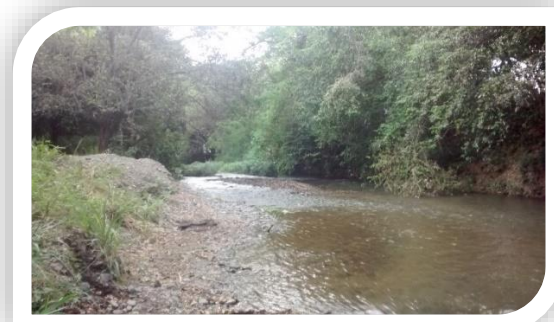


**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 0205 DE 2017
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLÍVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES**



Hidrología para la zonificación de amenazas por inundación de la zona urbana del
Municipio de Bolívar
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 de la Administración Municipal por la información suministrada, se agradece a la CVC y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM por red climatológica , además se agradece 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 Bolívar, 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 BOLÍVAR.....	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	16
1.1.2.3. HUMEDAD RELATIVA	17
1.1.2.4. EVAPORACIÓN.....	18
1.1.2.5. VELOCIDAD DE VIENTO.....	19
1.1.2.6. PRECIPITACIÓN.....	20
1.1.2.6.1. ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES	20
1.1.2.6.2. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS	25
1.1.2.6.3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	29
1.1.2.6.4. CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN IFD Y TORMENTA DE DISEÑO.....	32
2. ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO DE LAS UNIDADES HIDROLOGICAS QUE ATRAVIESAN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BOLÍVAR.....	35
2.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....	35
2.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO HEC – HMS.....	36
2.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ZANJÓN GUABINEROS	37
2.3.1. ESQUEMATIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA	37
2.3.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS UNIDADES DE CUENCA EN QUE SE DIVIDIÓ EL ZANJÓN GUABINEROS.....	37
2.3.2.1. PENDIENTE DEL CAUCE MÉTODO DE LAS ELEVACIONES EXTREMAS	38
2.3.2.2. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN FORMULA DE TÉMEZ.....	38
2.3.3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS GUABINEROS	39
2.3.3.1. MODELO DE PÉRDIDAS (SCS NÚMERO DE CURVA)	39
2.3.3.2. MODELO METEOROLÓGICO.....	45
2.3.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL ZANJÓN GUABINEROS	46
2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ZANJÓN EL RINCÓN.....	47
2.4.1. ESQUEMATIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA	47
2.4.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS UNIDADES DE CUENCA EN QUE SE DIVIDIÓ EL ZANJÓN EL RINCÓN.....	47
2.4.2.1. PENDIENTE DEL CAUCE MÉTODO DE LAS ELEVACIONES EXTREMAS	48
2.4.2.2. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN FORMULA DE TÉMEZ.....	48
2.4.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL ZANJÓN EL RINCÓN	49
CONCLUSIÓN	51
REFERENCIA	53

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 LAS ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA	13
TABLA 1.3. RESUMEN DE PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS	21
TABLA 1.4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MUNICIPIO DE BOLÍVAR	23
TABLA 1.5. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA 24 HORAS, 48 HORAS Y 72 HORAS CON INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES LOCALIZADAS EN INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE BOLÍVAR ..	25
TABLA 1.6. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN LA HERRADURA	29
TABLA 1.7. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL AGUACATE	30
TABLA 1.8. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN MONTECRISTO	31
TABLA 1.9. VALORES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON INTERVALOS DE TIEMPO DE 10 MINUTOS, CONSTRUIDAS A PARTIR DE LAS CURVAS IFD. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN	34
TABLA 2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS EN QUE SE DIVIDIÓ EL ZANJÓN GUABINEROS.....	39
TABLA 2.2. COBERTURA ACTUAL UNIDAD HIDROLÓGICA DEL ZANJÓN GUABINEROS	41
TABLA 2.3. SUELOS CARACTERÍSTICOS Y DETERMINACIÓN DEL GRUPO HIDROLÓGICO UNIDAD HIDROLÓGICA DEL ZANJÓN GUABINEROS.....	41
TABLA 2.4. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO	42
TABLA 2.5. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO EN CUENCAS.....	43
TABLA 2.6. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS REQUERIDOS POR LOS MODELOS SCS NÚMERO DE CURVA Y SCS HIDROGRAMA UNITARIO	45
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 ZANJÓN GUABINEROS	46
TABLA 2.8. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS EN QUE SE DIVIDIÓ EL ZANJÓN EL RINCÓN	49
TABLA 2.9. CAUDALES MÁXIMOS PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS, GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS. ZANJÓN EL RINCÓN	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. UNIDADES HIDROLÓGICAS QUE ATRAVIESAN POR EL CASCO URBANO Y ZONA DE EXPANSIÓN DEL MUNICIPIO DE BOLÍVAR – RIO PESCADOR	11
FIGURA 1.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS	14
FIGURA 1.3. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA –ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN .	15
FIGURA 1.4. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA –ESTACIÓN TIERRABLANCA	16
FIGURA 1.5. HISTOGRAMA DE BRILLO SOLAR – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA.....	17
FIGURA 1.6. HISTOGRAMA DE HUMEDAD RELATIVA – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA	18
FIGURA 1.7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA.....	19
FIGURA 1.8. HISTOGRAMA DE VELOCIDAD DE VIENTO – ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN.....	20
FIGURA 1.9. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO.....	22
FIGURA 1.10. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL MUNICIPIO DE BOLÍVAR.....	24
FIGURA 1.11. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS MUNICIPIO DE BOLÍVAR.....	26
FIGURA 1.12. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 48 HORAS MUNICIPIO DE BOLÍVAR.....	27
FIGURA 1.13. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 72 HORAS MUNICIPIO DE BOLÍVAR.....	28
FIGURA 1.14. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN LA HERRADURA.....	30
FIGURA 1.15. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL AGUACATE	31
FIGURA 1.16. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN MONTECRISTO	32
FIGURA 1.17. CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN CON DATOS DE LA ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN. FUENTE IDEAM, AÑO 2016	33
FIGURA 2.1. ESQUEMA DE LAS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE UTILIZA EL HEC-HMS 4.1.0 PARA REPRESENTAR UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. FUENTE. ADAPTADO DE HEC, 2000	36
FIGURA 2.2. ESQUEMA DEL ZANJÓN GUABINEROS PARA EL MODELO HEC-HMS	38
FIGURA 2.3. HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS ZANJÓN GUABINEROS.....	46
FIGURA 2.4. ESQUEMA DEL ZANJÓN EL RINCÓN PARA EL MODELO HEC-HMS	48
FIGURA 2.5. HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS ZANJÓN EL RINCÓN.....	50

INTRODUCCIÓN

El presente informe es resultado del trabajo realizado por el grupo de Hidrología en el Municipio de Bolívar en 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, 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 Bolívar. Dentro de las corrientes hídricas analizadas se destacan: el río Pescador, y los zanjones Guabineros y el Rincón. Para el desarrollo del estudio hidrológico y el cálculo de caudales máximos se consideró como frontera o punto de cierre de las Unidades Hidrológicas analizadas el sitio en donde inicia los primeros asentamientos localizado aguas arriba de las zonas urbana y de expansión del municipio de Bolívar; 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 Centro Administrativo La Unión del año 2016, las cuales están disponibles en la página del IDEAM. 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 Bolívar 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 y de esta manera poder identificar las áreas o zonas inundables y determinar la amenaza por inundaciones.

El informe se estructura en dos (2) capítulos:

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

1. CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE BOLÍVAR

La caracterización climática e hidrológica del municipio de Bolívar 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 Bolívar en la Figura 1.1 se muestra las imágenes del río Pescador el cual es el unidad hidrológica que atraviesa el municipio.



Figura 1.1. Unidades hidrológicas que atraviesan por el casco urbano y zona de expansión del municipio de Bolívar – Río Pescador

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.

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.

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 21 estaciones de las cuales: una estación es climatológica, una estación es pluviográfica, una estación es meteorológica, una estación es Evaporimétrica y 17 son pluviométricas, localizadas en zona de influencia del proyecto. La información general de las estaciones se presenta en la siguiente 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	CÓDIGO	TIPO	ENTIDAD	CORRIENTE	COORDENADAS PLANAS		ELEVACIÓN
					Este	Norte	
Bolívar	26110040	PM	IDEAM	Pescador	1098466	972052	916
Higuerón	26110060	PM	IDEAM	Cauca	1106642	985745	915
Higueroncito	26110100	PM	IDEAM	Cauca	1108490	987591	920
Tierrablanca	26115030	CO/PM	IDEAM	Cauca	1108499	980218	930
Sabanazo	26115020	EV	CVC	Q.da La Unión	1103028	994446	1643
Patumac	54030010	PM	IDEAM	Garrapatas	1097184	997475	1640
Lituania	54030030	PM	IDEAM	Garrapatas	1080126	989244	1870
La Arboleda	26110290	PM	IDEAM	Cauca	1109192	992931	942
Isugu	26110230	PG	IDEAM	Cauca	1108434	980439	908
Candelaria	26115080	ME	IDEAM	Cauca	1110722	987327	901
Cent Admo La Unión	26115040	CP	IDEAM	Cauca	1112682	992899	920
El Retiro	26110170	PM	CVC	Pescador	1093500	977912	1655
Montecristo	26110180	PM	CVC	RUT	1098279	980253	1357
Betania	54030090	PM	CVC	Garrapatas	1085330	982350	1750
La María	54030140	PM	CVC	Garrapatas	1085844	994581	1410
Pto Nuevo	54030150	PM	CVC	Garrapatas	1089824	1000059	959
El Porvenir	26110050	PM	CVC	RUT	1106652	994155	996
El Aguacate	26110360	PM	CVC	RUT	1097307	977785	1394
El Lucero	26110380	PM	CVC	RUT	1107427	990958	976
El Orégano	26110390	PM	CVC	RUT	1100211	984030	1358
La Despensa	26110450	PM	CVC	RUT	1103282	990594	1342

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 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, velocidad de viento y precipitación, utilizando los registros mensuales multianuales principalmente de las dos estaciones climatológicas Centro administrativo la Unión y Tierrablanca, la cuales esta localizadas dentro o en inmediaciones del municipio de Bolívar, 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 las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

ESTACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES MENSUALES											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Cent. Admo La Unión	HR	%	72	71	72	75	77	75	71	69	72	74	75	74
	TMAX	°C	33,9	34,4	34,5	33,7	32,8	33	33,9	34,5	34,1	32,9	32,3	32,6
	TMED	°C	24,5	24,7	24,8	24,5	24,1	24,1	24,5	24,7	24,4	23,7	23,7	24
	TMIN	°C	16,3	16,3	16,6	17,1	17,4	16,5	16,1	16,1	16,3	16,6	16,7	16,5
	BST	Horas	159	142	157	134	142	144	187	184	151	139	136	143
	EVPT	mm/mes	154	155	164	142	136	133	162	169	157	144	130	133
	VV	m/s	1,5	1,7	1,6	1,3	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,3	1,3
Tierrablanca	HR	%	72	71	71	74	76	75	71	71	72	76	76	74
	TMAX	°C	33,5	33,9	34,4	33,7	32,8	32,9	33,8	34,1	33,6	32,5	32,2	32,7
	TMED	°C	24,5	24,7	24,8	24,5	24,2	24,3	24,5	24,6	24,4	23,8	23,8	24,2
	TMIN	°C	16,7	17,3	17,1	17,4	17,4	16,9	16,2	16,7	16,8	16,7	16,7	16,7
	BST	Horas	194	164	180	149	156	173	209	187	171	152	158	177
	EVPT	mm/mes	147	138	151	135	122	129	152	155	148	131	120	121

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

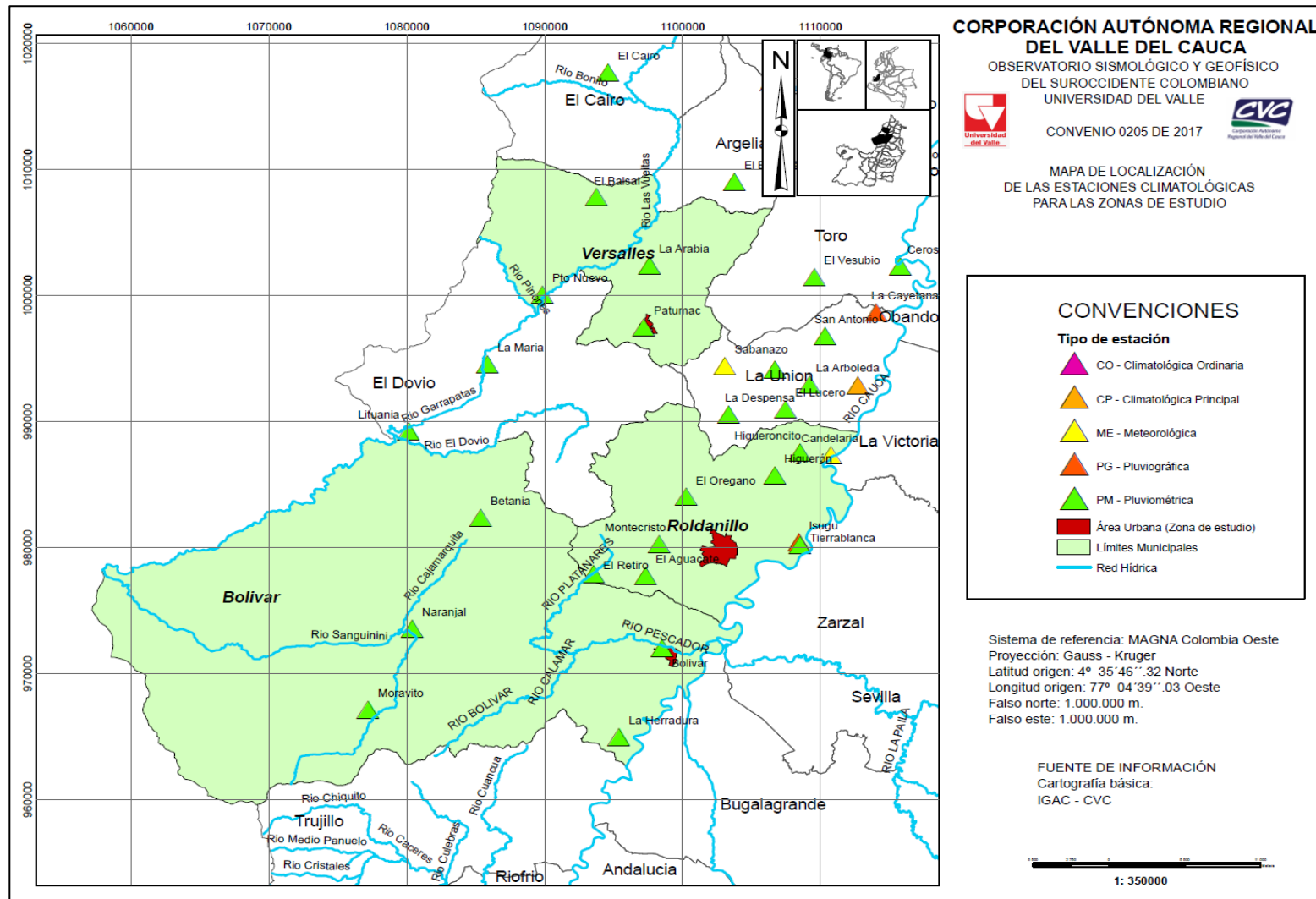


Figura 1.2. Distribución espacial de las estaciones hidroclimatológicas
Fuente: elaboración propia

1.1.2.1. Temperatura Media

La temperatura del aire es una característica climatológica 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 planeta 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 las Figura 1.3 y 1.4 se presentan los histogramas de temperaturas medias mensuales (mínimas, medias y máximas) en las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca.

En la Figura 1.3 se observa que la estación Centro Administrativo La Unión registra valores de temperatura media que varían entre los 23,7 °C (en los meses de octubre y noviembre) y los 24,8 °C (en el mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,3 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 32,3°C y los 34,5°C, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 33,6°C. Los valores de temperatura mínima en la estación Centro Administrativo La Unión oscilan entre los 16,1°C y los 17,4°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínimas de 16,5°C.

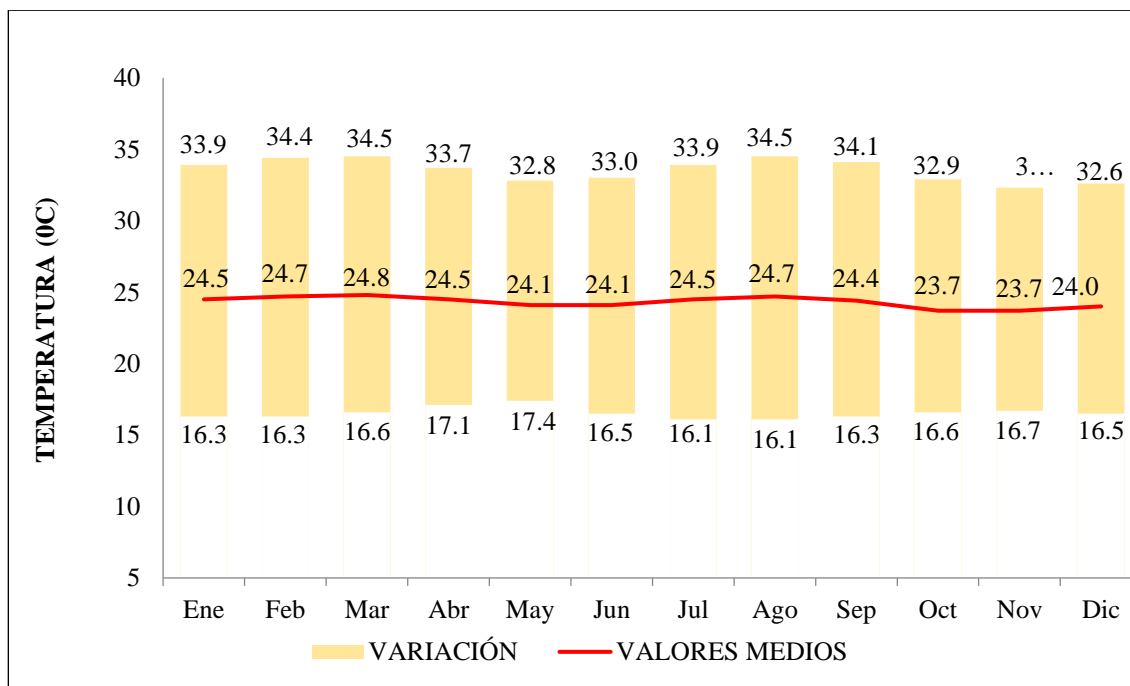


Figura 1.3. Histograma de Temperatura –Estación Centro Administrativo La Unión

Fuente: elaboración propia

En la Figura 1.4 se presenta el histograma de temperaturas que se registran en la estación Tierrablanca, los valores de temperatura media registrados varían entre los 23,8 °C (en los meses de octubre y noviembre) y los 24,8 °C (mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,4 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 32,2°C y

los 34,4°C, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 33,3°C. Los valores de temperatura mínima en la estación Tierrablanca oscilan entre los 16,2°C y los 17,4°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínimas de 16,9°C.

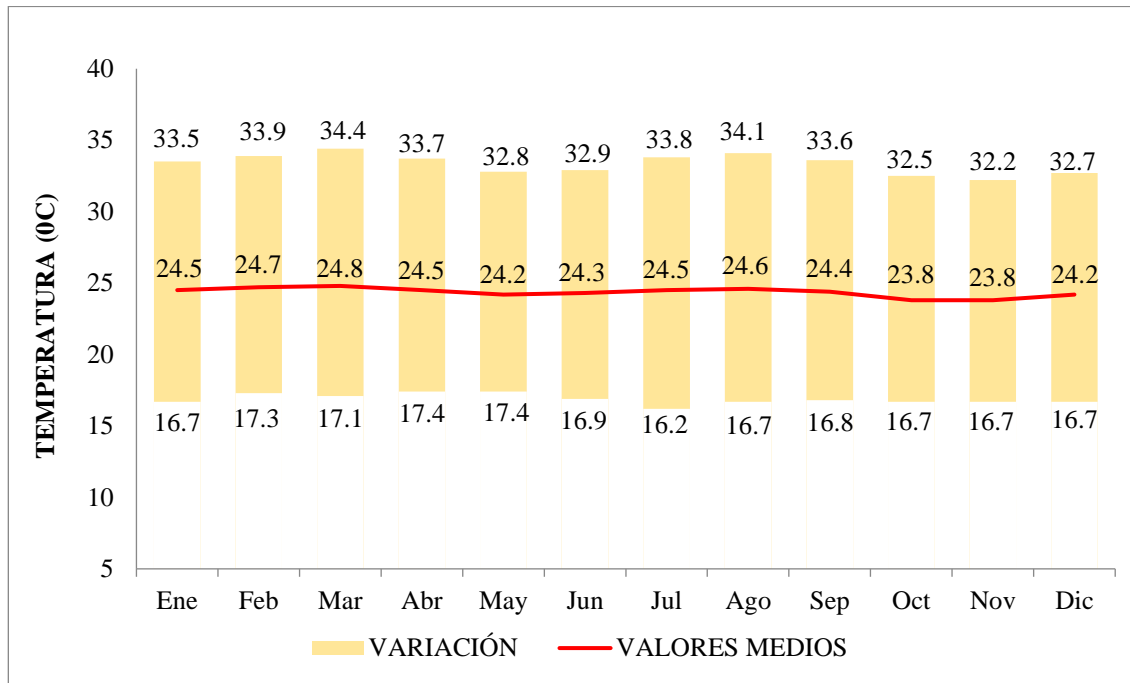


Figura 1.4. Histograma de Temperatura –Estación Tierrablanca
Fuente: elaboración propia

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 1.5 se presenta el histograma de brillo solar, obtenido con información de las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca.

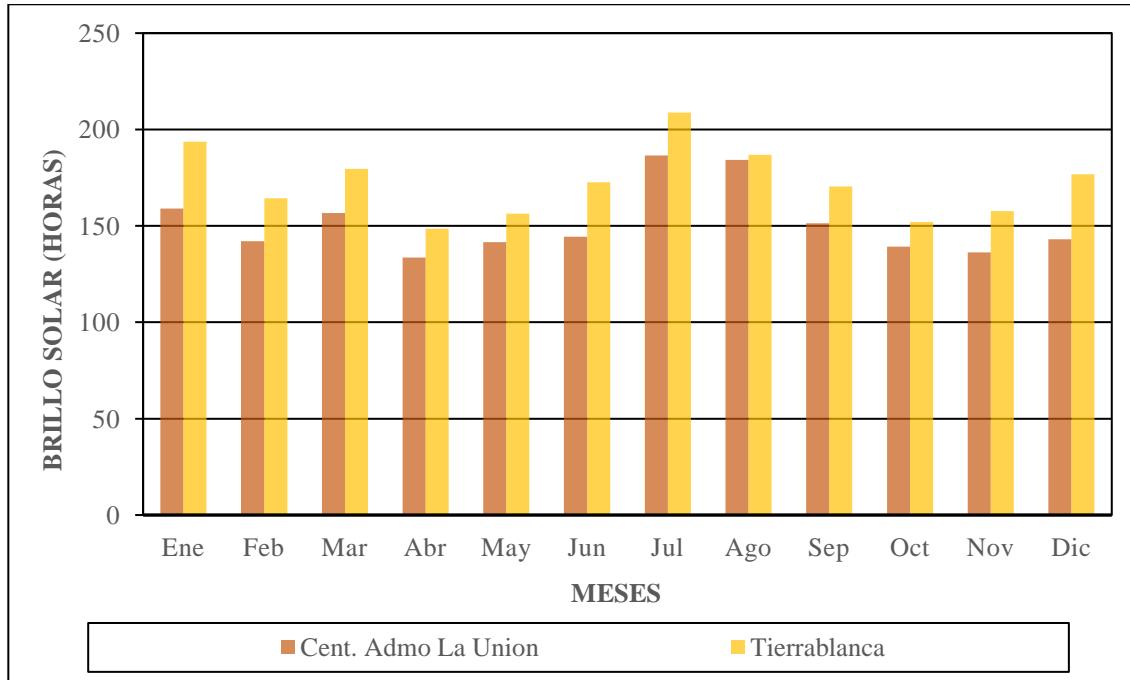


Figura 1.5. Histograma de Brillo Solar – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la información analizada, en la estación Centro Administrativo La Unión el promedio mensual de horas de brillo solar varía a lo largo del año, este valor oscila entre 134 horas a 187 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 el mes de abril. La estación Centro Administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 152 horas. En la estación Tierrablanca el promedio mensual de horas de brillo solar oscila entre 149 horas a 209 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 el mes de abril. La estación Tierrablanca presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 172 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 1.6 se presenta los valores medios mensuales de Humedad relativa de las estaciones: Centro administrativo La Unión Y Tierrablanca.

Para el caso de la estación Centro administrativo La Unión el mayor porcentaje de humedad relativa se registra en el mes de mayo con un porcentaje de humedad relativa de 77%, mientras que el mes con menor porcentaje de humedad relativa es agosto con un valor de porcentaje de humedad del 69%, la estación Centro administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de humedad relativa de 73%. La estación Tierrablanca reporta valores de humedad relativa media mensual que

oscila entre 71% y 76 %, y presenta un valor promedio mensual de 73%. En los meses de febrero, marzo, julio y agosto se presentan los registros más bajos, y en los meses de mayo, octubre y noviembre se registran los valores más altos.

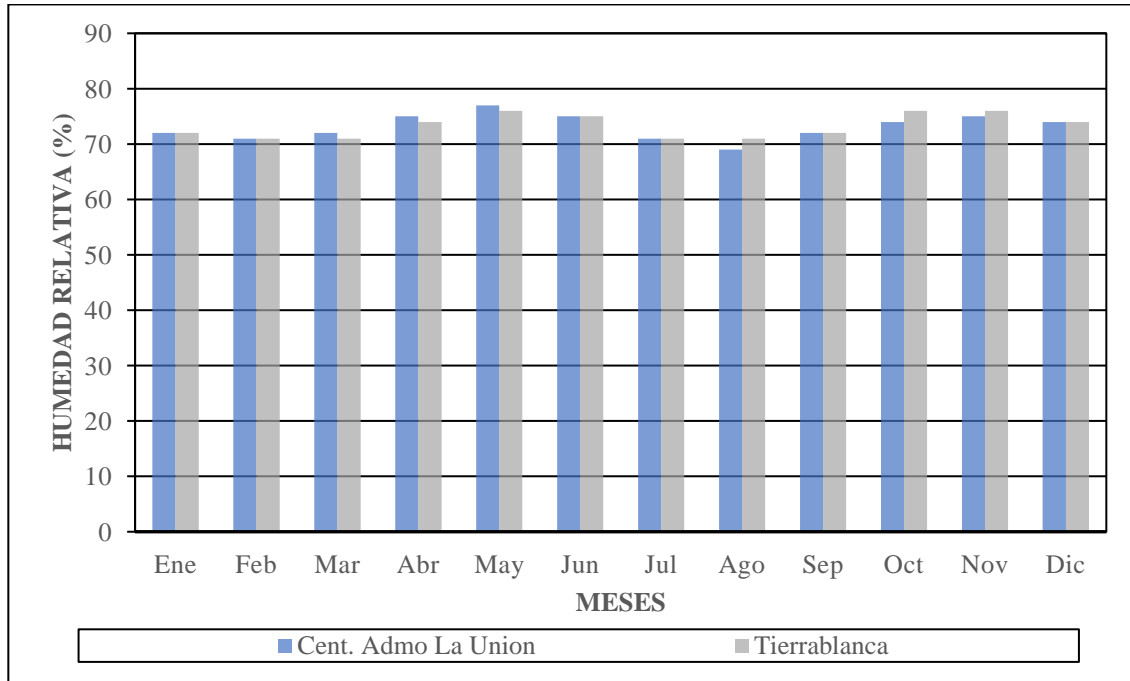


Figura 1.6. Histograma de Humedad Relativa – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

Fuente: elaboración propia

1.1.2.4. Evaporación

En la Figura 1.7 se presentan los valores promedios mensuales multianuales de Evaporación Total registrados en las estaciones Centro administrativo La Unión Y Tierrablanca. Figura 1.7 se puede observar que para la estación Centro administrativo La Unión los mayores valores de evaporación se presentan en el mes de agosto con un valor de 169 mm/mes, mientras que los valores más bajos se presentan en el mes de noviembre con un valor medio de 130 mm/mes, la estación Centro administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de 148 mm/mes. Mientras que para la estación Tierrablanca, los mayores valores de evaporación se presentan en el mes de agosto con un valor de 155 mm/mes, mientras que los valores más bajos se presentan en el mes de noviembre con un valor medio de 120 mm/mes, la estación Tierrablanca presenta un valor promedio mensual de 137 mm/mes.

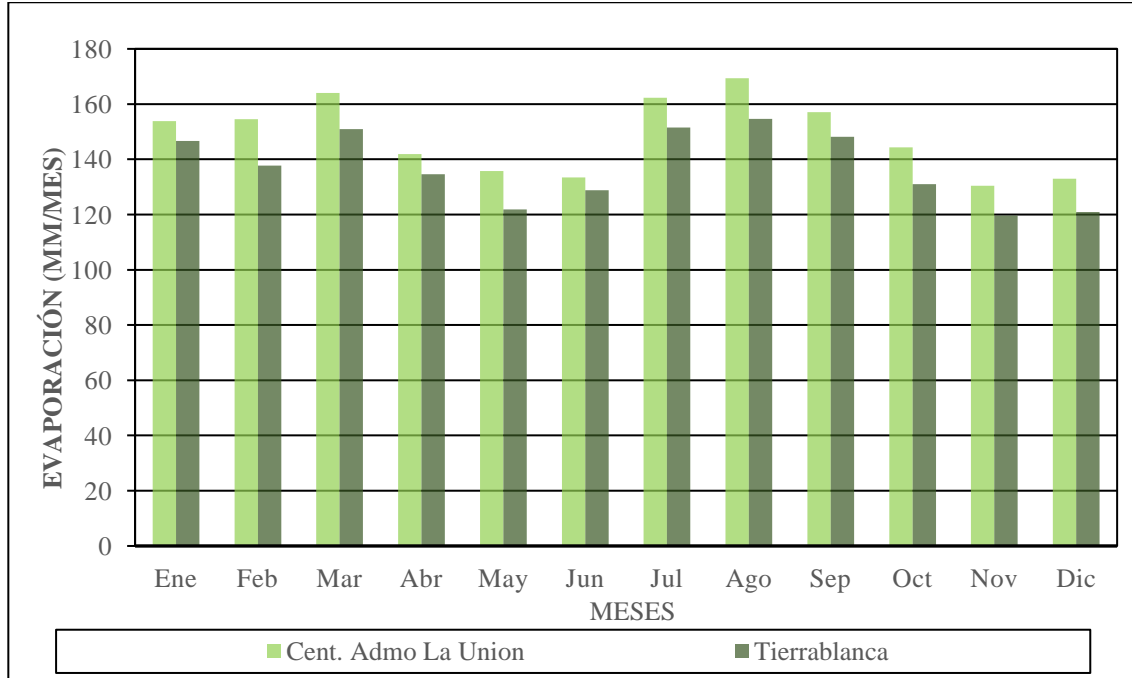


Figura 1.7. Distribución mensual de la evaporación – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

Fuente: elaboración propia

1.1.2.5. Velocidad de Viento

En la Figura 1.8 se presentan los valores promedios mensuales multianuales de velocidad de viento registrados en la estación Centro Administrativo La Unión. En ella se puede observar que para la estación Centro Administrativo La Unión los mayores valores de velocidad de viento se presentan en el mes de febrero con un valor de 1,7 m/s, mientras que los valores más bajos se presentan en los meses de mayo y junio con un valor medio de 1,2 m/s, la estación Centro Administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de 1,4 m/s.

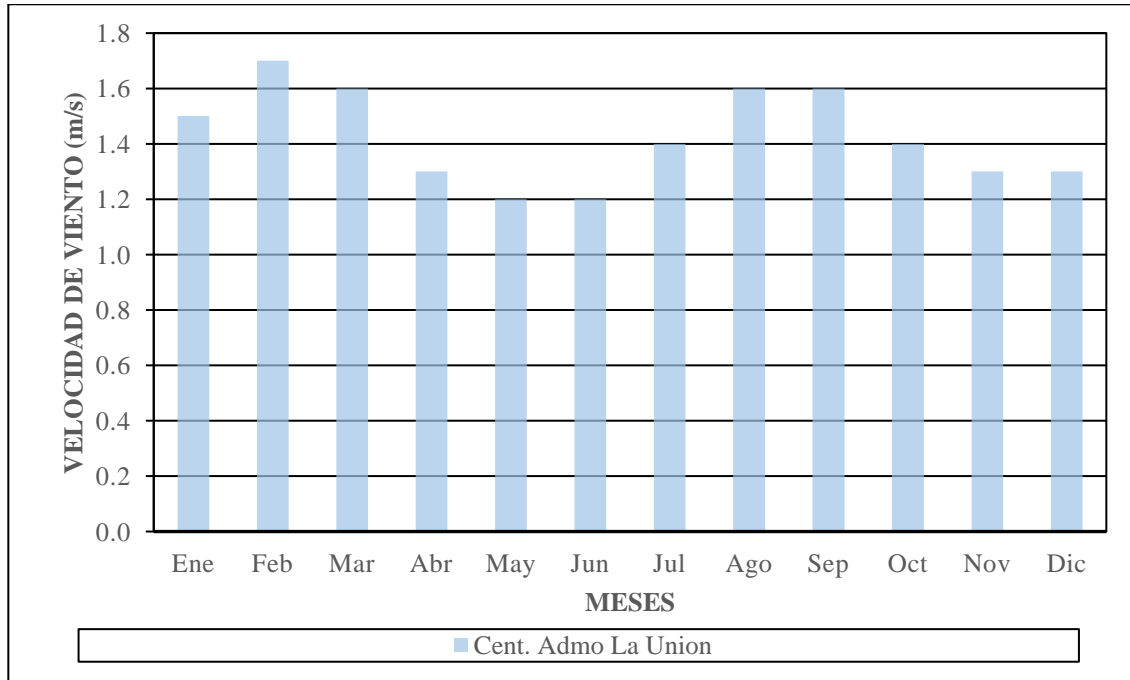


Figura 1.8. Histograma de Velocidad de Viento – Estación Centro Administrativo La Unión
Fuente: elaboración propia

1.1.2.6. 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 1.1, 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.

1.1.2.6.1. 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 1.9 se presenta la distribución temporal de la precipitación total de las estaciones que se encuentran cercanas a la zona urbana del municipio de Bolívar

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
Bolívar	47	56	91	146	130	69	59	52	93	132	121	80	1076
Lituania	76	64	78	103	107	58	46	51	88	191	197	90	1151
Cent Admo La Unión	49	68	93	147	133	83	78	72	102	120	105	59	1109
Patumac	68	89	118	171	135	91	70	78	131	182	160	93	1386
Sabanazo	63	74	97	146	110	74	65	62	90	147	139	83	1151
Isugu	36	60	86	134	127	71	75	62	96	116	103	65	1030
El Retiro	92	89	123	207	155	91	69	63	119	197	200	148	1554
Montecristo	76	89	113	168	147	86	66	57	105	177	162	109	1355
El Porvenir	44	65	94	143	115	74	70	64	97	130	128	73	1099
La Arboleda	41	69	102	161	139	78	71	72	103	130	127	65	1159
La Despensa	36	58	81	128	114	64	43	44	75	129	109	61	945
El Aguacate	74	99	134	184	158	87	77	63	122	185	188	127	1499
El Lucero	52	74	110	176	159	88	79	67	112	162	156	84	1318
El Orégano	56	76	92	154	122	80	67	59	101	133	124	74	1139
Candelaria	45	62	93	143	121	71	69	55	98	125	101	66	1048
Betania	73	78	105	169	164	116	89	78	127	190	174	111	1474
La María	50	65	80	136	119	84	49	47	77	132	128	58	1025
Pto Nuevo	60	71	97	109	98	68	55	46	76	152	162	94	1087
Higuerón	42	58	85	136	114	65	66	52	92	118	102	65	994
Higueroncito	39	56	84	136	117	65	63	55	85	125	98	61	984
Tierrablanca	42	58	85	133	124	73	72	59	99	116	104	64	1028

Fuente: elaboración propia

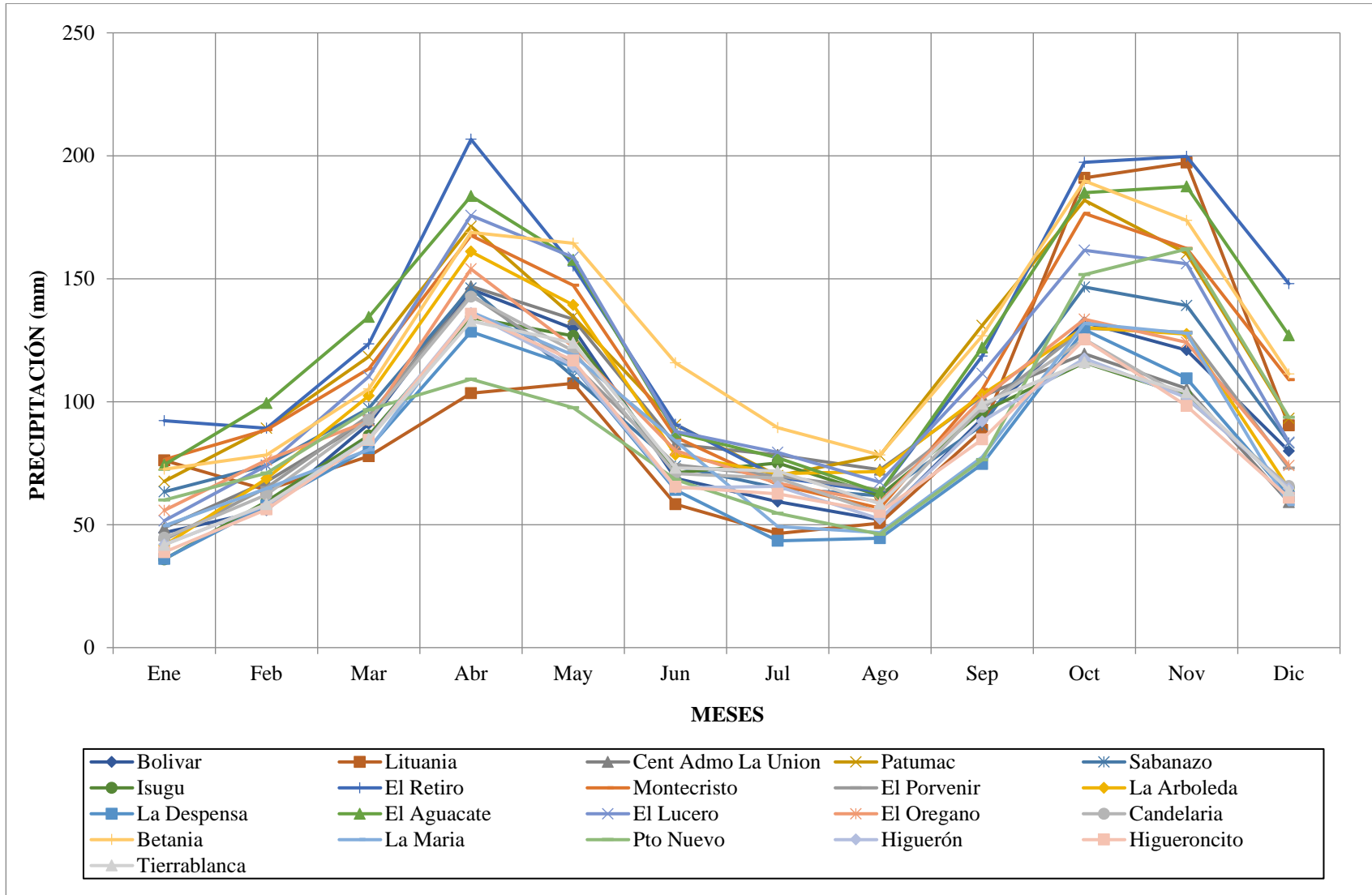


Figura 1.9. Distribución temporal de la de precipitación total mensual de las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto
Fuente: elaboración propia

A nivel general todas las estaciones analizadas tienen comportamiento de tipo bimodal, para el caso de la estación Montecristo 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 177 mm/mes, el periodo más seco se presenta entre los meses de junio a agosto, siendo el más bajo el mes de agosto con una precipitación de 57 mm/mes, la estación Montecristo presenta un valor promedio mensual de precipitación de 113 mm/mes. En la estación pluviométrica El Orégano 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 154 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 56 mm/mes, la estación El Orégano presenta un valor promedio mensual de precipitación de 95 mm/mes. En la Figura 1.10 se observa la distribución espacial de la precipitación media mensual multianual en el Municipio de Bolívar y en la Tabla 1.4 se presenta la Precipitación media mensual en el municipio de Bolívar.

Tabla 1.4. Precipitación media mensual Municipio de Bolívar

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
64,73	74,53	105,07	152,63	136,31	84,34	70,62	66,50	106,17	163,09	159,50	92,52

Fuente: elaboración propia

Con base en la tabla anterior se observa que el municipio de Bolívar 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 octubre, siendo el mes de octubre el de mayor precipitación con un valor de 163,09 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 64,73 mm/mes. El Municipio de Bolívar presenta un valor promedio mensual de precipitación de 106,33 mm/mes y una precipitación anual de 1276 mm/año

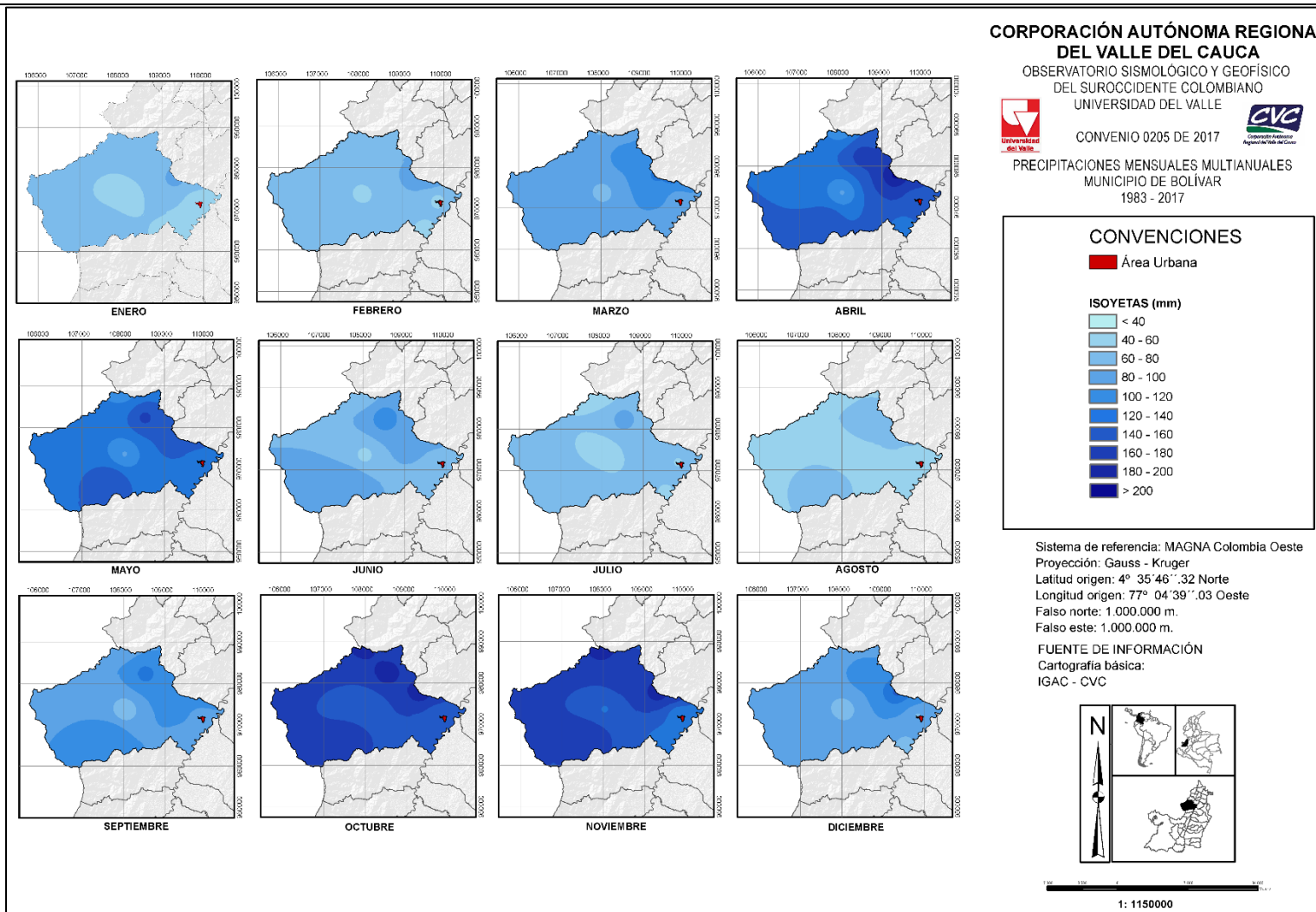


Figura 1.10. Mapa de Distribución espacial de la precipitación mensual multianual Municipio de Bolívar

Fuente: elaboración propia

1.1.2.6.2. 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 (Tabla 1.5).

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

ESTACIÓN	AÑOS DE REGISTROS	P24	P48	P72	ESTACIÓN	AÑOS DE REGISTROS	P24	P48	P72
Bolívar	56	115	117	140	El Aguacate	42	150	170	186
Lituania	51	133	179	194	El Lucero	42	102	180	195
Cent Admo La Unión	49	116	126	136	El Orégano	42	98	114	124
Patumac	48	120	136	150	Candelaria	39	110	174	212
Sabanazo	46	77	107	119	Betania	38	294	339	363
Isugu	46	107	120	143	La María	35	118	135	190
El Retiro	46	131	135	164	Pto Nuevo	35	110	135	165
Montecristo	46	125	142	183	Higuerón	35	86	126	133
El Porvenir	50	165	182	184	Higueroncito	35	155	186	186
La Arboleda	43	126	158	192	Tierrablanca	37	90	110	116
La Despensa	42	114	122	132					

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 1.11, 1.12 y 1.13 se presenta los mapas con la distribución espacial de la precipitación máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas en el Municipio de Bolívar.

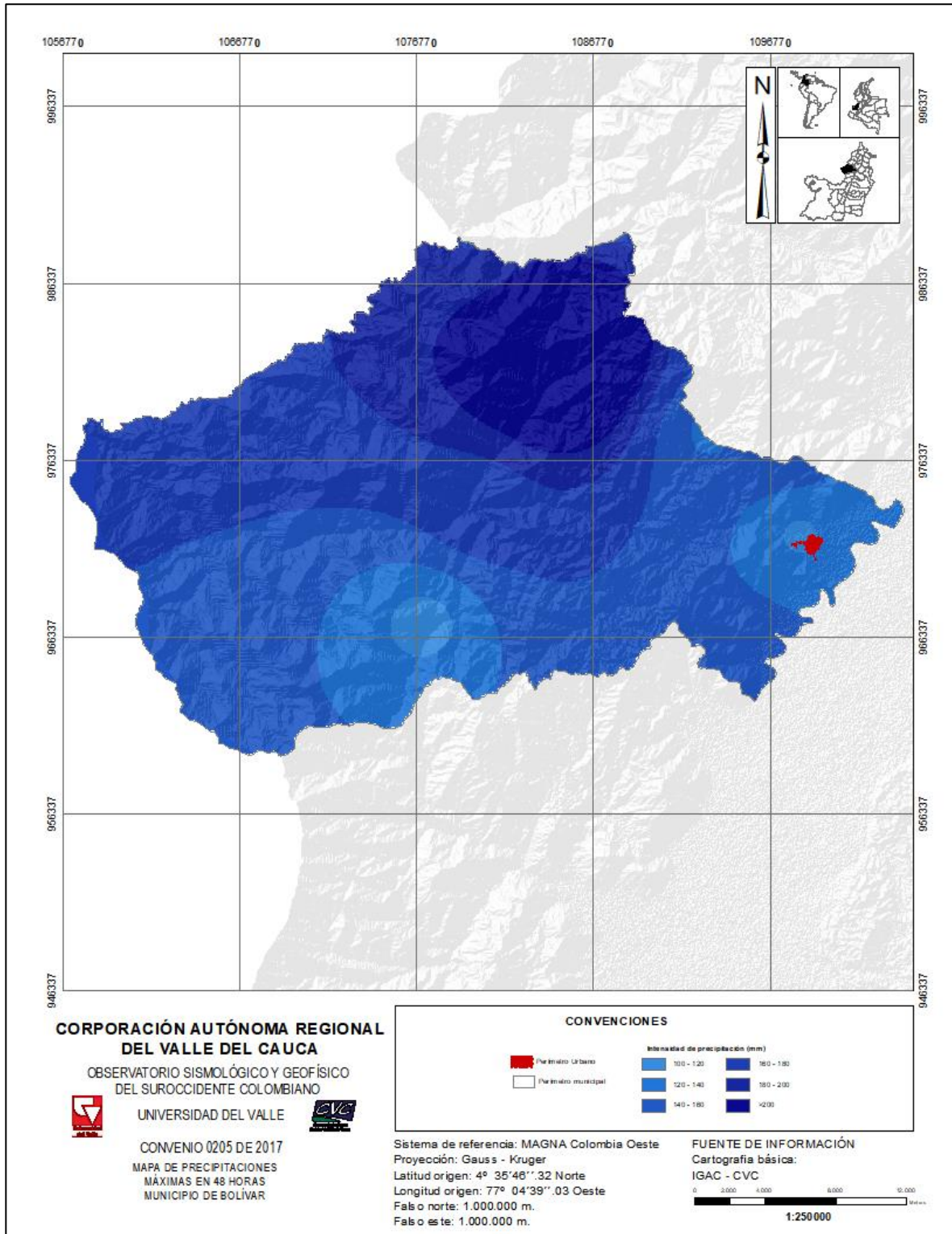


Figura 1.11. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 24 horas Municipio de Bolívar

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

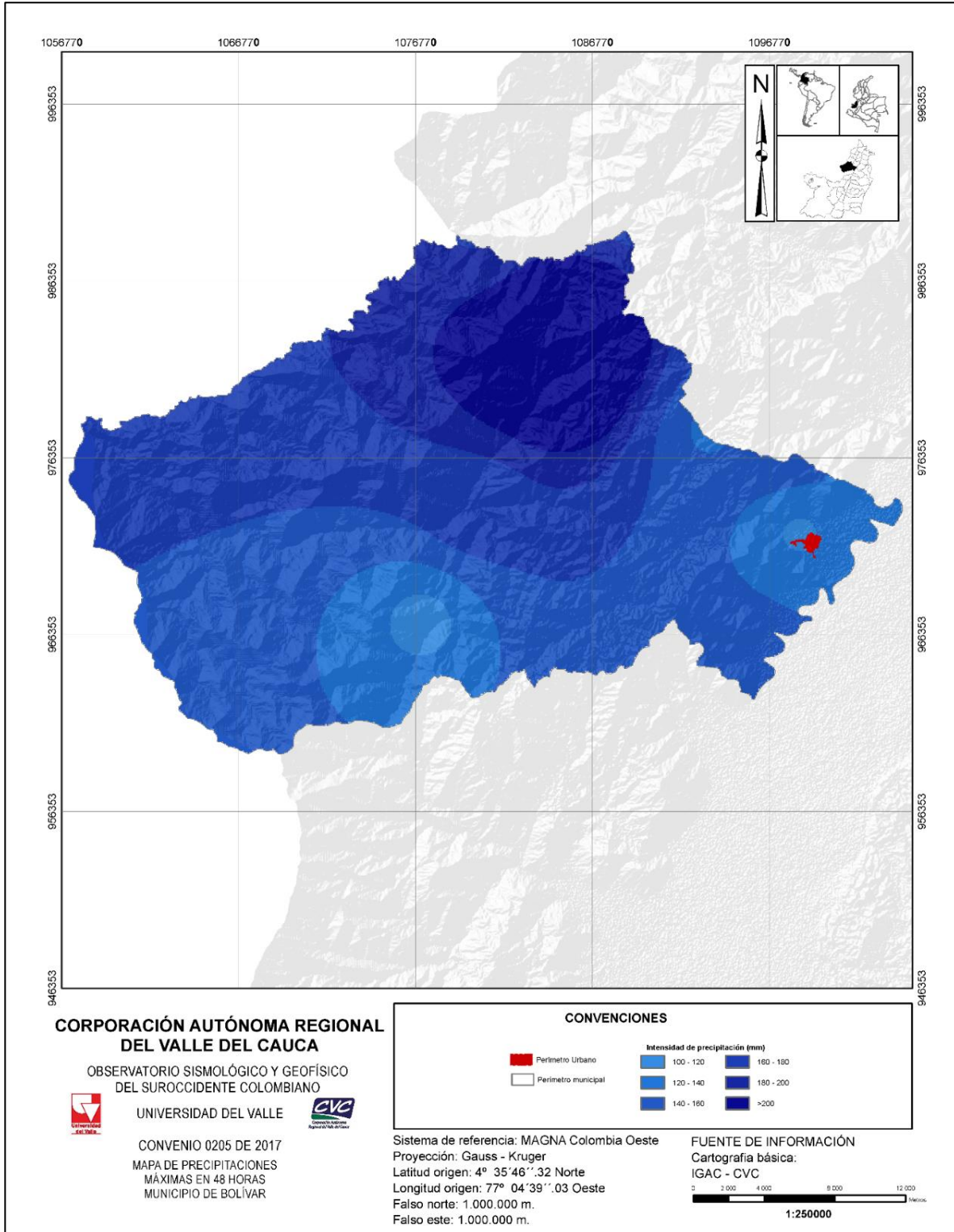


Figura 1.12. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 48 horas Municipio de Bolívar

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

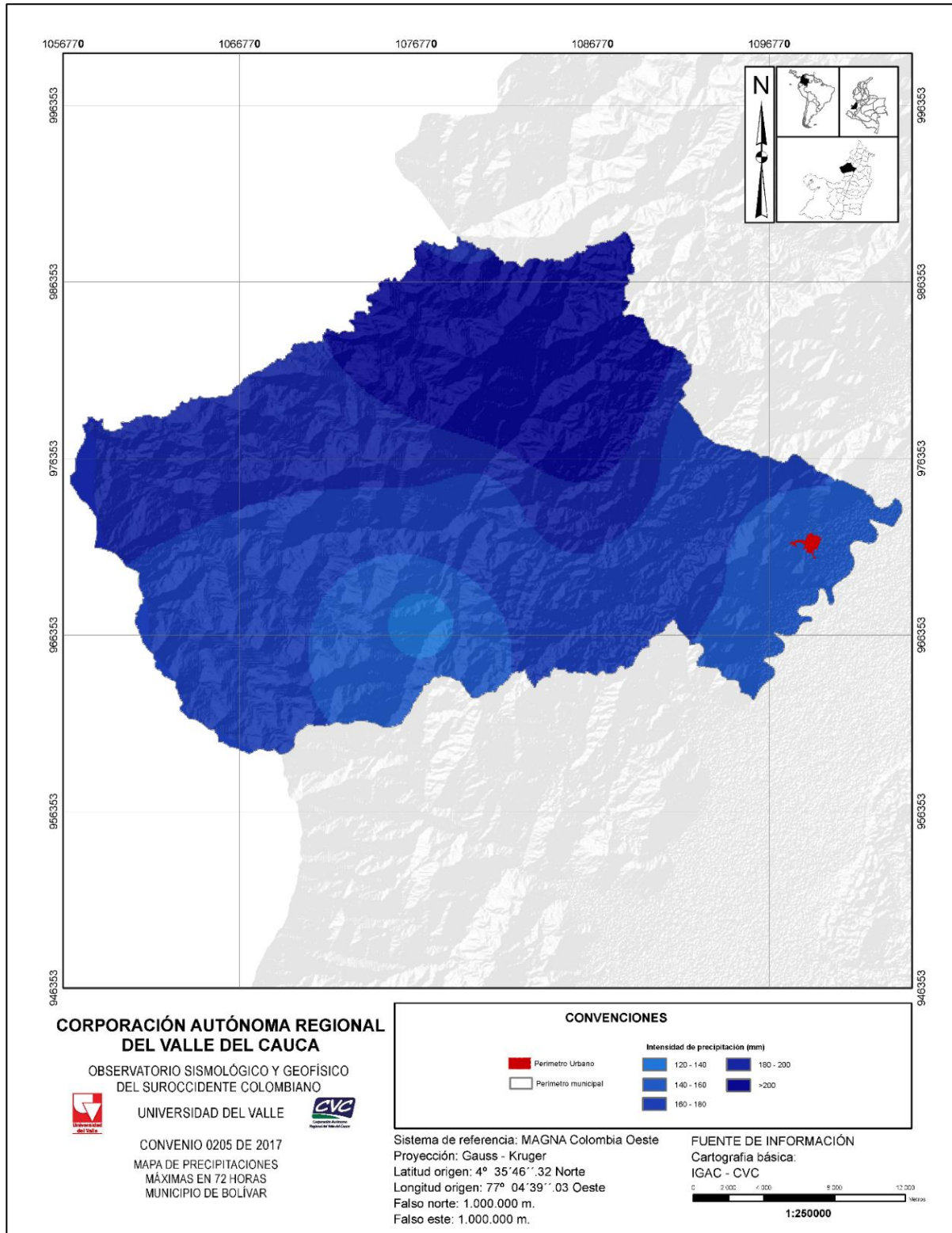


Figura 1.13. Mapa de Distribución espacial de la precipitación máxima en 72 horas Municipio de Bolívar

Fuente: elaboración propia con datos de las estaciones

1.1.2.6.3. 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 Gumbell¹.

En la Tabla 1.6 y en la Figura 1.14 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación La Herradura, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es la Gumbell.

Tabla 1.6. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. estación La Herradura

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	58,50	56,33	55,65	55,95	55,86
5	0,667	72,73	71,06	71,15	70,91	72,44
10	0,800	80,18	80,26	81,08	80,58	83,42
25	0,900	88,11	91,36	93,16	92,61	97,29
50	0,980	93,24	99,34	101,84	101,49	107,58
100	0,990	97,85	107,11	110,25	110,32	117,80
200	0,995	102,06	114,75	118,48	119,18	127,98
	R²	0,6026	0,6906	0,6933	0,7109	0,7159

¹ VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill. 1999

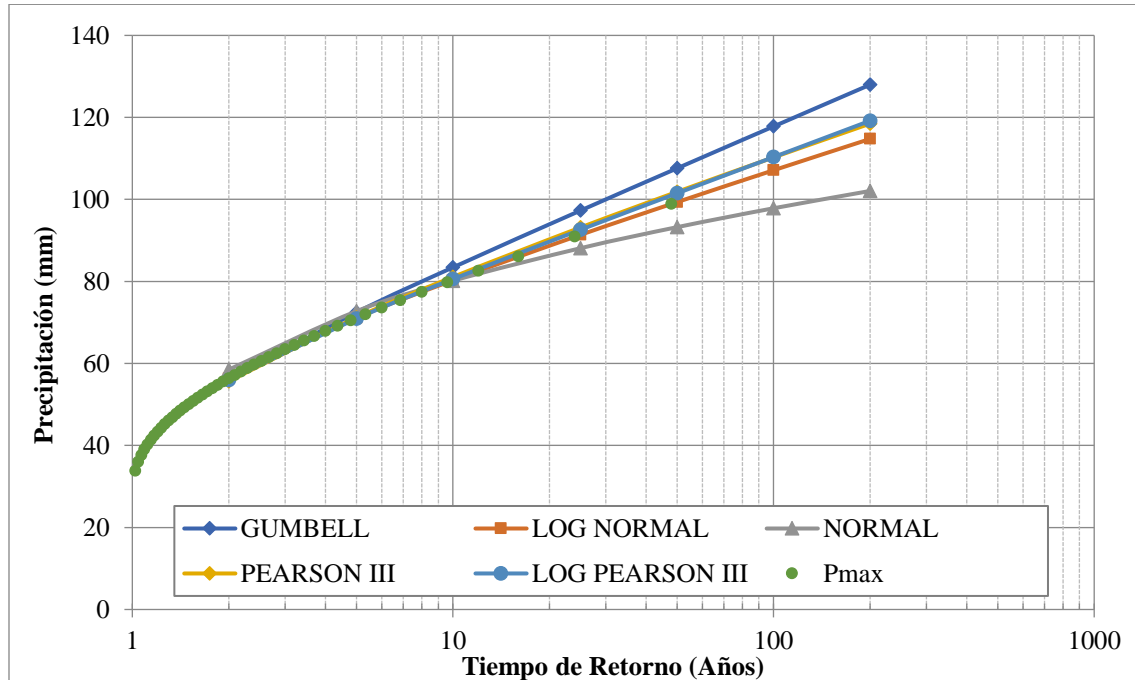


Figura 1.14. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno. Estación La Herradura

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1.7 y en la Figura 1.15 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación El Aguacate, 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 El Aguacate

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

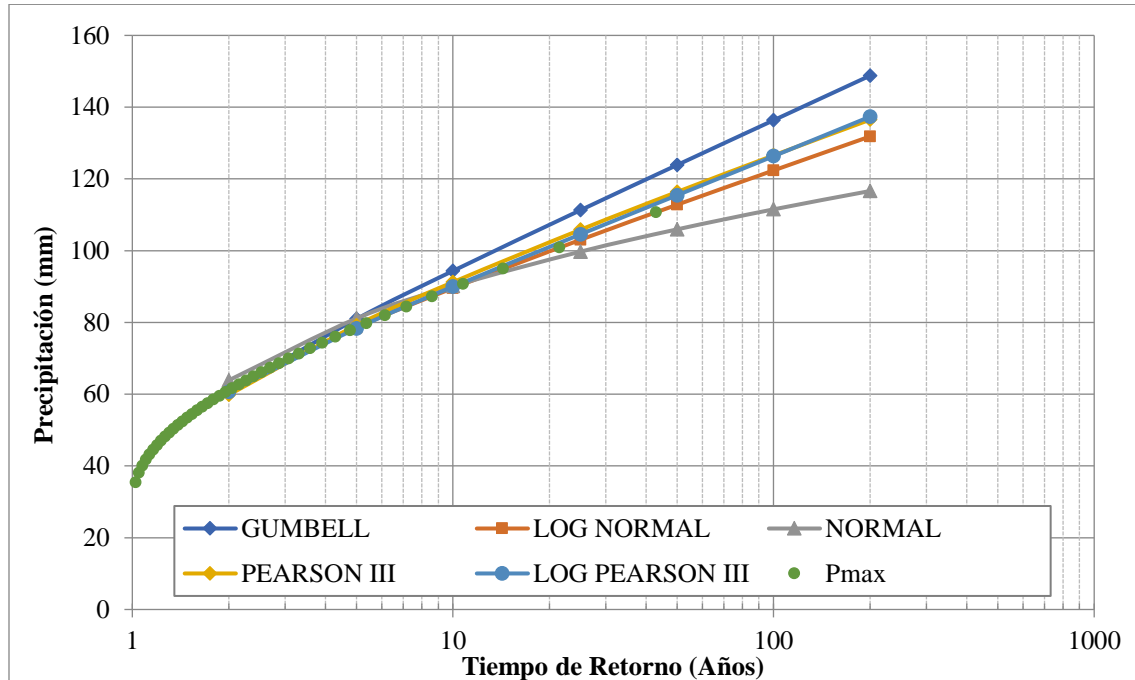


Figura 1.15. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno. Estación El Aguacate

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1.8 y en la Figura 1.16 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación Montecristo, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es la Gumbell.

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

Período de retorno (Años)	Probabilidad de ocurrencia	Normal	Log Normal	Pearson III	Log Pearson III	Gumbell
2	0,500	64,02	61,87	60,58	61,47	61,31
5	0,667	78,60	77,20	76,98	77,04	78,33
10	0,800	86,23	86,68	87,15	87,01	89,60
25	0,900	94,36	98,07	99,53	99,35	103,84
50	0,980	99,61	106,21	108,42	108,40	114,40
100	0,990	104,33	114,11	117,04	117,36	124,89
200	0,995	108,65	121,85	125,47	126,32	135,33
R²		0,6026	0,6866	0,6899	0,7067	0,7159

Fuente: elaboración propia

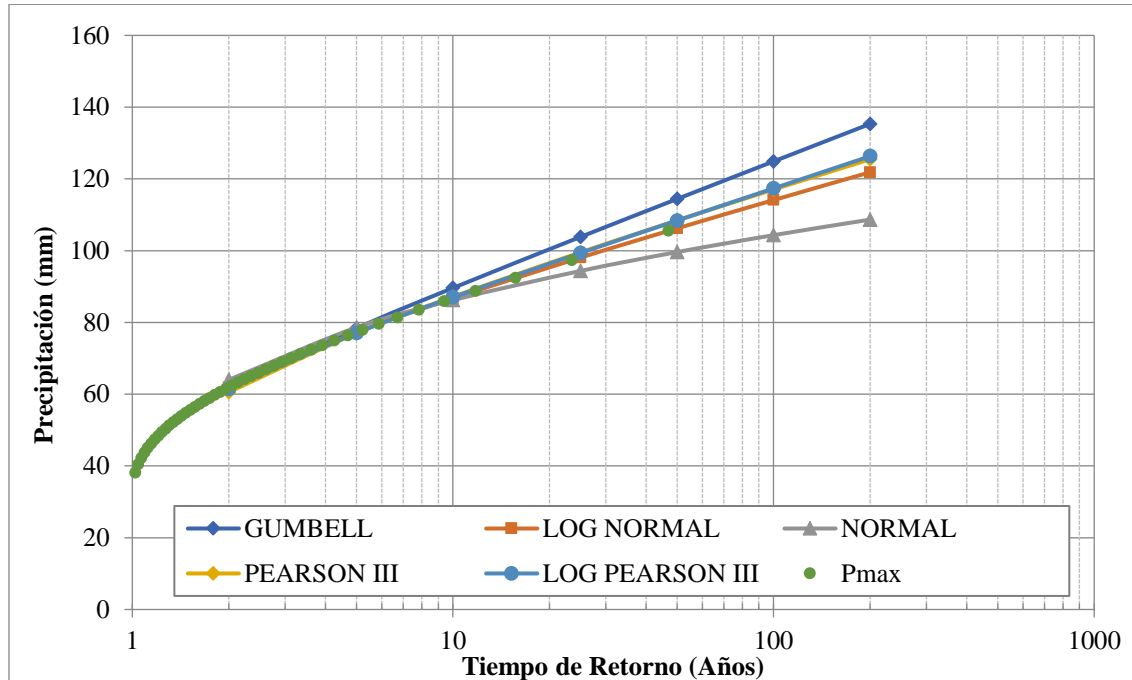


Figura 1.16. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno. Estación Montecristo

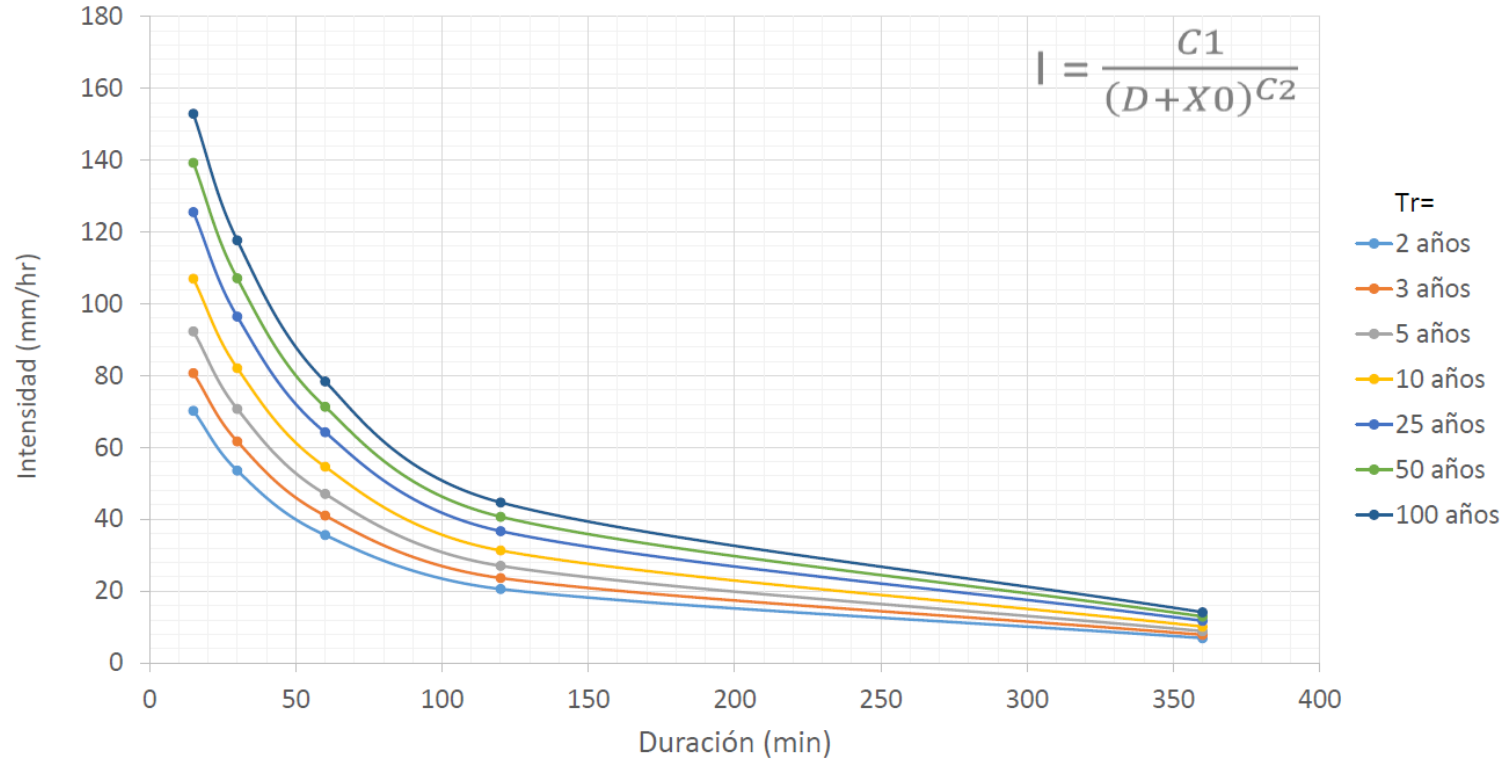
Fuente: elaboración propia

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

Para definir la lluvia de diseño se recurre a las “CURVAS DE INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACION, presentadas por el IDEAM en su página web”, esto con el objetivo de definir una curva IDF necesaria para el diseño hidrológico y generación del hietograma de diseño (véase la Figura 1.17 curvas IFD para las estaciones climatológicas ordinarias Centro administrativo La Unión). Con las curvas IDF del IDEAM para la estación Centro Administrativo La Unión se Generó 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, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

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 Centro Administrativo La Unión.

En la Figura 1.18 se presenta el hietograma de diseño de precipitación para diferentes periodos de retorno para la estación Centro Administrativo de La Unión



TR (años)	C1	X0	C2
2	10037.845	44.943	1.212
3	13391.213	46.973	1.239
5	17457.527	48.742	1.262
10	22959.401	50.461	1.284
25	30389.751	52.099	1.305
50	36167.195	53.049	1.317
100	42077.204	53.834	1.328

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	70.0	80.4	91.9	106.5	124.8	138.4	152.0
30	54.1	62.5	71.7	83.4	98.1	109.1	119.9
60	35.2	40.5	46.4	53.8	63.1	70.1	77.0
120	20.4	23.4	26.8	31.0	36.3	40.2	44.1
360	7.2	8.3	9.4	10.8	12.6	14.0	15.3

Figura 1.17. Curva de intensidad frecuencia y duración con datos de la Estación Centro Administrativo La Unión. Fuente IDEAM, Año 2016
Fuente: elaboración propia

Tabla 1.9. Valores de precipitaciones máximas con intervalos de tiempo de 10 minutos, construidas a partir de las Curvas IFD. Estación Centro Administrativo La Unión

Duración (min)	Tr = 2 Años	Tr = 3 Años	Tr = 5 Años	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años
10	0,057	0,031	0,004	0,030	0,038	0,018	0,006
20	0,122	0,104	0,087	0,065	0,073	0,105	0,139
30	0,217	0,213	0,210	0,209	0,206	0,205	0,197
40	0,360	0,378	0,400	0,430	0,467	0,496	0,515
50	0,585	0,638	0,701	0,782	0,884	0,961	1,026
60	0,953	1,067	1,198	1,366	1,578	1,737	1,879
70	1,598	1,819	2,071	2,393	2,800	3,105	3,382
80	2,835	3,259	3,742	4,357	5,131	5,712	6,249
90	5,550	6,404	7,370	8,596	10,141	11,298	12,378
100	13,023	14,907	17,038	19,742	23,153	25,703	28,105
110	8,245	9,494	10,906	12,697	14,955	16,643	18,227
120	3,903	4,500	5,177	6,038	7,122	7,935	8,690
130	2,109	2,414	2,762	3,206	3,766	4,186	4,571
140	1,228	1,387	1,570	1,804	2,098	2,320	2,519
150	0,745	0,824	0,917	1,035	1,185	1,298	1,396
160	0,460	0,493	0,533	0,585	0,650	0,700	0,740
170	0,281	0,287	0,295	0,307	0,322	0,334	0,338
180	0,165	0,153	0,142	0,129	0,114	0,149	0,187
190	0,087	0,064	0,041	0,065	0,113	0,101	0,084
200	0,033	0,004	0,027	0,013	0,023	0,050	0,080

Fuente: elaboración propia

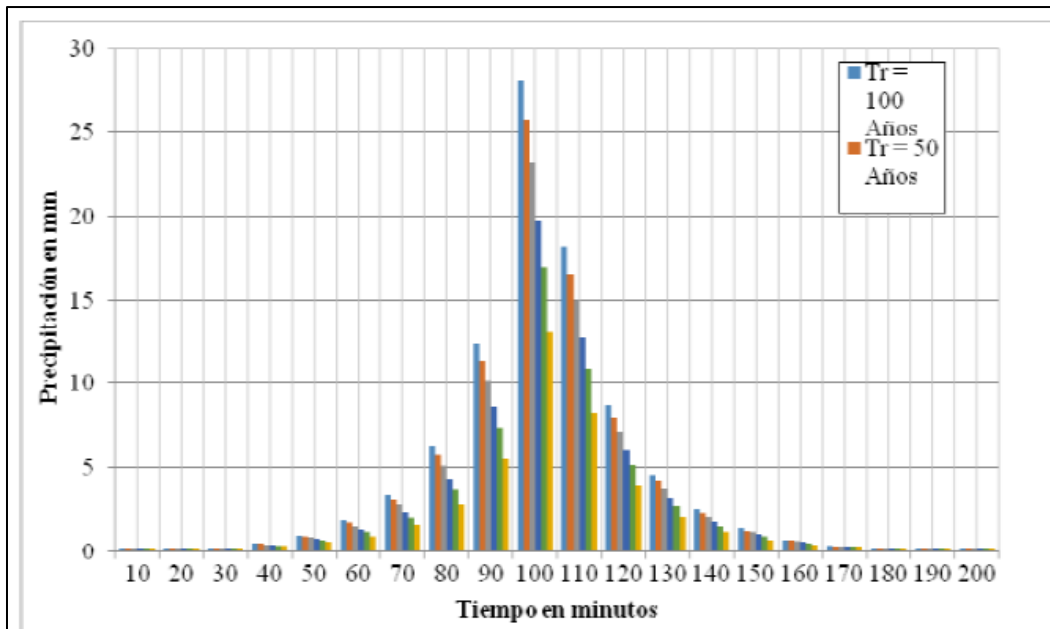


Figura 1.18. Hietograma de precipitación de diseño hidrológico para una duración de 200 min. Estación Centro Administrativo La Unión

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 BOLÍVAR

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 una 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. El presente estudio pretende realizar la estimación de caudales máximos de el río Pescador y los zanjones Guabineros y El Rincón, los cuales pasan por el casco Urbano y zona de expansión del Municipio de Bolívar, con el fin de definir zonas o mancha de inundación para caudales correspondiente a periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años. 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, 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 Bolívar, se consideró como punto de cierre de las cuencas a analizar los sitios aguas arriba antes del inicio de la zona urbana y de expansión del municipio de Bolívar, para tal fin se implementó el modelo hidrológico HEC – HMS, el cual se fundamenta en la relación lluvia – escorrentía pues permite calcular los caudales máximos en función de la profundidad total de precipitación, parámetros de forma (morfométrica de las unidades de cuenca) y de 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.

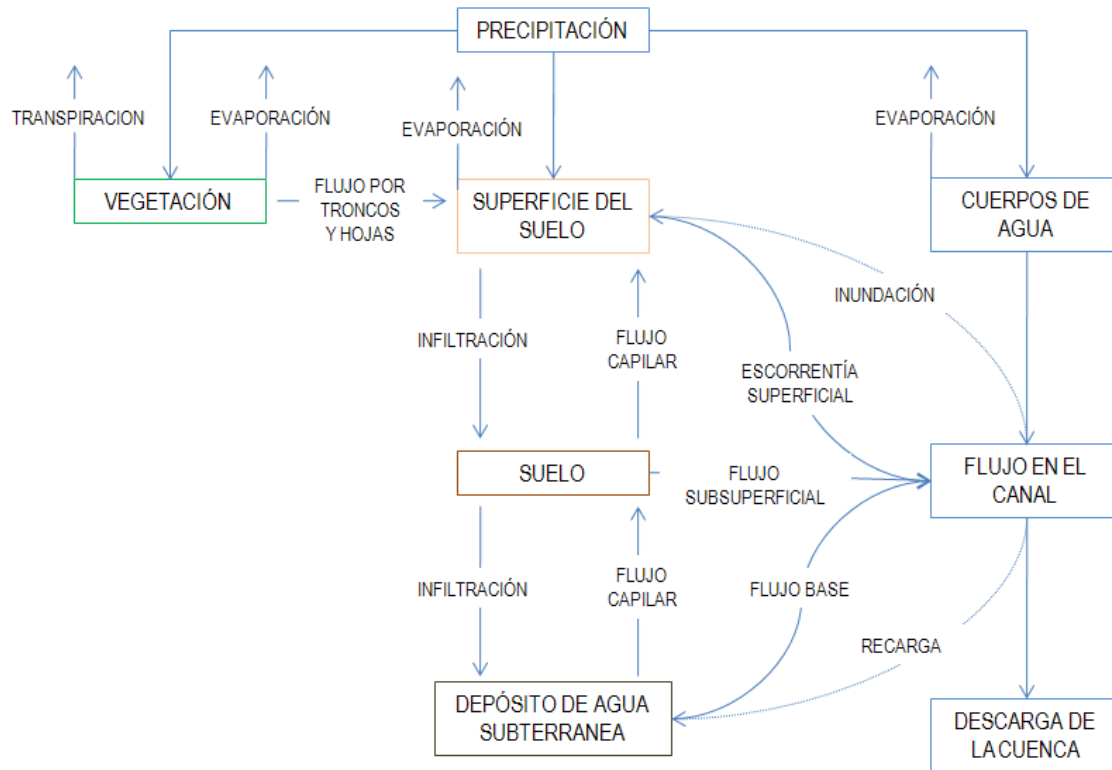


Figura 2.1. Esquema de las componentes hidrológicas e hidráulicas que utiliza el HEC-HMS 4.1.0 para representar una cuenca hidrográfica. Fuente. Adaptado de HEC, 2000

Fuente: elaboración propia

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 Zanjón Guabineros

Con el fin de evaluar los caudales máximos sobre el Zanjón Guabineros, 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 las zonas 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 características morfométricos e hidrológicas y la corrida del modelo hidrológico como se muestra a continuación.

2.3.1. Esquematización de la Unidad Hidrográfica del Zanjón Guabineros

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 el zanjón Guabineros.

Se realizó el trazado de la línea divisoria del Zanjón Guabineros hasta sitio o punto localizado aguas arriba antes de iniciar su recorrido por el casco urbano del Municipio de Bolívar. 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 20 unidades hidrológicas. Una vez se definió el parteaguas del Zanjón Guabineros 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.

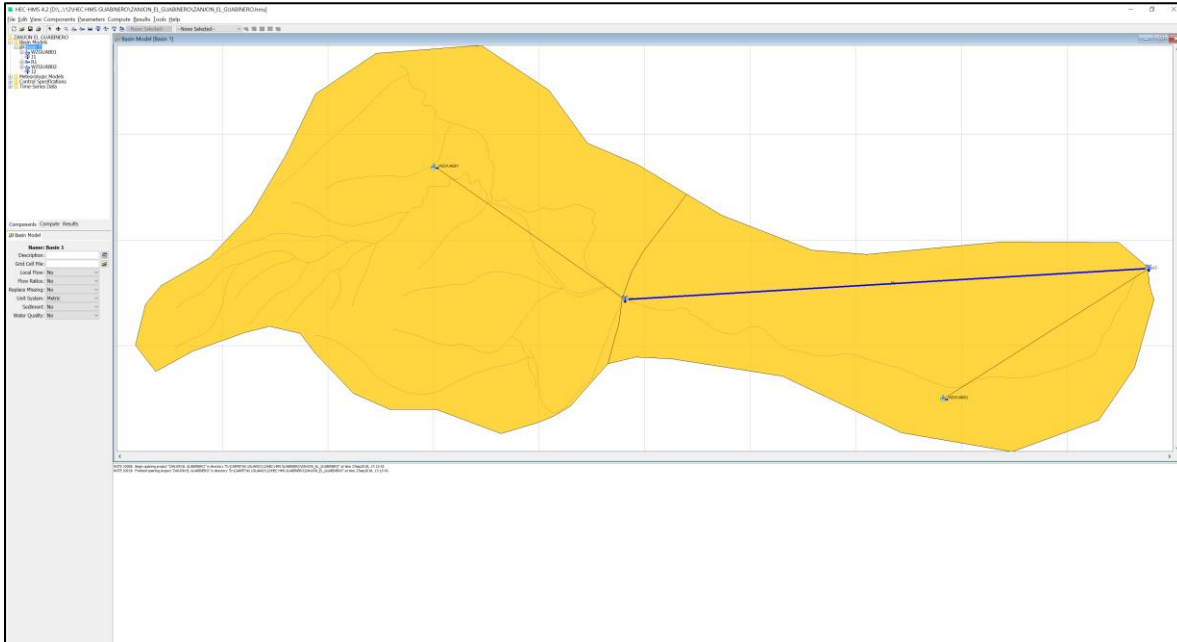


Figura 2.2. Esquema del Zanjón Guabineros para el modelo HEC-HMS
Fuente: elaboración propia

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:

Tc : 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 del Zanjón Guabineros.

Tabla 2.1. Características morfométricas de las Unidades Hidrológicas en que se dividió el Zanjón Guabineros

CODIFICACIÓN CUENCAS	ÁREA (M ²)	ÁREA (KM ²)	LONGITUD CAUCE (M)	LONGITUD CAUCE (KM)	ALTURA MÁXIMA (MSNM)	ALTURA MÍNIMA (MSNM)	DIFERENCIA DE ALTURA ΔH (M)	PENDIENTE MEDIA S (M/M)	TC FORMULA TÉMEZ (MIN)
WZGUAB01	2520097	2.52	2913	2.91	1530	931	599	0.21	54.79
WZGUAB02	1732513	1.73	2752	2.75	931	919	12	0.00	109.10

Fuente: elaboración propia

2.3.3. Evaluación de parámetros hidrológicos Guabineros

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 Número 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 CN por unidades de cuenca en que se dividió el zanjón Guabineros se utilizaron los mapas temáticos de uso actual del suelo y tipo de suelo, los cuales fueron cruzados en Arcgis 10.2 para obtener un mapa temático que proporcionara polígonos de igual tipo de suelo y cobertura, posteriormente se realizó una caracterización de los suelos presentes en la subcuenca con lo cual se obtuvo información de pendiente, textura y drenaje natural para cada uno de los polígonos, con esta información se le asignó un grupo hidrológico de suelo a cada uno de los polígonos. Finalmente, con la información de cobertura 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.

Para la caracterización de los suelos del Zanjón Guabineros 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 y con la participación de entidades como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. La descripción o caracterización de los suelos presentes en el 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 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).

De la información contenida en el estudio se obtuvo la información de profundidad efectiva, textura y drenaje natural para cada uno de los suelos característicos de las cuencas de estudio, con esta información se le asignó un grupo hidrológico de suelo a cada uno de los polígonos mediante la utilización del software Arcgis 10.2. En forma inicial, los suelos son agrupados en categorías, dependientes del potencial de escorrentía y de su capacidad de infiltración. La agrupación de los suelos se hace teniendo en cuenta la siguiente clasificación (Chow, Ven te, Maidment y Mays, 1994):

Grupo A: suelos con bajo potencial de escorrentía 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 aún 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 escorrentía, 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 del zanjón Guabineros hasta sitio de interés hídrico y en la Tabla 2.3 se presentan la caracterización de los suelos del zanjón Guabineros.

Tabla 2.2. Cobertura actual Unidad hidrológica del zanjón Guabineros

COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	ÁREA (M ²)	PORCENTAJE (%)
Zonas urbanas continuas	341634	8.03
Zonas urbanas discontinuas	48360	1.14
Otras superficies artificiales extr de magnesita	427722	10.06
Caña de Azucar	15159	0.36
Miscelaneo de Árboles frutales	272211	6.40
Vid (Uva)	307205	7.22
Matarratón	84294	1.98
Maíz	531693	12.50
Melón	60960	1.43
Zapallo	56289	1.32
Maracuyá	151302	3.56
Pasto cultivado enmalezado	668055	15.71
Bosque mixto denso alto de tierra firme	7510	0.18
Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	80535	1.89
Herbazal natural abierto subxerofítico	1175414	27.64
Estanques artificiales	22169	0.52
Ríos	2098	0.05

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.3. Suelos característicos y determinación del grupo hidrológico Unidad hidrológica del Zanjón Guabineros

CODIFICACIÓN 2004	NOMBRE SUELO	CODIFICACIÓN PERFIL MODAL	TEXTURA	DRENAJE	GRUPO HIDROLOGICO
(MN-PL)a	Complejo Manuelita Palmira	V32 (50%), V65 (50%)	Franca de los 0 a los 30 cm (V32), Franco Arcillosa de los 0 a los 80 cm (V65)	Bien drenados (V32), Bien drenados (V65)	B
(RJ-PO)ar	Complejo Rio de Janeiro - Palmasola	VA12 (60%), V123 (40%)	Arcillosa de 0 - 130 cm (VA12). Arcillosa de 0 - 110 cm (V123).	Pobremamente drenados.	D
BUaxr	Consociacion Burriga	CA1 (80%)	Arcillosa de 0 a 150 cm	Pobremamente drenados	D
CKa	Consociacion Coke	V3 (85%)	Arcillosa de 0 a 40 cm	Bien drenados	B
MRFf3	Complejo Tierras Carcavas - Lithuc Ustorthents	PO-36 (40%) , carcavas (40%)	Franco Arenosa de los 0 a los 30 cm (PO-36)	Bien drenados	B
PLa	Consociacion Palmira	V65 (75%)	Franco Arcillosa de los 0 a los 80 cm (V65)	Bien drenados	B
Rio Cauca	Rio Cauca	-	-	-	D

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 hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto (Chow, Ven te, Maidment y Mays 1994).

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%					
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial ³ :					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos	65	78	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
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. S 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
Bosque	Muy denso o de alta transpiración	15	44	54	61
	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
Secanso (sin cultivo)	Buena	30	55	70	77
	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 rotacion	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
	Buena	39	61	74	80
	Curvas a nivel, Pobre	47	67	81	88
	Curvas a nivel, Normal	25	59	75	83
Potrero permanente	Curvas a nivel, Buena	6	35	70	79
	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
	Buena	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
	Buena	30	48	65	73
Combinación de bosque y pastos.	Pobre	57	73	82	86

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
(Granja de árboles o huerto)	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 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.

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

- **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 El Aguacate. 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 Bolívar (Tabla 2.6).

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

CODIFICACIÓN CUENCAS	Tlag (min)	CN	S (mm)	Ia (mm)	Q (m3/s)
WZGUAB01	32.88	73.19	93.02	18.60	0.035
WZGUAB02	65.46	74.92	85.03	17.01	0.026

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 Centro Administrativo La Unión, esto con el objetivo de generar los hietogramas de precipitaciones máximas para diferentes periodos de tiempo mediante el método de bloque alterno. 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, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Ver Figura 2.1).

2.3.4. Resultados de la Simulación y Análisis Hidrológico del Zanjón Guabineros

El aporte de caudales del Zanjón Guabineros, 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 2.3 se presenta el hidrograma de caudales máximos, para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años del Zanjón Guabineros 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.

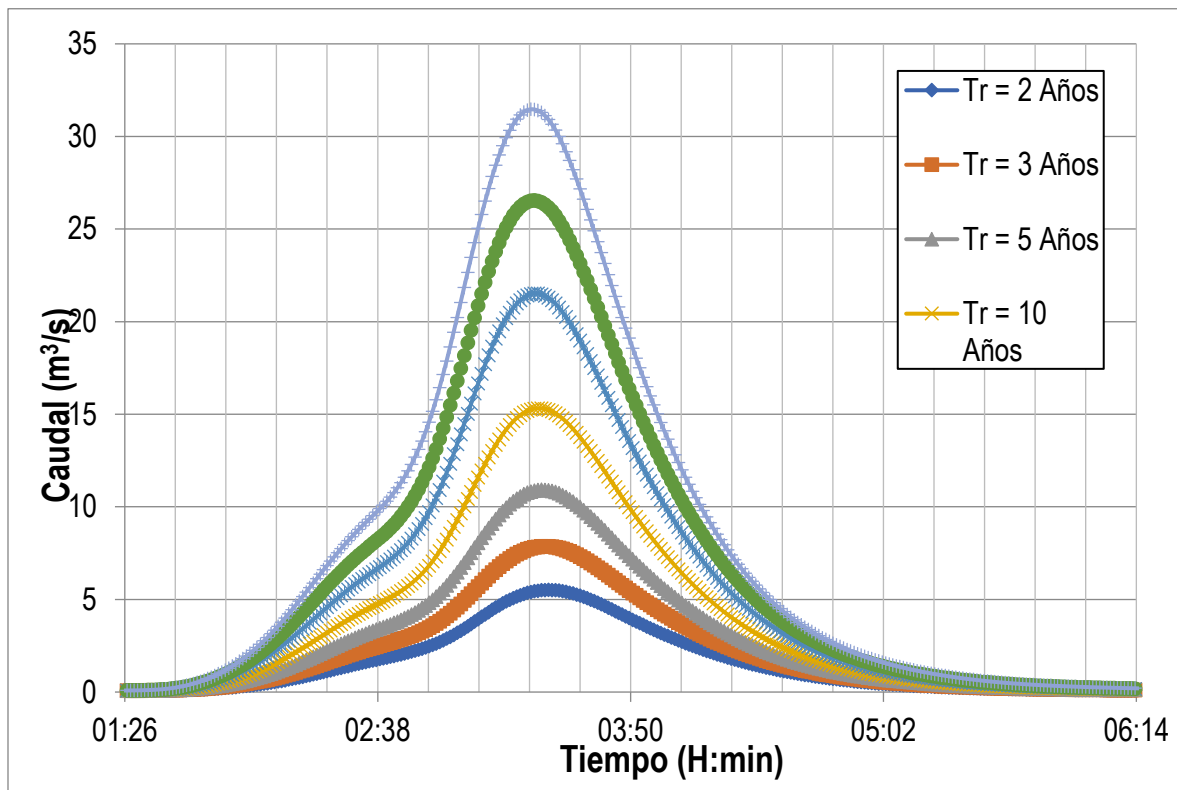


Figura 2.3. Hietograma e Hidrograma de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 Años zanjón Guabineros

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 Zanjón Guabineros

Área Zanjón Guabinero Km ²	Caudales Máximos para diferentes tiempos de retorno							
	Tr (años)	2	3	5	10	25	50	100
8.92	Q (m ³ /s)	5.5	7.9	10.9	15.3	21.5	26.5	31.5
	Q (Lts/s)	5508	7865	10917	15316	21512	26540	31465

Fuente: elaboración propia

2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ZANJÓN EL RINCÓN

Con el fin de evaluar los caudales máximos sobre el Zanjón El Rincón, 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 las zonas 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 características morfométricos e hidrológicas y la corrida del modelo hidrológico como se muestra a continuación.

2.4.1. Esquematización de la Unidad Hidrográfica de la Quebrada

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 2.4 se presenta un esquema general del Zanjón El Rincón para el modelo HEC-HMS.

2.4.2. Parámetros morfométricos de las unidades de cuenca en que se dividió el Zanjón El Rincón.

Se realizó el trazado de la línea divisoria del zanjón El Rincón hasta sitio o punto localizado aguas arriba antes de iniciar su recorrido por el casco urbano del Municipio de Bolívar. 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 20 unidades hidrológicas. Una vez se definió el parteaguas del Zanjón El Rincón y sus respectivas unidades, 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.

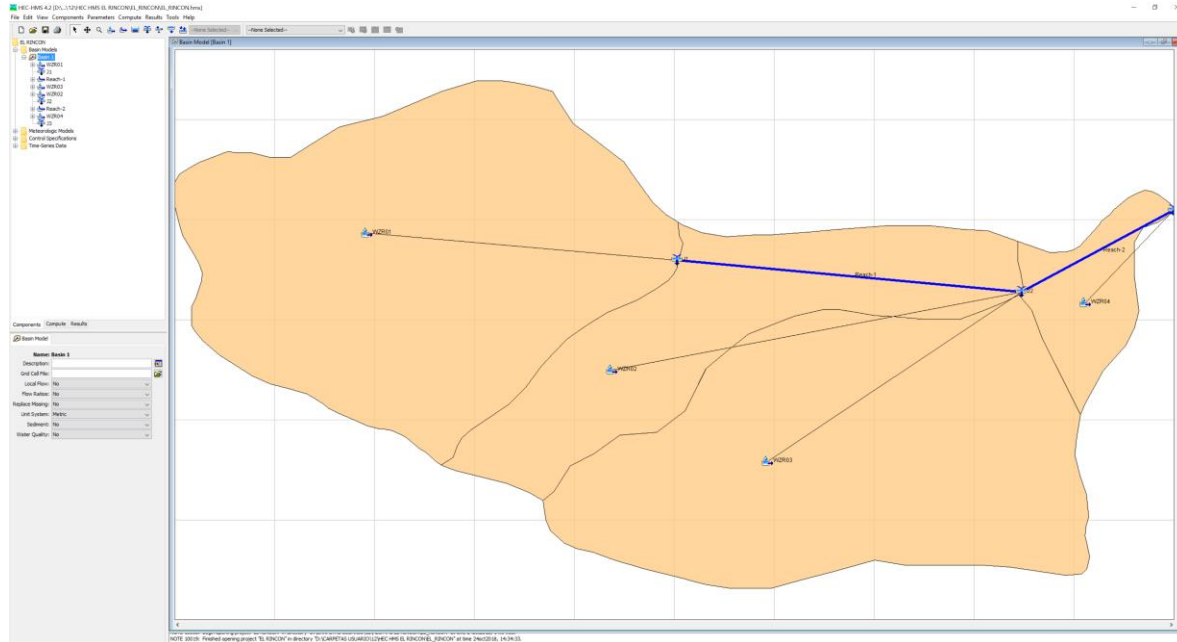


Figura 2.4. Esquema del Zanjón El Rincón para el modelo HEC-HMS
Fuente: elaboración propia

2.4.2.1. Pendiente del cauce método de las elevaciones extremas

El método de las elevaciones extremas, 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).

2.4.2.2. 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:

Tc: 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 2.8 se presentan los valores Morfométricos evaluados para cada una de las unidades de cuenca en que se dividió la cuenca del zanjón El Rincón.

Tabla 2.8. Características morfométricas de las Unidades Hidrológicas en que se dividió el zanjón El Rincón

CODIFICACIÓN UNIDADES	AREA (M ²)	AREA (KM ²)	LONGITUD CAUCE (M)	LONGITUD CAUCE (KM)	ALTURA MAXIMA (MSNM)	ALTURA MINIMA (MSNM)	DIFERENCIA DE ALTURA ΔH (M)	PENDIENTE MEDIA S (M/M)	TC FORMULA TÉMEZ (MIN)
WZR01	619319	0.62	1139	1.14	1554	1062	492	0.43	23.31
WZR02	291072	0.29	1464	1.46	1381	955	426	0.29	30.41
WZR03	571380	0.57	1247	1.25	1264	955	309	0.25	27.75
WZR04	79599	0.08	588	0.59	1024	936	88	0.15	17.26

Fuente: elaboración propia

2.4.3. Resultados de la Simulación y Análisis Hidrológico del Zanjón El Rincón

El aporte de caudales del Zanjón El Rincón, 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 2.5 se presenta el hidrograma de caudales máximos, para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años del Zanjón El Rincón hasta el sitio del cauce localizado aguas arriba antes de ingresar a casco urbano. En la Tabla 2.9 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.

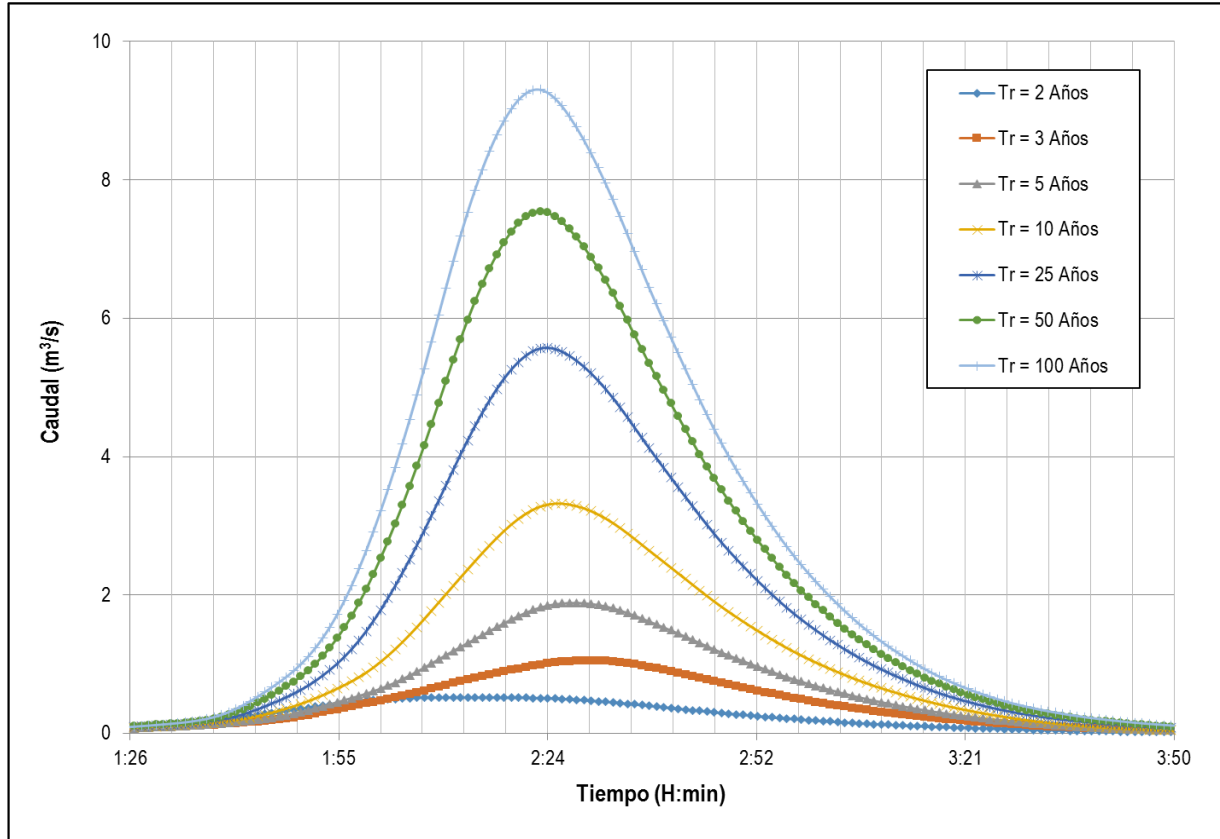


Figura 2.5. Hietograma e Hidrograma de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 Años zanjón El Rincón

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.9. Caudales máximos para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, generados con el modelo hidrológico Hec Hms. Zanjón El Rincón

ÁREA ZANJÓN EL RINCÓN KM ²	CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO							
	TR (AÑOS)	2	3	5	10	25	50	100
1.56	Q (m ³ /s)	0.5	1.1	1.9	3.3	5.6	7.5	9.3
	Q (Lts/s)	518.1	1050.94	1889.69	3318.67	5570.9	7543.98	9306.9

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIÓN

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

La temperatura media mensual en el Municipio de Bolívar varía entre 23,8 °C (en los meses de octubre y noviembre) y 24,8 °C (mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,4 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre 32,2°C y 34,4°C, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 33,3°C. Los valores de temperatura mínima oscilan entre 16,2°C y 17,4°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínima de 16,9°C.

El promedio mensual de horas de brillo solar en el Municipio de Bolívar oscila entre 149 horas y 209 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 el mes de abril. En el Municipio de Bolívar se presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 172 horas.

La humedad relativa media mensual en el Municipio de Bolívar oscilan entre 71% y 76 %, y presenta un valor promedio mensual de 73%. En los meses de febrero, marzo, julio y agosto se presentan los registros más bajos, y en los meses de mayo, octubre y noviembre se registran los valores más altos.

El valor más alto de evaporación media mensual se presenta en el mes de agosto con un valor de 155 mm/mes, mientras que los valores más bajos se presentan en el mes de noviembre con un valor medio de 120 mm/mes; presentando un valor promedio mensual de 137 mm/mes.

El municipio de Bolívar 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 163,09 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 64,73 mm/mes. El Municipio de Bolívar presenta un valor promedio mensual de precipitación de 106,33 mm/mes y una precipitación anual de 1276 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 Bolívar fueron de: 146.85 mm, 168.13 mm y 186.42 mm respectivamente, mientras que para la zona urbana se obtuvieron los siguientes valores: 116.40 mm, 119.72 mm y 142.32 mm.

Con la información de precipitación máxima anual de 3 estaciones localizadas en el municipio de Bolívar La Herradura, El Aguacate y Montecristo, 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 Gumbell, 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 La Herradura presentaron los siguientes resultados: 55.86 mm (Tr = 2

Años), 72.44 mm (Tr = 5 Años), 83.42 mm (Tr = 10 Años), 97.29 mm (Tr = 25 Años), 107.58 mm (Tr = 50 Años), 117.80 mm (Tr = 100 Años) y 127.98 mm (Tr = 200 Años), los valores se precipitación máxima para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años obtenidos con la información de la estación El Aguacate presentaron los siguientes resultados: 60.70 mm, 80.95 mm, 94.36 mm, 111.30 mm, 123.87 mm, 136.35 mm y 148.78 mm. Finalmente, los valores se precipitación máxima para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años obtenidos con la información de la estación Montecristo presentaron los siguientes resultados: 61.31 mm, 78.33 mm, 89.60 mm, 103.84 mm, 114.40 mm, 124.89 mm y 135.33 mm.

Los caudales máximos correspondiente a periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años del Zanjón Guabinero y Zanjón El Rincón, cauces que pasan por el casco urbano del municipio de Bolívar, se estimaron mediante modelación hidrológica utilizando el programa Hec Hms, obteniendo los siguientes resultados: los caudales máximos obtenidos en El Zanjón Guabinero para periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años fueron de: 5.5 m³/s, 10.9 m³/s, 15.3 m³/s, 21.5 m³/s, 26.5 m³/s y 31.5 m³/s respectivamente y los caudales máximos obtenidos en El Zanjón El Rincón para periodos de retorno de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años fueron de: 0.5 m³/s, 1.9 m³/s, 3.3 m³/s, 5.6 m³/s, 7.5 m³/s y 9.3 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. Hydraulic 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.