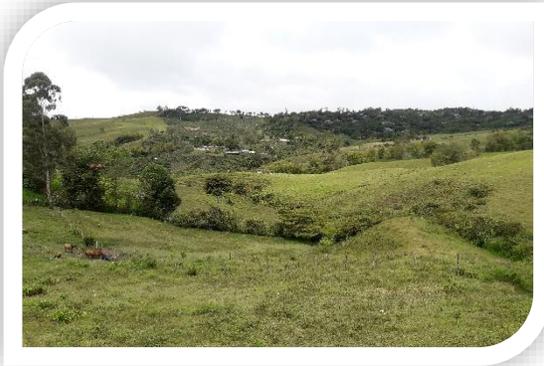


**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 0205 DE 2017
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLÍVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES**



Hidrología para la zonificación de amenazas por inundación de la zona urbana del
Municipio de Versalles
INFORME TÉCNICO



Santiago de Cali, octubre de 2018



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°0205
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLIVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES



PRESENTACIÓN

Para la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, es una gran satisfacción aportar a los municipios de Bolívar, Roldanillo y Versalles, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño en el componente urbano municipal, en cumplimiento de la función dada por la Ley 1523 de 2012 sobre el apoyo a los municipios en el conocimiento del riesgo.

Conocedores de la importancia y responsabilidad que reviste abordar el tema del conocimiento de las amenazas y los riesgos, la CVC llevó a cabo una alianza con el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente, OSSO, adscrito a la Universidad del Valle, con el fin de obtener los mejores resultados en estas evaluaciones. De igual forma, es necesario reconocer el aporte, contribución y compromiso de las administraciones municipales y sus propios habitantes, a lo largo de la ejecución de este estudio. Otro objetivo es fortalecer el conocimiento que tenemos de nuestro entorno para tener certeza y articular una adecuada planificación y ocupación de nuestros territorios.

Los estudios entregados son parte fundamental de la información que se requiere para que cada municipio formule su Ordenamiento Territorial de segunda generación y son evaluaciones que dan soporte para la reducción y la elaboración de planes de emergencia y contingencia.

La presente evaluación de las amenazas y riesgos deben estructuralmente permitirle al municipio reglamentar el uso del suelo en el componente urbano, de tal manera que, como lo define la política de gestión del riesgo y en esencia la constitución colombiana, se logre avanzar hacia un desarrollo sostenible, que ofrezca seguridad para la vida de los habitantes, sus bienes y medios de subsistencia, así como a toda la infraestructura del municipio.

Finalmente, la CVC con estas evaluaciones, a través de la Universidad, espera contribuir en la formación y fortalecimiento de la capacidad profesional de la región en este tipo de estudios.

Rubén Darío Materon Muñoz
Director General
CVC

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Dirección Ambiental Regional DAR-BRUT, a la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física, La Oficina de Gestión de Riesgo adscrita a la Secretaria de Gobierno de la Administración Municipal por la información suministrada, se agradece a la CVC, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y a la Federación Nacional de Cafeteros (FNC). por red de estaciones climatológica , además a cada una de las entidades que de una u otra manera puso a disposición la información necesaria para adelantar la evaluación de la hidrología del municipio, siendo un insumo para el estudio hidráulico con el fin de realizar la zonificación de amenaza por inundación de la zona urbana del municipio de Versalles, en el marco del Convenio Interadministrativo N°0205 de 2017 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad de Valle, el cual tiene como objeto “Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación para las Áreas Urbanas de los Municipios de Bolívar, Versalles y Roldanillo en el Valle del Cauca”.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC

DIRECTIVOS

RUBÉN DARÍO MATERÓN MUÑOZ

Director General

MARÍA CRISTINA VALENCIA RODRÍGUEZ

Secretaria General (C)

HÉCTOR FABIO ARISTIZABAL RODRIGUEZ

Director Técnico Ambiental (C)

PAULA ANDREA SOTO QUINTERO

Directora Territorial – Dirección Ambiental Regional BRUT

SUPERVISIÓN

Yuncely Gimena Bastidas B

Ingeniería Civil

Especialista en Diseño Estructural

Líder del proyecto 5001

Arelix Andrea Ordoñez Franco

Ingeniería Ambiental

Supervisora del Convenio Interadministrativo N° 0205 de 2017 CVC-Univalle

EQUIPO TÉCNICO

Omar Alberto Chaves M

Ingeniero Civil

Alejandra María Gómez

Ingeniera Civil

Doctora (Ph. D.) en Geotecnia

María Victoria Cross Garcés

Ingeniera Agrónoma

Especialización en Educación Ambiental

UNIVERSIDAD DEL VALLE

DIRECTIVOS

EDAGAR VARELA BARRIOS

Rector

LILIANA ARIAS CASTILLO

Vicerrectora Académica

INÉS MARÍA ULLOA VILLEGAS

Vicerrectora Administrativa

CLAUDIA SANTAMARÍA GAITÁN

Vicerrector de Bienestar Universitario

JAIME RICARDO CANTERA KINTZ

Vicerrector de Investigación

ANTONIO JOSÉ ECHEVERRY PÉREZ

Secretario General

GLADYS STELLA LÓPEZ JIMÉNEZ

Decana - Facultad de Humanidades

EQUIPO TÉCNICO

ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO

Director - Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano - OSSO
Doctor (Ph. D.) en Física-Matemáticas

GRUPO DE HIDROLOGÍA

Carlos Ramírez Callejas

Ing. Civil

Andrés Fabián Barrios Hurtado

Ing. Agrícola

Fabián Ulises Barroso

Ing. Agrícola

GRUPO DE CARTOGRAFÍA Y SIG

Jhon Jairo Barona

Doctor en Ing Geográfica
Coordinador

Vanessa García Cardona

Ing. Topográfica

María Camila Pomeo

Est. Ingeniería Topográfica

Danny Alexander Cocuñame Ricardo

Geógrafo

Carlos Mauricio Mosquera Pérez

Est. Ingeniería Topográfica

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE VERSALLES	11
1.1. CLIMATOLOGÍA	11
1.1.1. RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	12
1.1.2. ELEMENTOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	12
1.1.2.1. TEMPERATURA MEDIA	15
1.1.2.2. BRILLO SOLAR	15
1.1.2.3. HUMEDAD RELATIVA	16
1.1.2.4. EVAPORACIÓN.....	17
1.1.2.5. PRECIPITACIÓN.....	18
1.1.2.5.1. ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES	18
1.1.2.5.2. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS	23
1.1.2.5.3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	27
1.1.2.5.4. CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN IFD Y TORMENTA DE DISEÑO.....	29
2. ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO DE LAS UNIDADES HIDROLOGICAS QUE ATRAVIESAN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VERSALLES.....	33
2.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....	33
2.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO HEC – HMS.....	34
2.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO E QUEBRADAS PATUMAC Y MARAVELES	35
2.3.1. ESQUEMATIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA PATUMAC	35
2.3.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS UNIDADES DE CUENCA EN QUE SE DIVIDIÓ LA QUEBRADA PATUMAC	35
2.3.2.1. PENDIENTE DEL CAUCE MÉTODO DE LAS ELEVACIONES EXTREMAS	36
2.3.2.2. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN FORMULA DE TÉMEZ	36
2.3.3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS LA QUEBRADA PATUMAC	37
2.3.3.1. MODELO DE PÉRDIDAS (SCS NÚMERO DE CURVA)	37
2.3.3.2. MODELO METEOROLÓGICO.....	43
2.3.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA PATUMAC	43
2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO QUEBRADA LAS OLIVAS	45
2.4.1. ESQUEMATIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS....	45
2.4.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS UNIDADES DE CUENCA EN QUE SE DIVIDIÓ LA QUEBRADA LAS OLIVAS.....	45
2.4.3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.....	46
2.4.3.1. MODELO DE PÉRDIDAS (SCS NÚMERO DE CURVA)	46
2.4.3.2. MODELO METEOROLÓGICO.....	47
2.4.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS	48
CONCLUSIÓN.....	49
REFERENCIA	51

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	12
TABLA 1.2. RESUMEN DE PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE DIFERENTES VARIABLES CLIMÁTICAS REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN ARGELIA EL RECREO.....	13
TABLA 1.3. RESUMEN DE PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS.....	19
TABLA 1.4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MUNICIPIO DE VERSALLES.	21
TABLA 1.5. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA 24 HORAS, 48 HORAS Y 72 HORAS CON INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES LOCALIZADAS EN INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE VERSALLES	23
TABLA 1.6. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN PATUMAC.....	27
TABLA 1.7. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN LA ARABIA.....	28
TABLA 1.8. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL BALSAL.....	29
TABLA 1.9. VALORES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON INTERVALOS DE TIEMPO DE 10 MINUTOS, CONSTRUIDAS A PARTIR DE LAS CURVAS IFD. ESTACIÓN SANTIAGO GUTIÉRREZ.	32
TABLA 2.1. QUE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS EN QUE SE DIVIDIÓ LA QUEBRADA PATUMAC.....	37
TABLA 2.2. COBERTURA ACTUAL UNIDAD HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA PATUMAC	39
TABLA 2.3. SUELOS CARACTERÍSTICOS Y DETERMINACIÓN DEL GRUPO HIDROLÓGICO UNIDAD HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA PATUMAC.	39
TABLA 2.4. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO	39
TABLA 2.5. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO EN CUENCAS	40
TABLA 2.6. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS REQUERIDOS POR LOS MODELOS SCS NÚMERO DE CURVA Y SCS HIDROGRAMA UNITARIO	42
TABLA 2.7. CAUDALES MÁXIMOS PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS, GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS. QUEBRADA PATUMAC.	44
TABLA 2.8. CAUDALES MÁXIMOS PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS, GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS. QUEBRADA MARAVELES.	44
TABLA 2.9. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.....	46
TABLA 2.10. COBERTURA VEGETAL ACTUAL DEL SUELO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.	47
TABLA 2.11. SUELOS CARACTERÍSTICOS Y DETERMINACIÓN DEL GRUPO HIDROLÓGICO UNIDAD HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.....	47
TABLA 2.12. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS REQUERIDOS POR LOS MODELOS SCS NÚMERO DE CURVA Y SCS HIDROGRAMA UNITARIO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.	47
TABLA 2.13. CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 3, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS.	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. UNIDADES HIDROLÓGICAS QUE ATRAVIESAN POR EL CASCO URBANO Y ZONA DE EXPANSIÓN DEL MUNICIPIO DE VERSALLES	11
FIGURA 1.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS	14
FIGURA 1.3. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA –ESTACIÓN ARGELIA EL RECREO	15
FIGURA 1.4. HISTOGRAMA DE BRILLO SOLAR – ESTACIÓN ARGELIA EL RECREO	16
FIGURA 1.5. HISTOGRAMA DE HUMEDAD RELATIVA – ESTACIÓN ARGELIA EL RECREO	17
FIGURA 1.6. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN – ESTACIONES ARGELIA EL RECREO ...	18
FIGURA 1.7. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO	20
FIGURA 1.8. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL MUNICIPIO DE VERSALLES	22
FIGURA 1.9. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS MUNICIPIO DE VERSALLES	24
FIGURA 1.10. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 48 HORAS MUNICIPIO DE VERSALLES	25
FIGURA 1.11. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 72 HORAS MUNICIPIO DE VERSALLES	26
FIGURA 1.12. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ESTACIÓN PATUMAC.	27
FIGURA 1.13. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN LA ARABIA	28
FIGURA 1.14. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL BALSAL	29
FIGURA 1.15. CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN CON DATOS DE LA ESTACIÓN SANTIAGO GUTIÉRREZ.	31
FIGURA 1.16. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA UNA DURACIÓN DE 200 MIN. ESTACIÓN SANTIAGO GUTIÉRREZ.....	32
FIGURA 2.1. ESQUEMA DE LAS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE UTILIZA EL HEC-HMS 4.1.0 PARA REPRESENTAR UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.	34
FIGURA 2.2. ESQUEMA DE LA QUEBRADA PATUMAC PARA EL MODELO HEC-HMS	36
FIGURA 2.3. HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS QUEBRADA PATUMAC	43
FIGURA 2.4. HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS QUEBRADA MARAVELES	44
FIGURA 2.5. ESQUEMA DE LA QUEBRADA LAS OLIVAS PARA EL MODELO HEC-HMS.....	46
FIGURA 2.6. HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 3, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS QUEBRADA LAS OLIVAS	48

INTRODUCCIÓN

El presente informe es resultado del trabajo realizado por el grupo de Hidrología en el Municipio de Versalles en el marco del proyecto “Estudios de Zonificación de Amenazas, Vulnerabilidad y Escenarios de afectación para las áreas urbanas de los municipios de Bolívar, Versalles y Roldanillo en el Valle del Cauca”.

En el presente estudio inicialmente se realizó una caracterización climática e hidrológica para la determinación de los caudales máximos para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años de los Unidades hidrológicas o fuentes hídricas que atraviesan el casco urbano y de expansión del Municipio de Versalles, dentro de las corrientes hídricas analizadas se destacan las Quebradas: Patuma, Las Olivas y Maraveles. Para el desarrollo de la actividad hidrológica y el cálculo de caudales máximos se consideró como frontera o punto de cierre de las Unidades Hidrológicas analizadas el sitio donde inicia los primeros asentamientos localizados aguas arriba de las zonas urbana y de expansión del municipio de Versalles, esto con el fin de disponer de la hidrógrafa de caudales en la frontera del modelo hidráulico y a partir de éste determinar las zonas inundables y los mapas de amenaza por inundación. La caracterización climática se realizó con base en la información de las estaciones meteorológicas existentes en la zona del proyecto; se analizó principalmente el comportamiento de las precipitaciones considerando la temporalidad de los eventos de lluvias máximas y su distribución espacial; de igual manera, se realizó el cálculo de los hietogramas de lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno utilizando la información de las curvas de intensidad, frecuencia y duración de la estación Santiago Gutiérrez localizada en el municipio de Argelia y perteneciente a la Federación Nacional de Cafeteros (FNC). El estudio hidrológico para estimar los caudales máximos de los ríos y cauces indicados se realizó mediante modelación hidrológica utilizando el programa HEC – HMS. Por último, se realizó la modelación hidráulica de las unidades hidrológicas que atraviesan el casco urbano y la zona de expansión del municipio de Versalles para determinar los niveles, las profundidades y las velocidades del agua para los caudales correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, permitiendo así identificar las áreas o zonas inundables y determinar la amenaza por inundación.

El informe se estructura en dos (2) capítulos:

- En el capítulo 1 se realiza una conceptualización climática del municipio de Versalles.
- En el capítulo 2 se presenta las estimaciones de caudales máximos para los diferentes tiempos de retorno de los afluentes que atraviesan el municipio de Versalles.
- Se presenta las conclusiones

1. CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE VERSALLES

La caracterización climática e hidrológica del municipio de Versalles se considera la climatología, la red de estaciones hidrometeorológicas para la determinación de los caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de los Unidades hidrológicas o fuentes hídricas que atraviesan la zona urbana y de expansión del Municipio de Versalles en la Figura 1.1 se muestra las imágenes de las quebradas Patumac, Marevez y Las Olivas que atraviesa el municipio.



Quebrada Las Olivas



Quebrada Maravelez.



Quebrada Patumac

Figura 1.1. Unidades hidrológicas que atraviesan por el casco urbano y zona de expansión del municipio de Versalles

Fuente: fotografías propias

1.1. CLIMATOLOGÍA

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dada, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático.

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera (uno de los componentes del sistema), éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático.

A través de la historia se han presentado fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años (variabilidad climática interanual) a milenios (cambios climáticos globales). Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes.

1.1.1. Red de estaciones meteorológicas

El análisis del clima como factor de gran incidencia en los procesos que se presentan en el medio natural, se realizó a partir de la información disponible en las estaciones que conforman la red climatológica de la Corporación Regional Del Valle del Cauca - CVC y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM; que se localizan en el área de influencia del proyecto. Se identificaron un total de 22 estaciones de las cuales: dos estaciones son climatológicas, una estación es pluviográfica, dos estaciones son meteorológica y 17 son pluviométricas, localizadas en zona de influencia del proyecto. La información general de las estaciones se presenta en la Tabla 1.1. En la Figura 1.2 se observa la ubicación de las estaciones en la zona de estudio.

Tabla 1.1. Estaciones meteorológicas Seleccionadas en la Zona de Estudio

ESTACIÓN	TIPO	CODIFICACIÓN	ENTIDAD	CORRIENTE	COORDENADAS PLANAS		ELEVACIÓN
					ESTE	NORTE	
Cent Admo La Unión	CP	26115040	IDEAM	Cauca	1112682	992900	920
El Vesubio	PM	26110090	CVC	RUT	1109533	1001447	958
Patumac	PM	54030010	IDEAM	Garrapatas	1097184	997475	1640
Sabanazo	ME	26115020	CVC	Q.da La Unión	1103029	994447	1643
El Porvenir	PM	26110050	CVC	RUT	1106652	994155	996
San Francisco	PM	26110160	IDEAM	Cauca	1115596	1009893	960
La Arboleda	PM	26110290	IDEAM	Cauca	1109192	992932	942
La Despensa	PM	26110450	CVC	RUT	1103283	990595	1342
El Lucero	PM	26110380	CVC	RUT	1107428	990959	976
Candelaria	ME	26115080	IDEAM	Cauca	1110723	987327	901
Ceros	PM	26110300	IDEAM	Cauca	1115752	1002348	913
El Balsal	PM	54030100	CVC	Garrapatas	1093710	1007816	1553
El Bosque	PM	54030110	CVC	Garrapatas	1103743	1009039	1622
La Arabia	PM	54030120	CVC	Garrapatas	1097560	1002416	1512
La María	PM	54030140	CVC	Garrapatas	1085845	994581	1410
Pto Nuevo	PM	54030150	CVC	Garrapatas	1089824	1000060	959
El Cairo	PM	54030160	CVC	Garrapatas	1094561	1017713	1914
La Cayetana	PG	26115060	IDEAM	Cauca	1114024	998659	912
Higuerón	PM	26110060	IDEAM	Cauca	1106643	985746	915
Higueroncito	PM	26110100	IDEAM	Cauca	1108490	987591	920
San Antonio	PM	26110070	IDEAM	Toro	1110328	996810	930
Argelia El Recreo	CO	54035020	IDEAM	Las Vueltas	1106603	1015238	1600

Nota: (CO) Climatológica Ordinaria, (CP) Climatológica Principal, (ME) Meteorológica, (EV) Evaporimétrica, (PG) Pluviográfica y (PM) Pluviométrica.

Fuente: elaboración propia

1.1.2. Elementos y variables climatológicas

Toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del clima, en un lugar dado, para un periodo de tiempo determinado, es conocida con el nombre de elemento climático. Los principales elementos del clima son: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, el brillo solar, evaporación, y la precipitación. Estos elementos se convierten en variables climatológicas cuando se obtienen sus valores cuantitativos o cualitativos, producto

de sus registros y/o mediciones. Éstas generalmente tienen los mismos nombres que sus elementos, pero se diferencian de éstos porque el elemento es la característica física en sí, mientras que la variable es su valoración. Con el análisis del comportamiento de estas variables, en el tiempo y en el espacio, es posible sacar conclusiones sobre el clima actual, el clima del pasado, las fluctuaciones climáticas de diversa escala.

A continuación, se describen los aspectos climáticos más importantes haciendo énfasis principalmente a parámetros como: la temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa, brillo solar y precipitación, utilizando los registros mensuales multianuales principalmente de la estación climatológica Argelia El Recreo, la cual está localizada en inmediaciones del municipio de Versalles, variables meteorológicas las cuales son motivo de interés del presente estudio. En la Tabla 1.2 se presenta el resumen de los promedios mensuales multianuales de los parámetros climatológicos evaluados.

Tabla 1.2. Resumen de promedios mensuales multianuales de diferentes variables climáticas registradas en la estación Argelia El Recreo.

ESTACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES MENSUALES											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Argelia El Recreo	HR	%	87	87	87	87	88	87	87	86	86	88	89	88
	TMAX	°C	29,9	29,8	30,0	29,4	29,1	29,2	28,9	29,7	29,9	28,9	28,5	29,5
	TMED	°C	20,2	20,2	20,2	20,2	20,0	20,2	20,1	20,1	20,0	19,7	19,7	19,8
	TMIN	°C	13,4	13,6	13,7	14,0	14,1	14,2	13,7	13,6	13,3	13,3	13,4	13,6
	BST	Horas	132	114	108	111	117	126	157	156	128	104	104	107
	EVPT	mm/mes	81	78	85	77	80	83	92	90	84	80	71	76

Nota: (TMAX) Temperatura Máxima, (TMED) Temperatura Media, (TMIN) Temperatura Mínima, (BST) Brillo Solar Total, (HR) Humedad Relativa, (EVPT) Evaporación Total, (VV) Velocidad de Viento.

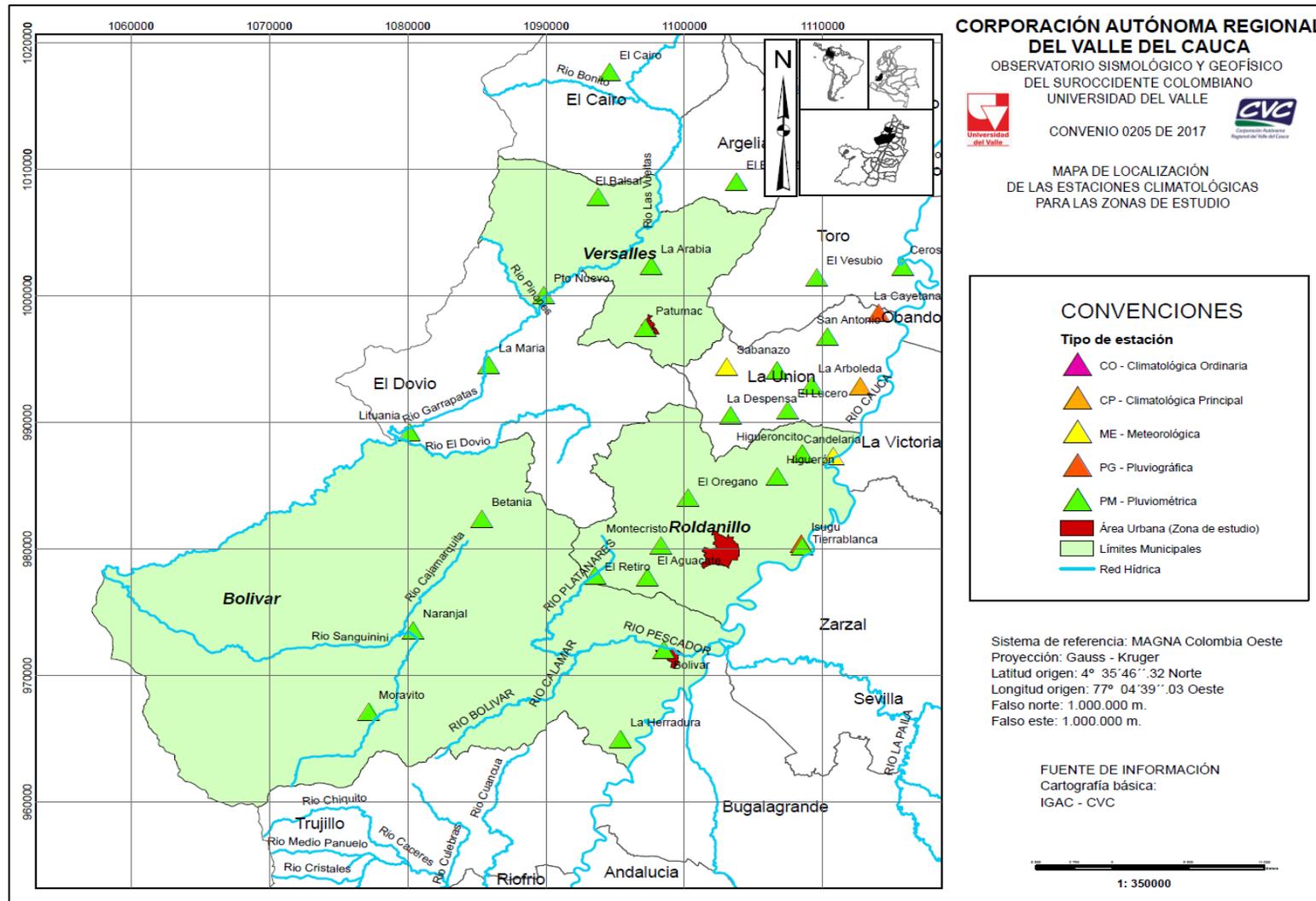


Figura 1.2. Distribución espacial de las estaciones hidroclimatológicas
Fuente: elaboración propia

1.1.2.1. Temperatura Media

La temperatura del aire es un carácter climatológico muy importante, por su influencia en los factores hidrológicos, biológicos y económicos de una región. El comportamiento de este elemento del clima está condicionado básicamente por la presión atmosférica lo cual se traduce en una variación en función de la altura sobre el nivel del mar. El régimen de la temperatura del aire en el país está determinado por su situación geográfica en el mundo y las particularidades fisiográficas de su territorio. El primer factor influye ante todo sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo determina en gran parte su variabilidad espacial. En la Figura 1.3 se presenta el histograma de temperatura media mensual de la estación Argelia El Recreo.

En la estación Argelia El Recreo (Figura 1.3) la temperatura media que varían entre los 19,7°C (en los meses de octubre y noviembre) y los 20,2 °C (en los meses de enero, febrero, marzo, abril y junio), presentando un valor promedio mensual multianual de 20,0 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 28,5°C y los 30,0°C, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 29,4°C. Los valores de temperatura mínima en la estación Argelia El Recreo oscilan entre los 13,3°C y los 14,2°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínimas de 13,7°C.

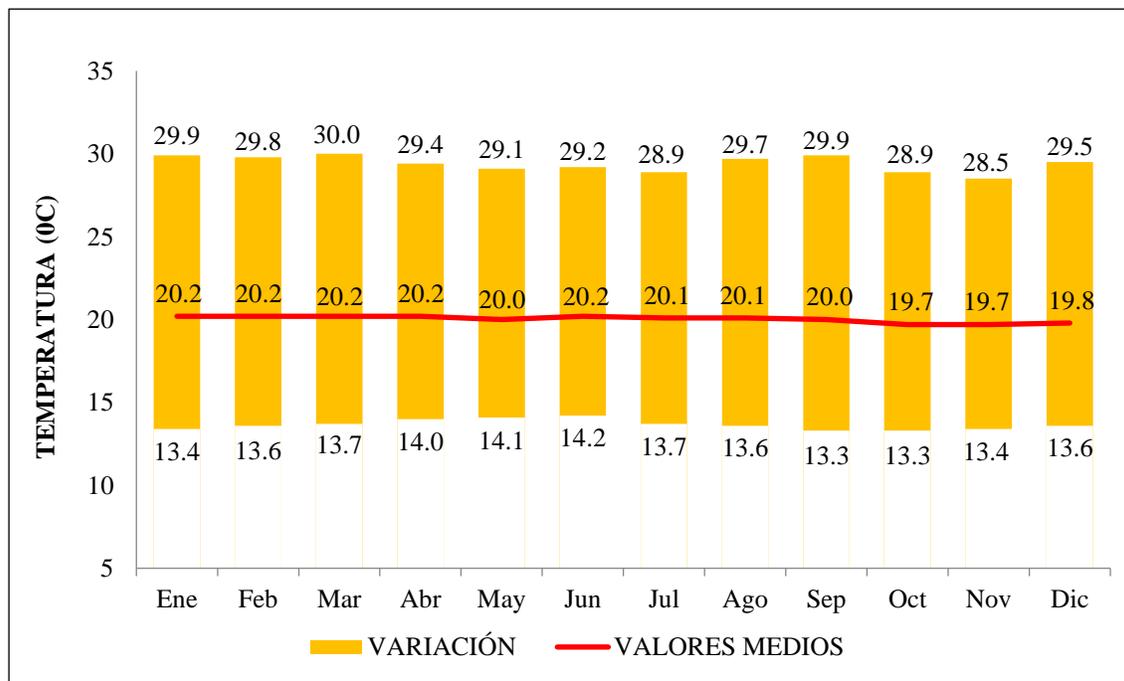


Figura 1.3. Histograma de Temperatura – Estación Argelia El Recreo

Fuente: elaboración propia

1.1.2.2. Brillo Solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica

de los procesos atmosféricos y el clima. Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en el sector de la agricultura, ingeniería, entre otros, destacándose el monitoreo del crecimiento de plantas, análisis de la evaporación e irrigación, diseño y uso de sistemas de calentamiento solar, entre otros.

Los niveles de radiación varían durante todo el día y a lo largo del año. En términos generales se puede afirmar que los mayores niveles en el día se presentan cuando el sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación es recibida a estas horas), mientras que cuando el ángulo del sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmosfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En la Figura 1.4 se presenta el histograma de brillo solar, obtenido con información de la estación Argelia El Recreo.

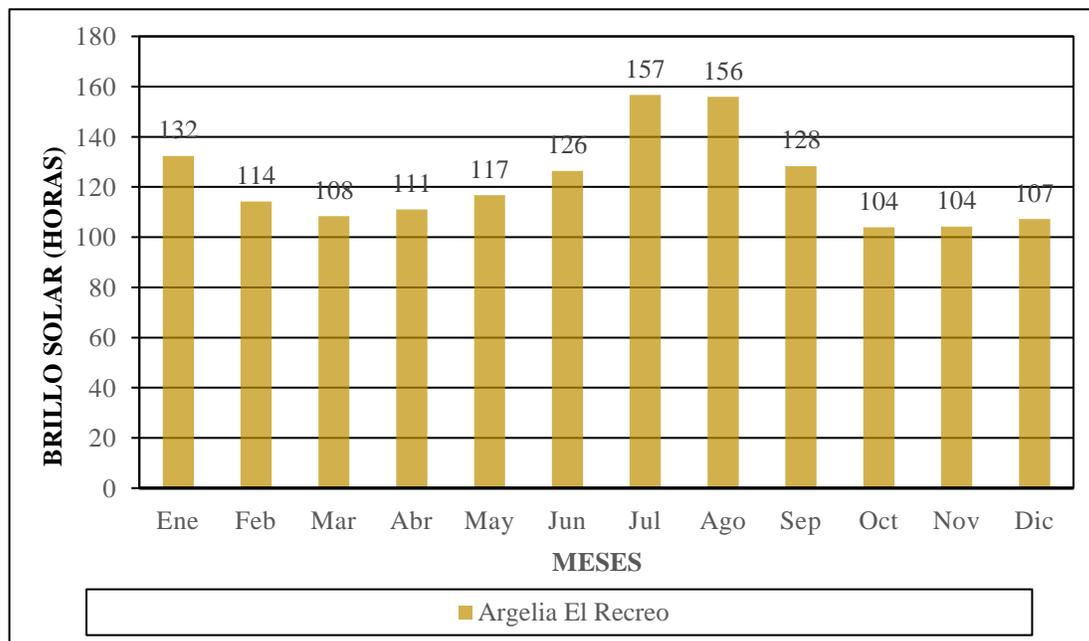


Figura 1.4. Histograma de Brillo Solar – Estación Argelia El Recreo

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la información analizada, en la estación Argelia El Recreo el promedio mensual de horas de brillo solar varía a lo largo del año, este valor oscila entre 104 horas a 157 horas, los valores más altos de horas de brillo solar se presentan en el mes de julio, mientras que los valores más bajos de horas de brillo solar se presentan en los meses de octubre y noviembre. La estación Argelia El Recreo presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 122 horas.

1.1.2.3. Humedad Relativa

La humedad relativa informa de manera proporcional la cantidad de agua que se encuentra dentro de un volumen determinado de aire. Esta variable, contribuye como un factor importante para determinar el tipo de clima que se presenta en una región determinada. En la Figura 1.5 se presenta los valores medios mensuales de humedad relativa reportado en la estación Argelia El Recreo.

La estación Argelia El Recreo reporta valores de humedad relativa media mensual que oscila entre 86% y 89%, y presenta un valor promedio mensual de 87%. En los meses de agosto y septiembre se presentan los registros más bajos (86%), y en el mes de noviembre se registran los valores de humedad relativa más altos (89%).

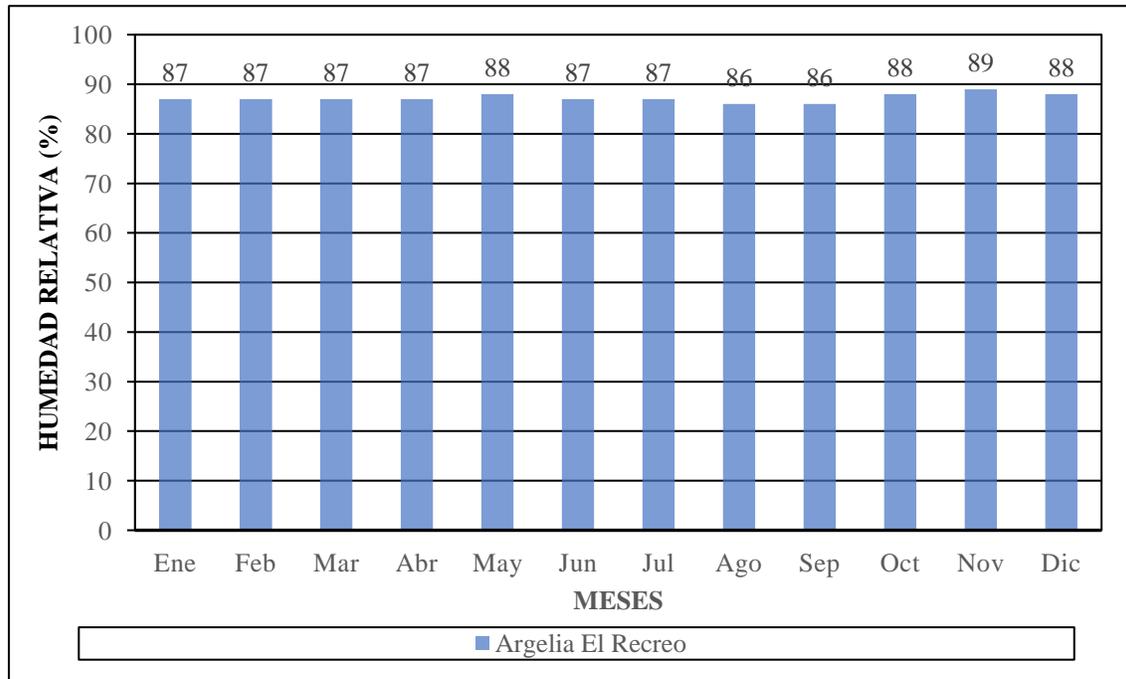


Figura 1.5. Histograma de Humedad Relativa – Estación Argelia El Recreo
Fuente: elaboración propia

1.1.2.4. Evaporación

En la Figura 1.6 se presentan los valores promedios mensuales multianuales de evaporación total obtenidos con base en la información registrada en la estación Argelia El Recreo.

En la estación Argelia El Recreo la mayor evaporación media mensual se presenta en el mes de julio con un valor de 92 mm/mes, mientras que los valores más bajos se presentan en el mes de noviembre con un valor medio de 71 mm/mes, la estación Argelia El Recreo presenta un valor promedio mensual de 81 mm/mes.

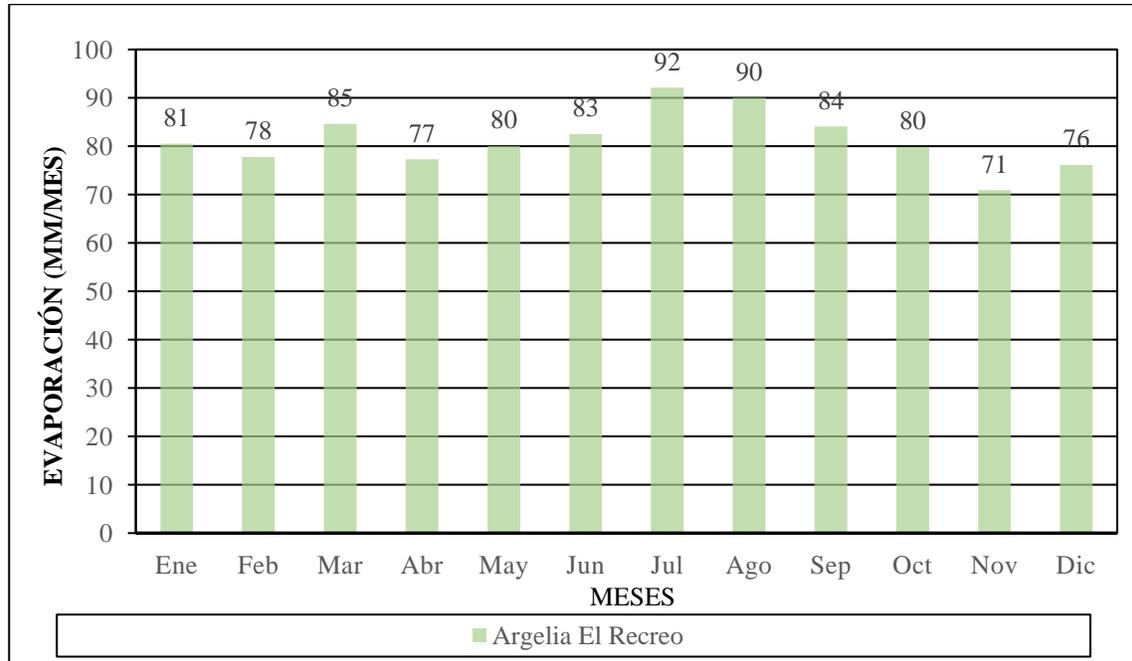


Figura 1.6. Distribución mensual de la evaporación – Estaciones Argelia El Recreo
Fuente: elaboración propia

1.1.2.5. Precipitación

Para el análisis temporal de la precipitación en la zona de estudio, se construyó una base de datos con la información de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas que se presentan en la Tabla 1.3, las cuales están localizadas en la zona de influencia del proyecto. Para el análisis de la precipitación media mensual se consideró un periodo hidrológico de 36 años, periodo hidrológico que inicia en el año 1982 y termina en el año 2017.

1.1.2.5.1. Análisis temporal de las precipitaciones

De acuerdo a los datos de precipitación media mensual multianual obtenidos de las estaciones de mayor influencia del sector evaluado, se observa que la distribución temporal de la lluvia tiende a presentar un régimen hidrológico bimodal bien definido, es decir presenta dos periodos de alta pluviosidad y dos periodos de baja pluviosidad; las mayores lluvias se registran en el periodo comprendidos entre los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que los periodos de menor pluviosidad está entre los meses de junio a agosto y de enero a febrero incluyendo el mes de diciembre. En la Tabla 1.3 se presenta el promedio de la precipitación total mensual multianual de las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto. En la Figura 1.7 se presenta la distribución temporal de la precipitación total de las estaciones que se encuentran cercanas a la zona urbana del municipio de Versalles

Tabla 1.3. Resumen de promedios mensuales multianuales de precipitación total mensual de las estaciones seleccionadas

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Cent Admo La Unión	48	67	92	146	133	82	78	72	102	119	105	59	1103
El Vesubio	62	85	121	192	169	115	103	90	117	157	133	87	1431
Patumac	67	89	118	171	134	90	69	78	131	181	160	93	1381
Sabanazo	63	74	97	146	110	73	64	61	90	146	139	83	1146
El Porvenir	43	65	94	143	115	74	69	64	97	129	128	72	1093
San Francisco	80	78	135	175	156	94	94	88	136	147	133	78	1394
La Arboleda	41	68	102	161	139	78	70	71	102	130	127	64	1153
La Despensa	36	57	81	128	114	64	43	44	74	129	109	61	940
El Lucero	51	74	110	175	158	87	79	67	111	161	156	83	1312
Candelaria	44	62	92	142	120	70	68	54	97	125	101	65	1040
Ceros	51	74	110	175	158	87	79	67	111	161	156	83	1312
El Balsal	80	86	107	137	130	76	71	75	103	173	186	98	1322
El Bosque	97	115	182	250	211	131	114	113	167	251	248	136	2015
La Arabia	57	73	119	156	147	88	71	85	122	150	131	71	1270
La María	49	64	80	136	118	84	49	46	77	131	127	58	1019
Pto Nuevo	59	70	96	109	97	68	54	46	76	151	162	93	1081
El Cairo	97	97	146	193	161	110	101	98	143	219	236	156	1757
La Cayetana	50	67	94	155	129	81	84	73	111	134	104	60	1142
Higuerón	41	57	84	136	114	65	65	52	91	117	101	64	987
Higueroncito	38	56	84	135	116	65	62	55	84	125	98	60	978
San Antonio	51	67	90	156	133	86	88	75	118	139	110	69	1182
Argelia El Recreo	77	82	130	189	161	104	83	90	121	193	191	109	1530

Fuente: elaboración propia

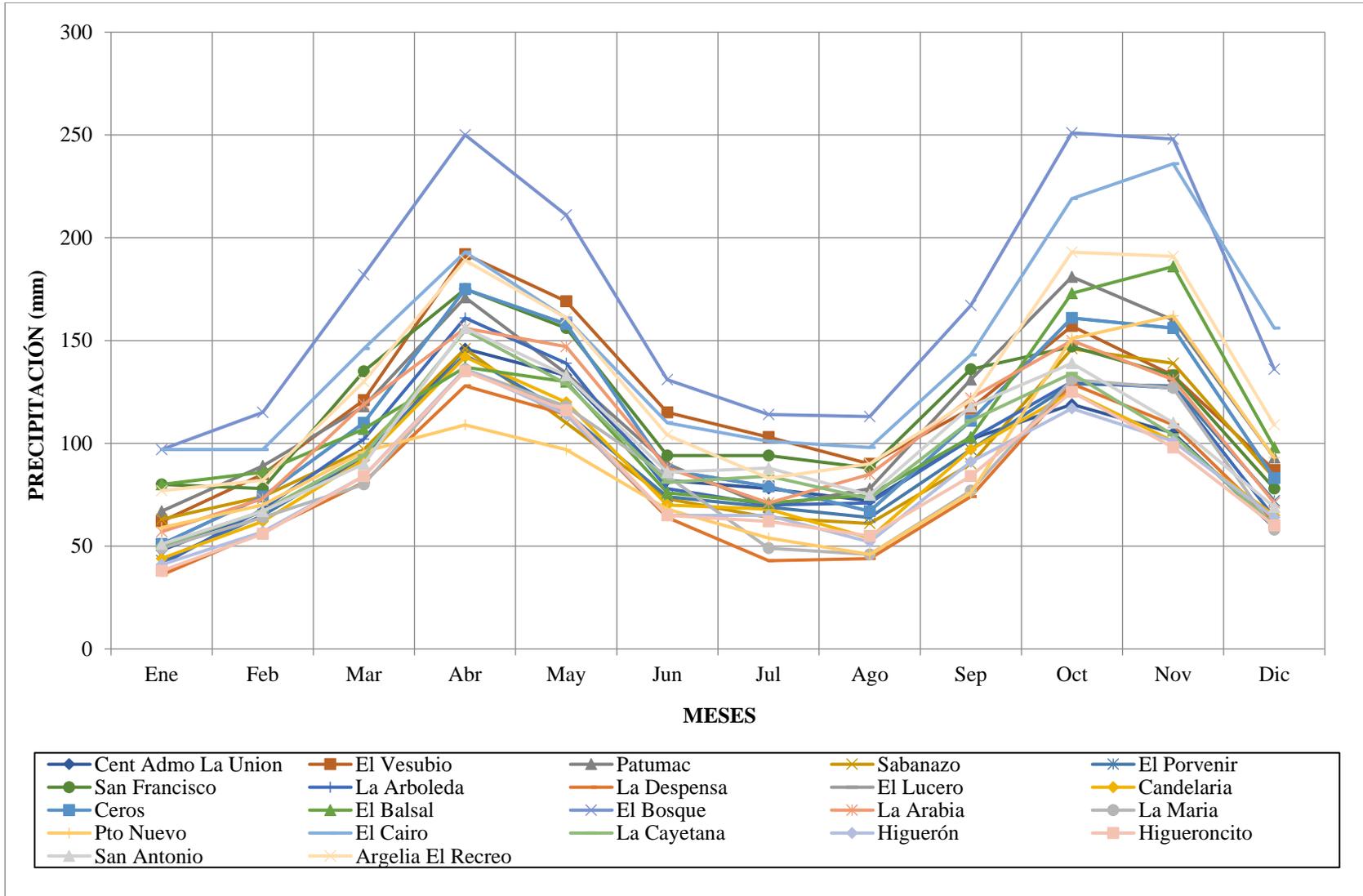


Figura 1.7. Distribución temporal de la de precipitación total mensual de las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto
Fuente: elaboración propia

A nivel general todas las estaciones analizadas tienen comportamiento de tipo bimodal, para el caso de la estación Patumac los mayores valores se presentan en el periodo entre septiembre a noviembre, siendo el mes de octubre el más lluvioso con un valor de precipitación de 181 mm/mes, el periodo más seco se presenta entre los meses de junio a agosto, siendo el más bajo el mes de julio con una precipitación de 69 mm/mes, la estación Patumac presenta un valor promedio mensual de precipitación de 115 mm/mes.

En la estación pluviométrica La Arabia los mayores valores se presentan en el periodo entre marzo a mayo, siendo el mes de abril el más lluvioso con un valor de precipitación de 156 mm/mes, el periodo más seco se presenta entre los meses de enero y febrero incluyendo diciembre, siendo el más bajo el mes de enero con una precipitación de 57 mm/mes, la estación La Arabia presenta un valor promedio mensual de precipitación de 106 mm/mes.

En la Figura 1.8 se observa la distribución espacial de la precipitación media mensual multianual en el Municipio de Versalles y en la Tabla 1.4 se presenta la Precipitación media mensual en el municipio de Versalles.

Tabla 1.4. Precipitación media mensual Municipio de Versalles.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
66,84	80,73	113,91	154,58	135,58	85,47	71,75	74,70	111,68	167,26	162,35	90,57

Fuente: elaboración propia

Con base en la información que se registran en la tabla anterior se observa que el municipio de Versalles presenta un régimen de precipitaciones de tipo bimodal, registrando las mayores precipitaciones en los periodos comprendidos por los meses de marzo a mayo y por los meses de septiembre a noviembre, siendo el mes de octubre el de mayor precipitación con un valor de 167,26 mm/mes. Las precipitaciones más bajas se registran en el periodo comprendido entre los meses de junio a agosto y entre los meses de enero a febrero incluyendo el mes de diciembre, siendo el mes de enero el de menor precipitación con un valor de 66,84 mm/mes. El Municipio de Versalles presenta un valor promedio mensual de precipitación de 109,62 mm/mes y una precipitación anual de 1315 mm/año. En la Figura 1.8 se presenta el mapa de distribución espacial de la precipitación mensual multianual en el municipio de Versalles

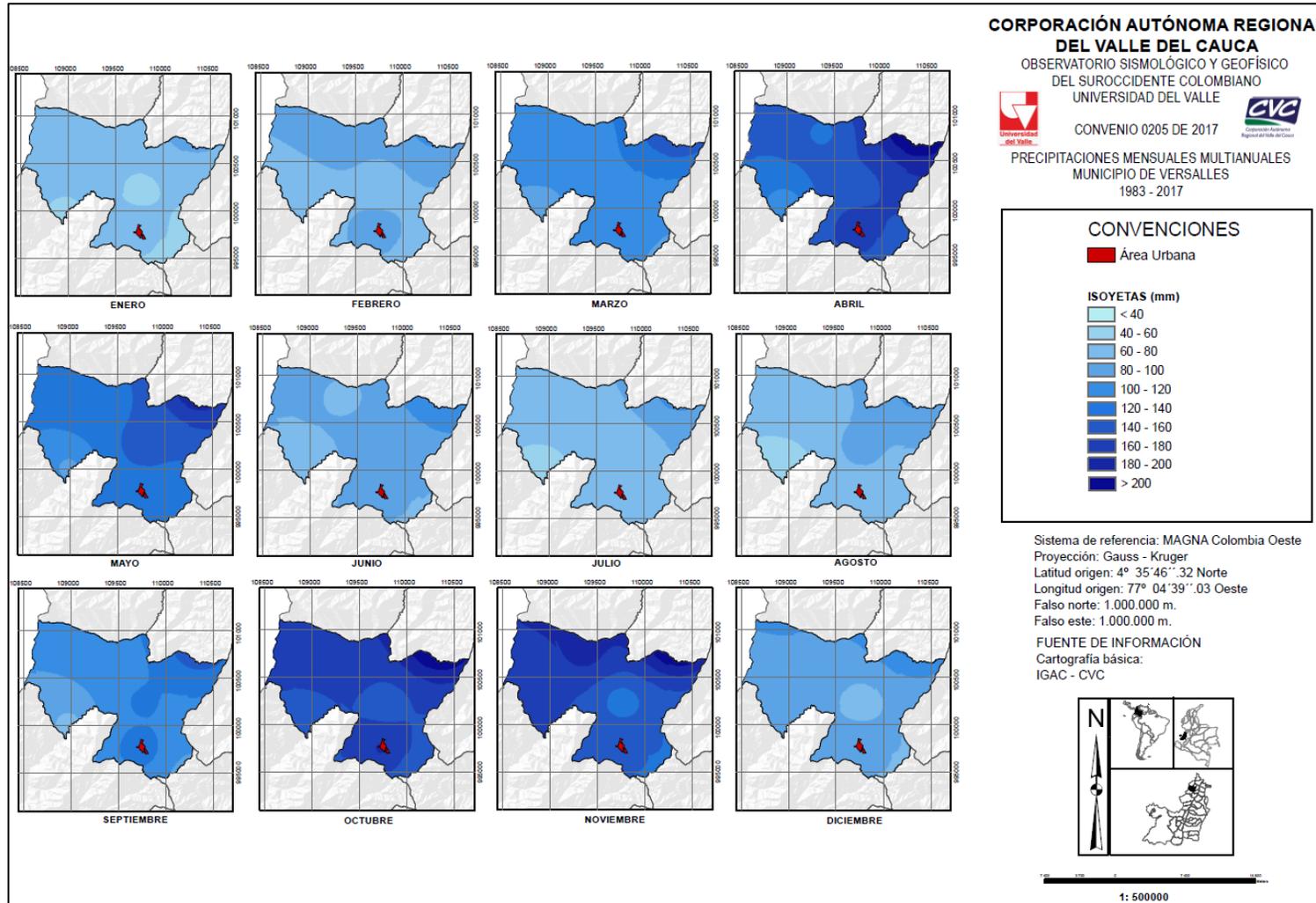


Figura 1.8. Mapa de Distribución espacial de la precipitación mensual multianual Municipio de Versalles
Fuente: elaboración propia

1.1.2.5.2. Precipitaciones máximas diarias

Para la determinación de las máximas precipitaciones para 24 horas, 48 horas y 72 horas se consideró toda la serie de registros diaria de las estaciones localizadas en la zona de estudio, asumiendo que como se cuenta con información diaria, la estimación de la precipitación máxima de 48 horas es el máximo valor de precipitación acumulada durante 2 días y para el caso de las precipitaciones máximas para 72 horas es el valor máximo de precipitación acumulada durante 3 días. Con base en lo anterior se obtuvieron los siguientes registros. En la Tabla 1.5 se presentan las precipitaciones máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas con información de las estaciones localizadas en inmediaciones del Municipio de Versalles

Tabla 1.5. Precipitaciones máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas con información de las estaciones localizadas en inmediaciones del Municipio de Versalles

ESTACIÓN	AÑOS	P24	P48	P72	ESTACIÓN	AÑOS	P24	P48	P72
Higuerón	35	86	126	133	El Balsal	35	145	155	166
Higueroncito	35	155	186	186	El Bosque	35	432	447	457
Sabanazo	46	77	107	119	La Arabia	35	104	152	156
Patumac	48	120	136	150	La María	35	118	135	190
La Arboleda	43	126	158	192	Pto Nuevo	35	110	135	165
La Cayetana	34	134	157	157	El Cairo	35	125	171	178
San Antonio	31	134	221	311	El Porvenir	50	165	182	184
Ceros	37	113	113	119	El Vesubio	49	160	176	181
San Francisco	46	125	134	160	El Lucero	42	102	180	195
Candelaria	39	110	174	212	La Despensa	42	114	122	132
Cent Admo La Unión	49	116	125	135					

Nota: (P24) Precipitación Máxima en 24 horas, (P48) Precipitación Máxima en 48 horas y (P72) Precipitación Máxima en 72 horas.

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones utilizadas

En la Figura 1.9, 1.10 y 1.11 se presenta los mapas con la distribución espacial de la precipitación máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas en el Municipio de Versalles

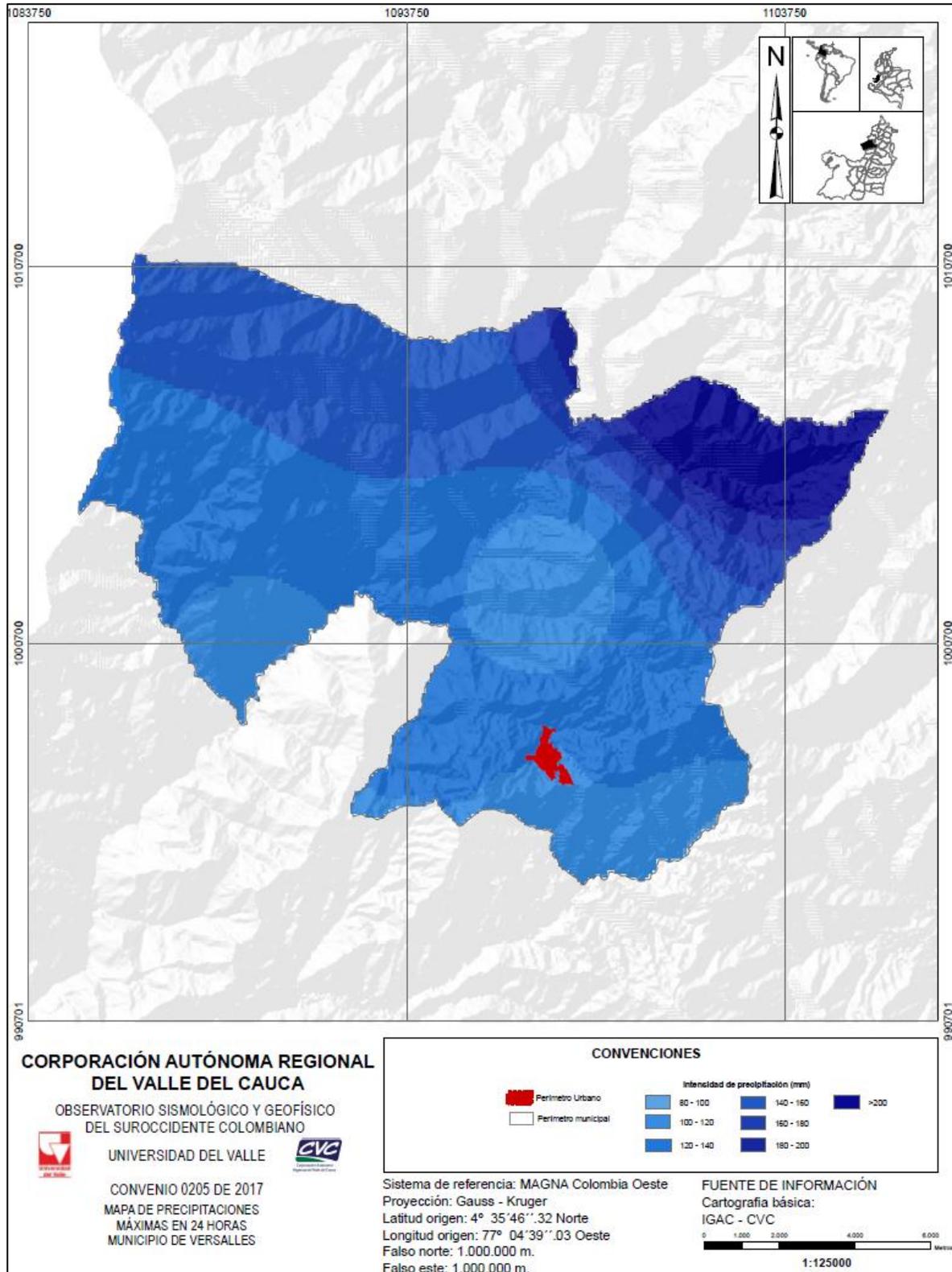


Figura 1.9. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 24 horas Municipio de Versalles

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

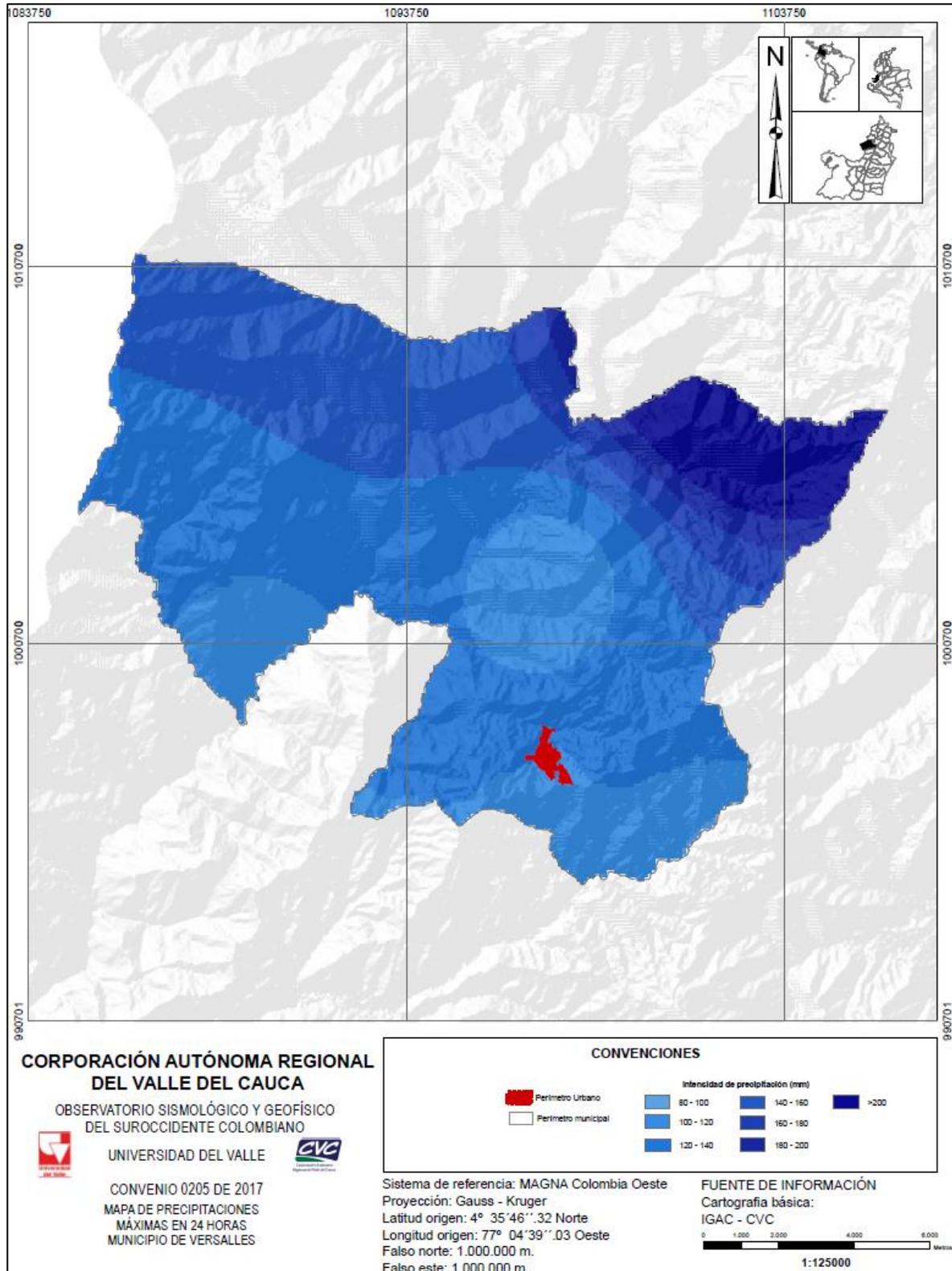


Figura 1.10. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 48 horas Municipio de Versalles

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

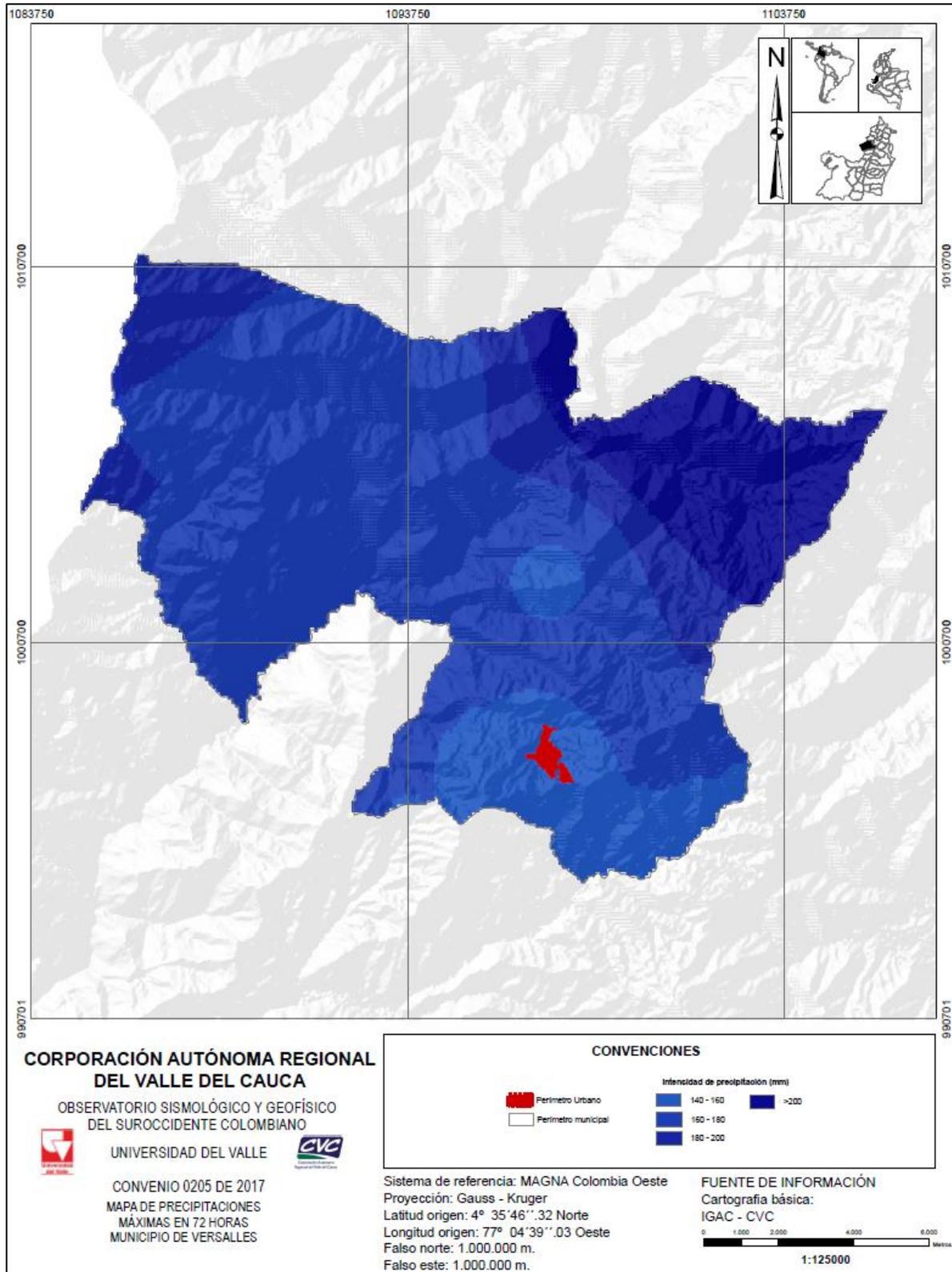


Figura 1.11. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 72 horas Municipio de Versalles

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

1.1.2.5.3. Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno

Con base en las series de precipitaciones máximas instantáneas anuales se calcularon las precipitaciones extremas en las estaciones en estudio, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para cada uno de sus periodos de registros, aplicando un análisis de frecuencia utilizando como factor de frecuencia las distribuciones de Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson y Gumbell.

En la Tabla 1.6 y en la Figura 1.12 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación Patumac, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es la Log Pearson III.

Tabla 1.6. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación Patumac.

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	53,64	50,75	49,87	50,33	50,68
5	0,667	69,52	67,18	67,24	67,00	69,14
10	0,800	77,84	77,80	78,78	78,18	81,37
25	0,900	86,70	90,97	93,14	92,50	96,82
50	0,980	92,42	100,64	103,63	103,32	108,27
100	0,990	97,57	110,21	113,91	114,29	119,65
200	0,995	102,28	119,77	124,06	125,49	130,98
R^2		0,6026	0,7079	0,7073	0,7294	0,7159

Fuente: elaboración propia

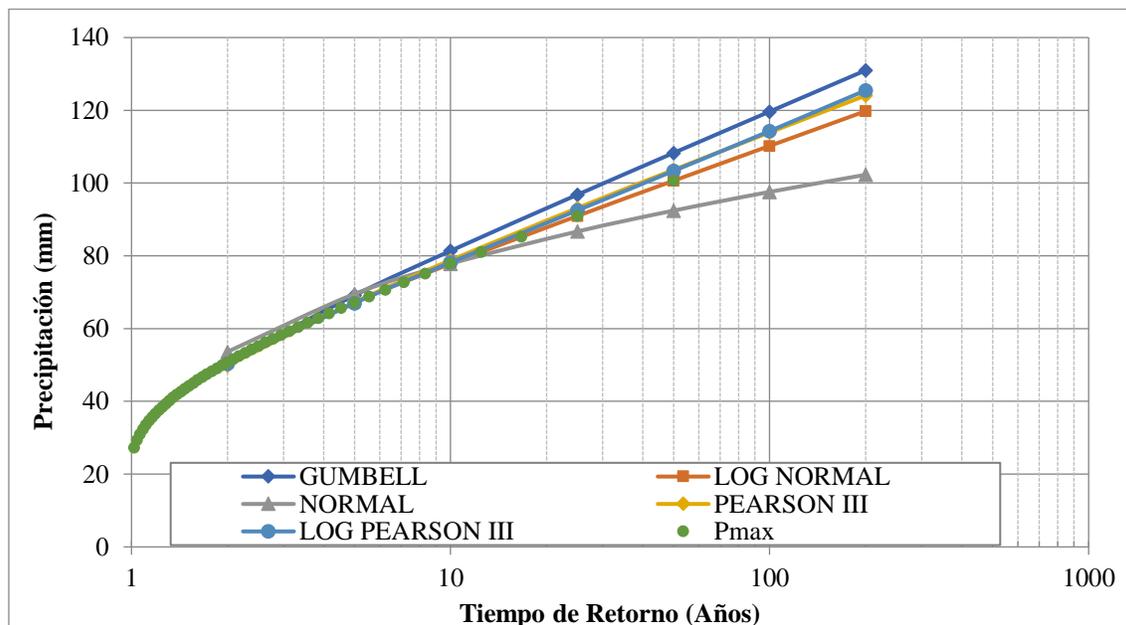


Figura 1.12. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno Estación Patumac.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1.7 y en la Figura 1.13 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación La Arabia, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es Log Pearson III.

Tabla 1.7. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación La Arabia

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	63,88	61,07	59,82	60,63	60,70
5	0,667	81,11	78,52	79,20	78,33	80,95
10	0,800	90,12	89,56	91,22	89,95	94,36
25	0,900	99,73	103,04	105,85	104,56	111,30
50	0,980	105,94	112,80	116,35	115,44	123,87
100	0,990	111,52	122,37	126,54	126,34	136,35
200	0,995	116,63	131,84	136,51	137,35	148,78
R²		0,6026	0,6975	0,6899	0,7181	0,7159

Fuente: elaboración propia

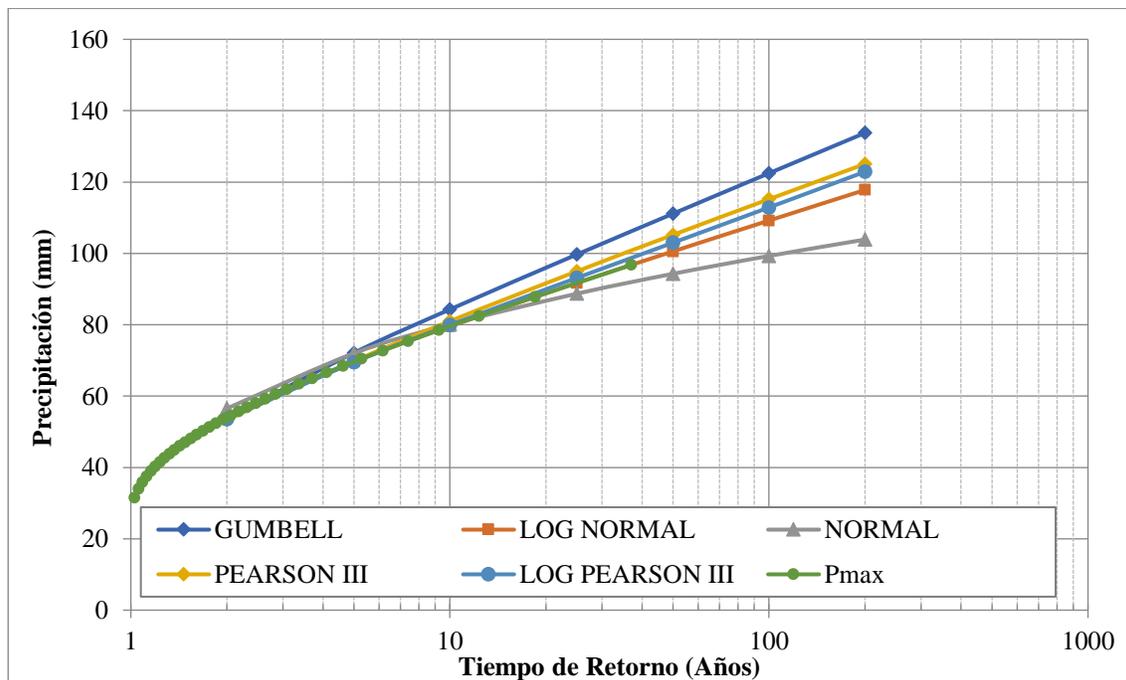


Figura 1.13. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación La Arabia

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1.8 y Figura 1.14 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación El Balsal, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es Log Pearson III.

Tabla 1.8. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación El Balsal.

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	65,08	61,33	61,15	60,80	61,50
5	0,667	84,63	82,37	81,81	82,13	84,77
10	0,800	94,85	96,11	96,01	96,61	100,18
25	0,900	105,75	113,30	113,68	115,31	119,64
50	0,980	112,79	126,00	126,58	129,54	134,08
100	0,990	119,13	138,63	139,23	144,03	148,42
200	0,995	124,92	151,30	151,72	158,90	162,70
R^2		0,6026	0,7130	0,7105	0,7348	0,7159

Fuente: elaboración propia

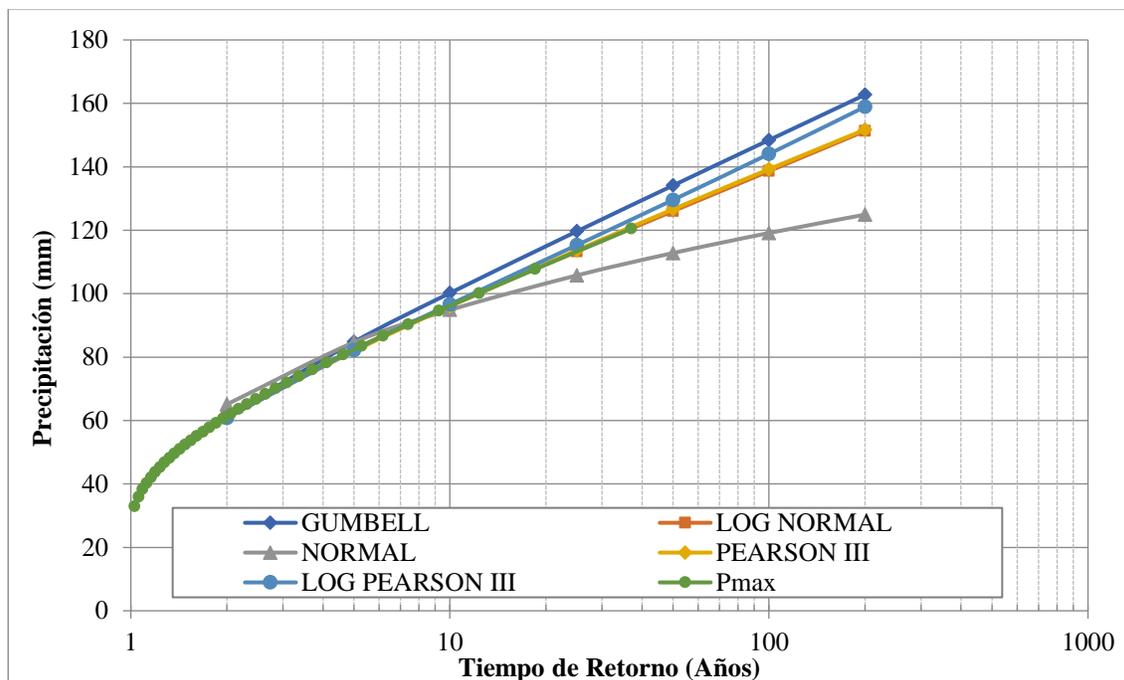


Figura 1.14. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno. Estación El Balsal

Fuente: elaboración propia

1.1.2.5.4. Curvas de Intensidad Frecuencia y Duración IFD y Tormenta de Diseño

Para determinar los hietogramas de lluvia para diferentes periodos de retorno se utilizó las Curvas de Intensidad, Frecuencia y Duración -IFD de la estación Santiago Gutiérrez (Figura 1.15), estación perteneciente a la Federación Nacional de Cafeteros, las curvas IFD se obtuvieron del informe hidrológico del municipio del Cairo del año 2010 en el marco del proyecto “Zonificación de amenazas y escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión de los Municipio de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión” (MIDAS). Con las curvas IDF de la estación Santiago Gutiérrez se generaron los hietogramas de precipitación para diferentes periodos de retorno empleando la metodología de

bloque alterno (Chow, 1963), la cual se basa en la intensidad de la precipitación para diferentes tiempos de duración. El hietograma es la representación de la distribución temporal de la intensidad de las precipitaciones, para el caso de estudio se supone una lluvia de 200 minutos de duración, para una intensidad asociado a un TR 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En la Figura 1.16 se presenta el hietograma de diseño de precipitación para diferentes periodos de retorno para la estación Santiago Gutiérrez.

En la Tabla 1.9 se presenta los valores máximos de precipitación con intervalo de tiempo de 10 minutos para diferentes periodos de retorno, construidas a partir de las Curvas IFD de la estación Santiago Gutiérrez.

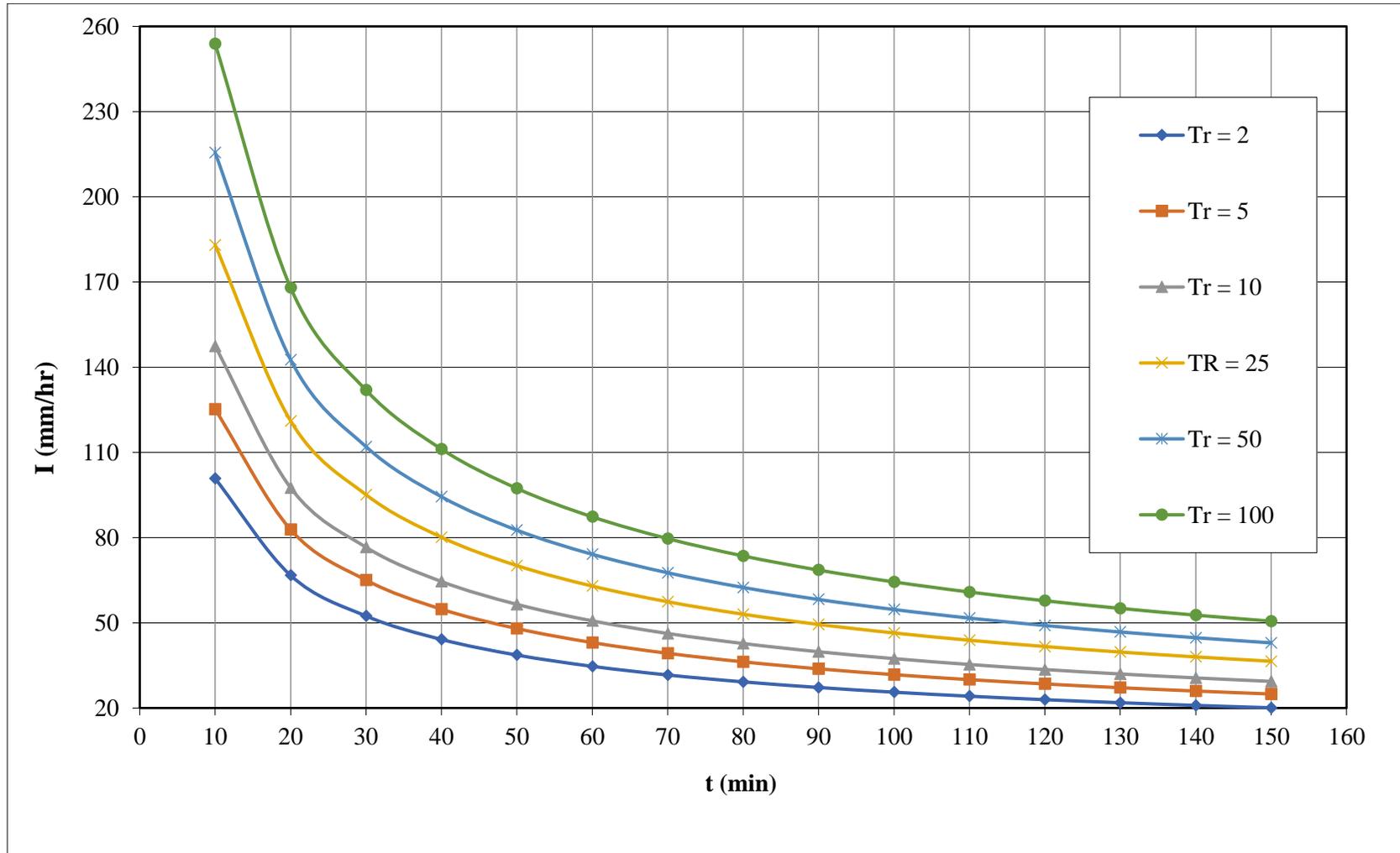


Figura 1.15. Curva de intensidad frecuencia y duración con datos de la Estación Santiago Gutiérrez.

Fuente: elaboración propia con datos de IDEAM, Año 2016.

Tabla 1.9. Valores de precipitaciones máximas con intervalos de tiempo de 10 minutos, construidas a partir de las Curvas IFD. Estación Santiago Gutiérrez.

DURACIÓN (min)	Tr = 2 AÑOS	Tr = 3 AÑOS	Tr = 5 AÑOS	Tr = 10 AÑOS	Tr = 25 AÑOS	Tr = 50 AÑOS	Tr = 100 AÑOS
10	1,0	1,1	1,3	1,5	1,9	2,2	2,6
20	1,1	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8
30	1,2	1,3	1,5	1,7	2,2	2,6	3,0
40	1,3	1,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,3
50	1,4	1,6	1,8	2,1	2,6	3,1	3,6
60	1,6	1,8	2,0	2,3	2,9	3,4	4,0
70	1,8	2,0	2,3	2,7	3,3	3,9	4,6
80	2,2	2,4	2,8	3,2	4,0	4,7	5,6
90	2,9	3,2	3,6	4,3	5,3	6,2	7,3
100	4,9	5,4	6,1	7,2	8,9	10,5	12,3
110	15,1	16,6	18,8	22,1	27,4	32,3	38,1
120	3,6	3,9	4,4	5,2	6,5	7,6	9,0
130	2,5	2,8	3,1	3,7	4,5	5,3	6,3
140	2,0	2,2	2,5	2,9	3,6	4,3	5,1
150	1,7	1,9	2,1	2,5	3,1	3,7	4,3
160	1,5	1,7	1,9	2,2	2,7	3,2	3,8
170	1,4	1,5	1,7	2,0	2,5	2,9	3,4
180	1,2	1,4	1,5	1,8	2,3	2,7	3,1
190	1,2	1,3	1,4	1,7	2,1	2,5	2,9
200	1,1	1,2	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7

Fuente: elaboración propia

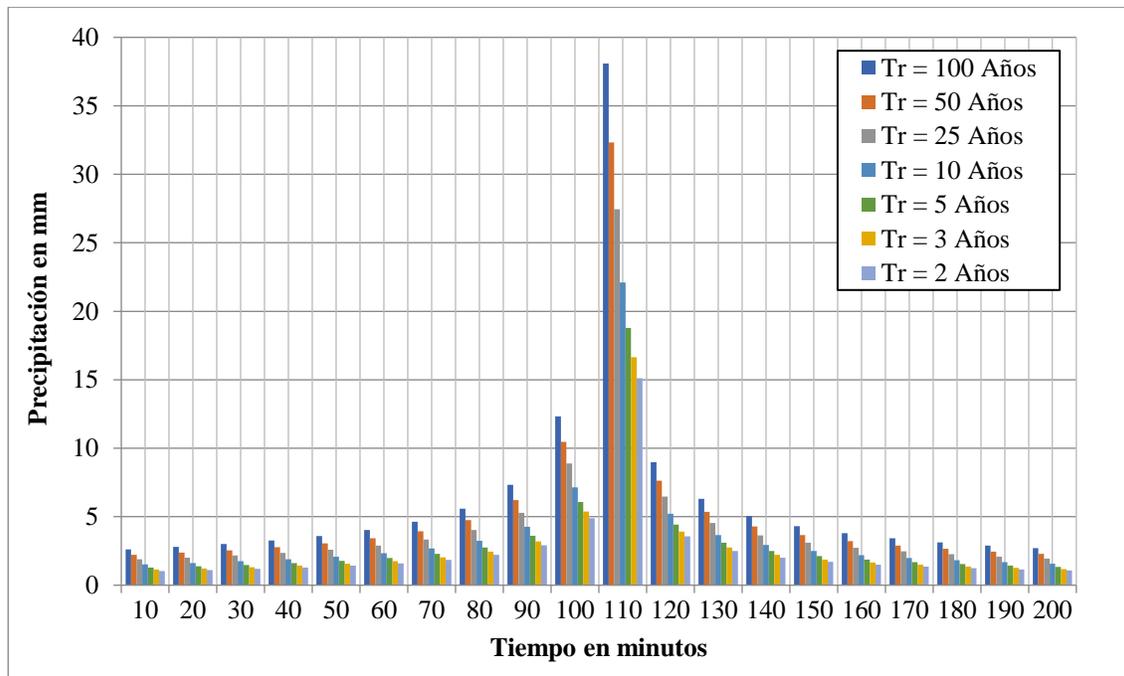


Figura 1.16. Hietograma de precipitación de diseño hidrológico para una duración de 200 min.

Estación Santiago Gutiérrez

Fuente: elaboración propia

2. ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO DE LAS UNIDADES HIDROLOGICAS QUE ATRAVIESAN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VERSALLES

Los ríos tienen un régimen hidrológico determinado por las características de la cuenca y de las precipitaciones. En este sentido, el caudal de un río está asociado con las lluvias inmediatamente precedentes y la capacidad de escurrimiento de la cuenca. Las aguas subterráneas explican la permanencia de un caudal base de un río durante un periodo seco y, a la inversa, la infiltración a través de un cauce impermeable explica que los ríos se sequen. En ingeniería fluvial se puede aseverar que, dentro de un sistema hídrico, el proceso del ciclo hidrológico más significativo para caracterizar corresponde a la escorrentía, en términos de caudales de un río. En el presente estudio se realiza la estimación de los caudales máximos correspondiente a periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años de las quebradas Patumac, Fundadores, Maraveles y las Olivas, con el fin de definir las zonas de inundación para cada uno de estos caudales. En cauces muy intervenidos, que han perdido su naturalidad y donde no se han dejado posibilidades para el almacenamiento temporal de agua y sedimentos, el componente hidrológico de la ronda hídrica se debe definir por el espacio que requiere el flujo en un evento de mayor importancia y al menos con 100 años de período de retorno. En estos casos se debe hacer un análisis de los impactos de las intervenciones aguas arriba y aguas abajo y las necesidades de elementos de mitigación o de medidas sostenibles para garantizar la seguridad (MADS, 2012).

Para realizar el cálculo de los caudales máximos de crecidas de las corrientes que atraviesan el casco urbano del municipio de Versalles se consideró como punto de cierre de las cuencas a analizar los sitios aguas arriba del inicio de la zona urbana y de expansión del municipio de Versalles; para tal fin se implementó el modelo hidrológico HEC – HMS, el cual se fundamenta en la relación lluvia – escorrentía que permite calcular los caudales máximos en función de la profundidad total de precipitación, los parámetros de forma (morfométrica de las unidades de cuenca) y de los parámetros de abstracción. A continuación, se presentan algunas generalidades del modelo HEC – HMS.

2.1. Descripción del modelo hidrológico

Un modelo hidrológico es una herramienta que permite representar la realidad de una manera simplificada y que posee un valor predictivo útil para el aprovechamiento de los recursos hídricos; además sirve como orientación en la toma de decisiones para la solución de problemas que se puedan presentar en una zona determinada.

Dentro de los modelos de simulación hidrológica usados a nivel mundial, se encuentra el HEC-HMS 4.1.0 desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Corps of Engineers, el cual ha diseñado los modelos hidráulicos e hidrológicos con mayor reconocimiento y aceptación internacional. El HEC-HMS 4.1.0 (Hydrologic Model Sistema versión 4.1.0) fue diseñado para simular la escorrentía superficial de respuesta de una cuenca a la precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos (Figura 2.1), cada uno de las cuales refleja un aspecto del proceso precipitación-escorrentía a partir de parámetros físicos e hidrológicos.

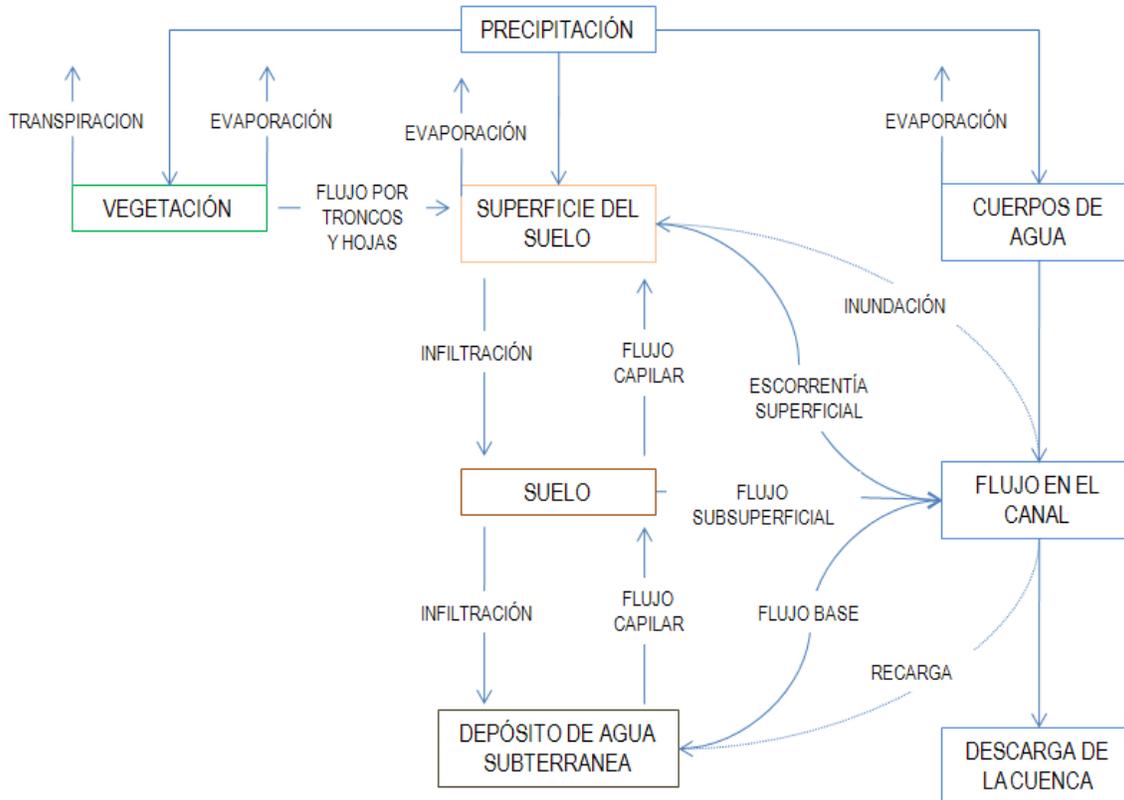


Figura 2.1. Esquema de las componentes hidrológicas e hidráulicas que utiliza el HEC-HMS 4.1.0 para representar una cuenca hidrográfica.

Fuente: Adaptado de HEC, 2000

Esta herramienta puede clasificarse como un modelo hidrológico determinístico, de tipo evento y/o continuo, distribuido y/o agregado y de propósito general. En HEC-HMS la cuenca se describe a través de una serie de elementos interconectados (subcuencas, canales de tránsito, nodos, fuentes y sumideros). Entre los múltiples procedimientos hidrológicos disponibles en HEC-HMS para transformar la precipitación en escorrentía, en este estudio, por su buen desempeño en análisis de eventos, se han seleccionado los métodos del número de curva para la estimación de la precipitación efectiva, el hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos para la transformación de precipitación de excesos en escorrentía directa y el método de tránsito de Lang para el tránsito de la creciente entre tramos.

2.2. Datos de entrada del modelo HEC – HMS

Dentro de los requerimientos de información o datos de entrada del modelo hidrológico HEC - HMS se encuentran la siguiente información:

- Cartografía básica (red hídrica, curvas de nivel y parteaguas).
- Cartografía temática (uso actual del suelo, tipo de suelos).
- Perfiles del suelo si existen estudios previos.
- Información precipitación total diaria de las estaciones más cercanas.
- Hietogramas de precipitación.

- Información de aguas subterráneas como láminas de agua y coeficientes de recarga, número de depósitos.
- Información de la velocidad del flujo en el canal o aforos.

2.3. Estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno e Quebradas Patumac y Maraveles

Con el fin de determinar los caudales máximos sobre de la quebrada Patumac, se consideró como punto de cierre de la unidad de análisis un sitio de la quebrada localizado aguas arriba de donde inicia su recorrido por el casco urbano y zona de expansión y considerando tiempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Definida la zona de estudio, se recolectó y procesó la información requerida y necesaria para la estimación de caudales a partir de la utilización de la modelación hidrológica, una vez evaluada y analizada la información; se procedió a la esquematización de la cuenca, la evaluación de las características morfométricas e hidrológicas y la corrida del modelo hidrológico como se muestra a continuación.

2.3.1. Esquematización de la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Patumac

Para representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma (basin model), que refleje, de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En la Figura 2.2 se presenta un esquema general de la cuenca en estudio.

2.3.2. Parámetros morfométricos de las unidades de cuenca en que se dividió la Quebrada Patumac

Se realizó el trazado de la línea divisoria de la Quebrada Patumac hasta sitio o punto localizado aguas arriba antes de iniciar su recorrido por el casco urbano del Municipio de Versalles. En general, se conoce que las áreas de drenaje están determinadas por una línea imaginaria que une los puntos más altos y encierran las áreas de confluencia, estas líneas de divorcio de aguas que separan una cuenca de las circundantes se denominan divisorias de aguas o parte aguas. A partir de los planos topográficos disponibles, se procedió a determinar el área de drenaje correspondiente, la cual se dividió en 6 unidades hidrológicas. Una vez se definió el parteaguas de la Quebrada Patumac y sus respectivas unidades, se procedió al cálculo de algunas características morfométricas: el área de cada subcuenca, la longitud del cauce principal, el valor de las cotas aguas arriba y aguas abajo del cauce, la pendiente del cauce principal y los tiempos de concentración.

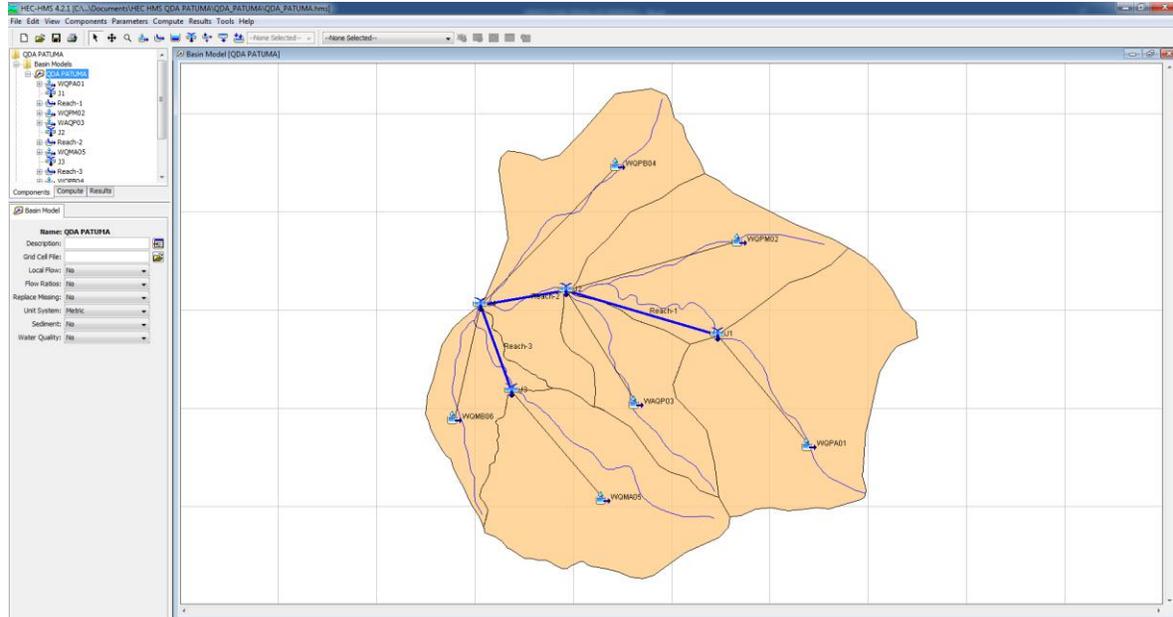


Figura 2.2. Esquema de la Quebrada Patumac para el modelo HEC-HMS
Fuente: elaboración propia

2.3.2.1. Pendiente del cauce método de las elevaciones extremas

El método de las elevaciones extremos, consiste en determinar el desnivel entre punto más elevado y el punto más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce.

$$S = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \times 100$$

Donde:

- S: Pendiente media del cauce (%).
- H máx: Altitud máxima del cauce (m).
- H min: Altitud mínima del cauce (m).
- L: Longitud del cauce (m).

2.3.2.2. Tiempos de concentración formula de Témez

Se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. Otra definición es el tiempo que toma el agua en llegar al punto de diseño hasta el punto más alejado de la cuenca y se determina mediante fórmulas experimentales. La fórmula de Témez calcula el tiempo de concentración T_c , en minutos, según la expresión:

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- T_c : Tiempo de concentración, en horas.

L : Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilómetros.

J : La diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por L (es decir, la pendiente promedio del recorrido principal en m/m).

En la Tabla 2.1 se presentan los valores Morfométricos evaluados para cada una de las unidades de cuenca en que se dividió la cuenca La Quebrada Patumac.

Tabla 2.1. Que Características morfométricas de las Unidades Hidrológicas en que se dividió La Quebrada Patumac

CODIFICACIÓN CUENCAS	UNIDAD HIDROLÓGICA	ÁREA (km ²)	LONGITUD CAUCE (m)	ALTURA MÁXIMA (msnm)	ALTURA MÍNIMA (msnm)	PENDIENTE MEDIA S (m/m)	Tc FORMULA TÉMEZ (min)
WQPA01	Q.da Patumac alto	1,23	1284	2091	1890	0,16	30,96
WQPM02	Q.da Patumac medio	0,79	1500	2015	1822	0,13	36,16
WAQP03	afluente Q.da Patumac	0,45	1471	2069	1822	0,17	33,87
WQPB04	Q.da Patumac bajo	0,94	1636	1960	1787	0,11	40,09
WQMA05	Q.da Maraveles alto	0,95	1425	2039	1829	0,15	33,90
WQMB06	Q.da Maraveles bajo	0,35	1233	1916	1787	0,10	32,40

Fuente: elaboración propia

2.3.3. Evaluación de parámetros hidrológicos la Quebrada Patumac

Los parámetros hidrológicos a calcular son los parámetros que requieren los modelos internos aplicados por el HEC-HMS utilizados para la determinación del proceso de transferencia lluvia-caudal para el caso de modelación de eventos, como lo es el modelo de pérdidas (SCS Numero de Curva), el modelo de transformación de excesos de lluvia en escorrentía (SCS Hidrograma Unitario), el análisis del flujo base (método de recesión) y el tránsito de los hidrogramas a través de los cauces principales (LAG). Estos parámetros hidrológicos se analizaron espacialmente implementando herramientas de SIG, a partir de los mapas temáticos de la zona de estudio y el modelo digital de elevaciones -DEM.

2.3.3.1. Modelo de pérdidas (SCS Número de Curva)

Para el cálculo del Número de Curva, CN, en las unidades de cuenca en que se dividió la quebrada Patumac se utilizaron los mapas temáticos de uso actual del suelo y tipo de suelo, información temática proporcionada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, mapas temáticos cruzados en Arcgis 10.2 para obtener polígonos de igual tipo de suelo y cobertura dentro de la zona de análisis; posteriormente se realizó una caracterización de los suelos presentes en la subcuenca, donde se determinó la pendiente, profundidad efectiva, textura y drenaje natural para cada uno de los tipos de suelos presentes en la subcuenca de la Quebrada Patumac; con esta información a cada suelo característico se le asignó un grupo hidrológico de suelo para cada uno de los polígonos mediante la utilización del software Arcgis 10.2. Finalmente, con la información

de cobertura y grupo hidrológico de suelos se determinó el valor de CN, el cual fue ponderado en cada una de las unidades en que se dividió la Quebrada Patumac. Para la caracterización de los suelos de la Quebrada Patumac hasta el sitio de interés hídrico y unidades hidrológicas se utilizó como información base el estudio “Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Valle del Cauca”, realizado en el año 2004 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC con la participación de entidades como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC.

La descripción o caracterización de los suelos presentes en la zona de estudio corresponde a una actualización de los levantamientos de suelos realizados por la subdirección de Agrología del IGAC en los años 1969, 1971, 1977, 1980, 1981, 1994 y 1995, donde se realizó la fotointerpretación de fotografías aéreas y el análisis de suelos, considerando los aspectos fisiográficos más sobresalientes, como: el relieve, la pendiente, el drenaje, el uso de la tierra y la descripción de los perfiles mediante la realización de calicatas, donde se describen la morfología y las características físicas y químicas del suelo (IGAC – CVC, 2004). En forma inicial, los suelos son agrupados en categorías, dependientes del potencial de escurrimiento y de su capacidad de infiltración. La agrupación de los suelos se efectúa teniendo en cuenta la siguiente clasificación (Chow, Maidment y Mays, 1994):

Grupo A: suelos con bajo potencial de escurrimiento y alta infiltración, aunque esté completamente húmedo. Su profundidad es especialmente grande. Es el caso de arenas o gravas excesivamente drenadas, o suelos que tengan una razón alta de transmisión de agua (mayor a 7.62 mm/hora). Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: suelos con infiltración moderada aun completamente húmedo. Son suelos que van de moderadamente profundos a profundos. Suelos bien drenados con textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Tiene una razón de transmisión de agua moderada (3.81 a 7.62 mm/hora). Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: suelos con baja infiltración, aunque estén completamente húmedos, y consisten en suelos que tienen una capa que impide el movimiento descendente de agua. Son suelos con textura moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja razón de transmisión de agua (1.27 a 3.81 mm/hora). Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: suelos con un alto potencial de escurrimiento, ellos tienen una muy baja capacidad de infiltración, aun en condiciones de total humedad. Consisten principalmente de suelos arcillosos con un alto potencial de expansión, suelos con nivel freático permanentemente alto, suelos con una capa de arcillas en la superficie, suelos poco profundos sobre materiales impermeables cercanos. Estos suelos tienen una razón de transmisión de agua muy baja (0.0-1.27 mm/hora). Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. En la Tabla 2.2 se presenta la cobertura actual de la Quebrada Patumac Hasta sitio de interés hídrico y en la Tabla 2.3 se presentan la caracterización de los suelos de la Quebrada Patumac.

Tabla 2.2. Cobertura actual Unidad hidrológica de La Quebrada Patumac

COBERTURA	ÁREA (m ²)	PORCENTAJE (%)
Arbustal y matorral denso alto de tierra firme (rastroy alto)	44268	0,94
Bosque natural denso alto de tierra firme	1338544	28,37
Misceláneo de pastos y cultivos	1603762	33,99
Pasto cultivado (pasto natural)	1455878	30,86
Zonas urbanas continuas	275980	5,85

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.3. Suelos característicos y determinación del grupo hidrológico Unidad hidrológica de La Quebrada Patumac.

CODIFICACIÓN SUELOS 2004	NOMBRE SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	TEXTURA	DRENAJE	GRUPO HIDROLÓGICO
MQAf1	Asociación Miraflores	Profunda (C-86), Profunda (D11)	Franco Arcillo Arenosa de los 0 a los 30 cm (C-86), Franca de los 0 a los 36 cm (D11)	Bien drenados	B
MQCe1	Asociación Fonda	Profunda (PO-41)	Franca de los 0 a los 43 cm (PO-41)	Bueno (PO-41)	B

Fuente: elaboración propia

Finalmente, con la información de cobertura vegetal y grupo hidrológico de suelos de cada polígono se determinó el valor de CN para cada uno de estos, el cual fue ponderado con respecto al área total de la unidad de codificación, para obtener el CN ponderado para cada unidad.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se dan en Tabla 2.4 y 2.5. Para una cuenca constituida por varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra se puede calcular un CN compuesto (Chow; Maidment y Mays, 1999).

Tabla 2.4. Valores de CN para varios tipos de uso del suelo

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	39	61	74	80
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	49	69	79	84
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	89	92	94	95
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	81	88	91	93
Distritos industriales (72% impermeables)				
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	78	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
lacre	20	51	68	79

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota:

¹Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, t 972, Cap. 9

² Una buena cubierta protegida por pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

³ Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

⁴ Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva. ⁵ En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.5. Valores de CN para varios tipos de uso del suelo en Cuencas

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosque (sembrados y cultivos)	Espaciado o de baja transpiración	45	66	77	83
	Normal	36	50	73	79
	Denso o de alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De Tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosque naturales	Muy Espaciados o de baja transpiración	56	75	86	91
	Espaciados o de baja transpiración aja Transpiración	46	68	78	84
	Normal	36	60	70	76
	Denso o de alta transpiración	26	52	62	69
	Muy denso o de alta transpiración	15	44	54	61
Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
Secanso (sin cultivo)	Surco recto	77	86	91	94
Cultivos de surco	Surco recto	70	80	87	90
	Surco en curvas a nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surco recto	64	76	84	88
	Surco en curvas a nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembradas con maquinaria o al voleo) potrero de rotación	Surco recto	62	75	83	87
	Surco en curvas a nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas a nivel, Pobre	47	67	81	88

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
	Curvas a nivel, Normal	25	59	75	83
	Curvas a nivel, Bueno	6	35	70	79
Potrero permanente	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100
Pastos, praderas, terrenos de hierbas-forraje continuo para pastar ^b	Pobre	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Bueno	34	61	74	80
Pradera- hierba continua, protegida de corte y generalmente segada para forraje		30	58	71	78
Matorral--matorrales-maleza-pasto mezclados con matorrales como el principal elemento	Pobre	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Bueno	30	48	65	73
Combinación de bosque y pastos. (Granja de árboles o huerto)	Pobre	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Granjas--Edificaciones, vías, caminos, y lotes alrededor		59	74	82	86

Fuente: elaboración propia

Una vez se haya establecido los valores de CN para cada tipo de suelo y tipo de cobertura vegetal, se procede a estimar la magnitud de las áreas que poseen estas características a fin de estimar el valor globalizado de este parámetro para cuenca. En la Tabla 2.6 se presenta Parámetros hidrológicos requeridos por los modelos SCS Número de Curva y SCS Hidrograma Unitario.

- **Retención potencial máxima (S).**

Representa el valor máximo de lluvia que la cuenca puede absorber. El cálculo de este parámetro se realizó mediante la siguiente expresión para cada una de las unidades de codificación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

CN = Número de curva de escorrentía

- **Índice de abstracción inicial (Ia)**

Representa la cantidad de agua que queda en el terreno antes de empezar a escurrir agua. Se ha encontrado que el índice de abstracción inicial es aproximadamente el 20% de la retención potencial máxima (S), la relación empírica propuesta es:

$$Ia = 0,2 S$$

- **Tiempo de retardo (T_{lag})**

En el análisis de hidrogramas de escurrimiento, el retardo es el tiempo medido desde el centro de masa de la lluvia efectiva hasta el instante de ocurrencia del caudal máximo del hidrograma de escurrimiento. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, con base en el estudio de muchos eventos de lluvia para un amplio rango de condiciones en cuencas hidrográficas, recomienda la siguiente relación empírica para calcular el tiempo de retardo en función del tiempo de concentración.

$$T_{lag} = 0,6 T_c$$

- **Modelo de recesión exponencial (Flujo base)**

El flujo base se estimó mediante el método de Soil Conservation Service (SCS), es aplicable en zonas donde no se tiene información de aforos con detalle suficiente que permita la obtención de hidrogramas de lluvia, Con este método se obtuvo la serie de caudales medio a partir de la serie de precipitación media de la estación más cercana, para este caso específico se utilizó la precipitación media mensual multianual de la estación Patumac. El método del Número de Curva fue elaborado por U.S. Soil Conservation Service y se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de lluvia, a partir de las características del suelo, uso del mismo y de su cobertura vegetal. La expresión utilizada para el cálculo del aporte de agua superficial es:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

Donde:

Q: Escorrentía superficial en mm

P: Lluvia en mm

S: Máxima infiltración en mm

Para obtener el valor de S se utiliza el Número de Curva y la expresión:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

A continuación, se presenta los parámetros hidrológicos que son requerido por los modelos SCS Número de Curva y SCS Hidrograma Unitario los cuales son tenidos en cuenta para el estudio hidrológico de la zona urbana del municipio de Versalles (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Parámetros hidrológicos requeridos por los modelos SCS Número de Curva y SCS Hidrograma Unitario

CODIFICACIÓN CUENCAS	T_{lag} (min)	CN	S (mm)	Ia (mm)	Q (m ³ /s)
WQPA01	18,58	61,81	156,94	31,39	0,0152
WQPM02	21,69	62,56	151,98	30,40	0,0101
WAQP03	20,32	66,13	130,11	26,02	0,0067
WQPB04	24,05	62,15	154,72	30,94	0,0118
WQMA05	20,34	62,88	149,96	29,99	0,0123

CODIFICACIÓN CUENCAS	Tlag (min)	CN	S (mm)	Ia (mm)	Q (m ³ /s)
WQMB06	19,44	77,78	72,57	14,51	0,0083

Nota: T_C: Tiempo de concentración; Tlag: Tiempo de demora = 0,60 T_C; CN: Numero de curva; S: Máximo potencial de retención; I_a: Abstracciones iniciales

Fuente: elaboración propia

2.3.3.2. Modelo meteorológico

Para definir la lluvia de diseño se utilizó las curvas de intensidad, frecuencia y duración IFD de la estación Santiago Gutiérrez, esto con el objetivo de generar los hietogramas de precipitaciones máximas para diferentes periodos de tiempo mediante el método de bloque alterno (Chow, 1994). El hietograma es la representación de la distribución temporal de la intensidad de las precipitaciones, para el caso de estudio se asumió una lluvia de 200 minutos de duración, para una intensidad asociado a tiempos de retorno (TR) de: 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Figura 1.16).

2.3.4. Resultados de la Simulación y Análisis Hidrológico de la Quebrada Patumac

El aporte de caudales de la quebrada Patumac depende directamente de las características edafológicas, morfológicas e hidroclimatológicas que influyen sobre el sistema de la microcuenca. Para la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS empleando el modelo del SCS se utilizó la información que se ha descrito previamente. En la Figura 2.3 se presenta el hidrograma de caudales máximos, para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años de la Quebrada Patumac hasta el sitio del cauce localizado aguas arriba antes de ingresar a casco urbano. En la Tabla 2.7 se presentan los caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico HEC – HMS.

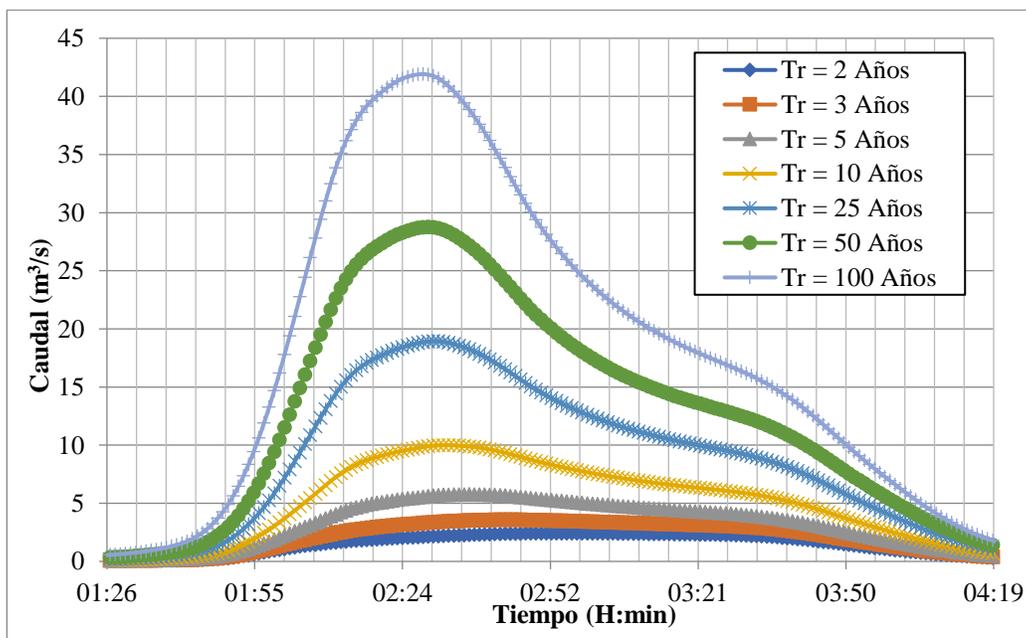


Figura 2.3. Hidrograma de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 Años Quebrada Patumac

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.7. Caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico Hec Hms. Quebrada Patumac.

ÁREA Q.DA PATUMAC Km ²	CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO							
	Tr (años)	2	3	5	10	25	50	100
4,72	Q (m ³ /s)	2,4	3,6	5,8	10,0	18,9	28,8	41,9
	Q (Lts/s)	2411,32	3574,04	5756,24	9991,52	18939,53	28765,03	41912,95

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2.4 se presenta el hidrograma de caudales máximos, para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años de la Quebrada Maraveles hasta el sitio del cauce localizado aguas arriba antes de ingresar a casco urbano. En la Tabla 2.8 se presentan los caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico HEC HMS.

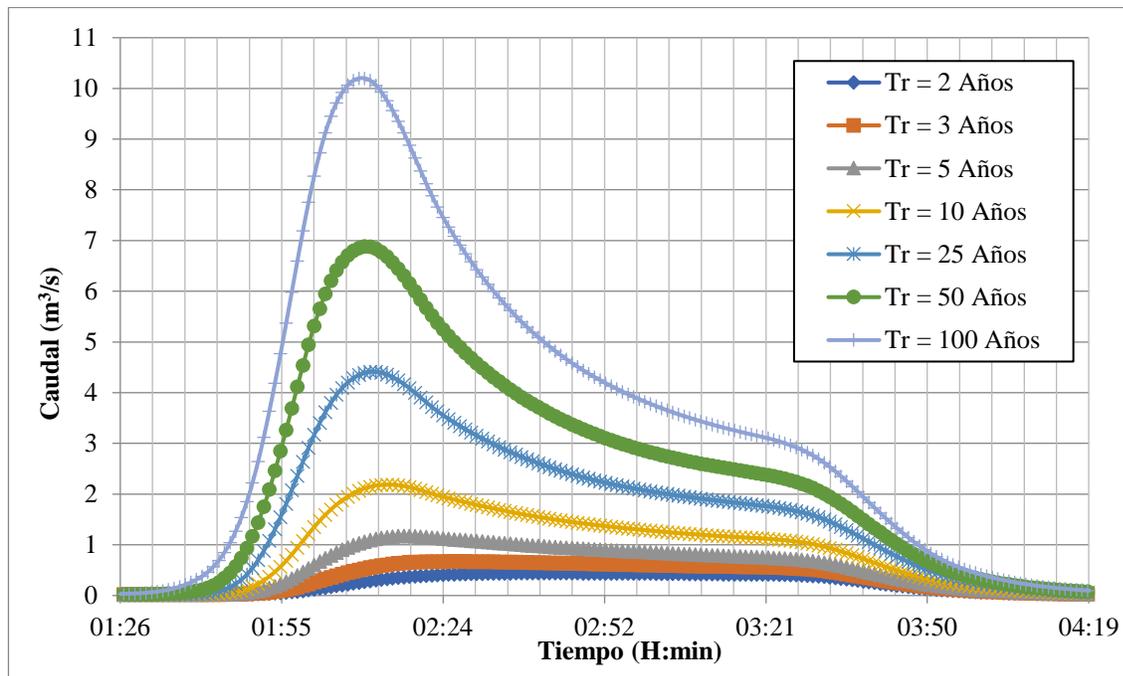


Figura 2.4. Hidrograma de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 Años Quebrada Maraveles

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.8. Caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico Hec Hms. Quebrada Maraveles.

ÁREA Q.DA MARAVELES Km ²	CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO							
	Tr (años)	2	3	5	10	25	50	100
0,95	Q (m ³ /s)	0,4	0,7	1,2	2,2	4,4	6,9	10,2
	Q (Lts/s)	440,46	672,31	1176,92	2187,73	4414,52	6884,73	10199,69

Fuente: elaboración propia

2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO QUEBRADA LAS OLIVAS

Con el fin de evaluar los caudales máximos sobre de La Quebrada Las Olivas, se consideró como punto de cierre de la Unidad de análisis un sitio de la quebrada localizado aguas arriba de donde inicia su recorrido por el casco urbano y zona de expansión y considerando tiempo de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años. A continuación, se presentan los parámetros morfométricos e hidrológicos calculados en la Quebrada Las Olivas, parámetro requeridos para la estimación de los caudales máximos.

2.4.1. Esquematación de la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Las Olivas

Para representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma (basin model), que refleje, de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En la Figura 2.5 se presenta un esquema general de la cuenca en estudio.

2.4.2. Parámetros morfométricos de las unidades de cuenca en que se dividió la Quebrada Las Olivas

Se realizó el trazado de la línea divisoria de la Quebrada Las Olivas hasta sitio o punto localizado aguas arriba antes de iniciar su recorrido por el casco urbano del Municipio de Versalles. En general, se conoce que las áreas de drenaje están determinadas por una línea imaginaria que une los puntos más altos y encierran las áreas de confluencia, estas líneas de divorcio de aguas que separan una cuenca de las circundantes se denominan divisorias de aguas o parte aguas. Una vez delimitado el parteaguas de la Quebrada Las Olivas, se procedió al cálculo de algunas características morfométricas como: el área de cada subcuenca, la longitud del cauce principal, el valor de las cotas aguas arriba y aguas abajo del cauce, la pendiente del cauce principal y los tiempos de concentración.

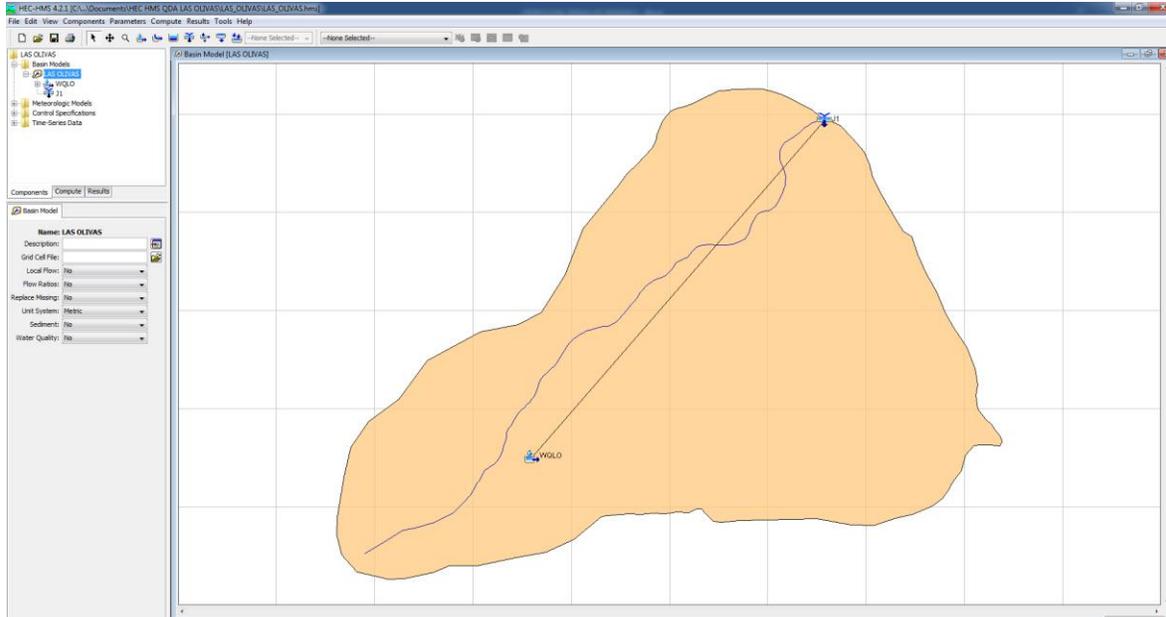


Figura 2.5. Esquema de la Quebrada Las Olivas para el modelo HEC-HMS

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2.9 se presentan los valores Morfométricos evaluados para cada una de las unidades de cuenca en que se dividió la cuenca de la Quebrada Las Olivas.

Tabla 2.9. Características morfométricas de la Quebrada Las Olivas

CODIFICACIÓN CUENCAS	ÁREA (km ²)	LONGITUD CAUCE (m)	ALTURA MÁXIMA (msnm)	ALTURA MÍNIMA (msnm)	DIFERENCIA DE ALTURA ΔH (m)	PENDIENTE MEDIA S (m/m)	Tc FORMULA TÉMEZ (min)
WQLO	1,60	1995	2130	1823	307	0,15	43,41

Fuente: elaboración propia

2.4.3. Evaluación de parámetros hidrológicos de la Quebrada Las Olivas

Los parámetros hidrológicos a calcular son los parámetros que requieren los modelos internos aplicados por el HEC-HMS y que son utilizados para la determinación del proceso de transferencia lluvia-caudal para el caso de modelación de eventos, como son los modelos de pérdidas (SCS Numero de Curva) y de transformación de excesos de lluvia en escorrentía (SCS Hidrograma Unitario), el análisis del flujo base (método de recesión) y el tránsito de los hidrogramas a través de los cauces principales (LAG). Estos parámetros hidrológicos se analizaron espacialmente implementando herramientas de SIG, a partir de los mapas temáticos de la zona de estudio y el modelo digital de elevaciones -DEM.

2.4.3.1. Modelo de pérdidas (SCS Número de Curva)

Para el cálculo del CN por unidades de cuenca en que se dividió la quebrada Las Olivas se utilizaron los mapas temáticos de uso actual del suelo y tipo de suelo. En la Tabla 2.10 se presenta la cobertura actual de la Quebrada Las Olivas hasta sitio de interés hídrico y en la Tabla 2.11 se presentan la caracterización de los suelos del Quebrada las Olivas.

Tabla 2.10. Cobertura vegetal actual del suelo en las Unidades Hidrológicas de la Quebrada Las Olivas.

COBERTURA	ÁREA (m ²)	PORCENTAJE (%)
Bosque natural denso alto de tierra firme	116426	7,27
Misceláneo de pastos y cultivos	724225	45,22
Pasto cultivado y pasto natural	620509	38,74
Zonas urbanas continuas	140543	8,77

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.11. Suelos característicos y determinación del grupo hidrológico Unidad hidrológica de La Quebrada Las Olivas.

CODIFICACIÓN 2004	NOMBRE SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	TEXTURA	DRENAJE	GRUPO HIDROLÓGICO
MQCe1	Asociación Fonda	Profunda (PO-41)	Franca de los 0 a los 43 cm (PO-41)	Bueno (PO-41)	B
MQCf1	Asociación Fonda	Profunda (PO-41)	Franca de los 0 a los 43 cm (PO-41)	Bueno (PO-41)	B

Fuente: elaboración propia

Finalmente, con la información de cobertura vegetal y grupo hidrológico de suelos de cada polígono se determinó el valor de CN para cada uno de estos el cual fue ponderado con respecto al área total de la unidad de codificación, para obtener el CN ponderado para cada unidad. Una vez se haya establecido los valores de CN para cada tipo de suelo y tipo de cobertura vegetal, se procede a estimar la magnitud de las áreas que poseen estas características a fin de estimar el valor globalizado de este parámetro para cuenca. En la Tabla 2.12 se presenta Parámetros hidrológicos requeridos por los modelos SCS Número de Curva y SCS Hidrograma Unitario.

Tabla 2.12. Parámetros hidrológicos requeridos por los modelos SCS Número de Curva y SCS Hidrograma Unitario en la cuenca de La Quebrada Las Olivas.

CODIFICACIÓN CUENCAS	Tlag (min)	CN	S (mm)	Ia (mm)	Q (m ³ /s)
WQLO	26,05	66,80	126,22	25,24	0,0247

T_c: Tiempo de concentración; Tlag: Tiempo de demora = 0,60 T_c; CN: Numero de curva; S: Máximo potencial de retención; I_a: Abstracciones iniciales

2.4.3.2. Modelo meteorológico

Para definir la lluvia de diseño se utilizó las curvas de intensidad, frecuencia y duración IFD de la estación Santiago Gutiérrez, esto con el objetivo de generar los hietogramas de precipitaciones máximas para diferentes periodos de tiempo mediante el método de bloque alterno (Chow, 1994). El hietograma es la representación de la distribución temporal de la intensidad de las precipitaciones, para el caso de estudio se asumió una lluvia de 200 minutos de duración, para una intensidad asociado a tiempos de retorno (TR) de: 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Figura 1.16).

2.4.4. Resultados de la Simulación y Análisis Hidrológico de la Quebrada Las Olivas

El aporte de caudales de la Quebrada Las Olivas, depende directamente de las características edafológicas, morfológicas e hidroclimatológicas que influyen sobre el sistema de la microcuenca. Para el uso del Paquete computacional HEC - HMS con el modelo del SCS, se utilizó la información que se ha descrito en forma precedente. En la Figura 2.6 se presenta el hidrograma de caudales máximos, para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años de la Quebrada Las Olivas hasta el sitio del cauce localizado aguas arriba antes de ingresar a casco urbano. En la Tabla 2.13 se presentan los caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico HEC HMS.

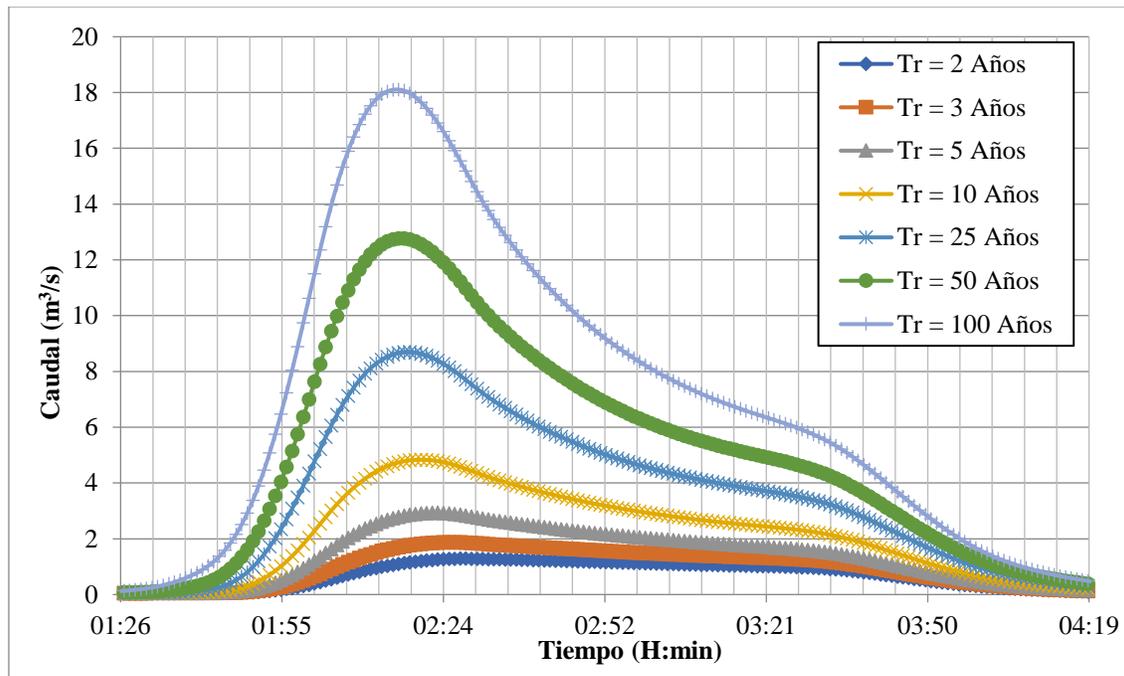


Figura 2.6. Hidrograma de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 Años Quebrada Las Olivas

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.13. Caudales máximos para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años generados con el modelo hidrológico HEC-HMS de la Quebrada Las Olivas.

ÁREA Q.DA LAS OLIVAS Km ²	CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO							
	Tr (años)	2	3	5	10	25	50	100
1,60	Q (m ³ /s)	1,3	1,9	2,9	4,8	8,7	12,8	18,1
	Q (Lts/s)	1283,52	1874,3	2925,67	4833,95	8692,09	12769,51	18106,03

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIÓN

Analizando la información de la estación climática más cercana al municipio de Versalles se puede considerar lo siguiente:

La temperatura media en el Municipio de Versalles varía entre los 19,7 °C (en los meses de octubre y noviembre) y los 20,2 °C (en los meses de enero, febrero, marzo, abril y junio), presentando un valor promedio mensual multianual de 20,0 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 28,5°C y los 30,0°C, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 29,4°C. Los valores de temperatura mínima oscilan entre los 13,3°C y los 14,2°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínimas de 13,7°C.

El promedio mensual de horas de brillo solar en el Municipio de Versalles varía a lo largo del año, este valor oscila entre 104 horas a 157 horas, los valores más altos de horas de brillo solar se presentan en el mes de julio, mientras que los valores más bajos de horas de brillo solar se presentan en los meses de octubre y noviembre. En el Municipio de Versalles se presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 122 horas.

La humedad relativa media mensual varía entre 86% y 89%, y presenta un valor promedio mensual de 87%. En los meses de agosto y septiembre se presentan los registros más bajos (86%), y en el mes de noviembre se registran los valores de humedad relativa más altos (89%).

La mayor evaporación media mensual se presenta en el mes de julio con un valor de 92 mm/mes, mientras que los valores más bajos se presentan en el mes de noviembre con un valor medio de 71 mm/mes, presentando un valor promedio mensual de 81 mm/mes.

El municipio de Versalles presenta un régimen de precipitaciones de tipo bimodal, registrando las mayores precipitaciones en los periodos comprendidos por los meses de marzo a mayo y por los meses de septiembre a noviembre, siendo el mes de octubre el de mayor precipitación con un valor de 167,26 mm/mes. Las precipitaciones más bajas se registran en el periodo comprendido entre los meses de junio a agosto y entre los meses de enero a febrero incluyendo el mes de diciembre, siendo el mes de enero el de menor precipitación con un valor de 66,84 mm/mes. El Municipio de Versalles presenta un valor promedio mensual de precipitación de 109,62 mm/mes y una precipitación anual de 1315 mm/año.

Para la estimación de las máximas precipitaciones para 24 horas, 48 horas y 72 horas se consideró toda la serie de registros diaria de las estaciones localizadas en la zona de estudio, los valores de P24h, P48h y P72h que se obtuvieron en el municipio de Versalles fueron de: 142.82 mm, 168.52 mm y 183.11 mm respectivamente, mientras que para la zona urbana se obtuvieron los siguientes valores: 119.91 mm, 136.79 mm y 150.83 mm.

Con la información de precipitación máxima anual de 3 estaciones localizadas en el municipio de Versalles, se calcularon las precipitaciones máximas para periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, en donde la función de probabilidad que mejor se ajustó fue la Log Pearson III, a continuación, se presentan los resultados obtenidos: los valores de precipitación máxima para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años obtenidos con la información de la estación

Patumac presentaron los siguientes resultados: 50.33 mm (Tr = 2 Años), 67.00 mm (Tr = 5 Años), 78.18 mm (Tr = 10 Años), 92.50 mm (Tr = 25 Años), 103.32 mm (Tr = 50 Años), 114.29 mm (Tr = 100 Años) y 125.49 mm (Tr = 200 Años), los valores de precipitación máxima para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años obtenidos con la información de la estación La Arabia presentaron los siguientes resultados: 53.55 mm, 69.46 mm, 79.92 mm, 93.13 mm, 102.98 mm, 112.87 mm y 122.88 mm. Finalmente, los valores de precipitación máxima para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años obtenidos con la información de la estación El Balsal presentaron los siguientes resultados: 60.80 mm, 82.13 mm, 96.61 mm, 115.31 mm, 129.54 mm, 144.03 mm y 158.90 mm.

Los caudales máximos correspondiente a periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años de las quebradas Patumac, Maraveles y Las Olivas, cauces que pasan por el casco urbano del municipio de Versalles, se estimaron mediante modelación hidrológica utilizando el programa HEC HMS, obteniendo los siguientes resultados: los caudales máximos obtenidos en la Quebrada Patumac para periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años fueron de: 2.4 m³/s, 5.8 m³/s, 10.0 m³/s, 18.9 m³/s, 28.8 m³/s y 41.9 m³/s respectivamente, los caudales máximos obtenidos en la Quebrada Maraveles para periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años fueron de: 0.4 m³/s, 1.2 m³/s, 2.2 m³/s, 4.4 m³/s, 6.9 m³/s y 10.2 m³/s. Finalmente los caudales máximos obtenidos en la Quebrada Las Olivas para periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años fueron de: 1.3 m³/s, 2.9 m³/s, 4.8 m³/s, 8.7 m³/s, 12.8 m³/s y 18.1 m³/s.

REFERENCIA

- American Iron And Steel Institute (1971). Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products, second edition, New York.
- American Iron And Steel Institute (1981). Manual de Productos de Acero Para Drenaje y Construcción Vial. Armco International Division. Middletown, Ohio.
- Carciente, J., Garcia. B. y Serrano, P (1977). Drenaje de Carreteras, Manual de Estructuras Típicas. Ediciones Vega s.r.l., Madrid.
- Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos (1994). McGraw Hill, Bogotá DC. Colombia
- Comision Federal de Electricidad (1969). Manual de Diseño de Obras Civiles, Instituto de Investigación de la Industria Electrica. México.
- Federal Highway Administration (1993). Evaluating Scour at Bridges, Secon Edition. Hidraulic Engineering Circular No. 18, U.S. Department of Transportation, McLean, Virginia, abril.
- Higuera, C. y Perez, G. Socavación en Puentes. Análisis, prevención y rehabilitación. Universidad del Cauca, Popayán, 1992.
- Hoggan, D (1989). Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, McGraw Hill, New York.
- Soil Conservation Service -SCS (1972). SCS National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, U.S. Department of Agriculture, agosto.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. Urban Hydrology for Watersheds, Tecnical Release No. 55, U.S. Department of Agriculture, enero 1975.
- The Asphalt Institute (1966). Drainage of Asphalt Pavements Structures, Manual Series No. 15, Maryland, mayo.
- The Fluvial System by Stanley A Schumm (1977). Wiley Interscience Publication Department of Earth Resources. Colorado State University, Colorado.
- U.S. Army Corps of Engineers (1991). Flood Hydrograph Package HEC-1, User Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- U.S. Army Corps of Engineers (1995). River Analysis System HEC-RAS, User Manual-Draft, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- U.S. Army Corps of Engineers (1991). Water Surface Profiles HEC-2, User Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- Viessman, W. Jr., Lewis, G. y Knapp J (Sf) Introduction to Hydrology. Harper Collins, New Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays (1999). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.