de distribución de áreas acumuladas de la cuenca viaducto 1 Calucaima

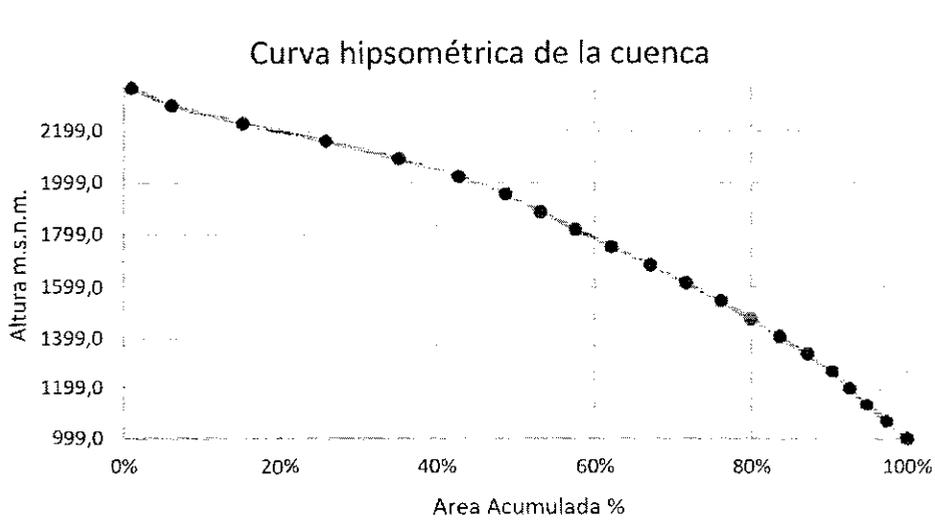


Figura 5. Curva hipsométrica de la cuenca viaducto 1 Calucaima

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. La curva hipsométrica de la Sub-cuenca del viaducto 1 Calucaima, representada por la Figura 5, refleja la madurez de la cuenca, y su forma la identifica como una cuenca joven, esto quiere decir que posee gran potencial erosivo.

A partir de los mapas anteriormente nombrados se obtuvieron los parámetros fisiomorfométricos necesarios para la posterior modelación hidrológica de la cuenca. Los parámetros se encuentran consignados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisiomorfométricos de la cuenca Olivares

Área cuenca	Km <sup>2</sup>	9,78936
Perímetro	Km	19,6091
Cota máxima de la cuenca	msnm	2350
Cota de salida	msnm	975,832
X centroide cuenca	m	481135
Y centroide cuenca	m	495510
Z centroide cuenca	msnm	1756,43
DA (cota Max – cota Min)	m	1374,168
Índice de Compacidad o de GRAVELIUS	Un	1,75
pendiente media cuenca (%)	%	22,08
altura más frecuente	msnm	2159,5
altura promedio	msnm	1647,38
longitud de cuenca	km	7,38
longitud del cauce principal	km	7,89

## **5. Clima Regional, Zona Andina**

En la zona Andina concurren gran variedad de climas, debido a sus diferencias de altiplanicie tiene sus condiciones climáticas particulares, donde variables como el calor solar, los vientos, la humedad del aire, las lluvias y principalmente a la altitud la definen. En la región se tienen cinco pisos térmicos: cálido, templado, frío, páramo y helado, caracterizado por sus picos, nevados en sus cordilleras.

En cuanto a las lluvias, hay dos épocas principales al año: de abril a mayo y de octubre a noviembre. Un determinante de la precipitación es la temperatura sobre la región en estos periodos, ya que cuando la tierra recibe más calor, aumenta la temperatura y por consiguiente el régimen de lluvias. Otra causa de las precipitaciones en la región es la humedad que traen consigo los vientos procedentes de los Océanos Pacífico y Atlántico y que es recibida en las vertientes exteriores de las montañas; los vientos del Pacífico empujan las nubes hacia la cordillera Occidental y al encontrar esta barrera ascienden, al llegar capas de aire más frías, se condensan y se convierten en pequeñas gotas de lluvia, las cuales se precipitan sobre la vertiente exterior de la cordillera.

El departamento del Tolima cuenta con pisos térmicos desde los cálidos, hasta las nieves. Sus principales alturas son el Nevado del Tolima, con temperaturas muy frías de los páramos (cordillera central), la temperatura disminuye cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar, más o menos a una tasa de 0,53 grados centígrados por cada 100 metros de ascenso (5,3°C/Km). Los sectores más lluviosos. La precipitación promedio del tramo vial ronda los 1600 mm anuales.

## 6. Recopilación de datos de Estaciones

### 6.1 Datos de PPT

Para la recopilación de datos de precipitación se utilizó la estación Aeropuerto Perales, ubicada en el municipio de Ibagué en coordenadas Latitud 4,424138 y longitud -75,4013. Los datos de las estaciones fueron descargados del Geo Portal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) teniendo en cuenta las estaciones más cercanas a la zona, sus datos se presentan a continuación.

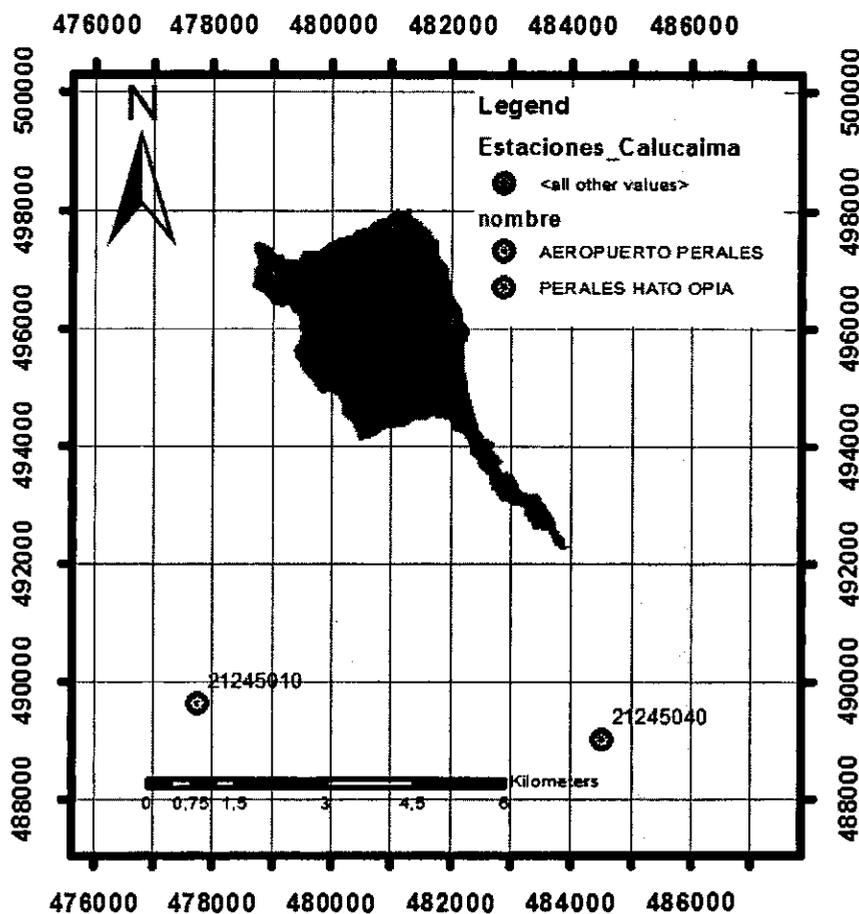


Figura 6 . Ubicación de las estaciones

Tabla 2. Datos de la estación Aeropuerto Perales

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
21245040	AEROPUERTO PERALES	4,42413889	-75,13941667	943
Entidad	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Categoría
INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Tolima	Ibagué	15/11/1970	Pluviométrica

Se recopilaron 51 años de datos de precipitación en rango continuo de 1971 a 2020, y de estos se obtuvo las precipitaciones máximas de cada año, dichos datos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Lluvia diaria máxima por año

Año	Máx. de Valor
1971	69,4
1972	77,3
1973	120,2
1974	66,8
1975	79,4
1976	64,0
1977	87,5
1978	76,1
1979	65,7
1980	83,7
1981	67,0
1982	57,8
1983	107,0
1984	81,0
1985	61,0
1986	68,2
1987	73,4
1988	66,5
1989	132,0
1990	58,0
1991	58,4
1992	58,5

<b>Año</b>	<b>Máx. de Valor</b>
1993	75,8
1994	61,0
1995	89,3
1996	90,6
1997	76,4
1998	78,4
1999	68,8
2000	65,1
2001	65,2
2002	83,0
2003	80,8
2004	85,7
2005	79,0
2006	78,2
2007	78,6
2008	81,0
2009	57,5
2010	92,7
2011	72,9
2012	64,7
2013	70,3
2014	67,8
2015	54,7
2016	96,0
2017	81,6
2018	103,7
2019	125,0
2020	47,2
2021	71,1
<b>Total general</b>	<b>132,0</b>
<b>promedio</b>	<b>78,2</b>

Del análisis de los datos diarios de precipitación, se obtiene la distribución temporal de la lluvia para la estación Aeropuerto Perales, que se presenta a continuación.

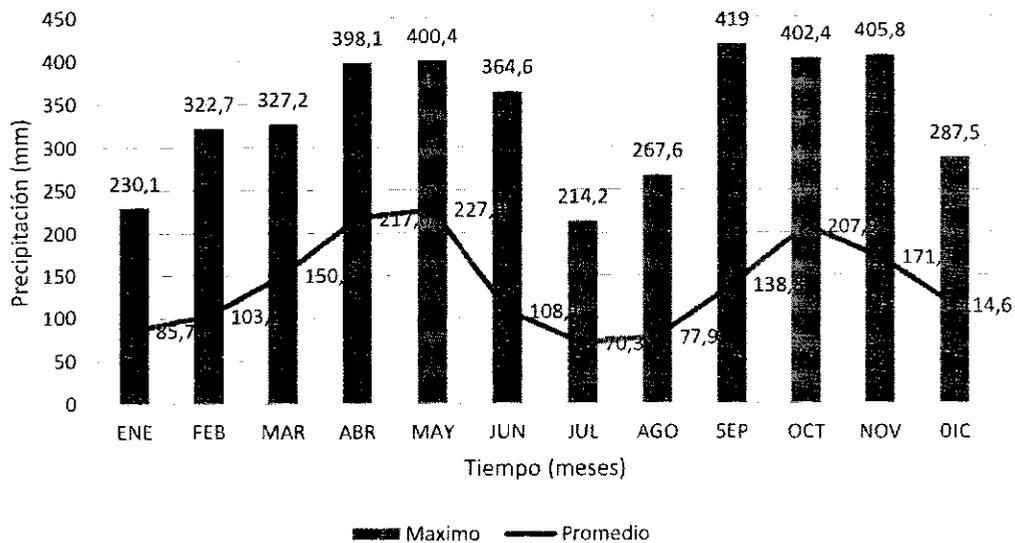


Figura 7. Distribución temporal de precipitación en la estación Aeropuerto Perales

## 6.2 Datos de temperatura

Para el análisis de la temperatura en la zona se escogió la estación climática más cercana a la cuenca, la estación Aeropuerto Perales de carácter sinóptica secundaria, ubicada en coordenadas 4,424138 Latitud y -75,139416 Longitud. Los datos de las estaciones fueron descargados del Geo Portal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, sus datos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos de la estación Climática Aeropuerto Perales

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
21245040	AEROPUERTO PERALES [21245040]	4,424138889	-75,13941667	943
Entidad	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Categoría
INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Tolima	Ibagué	15/11/1970	Sinóptica secundaria

En la Tabla 5 se presenta los valores promedios de las variaciones de la temperatura media de la estación Cajamarca, en esta estación se registra una temperatura de media de 24,12° C, con mínimos de temperatura de 15,8 °C y máximos de 35,15 °C en un periodo de análisis 43 años de datos (1978-2021) . Se observa que la variable es estable en el tiempo, ya que no presenta cambios bruscos y su valor entre meses no cambia considerablemente.

Tabla 5. Valores de temperatura

Valores mínimos de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	15,3	15,9	15,2	16,2	16,2	16,4	15,2	15,8	15,4	16,4	15,8	15,8
<b>Medios</b>	19,1	19,3	19,3	19,3	19,3	19,2	19,1	19,2	19,2	19,1	19,1	19,1
<b>Máximos</b>	21,8	22,2	23,0	21,8	22,4	21,6	22,4	22,4	22,2	21,6	21,6	21,4
Valores medios de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	20,7	20,6	20,3	20,6	20,6	20,5	20,7	19,6	19,5	20,6	19,3	20,3
<b>Medios</b>	24,1	24,3	24,1	23,8	23,8	24,1	24,6	25,2	24,8	23,8	23,4	23,6
<b>Máximos</b>	27,7	28,8	27,6	26,5	27,3	26,7	27,4	28,3	28,0	27,9	26,0	27,5
Valores máximos de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	27,7	28,8	27,6	26,5	27,3	26,7	27,4	28,3	28,0	27,9	26,0	27,5
<b>Medios</b>	29,0	29,3	28,8	28,4	28,4	29,1	30,1	31,2	30,4	28,4	27,7	28,2
<b>Máximos</b>	36,0	35,9	35,3	33,8	34,0	33,6	35,4	36,4	36,8	36,5	32,4	35,7

En las gráficas presentes en la Figura 8, la Figura 9 y la Figura 10 se presenta la distribución temporal de la temperatura, para sus valores mínimos, medio y máximos.

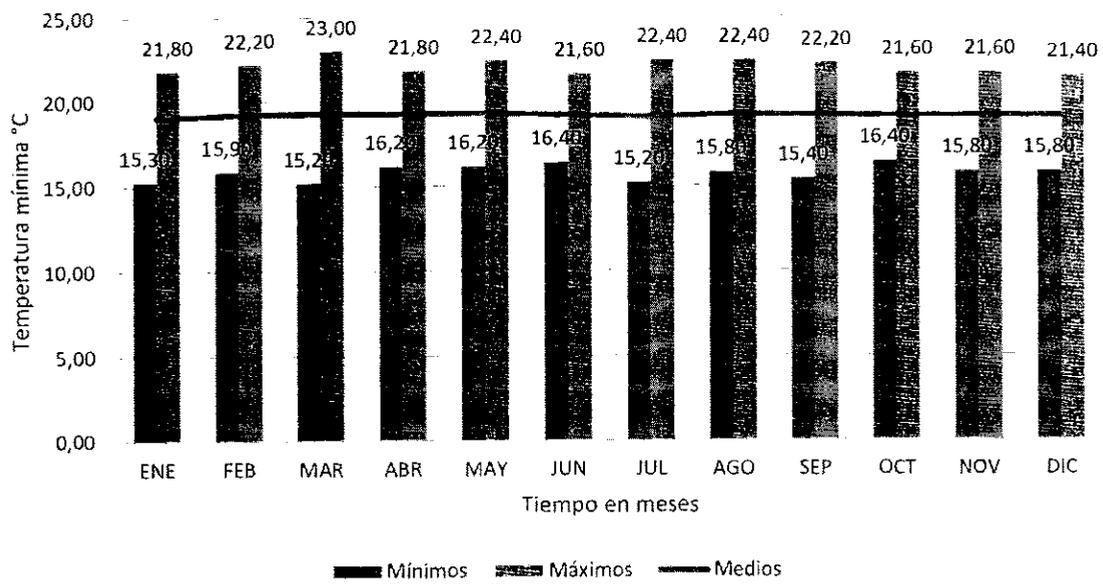


Figura 8. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

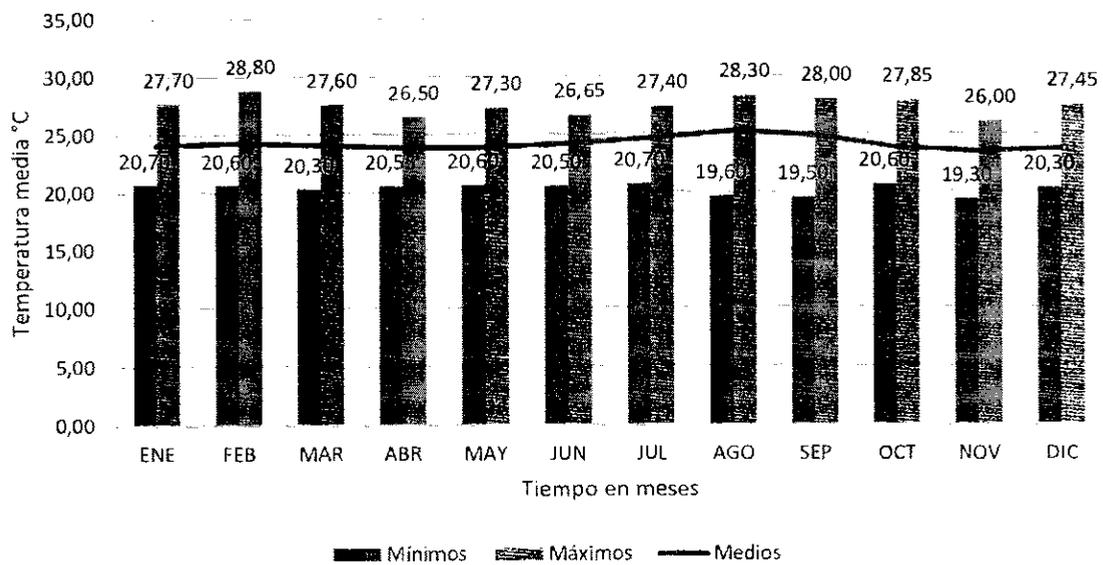


Figura 9. Distribución temporal de la temperatura media diaria

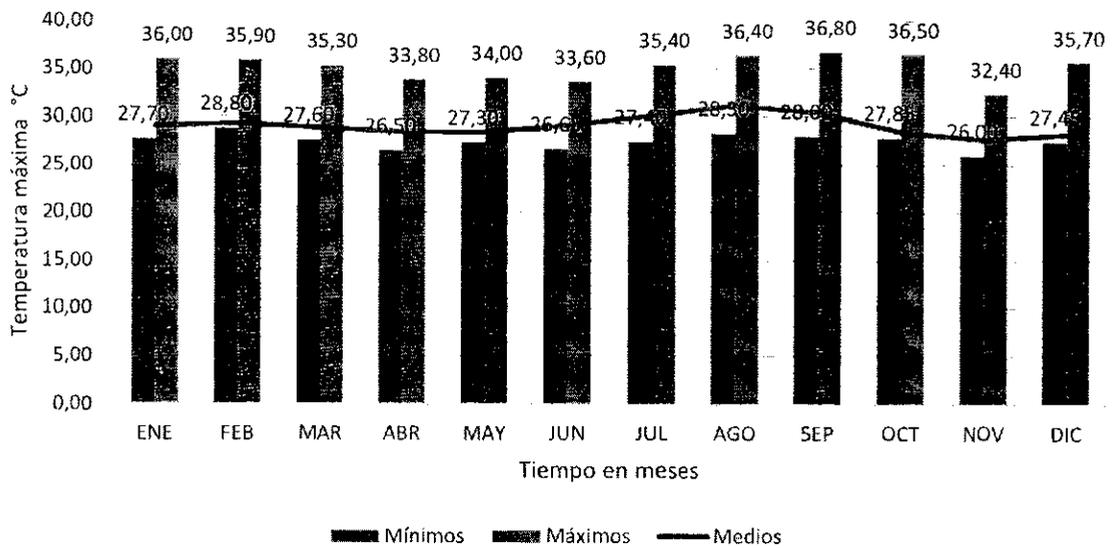


Figura 10. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

Entre la temperatura más baja y la más alta registrada en la zona, existen 21,6 grados de diferencia, mientras que las temperaturas medias entre meses, presentan variaciones de temperatura menores a 2 grados.

## 7. Tiempo de concentración

Para obtener la intensidad de la lluvia, es necesario el cálculo del tiempo de concentración de la cuenca, para ello se utilizaron 11 formulas propuestas por diferentes autores, que se encuentran en función de parámetros como: el área de la cuenca, la longitud del drenaje principal, el ancho de la cuenca y su pendiente media. Entre los resultados obtenidos se descartaron aquellos que mostraban valores extremos que eran poco probables en la realidad, y finalmente se realizó un promedio con los valores restantes. El valor obtenido para el tiempo de concentración de la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima1) es de 44 minutos, que para efectos prácticos en la construcción del hietograma se dejará como Tr 45 minutos. Los valores y los nombres de las formulas utilizados para su obtención se muestran en la Figura 11.

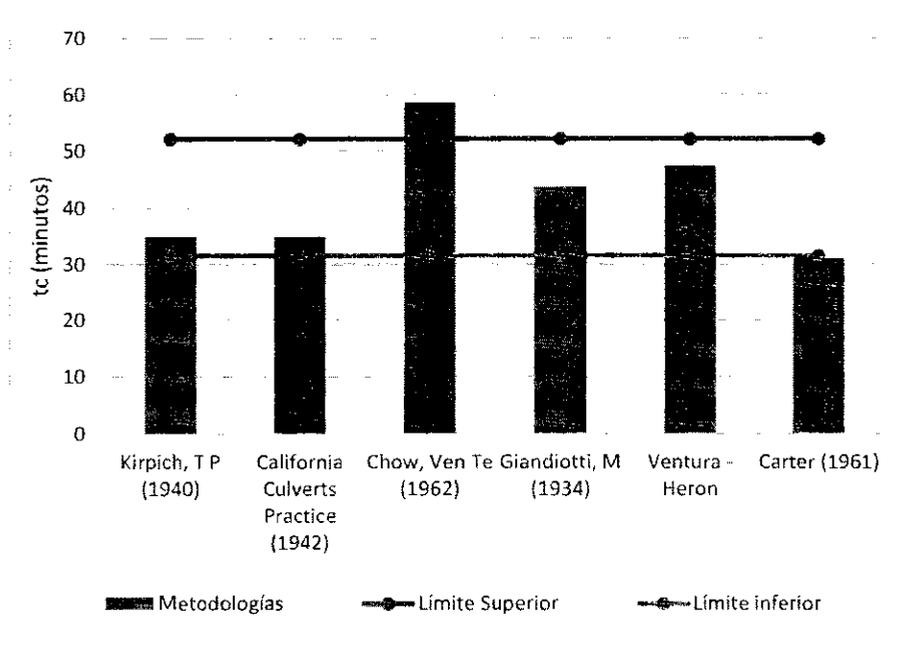


Figura 11. Tiempo de concentración

Fuente: Propia

## **8. Estimación de Caudales**

### **8.1 Caudales por el método Racional**

#### **8.1.1 Curva IDF**

Las curvas IDF son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad de una tormenta en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Como la intensidad y duración de las tormentas varían geográficamente, las curvas IDF dependerán de cada región, pudiendo encontrar una extensa bibliografía con respecto a las curvas IDF de cada región de un país.

Su fórmula general surge a partir de la definición de intensidad de precipitación. Siendo:

I: la intensidad de la lluvia en mm/h.

D: Duración de la tormenta en horas.

T: Período de Retorno.

a,b,n,m son coeficientes que dependen de la zona de estudio

#### **Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Colombia**

Para el cálculo de la curva IDF que permita obtener intensidades para la aplicación del método racional en la micro-cuenca, se utilizó la metodología propuesta por Rodrigo Vargas M y Mario Díaz-Granados O. Esta metodología se basa en que las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos lluvia-escorrentía en cuencas pequeñas para las cuales no existen registros de caudal.

Los métodos tradicionales de cálculo de curvas IDF requieren utilizar de información pluviográfica. El empleo de ecuaciones que permitan estimar las curvas IDF a partir

de información pluviométrica constituye una alternativa para aquellas zonas que solo disponen de registros de lluvias a nivel diario. A partir de 165 curvas IDF ubicadas en diversas zonas de Colombia y los resúmenes multianuales pluviométricos de las mismas, Vargas y Díaz-Granados, evaluaron las principales ecuaciones propuestas en la literatura y establecieron nuevas ecuaciones para 4 grandes regiones de Colombia.

La ecuación y parámetros para la región andina se presenta a continuación.

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

Tabla 6. Parámetros para la región Andina

Parámetros Región Andina	
a:	2,16
b:	0,19
c:	0,62
d:	0,63

Fuente: (VARGAS-DÍAZ-GRANADOS, 1998)

Tabla 7. Valores de la curva IDF para la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima 1)

DURACIÓN - t	INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN - I (mm/h) PARA PERIODOS DE RETORNO - T (años)						
	2	3	5	10	25	50	100
Minutos							
5	177,3	191,5	211,1	240,8	286,6	326,9	372,9
10	115,4	124,6	137,3	156,7	186,5	212,7	242,6
15	89,7	96,9	106,8	121,8	145,0	165,4	188,7
20	75,1	81,1	89,4	101,9	121,3	138,4	157,9
25	65,4	70,6	77,8	88,8	105,6	120,5	137,5
30	58,4	63,1	69,5	79,3	94,4	107,6	122,8
35	53,1	57,3	63,2	72,1	85,8	97,8	111,6
40	48,9	52,8	58,1	66,3	78,9	90,1	102,7
45	45,4	49,1	54,0	61,7	73,4	83,7	95,5
100	27,7	29,9	32,9	37,6	44,7	51,0	58,2

Fuente: proplad

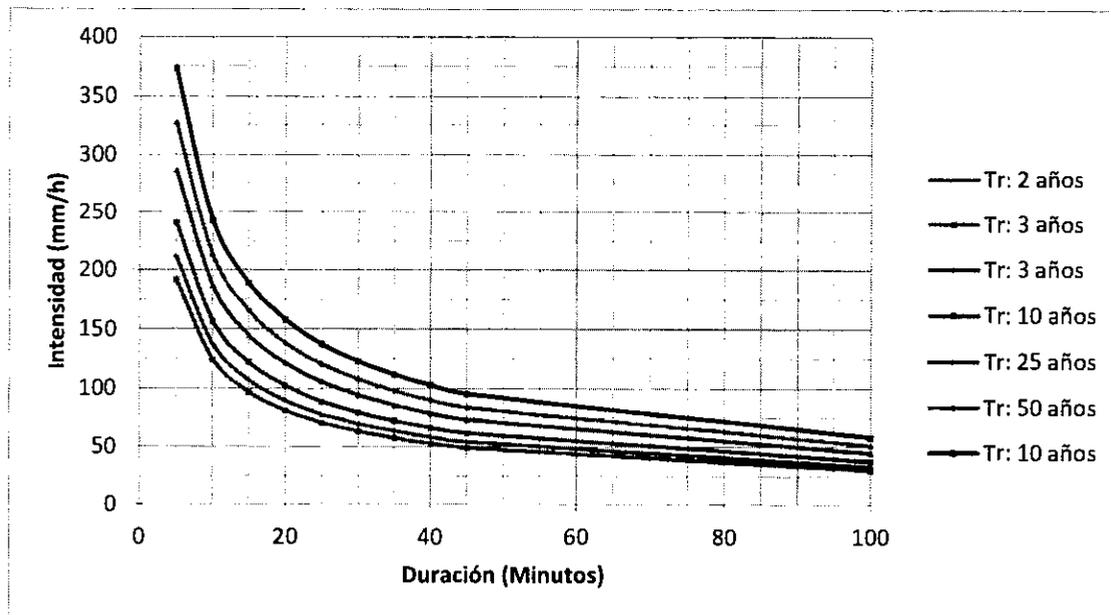


Figura 12. Curva IDF para la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima 1)

Fuente: Propia

### 8.1.2 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es una relación entre la precipitación y la cantidad de agua que escurre, este varía según el tipo de suelo, su uso y demás factores físicos e hidrológicos. La importancia del coeficiente de escorrentía radica en que representa la rugosidad e infiltración que puede tener un terreno, afectando el agua que escurre por este y su velocidad.

Para la asignación del coeficiente a utilizar en el método racional, se tomó la tabla de coeficientes de Prevert (1986), quien tiene en cuenta, además de la pendiente y la cubierta vegetal, el tipo de suelo. Los valores de referencia se pueden observar en la Tabla 8 y en la figura 13 se muestra la clasificación de suelos en la cuenca calucaima1.

Tabla 8 . Metodo Prevet para coeficiente de escorrentia

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo (%)		
		Árenos-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,40	0,60
	> 30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0-15	0,15	0,35	0,45
	5-10	0,30	0,40	0,55
	10-30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,66	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80
	> 30	0,53	0,74	0,84

Fuente: Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal.

Universidad Politécnica de Valencia, 2014

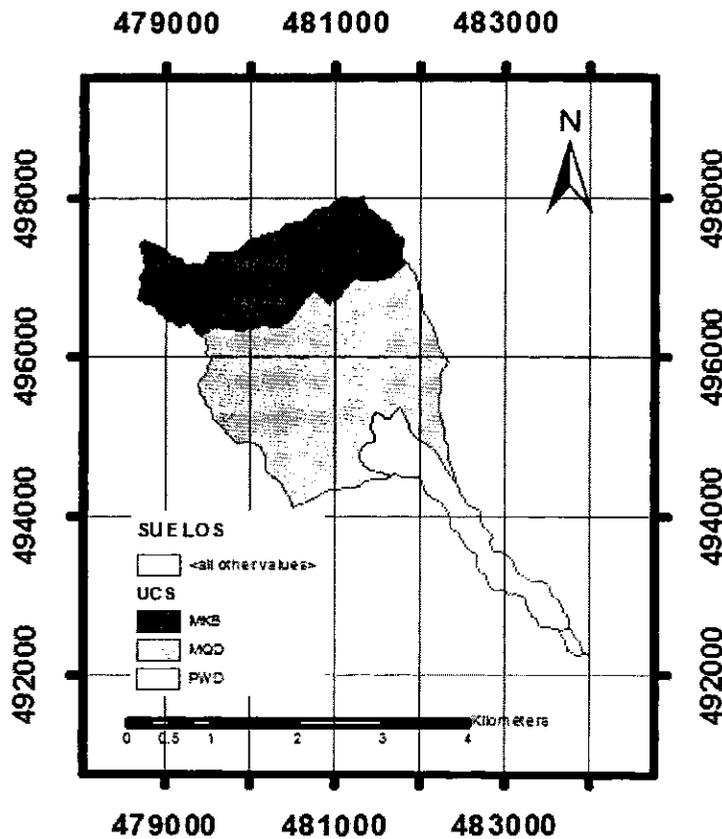


Figura 13 . Mapa de suelos

Fuente: adaptado del mapa de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Considerando que la cuenca se encuentra en un área con vegetación densa en su mayor parte (cuenca alta y media), una pendiente media del 22% y tiene suelos con texturas medias (Suelos arenosos, Arenosos-Limosos), el valor del coeficiente C es de 0,30.

### 8.1.3 Aplicación el método Racional

El método racional se utiliza en la hidrología para la estimación de caudales máximos. Es muy útil en cuencas poco estudiadas que no poseen la cantidad de datos necesarios para la aplicación de otras metodologías. El método racional supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.

Su implementación se recomienda en cuencas pequeñas, ya que se considera que llueve con la misma intensidad en toda la cuenca por un tiempo determinado. El RAS 2000 recomienda en su capítulo D.4.3.2 que se calcule el caudal por método racional área únicamente en cuencas con un área menor a 700 ha.

Para efectos del presente informe se utiliza el método racional, como una de las metodologías para aproximación de un caudal, pero teniendo en cuenta que es una sobre estimación del caudal real. El método consiste en la aplicación de la siguiente ecuación ajustada, presente en el Manual de hidrología, Hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú:

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A$$

Donde:

Q: Caudal

C: Coeficiente de escorrentía tipo de suelo

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca

Tabla 9. Datos Para método Racional

Área (m <sup>2</sup> )	9789360
Ancho (m)	1241,20
S(m/m)	22,08
Lc <sub>ppal</sub> (m)	7887,00
Perímetro (m)	19609,1
T <sub>c</sub> (min)	50

C	0,3	adimensional
I	2,03842E-05	m/s
A	9789360	m <sup>2</sup>
$Q=0,2778 \times C \times I \times A$	16,64	m <sup>3</sup> /s

Según el método racional el caudal para un periodo de retorno de 25 años sería de 16,64 m<sup>3</sup>/s.

## **8.2 Estimación de caudal por análisis probabilísticos**

### **8.2.1 Funciones de distribución de probabilidad**

En la hidrología es frecuente enfrentarse al problema de la definición de un caudal de diseño de un proyecto, ya que actualmente no se cuentan con muchos datos referentes a lluvias e información hidrológica de una cuenca que permitan definirlo a ciencia cierta. Es por ello que se hace necesario recurrir a funciones de distribución de probabilidad, que den forma a los datos reales con los que se cuentan y permitan extrapolar una función moldeada por series de lluvia, para obtener los elementos necesarios para determinar una cantidad de lluvia según sea pertinente para el periodo de diseño.

Para el ajuste de funciones a los datos reales es importante contar con una buena serie de datos, en la hidrología se habla de series de al menos 30 años de datos para lograr un ajuste acorde a la realidad. Para la estación de lluvias Aeropuerto Perales, se cuenta con una serie de 51 años de datos, se considera que se tiene suficiente información para la obtención de datos a partir del ajuste de las funciones.

Para el ajuste y extrapolación se utilizó en programa AFINS 2.0, un programa para el análisis de la frecuencia de extremos hidrológicos (caudal o lluvia) en un punto. El programa utiliza información sistemática y/o no sistemática y con las hipótesis de estacionalidad e independencia de la muestra observada, para ajustar funciones de probabilidad a la serie de datos ingresados, dando como resultado la gráfica de una función, con parámetros necesarios para que esta sea lo más cercana posible a los datos reales, adicionalmente se cuenta con factores estadísticos que permiten observar la verosimilitud, de esta manera y teniendo en cuenta el ajuste gráfica, es posible compararlas entre sí.

Las funciones utilizadas para obtener valores extremos fueron la función GUMBEL, TCEV, GEV, Log Normal 2 y Log Gumbel. A continuación, se presentan los datos gráficos y estadísticos a partir del ajuste de las funciones a la serie de datos.

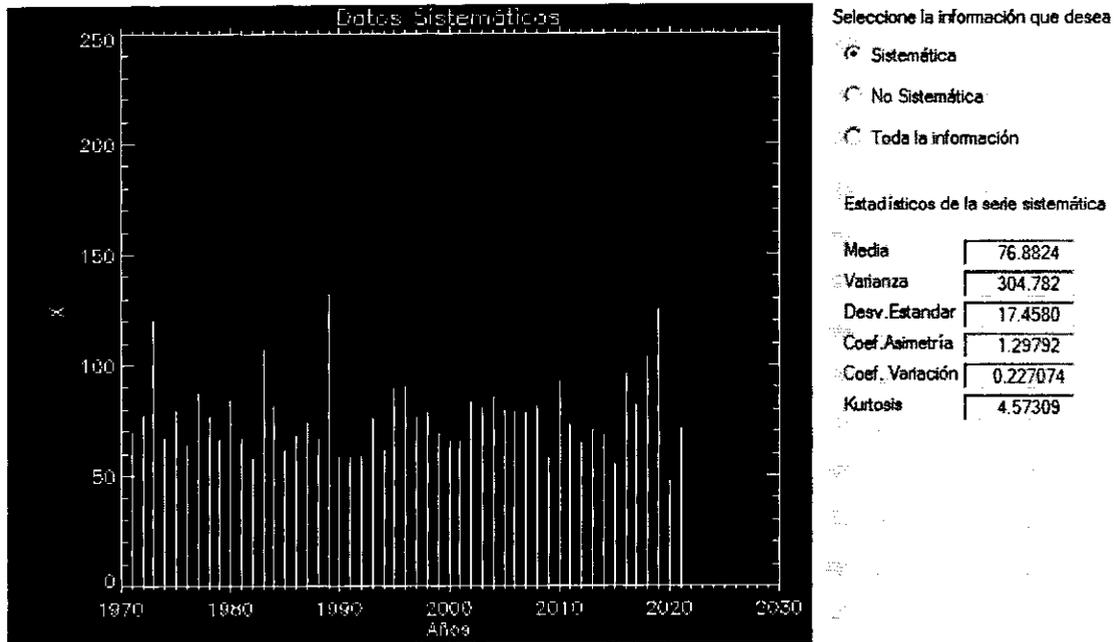


Figura 14. Serie de datos de PPT y estadísticas

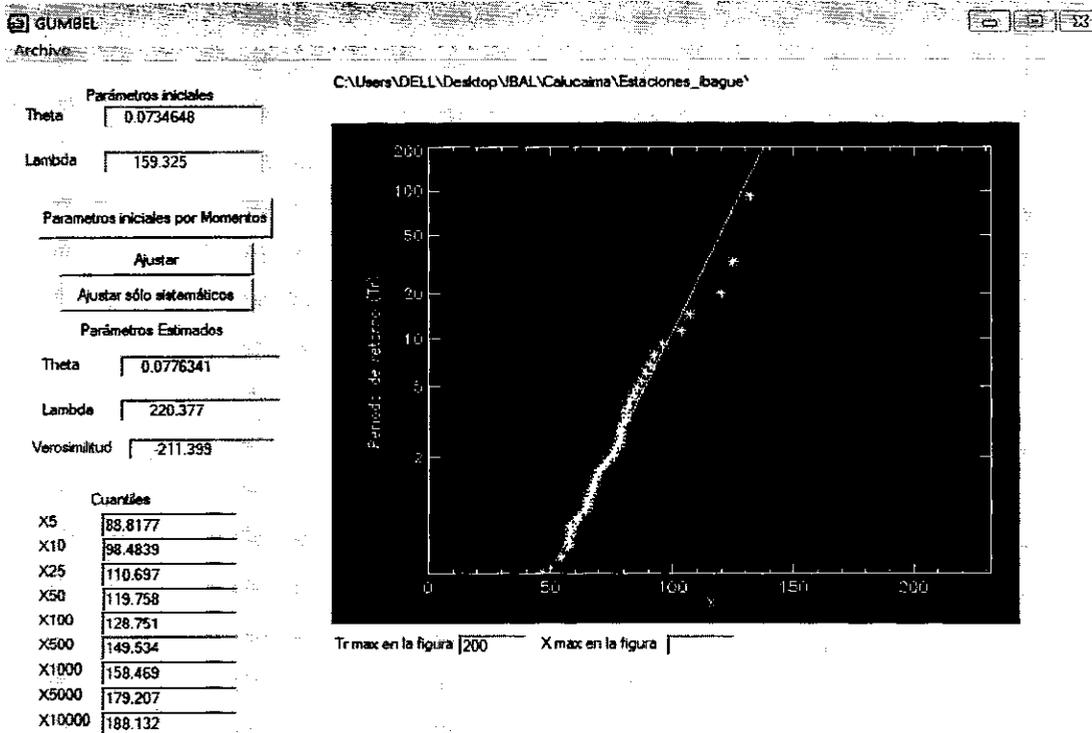


Figura 15. Ajuste de distribución Gumbel para estación Perales

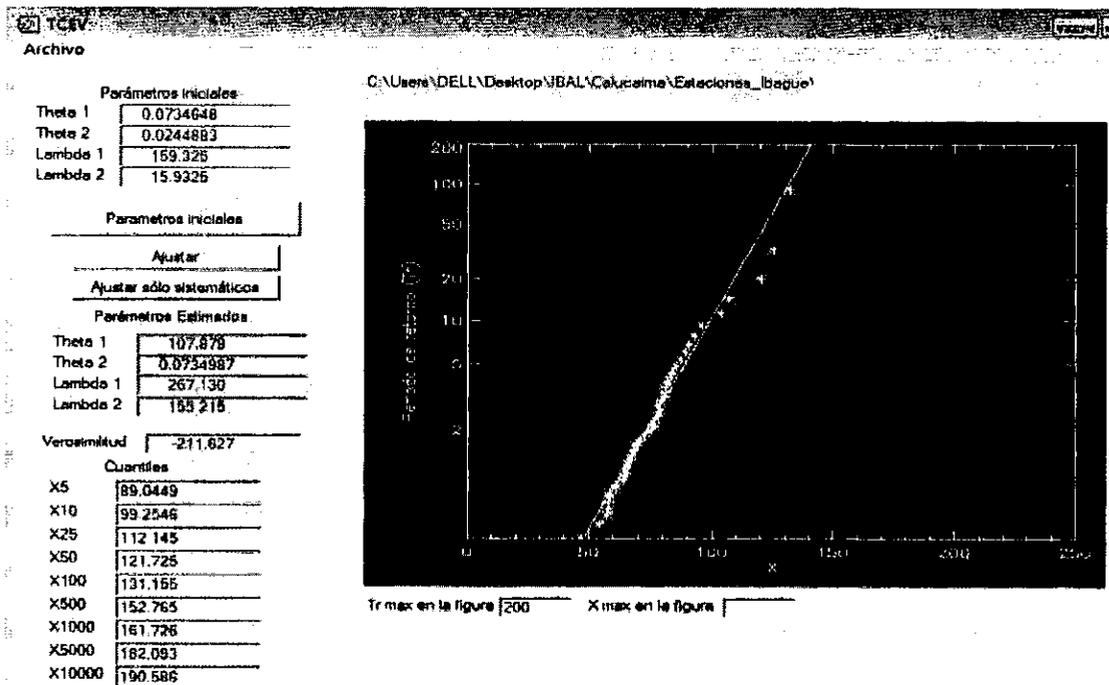


Figura 16. Ajuste de distribución TCEV para estación Perales

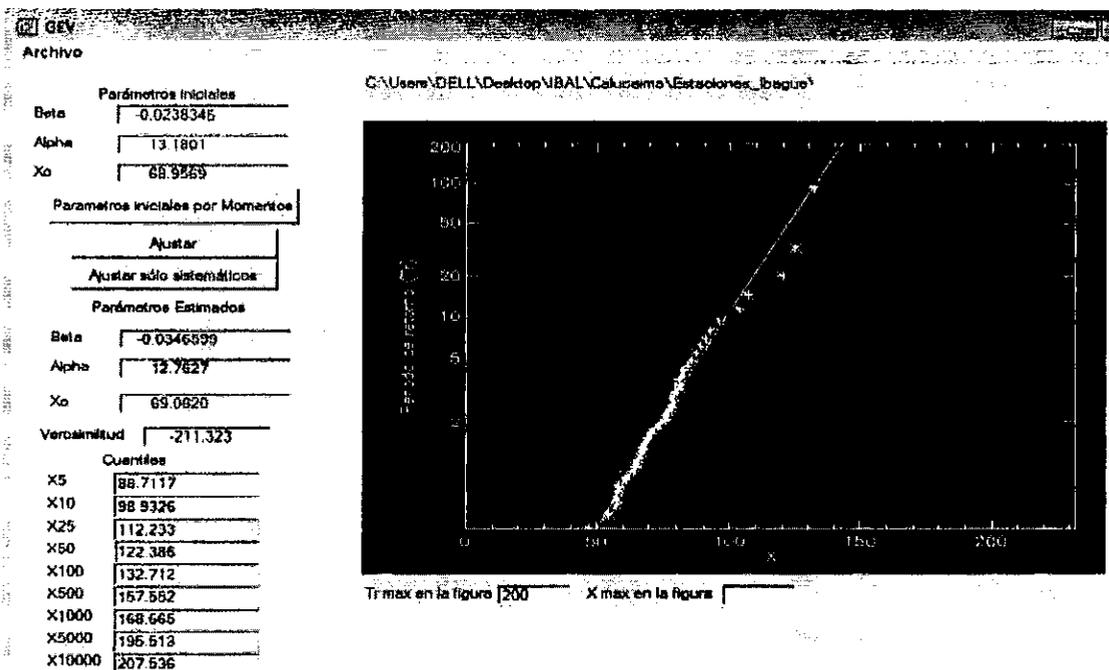


Figura 17. Ajuste de distribución GEV para estación Perales

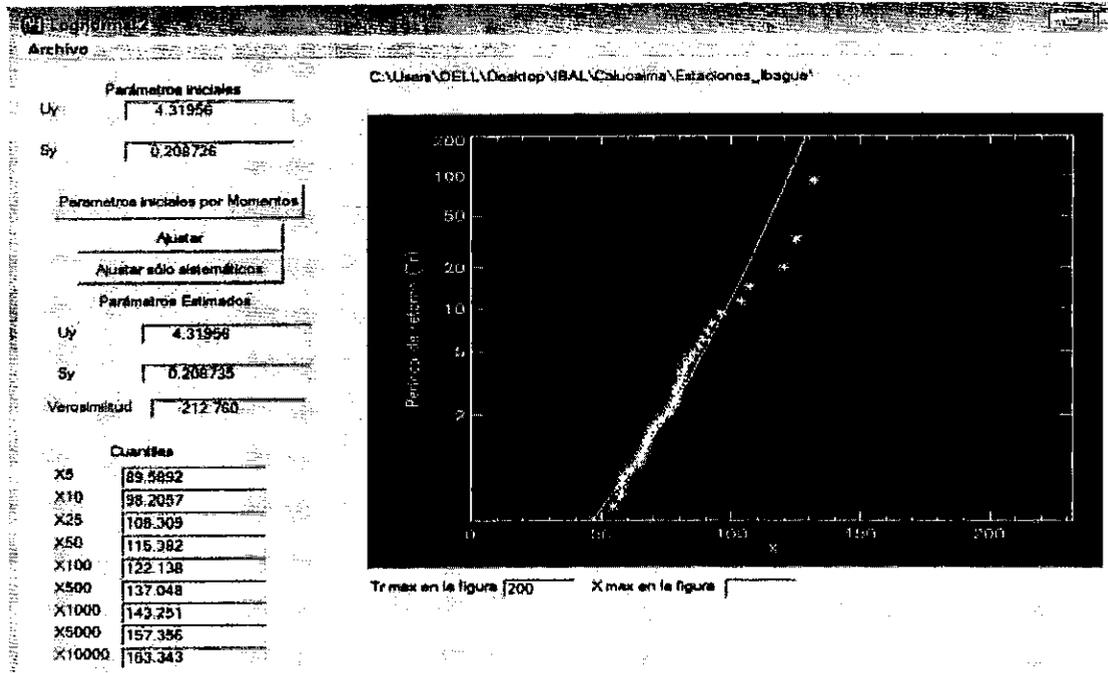


Figura 18. Ajuste de distribución Lognormal 2 para estación Perales

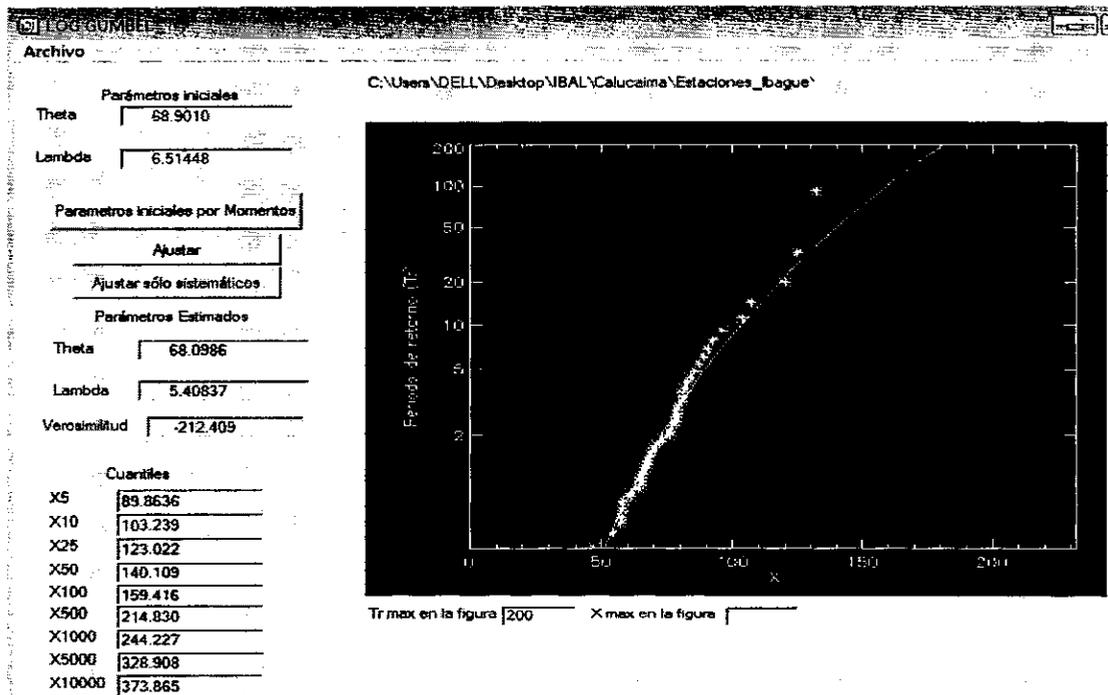


Figura 19. Ajuste de distribución Log Gumbel para estación Perales

Según los valores que se obtuvieron de los ajustes, las funciones que mejor representan el comportamiento de los datos son: la GUMBEL y la GEV, con valores de verosimilitud de -211,399 y -211,323 respectivamente, el ajuste gráfico de ambas funciones también se considera el más acorde. Se toma la decisión de trabajar con la función GUMBEL por ser más utilizada en el ámbito, por su ajuste gráfico y porque posee menor número de parámetros de ajuste.

Los valores que se calculan a partir de la función Gumbel para los distintos periodos de retorno, se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 10. PPT para diferentes periodos de retorno según ajustes de FDP

Tr	5	10	25	50	100	500
PPT	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534

### 8.2.2 Distribución de la precipitación en espacio y tiempo

La precipitación es un proceso atmosférico por el cual el agua es devuelta a la superficie terrestre, cumpliendo con el ciclo hidrológico. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca. Sin embargo, su estudio no suele ser sencillo, ya que este fenómeno varía en tiempo y en espacio, esto implica que no llueve con la misma intensidad todo el tiempo ni en toda el área de la cuenca.

Es por ello que es necesario realizar ajustes a las lluvias de diseño obtenidas a partir de las funciones de distribución de probabilidad, que permitan que se represente de una manera más cercana a la realidad el evento a modelar.

### 8.2.2.1 Factor de reducción Areal (FRA)

El FRA Consiste en encontrar un valor porcentual de la precipitación media Areal calculada anteriormente en base a los datos históricos de la estación Perales, este porcentaje corresponde al valor verdadero de esa lluvia que caería sobre toda la cuenca, considerando que no llueve en la totalidad de esta.

Para el cálculo del factor de reducción Areal, se utiliza la metodología propuesta por (Ana Beatriz Ortega Acacio, 2014). Se escoge esta metodología ya que los métodos gráficos, que son los más utilizados normalmente, son imprecisos para cuencas de pequeñas áreas (menores a 60 mk<sup>2</sup>) además, es una metodología sencilla de aplicar que tiene en cuenta como parámetros la duración de la tormenta y el área de la cuenca. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$FRA = \frac{1}{1 + 7,75 * 10^{-4} * D^{-0,304} * A}$$

En donde:

D: Tiempo de concentración o duración de la tormenta en horas

A: Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Al remplazar los datos en la ecuación se obtiene un valor de FRA igual a 0,99.

$$FRA = \frac{1}{1 + 7,75 * 10^{-4} * 44^{-0,304} * 9,7893} = 0,99$$

Posteriormente se aplica el factor a la lluvia de diseño obtenida a partir del análisis probabilístico para diferentes periodos de retorno. Los valores mencionados se presentan en la

Tabla 11. Aplicación de FRA a la PPT de diseño

Tr	5	10	25	50	100	500
PPT	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534
PPR*FRA	88,604933	98,2479771	110,43182	119,471114	128,442571	149,175784

### 8.2.2.2 Factor de reducción temporal

El factor de reducción temporal es el más decisivo a la hora de encontrar una precipitación real en cuencas de áreas pequeñas, pues depende exclusivamente del tiempo de duración de una tormenta, que en este caso representado por el tiempo de concentración (45 minutos = 0.75 horas), el factor se refiere a la realidad en la cual es muy poco probable que la tormenta de diseño calculada como milímetros por día, en realidad se presente continuamente en las 24 horas en consideración, esto implicaría que una precipitación de diseño más realista podría ser intermitente en el día, o durar cierta fracción temporal en el día.

La obtención del FRT puede ser compleja en casos donde la información de datos es limitada, por lo tanto, para ello, se utilizó un método de tabla, presente en el "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje" (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2008). Este documento da la oportunidad de encontrar el factor con base en el tiempo de concentración, como los datos se encuentran para valores cerrados en horas, la solución se obtiene a partir de la interpolación por el método gráfico. En la Tabla 12 se presentan los valores propuestos.

Tabla 12. Factor de reducción temporal

Duración de la PPT en horas	Coficiente
0	0
1	0,25
2	0,31
3	0,38
4	0,44
5	0,5
6	0,56
8	0,64
10	0,73
12	0,79
14	0,83
16	0,87
18	0,9
20	0,93
22	0,97
24	1
48	1,32

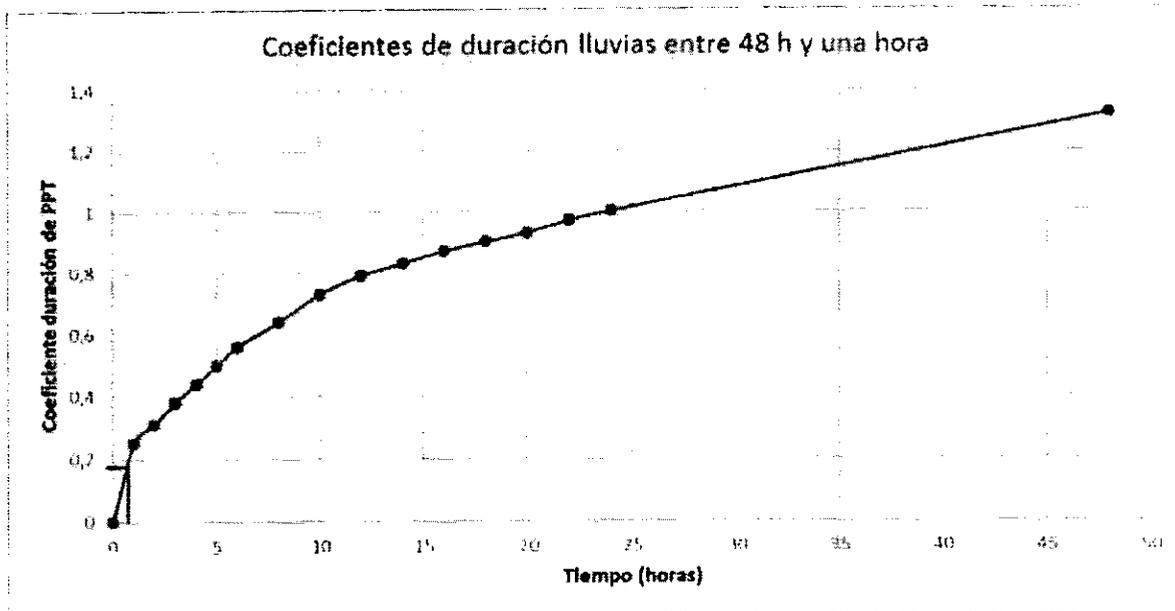


Figura 20. Elección de coeficiente de duración de PPT

De esta manera, el coeficiente encontrado para pasar la PPT diaria, a una PPT para la duración del evento (44 minutos) mediante el coeficiente con valor de 0,19. Los datos de precipitación, convertida en intensidad se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. PPT con corrección temporal

	C (corrección temporal)	0,19				
PPT mm/día	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534
PPT mm/D	16,875	18,712	21,032	22,754	24,463	28,411

### 8.2.2.3 Hietograma de diseño

Como se ha mencionado anteriormente, la intensidad de la precipitación no es constante en el tiempo, con el objetivo de poder establecer un hietograma de diseño, que represente la variación de las tormentas en su tiempo de duración, se convirtió la PPT de mm/día a una intensidad en mm, para utilizar el dato de intensidad como insumo para la construcción de los hietogramas y obtener una lluvia distribuida en el tiempo. Para ello, se utiliza la metodología propuesta por (HUFF, 1990).

**Modelo de Huff.** Este modelo data del año 1967, Huff ensayó con 261 tormentas representativas en Estados Unidos, logrando dividir las en 4 grupos característicos de acuerdo al periodo en minutos en que ocurrió la mayor precipitación dentro del tiempo de duración de la tormenta. Las curvas adimensionales de precipitación de Huff, son hietogramas acumulados y adimensionales con probabilidades de ocurrencia, que van en aumentos de 10, desde 10% hasta 90%. Para el análisis de la información de precipitaciones, Huff categorizó las tormentas en cuartiles que dependían del cuarto del total de la duración del evento en el que se presentaba el mayor porcentaje de precipitación.

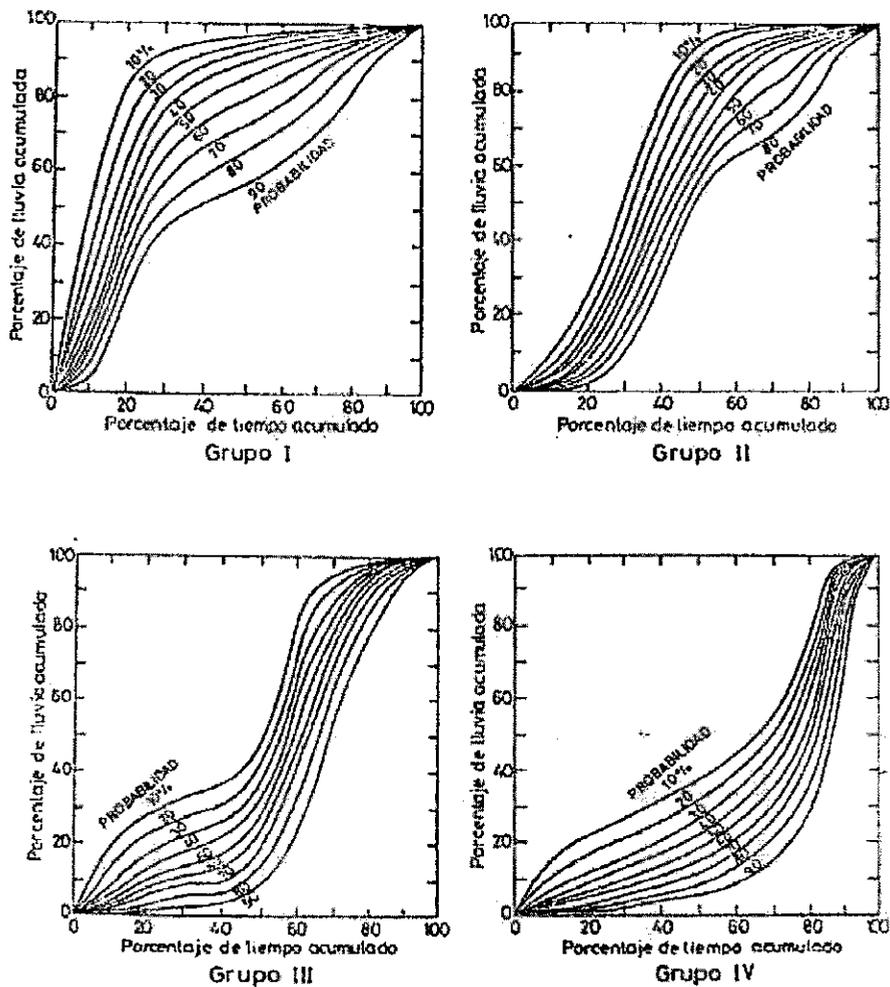


Figura 21. Distribuciones de tiempo para tormentas. Propuestas por Huff.

Información tomada de Huff-1990

Para la construcción del hietograma, se elige la segunda distribución, ya que describe de una mejor manera las lluvias de la región, y se trabaja con la curva para un 90 % de probabilidad de ocurrencia. Los valores para el hietograma se eligen a partir de la representación gráfica y obteniendo la siguiente tabla,

Tabla 14. Porcentajes distribución ii de Huff

% tiempo	% Ppt	Tiempo
0	0,00	0,00
10	0,02	0,08
20	0,03	0,15
30	0,10	0,23
40	0,30	0,30
50	0,54	0,38
60	0,63	0,45
70	0,69	0,53
80	0,79	0,60
90	0,91	0,68
100	1	0,75

Al multiplicar dichos porcentajes por la PPT corregida para cada periodo de retorno, se obtiene la precipitación acumulada según las duraciones, tal como se observa en Tabla 15 y en la Figura 22. Posteriormente, se desagrega la lluvia para obtener la cantidad para cada intervalo y con esto, el hietograma de diseño para cada periodo de retorno.

Tabla 15. PPT Acumulada según distribución ii de Huff

5	10	25	50	100	500
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,28	0,32	0,34	0,37	0,43
0,51	0,56	0,63	0,68	0,73	0,85
1,69	1,87	2,10	2,28	2,45	2,84
5,06	5,61	6,31	6,83	7,34	8,52
9,11	10,10	11,36	12,29	13,21	15,34
10,63	11,79	13,25	14,34	15,41	17,90
11,64	12,91	14,51	15,70	16,88	19,60
13,33	14,78	16,62	17,98	19,33	22,45
15,36	17,03	19,14	20,71	22,26	25,85
16,88	18,71	21,03	22,75	24,46	28,41

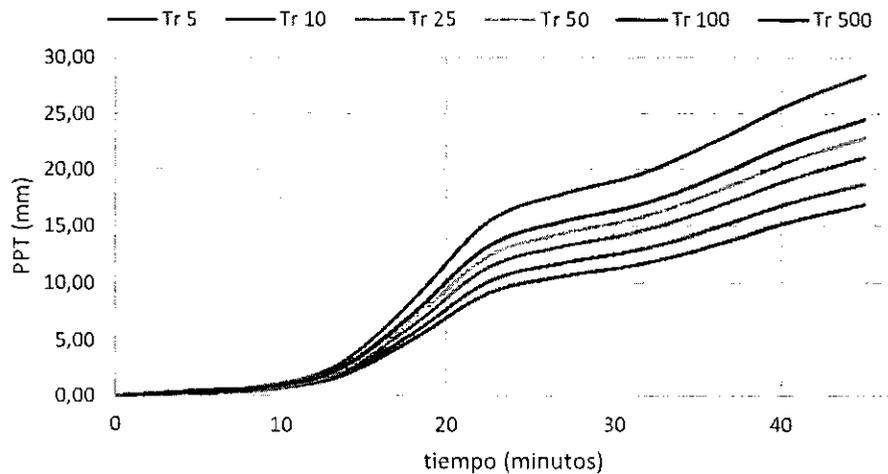


Figura 22. Lluvias de diseño acumuladas

A continuación, se muestran los hietogramas o (tormenta de diseño) obtenidas para cada periodo de retorno, y que posteriormente, serán insumo importante para la obtención los hidrogramas.

Tabla 16. Hietograma de diseño

Tiempo	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 500
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,51	0,56	0,63	0,68	0,73	0,85
10,00	1,18	1,31	1,47	1,59	1,71	1,99
15,00	3,38	3,74	4,21	4,55	4,89	5,68
20,00	4,05	4,49	5,05	5,46	5,87	6,82
25,00	1,52	1,68	1,89	2,05	2,20	2,56
30,00	1,01	1,12	1,26	1,37	1,47	1,70
35,00	1,69	1,87	2,10	2,28	2,45	2,84
40,00	2,03	2,25	2,52	2,73	2,94	3,41
45,00	1,52	1,68	1,89	2,05	2,20	2,56

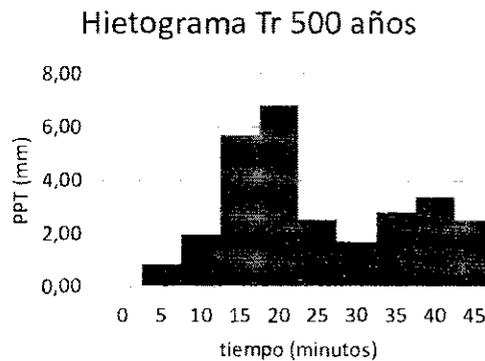
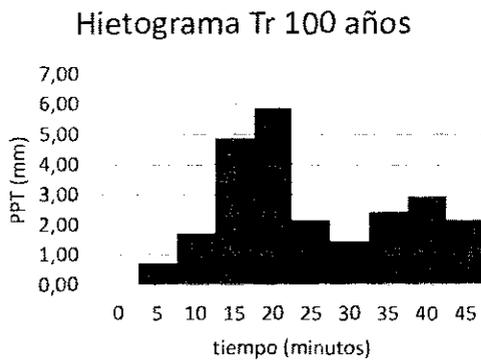
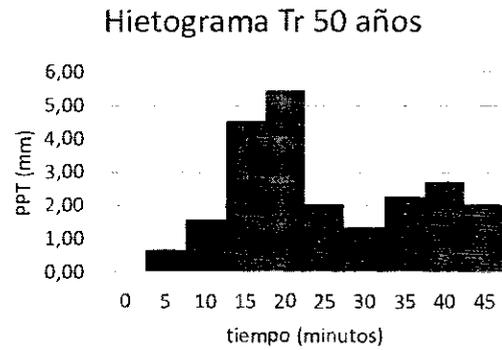
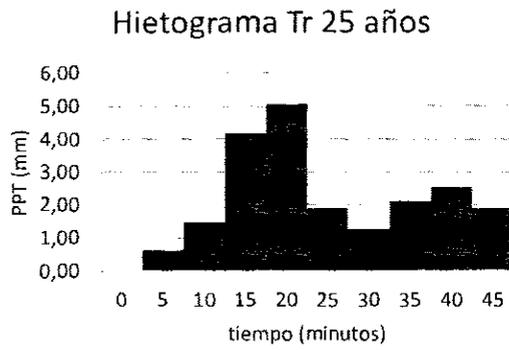
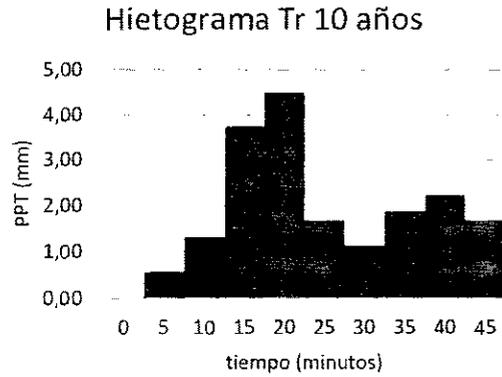
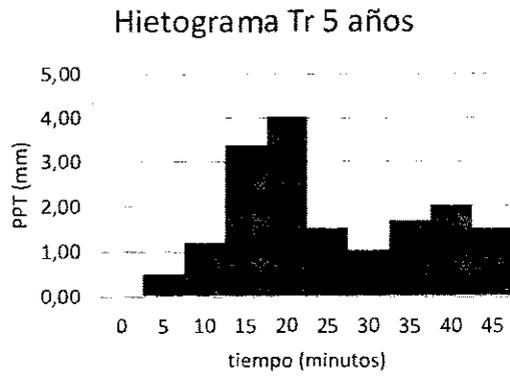


Figura 23. Hietogramas de diseño para cada periodo de retorno

### 8.2.3 Pérdidas por el número de curva

El número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como el grupo hidrológico del suelo (Días Carvajal & Mercado Fénandez, 2017). Fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) con el fin de estimar la escorrentía directa generada por un evento de lluvia

El número de curva determina para cada tipo de suelo y cobertura, un valor que indica que tan permeable o no es un terreno, dichos valores se obtienen de las tablas del NRCS. A partir de estos valores se realiza un ponderado con cada cobertura y tipo de suelo de la cuenca y se obtiene un número de curva final, que será utilizado para obtener las pérdidas al realizar la modelación hidrológica.

Para obtener el número de curva se clasifica la cuenca por tipo de cobertura, esto se puede observar en el siguiente gráfico.

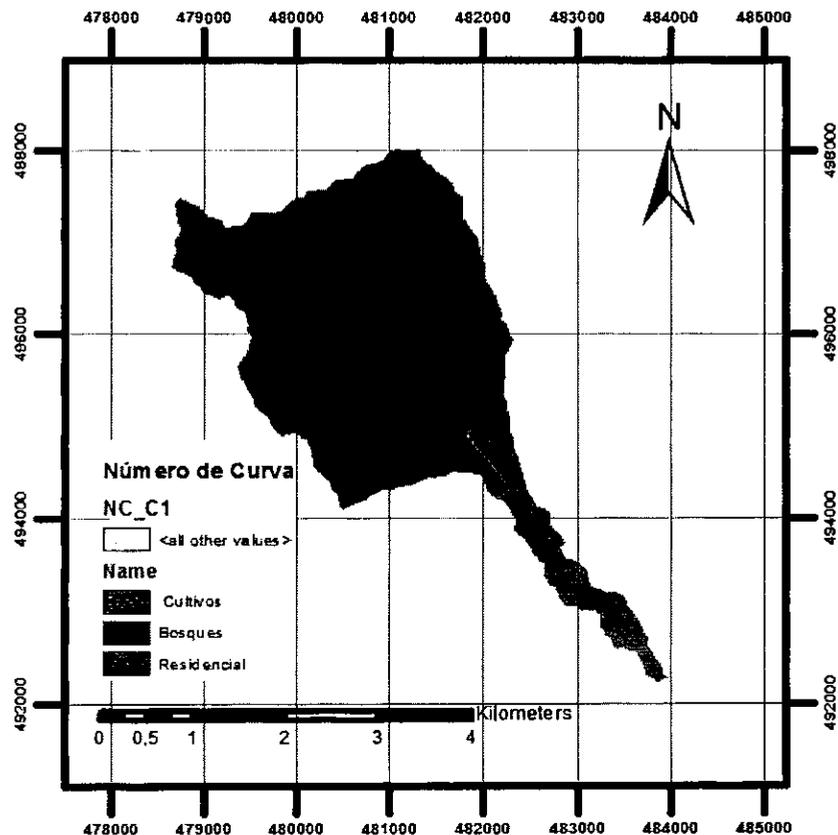


Figura 24. Mapa de número de curva de la cuenca

A cada tipo de cobertura y tipo de suelo se le asigna un número de curva, tomando como referencia la Tabla 17.

Tabla 17. Número de curva

Clasificación original		Reclasificación	
Numero	Descripción	Numero	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos emergentes		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja intensidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Tierra fértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Pastizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Finalmente se realiza un ponderado para obtener un número de curva final a partir del porcentaje de área que ocupe cada tipo de cobertura.

Tabla 18. Ponderado del número de curva

Cobertura	Tipo de suelo	NC	Área	Ponderado
Bosque	A	43	8,870	381,41
Residencial	A	23	0,003	0,07
Cultivo	A	82	0,916	75,11
NC ponderado				46,64

## 8.2.4 Hidrograma de diseño

Un hidrograma es una representación gráfica de la variación de un caudal con respecto al tiempo, que permite observar la forma en que varía el caudal, su tiempo y volumen pico. Es importante determinar el hidrograma de una cuenca, para poder describir la forma en que se presentará la escorrentía a partir de una tormenta de diseño.

Para cuencas que no poseen datos de medición de series de caudal, es posible utilizar hidrogramas sintéticos adaptados según parámetros morfométricos, tiempo de duración de la tormenta, datos de uso de cobertura, suelo y precipitación.

Para efectos de la presente modelación, se utilizó la metodología propuesta por el servicio de conservación de suelos de Estados Unidos el SCS, para obtener el hidrograma de diseño para las tormentas en sus diferentes periodos de retorno. Para ello se empleó el programa HEC-HMS, que es un programa que calcula hidrogramas producidos por una cuenca, ingresando parámetros de la cuenca y datos de precipitación.

Los parámetros introducidos al modelo son los anteriormente calculados en el presente informe, y corresponden a el área de la cuenca, el tiempo de concentración, los hietogramas de diseño, la duración de la tormenta, el tiempo lag (que es aproximadamente igual a  $0,6 \times$  tiempo de concentración. Por tanto,  $0,6 \times 45 = 27$  min), y finalmente, el número de curva.

Los resultados de la modelación en HEC-HMS se presentan a continuación.

### Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 5 años.

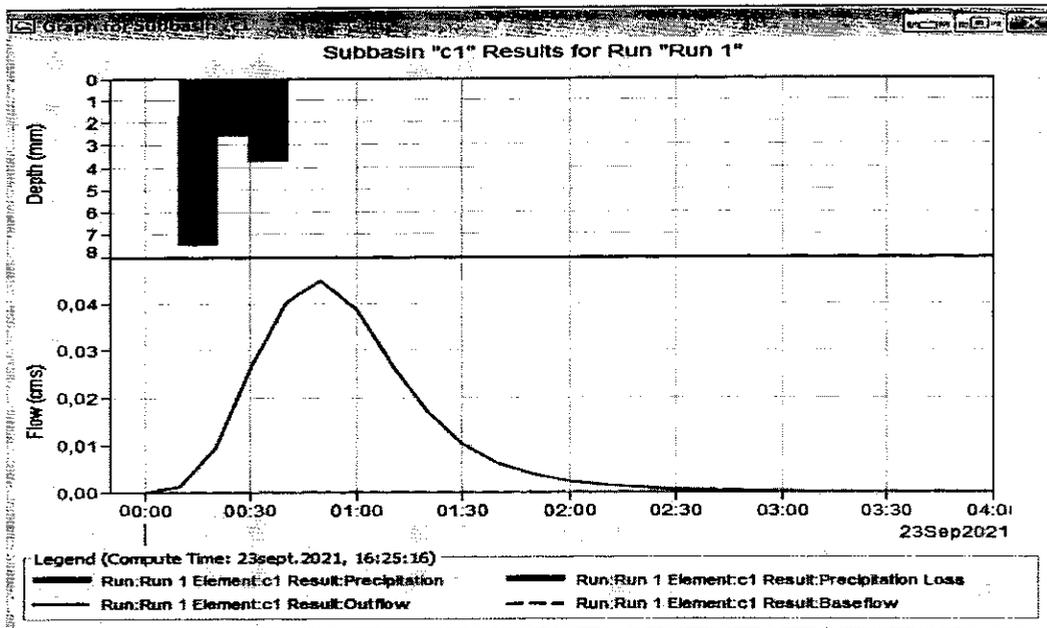


Figura 25. Hidrograma Tr 5

Tabla 19. Datos hidrograma Tr 5

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
23sept.2021	00:00				0	0	0
23sept.2021	00:10	1,69	1,69	0	0	0	0
23sept.2021	00:20	7,43	7,42	0,01	0	0	0
23sept.2021	00:30	2,53	2,53	0	0	0	0
23sept.2021	00:40	3,72	3,72	0	0	0	0
23sept.2021	00:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	03:00	0	0	0	0	0	0

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 25 años.

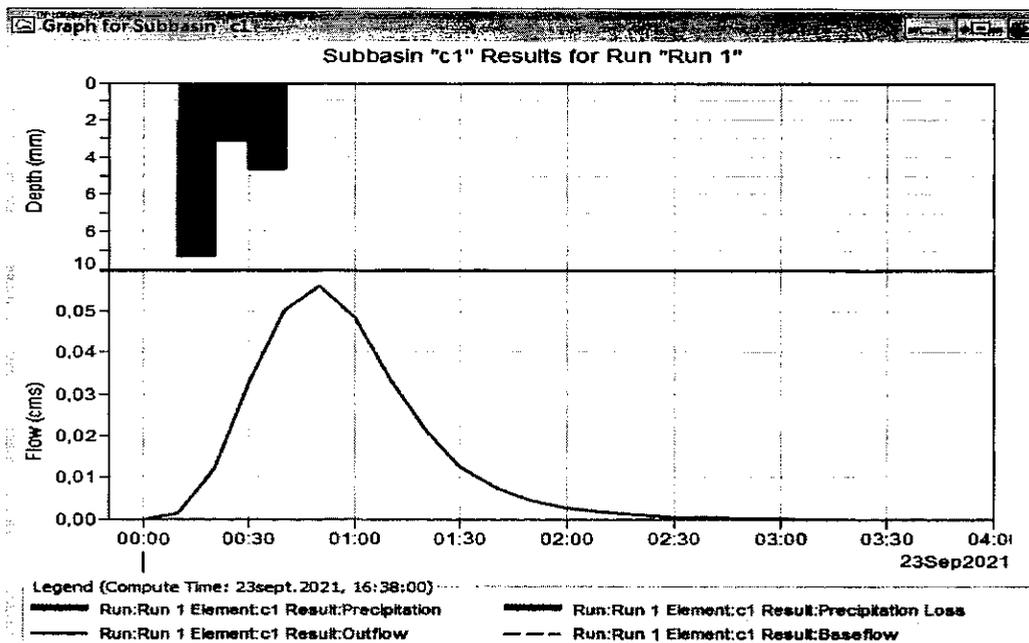


Figura 26. Hidrograma Tr 25

Tabla 20. Datos hidrograma Tr 25

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
23sept.2021	00:00				0	0	0
23sept.2021	00:10	2,1	2,1	0	0	0	0
23sept.2021	00:20	9,26	9,25	0,01	0	0	0
23sept.2021	00:30	3,15	3,15	0	0	0	0
23sept.2021	00:40	4,62	4,62	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	00:50	0	0	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	01:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	03:00	0	0	0	0	0	0

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 50 años.

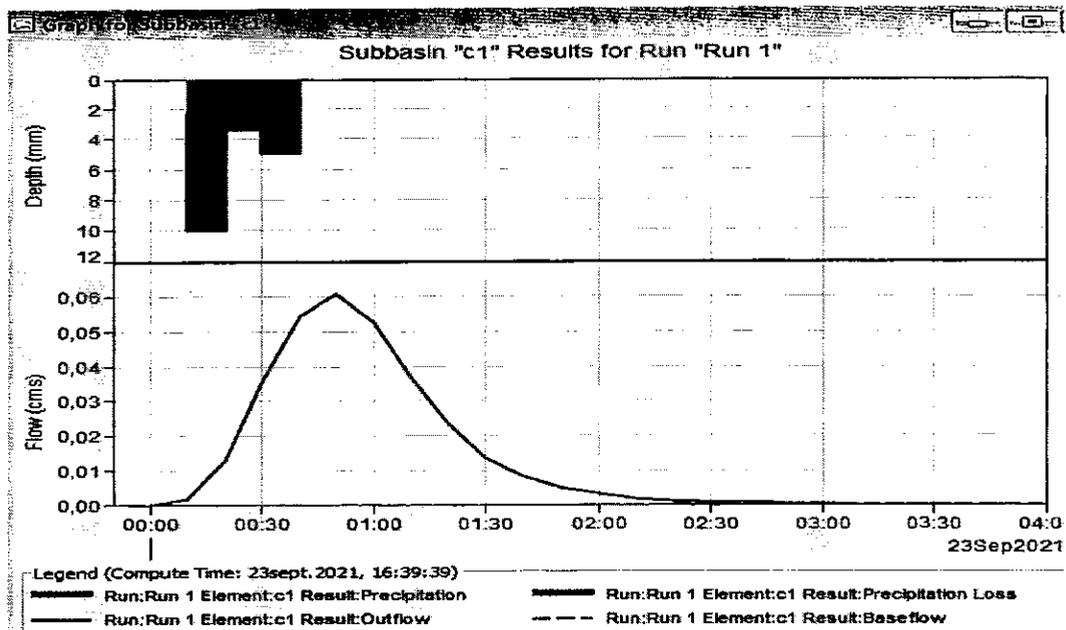


Figura 27. Hidrograma Tr 50

Tabla 21. Datos hidrograma Tr 50

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
23sept.2021	00:00				0	0	0
23sept.2021	00:10	2,27	2,27	0	0	0	0
23sept.2021	00:20	10,01	10	0,01	0	0	0
23sept.2021	00:30	3,42	3,42	0	0	0	0
23sept.2021	00:40	5,01	5,01	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	00:50	0	0	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	01:00	0	0	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	01:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	03:00	0	0	0	0	0	0

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 100 años.

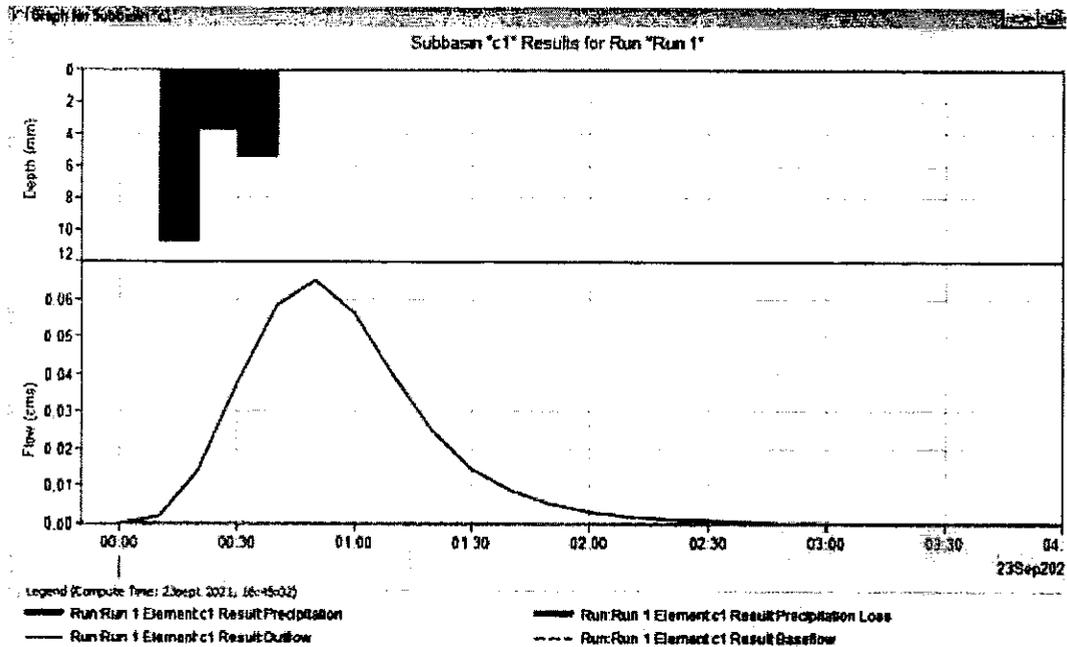


Figura 28. Hidrograma Tr 100

Tabla 22. Datos hidrograma Tr 100

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
23sept.2021	00:00				0	0	0
23sept.2021	00:10	2,44	2,44	0	0	0	0
23sept.2021	00:20	10,76	10,75	0,01	0	0	0
23sept.2021	00:30	3,67	3,67	0	0	0	0
23sept.2021	00:40	5,39	5,39	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	00:50	0	0	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	01:00	0	0	0	0,1	0	0,1
23sept.2021	01:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	01:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:00	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:10	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:20	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:30	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:40	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	02:50	0	0	0	0	0	0
23sept.2021	03:00	0	0	0	0	0	0

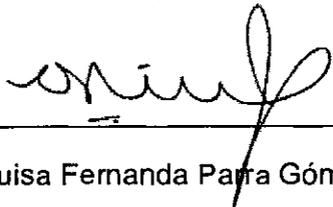
## 9 Conclusiones

- La cuenca del paso elevado No. 1 Calucaima, afluente del río Alvarado, es una cuenca de tamaño medio, teniendo un área de 9,789 km<sup>2</sup>, que se encuentra en su mayor parte rodeada de vegetación densa, lo que favorece la preservación del recurso hídrico en cantidad y calidad, además de aumentar la retención y disminuir la velocidad de la lluvia al discurrir por la cuenca.
- La cuenca presenta pendientes medias en su parte alta, pendientes altas en su parte media, y bajasen su parte baja, llegando de esta manera a la parte plana donde se ubica el municipio de Ibagué, su curva hipsométrica muestra una tendencia a ser una cuenca productora, por lo que se puede considerar como una cuenca joven que es propensa a la erosión.
- Los datos de precipitación con quienes se cuenta para el análisis de las lluvias poseen más de 50 años de datos continuos y una confiabilidad alta según el IDEAM quien es el organismo que los monitorea.
- Los datos de uso y coeficientes de rugosidad de la cuenca son escasos y estos pueden representar niveles bajos de confiabilidad al obtener el caudal.
- Para una obra hidráulica, según el RAS 2017, se toma un periodo de retorno de 25 años, por tanto, son los datos que se tendrán en cuenta para el caudal final, sin embargo se realizaron modelaciones con periodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años.
- Es importante aclarar que el método racional utilizado para un de los caculos del caudal es un método para caudales máximos y, por tanto, tiende a sobre

estimar el valor real del resultado. El caudal obtenido representa un aproximado del caudal que maneja la quebrada en el punto de paso del paso elevado 1 Calucaima, con un periodo de retorno de 25 años, su valor de  $16,64 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Se considera más preciso el método del hidrograma unitario del SCS, ya que considera más factores para el cálculo final del caudal, además de distribuirlo en el tiempo de duración de la tormenta. Para el periodo de retorno de 25 años se obtiene un caudal total de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir  $200 \text{ l/s}$ , y un caudal pico de  $57 \text{ l/s}$ .

## 10 Referencias

- Ana Beatriz Ortega Acacio, M. Á. (2014). Regionalización de factores de reducción por área en una cuenca hidrográfica de Venezuela. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 94-106.
- Días Carvajal, Á., & Mercado Fénandez, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betanci (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y desarrollo*.
- HUFF, F. A. (1990). Time Distributions of Heavy Rainstorms.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*.
- Ministerio de Ambiente, Asocars, CORTOLIMA, Ordenando Nuestra Cuenca. Sub-proyecto Formulación Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Gualí, Departamento del Tolima, Agosto 2014.
- NRCS, "Hydrologic soil-cover complexes", in Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, 2004, cap. 9, pp. 1-3.
- Témez, J 1978, Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales, Dirección General de Carreteras, Madrid, España, 111 pp.
- VARGAS, Rodrigo y DÍAZ-GRANADOS, Mario., Curvas Sintéticas de Intensidad Duración-Frecuencia para Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes, Julio 1998.
- Es el informe,
- 
- 
- Luisa Fernanda Parra Gómez
- Ingeniera Civil
- Especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental
- M.P. No. 051037-0504330



# Análisis Geomorfológico e Hidrológico

sub-cuenca del Río Cócora

Punto 2 Calucaima

2021



## Tabla de contenido

.....	1
1. Introducción .....	5
2. Alcance .....	6
3. Localización de la sub-cuenca del río Alvarado-Calucaima 2 .....	7
4. Caracterización de la Micro-Cuenca.....	8
5. Clima Regional, Zona Andina .....	12
6. Recopilación de datos de Estaciones .....	13
6.1 Datos de PPT .....	13
6.2 Datos de temperatura .....	16
7. Tiempo de concentración .....	20
8. Estimación de Caudales.....	21
8.1 Caudales por el método Racional .....	21
8.1.1 Curva IDF.....	21
Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Colombia .....	21
8.1.2 Coeficiente de escorrentía .....	23
8.1.3 Caudal por el método Racional .....	25
8.2 Estimación de caudal por análisis probabilísticos .....	27
8.2.1 Funciones de distribución de probabilidad.....	27
8.2.2 Distribución de la precipitación en espacio y tiempo .....	31
8.2.2.1 Factor de reducción Areal (FRA) .....	32
8.2.2.2 Factor de reducción temporal .....	33
8.2.2.3 Hietograma de diseño.....	34
8.2.3 Pérdidas por el número de curva .....	39
8.2.4 Hidrograma de diseño.....	41
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 5 años. ....	42
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 25 años.....	43
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 50 años.....	44
Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 100 años.....	45
9 Conclusiones.....	46
10 Referencias.....	48

## Tabla de Tablas

Tabla 1. Parámetros fisiomorfométricos de la cuenca Olivares .....	11
Tabla 2. Datos de la estación Aeropuerto Perales .....	14
Tabla 3. Lluvia diaria máxima por año .....	14
Tabla 4. Datos de la estación Climática Cajamarca .....	16
Tabla 5. Valores de temperatura.....	17
Tabla 6. Parámetros para la región Andina.....	22
Tabla 7. Valores de la curva IDF para la subcuenca paso elevado 2 Calucaima .....	22
Tabla 8 . Metodo Prevet para coeficiente de escorrentia .....	24
Tabla 9. Datos Para método Racional .....	26
Tabla 10. PPT para diferentes periodos de retorno según ajustes de FDP .....	31
Tabla 11. Aplicación de FRA a la PPT de diseño .....	32
Tabla 12. Factor de reducción temporal.....	33
Tabla 13. PPT con corrección temporal .....	34
Tabla 14. Porcentajes distribución ii de Huff .....	36
Tabla 15. PPT Acumulada según distribución ii de Huff.....	36
Tabla 16. Hietograma de diseño .....	37
Tabla 17. Número de curva.....	40
Tabla 18. Ponderado del número de curva .....	40
Tabla 19. Datos hidrograma Tr 5 .....	42
Tabla 20. Datos hidrograma Tr 25 .....	43
Tabla 21. Datos hidrograma Tr 50 .....	44
Tabla 22. Datos hidrograma Tr 100 .....	45

## Tabla de Figuras

Figura 1. Localización micro-cuenca viaducto 2 subcuenca del río Cocora.....	7
Figura 2. Mapa de alturas cuenca viaducto 2.....	8
Figura 3. Mapa de pendientes de la cuenca viaducto 2 .....	9
Figura 4. Mapa de distribución de áreas acumuladas de la cuenca viaducto 2 .....	10
Figura 5. Curva hipsométrica de la cuenca viaducto 2 .....	10
Figura 6 . Ubicación de las estaciones.....	13
Figura 7. Distribución temporal de precipitación en la estación Aeropuerto Perales .....	16
Figura 8. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria .....	18
Figura 9. Distribución temporal de la temperatura media diaria .....	18
Figura 10. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria.....	19
Figura 11. Tiempo de concentración.....	20
Figura 12. Curva IDF para la subcuenca paso elevado 2 Calucaima .....	23
Figura 13 . Mapa de suelos.....	24
Figura 14. Serie de datos de PPT y estadísticas.....	28
Figura 15. Ajuste de distribución Gumbel para estación PeraleS.....	28
Figura 16. Ajuste de distribución TCEV para estación Perales .....	29
Figura 17. Ajuste de distribución GEV para estación Perales .....	29
Figura 18. Ajuste de distribución Lognormal 2 para estación Perales .....	30
Figura 19. Ajuste de distribución Log Gumbel para estación Perales.....	30
Figura 20. Elección de coeficiente de duración de PPT .....	34
Figura 21. Distribuciones de tiempo para tormentas. Propuestas por Huff.....	35
Figura 22. Lluvias de diseño acumuladas .....	37
Figura 23. Hietogramas de diseño para cada periodo de retorno.....	38
Figura 24. Mapa de número de curva de la cuenca .....	39
Figura 25. Hidrograma Tr 5.....	42
Figura 26. Hidrograma Tr 25.....	43
Figura 27. Hidrograma Tr 50.....	44
Figura 28. Hidrograma Tr 100.....	45

## **1. Introducción**

El análisis geomorfológico de una cuenca es importante en la medida que permite caracterizarla y vislumbrar el tipo de respuesta que esta tendría ante diferentes eventos de precipitación, según factores como su pendiente, mapa de elevación, curva hipsométrica, área, longitud y ancho, entre otras. Además, es un insumo indispensable al momento de hablar de la hidrología de una cuenca, ya que permite calcular parámetros como su tiempo de concentración, y sumándole datos de precipitación, es posible obtener la intensidad y de ella los hietogramas de diseño o/y su caudal de diseño.

El objetivo del presente informe, es realizar una caracterización geomorfológica que eventualmente permita obtener el caudal de la sub-Cuenca en el punto donde se ubica el viaducto 2 Ubicado en Calucaima en el municipio de Ibagué-Tolima, dato que es importante en la elaboración de los respectivos diseños.

A continuación, se presentan los cálculos, gráficos y parámetros obtenidos al realizar el estudio hidrológico de la cuenca delimitada por el viaducto No.2 de Calucaima.

## **2. Alcance**

Mediante el presente informe se pretende dar cumplimiento a compromisos adquiridos mediante el contrato 064 del 06 de mayo del 2021. En este documento se realiza un estudio hidrológico de la sub-cuenca del río Alvarado al punto del viaducto No.2 en Calucaima, con el fin de determinar caudales del drenaje que permitan determinar la ubicación adecuada para el viaducto.

### 3. Localización de la sub-cuenca del río Alvarado-Calucaima 2

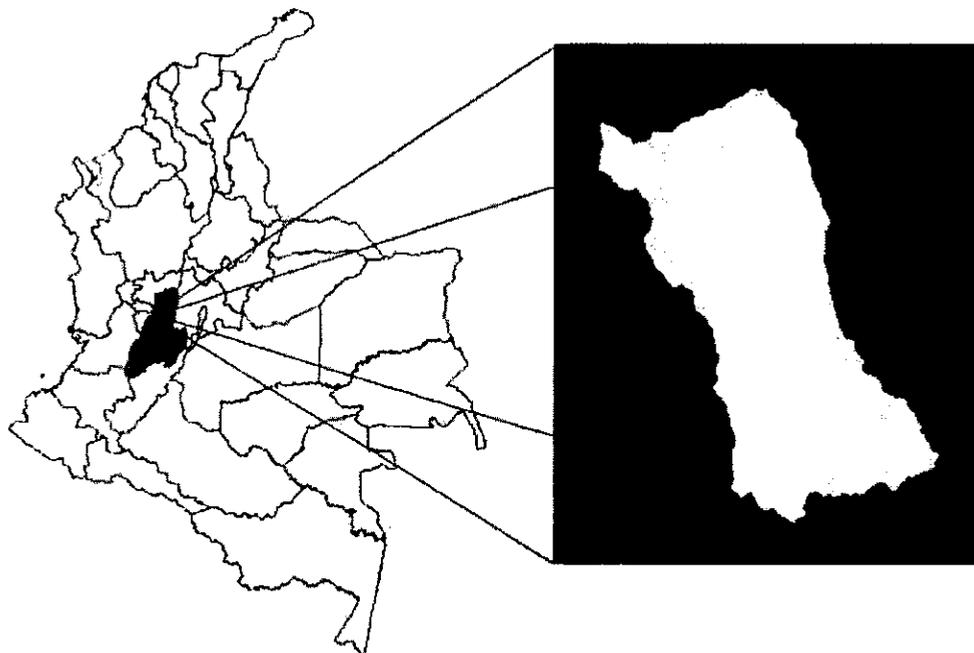


Figura 1. Localización micro-cuenca viaducto 2 Calucaima subcuenca del río Alvarado  
La micro-cuenca del drenaje que pasa por la red paso elevado No. 2 se encuentra ubicada en la vertiente oriental de la cordillera central, en el municipio de Ibagué, con un área mediana de aproximadamente 16,572 km<sup>2</sup>, su ubicación en el departamento se observa en la figura No. 1, el punto de cierre tiene como coordenadas 4.453894° Latitud, -75.146076° Longitud.

#### 4. Caracterización de la Micro-Cuenca

Para la caracterización y parametrización de la cuenca, se realizó un análisis partiendo del mapa de pendientes, dirección de flujos y flujos acumulados, quienes fueron calculados a partir del modelo de elevación digital del terreno (MDT) de la NASA (con resolución de 12mx12m).

En la Figura 2 se observa el mapa de alturas de la cuenca, donde se aprecia su carácter montañoso en la parte alta y media de la cuenca, quien parte desde el páramo, tiene su topografía más fuerte en la parte media y finaliza con pendientes menores en una zona más plana llegando a la parte urbana del municipio de Ibagué, tal como se puede inferir de la Figura 3.

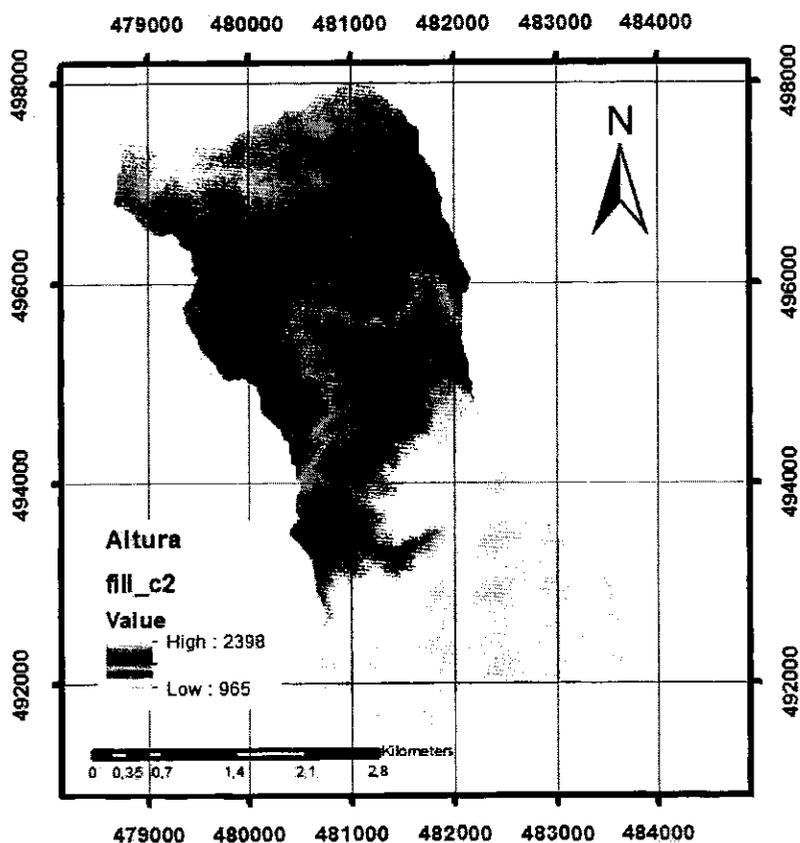


Figura 2. Mapa de alturas cuenca viaducto 2 Calucaima

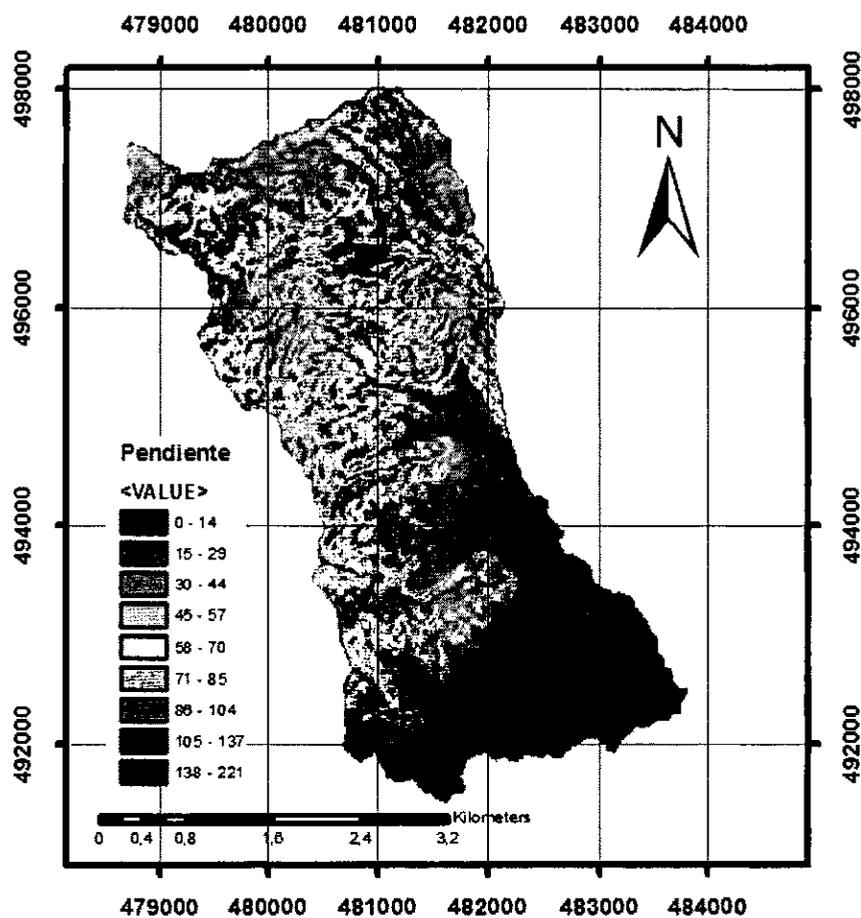


Figura 3. Mapa de pendientes de la cuenca viaducto 2 Calucaima

A continuación, se presenta el mapa de áreas utilizado para la construcción de la curva hipsométrica de la cuenca en la Figura 4, quien representa una distribución de área acumulada en contraste con la elevación, y clasifica una cuenca según su forma, como cuenca joven con desequilibrio y potencial erosivo, cuenca madura en equilibrio, y como cuenca vieja con desequilibrio y deposición de sedimentos.

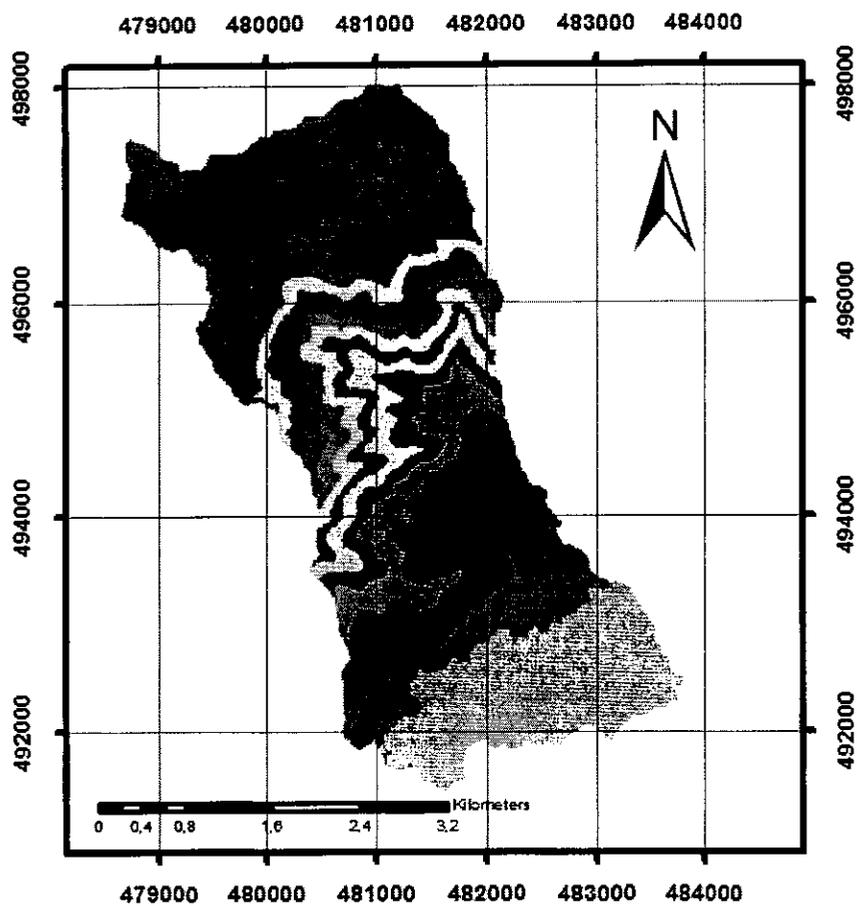


Figura 4. Mapa de distribución de áreas acumuladas de la cuenca viaducto 2 Calucaima

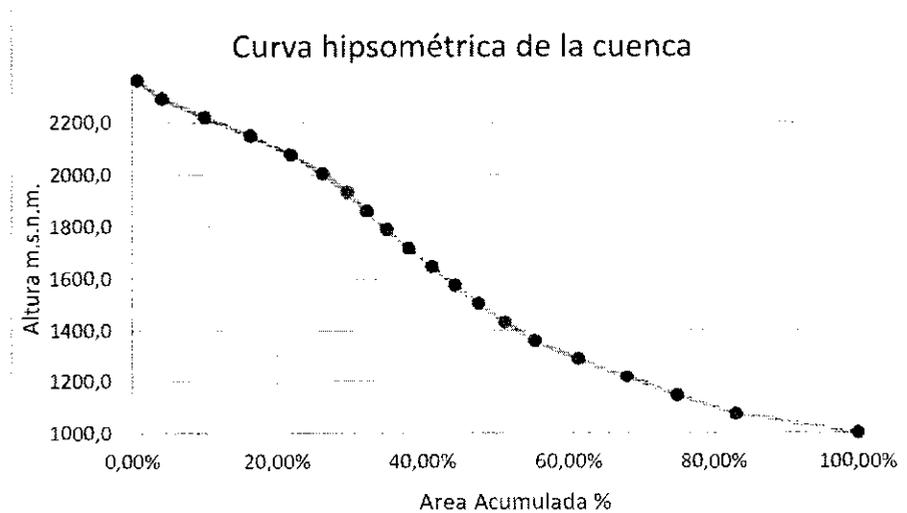


Figura 5. Curva hipsométrica de la cuenca viaducto 2 Calucaima

La curva hipsométrica de la Sub-cuenca del viaducto 2, representada por la Figura 5, refleja la madurez de la cuenca, y su forma la identifica como una cuenca cercana al equilibrio, esto quiere decir que existe un equilibrio entre el material sólido que llega producto de la corriente y sedimenta y el material que erosiona.

A partir de los mapas anteriormente nombrados se obtuvieron los parámetros fisiomorfológicos necesarios para la posterior modelación hidrológica de la cuenca. Los parámetros se encuentran consignados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisiomorfológicos de la cuenca Olivares

Área cuenca	Km <sup>2</sup>	16,572
Perímetro	Km	21,8464
Cota máxima de la cuenca	msnm	2350
Cota de salida	msnm	971,77
X centroide cuenca	m	481341
Y centroide cuenca	m	494626
Z centroide cuenca	msnm	1641,67
DA (cota Max - cota Min)	m	1378,23
Índice de Compacidad o de GRAVELIUS	Un	1,50
pendiente media cuenca (%)	%	18,09
altura más frecuente	msnm	1000,5
altura promedio	msnm	1681,50
longitud de cuenca	km	7,42
longitud del cauce principal	km	7,94

## **5. Clima Regional, Zona Andina**

En la zona Andina concurren gran variedad de climas, debido a sus diferencias de altiplanicie tiene sus condiciones climáticas particulares, donde variables como el calor solar, los vientos, la humedad del aire, las lluvias y principalmente a la altitud la definen. En la región se tienen cinco pisos térmicos: cálido, templado, frío, páramo y helado, caracterizado por sus picos, nevados en sus cordilleras.

En cuanto a las lluvias, hay dos épocas principales al año: de Abril a Mayo y de Octubre a Noviembre. Un determinante de la precipitación es la temperatura sobre la región en estos periodos, ya que cuando la tierra recibe más calor, aumenta la temperatura y por consiguiente el régimen de lluvias. Otra causa de las precipitaciones en la región es la humedad que traen consigo los vientos procedentes de los Océanos Pacífico y Atlántico y que es recibida en las vertientes exteriores de las montañas; los vientos del Pacífico empujan las nubes hacia la cordillera Occidental y al encontrar esta barrera ascienden, al llegar capas de aire más frías, se condensan y se convierten en pequeñas gotas de lluvia, las cuales se precipitan sobre la vertiente exterior de la cordillera.

El departamento del Tolima cuenta con pisos térmicos desde los cálidos, hasta las nieves. Sus principales alturas son el Nevado del Tolima, con temperaturas muy frías de los páramos (cordillera central), la temperatura disminuye cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar, más o menos a una tasa de 0,53 grados centígrados por cada 100 metros de ascenso (5,3°C/Km). Los sectores más lluviosos. La precipitación promedio del tramo vial ronda los 1600 mm anuales.

## 6. Recopilación de datos de Estaciones

### 6.1 Datos de PPT

Para la recopilación de datos de precipitación se utilizó la estación Aeropuerto Perales, ubicada en el municipio de Ibagué en coordenadas Latitud 4,424138 y longitud -75,4013. Los datos de las estaciones fueron descargados del Geo Portal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) teniendo en cuenta las estaciones más cercanas a la zona, sus datos se presentan a continuación.

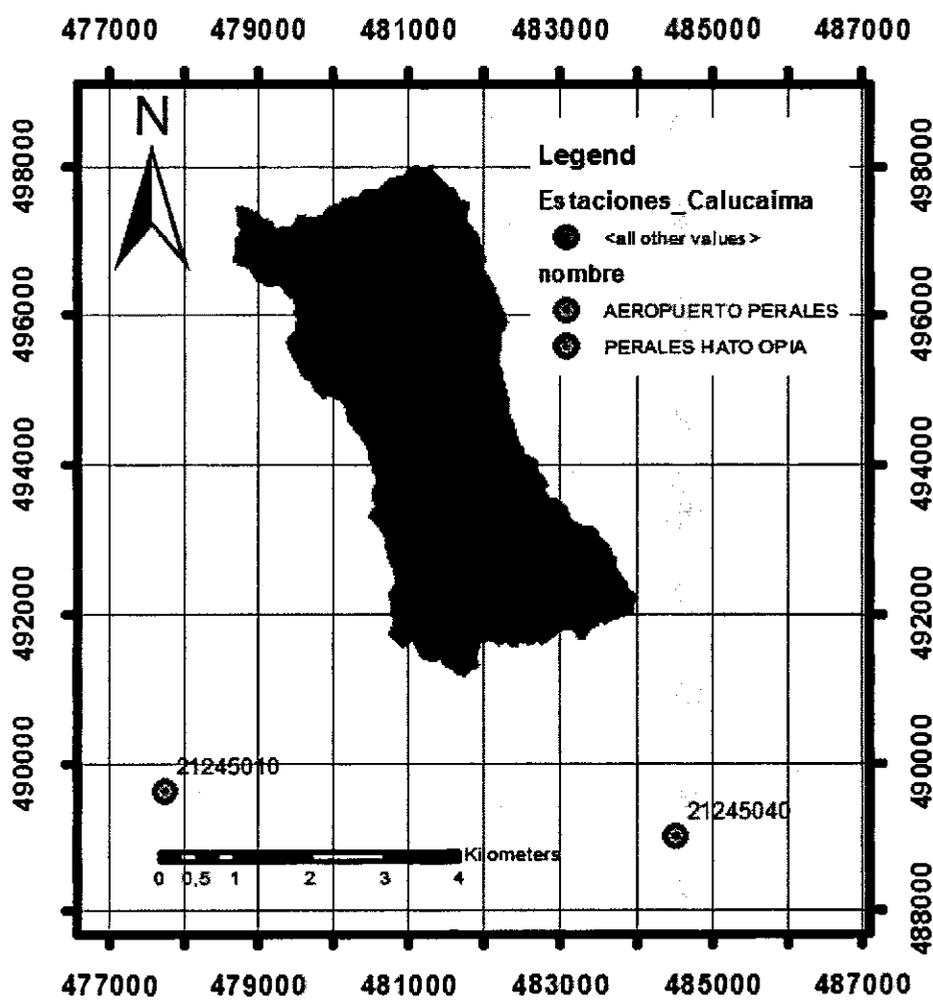


Figura 6 . Ubicación de las estaciones

Tabla 2. Datos de la estación Aeropuerto Perales

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
21245040	AEROPUERTO PERALES	4,42413889	-75,13941667	943
Entidad	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Categoría
INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Tolima	Ibagué	15/11/1970	Pluviométrica

Se recopilaron 51 años de datos de precipitación en rango continuo de 1971 a 2020, y de estos se obtuvo las precipitaciones máximas de cada año, dichos datos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Lluvia diaria máxima por año

Año	Máx. de Valor
1971	69,4
1972	77,3
1973	120,2
1974	66,8
1975	79,4
1976	64,0
1977	87,5
1978	76,1
1979	65,7
1980	83,7
1981	67,0
1982	57,8
1983	107,0
1984	81,0
1985	61,0
1986	68,2
1987	73,4
1988	66,5
1989	132,0
1990	58,0
1991	58,4
1992	58,5

Año	Máx. de Valor
1993	75,8
1994	61,0
1995	89,3
1996	90,6
1997	76,4
1998	78,4
1999	68,8
2000	65,1
2001	65,2
2002	83,0
2003	80,8
2004	85,7
2005	79,0
2006	78,2
2007	78,6
2008	81,0
2009	57,5
2010	92,7
2011	72,9
2012	64,7
2013	70,3
2014	67,8
2015	54,7
2016	96,0
2017	81,6
2018	103,7
2019	125,0
2020	47,2
2021	71,1
Total general	132,0
promedio	78,2

Del análisis de los datos diarios de precipitación, se obtiene la distribución temporal de la lluvia para la estación Aeropuerto Perales, que se presenta a continuación.

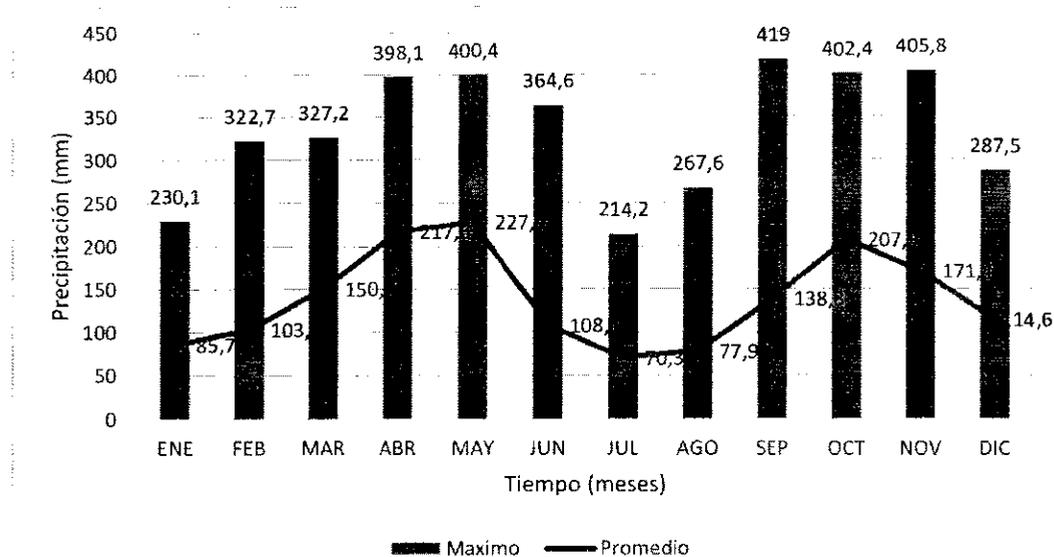


Figura 7. Distribución temporal de precipitación en la estación Aeropuerto Perales

## 6.2 Datos de temperatura

Para el análisis de la temperatura en la zona se escogió la estación climática más cercana a la cuenca, la estación Aeropuerto Perales de carácter sinóptica secundaria, ubicada en coordenadas 4,424138 Latitud y -75,139416 Longitud. Los datos de las estaciones fueron descargados del Geo Portal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, sus datos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos de la estación Climática Aeropuerto Perales

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
21245040	AEROPUERTO PERALES [21245040]	4,424138889	-75,13941667	943
Entidad	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Categoría
INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Tolima	Ibagué	15/11/1970	Sinóptica secundaria

En la Tabla 5 se presenta los valores promedios de las variaciones de la temperatura media de la estación Cajamarca, en esta estación se registra una temperatura de media de 24,12° C, con mínimos de temperatura de 15,8 °C y máximos de 35,15 °C en un periodo de análisis 43 años de datos (1978-2021) . Se observa que la variable es estable en el tiempo, ya que no presenta cambios bruscos y su valor entre meses no cambia considerablemente.

Tabla 5. Valores de temperatura

Valores mínimos de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	15,3	15,9	15,2	16,2	16,2	16,4	15,2	15,8	15,4	16,4	15,8	15,8
<b>Medios</b>	19,1	19,3	19,3	19,3	19,3	19,2	19,1	19,2	19,2	19,1	19,1	19,1
<b>Máximos</b>	21,8	22,2	23,0	21,8	22,4	21,6	22,4	22,4	22,2	21,6	21,6	21,4
Valores medios de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	20,7	20,6	20,3	20,6	20,6	20,5	20,7	19,6	19,5	20,6	19,3	20,3
<b>Medios</b>	24,1	24,3	24,1	23,8	23,8	24,1	24,6	25,2	24,8	23,8	23,4	23,6
<b>Máximos</b>	27,7	28,8	27,6	26,5	27,3	26,7	27,4	28,3	28,0	27,9	26,0	27,5
Valores máximos de temperatura												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Mínimos</b>	27,7	28,8	27,6	26,5	27,3	26,7	27,4	28,3	28,0	27,9	26,0	27,5
<b>Medios</b>	29,0	29,3	28,8	28,4	28,4	29,1	30,1	31,2	30,4	28,4	27,7	28,2
<b>Máximos</b>	36,0	35,9	35,3	33,8	34,0	33,6	35,4	36,4	36,8	36,5	32,4	35,7

En las gráficas presentes en la Figura 8, la Figura 9 y la Figura 10 se presenta la distribución temporal de la temperatura, para sus valores mínimos, medio y máximos.

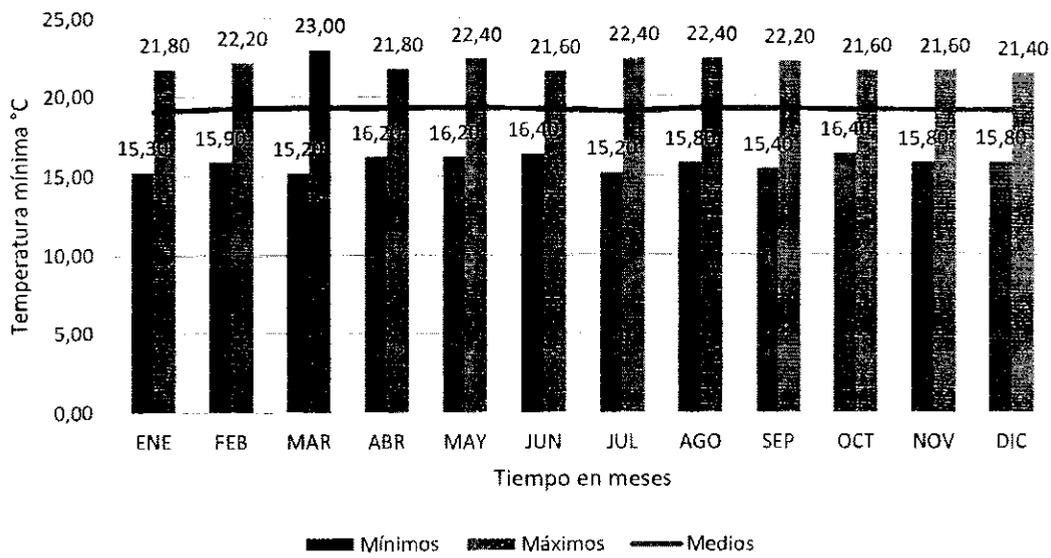


Figura 8. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

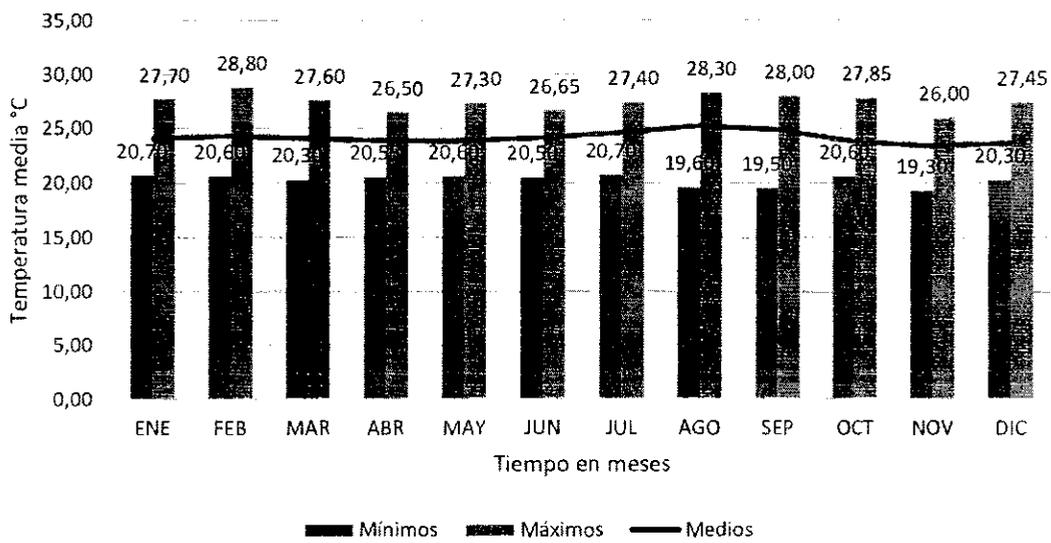


Figura 9. Distribución temporal de la temperatura media diaria

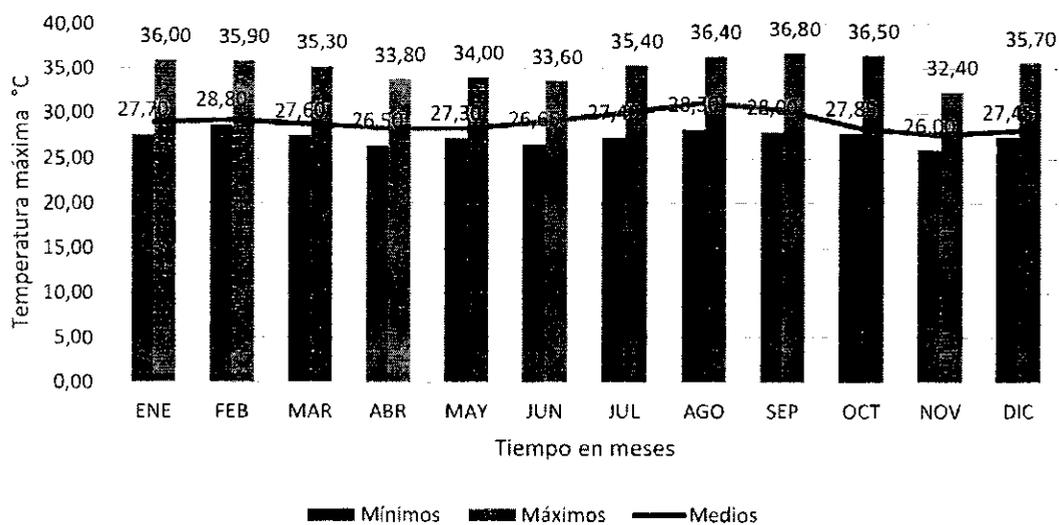


Figura 10. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

Entre la temperatura más baja y la más alta registrada en la zona, existen 21,6 grados de diferencia, mientras que las temperaturas medias entre meses, presentan variaciones de temperatura menores a 2 grados.

## 7. Tiempo de concentración

Para obtener la intensidad de la lluvia, es necesario el cálculo del tiempo de concentración de la cuenca, para ello se utilizaron 11 formulas propuestas por diferentes autores, que se encuentran en función de parámetros como: el área de la cuenca, la longitud del drenaje principal, el ancho de la cuenca y su pendiente media. Entre los resultados obtenidos se descartaron aquellos que mostraban valores extremos que eran poco probables en la realidad, y finalmente se realizó un promedio con los valores restantes. El valor obtenido para el tiempo de concentración de la sub-cuenca del río Alvarado (Calucaima1) es de 49 minutos, que para efectos prácticos en la construcción del hietograma se dejará como  $T_r$  50 minutos. Los valores y los nombres de las formulas utilizados para su obtención se muestran en la Figura 11.

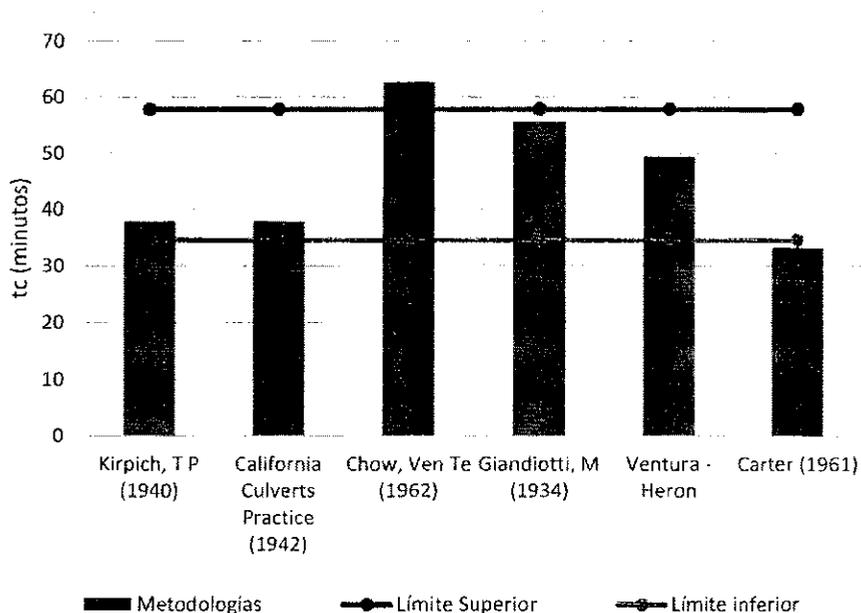


Figura 11. Tiempo de concentración

Fuente: Propia

## **8. Estimación de Caudales**

### **8.1 Caudales por el método Racional**

#### **8.1.1 Curva IDF**

Las curvas IDF son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad de una tormenta en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Como la intensidad y duración de las tormentas varían geográficamente, las curvas IDF dependerán de cada región, pudiendo encontrar una extensa bibliografía con respecto a las curvas IDF de cada región de un país.

Su fórmula general surge a partir de la definición de intensidad de precipitación. Siendo:

I: la intensidad de la lluvia en mm/h.

D: Duración de la tormenta en horas.

T: Período de Retorno.

a,b,n,m son coeficientes que dependen de la zona de estudio

#### **Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Colombia**

Para el cálculo de la curva IDF que permita obtener intensidades para la aplicación del método racional en la micro-cuenca, se utilizó la metodología propuesta por Rodrigo Vargas M y Mario Díaz-Granados O. Esta metodología se basa en que las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos lluvia-escorrentía en cuencas pequeñas para las cuales no existen registros de caudal.

Los métodos tradicionales de cálculo de curvas IDF requieren utilizar de información pluviográfica. El empleo de ecuaciones que permitan estimar las curvas IDF a partir

de información pluviométrica constituye una alternativa para aquellas zonas que solo disponen de registros de lluvias a nivel diario. A partir de 165 curvas IDF ubicadas en diversas zonas de Colombia y los resúmenes multianuales pluviométricos de las mismas, Vargas y Díaz-Granados, evaluaron las principales ecuaciones propuestas en la literatura y establecieron nuevas ecuaciones para 4 grandes regiones de Colombia.

La ecuación y parámetros para la región andina se presenta a continuación.

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

Tabla 6. Parámetros para la región Andina

Parámetros Región Andina	
a:	2,16
b:	0,19
c:	0,62
d:	0,63

Fuente: (VARGAS-DÍAZ-GRANADOS, 1998)

Tabla 7. Valores de la curva IDF para la subcuena paso elevado 2 Calucaima

DURACIÓN - t Minutos	INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN - I (mm/h) PARA PERIODOS DE RETORNO - T (años)						
	2	3	5	10	25	50	100
5	177,3	191,5	211,1	240,8	286,6	326,9	372,9
10	115,4	124,6	137,3	156,7	186,5	212,7	242,6
15	89,7	96,9	106,8	121,8	145,0	165,4	188,7
20	75,1	81,1	89,4	101,9	121,3	138,4	157,9
25	65,4	70,6	77,8	88,8	105,6	120,5	137,5
30	58,4	63,1	69,5	79,3	94,4	107,6	122,8
35	53,1	57,3	63,2	72,1	85,8	97,8	111,6
40	48,9	52,8	58,1	66,3	78,9	90,1	102,7
45	45,4	49,1	54,0	61,7	73,4	83,7	95,5
50	42,5	45,9	50,6	57,8	68,7	78,4	89,5
100	27,7	29,9	32,9	37,6	44,7	51,0	58,2

Fuente: propia

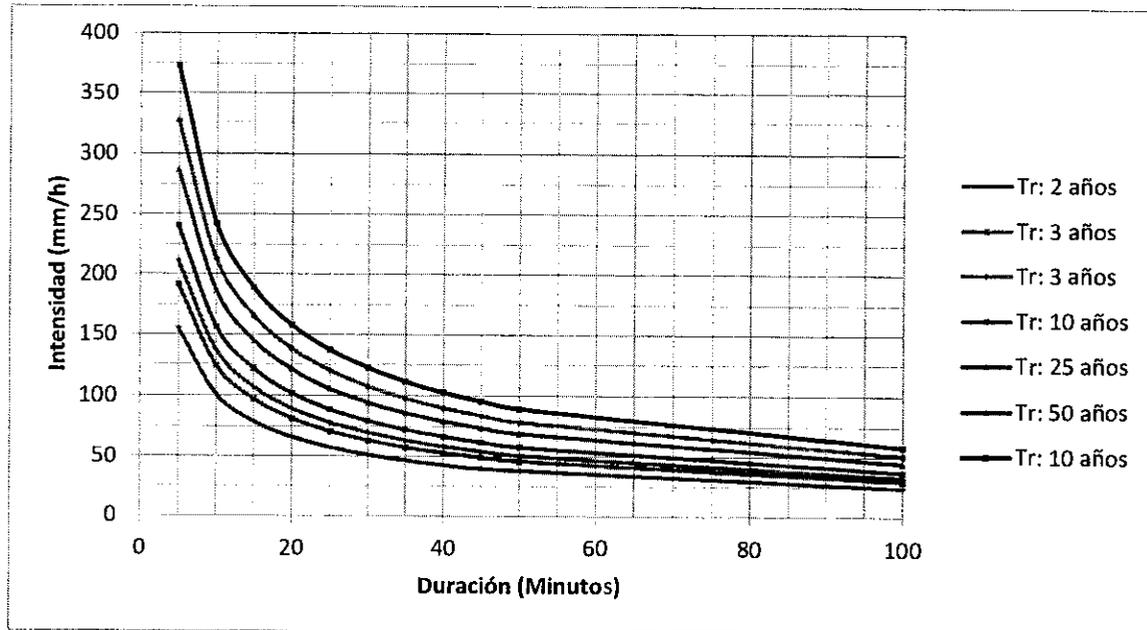


Figura 12. Curva IDF para la subcuenca paso elevado 2 Calucaima

Fuente: Propia

### 8.1.2 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es una relación entre la precipitación y la cantidad de agua que escurre, este varía según el tipo de suelo, su uso y demás factores físicos e hidrológicos. La importancia del coeficiente de escorrentía radica en que representa la rugosidad e infiltración que puede tener un terreno, afectando el agua que escurre por este y su velocidad.

Para la asignación del coeficiente a utilizar en el método racional, se tomó la tabla de coeficientes de Prevert (1986), quien tiene en cuenta, además de la pendiente y la cubierta vegetal, el tipo de suelo. Los valores de referencia se pueden observar en la Tabla 8 y en la figura 13 se muestra la clasificación de suelos en la cuenca calucaima1.

Tabla 8 . Metodo Prevet para coeficiente de escorrentia

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo (%)		
		Arenoso-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,40	0,60
	>30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0-5	0,15	0,35	0,45
	5-10	0,30	0,40	0,55
	10-30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,66	0,70
	10-30	0,50	0,70	0,80
	>30	0,53	0,74	0,84

Fuente: Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal.  
Universidad Politécnica de Valencia, 2014

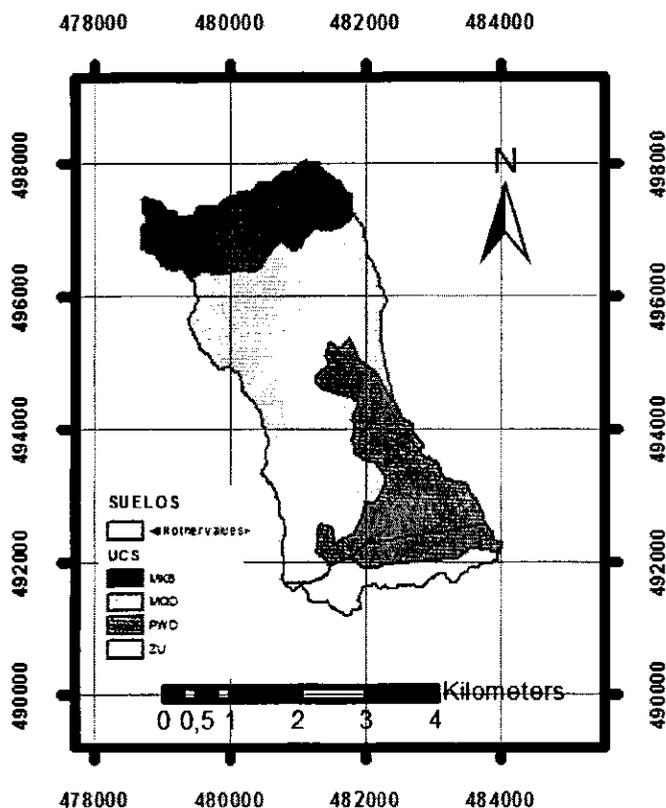


Figura 13 . Mapa de suelos

Fuente: adaptado del mapa de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Considerando que la cuenca se encuentra en un área con vegetación densa en su mayor parte (cuenca alta y media), una pendiente media del 18 % y tiene suelos con texturas medias (Suelos arenosos, Arenosos-Limosos), el valor del coeficiente C es de 0,30.

### **8.1.3 Caudal por el método Racional**

El método racional se utiliza en la hidrología para la estimación de caudales máximos. Es muy útil en cuencas poco estudiadas que no poseen la cantidad de datos necesarios para la aplicación de otras metodologías. El método racional supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.

Su implementación se recomienda en cuencas pequeñas, ya que se considera que llueve con la misma intensidad en toda la cuenca por un tiempo determinado. El RAS 2000 recomienda en su capítulo D.4.3.2 que se calcule el caudal por método racional área únicamente en cuencas con un área menor a 700 ha.

Para efectos del presente informe se utiliza el método racional, como una de las metodologías para aproximación de un caudal, pero teniendo en cuenta que es una sobre estimación del caudal real. El método consiste en la aplicación de la siguiente ecuación ajustada, presente en el Manual de hidrología, Hidráulica y drenaje del Ministerio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2008):

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A$$

Donde:

Q: Caudal

C: Coeficiente de escorrentía tipo de suelo

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca

Tabla 9. Datos Para método Racional

Área (m <sup>2</sup> )	16572000
Ancho (m)	2086,10
S(m/m)	18,09
Lc <sub>ppal</sub> (m)	7944,00
Perímetro (m)	21846,4
T <sub>c</sub> (min)	50

C	0,3	adimensional
I	1,90951E-05	m/s
A	16572000	m <sup>2</sup>
$Q=0,278 \times C \times I \times A$	26,39	m <sup>3</sup> /s

Según el método racional el caudal disponible en el punto de captación del acueducto sería de 26,39 m<sup>3</sup>/s.

## **8.2 Estimación de caudal por análisis probabilísticos**

### **8.2.1 Funciones de distribución de probabilidad**

En la hidrología es frecuente enfrentarse al problema de la definición de un caudal de diseño de un proyecto, ya que actualmente no se cuentan con muchos datos referentes a lluvias e información hidrológica de una cuenca que permitan definirlo a ciencia cierta. Es por ello que se hace necesario recurrir a funciones de distribución de probabilidad, que den forma a los datos reales con los que se cuentan y permitan extrapolar una función moldeada por series de lluvia, para obtener los elementos necesarios para determinar una cantidad de lluvia según sea pertinente para el periodo de diseño.

Para el ajuste de funciones a los datos reales es importante contar con una buena serie de datos, en la hidrología se habla de series de al menos 30 años de datos para lograr un ajuste acorde a la realidad. Para la estación de lluvias Aeropuerto Perales, se cuenta con una serie de 51 años de datos, se considera que se tiene suficiente información para la obtención de datos a partir del ajuste de las funciones.

Para el ajuste y extrapolación se utilizó en programa AFINS 2.0, un programa para el análisis de la frecuencia de extremos hidrológicos (caudal o lluvia) en un punto. El programa utiliza información sistemática y/o no sistemática y con las hipótesis de estacionalidad e independencia de la muestra observada, para ajustar funciones de probabilidad a la serie de datos ingresados, dando como resultado la gráfica de una función, con parámetros necesarios para que esta sea lo más cercana posible a los datos reales, adicionalmente se cuenta con factores estadísticos que permiten observar la verosimilitud, de esta manera y teniendo en cuenta el ajuste gráfica, es posible compararlas entre sí.

Las funciones utilizadas para obtener valores extremos fueron la función GUMBEL, TCEV, GEV, Log Normal 2 y Log Gumbel. A continuación, se presentan los datos gráficos y estadísticos a partir del ajuste de las funciones a la serie de datos.

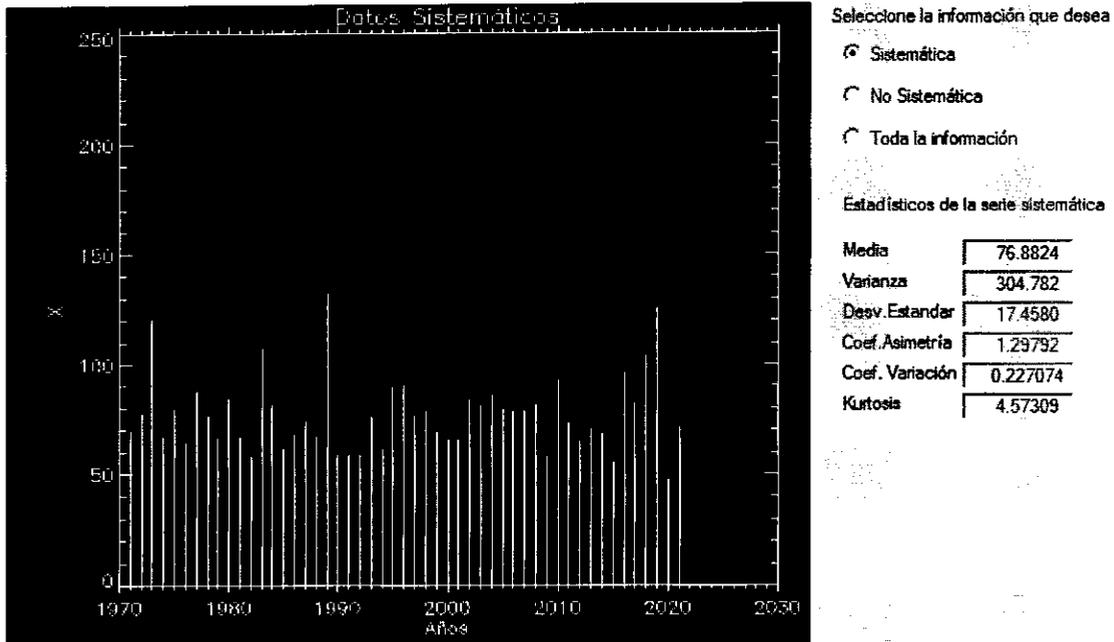


Figura 14. Serie de datos de PPT y estadísticas

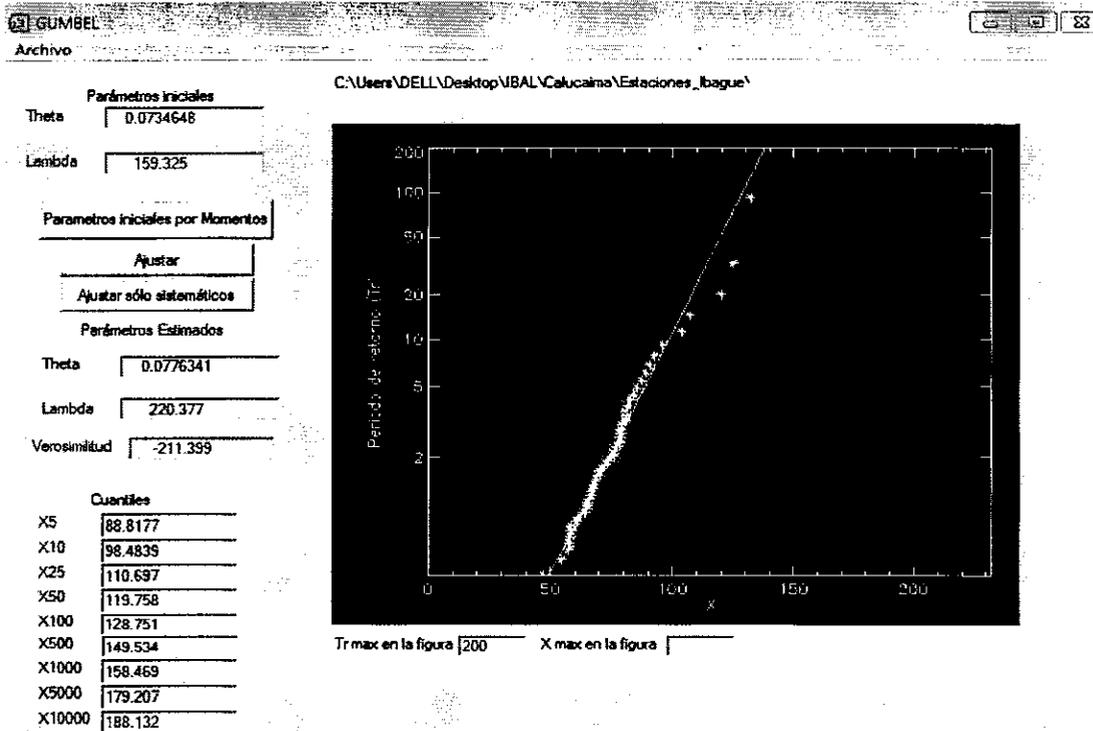


Figura 15. Ajuste de distribución Gumbel para estación Perales

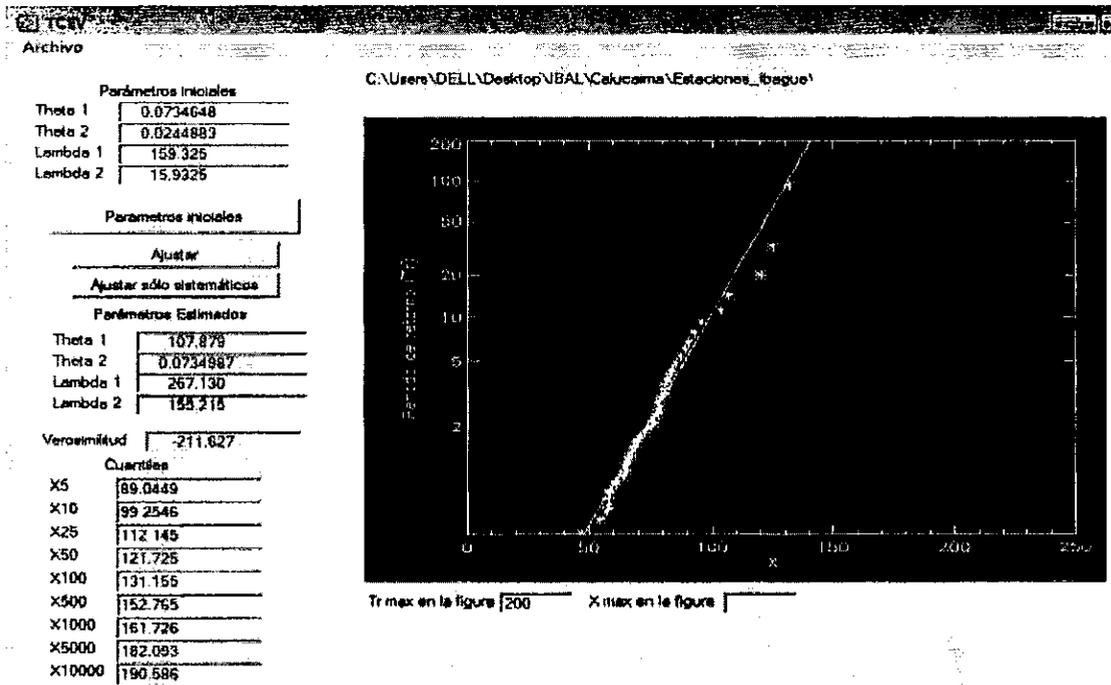


Figura 16. Ajuste de distribución TCEV para estación Perales

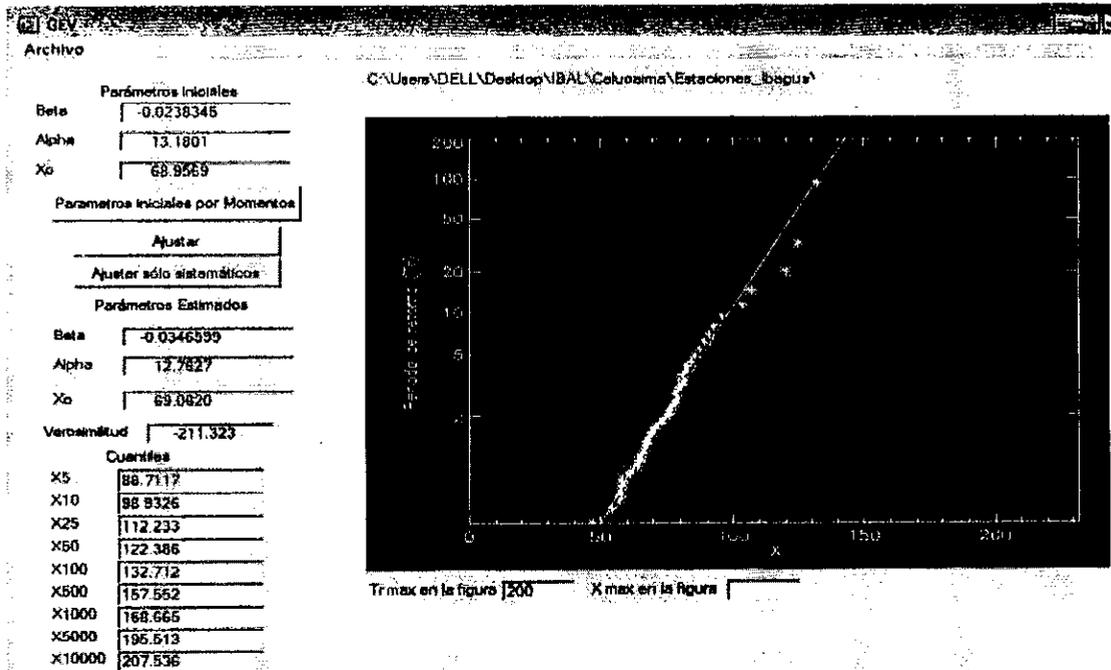


Figura 17. Ajuste de distribución GEV para estación Perales

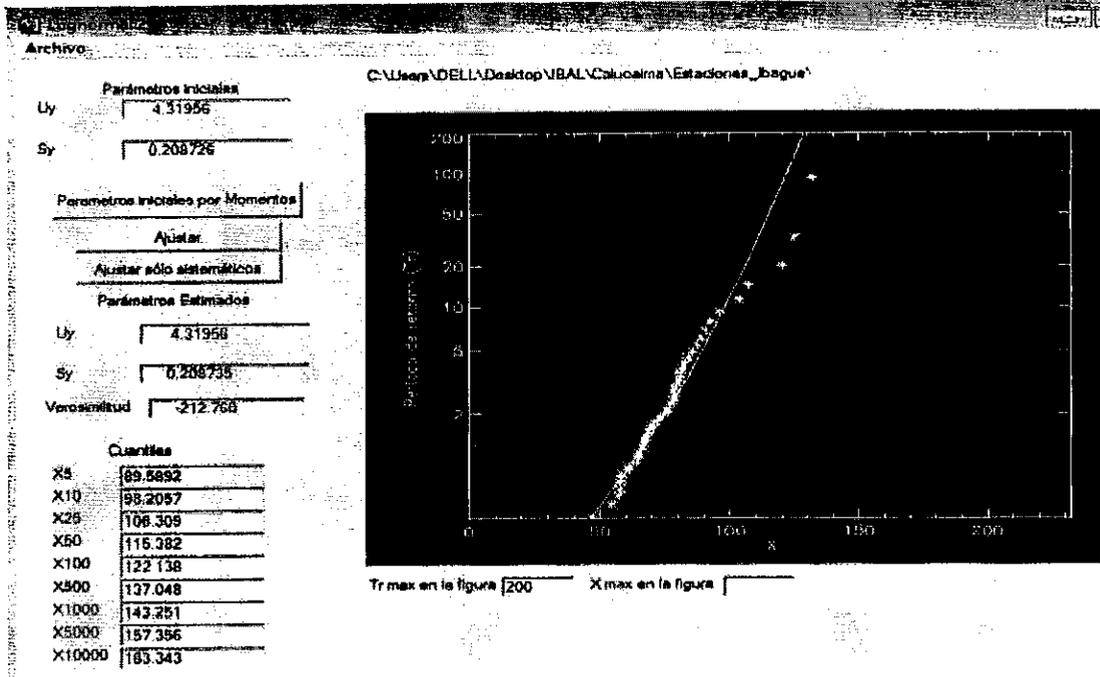


Figura 18. Ajuste de distribución Lognormal 2 para estación Perales

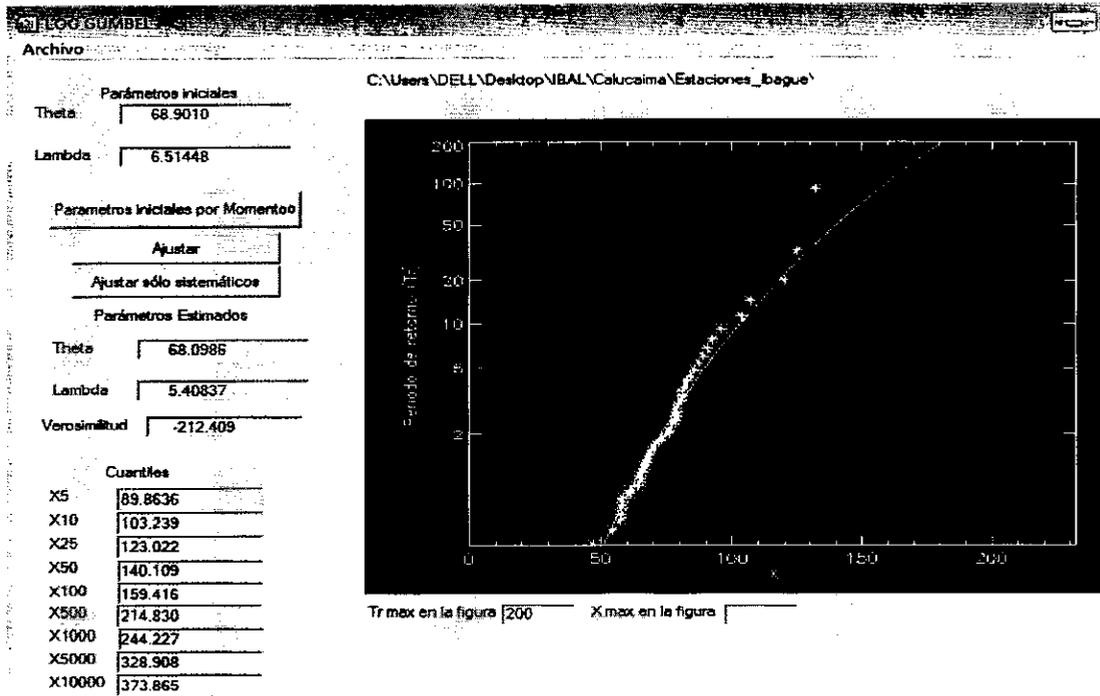


Figura 19. Ajuste de distribución Log Gumbel para estación Perales

Según los valores que se obtuvieron de los ajustes, las funciones que mejor representan el comportamiento de los datos son: la GUMBEL y la GEV, con valores de verosimilitud de -211,399 y -211,323 respectivamente, el ajuste gráfico de ambas funciones también se considera el más acorde. Se toma la decisión de trabajar con la función GUMBEL por ser más utilizada en el ámbito, por su ajuste gráfico y porque posee menor número de parámetros de ajuste.

Los valores que se calculan a partir de la función Gumbel para los distintos periodos de retorno, se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 10. PPT para diferentes periodos de retorno según ajustes de FDP

Tr	5	10	25	50	100	500
PPT	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534

## 8.2.2 Distribución de la precipitación en espacio y tiempo

La precipitación es un proceso atmosférico por el cual el agua es devuelta a la superficie terrestre, cumpliendo con el ciclo hidrológico. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca. Sin embargo, su estudio no suele ser sencillo, ya que este fenómeno varía en tiempo y en espacio, esto implica que no llueve con la misma intensidad todo el tiempo ni en toda el área de la cuenca.

Es por ello que es necesario realizar ajustes a las lluvias de diseño obtenidas a partir de las funciones de distribución de probabilidad, que permitan que se represente de una manera más cercana a la realidad el evento a modelar.

### 8.2.2.1 Factor de reducción Areal (FRA)

El FRA Consiste en encontrar un valor porcentual de la precipitación media Areal calculada anteriormente en base a los datos históricos de la estación Perales, este porcentaje corresponde al valor verdadero de esa lluvia que caería sobre toda la cuenca, considerando que no llueve en la totalidad de esta.

Para el cálculo del factor de reducción Areal, se utiliza la metodología propuesta por (Ana Beatriz Ortega Acacio, 2014). Se escoge esta metodología ya que los métodos gráficos, que son los más utilizados normalmente, son imprecisos para cuencas de pequeñas áreas (menores a 60 mk<sup>2</sup>) además, es una metodología sencilla de aplicar que tiene en cuenta como parámetros la duración de la tormenta y el área de la cuenca. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$FRA = \frac{1}{1 + 7,75 * 10^{-4} * D^{-0,304} * A}$$

En donde:

D: Tiempo de concentración o duración de la tormenta en horas

A: Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Al remplazar los datos en la ecuación se obtiene un valor de FRA igual a 0,99.

$$FRA = \frac{1}{1 + 7,75 * 10^{-4} * 44^{-0,304} * 16,57} = 0,99$$

Posteriormente se aplica el factor a la lluvia de diseño obtenida a partir del análisis probabilístico para diferentes periodos de retorno. Los valores mencionados se presentan en la

Tabla 11. Aplicación de FRA a la PPT de diseño

Tr	5	10	25	50	100	500
PPT	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534
PPR*FRA	88,604933	98,2479771	110,43182	119,471114	128,442571	149,175784

### 8.2.2.2 Factor de reducción temporal

El factor de reducción temporal es el más decisivo a la hora de encontrar una precipitación real en cuencas de áreas pequeñas, pues depende exclusivamente del tiempo de duración de una tormenta, que en este caso representado por el tiempo de concentración (50 minutos = 0.75 horas), el factor se refiere a la realidad en la cual es muy poco probable que la tormenta de diseño calculada como milímetros por día, en realidad se presente continuamente en las 24 horas en consideración, esto implicaría que una precipitación de diseño más realista podría ser intermitente en el día, o durar cierta fracción temporal en el día.

La obtención del FRT puede ser compleja en casos donde la información de datos es limitada, por lo tanto, para ello, se utilizó un método de tabla, presente en el "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje" (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2008). Este documento da la oportunidad de encontrar el factor con base en el tiempo de concentración, como los datos se encuentran para valores cerrados en horas, la solución se obtiene a partir de la interpolación por el método gráfico. En la Tabla 12 se presentan los valores propuestos.

Tabla 12. Factor de reducción temporal

Duración de la PPT en horas	Coefficiente
0	0
1	0,25
2	0,31
3	0,38
4	0,44
5	0,5
6	0,56
8	0,64
10	0,73
12	0,79
14	0,83
16	0,87
18	0,9
20	0,93
22	0,97
24	1
48	1,32

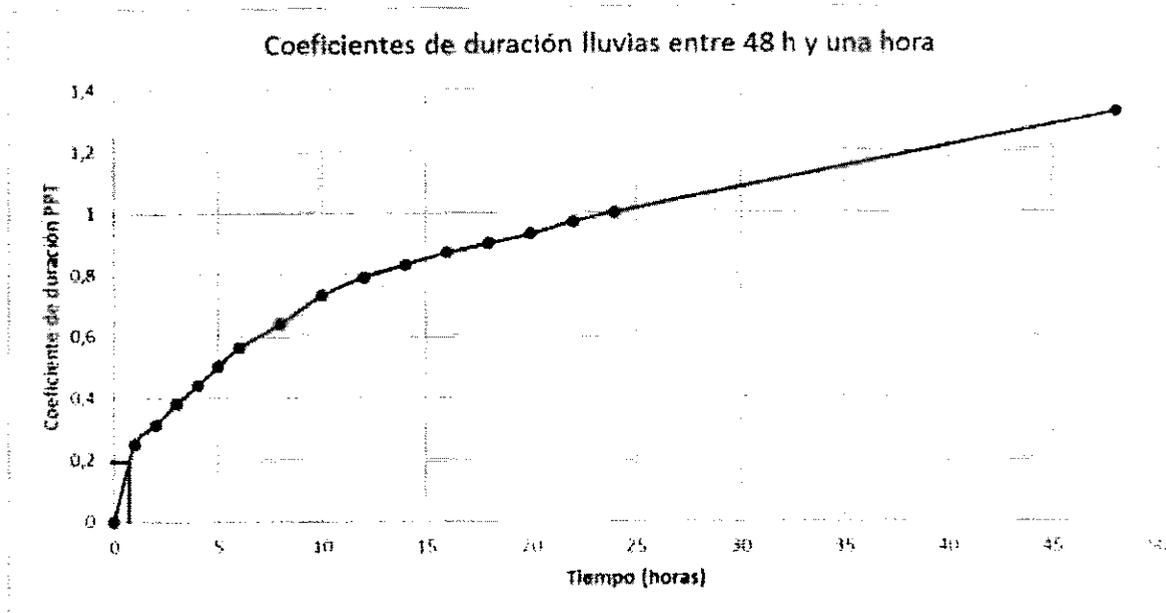


Figura 20. Elección de coeficiente de duración de PPT

De esta manera, el coeficiente encontrado para pasar la PPT diaria, a una PPT en mm para la duración de la tormenta, es de 0,19. Los datos de precipitación, convertida en intensidad se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. PPT con corrección temporal

	C (corrección temporal)	0,2				
PPT mm/día	88,8177	98,4839	110,697	119,758	128,751	149,534
PPT mm/D	17,764	19,697	22,139	23,952	25,750	29,907

### 8.2.2.3 Hietograma de diseño

Como se ha mencionado anteriormente, la intensidad de la precipitación no es constante en el tiempo, con el objetivo de poder establecer un hietograma de diseño, que represente la variación de las tormentas en su tiempo de duración, se convirtió la PPT de mm/día a una intensidad en mm/D, para utilizar el dato de intensidad como insumo para la construcción de los hietogramas y obtener una lluvia distribuida en el tiempo. Para ello, se utiliza la metodología propuesta por (HUFF, 1990).

**Modelo de Huff.** Este modelo data del año 1967, Huff ensayó con 261 tormentas representativas en Estados Unidos, logrando dividirlos en 4 grupos característicos de acuerdo al periodo en minutos en que ocurrió la mayor precipitación dentro del tiempo de duración de la tormenta. Las curvas adimensionales de precipitación de Huff, son hietogramas acumulados y adimensionales con probabilidades de ocurrencia, que van en aumentos de 10, desde 10% hasta 90%. Para el análisis de la información de precipitaciones, Huff categorizó las tormentas en cuartiles que dependían del cuarto del total de la duración del evento en el que se presentaba el mayor porcentaje de precipitación.

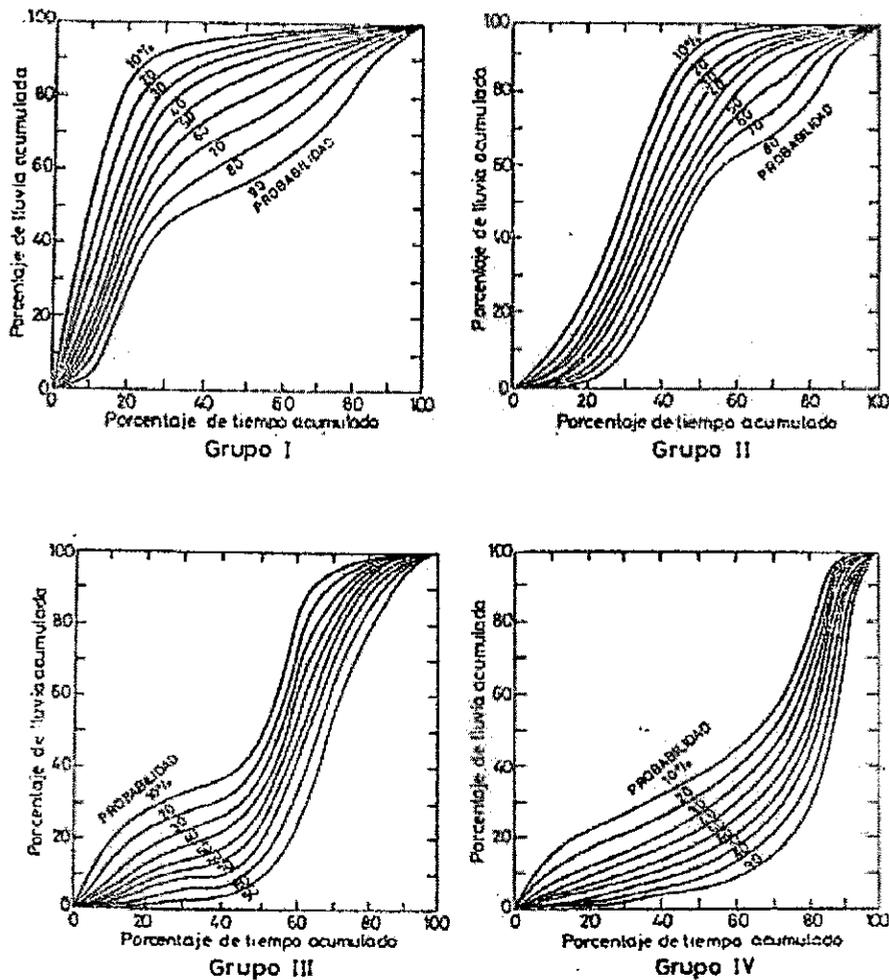


Figura 21. Distribuciones de tiempo para tormentas. Propuestas por Huff.

Información tomada de Huff-1990

Para la construcción del hietograma, se elige la segunda distribución, ya que describe de una mejor manera las lluvias de la región, y se trabaja con la curva para

un 90 % de probabilidad de ocurrencia. Los valores para el hietograma se eligen a partir de la representación gráfica y obteniendo la siguiente tabla,

Tabla 14. Porcentajes distribución ii de Huff

<b>% tiempo</b>	<b>% Ppt</b>	<b>Tiempo</b>
0	0,00	0,00
10	0,02	0,08
20	0,03	0,17
30	0,10	0,25
40	0,30	0,33
50	0,54	0,42
60	0,63	0,50
70	0,69	0,58
80	0,79	0,67
90	0,91	0,75
100	1	0,83

Al multiplicar dichos porcentajes por la PPT corregida para cada periodo de retorno, se obtiene la precipitación acumulada según las duraciones, tal como se observa en Tabla 15 y en la Figura 22. Posteriormente, se desagrega la lluvia para obtener la cantidad para cada intervalo y con esto, el hietograma de diseño para cada periodo de retorno.

Tabla 15. PPT Acumulada según distribución ii de Huff

<b>Tiempo</b>	<b>Tr 5</b>	<b>Tr 10</b>	<b>Tr 25</b>	<b>Tr 50</b>	<b>Tr 100</b>	<b>Tr 500</b>
0	0	0	0	0	0	0
5	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,45
10	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,45
15	1,24	1,38	1,55	1,68	1,80	2,09
20	3,55	3,94	4,43	4,79	5,15	5,98
25	4,26	4,73	5,31	5,75	6,18	7,18
30	1,60	1,77	1,99	2,16	2,32	2,69
35	1,07	1,18	1,33	1,44	1,55	1,79
40	1,78	1,97	2,21	2,40	2,58	2,99
45	2,13	2,36	2,66	2,87	3,09	3,59
50	1,60	1,77	1,99	2,16	2,32	2,69

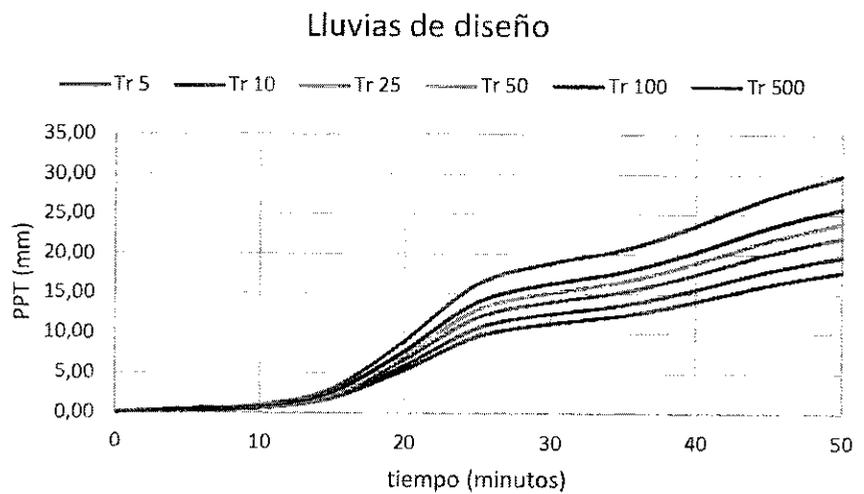


Figura 22. Lluvias de diseño acumuladas

A continuación, se muestran los hietogramas o (tormenta de diseño) obtenidas para cada periodo de retomo, y que posteriormente, serán insumo importante para la obtención los hidrogramas.

Tabla 16. Hietograma de diseño

Tiempo	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 500
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,51	0,56	0,63	0,68	0,73	0,85
10,00	1,18	1,31	1,47	1,59	1,71	1,99
15,00	3,38	3,74	4,21	4,55	4,89	5,68
20,00	4,05	4,49	5,05	5,46	5,87	6,82
25,00	1,52	1,68	1,89	2,05	2,20	2,56
30,00	1,01	1,12	1,26	1,37	1,47	1,70
35,00	1,69	1,87	2,10	2,28	2,45	2,84
40,00	2,03	2,25	2,52	2,73	2,94	3,41
45,00	1,52	1,68	1,89	2,05	2,20	2,56

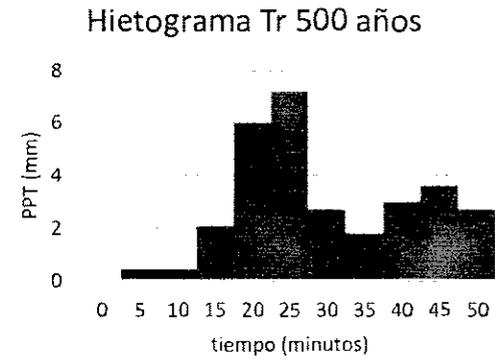
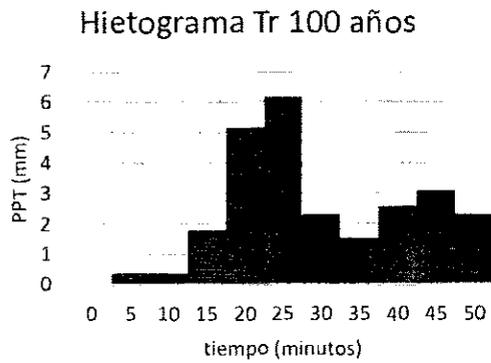
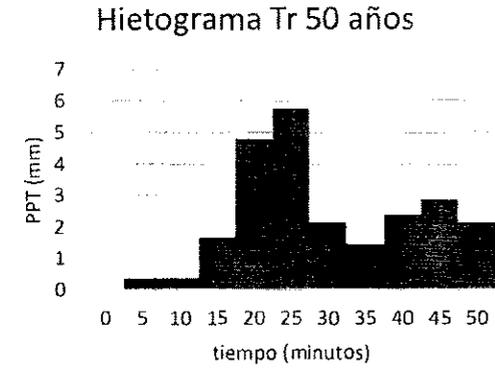
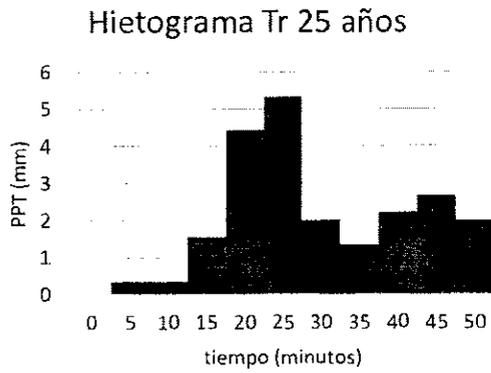
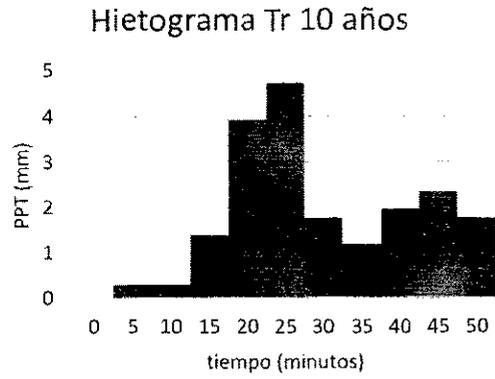
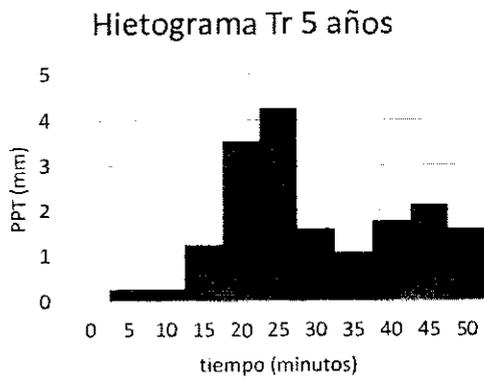


Figura 23. Hietogramas de diseño para cada periodo de retorno

### 8.2.3 Pérdidas por el número de curva

El número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como el grupo hidrológico del suelo (Días Carvajal & Mercado Fénandez, 2017). Fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) con el fin de estimar la escorrentía directa generada por un evento de lluvia

El número de curva determina para cada tipo de suelo y cobertura, un valor que indica que tan permeable o no es un terreno, dichos valores se obtienen de las tablas del NRCS. A partir de estos valores se realiza un ponderado con cada cobertura y tipo de suelo de la cuenca y se obtiene un número de curva final, que será utilizado para obtener las pérdidas al realizar la modelación hidrológica.

Para obtener el número de curva se clasifica la cuenca por tipo de cobertura, esto se puede observar en el siguiente gráfico.

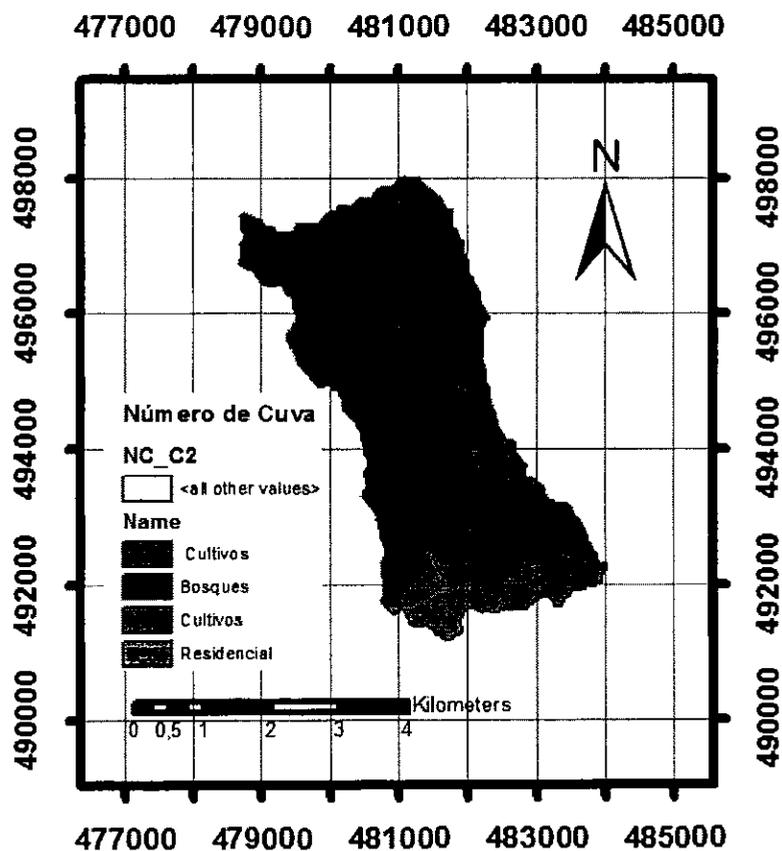


Figura 24. Mapa de número de curva de la cuenca

A cada tipo de cobertura y tipo de suelo se le asigna un número de curva, tomando como referencia la Tabla 17.

Tabla 17. Número de curva

Clasificación original		Reclasificación	
Numero	Descripción	Numero	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos emergentes		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja intensidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Tierra fértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Pastizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Finalmente se realiza un ponderado para obtener un número de curva final a partir del porcentaje de área que ocupe cada tipo de cobertura.

Tabla 18. Ponderado del número de curva

CUENCA 2				
Cobertura	Tipo de suelo	NC	Área	Ponderado
Bosque	B	43	12,09	519,77
Residencial	B	23	1,59	36,51
Cultivo	B	82	4,31	353,39
NC ponderado				50,58

## 8.2.4 Hidrograma de diseño

Un hidrograma es una representación gráfica de la variación de un caudal con respecto al tiempo, que permite observar la forma en que varía el caudal, su tiempo y volumen pico. Es importante determinar el hidrograma de una cuenca, para poder describir la forma en que se presentará la escorrentía a partir de una tormenta de diseño.

Para cuencas que no poseen datos de medición de series de caudal, es posible utilizar hidrogramas sintéticos adaptados según parámetros morfométricos, tiempo de duración de la tormenta, datos de uso de cobertura, suelo y precipitación.

Para efectos de la presente modelación, se utilizó la metodología propuesta por el servicio de conservación de suelos de Estados Unidos el SCS, para obtener el hidrograma de diseño para las tormentas en sus diferentes periodos de retorno. Para ello se empleó el programa HEC-HMS, que es un programa que calcula hidrogramas producidos por una cuenca, ingresando parámetros de la cuenca y datos de precipitación.

Los parámetros introducidos al modelo son los anteriormente calculados en el presente informe, y corresponden a el área de la cuenca, el tiempo de concentración, los hietogramas de diseño, la duración de la tormenta, el tiempo lag (que es aproximadamente igual a  $0,6 \times$  tiempo de concentración. Por tanto,  $0,6 \times 50 = 30$  min), y finalmente, el número de curva.

Los resultados de la modelación en HEC-HMS se presentan a continuación.

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 5 años.

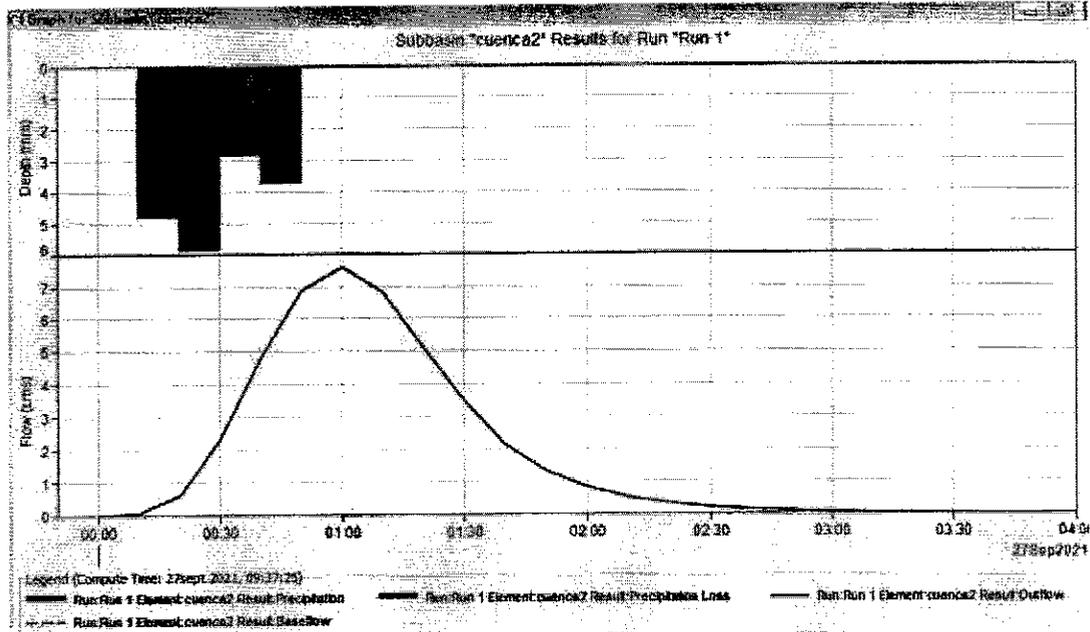


Figura 25. Hidrograma Tr 5

Tabla 19. Datos hidrograma Tr 5

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
27sept.2021	00:00				0	0	0
27sept.2021	00:10	0,54	0,49	0,05	0	0	0
27sept.2021	00:20	4,79	4,37	0,42	0,6	0	0,6
27sept.2021	00:30	5,86	5,34	0,52	2,3	0	2,3
27sept.2021	00:40	2,85	2,6	0,25	4,8	0	4,8
27sept.2021	00:50	3,73	3,4	0,33	6,8	0	6,8
27sept.2021	01:00	0	0	0	7,6	0	7,6
27sept.2021	01:10	0	0	0	6,8	0	6,8
27sept.2021	01:20	0	0	0	5,1	0	5,1
27sept.2021	01:30	0	0	0	3,5	0	3,5
27sept.2021	01:40	0	0	0	2,1	0	2,1
27sept.2021	01:50	0	0	0	1,3	0	1,3
27sept.2021	02:00	0	0	0	0,8	0	0,8
27sept.2021	02:10	0	0	0	0,5	0	0,5
27sept.2021	02:20	0	0	0	0,3	0	0,3
27sept.2021	02:30	0	0	0	0,2	0	0,2
27sept.2021	02:40	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	02:50	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:00	0	0	0	0	0	0

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 25 años.

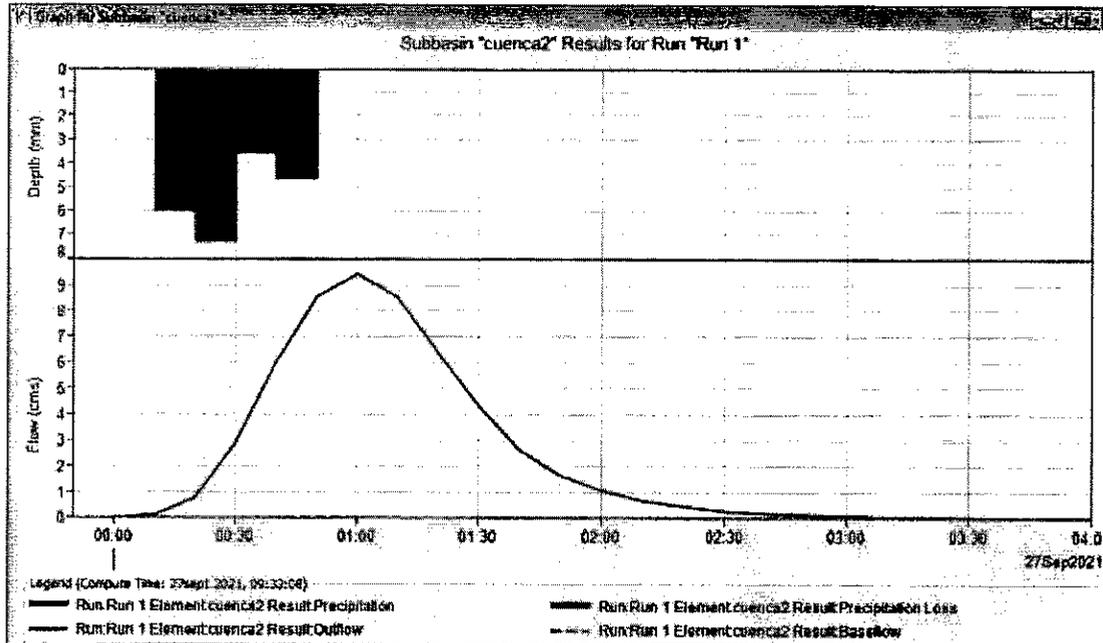


Figura 26. Hidrograma Tr 25

Tabla 20. Datos hidrograma Tr 25

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
27sept.2021	00:00				0	0	0
27sept.2021	00:10	0,66	0,6	0,06	0,1	0	0,1
27sept.2021	00:20	5,98	5,45	0,53	0,8	0	0,8
27sept.2021	00:30	7,3	6,66	0,64	2,9	0	2,9
27sept.2021	00:40	3,54	3,23	0,31	6	0	6
27sept.2021	00:50	4,65	4,24	0,41	8,5	0	8,5
27sept.2021	01:00	0	0	0	9,5	0	9,5
27sept.2021	01:10	0	0	0	8,5	0	8,5
27sept.2021	01:20	0	0	0	6,4	0	6,4
27sept.2021	01:30	0	0	0	4,3	0	4,3
27sept.2021	01:40	0	0	0	2,7	0	2,7
27sept.2021	01:50	0	0	0	1,7	0	1,7
27sept.2021	02:00	0	0	0	1,1	0	1,1
27sept.2021	02:10	0	0	0	0,7	0	0,7
27sept.2021	02:20	0	0	0	0,4	0	0,4
27sept.2021	02:30	0	0	0	0,3	0	0,3
27sept.2021	02:40	0	0	0	0,2	0	0,2
27sept.2021	02:50	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:00	0	0	0	0,1	0	0,1

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 50 años.

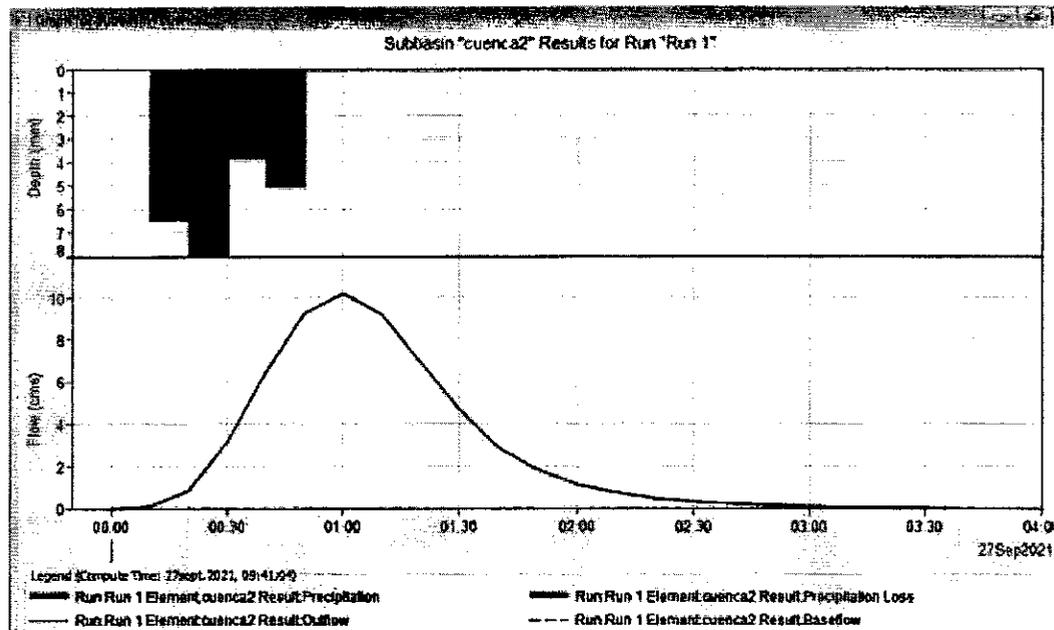


Figura 27. Hidrograma Tr 50

Tabla 21. Datos hidrograma Tr 50

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m37s)	Flujo Total (m3/s)
27sept.2021	00:00				0	0	0
27sept.2021	00:10	0,72	0,66	0,06	0,1	0	0,1
27sept.2021	00:20	6,47	5,9	0,57	0,8	0	0,8
27sept.2021	00:30	7,91	7,21	0,7	3,1	0	3,1
27sept.2021	00:40	3,84	3,5	0,34	6,5	0	6,5
27sept.2021	00:50	5,03	4,59	0,44	9,2	0	9,2
27sept.2021	01:00	0	0	0	10,2	0	10,2
27sept.2021	01:10	0	0	0	9,2	0	9,2
27sept.2021	01:20	0	0	0	6,9	0	6,9
27sept.2021	01:30	0	0	0	4,7	0	4,7
27sept.2021	01:40	0	0	0	2,9	0	2,9
27sept.2021	01:50	0	0	0	1,8	0	1,8
27sept.2021	02:00	0	0	0	1,1	0	1,1
27sept.2021	02:10	0	0	0	0,7	0	0,7
27sept.2021	02:20	0	0	0	0,4	0	0,4
27sept.2021	02:30	0	0	0	0,3	0	0,3
27sept.2021	02:40	0	0	0	0,2	0	0,2
27sept.2021	02:50	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:00	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:10	0	0	0	0	0	0

## Hidrograma para lluvia de periodo de retorno 100 años.

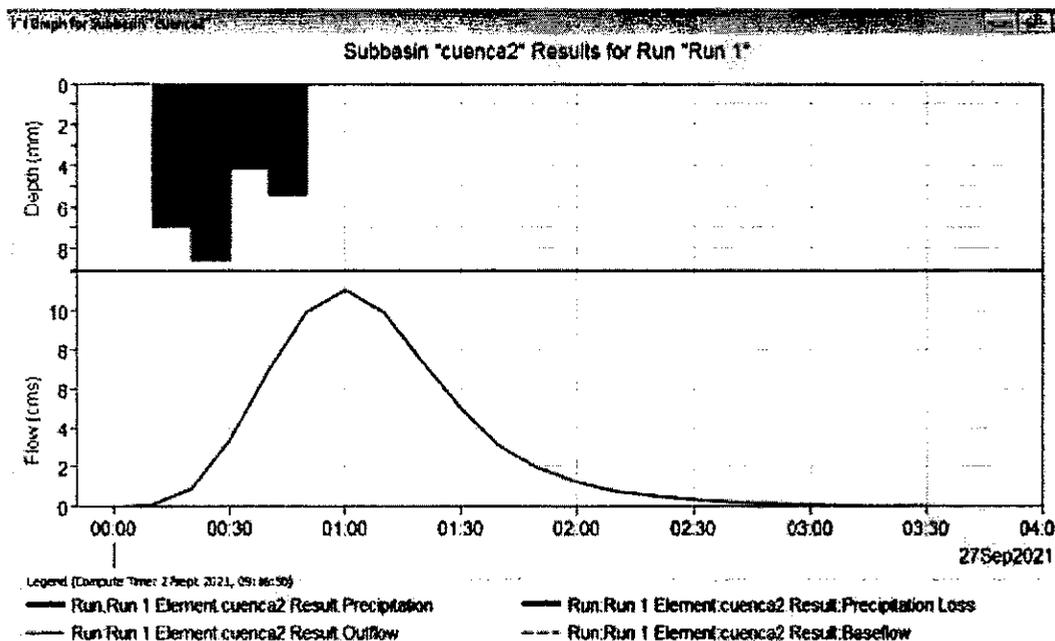


Figura 28. Hidrograma Tr 100

Tabla 22. Datos hidrograma Tr 100

Fecha	Tiempo	PPT (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Flujo Total (m3/s)
27sept.2021	00:00				0	0	0
27sept.2021	00:10	0,78	0,71	0,07	0,1	0	0,1
27sept.2021	00:20	6,95	6,34	0,61	0,9	0	0,9
27sept.2021	00:30	8,5	7,75	0,75	3,4	0	3,4
27sept.2021	00:40	4,13	3,77	0,36	7	0	7
27sept.2021	00:50	5,41	4,93	0,48	9,9	0	9,9
27sept.2021	01:00	0	0	0	11	0	11
27sept.2021	01:10	0	0	0	9,9	0	9,9
27sept.2021	01:20	0	0	0	7,4	0	7,4
27sept.2021	01:30	0	0	0	5	0	5
27sept.2021	01:40	0	0	0	3,1	0	3,1
27sept.2021	01:50	0	0	0	1,9	0	1,9
27sept.2021	02:00	0	0	0	1,2	0	1,2
27sept.2021	02:10	0	0	0	0,8	0	0,8
27sept.2021	02:20	0	0	0	0,5	0	0,5
27sept.2021	02:30	0	0	0	0,3	0	0,3
27sept.2021	02:40	0	0	0	0,2	0	0,2
27sept.2021	02:50	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:00	0	0	0	0,1	0	0,1
27sept.2021	03:10	0	0	0	0	0	0

## 9 Conclusiones

- La cuenca del paso elevado No. 2 Calucaima, afluente del río Alvarado, es una cuenca de tamaño medio, teniendo un área de 16,572 km<sup>2</sup>, que se encuentra en su mayor parte rodeada de vegetación densa, lo que favorece la preservación del recurso hídrico en cantidad y calidad, además de aumentar la retención y disminuir la velocidad de la lluvia al discurrir por la cuenca.
- La cuenca presenta pendientes medias en su parte alta, pendientes altas en su parte media, y bajasen su parte baja, llegando de esta manera a la parte plana donde se ubica el municipio de Ibagué, su curva hipsométrica muestra una tendencia a ser una cuenca en equilibrio, por lo que se puede considerar como una cuenca madura que mantiene equilibrio entre el material que erosiona y sedimenta.
- Los datos de precipitación con quienes se cuenta para el análisis de las lluvias poseen más de 50 años de datos continuos y una confiabilidad alta según el IDEAM quien es el organismo que los monitorea.
- Los datos de uso y coeficientes de rugosidad de la cuenca son escasos y estos pueden representar niveles bajos de confiabilidad al obtener el caudal.
- Para una obra hidráulica, según el RAS 2017, se toma un periodo de retorno de 25 años, por tanto, son los datos que se tendrán en cuenta para el caudal final, sin embargo se realizaron modelaciones con periodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años.

- Es importante aclarar que el método racional utilizado para uno de los cálculos del caudal es un método para caudales máximos y, por tanto, tiende a sobreestimar el valor real del resultado. El caudal obtenido representa un aproximado del caudal que maneja la quebrada en el punto de paso del paso elevado 1 Calucaima, con un periodo de retorno de 25 años, su valor de  $26,39 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Se considera más preciso el método del hidrograma unitario del SCS, ya que considera más factores para el cálculo final del caudal, además de distribuirlo en el tiempo de duración de la tormenta. Para el periodo de retorno de 25 años se obtiene un caudal total de  $32,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir  $32400 \text{ l/s}$ , y un caudal pico de  $9500 \text{ l/s}$ .

## 10 Referencias

- Ana Beatriz Ortega Acacio, M. Á. (2014). Regionalización de factores de reducción por área en una cuenca hidrográfica de Venezuela. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 94-106.
- Días Carvajal, Á., & Mercado Fénandez, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y desarrollo*.
- HUFF, F. A. (1990). Time Distributions of Heavy Rainstorms.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*.
- Ministerio de Ambiente, Asocars, CORTOLIMA, Ordenando Nuestra Cuenca. Sub-proyecto Formulación Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Gualí, Departamento del Tolima, Agosto 2014.
- NRCS, "Hydrologic soil-cover complexes", in Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, 2004, cap. 9, pp. 1-3.
- Témez, J 1978, Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales, Dirección General de Carreteras, Madrid, España, 111 pp.
- VARGAS, Rodrigo y DÍAZ-GRANADOS, Mario., Curvas Sintéticas de Intensidad Duración-Frecuencia para Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes, Julio 1998.

Es el informe,



Luisa Fernanda Parra Gómez

Ingeniera Civil

Especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental

M.P. No. 051037-0504330



SALARIO										PENSION										SAUD				
Fecha Inicio	Fecha Fin	Fecha Inicio	Fecha Fin	Valor	Tipo de Salario	Administradora	Días	BC	Tarifa	Tarifa Alto Riesgo Pension	Valor Cotización	Cotización Voluntaria Empleador	Cotización Voluntaria Afiliado	Fondo Solidaridad Pensional	Fondo Subsistencia	Valor No retribuido	Total	AFP Destino	Administradora	Días	BC	Tarifa	Valor Cotización	Valor IPC
				\$ 1.480.000	No	COOPERACIONES	30	\$ 1.480.000	168521	RIESGO	\$ 236.800	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 236.800		IPS SUR	30	\$ 1.480.000	12324	\$ 185.000	\$
											\$ 236.800	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 236.800		IPS SUR				\$ 185.000	\$
																	\$ 236.800		IPS SUR				\$ 185.000	\$

Total	CCF				RIESGOS				PARAFISCALES														
	EPS Dueño	Administradora	Días	IBC	Tarifa	IBC	Días	Administradora	Valor Cobertura	Clase Riesgo	Valor Cobertura	Días	IBC	Tarifa SENIA	Valor Cobertura SENIA	Tarifa ICBF	Valor Cobertura ICBF	Tarifa ESP	Valor Cobertura ESP	Tarifa MHI	Valor Cobertura MHI	Exonerado SENIA e ICBF	
\$ 185.000			0	\$ 0	0%		0		\$ 0	2	\$ 0	0	0%	0%	\$ 0	0%	\$ 0	0%	\$ 0	0%	\$ 0	50	No
\$ 185.000									\$ 0		\$ 0						\$ 0		\$ 0			\$ 0	

DATOS GENERALES DEL APORTANTE									
Identificación	dv	Razon Social	Clase Aportante	Sucursal Principal	Direccion	Ciudad-Departamento	Teléfono	Exonerado SENA e ICBF	
CC 1109300272		PARRA GOMEZ LUISA FERNANDA	INDEPENDIENTE	PRINCIPAL	CARRERA 5 # 5 57	FRESNO-TOLIMA	2980527	No	
DATOS GENERALES DE LA LIQUIDACION									
Periodo	Salud	Clave	Tipo	Fecha	Pago	Pago	Dias Mora	Valor	
2021-09	2021-09	9423851880	1	2021/10/07	2021/10/08	BANCOLOMBIA	0	\$421,800	

RESUMEN DE PAGO									
RIESGO	CODIGO	NIT	DV	AFILIADOS	VALOR LIQUIDADO	INTERESES MORA	SALDOS E INCAPACIDADES	VALOR A PAGAR	
AFP (ADMINISTRADORAS: 1)				1	\$236,800	\$0	\$0	\$236,800	
COLPENSIONES	25-14	900,336,004	7	1	\$236,800	\$0	\$0	\$236,800	
EPS (ADMINISTRADORAS: 1)				1	\$185,000	\$0	\$0	\$185,000	
EPS SUPA (ANTES SUSALUD)	EPS010	800,088,702	2	1	\$185,000	\$0	\$0	\$185,000	
<b>TOTAL</b>				<b>1</b>	<b>\$421,800</b>	<b>\$0</b>	<b>\$0</b>	<b>\$421,800</b>	



FICHA TECNICA DE EVALUACION Y REEVALUACION DE PROVEEDORES

CÓDIGO: GJ-R-056

FECHA VIGENCIA:

15/07/2021

VERSIÓN: 01

Página 1 de 4

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN

Evaluación:

Fecha evaluación 05/10/2021

Reevaluación:

Fecha reevaluación:

Acta Parcial No. 4

Acta Final

INFORMACION DEL CONTRATO

NUMERO Y FECHA: 064 DEL 06 DE MAYO DE 2021

NOMBRE DEL PROVEEDOR O CONTRATISTA: LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ

C.C.1.109.300.222

FECHA DE INICIO: 20 DE MAYO DE 2021

FECHA DE TERMINACION: 19 DE NOVIEMBRE DE 2021

OBJETO DEL CONTRATO : "CONTRATAR LOS SERVICIOS DE UN PROFESIONAL JUNIOR GRADO 2 EN INGENIERIA CIVIL, PARA FORTALECER LOS PROCESOS QUE TIENE A CARGO LA DIRECCIÓN DE PLANEACION EN LA EMPRESA IBAGUEREÑA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO IBAL S.A E.S.P OFICIAL".

CLASE DE CONTRATO

- 1. PRESTACION DE SERVICIOS PROFESIONALES Y APOYO A LA GESTION
- 2. SUMINISTRO Y ADQUISICION
- 3. ARRENDAMIENTO
- 4. CONSULTORIA E INTERVENTORIA
- 5. SERVICIO
- 6. SEGUROS
- 7. INTERMEDIARIO DE SEGUROS
- 8. OBRA PUBLICA

X

ASPECTOS A EVALUAR DEL CONTRATISTA

PUNTAJE 2= MALO 3= REGULAR 4= BUENO 5= EXCELENTE

1. PRESTACION DE SERVICIOS PROFESIONALES Y APOYO A LA GESTION

CRITERIOS CUMPLIMIENTO Y OPORTUNIDAD	PUNTAJE	CRITERIOS EN LA EJECUCION DEL CONTRATO	PUNTAJE
OPORTUNIDAD EN EL SERVICIO	4,8	PRESENTACION DE INFORMES DE AVANCE	4,6
TIEMPO DE RESPUESTA A REQUERIMIENTOS	4,5	ATENCION DE REQUERIMIENTOS	4,6
CUMPLIMIENTO EN LOS TERMINOS PARA LEGALIZAR EL CONTRATO Y SUS ADICIONES	4,8	PAGO OPORTUNO DE LA SEGURIDAD SOCIAL	4,8
TOTAL PROMEDIO	4,7	ENTREGA OPORTUNA DE FACTURA	4,8
		CUMPLIMIENTO A LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTION	4,8
		CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	4,8
CRITERIOS DE CALIDAD	PUNTAJE	TOTAL PROMEDIO	4,8
CALIDAD Y/O CONFORMIDAD EN LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	4,8		
TOTAL PROMEDIO	4,8	EVALUACION TOTAL	4,80

ANALISIS DEL RESULTADO DE LA EVALUACION  REEVALUACION  POR PARTE DEL SUPERVISOR Y/O INTERVENTOR (Cuando un contrato cuenta con Interventor y supervisor, este criterio debe ser diligenciado por los dos en sus respectivas calidades)

OBSERVACIONES AL RESULTADO DE LA EVALUACION  REEVALUACION  POR PARTE DEL CONTRATISTA:

INTERPONE RECURSO DE REPOSICION SI  NO

INTERPONE RECURSO DE APELACION SI  NO



FICHA TECNICA DE EVALUACION Y REEVALUACION DE PROVEEDORES

CÓDIGO: GJ-R-056

FECHA VIGENCIA:

15/07/2021

VERSIÓN: 01

Página 1 de 4

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN

**NOTA INFORMATIVA:** (Aplica únicamente para la reevaluación) De conformidad con el artículo 7 de la resolución que reglamenta el procedimiento para la evaluación y reevaluación de proveedores la calificación de la reevaluación de proveedores, tendrá los siguientes efectos: El contratista o Proveedor que obtenga como resultado de la reevaluación puntaje de 3 o superior, será tenido en cuenta para contratar con el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL. El contratista que en el proceso de reevaluación obtenga un promedio de calificación inferior a tres (3), será suspendido por un término igual al plazo total del contrato ejecutado. En todo caso el término de suspensión no podrá ser inferior a seis (6) meses. Durante el término de la suspensión el contratista no se podrá presentar a participar como proponente individual o plural (Consorcio, Unión Temporal, Promesa de Sociedad Futura u otra) en procesos de selección que edelante el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL.

La Suspensión e que hace referencie el presente artículo se extenderá por igual termino e cade uno de los integrantes de Consorcios o Uniones Temporeles que en el proceso de reevaluación hayan obtenido una calificación inferior a tres (3).

Los efectos mencionados en la nota anterior aplican para la reevaluacion de este contrato, de acuerdo con la fecha de su suscripcion.

SI

ND

**NOMBRES APELLIDOS Y FIRMA DEL SUPERVISOR Y/O INTERVENTOR**

CARLOS ALBERTO LEGUIZAMO GARCÍA  
DIRECTOR DE PLANEACION

**NOMBRES APELLIDOS Y FIRMA DEL CONTRATISTA**

LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ

**CUENTA DE COBRO N. 04**

**EMPRESA IBAGUERENA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO - IBAL S.A E.S.P.  
OFICIAL**

**NIT: 800.089.809-6**

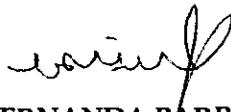
**DEBE A:**

**LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ  
C.C. 1.109.300.222**

**LA SUMA DE: TRES MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS (\$ 3.700.000) M/CTE.**

**POR CONCEPTO DE:** Honorarios en virtud del contrato de prestación de servicios profesionales N. 064 del 06 de mayo de 2021, cuyo objeto es: CONTRATAR LOS SERVICIOS DE UN PROFESIONAL JUNIOR GRADO 2 EN INGENIERÍA CIVIL, PARA FORTALECER LOS PROCESOS QUE TIENE A CARGO LA DIRECCIÓN DE PLANEACIÓN EN LA EMPRESA IBAGUERENA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO IBAL S.A E.S. P OFICIAL.

**Ibagué,**



**LUISA FERNANDA PARRA GÓMEZ  
C.C. 1.109.300.222 de Fresno**