



Alcaldía de Palmira

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS PRELIMINAR DEL RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO DEL MUNICIPIO DE PALMIRA



*Camilo Arturo Saavedra
Escobar
Director de Gestión del
Riesgo de Desastres.*

*Dairon Manuel Muñoz
Z.
Ing. Sanitario.
Contratista DRGD*

**ALCALDÍA MUNICIPAL DE PALMIRA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO DE
DESASTRES
PALMIRA 2020**

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS PRELIMINAR DEL RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO DEL
MUNICIPIO DE PALMIRA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE PALMIRA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Camilo Arturo Saavedra Escobar
Director de Gestión del Riesgo de Desastres

Dairon Manuel Muñoz Zambrano
Ingeniero Sanitario y Ambiental.

PALMIRA, VALLE DEL CAUCA
2020

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo General	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
3. INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE PALMIRA.....	9
4. IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y CORRIENTES PRINCIPALES EN EL MUNICIPIO.	10
5. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	12
5.1. Estaciones CVC	12
5.2. Estaciones IDEAM	15
6. SELECCIÓN DE ESTACIONES PARA EL ESTUDIO.....	16
6.1. Estaciones CVC	16
6.2. Estaciones IDEAM	17
7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES	18
8. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN E INTERPOLACIÓN ESPACIAL – ISOYETAS	19
8.1. Conceptualización y métodos de interpolación.....	19
8.2. Precipitación total anual media, máxima y mínima.	21
8.3. Isoyetas – precipitación media total anual	25
8.4. Isoyetas – precipitación máxima total anual	26
8.5. Isoyetas – precipitación mínima total anual	27
8.6. Precipitación total mensual, promedio multianual del período comprendido entre 1989 y 2019.	28
8.7. Isoyetas – Precipitación media total mensual.....	32
8.7.1. Análisis precipitación media total mensual – Enero.	34
8.7.2. Análisis precipitación media total mensual – Febrero.	34
8.7.3. Análisis precipitación media total mensual – Marzo.	35
8.7.4. Análisis precipitación media total mensual – Abril.....	35
8.7.5. Análisis precipitación media total mensual – Mayo.	36
8.7.6. Análisis precipitación media total mensual – Junio.	36
8.7.7. Análisis precipitación media total mensual – Julio.	37
8.7.8. Análisis precipitación media total mensual – Agosto.....	37
8.7.9. Análisis precipitación media total mensual – Septiembre.....	38
8.7.10. Análisis precipitación media total mensual – Octubre.....	38

8.7.11.	Análisis precipitación media total mensual – Noviembre.	39
8.7.12.	Análisis precipitación media total mensual – Diciembre.	39
8.8.	Precipitación máxima en 24 horas, valor mínimo, medio y máximo.	43
8.9.	Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor máximo.	47
8.10.	Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor medio.	48
8.11.	Precipitación máxima en 24 horas, mensual multianual.	49
8.12.	Isoyetas – Precipitación máxima en 24 horas, mensual multianual.	53
8.12.1.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Enero.	55
8.12.2.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Febrero.	55
8.12.3.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Marzo.	56
8.12.4.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Abril.	56
8.12.5.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Mayo.	57
8.12.6.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Junio.	57
8.12.7.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Julio.	58
8.12.8.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Agosto.	58
8.12.9.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Septiembre.	59
8.12.10.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Octubre.	59
8.12.11.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Noviembre.	60
8.12.12.	Análisis precipitación máxima en 24 horas – Diciembre.	60
9.	CONCLUSIONES.	63
10.	RECOMENDACIONES.	66
11.	BIBLIOGRAFÍA.	67
12.	ANEXOS.	69
12.1.	ANEXO 1. Mapa de distribución espacial, estaciones seleccionadas.	69
12.2.	ANEXO 2. Mapa de Isoyetas – precipitación media total anual.	70
12.3.	ANEXO 3. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima total anual.	71
12.4.	ANEXO 4. Mapa de Isoyetas – precipitación mínima total anual.	72
12.5.	ANEXO 5. Mapa de Isoyetas – precipitación media mensual total.	73
12.6.	ANEXO 6. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor máximo multianual.	85
12.7.	ANEXO 7. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor medio multianual.	86
12.8.	ANEXO 8. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas por mes. ..	87

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de Municipio de Palmira en el Valle del Cauca.</i>	9
<i>Figura 2. Cuencas hidrográficas en el área del Municipio de Palmira.</i>	10
<i>Figura 3. Red hídrica en el área del Municipio de Palmira.</i>	11
<i>Figura 4. Red de estaciones hidroclimatológicas de CVC en el Municipio de Palmira.</i>	12
<i>Figura 5. Red de estaciones hidroclimatológicas de CVC en la cuenca Amaime.</i>	13
<i>Figura 6. Red de estaciones hidroclimatológicas de IDEAM en el Municipio de Palmira.</i>	15
<i>Figura 7. Estado de estaciones hidroclimatológicas de IDEAM.</i>	15
<i>Figura 8. Estaciones IDEAM plataforma DHIME.</i>	17
<i>Figura 9. Distribución espacial de las estaciones de CVC e IDEAM seleccionadas.</i>	18
<i>Figura 10. Distribución espacial y nombre de las estaciones seleccionadas.</i>	18
<i>Figura 11. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca alta.</i>	22
<i>Figura 12. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca media.</i>	23
<i>Figura 13. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca baja.</i>	24
<i>Figura 14. Isoyetas precipitación media total anual.</i>	25
<i>Figura 15. Isoyetas precipitación máxima total anual.</i>	26
<i>Figura 16. Isoyetas precipitación mínima total anual.</i>	27
<i>Figura 17. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca alta.</i>	29
<i>Figura 18. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca media.</i>	30
<i>Figura 19. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca baja.</i>	31
<i>Figura 20. Isoyetas precipitación media total mensual – Enero.</i>	32
<i>Figura 21. Isoyetas precipitación media total mensual – Febrero.</i>	32
<i>Figura 22. Isoyetas precipitación media total mensual – Marzo.</i>	32
<i>Figura 23. Isoyetas precipitación media total mensual – Abril.</i>	32
<i>Figura 24. Isoyetas precipitación media total mensual – Mayo.</i>	32
<i>Figura 25. Isoyetas precipitación media total mensual – Junio.</i>	32
<i>Figura 26. Isoyetas precipitación media total mensual – Julio.</i>	33
<i>Figura 27. Isoyetas precipitación media total mensual – Agosto.</i>	33
<i>Figura 28. Isoyetas precipitación media total mensual – Septiembre.</i>	33
<i>Figura 29. Isoyetas precipitación media total mensual – Octubre.</i>	33
<i>Figura 30. Isoyetas precipitación media total mensual – Noviembre.</i>	33
<i>Figura 31. Isoyetas precipitación media total mensual – Diciembre.</i>	33
<i>Figura 32. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca baja.</i>	40
<i>Figura 33. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca media.</i>	41
<i>Figura 34. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca alta.</i>	41
<i>Figura 35. Precipitación media total mensual – Valor mínimo.</i>	42
<i>Figura 36. Precipitación media total mensual – Valor máximo.</i>	42
<i>Figura 37. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca alta.</i>	44
<i>Figura 38. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca media.</i>	45
<i>Figura 39. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca baja.</i>	46
<i>Figura 40. Isoyetas precipitación máxima en 24 horas, valor máximo.</i>	47
<i>Figura 41. Isoyetas precipitación máxima en 24 horas, valor medio.</i>	48
<i>Figura 42. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca media.</i>	50
<i>Figura 43. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca media.</i>	51
<i>Figura 44. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca baja.</i>	52

<i>Figura 45. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Enero.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 46. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Febrero.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 47. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Marzo.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 48. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Abril.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 49. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Mayo.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 50. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Junio.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 51. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Julio.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 52. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Agosto.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 53. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Septiembre.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 54. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Octubre.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 55. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Noviembre.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 56. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Diciembre.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 57. Precipitación máxima en 24 según isoyetas, valor mínimo.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 58. Precipitación máxima en 24 según isoyetas, valor máximo.</i>	<i>62</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Listado de estaciones hidroclimatológicas de la CVC.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2. Listado de estaciones de CVC seleccionadas para el estudio pluviométrico.</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3. Precipitación total anual, valor medio, máximo y mínimo.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Precipitación total mensual, promedio multianual.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5. Resumen precipitación media total mensual.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6. Precipitación máxima en 24 horas, valor mínimo, medio y máximo.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Precipitación máxima en 24 horas para cada mes.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 8. Resumen precipitación máxima en 24 horas.</i>	<i>61</i>

1. INTRODUCCIÓN

La actividad interna de la Tierra ha estado presente desde que se consolidó como esfera, hace unos 4.600 millones de años, no obstante, los procesos de sismos, erupciones de volcanes, avalanchas, inundaciones y sequías continúan, al igual que la formación del relieve; sin embargo, sólo a partir del siglo XX se han implementado en la mayoría de los países los sistemas de medición de estos procesos. (IDEAM, 2007)

En la actualidad la humanidad experimenta una mayor necesidad en determinar estrategias de desarrollo para saber convivir con los fenómenos naturales como sismos, erupciones de volcanes, avalanchas, crecidas repentinas, crecidas lentas y sequías hidrológicas. (IDEAM, 2007)

Los fenómenos anteriormente mencionados, dependen del comportamiento del ciclo hidrológico del agua, el cual se define como las variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos (Unesco, 2012).

Las consecuencias de las crecidas y períodos de estiaje que terminan en inundaciones y sequías hidrológicas son variables: ya sea en lesiones o pérdidas humanas, pérdidas masivas de cultivos, daños a infraestructuras o efectos ambientales a escala local o regional. En períodos prolongados una sequía hidrológica, incluso puede producir efectos socioeconómicos y medioambientales muy graves.

Por lo anterior, es de vital importancia el acceso y análisis de los registros de precipitación de la red de estaciones presentes en el área de jurisdicción, considerando que es una variable que está directamente relacionada con los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y sequías en las cuencas.

En este sentido, el presente estudio tiene como finalidad realizar un diagnóstico y análisis del régimen pluviométrico en el municipio de Palmira, en el cual se debe compilar, organizar, procesar y analizar los registros de precipitación de las estaciones pluviométricas, pluviográficas o climatológicas del territorio de jurisdicción, para generar información que facilite el entendimiento del patrón de lluvias, que a su vez, permita a las autoridades municipales tomar decisiones acertadas para la gestión del riesgo de desastres y otros ámbitos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar el diagnóstico y análisis del régimen Pluviométrico del Municipio de Palmira, para el conocimiento del patrón de precipitaciones en el territorio.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar las cuencas hidrográficas y corrientes de agua principales que hacen parte del área del municipio de Palmira.
2. Seleccionar las estaciones pluviométricas, pluviográficas o climatológicas localizadas sobre el territorio de entidades tales como: CVC e IDEAM, que cumplan con el período de registros definido para el presente análisis.
3. Realizar la distribución espacio-temporal de la variable precipitación de las estaciones seleccionadas en el área del municipio de Palmira. Mapas de Isoyetas.

Figura 1. Localización de Municipio de Palmira en el Valle del Cauca.
Fuente: Elaboración propia, archivos base Geo-CVC.

4. IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y CORRIENTES PRINCIPALES EN EL MUNICIPIO.

A partir del área del municipio de Palmira, se realizaron las consultas pertinentes para establecer las cuencas hidrográficas ubicadas dentro de los límites municipales, con el objetivo de establecer dichas cuencas como unidad de análisis.

De acuerdo con la base cartográfica del visor geográfico avanzado de CVC, en el área del municipio de Palmira se ubican dos cuencas hidrográficas, la cuenca del río Amaime y la parte baja de la cuenca del río Guachal (Bolo-Fraile), tal como se ilustra en la Figura 2, el área en amarillo corresponde al municipio de Palmira, y los polígonos en verde corresponden a la delimitación de las cuencas. Se observa que el área municipal se encuentra principalmente sobre la cuenca del río Amaime.

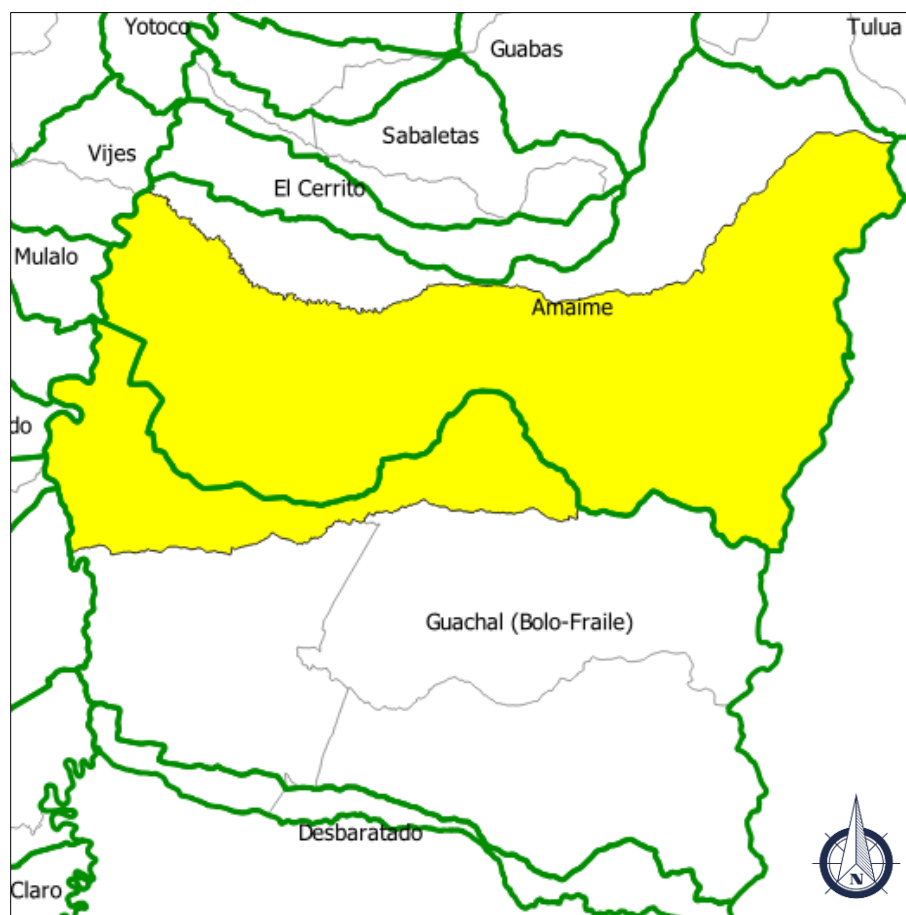


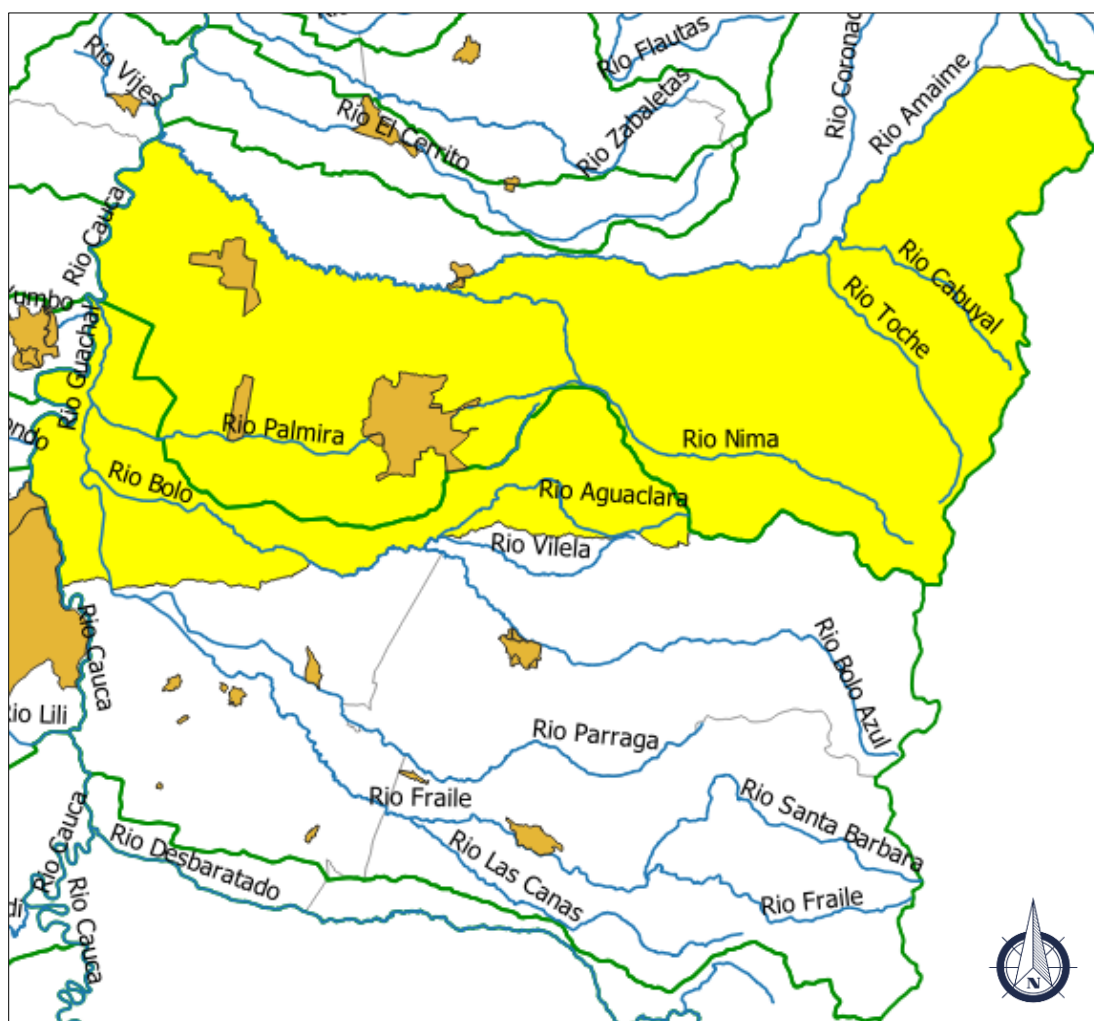
Figura 2. Cuencas hidrográficas en el área del Municipio de Palmira.

Color amarillo: municipio de Palmira, línea verde: cuencas hidrográficas.

Fuente: Elaboración propia QGIS 3.10, archivos base Geo-CVC 2020.

En la Figura 3 se ilustra la red hídrica de las dos cuencas implicadas, así mismo se puede observar los cauces que hacen parte del área del municipio de Palmira. En la cuenca del río Amaime, destacan el río Cabuyal y el Río Toche en la parte alta, igualmente el Río Nima que descarga sus aguas al río Amaime sobre la margen izquierda, en la parte media-baja de la cuenca, a la altura de El Placer, sector Techo Azul.

En la cuenca media del río Guachal se destaca el río Aguaclara, en esta parte se encuentra el río Vilela, pero según los límites políticos no hace parte del municipio de Palmira, exceptuando en la entrega al río Aguaclara, a partir de la unión de estos dos cauces se forma el río Bolo que aguas abajo se une con el río Fraile, para formar posteriormente el río Guachal, el cual finalmente descarga al río Cauca.



*Figura 3. Red hídrica en el área del Municipio de Palmira.
Fuente: Elaboración propia QGIS 3.10, archivos base Geo-CVC 2020.*

5. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para la recopilación de los registros de precipitación de cada una de las estaciones presentes en el municipio, para lo cual fue necesario primero definir el número de estaciones, la entidad a cargo, nombre, tipo, el año de inicio y el año de clausura (cuando aplique), coordenadas de localización, entre otras características propias de cada estación.

5.1. Estaciones CVC

Con relación a las estaciones hidroclimatológicas de CVC, en el área del municipio de Palmira se tiene registro de 37 estaciones según lo reportado en el sitio web del portal hidroclimatológico, sin embargo, es importante aclarar que la estación climatológica “ING MANUELITA” es de propiedad particular, pero los datos de registro se encuentran en la base de datos de CVC.

En la Figura 4 se muestra la distribución espacial de las estaciones de CVC en el municipio de Palmira. Finalmente es relevante mencionar que algunas de las estaciones están suspendidas, es decir que cuenta con un registro de precipitación en un período pasado.

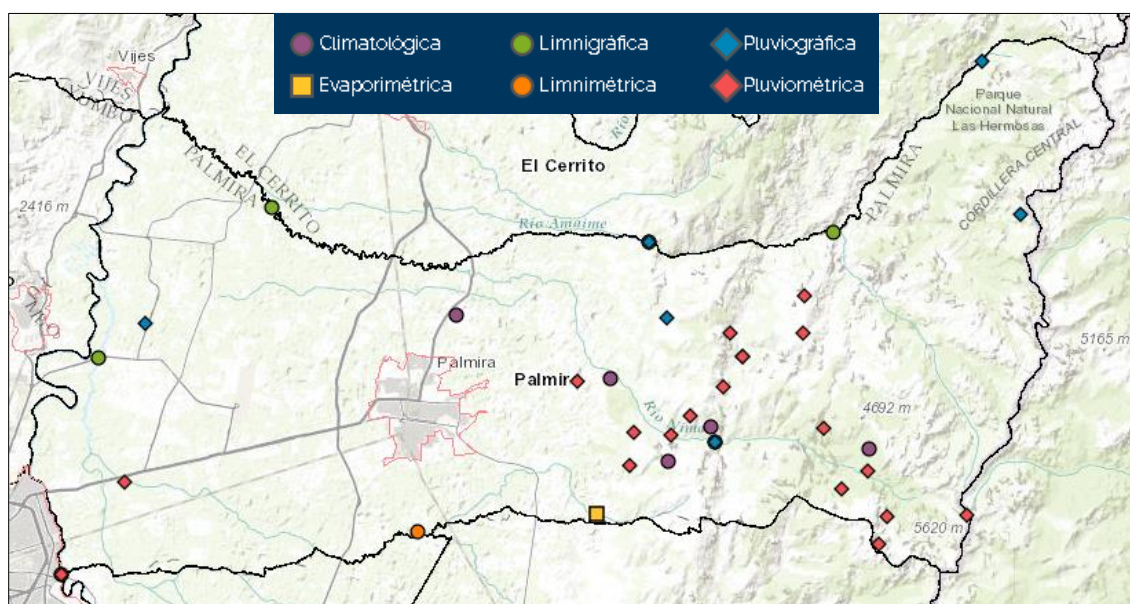


Figura 4. Red de estaciones hidroclimatológicas de CVC en el Municipio de Palmira.

Fuente: CVC, 2020. - <http://ecopedia.cvc.gov.co/modulo-consulta>

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las estaciones que hacen parte de la cuenca del río Amaime, en el área del municipio de El Cerrito, también algunas estaciones de los municipios de Candelaria, Pradera Yumbo, Cali y Vives, ya que dichas estaciones tienen

influencia sobre el área del municipio de Palmira, y además permitirán obtener una interpolación más limpia en el área de interés. En la Figura 5 se muestran las estaciones en la cuenca Amaime.

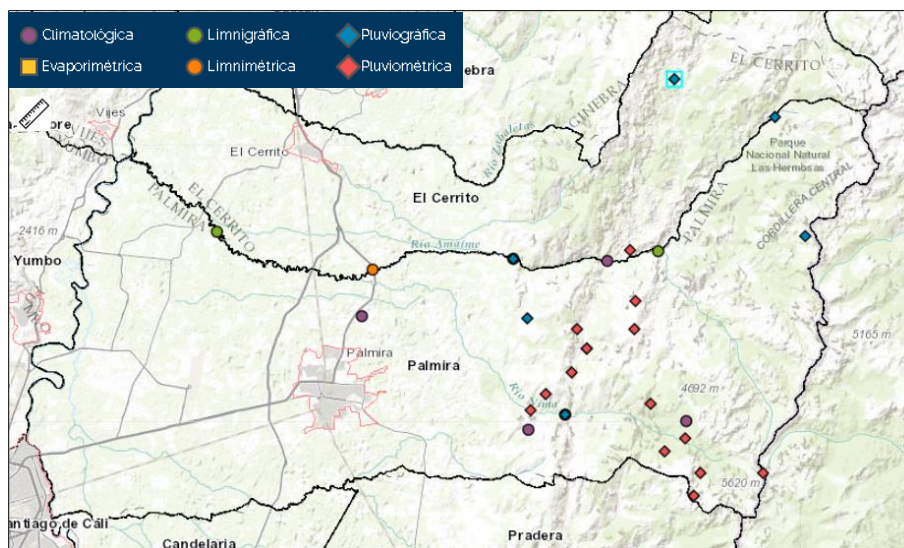


Figura 5. Red de estaciones hidroclimatológicas de CVC en la cuenca Amaime.

Fuente: CVC, 2020. - <http://ecopedia.cvc.gov.co/modulo-consulta>

En la Tabla 1 se muestra el listado de las estaciones que cuentan con registro de precipitación (Climatológica, Pluviográfica y Pluviométrica), con la descripción de las características como la categoría, tipo, coordenadas, cuenca, fecha de inicio de registro, fecha de suspensión, entre otros.

Tabla 1. Listado de estaciones hidroclimáticas de la CVC.

No.	Categoría	Nombre	Tipo	Código	Cuenca	Entidad	Este	Norte	Altura (msnm)	Fecha Inicio	Fecha Suspensión	Corregimiento
1	Climatológica	LA SIRENA	Convencional	2612810203	Amaime	CVC	1111632.24	880364.48	2605	1/02/1988	Activa	Bolo - Blanco
2	Climatológica	EL COMINAL	Automatica	2612700207	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1102900.00	881565.00	2055.4	18/02/2016	Activa	Tenjo
3	Climatológica	EL DIAMANTE	Convencional	2612810202	Amaime	CVC	1100480.03	879707.21	2100	31/07/1969	31/01/1985	La Zapata
4	Climatológica	SAN EMIGDIO	Convencional	2612810201	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1097335.30	884212.05	1272	1/12/1964	Activa	La Zapata
5	Climatológica	ING MANUELITA	Convencional	2612700201	Amaime	Particular	1088764.21	887712.55	1020	1/01/1932	Activa	Zamorano
6	Climatológica	PUENTE SALINAS	Automatica	2612800203	Amaime	CVC	1106088.56	891555.23	1427.5	22/09/2010	Activa	EL CERRITO
7	Pluviográfica	LA CEJA	Automatica	2612800106	Amaime	CVC	1117873.17	901674.93	3052	1/02/1971	Activa	Combia
8	Pluviográfica	BELLA VISTA	Automatica	2612800103	Amaime	CVC	1120059.01	893281.90	2875	1/09/1969	Activa	Combia
9	Pluviográfica	LOS TAMBOS	Automatica	2612810123	Amaime	CVC	1103106.81	880777.28	1680	1/09/2014	Activa	Tenjo
10	Pluviográfica	AUSTRIA	Automatica	2612810112	Amaime	CVC	1100441.62	887550.61	1750	1/08/1969	Activa	Poterillo
11	Pluviográfica	LOS CEIBOS	Automatica	2612800110	Amaime	CVC	1099448.52	891731.48	1010	6/08/2013	Activa	Tablones
12	Pluviográfica	MATAPALO	Automatica	2612700105	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1071509.96	887218.97	950	1/10/1972	Activa	Matapalo
13	Pluviográfica	TENERIFE	Automatica	2612800109	Amaime	CVC	1110786.31	904331.00	2609	30/12/1899	Activa	Los Andes - EL CERRITO
14	Pluviográfica	EL CASTILLO	Automatica	2613000103	El Cerrito	CVC	1098330.86	897088.21	1424	30/11/1970	Activa	EL CERRITO
15	Pluviométrica	JUANCHITO	Convencional	2610000116	Cauca	CVC	1066864.22	873460.86	-	1/01/1997	Activa	Juanchito
16	Pluviométrica	GUACHALZAMBOLO	Convencional	2612710106	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1070380.30	878515.62	940	31/03/1973	Activa	Guanabanal
17	Pluviométrica	PLANTANIMA	Convencional	2612810122	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1095476.60	884101.42	1170	28/02/1970	Activa	Barrancas
18	Pluviométrica	LAS MIRLAS	Convencional	2612810110	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1098416.28	879477.02	2375	31/07/1969	31/07/1982	La Zapata
19	Pluviométrica	LAS VERANERAS	Convencional	2612810121	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1098575.03	881302.65	-	31/01/1970	30/04/1990	La Zapata
20	Pluviométrica	TENJO	Convencional	2612810108	Amaime	CVC	1100685.09	881119.42	1500	31/07/1969	Activa	Tenjo
21	Pluviométrica	SAN NICOLAS	Convencional	2612810109	Amaime	CVC	1101709.46	882198.30	2100	31/07/1969	Activa	Tenjo
22	Pluviométrica	AMBERES	Convencional	2612810107	Amaime	CVC	1109131.93	881524.90	2070	31/07/1969	31/07/1982	Tenjo
23	Pluviométrica	EL PATO	Convencional	2612810106	Amaime	CVC	1111592.56	879143.65	-	31/07/1969	31/05/1983	Tenjo
24	Pluviométrica	LA SELVA	Convencional	2612810116	Amaime	CVC	1110155.57	878212.49	3415	31/08/1969	31/07/1982	Tenjo
25	Pluviométrica	CASETEJA	Convencional	2612810118	Amaime	CVC	1112669.21	876683.80	3520	31/08/1969	Activa	Tenjo
26	Pluviométrica	LA SIRENA	Convencional	2612810115	Amaime	CVC	1112168.80	875121.31	-	31/07/1969	28/02/1981	Tenjo
27	Pluviométrica	SANTA TERESA	Convencional	2612810102	Amaime	CVC	1117092.08	876746.72	3690	31/05/1969	Activa	Tenjo
28	Pluviométrica	ALBANIA	Convencional	2612810114	Amaime	CVC	1103598.30	883760.80	2050	31/07/1969	31/07/1982	Toche
29	Pluviométrica	SANTA RITA	Convencional	2612810103	Amaime	CVC	1104648.28	885434.58	-	31/05/1969	31/01/1985	Toche
30	Pluviométrica	ALTO BELLO	Convencional	2612810120	Amaime	CVC	1103932.85	886779.54	-	31/12/1969	30/11/1974	Toche
31	Pluviométrica	LOS CUERVOS	Convencional	2612810117	Amaime	CVC	1108021.06	886754.77	-	31/08/1969	31/07/1982	Toche
32	Pluviométrica	LABETULIA	Convencional	2612810111	Amaime	CVC	1108084.68	888780.33	2600	31/07/1969	31/07/1982	Toche
33	Pluviométrica	AUJI	Convencional	2612800104	Amaime	CVC	1107700.84	892336.82	1555	30/11/1970	Activa	EL CERRITO
34	Climatológica	LA BUITRERA	Convencional	2622600201	Arroyohondo	CVC	1060289.85	886260.14	1500	31/12/1978	Activa	YUMBO
35	Pluviográfica	PLANTA RIO CAUCA	Automatica	2620000103	Lili-M-C	CVC	1064917.86	872964.52	956	29/02/1960	Activa	CALI
36	Pluviográfica	VIJES - VILLAMARIA	Automatica	2622900101	Vijes	CVC	1066378.02	902968.26	1698	1/06/1971	Activa	VIJES
37	Pluviométrica	ING LA QUINTA	Convencional	2612710103	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1081267.22	869663.78	980	31/08/1969	Activa	CANDELARIA
38	Pluviométrica	BOLO BLANCO	Convencional	2612720103	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1107698.66	874229.39	2410	31/01/1970	Activa	PRADERA

Fuente: CVC, 2020. - <http://ecopedia.cvc.gov.co/modulo-consulta>

5.2. Estaciones IDEAM

Para realizar la consulta de las estaciones de IDEAM, se descargó el catálogo de estaciones del IDEAM en formato Shape y se acondicionó en un software para el manejo de sistemas de información geográfica, para establecer las estaciones que se encuentran dentro del área de jurisdicción del municipio de Palmira.



Figura 6. Red de estaciones hidroclimatológicas de IDEAM en el Municipio de Palmira.
Fuente: Elaboración propia QGIS 3.10, archivos base IDEAM, 2020.

De acuerdo con lo ilustrado en la Figura 6, en el municipio de Palmira, se encuentran 7 estaciones de IDEAM, de las cuales cinco (5) se encuentra activas y dos (2) suspendidas.

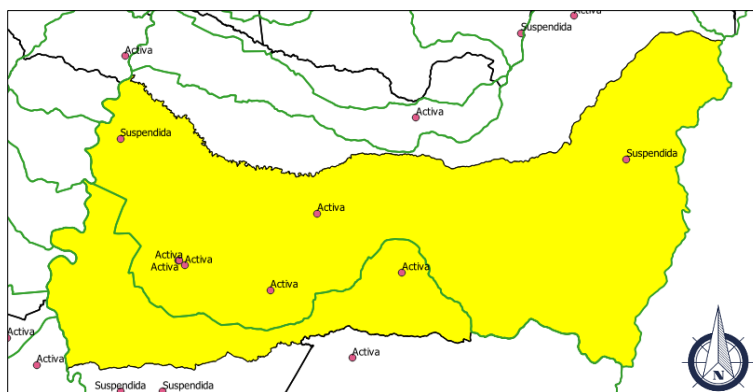


Figura 7. Estado de estaciones hidroclimatológicas de IDEAM.
Fuente: Elaboración propia QGIS 3.10, archivos base IDEAM, 2020.

Una de las estaciones suspendidas corresponde a la TENERIFE (26090710), la cual funcionó desde el 15 de diciembre de 1970 hasta el 15 de enero de 1972, por lo anterior, no se podrá usar para el presente trabajo.

6. SELECCIÓN DE ESTACIONES PARA EL ESTUDIO.

Según la Organización Mundial de Meteorología se debe cumplir con el mínimo de extensión del registro igual a 30 años, recomendado para obtener resultados confiables. (OMM, 1989) (IDEAM, 2012). De esta manera, se optó por un período de 31 años, entre enero de 1989 y diciembre de 2019, para el desarrollo del presente estudio.

6.1. Estaciones CVC

Es importante resaltar que algunas estaciones de CVC cuentan con registros mayores a 31 años, sin embargo, no se optó por un período mayor, para no descartar algunas estaciones, y así obtener mejor representatividad posible a lo largo y ancho del área del municipio de Palmira.

Acorde con lo anterior, en cuanto a la información de CVC, 18 estaciones cumplen con el registro de la precipitación en el período de análisis (31 años), 12 estaciones se encuentran clausuradas antes de 1985, con registros menores a 16 años, 3 estaciones fueron instaladas recientemente y cuentan con registros menores a 10 años, y una estación fue instalada en 1997, contando con 22 años de registro. En la siguiente tabla se muestran las estaciones seleccionadas para el estudio.

Tabla 2. Listado de estaciones de CVC seleccionadas para el estudio pluviométrico.

No.	Categoría	Nombre	Tipo	Código	Cuenca	Entidad	Este	Norte	Altura (msnm)	Fecha Inicio	Fecha Suspensión	Corregimiento
1	Climatológica	LA SIRENA	Convencional	2612810203	Amaine	CVC	1111632.24	880364.48	2605	1/02/1988	Activa	Bolo - Blanco
2	Climatológica	SAN EMIGDIO	Convencional	2612810201	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1097335.30	884212.05	1272	1/12/1964	Activa	La Zapata
3	Climatológica	ING MANUELITA	Convencional	2612700201	Amaine	Particular	1088764.21	887712.55	1020	1/01/1932	Activa	Zamorano
4	Pluviográfica	LA CEJA	Automatica	2612800106	Amaine	CVC	1117873.17	901674.93	3052	1/02/1971	Activa	Combia
5	Pluviográfica	BELLA VISTA	Automatica	2612800103	Amaine	CVC	1120059.01	893281.90	2875	1/09/1969	Activa	Combia
6	Pluviográfica	AUSTRIA	Automatica	2612810112	Amaine	CVC	1100441.62	887550.61	1750	1/08/1969	Activa	Potrillo
7	Pluviográfica	MATAPALO	Automatica	2612700105	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1071509.96	887218.97	950	1/10/1972	Activa	Matapalo
8	Pluviográfica	EL CASTILLO	Automatica	2613000103	El Cerrito	CVC	1098330.86	897088.21	1424	30/11/1970	Activa	EL CERRITO
9	Pluviométrica	GUACHALZAMBOLO	Convencional	2612710106	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1070380.30	878515.62	940	31/03/1973	Activa	Guanabanal
10	Pluviométrica	PLANTA NIMA	Convencional	2612810122	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1095476.60	884101.42	1170	28/02/1970	Activa	Barrancas
11	Pluviométrica	TENJO	Convencional	2612810108	Amaine	CVC	1100685.09	881119.42	1500	31/07/1969	Activa	Tenjo
12	Pluviométrica	SAN NICOLAS	Convencional	2612810109	Amaine	CVC	1101709.46	882198.30	2100	31/07/1969	Activa	Tenjo
13	Pluviométrica	AUJI	Convencional	2612800104	Amaine	CVC	1107700.84	892336.82	1555	30/11/1970	Activa	EL CERRITO
14	Pluviométrica	ING LA QUINTA	Convencional	2612710103	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1081267.22	869663.78	980	31/08/1969	Activa	CANDELARIA
15	Pluviométrica	BOLO BLANCO	Convencional	2612720103	Guachal (Bolo-Fraile)	CVC	1107698.66	874229.39	2410	31/01/1970	Activa	PRADERA
16	Climatológica	LA BUITRERA	Convencional	2622600201	Arroyohondo	CVC	1060289.85	886260.14	1500	31/12/1978	Activa	YUMBO
17	Pluviográfica	PLANTA RIO CAUCA	Automatica	2620000103	Lili-M-C	CVC	1064917.86	872964.52	956	29/02/1960	Activa	CALI
18	Pluviográfica	VJES - VILLAMARIA	Automatica	2622900101	Vjes	CVC	1066378.02	902968.26	1698	1/06/1971	Activa	VJES

6.2. Estaciones IDEAM

En cuanto a la información del IDEAM, se realizó la consulta en la plataforma DHIME dispuesta por el instituto para la descarga de información hidro-climatológica, en la consulta se puede verificar el período de registro de las estaciones y cuales son válidas para el presente estudio.

Código	Nombre	FechaIni	FechaFin
26075040	AEROPUERTO A BONILL...	1988-12-31	2019-12-31
26070290	ESTANCIA LA 26070...	2013-09-01	2013-10-01
26075100	GRANJA EXP HOESCHST...	1990-07-01	2002-10-01
26075050	INGENIO MANUELITA ...	1988-12-31	2015-01-01
26075010	PALMIRA ICA 260750...	1988-12-31	2019-12-31
26090070	SAN EMIGDIO 26090...	1988-12-31	1992-01-01
26095180	SAN EMIGDIO 26095...	1988-12-31	2011-02-01
26090820	STA TERESA 260908...		
26070110	ZAPATA LA 26070110...	1988-12-31	2019-12-31

Figura 8. Estaciones IDEAM plataforma DHIME.

Acorde con la figura 8, las estaciones que cuentan con un período de 31 años son: ZAPATA LA (26070110), PALMIRA ICA (26075010) Y AEROPUERTO BONILLA (26075040). Se realizó la consulta, para descarga de datos a través de la plataforma DHIME del IDEAM, pero no fue posible la descarga de los datos.

Debido a lo anterior, se realizó la solicitud formal al IDEAM mediante radicado No. 20209050099972, una vez recibida la información, se constata que la estación PALMIRA ICA (26075010) no cuenta con datos en el período entre el 31-12-1987 y 01-01-1992, igualmente la estación ZAPATA LA (26070110) no cuenta con registros completos entre 2016 y 2019, por lo cual se descarta para el uso en el presente estudio.

Finalmente, de parte del IDEAM, es posible únicamente el uso de la estación AEROPUERTO BONILLA (26075040) para el presente análisis.

7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES

A partir de las coordenadas de localización de las estaciones, se realizó la especialización en el territorio, tomando como base los límites del municipio de Palmira, así mismo, las cuencas Amaime y Guachal (Bolo-Fraile) relacionadas en el presente estudio. En las Figuras 9 y 10 se muestra la distribución espacial.

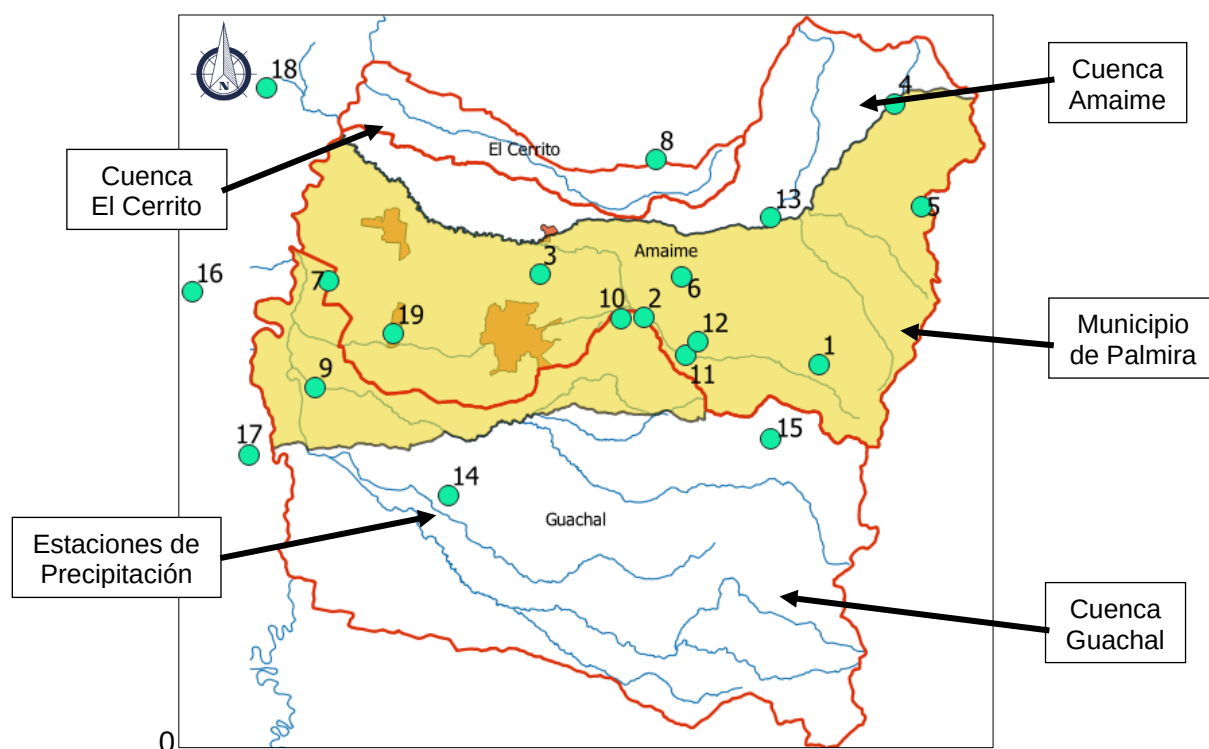


Figura 9. Distribución espacial de las estaciones de CVC e IDEAM seleccionadas.

Nota: 18 estaciones de CVC (1 a 18) y 1 de IDEAM (19)

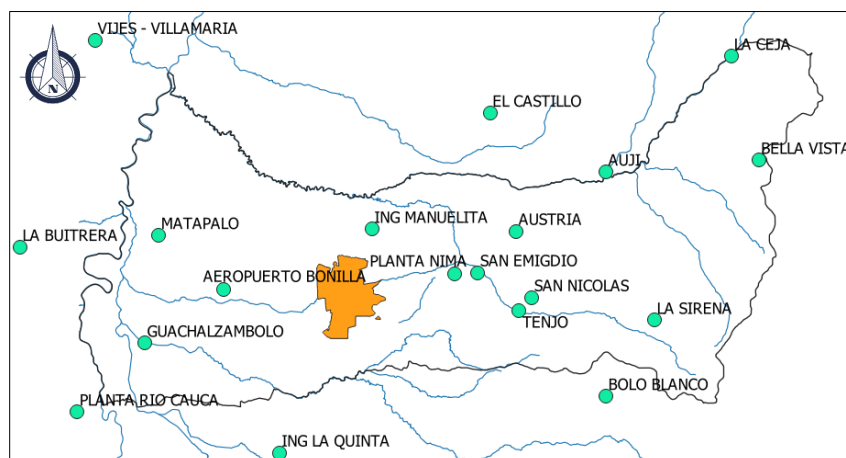


Figura 10. Distribución espacial y nombre de las estaciones seleccionadas.

Nota: Ver Anexo 1. Mapa distribución de las estaciones seleccionadas

8. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN E INTERPOLACIÓN ESPACIAL – ISOYETAS

8.1. Conceptualización y métodos de interpolación

La interpolación espacial es el proceso de utilizar puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos, por ejemplo, para realizar un mapa de precipitación (lluvia). La interpolación espacial puede estimar las temperaturas en lugares que no tienen ese dato utilizando lecturas de temperatura conocida en estaciones meteorológicas cercanas. A este tipo de superficie interpolada con frecuencia se le llama una *superficie estadística*. Datos de elevación, precipitación, acumulación de nieve, tabla de agua y densidad de población son otros tipos de datos que pueden ser calculados utilizando la interpolación. (QGIS, 2020).

La primera ley de Tobler (1970) de la geografía establece: “Todos los lugares están relacionados, pero lugares cercanos están más relacionadas que lugares distantes”, por ejemplo, si se presenta una intensa precipitación, existe alta probabilidad que a 500 metros también la lluvia sea intensa, pero es menos probable que llueva intensamente a 500 kilómetros, es decir las muestras cercanas tienen valores más similares que las muestras de lugares lejanos. (URL 1)

Varios han sido los métodos de interpolación propuestos en la literatura y aplicados al análisis del campo de precipitación. Históricamente dos de los métodos más empleados han sido el método de *Thiessen* y el método de las *Isoyetas*, los cuales, en comparación con otros métodos, y en opinión de algunos autores resultan bastante “ineficientes” al intentar reproducir la variabilidad espacial de la precipitación. (Figueroa & Rodríguez, 2014)

Cheng et al. (2012) afirman que el método de Thiessen tiene una muy pobre capacidad de representar la estructura espacial de la precipitación, además de subestimar el valor promedio de área de esta, ya que se asume que la estimación está relacionada con la zona que se representa geométricamente. En respuesta a esto, distintos métodos de interpolación espacial han sido propuestos y evaluados con el fin de acercarse a una metodología que aumente la confiabilidad en la espacialización de la precipitación a partir de mediciones puntuales. Es el caso de los métodos geoestadísticos (o estocásticos) y no-geoestadísticos (o determinísticos) (Li y Heap, 2011) (Figueroa & Rodríguez, 2014)

Dentro de los métodos geoestadísticos se encuentran técnicas de interpolación denominadas Kriging, las cuales permiten realizar la estimación y predicción de superficies continuas, basándose esencialmente en la modelación de la estructura de correlación espacial (Webster y Oliver, 2007).

Por otro lado, los métodos no-geoestadísticos comúnmente empleados en este tipo de estudios son el IDW (Inverse Distance Weighted en inglés), los métodos splines y el método del vecino más próximo (Nearest Neighbours en inglés), entre otros. Estos métodos se basan en funciones matemáticas para el cálculo de valores en lugares no muestreados, basándose en el grado de similitud con relación a los valores de datos vecinos. (Figueroa & Rodríguez, 2014)

Según Figueroa & Rodríguez. (2014), indudablemente no existe método de interpolación único y óptimo, pues este dependerá de las características del campo de precipitación, de su nivel de análisis temporal y de la configuración de la red de monitoreo.

Figueroa & Rodríguez. (2014), evaluaron la variabilidad espacial de la precipitación en una microcuenca urbana experimental en la ciudad de Bogotá, utilizando los métodos de IDW (Inverse Distance Weighted), ADW (Angular Distance Weighted), TPS (Thin Plate Spline), MBS (Multilevel B-Spline) y NN (Nearest Neighbour), Kriging Ordinario, Kriging Universal y Kriging Simple (KO, KU, KS, respectivamente), según los resultados, el método de Kriging Ordinario resulta ser el de mejor desempeño, más aun así, el método de Multilevel B-Spline siendo un método de menor complejidad representa de forma bastante similar el campo de precipitación. Finalmente, los autores manifiestan que no necesariamente mayor complejidad en el método de interpolación utilizado brinda los mejores resultados.

Acorde con lo anterior, existen diversos métodos de variada complejidad, según la bibliografía especializada en el tema, uno de los mejores ajustes en el campo de la precipitación se obtiene con los métodos de *Kriging* (estocásticos) y el *Multilevel B-Spline* (determinísticos). Considerando que usar Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva y profunda del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores “z”, se optó por usar el método *Multilevel B-Spline*, igualmente se evaluó el método IDW (Distancia Inversa ponderada), sin embargo, se obtuvieron mejores resultados con el *Multilevel B-Spline*.

Es importante resaltar que el método *Multilevel B-Spline* es recomendado en pluviometría, el cual estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada. (URL 2)

8.2. Precipitación total anual media, máxima y mínima.

En la Tabla 3 se muestran los valores de la precipitación total anual media, máxima y mínima para las 19 estaciones seleccionadas, es importante resaltar que para algunas estaciones se tenía la salvedad de datos incompletos, principalmente para los datos de precipitación mínima.

Tabla 3. Precipitación total anual, valor medio, máximo y mínimo.

No.	Nombre	Entidad	Este	Norte	Altura (msnm)	P. Media Anual (mm)	P. Max. Anual (mm)	P. Min. Anual (mm)
1	LA CEJA	CVC	1117873.17	901674.93	3052	1080.5	1945.0	149.0
2	BELLA VISTA	CVC	1120059.01	893281.90	2875	1259.5	2033.0	653.0
3	LA SIRENA	CVC	1111632.24	880364.48	2605	1345.6	2341.0	374.0
4	BOLO BLANCO	CVC	1107698.66	874229.39	2410	1518.4	2851.0	715.0
5	SAN NICOLAS	CVC	1101709.46	882198.30	2100	1841.7	3001.0	286.0
6	AUSTRIA	CVC	1100441.62	887550.61	1750	1838.8	2471.0	962.1
7	AUJI	CVC	1107700.84	892336.82	1555	867.9	1483.0	294.0
8	TENJO	CVC	1100685.09	881119.42	1500	1743.2	2409.0	1220.0
9	EL CASTILLO	CVC	1098330.86	897088.21	1424	1837.6	2619.0	1065.0
10	SAN EMIGDIO	CVC	1097335.30	884212.05	1272	1539.9	2036.0	981.0
11	PLANTA NIMA	CVC	1095476.60	884101.42	1170	1462.5	2096.0	962.0
12	ING MANUELITA	Particular	1088764.21	887712.55	1020	1106.7	1449.2	693.0
13	ING LA QUINTA	CVC	1081267.22	869663.78	980	989.1	1456.0	611.0
14	AEROPUERTO BONILLA	IDEAM	1076763.56	882867.88	970	840.17	1208.0	439.6
15	MATAPALO	CVC	1071509.96	887218.97	950	923.5	1472.0	602.0
16	GUACHALZAMBOLO	CVC	1070380.30	878515.62	940	947.7	1989.0	524.0
17	VIJES - VILLAMARIA	CVC	1066378.02	902968.26	1698	1066.3	1814.0	579.1
18	LA BUITRERA	CVC	1060289.85	886260.14	1500	1051.7	1455.0	657.0
19	PLANTA RIO CAUCA	CVC	1064917.86	872964.52	956	1052.2	1749.0	319.1

En la Figura 11 se muestra gráficamente el comportamiento de la precipitación total anual mínima, media y máxima, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las cuatro (4) estaciones localizadas en la zona alta de la cuenca, desde los 2410 msnm (E. Bolo Blanco) hasta los 3052 msnm (E. La Ceja).

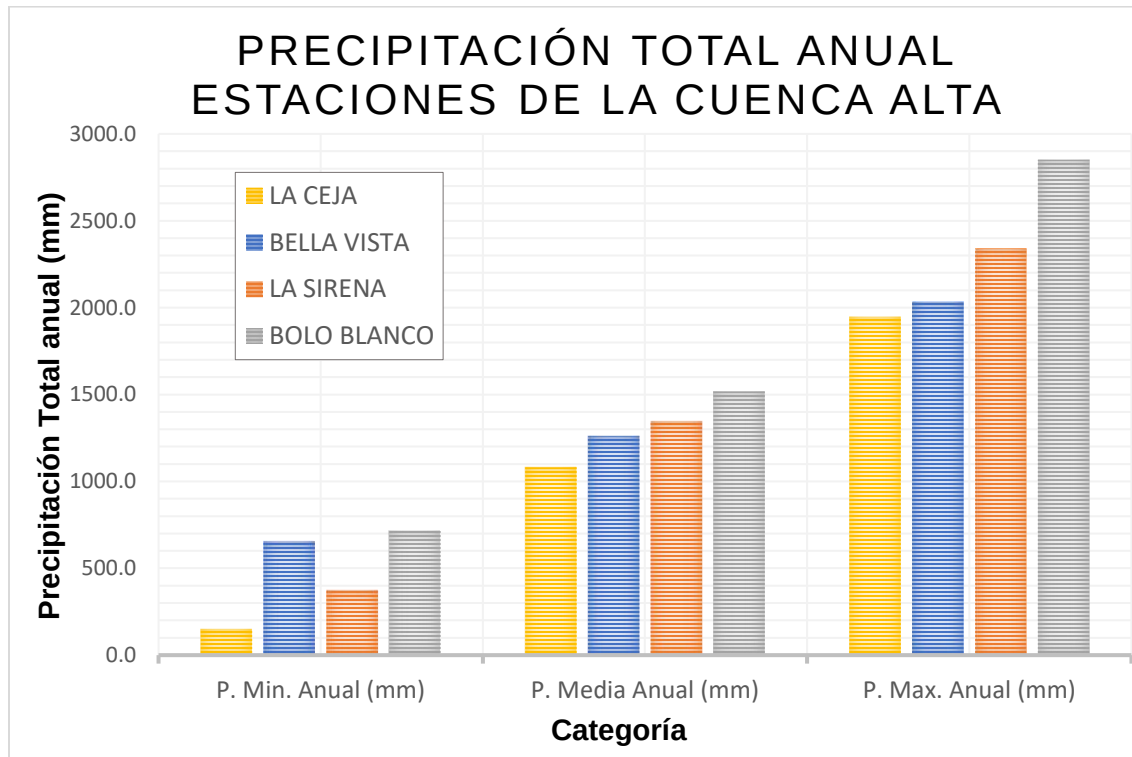


Figura 11. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca alta.

De acuerdo con los datos de la Tabla 3 y la Figura 10, se puede apreciar que, para la zona alta de la cuenca, desde los 2410 msnm (E. Bolo Blanco) hasta los 3052 msnm (E. La Ceja), la precipitación media total anual se encuentra dentro de un rango entre los 1080.5 mm hasta los 1518.4 mm, con una variación inversa a la altura sobre el nivel del mar, es decir, que la precipitación total anual aumenta en la medida que se baja de cota. El mismo comportamiento se observa para los valores máximos, en el caso de los mínimos se tienen diferencias que se pueden atribuir a la ausencia de datos completos.

En la Figura 12 se muestra gráficamente el comportamiento de la precipitación total anual mínima, media y máxima, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las siete (7) estaciones localizadas en la zona media de la cuenca, desde los 1170 msnm (E. Planta Nima) hasta los 2100 msnm (E. San Nicolás).

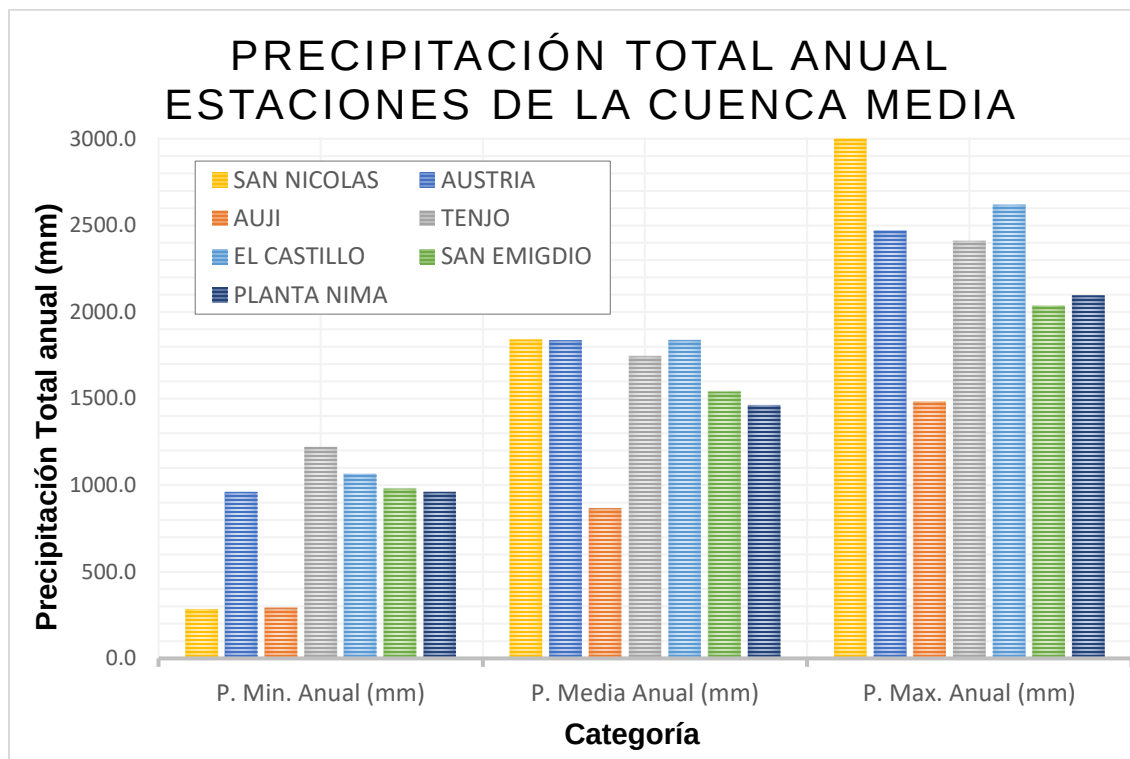


Figura 12. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca media.

De acuerdo con los datos de la Tabla 3 y la Figura 10, para el caso de la zona media de la cuenca, entre los 1170 msnm (E. Planta Nima) y los 2100 msnm (E. San Nicolas), se presenta el rango mayor de precipitación total anual media, comprendida entre los 1462.5 mm y los 1841.7 mm, igualmente para los valores máximos y mínimos, con una tendencia marcada hacia la disminución en la medida que disminuye la altura sobre el nivel del mar.

En la Figura 13 se muestra gráficamente el comportamiento de la precipitación total anual mínima, media y máxima, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las cinco (5) estaciones localizadas en la zona baja de la cuenca, 940 msnm (E. Guachalzambolo) y los 1020 msnm (E. Ing. Manuelita).

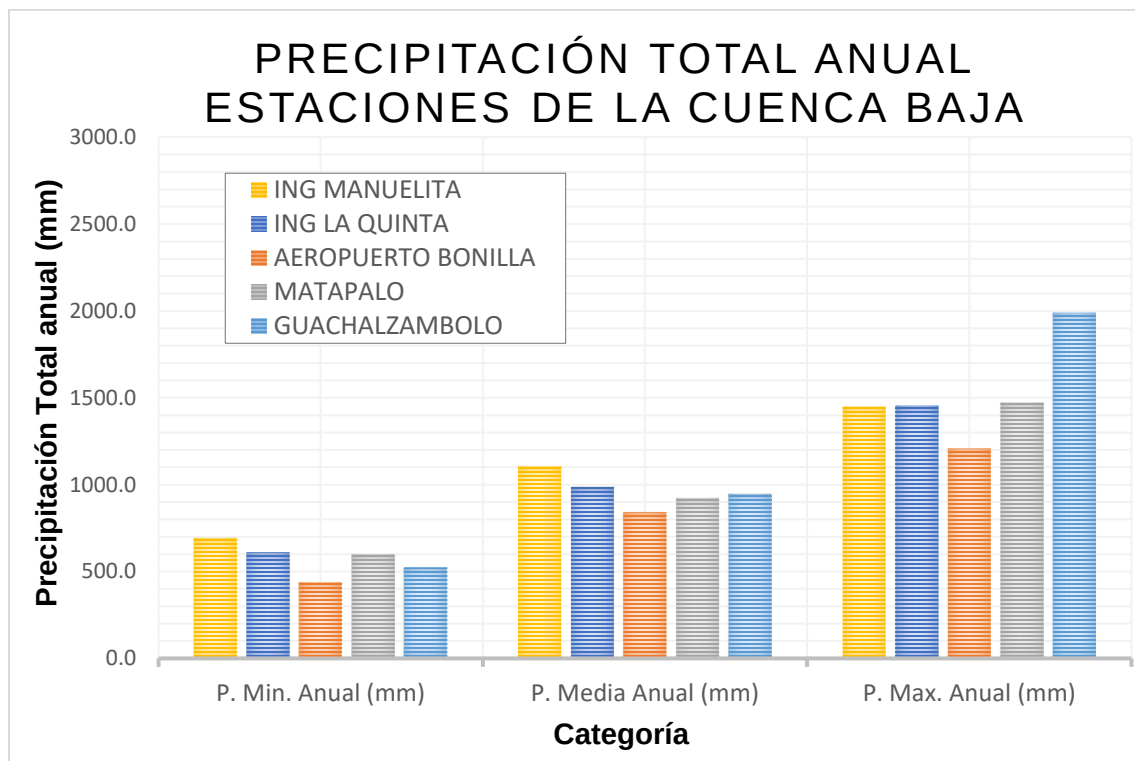


Figura 13. Precipitación total anual, estaciones de la cuenca baja.

En la zona baja, entre los 940 msnm (E. Guachalzambolo) y los 1020 msnm (E. Ing. Manuelita), se presenta un rango de precipitación entre 840.17 mm y 1106.7 mm, de manera que la zona plana del municipio de Palmira es la zona de menor precipitación en comparación con la zona alta y media.

Finalmente, se puede detallar que la zona de mayor precipitación total anual media se registró para las estaciones AUSTRIA y SAN NICOLAS, con valores medios entre 1838.8 y 1841.7 mm, y valores máximos entre 2471.0 y 3001.0 mm respectivamente, dichas estaciones se ubican entre las cotas 1750 y 2100 msnm, en lo que se podría catalogar como la cuenca media del río Amaime.

En contraste con lo anterior, la zona de menor precipitación se registró para las estaciones AEROPUERTO BONILLA y MATAPALO, con valores medios entre 840.17 y 923.5 mm, y valores máximos entre 1208.0 y 1472.0 mm respectivamente, estaciones ubicadas entre las cotas 950 y 970 msnm, en la zona plana del municipio, en cercanías al río Cauca.

8.3. Isoyetas – precipitación media total anual

A partir de la precipitación media total anual, obtenida del promedio multianual registrado por las estaciones previamente seleccionadas, durante el período comprendido entre 1989 y 2019, (31 años), se realizó la espacialización mediante interpolación y generación de las isoyetas en el área de jurisdicción del municipio de Palmira.

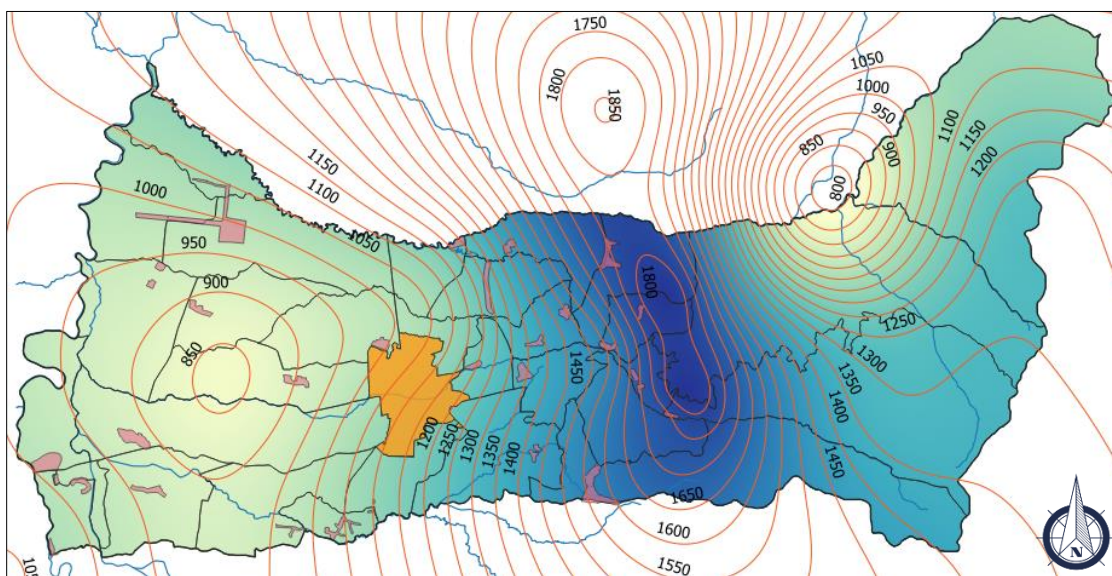


Figura 14. Isoyetas precipitación media total anual.

Nota: Ver mapa completo en Anexo 2.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que, sobre la ciudad de Palmira, precipitan entre 1050 y 1200 mm de lluvia media total anualmente.

Cuenca Baja: En la zona más baja del municipio, es decir, en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando y en la zona cercana al río Cauca, la precipitación disminuye a valores entre los 850 y 1000 mm total anuales.

Cuenca Media: La zona de mayor precipitación media total anual se encuentra a la altura de los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, con valores entre los 1600 y 1800 mm.

Cuenca Alta: Se puede evidenciar que la precipitación media total anual se encuentra en un rango entre los 1500 y 1100 mm en general en la mayor parte del territorio alto, sin embargo a la altura de la entrega del río Cabuyal al Amaime, se registran precipitaciones del orden de 800 a 950 mm, debido a que en ese punto tiene influencia los registros de la estación AUJI, uno de los motivos de estos resultados puede ser debido a que la estación se localiza sobre una zona encañonada, a 1555 msnm, en la cual se pueden propiciar fenómenos de lluvia localizados.

8.4. Isoyetas – precipitación máxima total anual

A partir de la precipitación máxima total anual, obtenida del registro multianual de las estaciones previamente seleccionadas, durante el período comprendido entre 1989 y 2019, (31 años), se realizó la espacialización mediante interpolación y generación de las isoyetas en el área de jurisdicción del municipio de Palmira.

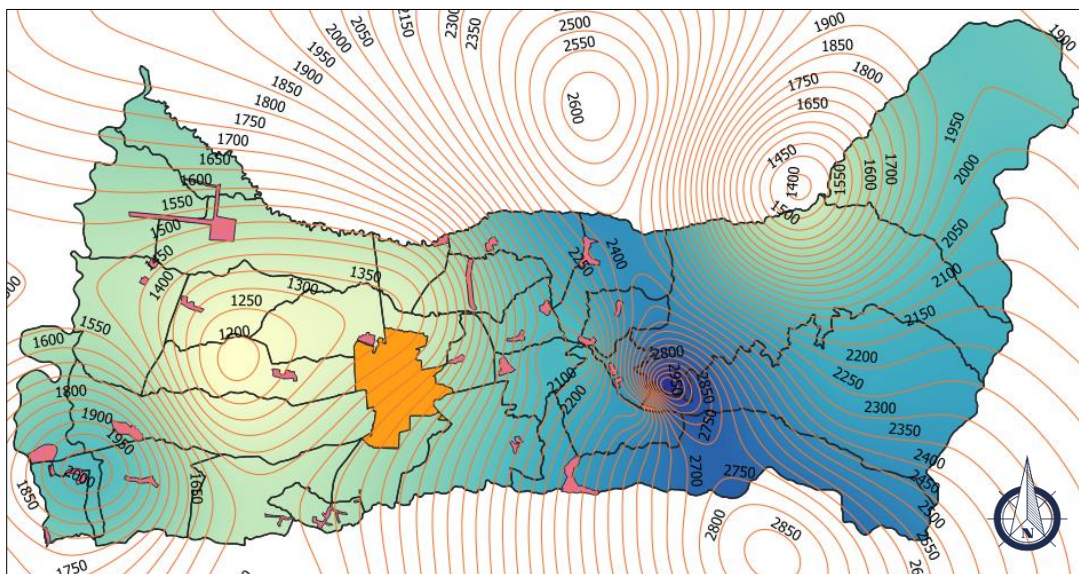


Figura 15. Isoyetas precipitación máxima total anual.

Nota: Ver mapa completo en Anexo 3.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que, sobre la ciudad de Palmira, han precipitado anualmente como máximo entre 1300 y 1700 mm.

Cuenca Baja: En la zona más baja del municipio, es decir, en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando, la precipitación máxima se encuentra entre los 1200 y 1300 mm total anual.

Cuenca Media: La zona de mayor precipitación máxima total anual se encuentra a la altura de los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Calucé, La Zapata, parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, con valores entre los 2300 y 3000 mm.

Cuenca Alta: Se puede evidenciar que la precipitación máxima total anual se encuentra en un rango entre los 2250 y 1700 mm en general en la mayor parte del territorio alto, sin embargo a la altura de la entrega del río Cabuyal al Amaime, se registran precipitaciones del orden de 1400 a 1650 mm, por influencia de los registros de la estación AUJI, uno de los motivos de estos resultados puede ser debido a que la estación se localiza sobre una zona encañonada, a 1555 msnm, en la cual se pueden propiciar fenómenos de lluvia localizados.

8.5. Isoyetas – precipitación mínima total anual

A partir de la precipitación mínima total anual, se realizó la espacialización mediante interpolación y generación de las isoyetas en el área de jurisdicción del municipio de Palmira.

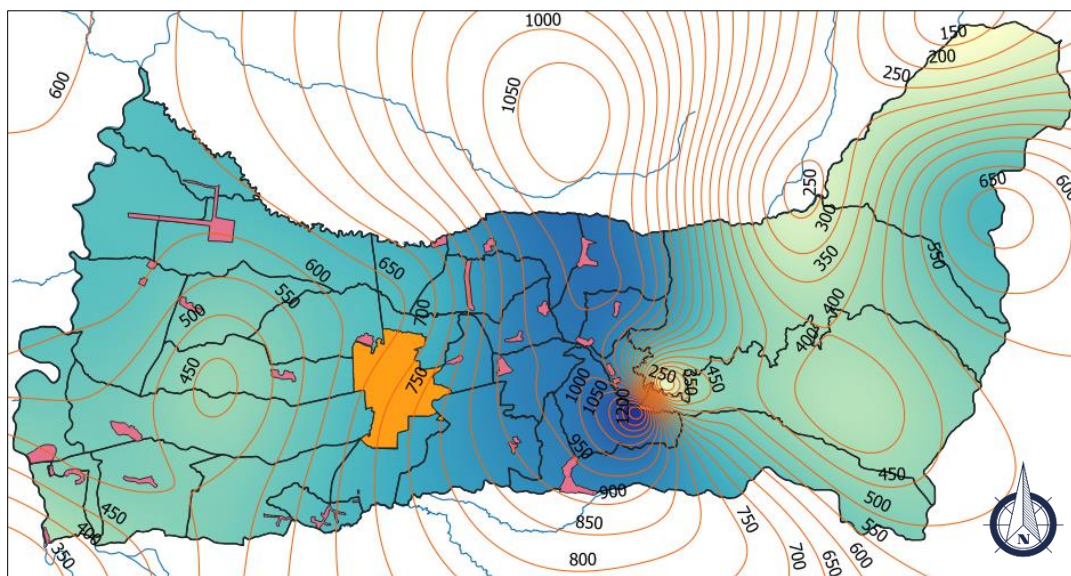


Figura 16. Isoyetas precipitación mínima total anual.

Nota: Ver mapa completo en Anexo 4.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que, sobre la ciudad de Palmira, han precipitado como mínimo entre 600 y 800 mm total anualmente.

Cuenca Baja: En la zona más baja del municipio, es decir, en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando y la parte cercana al río Cauca, la precipitación mínima se encuentra entre los 450 y 600 mm total anual.

Cuenca Media: Se presentan los valores más altos de precipitación mínima total anual a la altura de los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Calucé, La Zapata, parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, entre los 950 y 1200 mm.

Cuenca Alta: En la parte alta de la cuenca, la precipitación mínima total anual se encuentra en un rango entre los 400 y 650 mm en general en la mayor parte del territorio alto. Sin embargo, es importante resaltar que para el caso de la precipitación mínima total anual, en los registros de CVC, gran parte de los datos de la lista se reportan como datos incompletos, lo que hace que la interpolación no se limpie, por lo cual se recomienda la utilización del presente estudio con criterio técnico y siempre verificando con datos actuales en cada una de las estaciones.

8.6. Precipitación total mensual, promedio multianual del período comprendido entre 1989 y 2019.

En la Tabla 4 se muestran los valores de la precipitación media total mensual, obtenido del promedio multianual del periodo comprendido entre 1989 y 2019 de las 19 estaciones seleccionadas, las cuatro (4) primeras estaciones corresponden a la cuenca alta, de la 5 a la 11 a la cuenca media y de la 12 a la 16 a la cuenca baja.

Tabla 4. Precipitación total mensual, promedio multianual.

No.	Nombre	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	LACEJA	3052	74.7	93.0	125.3	115.4	111.1	53.6	55.0	42.6	65.0	128.1	162.4	112.0
2	BELLA VISTA	2875	114.2	103.3	143.6	135.3	104.7	57.4	57.8	31.8	58.4	158.3	174.3	138.2
3	LA SIRENA	2605	111.1	109.8	128.8	129.3	110.1	79.4	63.5	44.5	65.8	181.1	202.8	135.6
4	BOLO BLANCO	2410	123.8	118.5	163.0	168.5	152.3	72.9	49.1	34.3	69.0	199.2	230.3	163.6
5	SAN NICOLAS	2100	165.6	181.7	221.6	201.1	157.8	67.9	63.4	44.3	107.0	273.4	332.9	213.7
6	AUSTRIA	1750	142.4	155.0	201.7	202.6	153.7	71.9	44.0	42.8	121.7	247.9	274.3	182.2
7	AUJI	1555	65.7	65.2	87.7	105.2	72.4	33.9	24.5	17.1	46.9	126.5	132.8	89.9
8	TENJO	1500	142.3	157.1	195.8	199.2	127.4	58.5	34.5	29.3	112.1	237.6	286.5	182.9
9	EL CASTILLO	1424	149.5	149.3	207.3	214.4	142.1	62.7	37.3	41.4	112.7	245.4	280.5	195.0
10	SAN EMIGDIO	1272	103.1	131.8	180.8	185.9	122.0	64.6	44.7	45.0	117.5	205.1	214.4	136.4
11	PLANTA NIMA	1170	91.4	119.3	171.4	194.9	126.5	58.0	47.9	43.4	105.9	189.3	199.2	117.2
12	ING MANUELITA	1020	74.1	73.7	123.6	155.9	121.4	69.8	41.3	40.1	73.1	120.5	141.3	94.5
13	ING LA QUINTA	980	65.7	79.8	128.2	146.8	127.3	54.1	26.9	24.4	56.2	95.9	117.8	86.4
14	AEROPUERTO BONILLA	970	51.8	54.5	85.8	130.2	101.6	50.4	31.5	28.8	62.0	98.2	103.2	67.3
15	MATAPALO	950	53.0	50.8	91.2	142.2	107.6	58.9	37.9	26.1	64.6	103.6	102.7	84.8
16	GUACHALZAMBOLO	940	53.3	57.3	95.8	139.2	111.5	65.1	39.5	39.1	68.3	98.5	107.7	75.0
17	VIJES - VILLAMARIA	1698	57.8	63.7	114.7	137.1	106.9	62.8	51.6	39.6	88.7	141.7	122.2	81.6
18	LA BUITRERA	1500	61.6	65.4	112.4	158.1	120.6	61.4	43.0	35.3	68.1	116.1	123.4	86.4
19	PLANTA RIO CAUCA	956	68.0	71.7	117.4	162.1	141.8	64.8	40.7	37.6	66.0	100.3	111.7	100.0

Las tres últimas estaciones, 17, 18 y 19, corresponden a las estaciones localizadas sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental, es decir sobre la margen izquierda del río Cauca.

En la Figura 17 se muestra el comportamiento de la precipitación media mensual total en los 12 meses, para las cuatro (4) estaciones de la cuenca alta, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

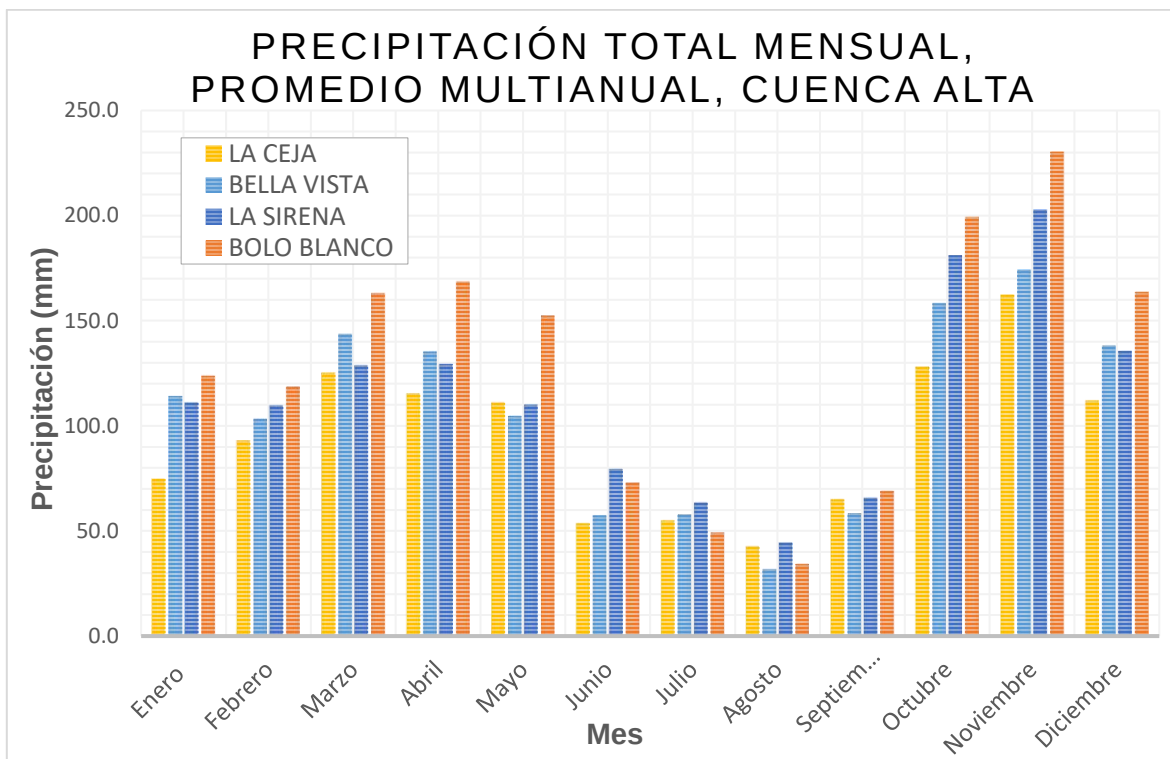


Figura 17. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca alta.

De acuerdo con los registros de la Tabla 4 y la representación gráfica de la Figura 17, se puede observar que el comportamiento de la lluvia a lo largo del año obedece a un régimen bimodal, con una primera temporada invernal en los meses Marzo, Abril y Mayo, y la segunda en Octubre y Noviembre principalmente.

Se puede observar que el mes más lluvioso es Noviembre, en donde el valor medio total mensual más alto fue de 230.3 mm, registrado por la estación “Bolo Blanco”. Por otra parte, el mes más seco es Agosto, el valor medio total mensual más bajo fue de 31.8 mm, registrado en la estación “Bella Vista”.

En correspondencia con el comportamiento de la lluvia a nivel anual, en el caso de la lluvia media mensual también se observa que aumenta en la medida que la altura sobre el nivel del mar disminuye, teniendo en cuenta que la estación “La Ceja” se encuentra más elevada y la estación “Bolo Blanco” con menor elevación entre las cuatro estaciones de la zona alta.

En la Figura 18 se muestra el comportamiento de la precipitación media mensual total en los 12 meses, para las siete (7) estaciones de la cuenca media, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

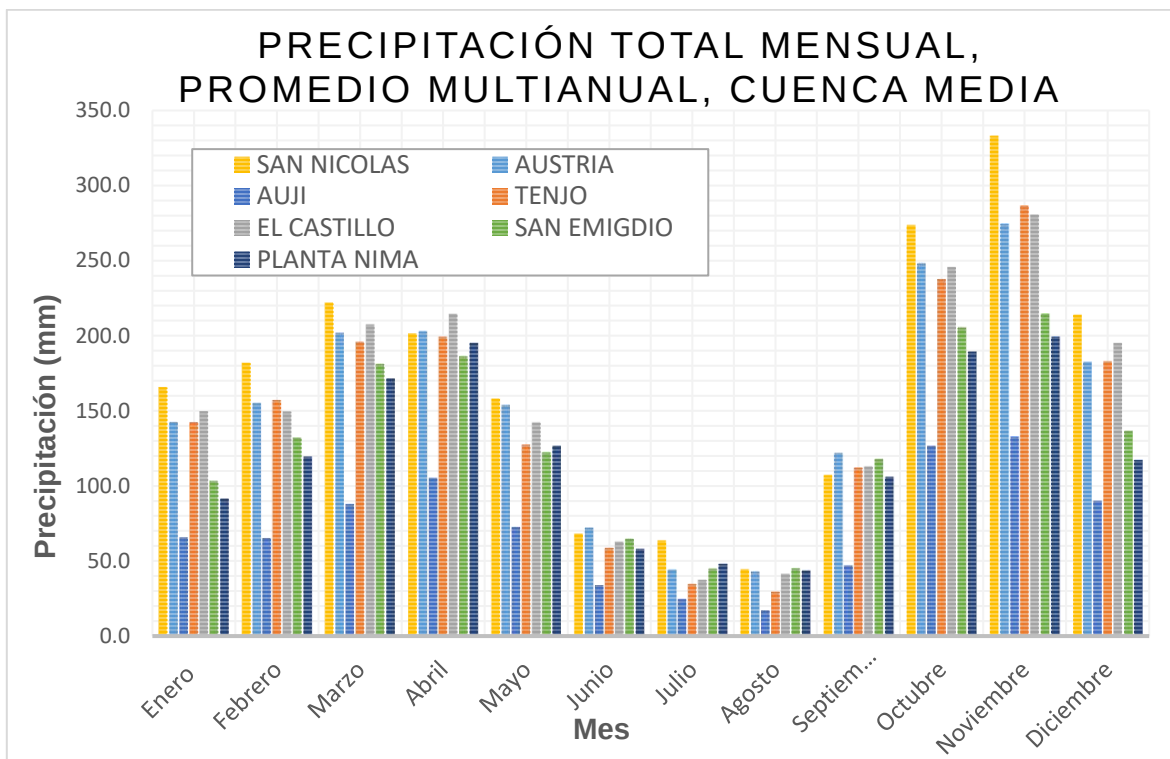


Figura 18. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca media.

De acuerdo con los registros de la Tabla 4 y la representación gráfica de la Figura 18, se puede observar al igual que en la cuenca alta, un comportamiento bimodal, con un periodo más seco, comprendido entre los meses de junio, julio y agosto, a partir de Septiembre inicia el aumento en las precipitaciones dando apertura a la segunda temporada invernal de octubre y noviembre.

Se observa que los meses más lluviosos son octubre y noviembre, siendo este último el mes el más lluvioso, con un valor pico de 332.9 mm, registrado por la estación "San Nicolas". Por otra parte, el mes más seco es Agosto, con un valor mínimo de 17.1 mm, registrado en la estación "Auji".

En general, el comportamiento de la lluvia de una estación a otra permite observar que la precipitación disminuye con forme reduce la altura sobre el nivel del mar, así los valores más altos corresponden a la estación "San Nicolas" (2100 msnm), disminuyendo hasta la estación "Planta Nima" (1170msnm), a excepción de la estación "Auji" que presenta condiciones especiales debido posiblemente a su ubicación geográfica.

En la Figura 19 se muestra el comportamiento de la precipitación media mensual total en los 12 meses, para las cinco (5) estaciones de la cuenca baja, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

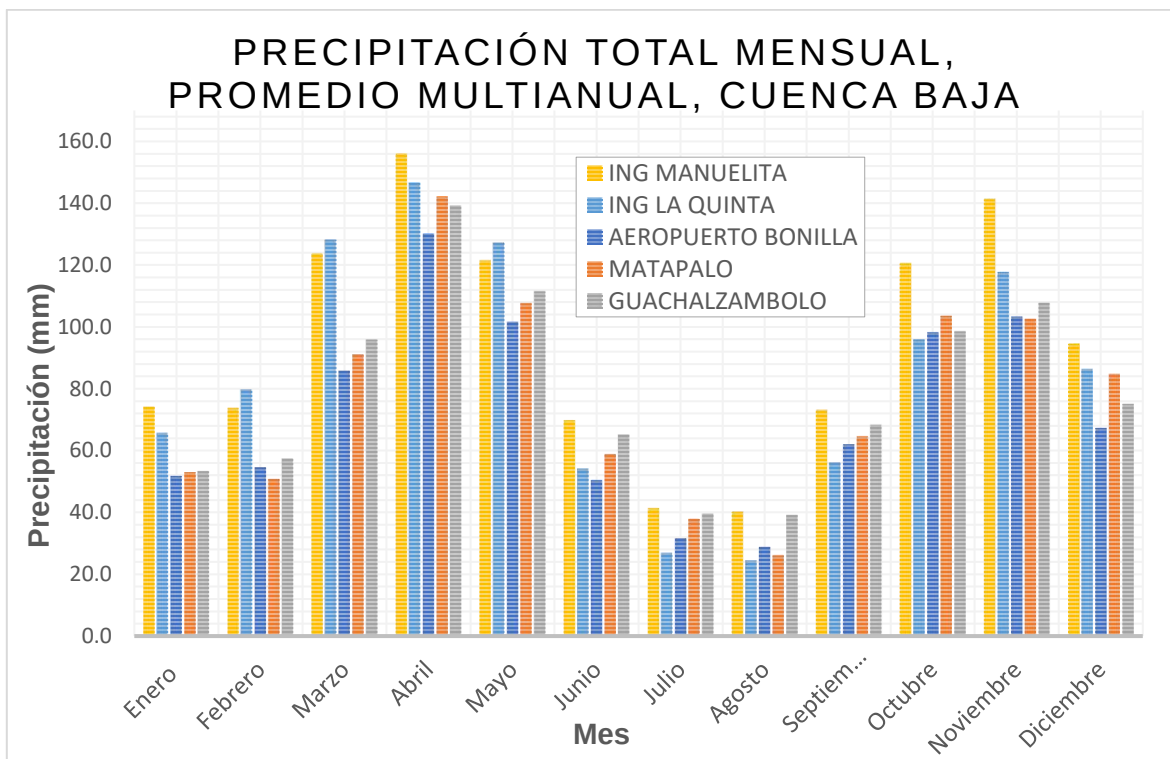


Figura 19. Precipitación media total mensual, estaciones de la cuenca baja.

Para la cuenca baja, se observa un comportamiento marcado sobre el régimen de lluvias bimodal, con la primera temporada invernal en marzo abril y mayo, y la segunda en Octubre y Noviembre y parte de Septiembre y Diciembre. En relación con la temporada seca, la temporada más crítica es junio, julio y agosto, este último con la menor precipitación.

En comparación con la zona alta y media de la cuenca, en la zona plana es donde se obtienen menores precipitaciones medias totales mensuales, lo cual corresponde con los valores anuales previamente analizados. Es importante resaltar que, para la cuenca baja, el periodo de mayor lluvia es la primera temporada invernal. El valor de precipitación más alto se registra para el mes de abril, para la estación “Ing. Manuelita” (1020 msnm), 155.9 mm, mientras que el valor más bajo se registra para el mes de agosto en la estación “Ing. La Quinta” (980 msnm), 24.4 mm.

8.7. Isoyetas – Precipitación media total mensual

A continuación, se presentan las isoyetas para la precipitación media total mensual, obtenidas del promedio multianual registrado por las estaciones previamente seleccionadas, durante el período comprendido entre 1989 y 2019, (31 años), se realizó la espacialización mediante interpolación. (Ver Figuras 20 a 31)

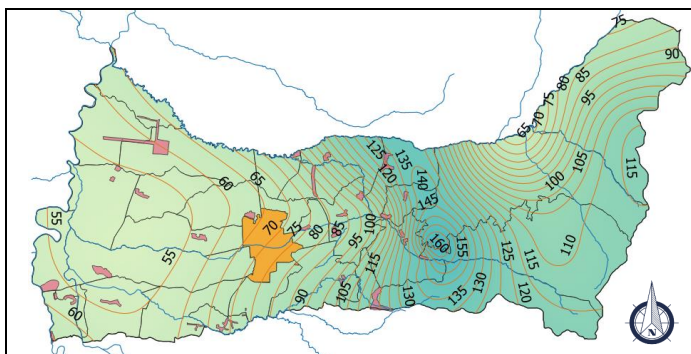


Figura 20. Isoyetas precipitación media total mensual – Enero.

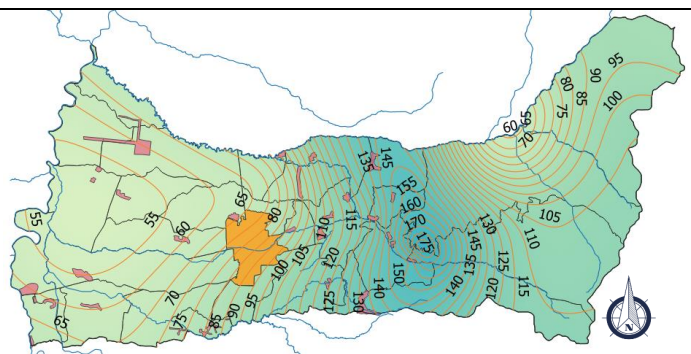


Figura 21. Isoyetas precipitación media total mensual – Febrero.

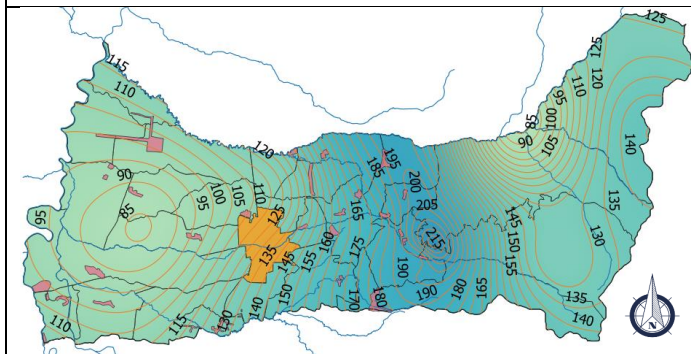


Figura 22. Isoyetas precipitación media total mensual – Marzo.

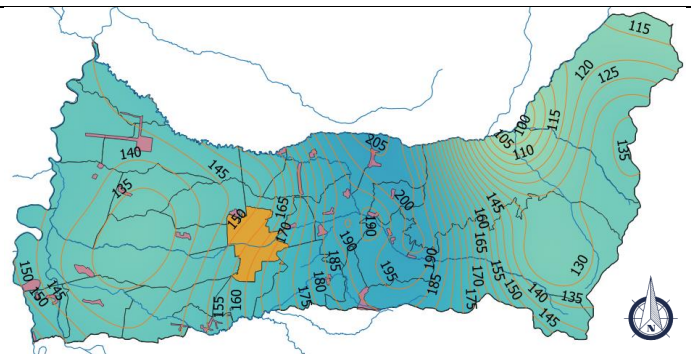


Figura 23. Isoyetas precipitación media total mensual – Abril.

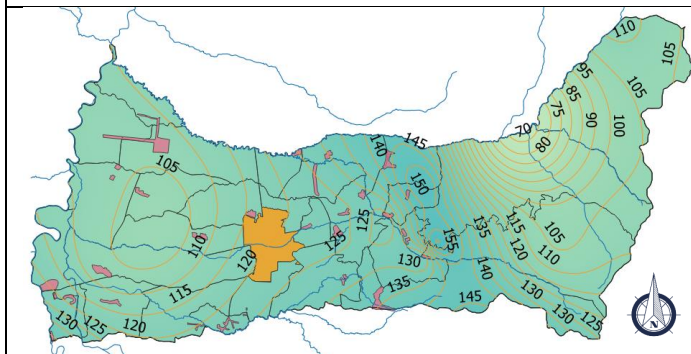


Figura 24. Isoyetas precipitación media total mensual – Mayo.

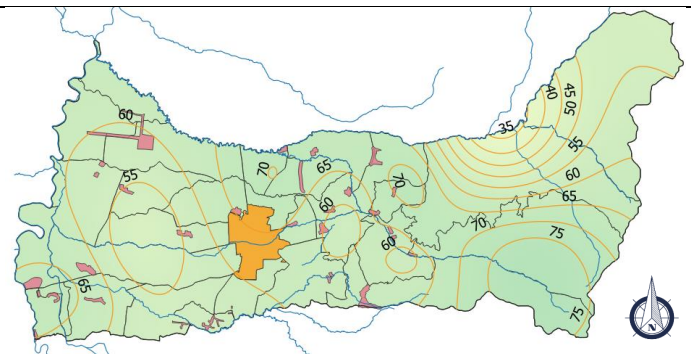


Figura 25. Isoyetas precipitación media total mensual – Junio.

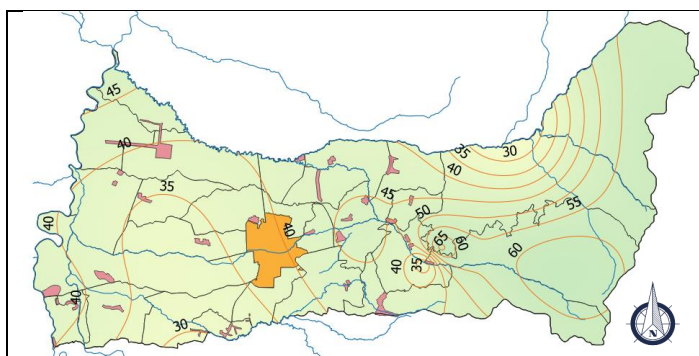


Figura 26. Isoyetas precipitación media total mensual – Julio.

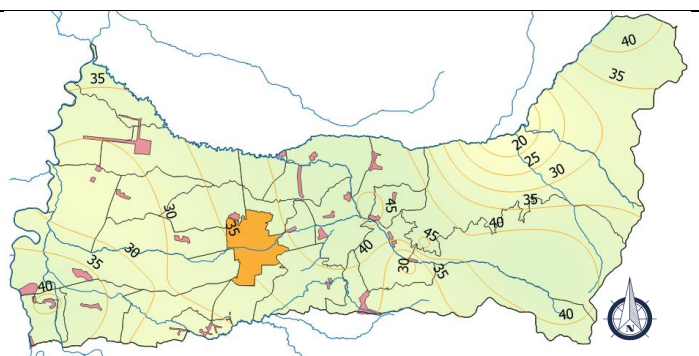


Figura 27. Isoyetas precipitación media total mensual – Agosto.

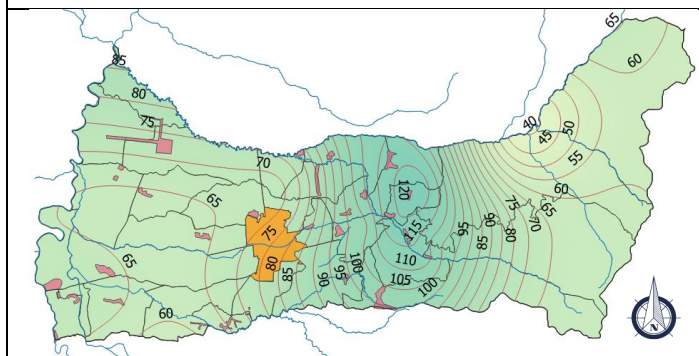


Figura 28. Isoyetas precipitación media total mensual – Septiembre.

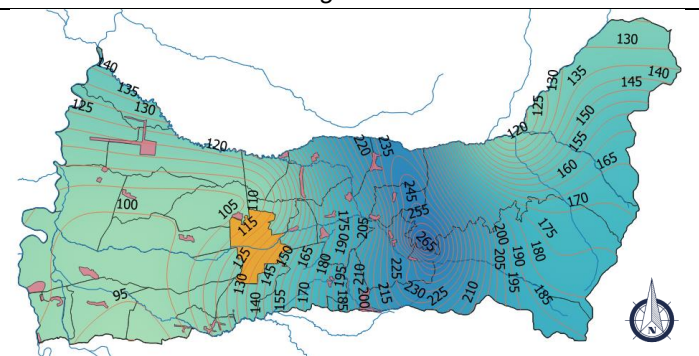


Figura 29. Isoyetas precipitación media total mensual – Octubre.

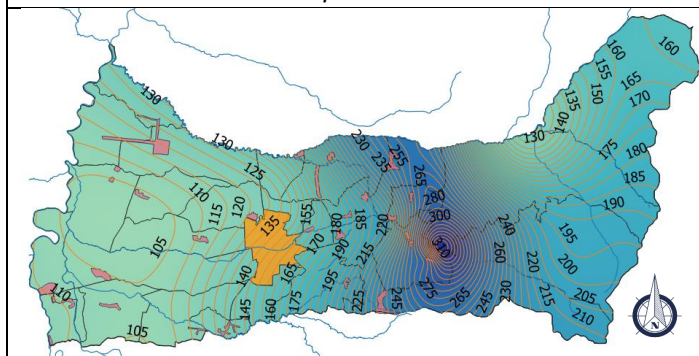


Figura 30. Isoyetas precipitación media total mensual – Noviembre.

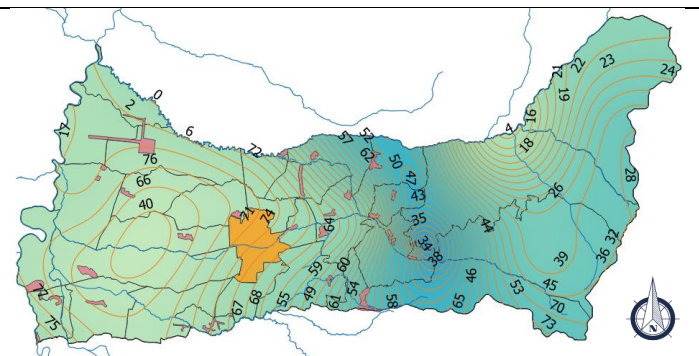


Figura 31. Isoyetas precipitación media total mensual – Diciembre.

Nota: Ver los mapas de isoyetas en detalle en el Anexo 5.

De acuerdo con los resultados de la interpolación y generación de isoyetas para cada mes del año, a partir de la precipitación media total mensual, se realizó un análisis del rango de lluvias en cada zona de la cuenca, parte alta, media y baja.

8.7.1. Análisis precipitación media total mensual – Enero.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 70 y 120 mm, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 90 y 165 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 55 y 90 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 55 y 65 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 65 y 80 mm mensuales.

8.7.2. Análisis precipitación media total mensual – Febrero.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 70 y 130 mm, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 130 y 180 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 55 y 130 mm, siendo menor en la zona entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 55 y 65 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 65 y 95 mm mensuales.

8.7.3. Análisis precipitación media total mensual – Marzo.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 100 y 160 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 170 y 220 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 85 y 170 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 85 y 110 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 110 y 140 mm mensuales.

8.7.4. Análisis precipitación media total mensual – Abril.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 110 y 180 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 190 y 200 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 135 y 180 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 135 y 145 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 150 y 170 mm mensuales.

8.7.5. Análisis precipitación media total mensual – Mayo.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 90 y 125 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 125 y 160 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 105 y 125 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 105 y 115 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 115 y 125 mm mensuales.

8.7.6. Análisis precipitación media total mensual – Junio.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 45 y 75 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 60 y 70 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 55 y 65 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 55 y 60 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 60 y 65 mm mensuales.

8.7.7. Análisis precipitación media total mensual – Julio.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 35 y 60 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 45 y 65 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 35 y 40 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, alrededor de 35 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra en 40 mm mensuales aproximadamente.

8.7.8. Análisis precipitación media total mensual – Agosto.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 30 y 40 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 30 y 45 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 30 y 40 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, alrededor de 30 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra en 35 mm mensuales aproximadamente.

8.7.9. Análisis precipitación media total mensual – Septiembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 50 y 100 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 100 y 120 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 65 y 100 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 65 y 75 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 70 y 85 mm mensuales.

8.7.10. Análisis precipitación media total mensual – Octubre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 125 y 190 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 180 y 275 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 100 y 180 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 100 y 110 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 110 y 150 mm mensuales.

8.7.11. Análisis precipitación media total mensual – Noviembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 140 y 240 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 200 y 330 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 105 y 200 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 105 y 120 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 120 y 165 mm mensuales.

8.7.12. Análisis precipitación media total mensual – Diciembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra entre los 100 y 160 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento de la lluvia en la medida que disminuye la altura.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación media mensual total se encuentra en un rango entre los 115 y 215 mm totales mensuales.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 70 y 110 mm, siendo menor en la zona plana, entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 70 y 85 mm. En la ciudad, la precipitación media se encuentra entre 85 y 100 mm mensuales.

En la siguiente tabla se ilustra el valor mínimo y máximo (rango) de la precipitación media total mensual durante lo largo del año, para los tres sectores en que se ha dividido el área del municipio, los cuales se han llamado cuenca alta, media y baja.

Tabla 5. Resumen precipitación media total mensual

Mes	Precipitación Media Total Mensual (mm)					
	Cuenca Baja		Cuenca Media		Cuenca Alta	
	Entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca		Corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho		Corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Enero	55	90	90	165	70	120
Febrero	55	130	130	180	70	130
Marzo	85	170	170	220	100	160
Abril	135	180	190	200	110	180
Mayo	105	125	125	160	90	125
Junio	55	65	60	70	45	75
Julio	35	40	45	65	35	60
Agosto	30	40	30	45	30	40
Septiembre	65	100	100	120	50	100
Octubre	100	180	180	275	125	190
Noviembre	105	200	200	330	140	240
Diciembre	70	110	115	215	100	160

Nota: Resumen del rango de los valores mínimos y máximos de la precipitación media total mensual según los resultados de las isoyetas generadas a partir del registro de 31 años de las estaciones seleccionadas para el presente estudio.

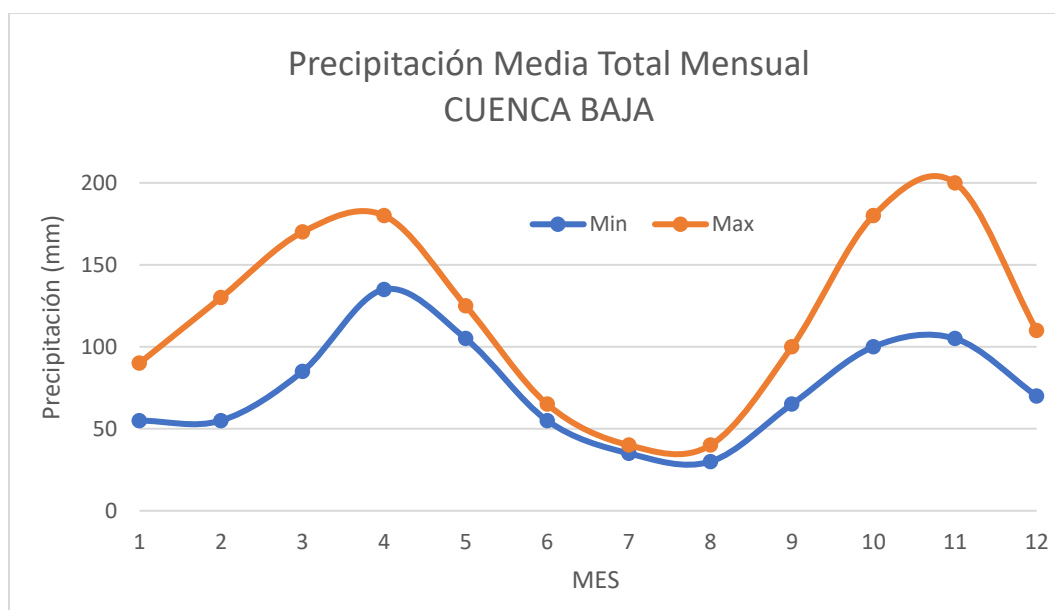


Figura 32. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca baja.

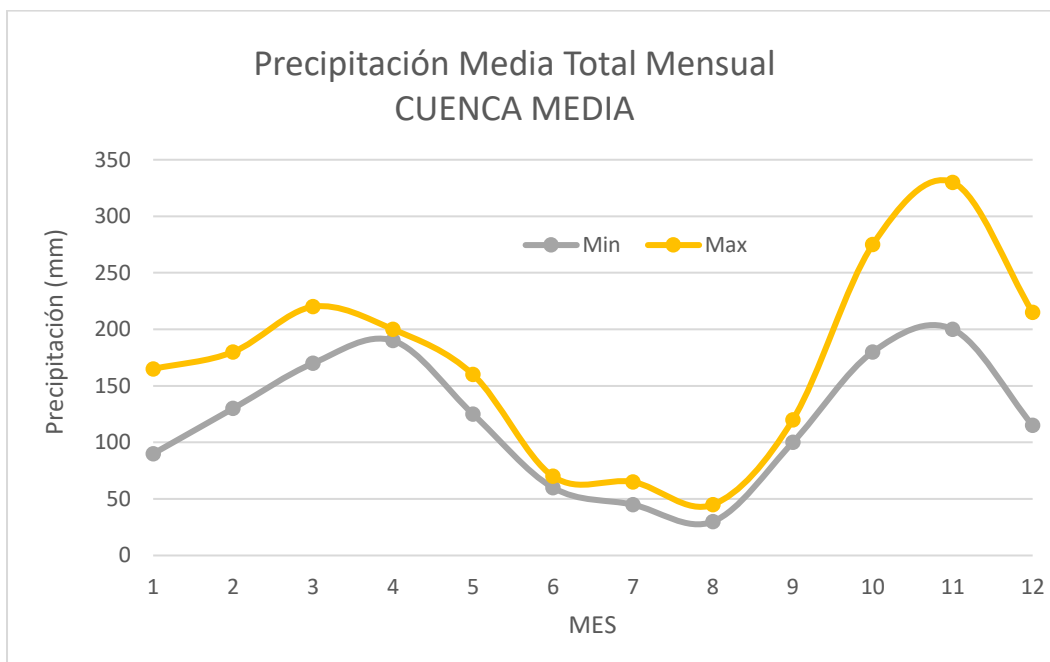


Figura 33. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca media.

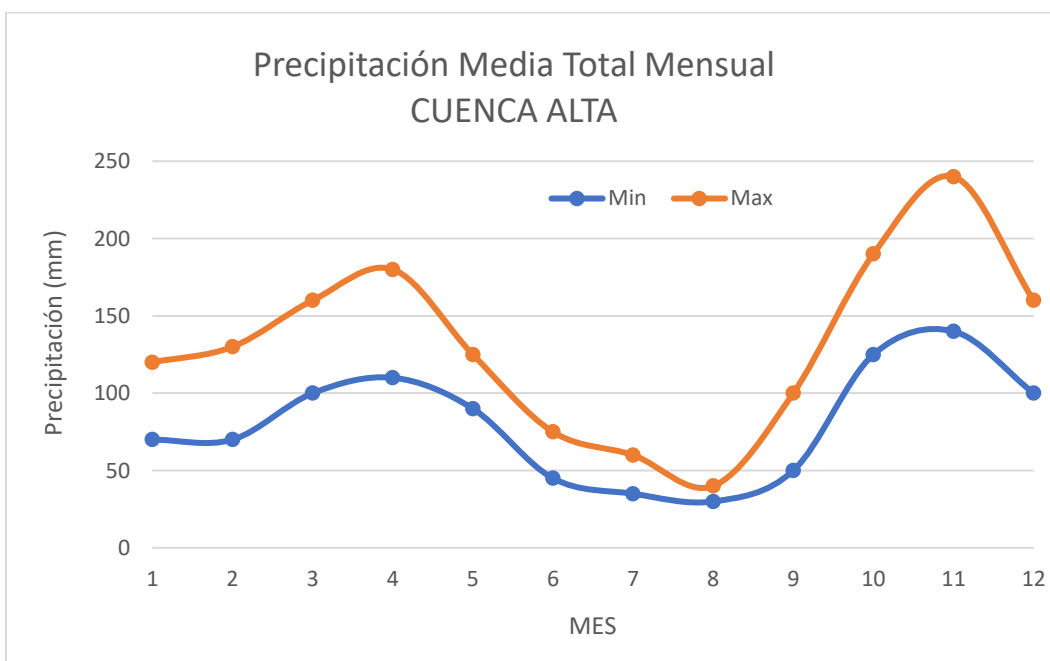


Figura 34. Valor mínimo y máximo, precipitación media total mensual, cuenca alta.

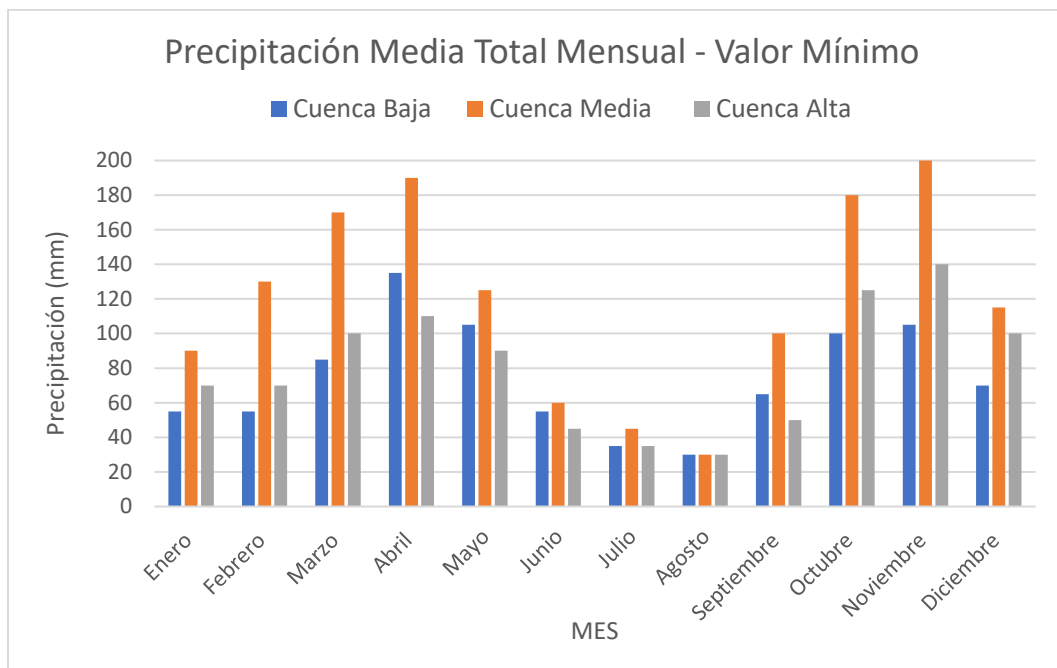


Figura 35. Precipitación media total mensual – Valor mínimo.

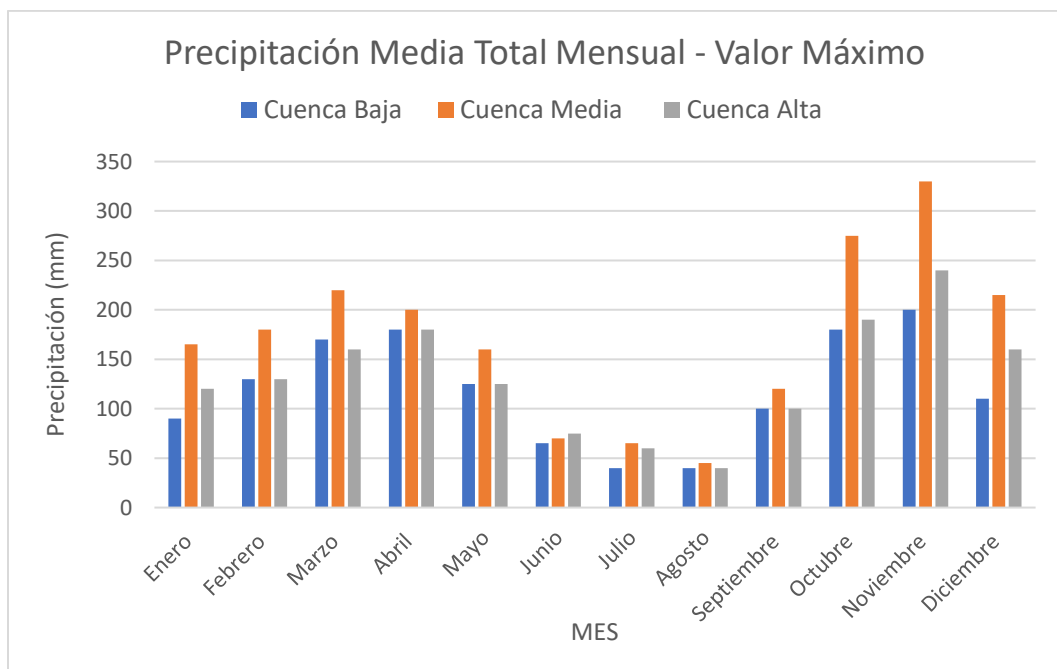


Figura 36. Precipitación media total mensual – Valor máximo.

En las Figuras 35 y 36 se puede apreciar que en la cuenca media se presentan los mayores rangos de precipitación media total mensual, por su parte, para la cuenca baja y la cuenca alta se presentan valores similares, a diferencia de los meses de octubre y noviembre, en donde se presentan valores levemente mayores para la cuenca alta.

8.8. Precipitación máxima en 24 horas, valor mínimo, medio y máximo.

En la Tabla 6 se muestran los valores de la precipitación máxima en 24 horas, obtenido del valor máximo multianual del periodo entre 1989 y 2019 de las 19 estaciones seleccionadas. Igualmente se muestra el valor medio y mínimo del registro máximo en 24h.

Tabla 6. Precipitación máxima en 24 horas, valor mínimo, medio y máximo.

No.	Nombre	Entidad	Este	Norte	Altura (msnm)	P.Min 24H(mm)	P.Med 24H (mm)	P.Max 24H (mm)
1	LA CEJA	CVC	1117873.17	901674.93	3052	20.0	45.7	173.6
2	BELLA VISTA	CVC	1120059.01	893281.90	2875	30.0	58.2	125.0
3	LA SIRENA	CVC	1111632.24	880364.48	2605	14.0	58.4	95.0
4	BOLO BLANCO	CVC	1107698.66	874229.39	2410	27.0	61.5	193.0
5	SAN NICOLAS	CVC	1101709.46	882198.30	2100	38.0	87.0	136.0
6	AUSTRIA	CVC	1100441.62	887550.61	1750	56.0	99.4	270.0
7	AUJI	CVC	1107700.84	892336.82	1555	28.0	55.1	138.0
8	TENJO	CVC	1100685.09	881119.42	1500	55.0	92.6	130.0
9	EL CASTILLO	CVC	1098330.86	897088.21	1424	52.0	91.3	135.0
10	SAN EMIGDIO	CVC	1097335.30	884212.05	1272	57.0	77.5	116.0
11	PLANTA NIMA	CVC	1095476.60	884101.42	1170	47.0	71.4	102.0
12	ING MANUELITA	Particular	1088764.21	887712.55	1020	39.0	65.7	121.0
13	ING LA QUINTA	CVC	1081267.22	869663.78	980	53.0	74.5	128.0
14	AEROPUERTO BONILLA	IDEAM	1076763.56	882867.88	970	30	54.80	89.60
15	MATAPALO	CVC	1071509.96	887218.97	950	40.0	67.4	136.0
16	GUACHALZAMBOLO	CVC	1070380.30	878515.62	940	36.0	61.6	105.0
17	VIJES - VILLAMARIA	CVC	1066378.02	902968.26	1698	36.7	56.7	110.0
18	LA BUITRERA	CVC	1060289.85	886260.14	1500	35.0	54.9	90.0
19	PLANTA RIO CAUCA	CVC	1064917.86	872964.52	956	42.2	67.3	106.0

En la Figura 37 se muestra gráficamente el comportamiento del valor mínimo, medio y máximo de la precipitación máxima en 24 h, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las cuatro (4) estaciones localizadas en la zona alta de la cuenca, desde los 2410 msnm (E. Bolo Blanco) hasta los 3052 msnm (E. La Ceja).

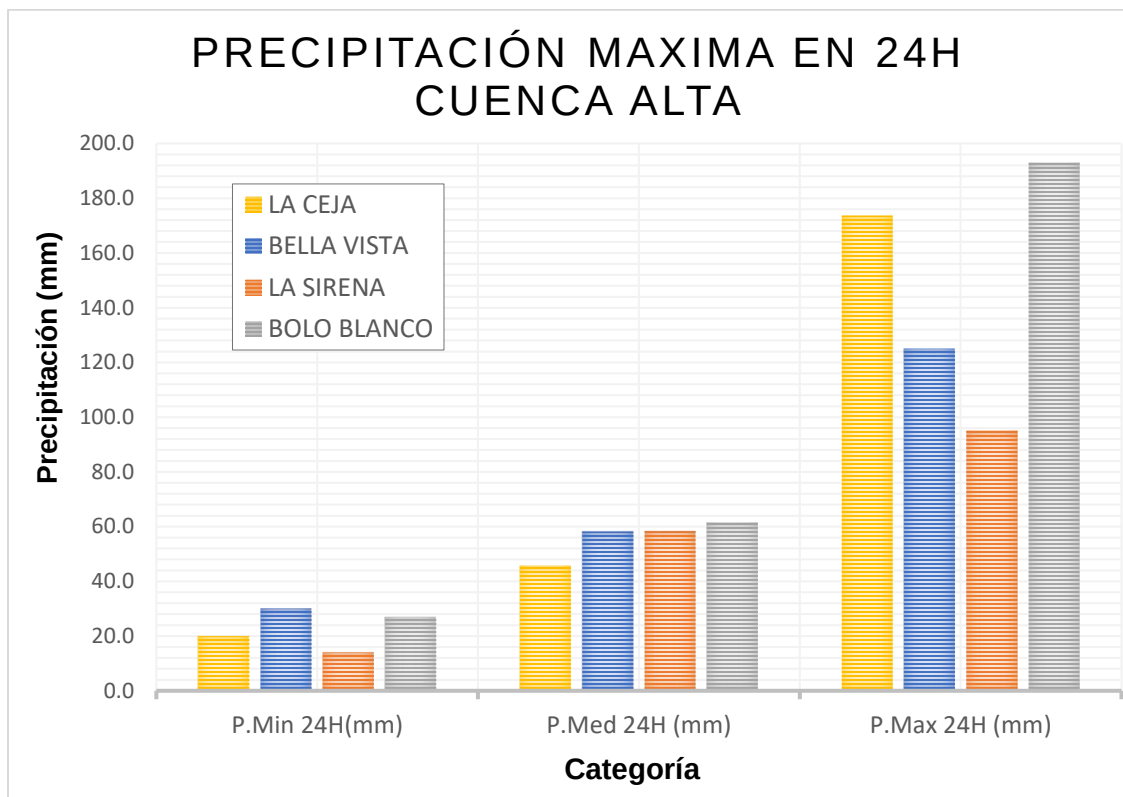


Figura 37. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca alta.

De acuerdo con los datos de la Tabla 5 y la Figura 32, se puede apreciar que, en la zona alta de la cuenca, desde los 2410 msnm (E. Bolo Blanco) hasta los 3052 msnm (E. La Ceja), para la precipitación máxima en 24 horas se registra un rango entre los 95 mm hasta los 193 mm para su valor máximo, y entre 45.7 y 61.5 mm en su valor promedio.

Es importante resaltar que los 193 mm precipitados en 24 horas se registraron para la estación “Bolo Blanco”, dicho valor es cercano al valor medio total mensual multianual registrado por la misma estación para el mes octubre (199.2 mm), el mes más lluvioso después de Noviembre (Ver Figura 17), de manera que este evento es de considerable magnitud y se deberá tener como referencia para registros futuros en la zona alta.

Cabe mencionar que las precipitaciones de dicha magnitud pueden generar fenómenos como crecientes súbitas, deslizamientos, avenidas torrenciales e inundaciones, de manera que es importante conocer los registros máximos que se han reportado en determinadas zonas y tener un valor de comparación con los eventos actuales.

En la Figura 38 se muestra gráficamente el comportamiento del valor mínimo, medio y máximo de la precipitación máxima en 24 h, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las siete (7) estaciones localizadas en la zona media de la cuenca, desde los 1170 msnm (E. Planta Nima) hasta los 2100 msnm (E. San Nicolas).

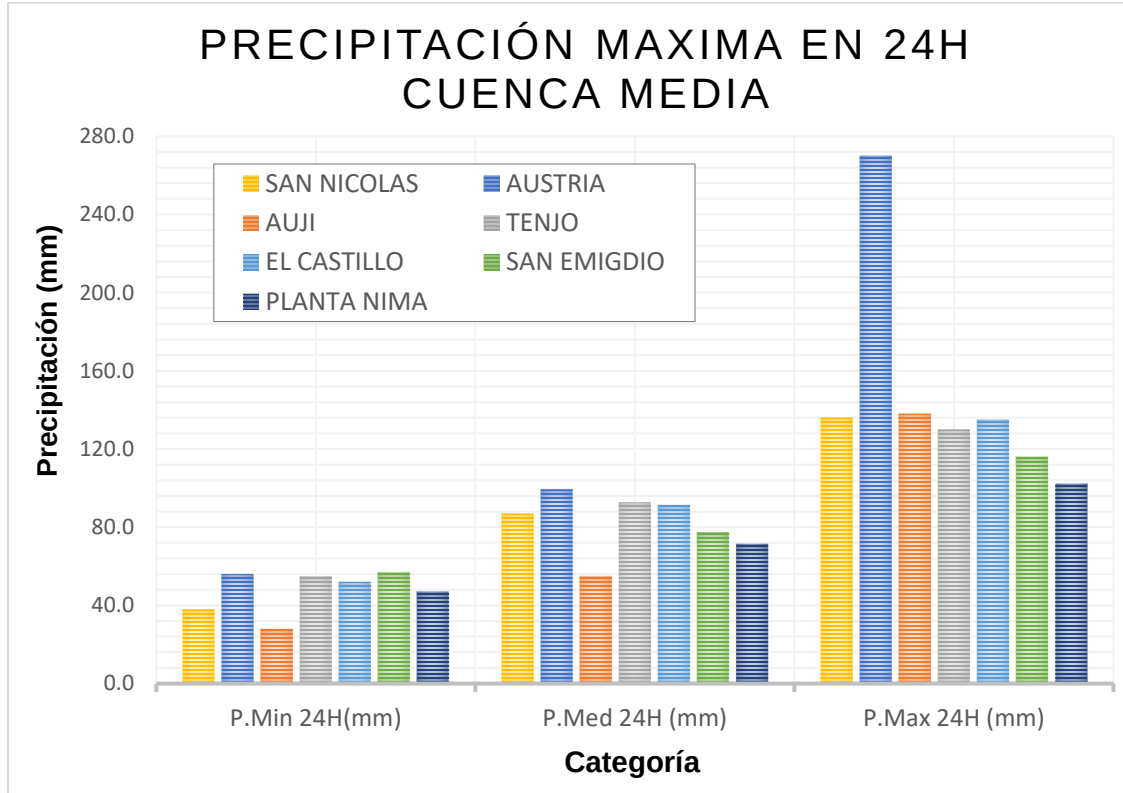


Figura 38. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca media.

De acuerdo con los datos de la Tabla 5 y la Figura 33, para el caso de la zona media de la cuenta, entre los 1170 msnm (E. Planta Nima) y los 2100 msnm (E. San Nicolas), para la precipitación máxima en 24 horas se registra un rango entre los 102 mm hasta los 270 mm para su valor máximo, y entre 55.1 y 99.4 mm en su valor promedio.

Es importante resaltar que los 270 mm precipitados en 24 horas se registraron para la estación “Austria”, dicho valor es cercano al valor medio total mensual multianual registrado por la misma estación para el mes más lluvioso que corresponde a Noviembre (274.3 mm) (Ver Figura 18), de manera que este evento es de considerable magnitud y se deberá tener como referencia para registros futuros en la zona media.

En la Figura 39 se muestra gráficamente el comportamiento del valor mínimo, medio y máximo de la precipitación máxima en 24 h, obtenida del registro multianual entre 1989 y 2019, para las cinco (5) estaciones localizadas en la zona baja de la cuenca, 940 msnm (E. Guachalzambolo) y los 1020 msnm (E. Ing. Manuelita).

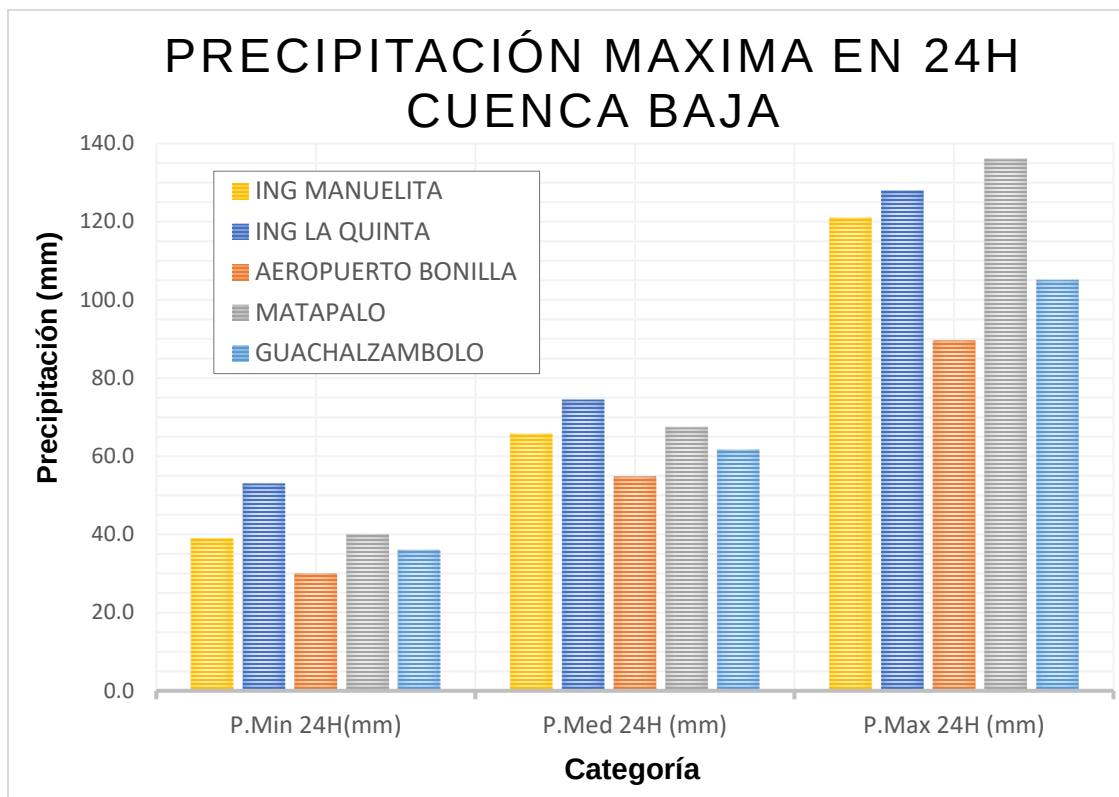


Figura 39. Precipitación máxima 24h, estaciones de la cuenca baja.

En la zona baja, entre los 940 msnm (E. Guachalzambo) y los 1020 msnm (E. Ing. Manuelita), para la precipitación máxima en 24 horas se registra un rango entre los 89.2 mm hasta los 136 mm para su valor máximo, y entre 54.8 y 74.5 mm en su valor promedio.

Para la cuenca baja, el valor máximo en 24 horas es igual a 136 mm, registrado en la estación “Matapalo”, localizada a los 950 msnm en cercanías al río Cauca, para dicha estación el valor medio total mensual multianual registrado es de 142.2 mm, correspondiente a Abril. (Ver Figura 19), de manera que este evento es de considerable magnitud y se deberá tener como referencia para registros futuros en la zona baja.

Finalmente, se puede observar la zona donde se presentan los mayores valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran en una franja localizada en la cuenca media, en los corregimientos de Potrerillo y Tablones principalmente, con valores comprendidos entre los 160 mm hasta los 270 mm, este último se registró en la estación “Austria” localizada a una altura de 1750 msnm, en el corregimiento Potrerillo.

8.9. Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor máximo.

A partir del valor máximo de la precipitación máxima en 24 horas, obtenida del registro multianual durante el período comprendido entre 1989 y 2019, (31 años), se realizó la espacialización mediante interpolación y generación de las isoyetas en el área de jurisdicción del municipio de Palmira.

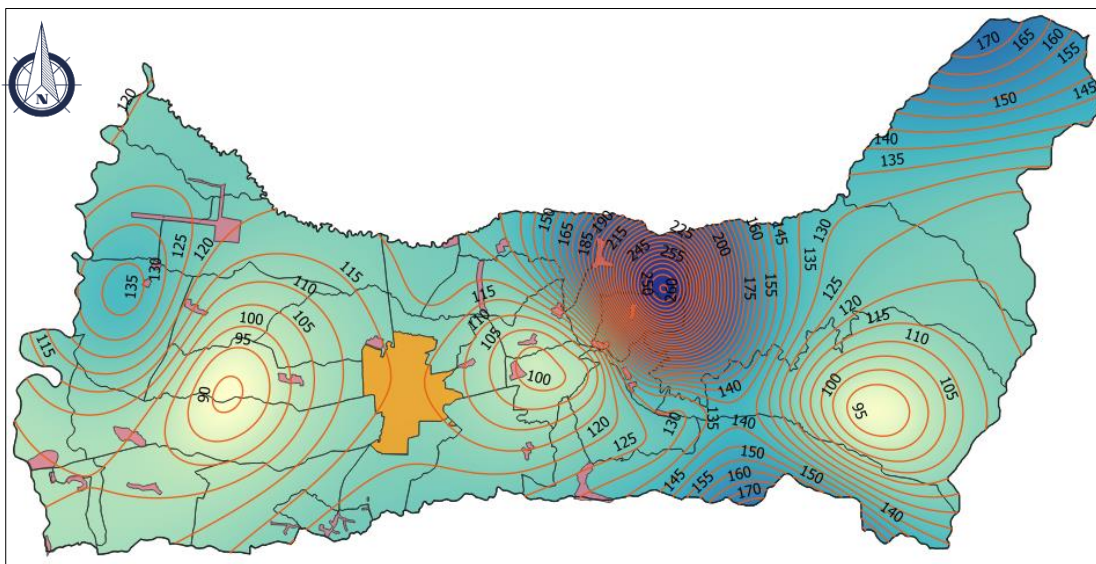


Figura 40. Isoyetas precipitación máxima en 24 horas, valor máximo

Nota: Ver mapa completo en Anexo 6.

De acuerdo con los resultados, se puede observar que, sobre el casco urbano del municipio de Palmira, la precipitación máxima en 24 horas, en su valor máximo es de alrededor de 115 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 90 y 135 mm, siendo menor en los corregimientos Palmaseca y La Herradura, con valores entre 90 y 100 mm.

Cuenca Media: La zona de mayor precipitación máxima en 24 horas se encuentra a la altura de los corregimientos Potrerillo y Tablones principalmente, con valores entre 180 y 275 mm. En los corregimientos de Boyacá, Calucé, La Zapata, parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, se presentan valores entre 120 y 170 mm.

Cuenca Alta: La precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 120 y 170 mm en general en la mayor parte del territorio alto, sin embargo, en la parte alta del corregimiento de Tenjo, se presentan precipitaciones entre 95 y 115 mm.

8.10. Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor medio.

A partir del valor medio de la precipitación máxima en 24 horas, obtenida del registro multianual durante el período comprendido entre 1989 y 2019, (31 años), se realizó la espacialización mediante interpolación y generación de las isoyetas en el área de jurisdicción del municipio de Palmira.

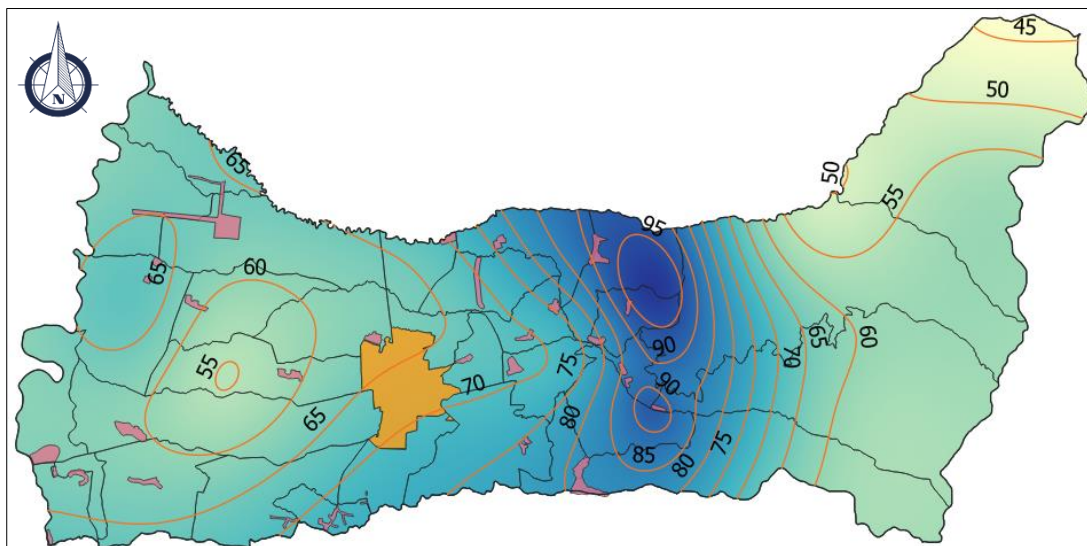


Figura 41. Isoyetas precipitación máxima en 24 horas, valor medio

Nota: Ver mapa completo en Anexo 7.

De acuerdo con los resultados, se puede observar que, sobre el casco urbano de la ciudad de Palmira, la precipitación máxima en 24 horas, en su valor medio, se encuentra entre 65 y 70 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 70 y 55 mm, siendo menor en los corregimientos Palmaseca, La Herradura y Obando con valores entre 55 y 60 mm.

Cuenca Media: La zona de mayor precipitación máxima en 24 horas se encuentra a la altura de los corregimientos Potrerillo, Tablones, Boyacá, Caluce, La Zapata, parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, se presentan valores entre 75 y 95 mm.

Cuenca Alta: La precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 45 y 75 mm en general en la mayor parte del territorio alto, en la parte alta del corregimiento de Combia, se presentan las menores precipitaciones máximas en 24 horas, entre 45 y 55 mm en su valor promedio.

8.11. Precipitación máxima en 24 horas, mensual multianual.

En la Tabla 7 se muestran los valores de la precipitación máxima en 24 horas para cada mes, obtenido del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019 de las 19 estaciones seleccionadas.

Tabla 7. Precipitación máxima en 24 horas para cada mes.

No.	Nombre	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	LACEJA	3052	40.6	69	40	60	66	25.6	40	30	35	43	45	173.6
2	BELLA VISTA	2875	88	110	125	58	34	49	45	52	55	75	77	70
3	LA SIRENA	2605	70	87	90	60	53	50	33	37	80	74	90	95
4	BOLO BLANCO	2410	63	70	60	69	50	30	38	27	60	193	105	66
5	SAN NICOLAS	2100	96	110	115	101	110	40	136	41	105	120	120	103
6	AUSTRIA	1750	92	270	112	95	72	70	40	74	125	100	130	130
7	AUJI	1555	60	62	47	50	40	40	20	24	138	72	60	120
8	TENJO	1500	75	120	120	110	90	59	93	75	86	130	129	104
9	EL CASTILLO	1424	75	95	104	135	82	70	70	85	116	130	105	120
10	SAN EMIGDIO	1272	85	88	96	108	77	74	65	84	116	96	94	89
11	PLANTANIMA	1170	68	92	70	98	90	102	71	83	70	70	90	67
12	ING MANUELITA	1020	61	71.7	116	84	67.1	69	60	56	121	68	89	63
13	ING LA QUINTA	980	72	87	76	95	128	75	60	45	65	57	72	90
14	AEROPUERTO BONILLA	970	55.2	51.8	40.8	84.7	62.8	64.7	59.0	39.5	62.5	89.6	86.2	84.1
15	MATAPALO	950	86	45	84	85	72	100	87	32	62	69	103	136
16	GUACHALZAMBOLO	940	65	66	80	76	80	105	70	57	90	70	86	76
17	VIJES - VILLAMARIA	1698	50.0	65.0	97.0	76.0	57.0	73.0	55.0	50.0	110.0	80.0	60.0	50.0
18	LABUITRERA	1500	63	41	52	59	75	53	51	33	55	69	54	90
19	PLANTA RIO CAUCA	956	75.0	84.0	85.0	77.6	81.0	54.0	68.0	86.0	74.0	90.0	79.0	106.0

En la Tabla 7, se muestran los registros de precipitación media mensual total, organizados de acuerdo con la altura sobre el nivel a la cual se encuentra la estación, así, las cuatro (4) primeras estaciones corresponden a la cuenca alta, de la 5 a la 11 a la cuenca media y de la 12 a la 16 a la cuenca baja.

Las tres últimas estaciones, 17, 18 y 19, corresponden a las estaciones localizadas sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental, es decir sobre la margen izquierda del río Cauca.

En la Figura 42 se muestra el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas en los 12 meses, para las cuatro (4) estaciones de la cuenca alta, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

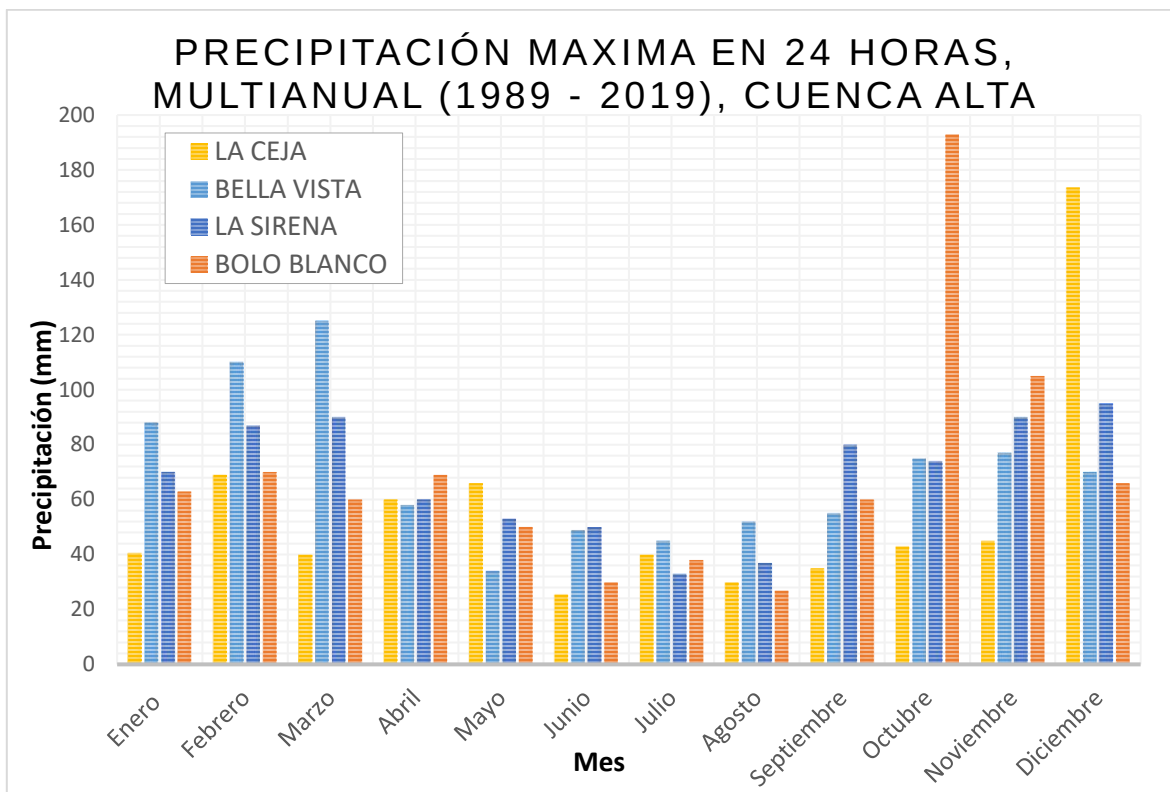


Figura 42. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca media.

De acuerdo con los registros de la Tabla 7 y la representación gráfica de la Figura 40, se puede observar que el comportamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas no necesariamente sucede en las temporadas de invierno, por ejemplo, en enero se tienen registros mayores que en abril que corresponde a un mes lluvioso. Por otra parte, en octubre se registra el valor más alto, igual a 193 mm.

Es importante resaltar que los 193 mm precipitados en 24 horas se registraron para la estación “Bolo Blanco”, localizada a una altura de 2410 msnm, dicho valor es cercano al valor medio total mensual multianual registrado por la misma estación para el mes octubre (199.2 mm), el mes más lluvioso después de Noviembre (Ver Figura 17), de manera que este evento es de considerable magnitud y se deberá tener como referencia para registros futuros en la zona alta, y establecer si dicho valor está asociado a fenómenos como deslizamientos, crecientes súbitas, avenidas torrenciales o inundaciones.

En la Figura 43 se muestra el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas en los 12 meses, para las siete (7) estaciones de la cuenca media, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

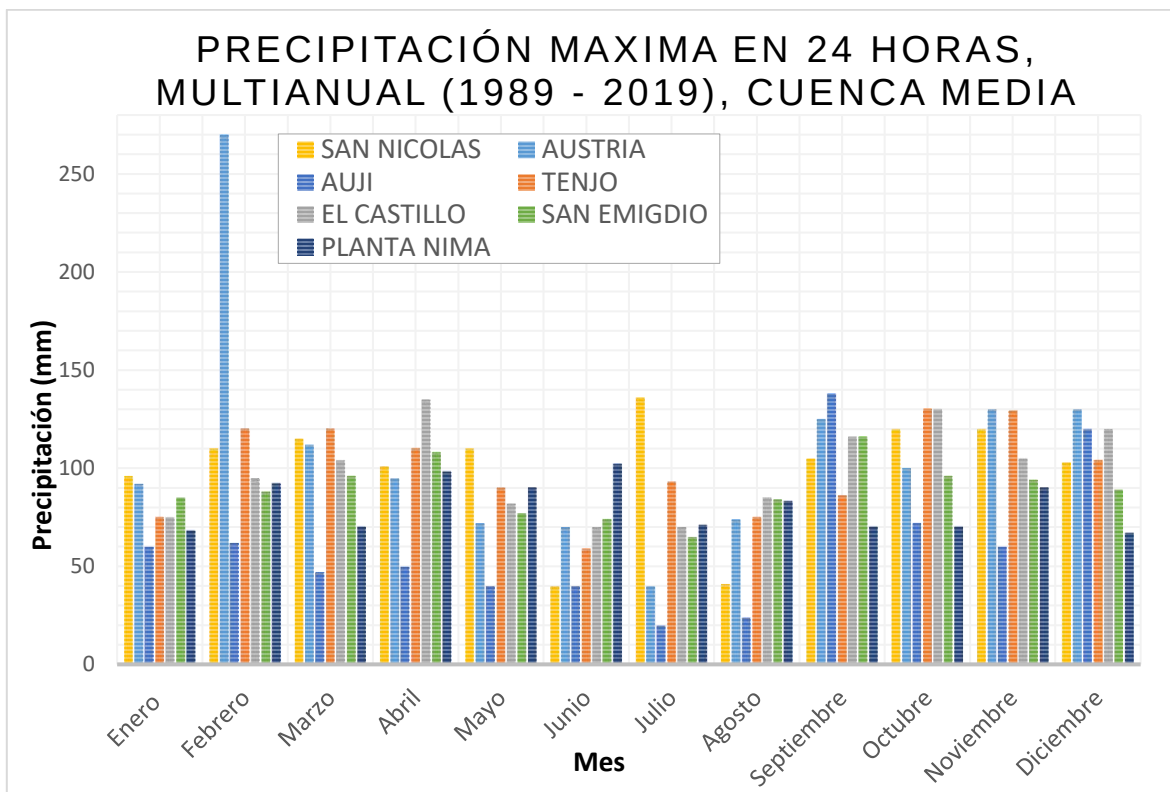


Figura 43. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca media.

De acuerdo con los registros de la Tabla 7 y la representación gráfica de la Figura 41, se puede observar que las precipitaciones máximas en 24 horas no están asociadas a las dos temporadas invernales del año, presentándose picos de lluvia incluso en meses secos como febrero y julio; lo anterior, permite deducir que los fenómenos de crecientes súbitas, avenidas torrenciales, inundaciones o deslizamientos pueden ocurrir tanto en temporada invernal como en temporada seca.

El valor máximo registrado para la zona media es de 270 mm, registrado en el mes de febrero, por la estación “Austria”, localizada a 1750 msnm, dicho valor es cercano al valor medio total mensual multianual registrado por la misma estación para el mes más lluvioso que corresponde a Noviembre (274.3 mm) (Ver Figura 18), de manera que este evento es de considerable magnitud y se deberá tener como referencia para registros futuros en la zona media y establecer si dicho valor está asociado a fenómenos como deslizamientos, crecientes súbitas, avenidas torrenciales o inundaciones.

En la Figura 44 se muestra el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas en los 12 meses, para las cinco (5) estaciones de la cuenca baja, obtenida del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019.

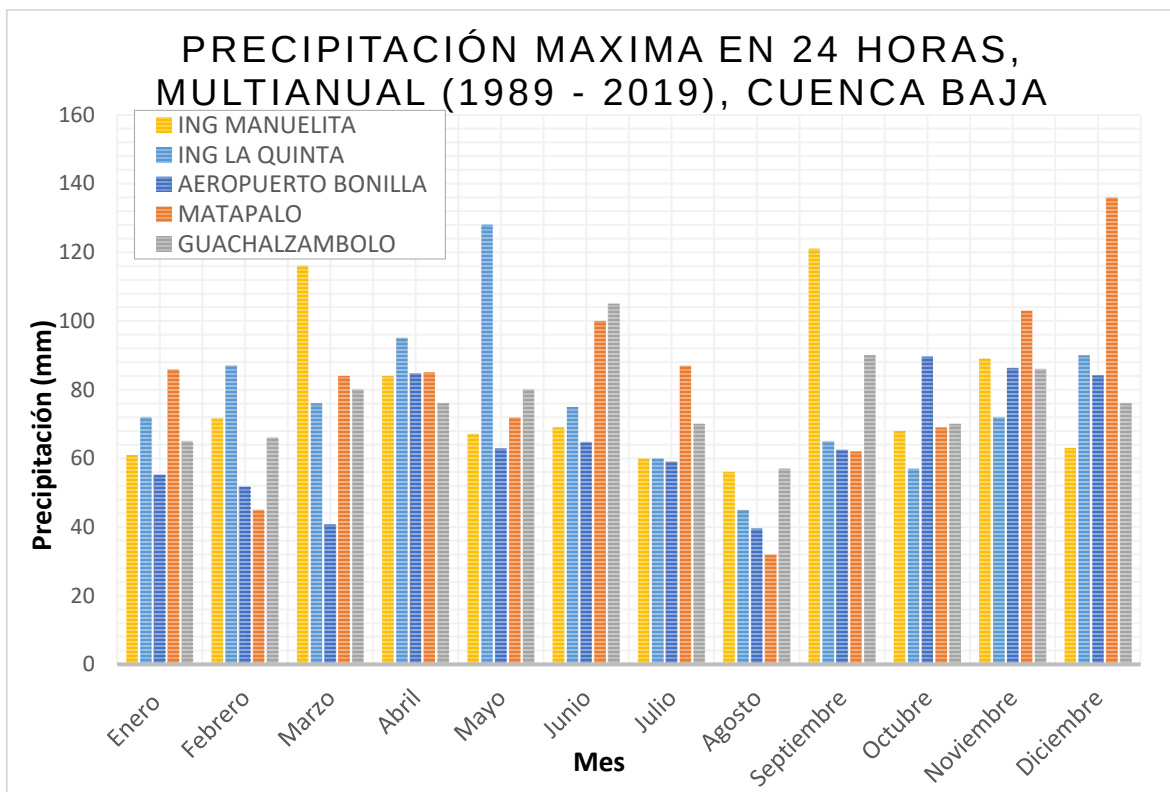


Figura 44. Precipitación máxima en 24 horas por mes, estaciones de la cuenca baja.

Para la cuenca baja, se registran los valores más bajos de precipitación máxima en 24 horas en comparación con la cuenca media y alta, con un valor máximo registrado de 136 mm en el mes de diciembre en la estación “Matapalo”, localizada a 950 msnm, en cercanías al río Cauca, dicho valor es cercano al valor promedio total mensual registrado por la misma estación para el mes de abril, igual a 142.2 mm, considerando que el terreno es en zona plana, se tendría que evaluar la influencia sobre el fenómeno de inundaciones principalmente.

En general, se observa que, sobre la cuenca media y alta, se registran precipitaciones considerables, con valores cercanos a los valores promedio mensuales totales de los meses más lluviosos, por lo cual, dichos eventos máximos, podrían generar fenómenos como deslizamientos, crecientes súbitas, avenidas torrenciales e inundaciones, entonces, es necesario realizar estudios para establecer los umbrales que pueden generar dichos eventos.

Los valores presentados en el documento sirven de base para establecer rangos de comparación y alerta en el caso de implementar Sistemas de Alerta Temprana ante este tipo de fenómenos, que permitan comunicar de manera oportuna a las comunidades expuestas sobre un posible evento amenazante, y se pueda reaccionar de manera oportuna, salvaguardando vidas y bienes materiales.

8.12. Isoyetas – Precipitación máxima en 24 horas, mensual multianual.

A continuación, se muestran los valores de la precipitación máxima en 24 horas para cada mes, obtenido del promedio multianual del periodo entre 1989 y 2019 de las 19 estaciones seleccionadas, se realizó la espacialización mediante interpolación. (Ver Figuras 45 a 56).

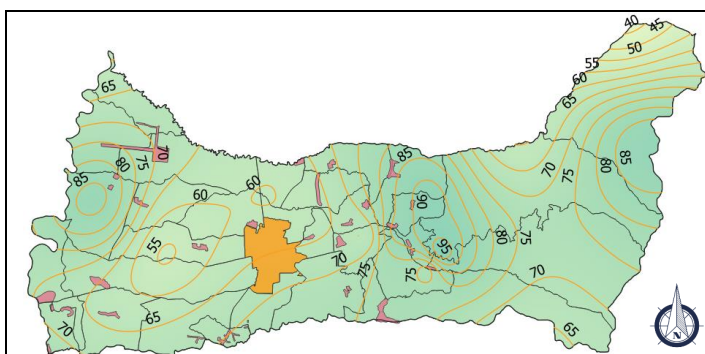


Figura 45. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Enero.

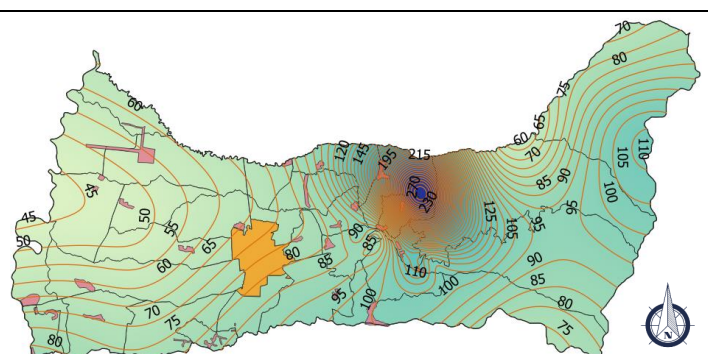


Figura 46. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Febrero.

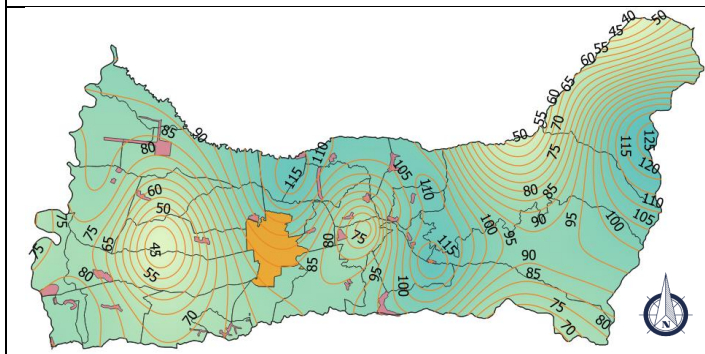


Figura 47. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Marzo.

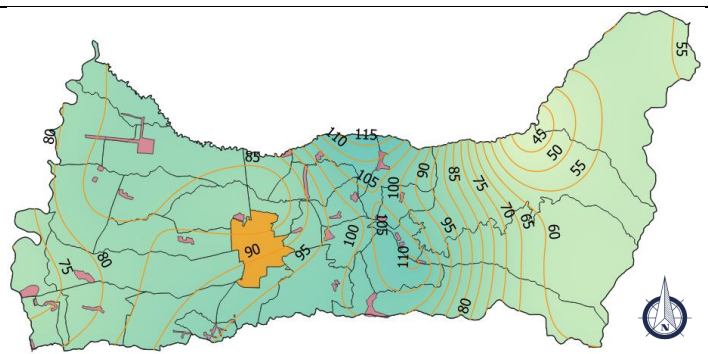


Figura 48. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Abril.

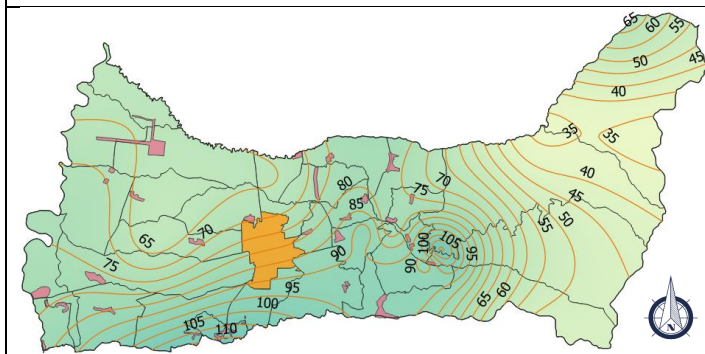


Figura 49. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Mayo.

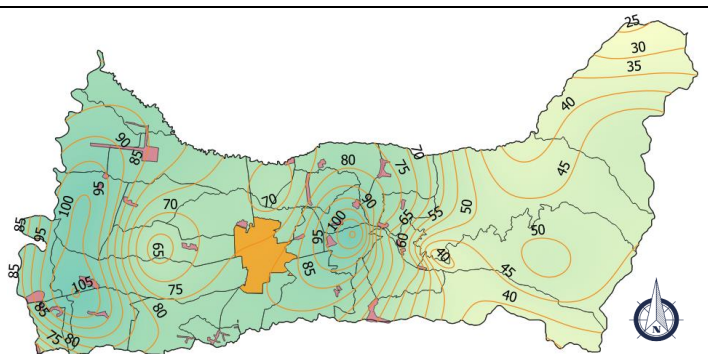
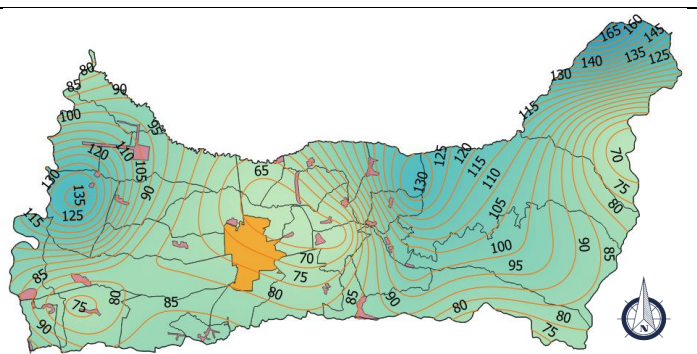
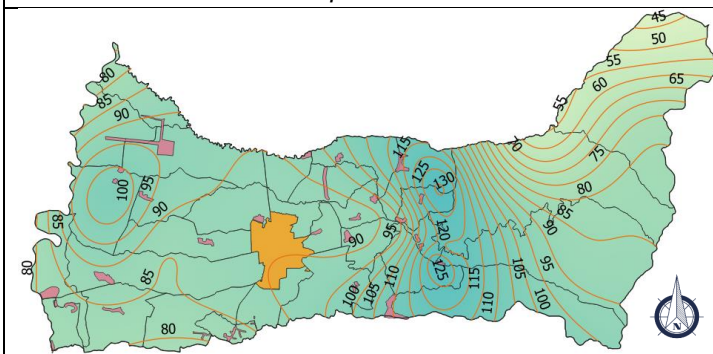
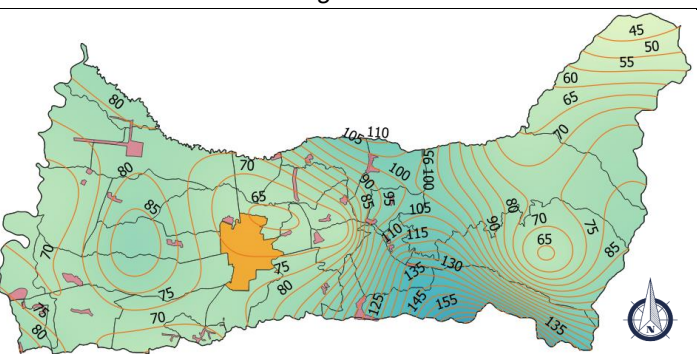
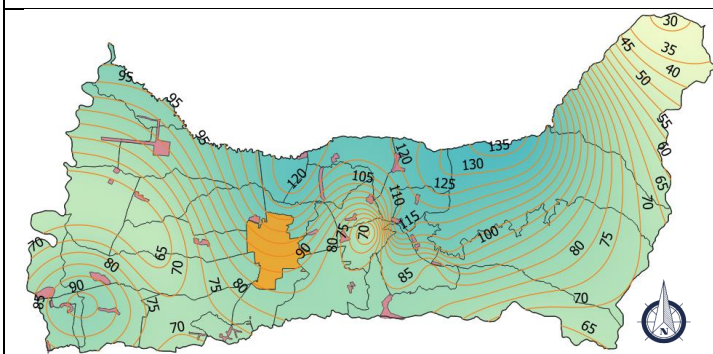
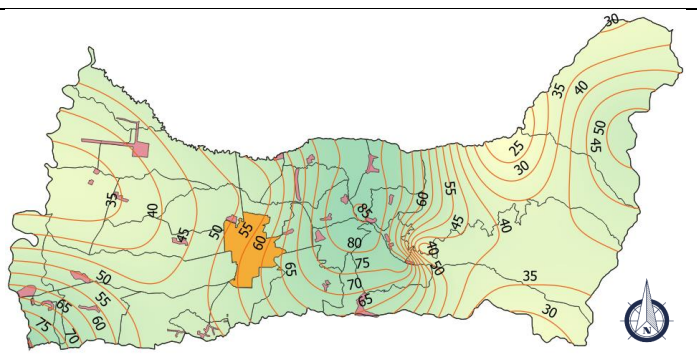
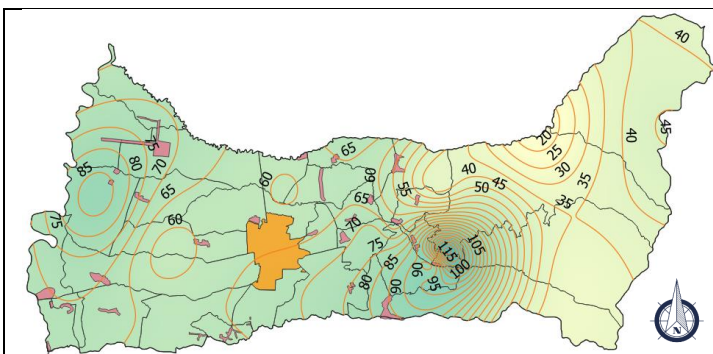


Figura 50. Isoyetas precipitación máxima en 24 h – Junio.



Nota: Ver los mapas de isoyetas en detalle en el Anexo 8.

De acuerdo con los resultados de la interpolación y generación de isoyetas de precipitación máxima en 24 horas para cada mes del año, se realizó un análisis del rango de lluvias en cada zona de la cuenca, parte alta, media y baja.

8.12.1. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Enero.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 40 y 85 mm, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura sobre el nivel del mar, es decir, para el corregimiento de Combia, con un aumento en la medida que disminuye la altura del terreno.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 75 y 95 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 55 y 85 mm, siendo menor en la zona central de los corregimientos Coronado, La Herradura y Palmaseca, con rango entre 55 y 60 mm. En la ciudad, se encuentra entre 65 y 70 mm.

8.12.2. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Febrero.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 60 y 110 mm, con los valores más bajos para la zona media de Toche, en el área de influencia de la estación AUJI.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Calucé, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 95 y 270 mm. Las precipitaciones más altas se concentran entre Tablones y Potrerillo.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 45 y 95 mm, siendo menor en la zona entre la ciudad de Palmira y el río Cauca, con valores entre 45 y 65 mm. En la ciudad, dentro del casco urbano, la precipitación media se encuentra entre 65 y 80 mm.

8.12.3. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Marzo.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 50 y 125 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 100 y 120 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 45 y 105 mm, siendo menor en la zona plana, entre el casco urbano de Palmira y el río Cauca, con valores entre 45 y 85 mm. En la ciudad, el rango se encuentra entre 85 y 105 mm mensuales.

8.12.4. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Abril.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 50 y 90 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 100 y 110 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 75 y 95 mm. En la ciudad, el rango se encuentra entre 85 y 90 mm.

8.12.5. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Mayo.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 35 y 70 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia entre 35 y 65 mm.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 70 y 110 mm. Las precipitaciones más altas se concentran entre Tablones y Potrerillo.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 65 y 100 mm. En la ciudad, el rango se encuentra entre 70 y 90 mm.

8.12.6. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Junio.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 25 y 50 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia entre 25 y 40 mm.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 65 y 110 mm. Las precipitaciones más altas se concentran entre Barrancas y Tienda Nueva.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 65 y 100 mm, siendo menor en la zona central de los corregimientos Coronado, La Herradura y Palmaseca, con rango entre 65 y 75 mm. En la ciudad, se encuentra entre 75 y 80 mm.

8.12.7. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Julio.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 25 y 40 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 50 y 135 mm. Las precipitaciones más altas se concentran Caluce y sur de Toche.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 60 y 85 mm, siendo menor en la zona central de los corregimientos Coronado, La Herradura y Palmaseca, con rango entre 60 y 65 mm. En la ciudad es de alrededor de 65 mm.

8.12.8. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Agosto.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 30 y 50 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 50 y 85 mm. Las precipitaciones más altas se concentran al sur de Tablones.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación se encuentra entre 35 y 70 mm, siendo menor los corregimientos La Herradura, Obando y Matapalo, con rango entre 35 y 40 mm. En la ciudad se encuentra entre 50 y 60 mm.

8.12.9. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Septiembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 30 y 130 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia, entre 30 y 60 mm.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 65 y 130 mm.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 65 y 110 mm, siendo menor los corregimientos La Herradura, Obando y Matapalo, con rango entre 65 y 70 mm. En la ciudad se encuentra entre 85 y 110 mm.

8.12.10. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Octubre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 45 y 80 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia, entre 45 y 65 mm.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 75 y 165 mm. Las precipitaciones más altas se concentran al sur de Ayacucho.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 75 y 85 mm. En la ciudad se encuentra entre 65 y 70 mm.

8.12.11. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Noviembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 45 y 95 mm en general, con los valores más bajos para las zonas con mayor altura del corregimiento de Combia, entre 45 y 75 mm.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 95 y 130 mm. Las precipitaciones más altas se concentran en Tablones y Potrerillo.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 80 y 100 mm. En la ciudad es de alrededor de 90 mm.

8.12.12. Análisis precipitación máxima en 24 horas – Diciembre.

Cuenca Alta: En los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre los 70 y 160 mm en general.

Cuenca Media: En los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra en un rango entre los 70 y 130 mm. Las precipitaciones más altas se concentran en Tablones y Potrerillo.

Cuenca Baja: En la zona comprendida entre el corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca, la precipitación máxima en 24 horas se encuentra entre 70 y 135 mm. En el corregimiento de Matapalo el rango se encuentra entre 115 y 135 mm. En la ciudad se encuentra entre 65 y 80 mm.

En la siguiente tabla se ilustra el valor mínimo y máximo (rango) de la precipitación máxima en 24 horas para todos los meses del año, para los tres sectores en que se ha dividido el área del municipio, los cuales se han llamado cuenca alta, media y baja.

Tabla 8. Resumen precipitación máxima en 24 horas

Mes	Precipitación máxima en 24 horas (mm)					
	Cuenca Baja		Cuenca Media		Cuenca Alta	
	Entre el centro urbano del corregimiento de Barrancas y la margen izquierda del río Cauca		Corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce, La Zapata, parte alta de La Pampa, Tienda Nueva, Barrancas, Agua Clara y parte baja de Toche, Tenjo y Ayacucho		Corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Enero	55	85	75	95	40	85
Febrero	45	95	95	270	60	110
Marzo	45	105	100	120	50	125
Abril	75	95	100	110	50	90
Mayo	65	100	70	110	35	70
Junio	65	100	65	110	25	50
Julio	60	85	50	135	25	40
Agosto	35	70	50	85	30	50
Septiembre	65	110	65	130	30	60
Octubre	75	85	75	165	45	65
Noviembre	80	100	95	130	45	75
Diciembre	70	135	70	130	70	160

En la Figura 57 y 58 se muestra el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas en su valor mínimo y máximo para los tres sectores, se puede apreciar que los mayores valores se presentan en la cuenca media, coincidiendo con la precipitación media mensual total y la media total anual.

Igualmente se puede observar que, para la cuenca media, en la primera temporada invernal se presentan mayores picos en comparación con la segunda temporada invernal del año, destaca un valor extremo de 270 mm presentado en el mes de febrero.

En la cuenca alta en general se presentan los menores valores de precipitación máxima en 24 horas, mientras que en la cuenca baja se presentan valores cercanos en algunos meses del año, a los registros de la cuenca media.

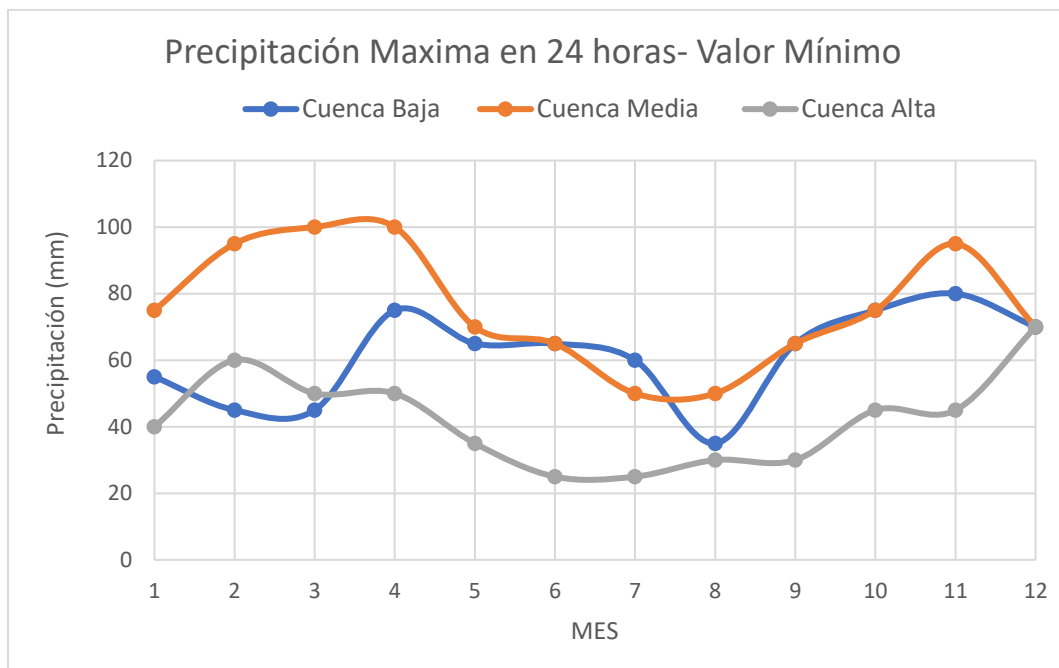


Figura 57. Precipitación máxima en 24 según isoyetas, valor mínimo.

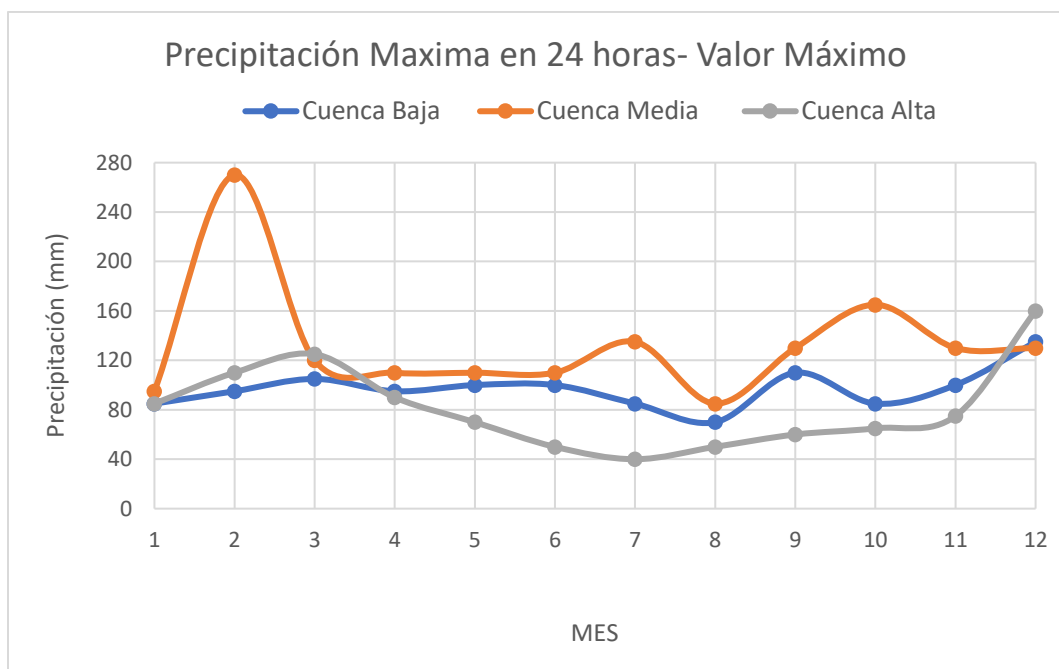


Figura 58. Precipitación máxima en 24 según isoyetas, valor máximo.

9. CONCLUSIONES

Para la precipitación máxima total anual, las isoyetas y la información pluviométrica de las estaciones analizadas, muestran que en la cuenca alta del municipio de Palmira precipitan entre 1700 y 2250 mm en los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho. En la cuenca media, la zona de mayor precipitación del territorio, entre 2300 y 3000 mm, en los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce y La Zapata principalmente. Para la cuenca baja se observó un rango entre 1200 y 1700 mm, siendo menor en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando con un rango entre 1200 y 1300 mm. Sobre la ciudad el rango se encuentra entre 1300 y 1700 mm.

En cuanto a la precipitación media total anual, las isoyetas permitieron observar que, en la cuenca alta del municipio de Palmira precipitan entre 1000 y 1500 mm en los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho. En la cuenca media, se encontró la zona de mayor precipitación del territorio, que oscila entre 1600 y 1800 mm, en los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Caluce y La Zapata principalmente. Para la cuenca baja se encontró un rango entre 850 y 1250 mm, siendo menor en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando con un rango entre 850 y 950 mm. Sobre el casco urbano del municipio el rango analizado se encontró entre 1050 y 1200 mm.

Para la precipitación mínima total anual, las isoyetas mostraron que en la cuenca alta del municipio de Palmira precipitan entre 400 y 650 mm en los corregimientos de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho. En la cuenca media, la zona de mayor precipitación del territorio, entre 950 y 1200 mm, en los corregimientos de Boyacá, Tablones, Potrerillo, Calucé y La Zapata principalmente. Para la cuenca baja se observó un rango entre 450 y 800 mm, siendo menor en los corregimientos La Herradura, Coronado y Obando con un rango entre 450 y 500 mm. Sobre el casco urbano del municipio el rango analizado se encontró entre 600 y 800 mm.

En relación con la precipitación media total mensual, los registros muestran un comportamiento bimodal con una primera temporada invernal en los meses marzo, abril y mayo, y la segunda en octubre y noviembre principalmente. En la cuenca alta, el valor más alto fue de 230.3 mm correspondiente a noviembre, y el más bajo de 31.8 mm para agosto. En la cuenca media, el valor más alto fue de 332.9 mm para noviembre y el más bajo de 17.1 mm para agosto. En la cuenca baja, el valor más alto fue de 155.9 mm para abril, y el más bajo de 24.4. mm para agosto.

Los registros de la precipitación media total mensual muestran que, para las cuencas alta y media, las mayores precipitaciones mensuales se presentaron en la segunda temporada invernal, en los meses de octubre y noviembre, mientras que, para la cuenca baja, las

mayores precipitaciones se presentaron en la primera temporada invernal, en los meses de marzo, abril y mayo.

Los registros de la precipitación máxima en 24 horas, obtenidos de los datos multianuales entre 1989 y 2019 mostraron que, en la cuenca alta del municipio de Palmira precipitan entre 95 y 193 mm para su valor máximo, y entre 45.7 y 61.5 mm en su valor promedio. En la cuenca media el rango se encontró entre 102 y 270 mm para su valor máximo, y entre 55.1 y 99.4 mm en su valor promedio. En la cuenca baja entre 89.2 y 136 mm para su valor máximo, y entre 54.8 y 74.5 mm en su valor promedio.

La zona en donde se presentaron los mayores valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentra en una franja localizada en la cuenca media, en los corregimientos de Potrerillo y Tablones principalmente, con valores comprendidos entre los 160 mm hasta los 270 mm, este último se registró en la estación “Austria” localizada a una altura de 1750 msnm, en el corregimiento Potrerillo.

Finalmente, en cuanto a la precipitación máxima en 24 horas por mes, en la cuenca alta el valor máximo es de 193 mm, registrado en octubre por la estación “Bolo Blanco” localizada a 2410 msnm, en la cuenca media el valor máximo es de 270 mm, registrado en febrero por la estación “Austria”, localizada a 1750 msnm. En la cuenca baja el valor máximo es de 136 mm, registrado en diciembre por la estación “Matapalo” localizada a 950 msnm. Es importante destacar que los eventos máximos en 24 horas no estuvieron asociados a los dos periodos de invierno, pues según los registros se presentaron picos en meses como enero, febrero y diciembre.

En general, se observó que, sobre la cuenca media y alta, se registraron precipitaciones máximas en 24 horas considerables, con valores cercanos a los valores promedio mensuales totales de los meses más lluviosos, por lo cual, de mantenerse esta tendencia, dichos eventos máximos podrían generar amenazas de deslizamientos, crecientes súbitas, avenidas torrenciales e inundaciones en las zonas altas, medias y bajas de las cuencas. Es necesario entonces, formular y ejecutar proyectos de conocimiento y adaptación a los nuevos regímenes climáticos y mitigación de dichos fenómenos, tales como:

Componente de conocimiento:

1. Instrumentar las cuencas con estaciones hidroclimatológicas con sensores automáticos y de transmisión telemétrica en tiempo real. (captura de información ambiental de interés para la DGRD y otras dependencias municipales)
2. Estudio para caracterizar el fenómeno lluvia-escorrentía en las cuencas y subcuencas del municipio.

3. Implementación de un Sistema de Alertas Tempranas integrando la información de las estaciones hidroclimatológicas y el trabajo con la comunidad en posible amenaza.

Componente de adaptación y/o mitigación:

1. Ejecutar proyectos de reforestación y estabilización de laderas para mitigación de deslizamientos, aumento de la capacidad de retención hídrica y reducción de escorrentía.
2. Ejecutar obras de bioingeniería para recuperación y estabilización de laderas.
3. Implementar jornadas de educación a las comunidades, en el ámbito de la Gestión del Riesgo y la adaptación al Cambio Climático.

Los datos presentados a partir del análisis de información de las estaciones hidroclimatológicas seleccionadas servirán de base para establecer rangos de comparación y alerta en el caso de implementarse un Sistema de Alertas Tempranas para dar respuesta oportuna ante este tipo de amenazas, de tal forma que se pueda comunicar de manera oportuna a las comunidades expuestas sobre un posible evento amenazante, y se pueda reaccionar de manera oportuna, salvaguardando vidas y bienes materiales.

10.RECOMENDACIONES

El presente estudio se configura como una base para el inicio de un proceso de conocimiento del régimen de lluvias en el municipio de Palmira, que permita a través del tiempo mejorar la comprensión del fenómeno de precipitación en el territorio, para ello se considera necesario que en adelante se acoplen al presente análisis, registros de otras estaciones de registro de lluvias, de instituciones públicas como IDEAM, privadas como Cenicaña, CIAT, y del orden internacional, con el objetivo de tener una mayor densidad de datos y que las isoyetas de lluvia y demás análisis representen mejor la realidad.

Los datos, gráficos y mapas del presente estudio se realizaron a partir de los registros de lluvia oficiales de las estaciones de CVC seleccionadas, con el objetivo facilitar el entendimiento del régimen de precipitación y garantizar la correcta toma de decisiones a los secretarios y directivos de la alcaldía de Palmira, que de una u otra forma se vean afectados por este fenómeno, sin embargo es importante resaltar que el documento debe ser consultado por un profesional con conocimiento del tema y con criterio técnico suficiente, considerando que las isoyetas presentadas son aproximaciones y no representan de manera exacta la realidad.

En cuanto a la gestión del riesgo, el presente estudio permitió conocer de manera aproximada, el comportamiento de las lluvias en el territorio, su variación espacial y temporal a nivel anual, mensual y máximo diario; sin embargo, para poder actuar en términos de emisión de alertas ante eventos de crecientes súbitas, avenidas torrenciales e inundaciones, es necesario conocer el fenómeno a nivel horario y minutar, que se transmita de manera remota, automática y en tiempo real, permitiendo a las autoridades competentes emitir alertas a las comunidades expuestas con un tiempo de antelación o respuesta para salvaguardarse antes de que ocurra el evento.

11. BIBLIOGRAFÍA

Cheng, C., Cheng, S., Wen, J., Lee, J., (2012). Effects of Raingauge Distribution on Estimation Accuracy of Areal Rainfall. Water Resour. Manag. 26, 1–20. doi:10.1007/s11269-011-9898-7

CVC. (2020). ECOPEDIA, la enciclopedia ambiental del Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali, Vall del Cauca, Colombia. Sitio web consultado en junio de 2020 en: <http://ecopedia.cvc.gov.co/modulo-consulta>

Figueroa, Albeiro & Rodríguez, Erasmo. (2014). Caracterización de la precipitación sobre una microcuenca urbana a partir de registros de una densa red de pluviómetros. XXVI Congreso Latinoamericano de hidráulica Santiago, Chile, agosto 2014. Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH). Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia - Bogotá, Colombia. Consultado en octubre de 2020 en: https://www.researchgate.net/publication/325653982_Analisis_Temporal_de_la_Precipitacion_en_una_microcuenca_urbana_densamente_instrumentada

Geo-CVC. (2020). Visor Geográfico Avanzado. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali, Vall del Cauca, Colombia. Sitio web consultado en junio de 2020 en: https://www.geo.cvc.gov.co/visor_avanzado/.

IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. República de Colombia.

IDEAM. (2012). Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. República de Colombia. Consultado en julio de 2020 <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Cambio+Climatico+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/fe5d64fb-3a82-4909-a861-7b783d0691cb>

IDEAM. (2020). Solicitud de Información. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. República de Colombia. Sitio web consultado en agosto de 2020 en: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

Li, J., Heap, A.D., (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecol. Informatics 6, 228–241. doi:10.1016/j.ecoinf.2010.12.003

OMM (1989) Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Prepared by a meeting of experts, Washington, DC, USA. marzo de 1989. Organización Meteorológica Mundial, WCDP N°. 10, OMM, Ginebra.

QGIS. (2020). Una Ligera Introducción a GIS: Análisis Espacial (Interpolación). Sitio web consultado en octubre de 2020 en:

https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#:~:text=La%20interpolaci%C3%B3n%20espacial%20es%20el,para%20cubrir%20toda%20la%20regi%C3%B3n.

Unesco. (2012) - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. International Glossary of Hydrology. WMO-No. 385 Ginebra, WMO.

URL 1. Entendiendo la interpolación. El Blog de Franz. Sitio web consultado en noviembre de 2020 en: <https://acolita.com/entendiendo-la-interpolacion/>

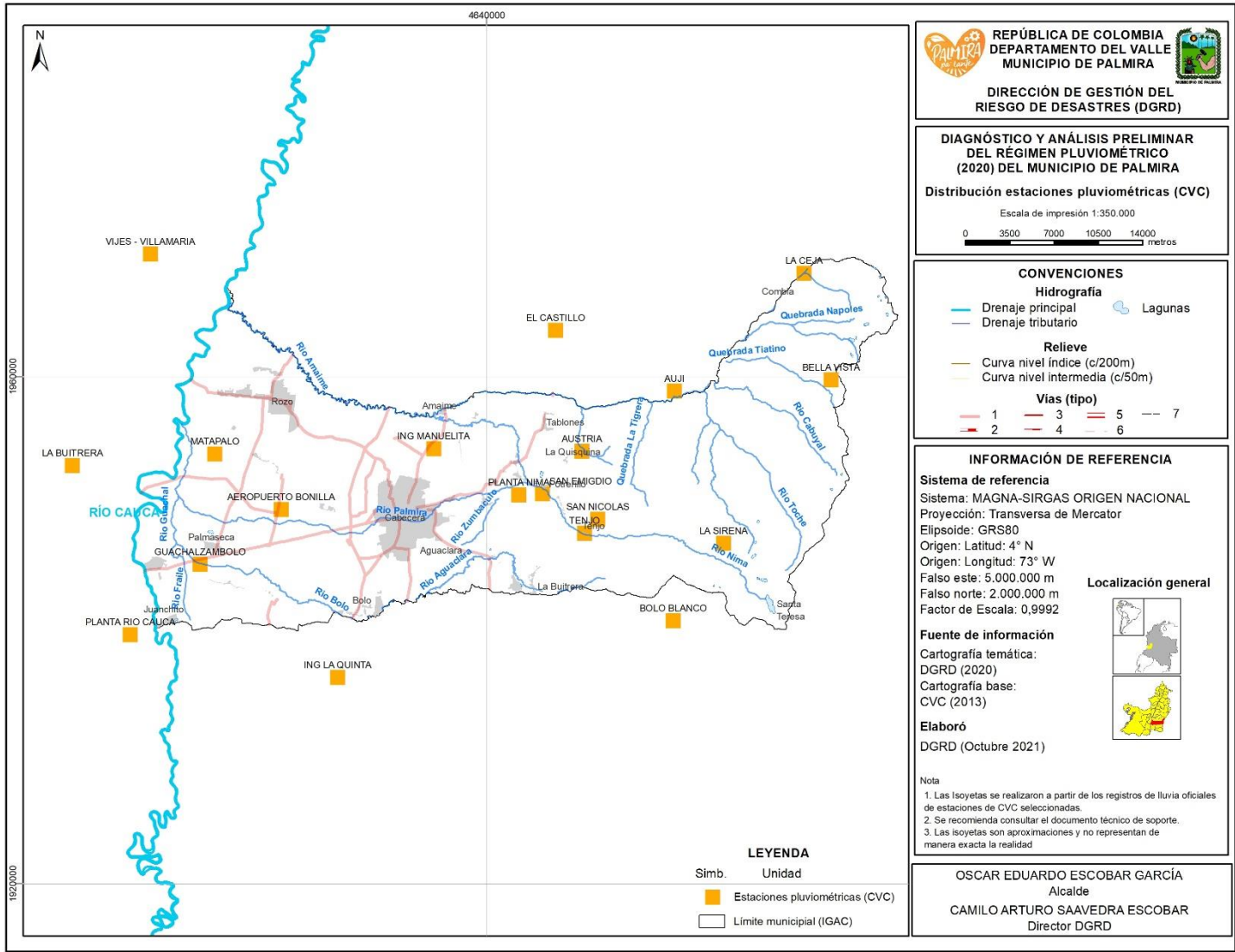
URL 2. Crear un mapa de isoyetas e isotermas en ArcGIS. El Blog de Franz. Sitio web consultado en noviembre de 2020 en:

<https://acolita.com/crear-mapa-de-isoyetas-isotermas-isobaras-en-arcgis-isolineas/>

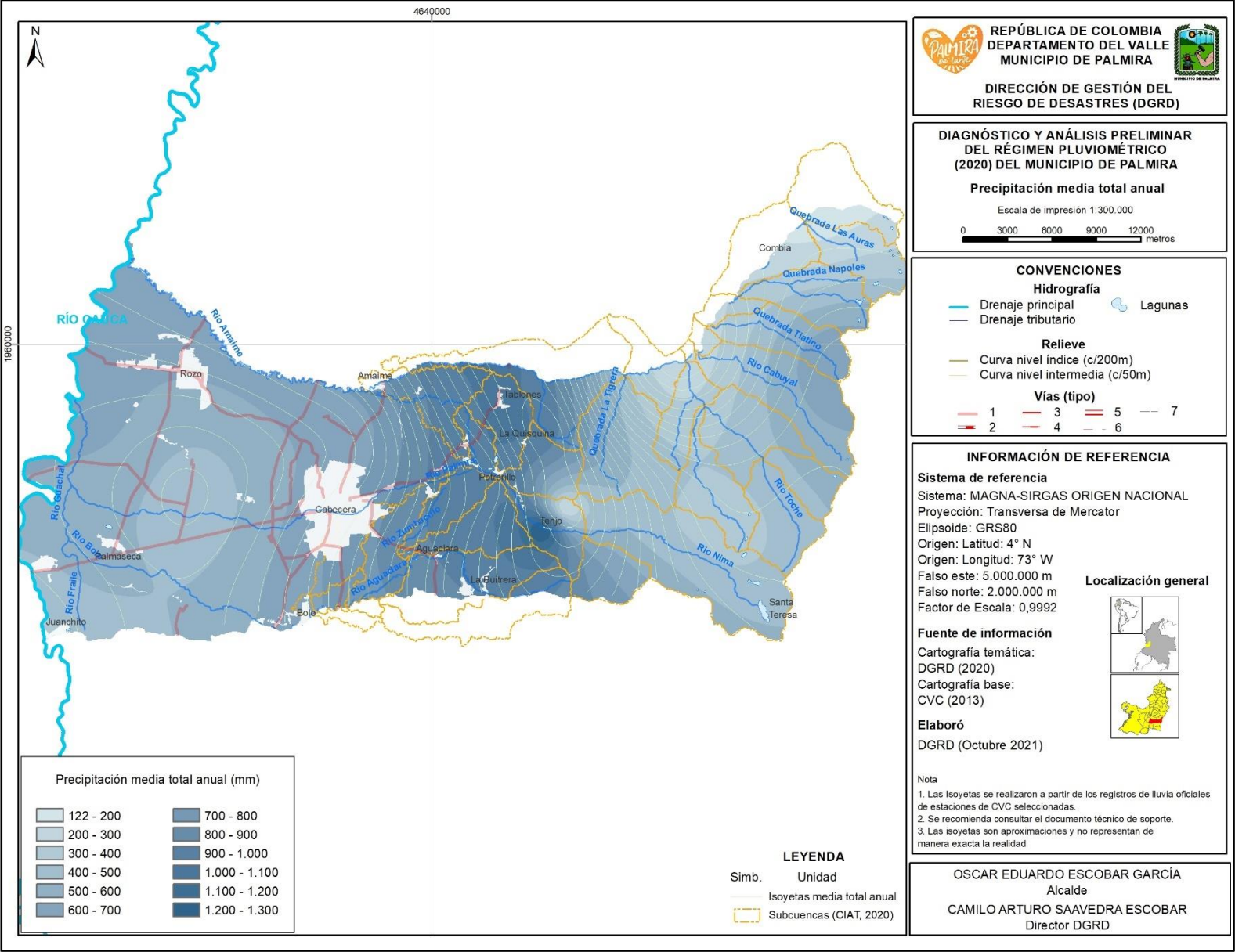
Webster, R., Oliver, M.A., (2007). Geostatistics for environmental scientists. Wiley, Chichester.

12. ANEXOS

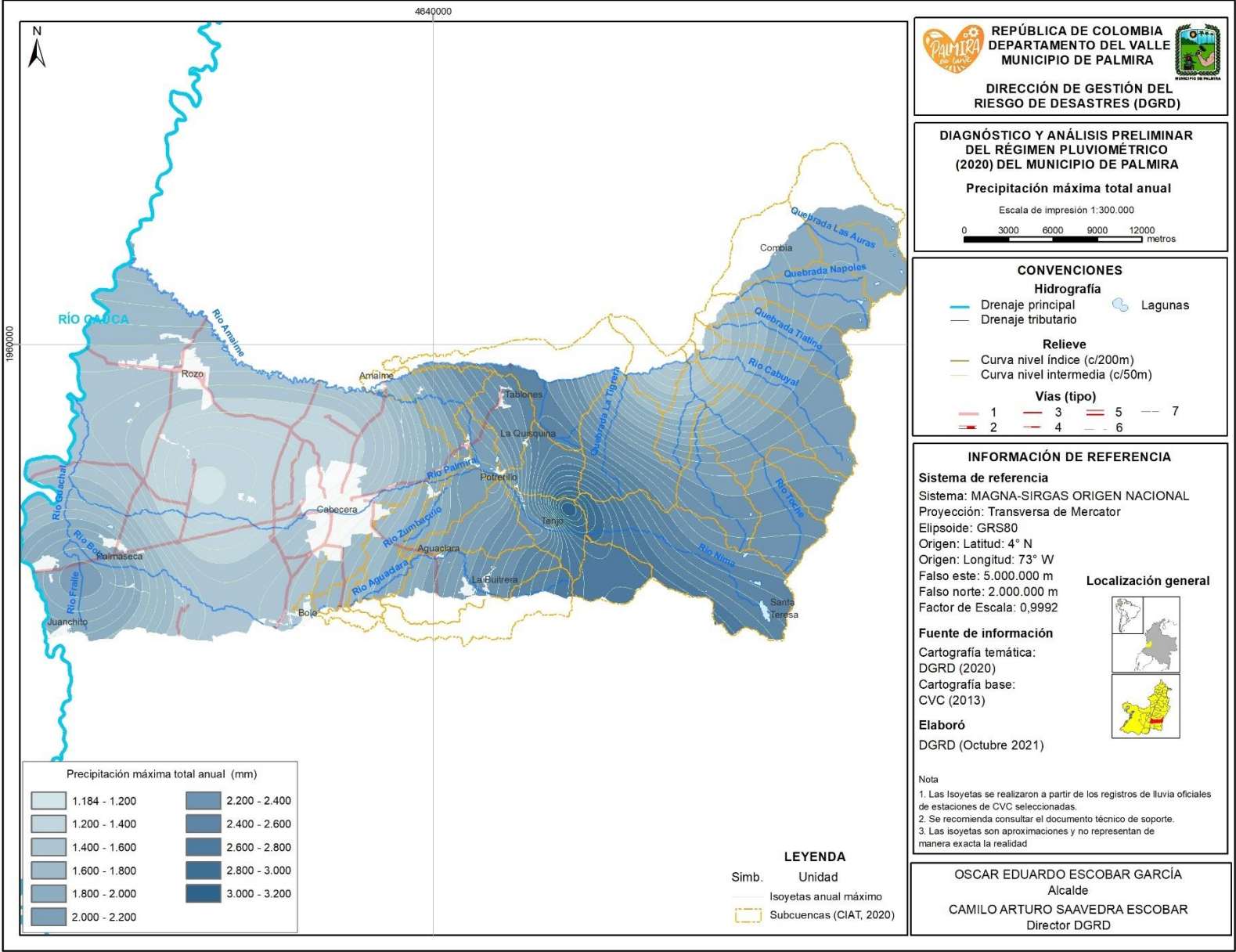
12.1. ANEXO 1. Mapa de distribución espacial, estaciones seleccionadas.



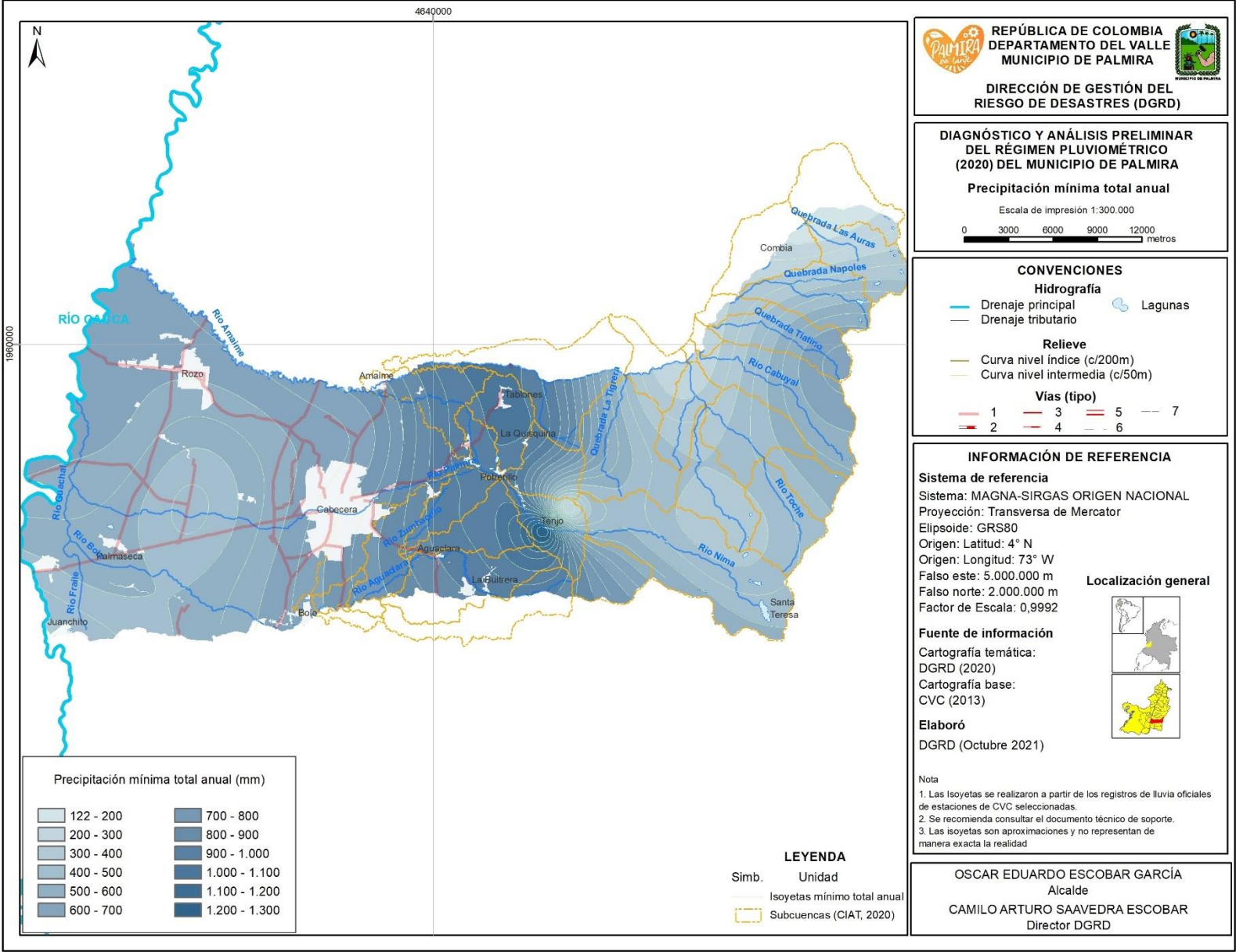
12.2. ANEXO 2. Mapa de Isoyetas – precipitación media total anual.



12.3. ANEXO 3. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima total anual.

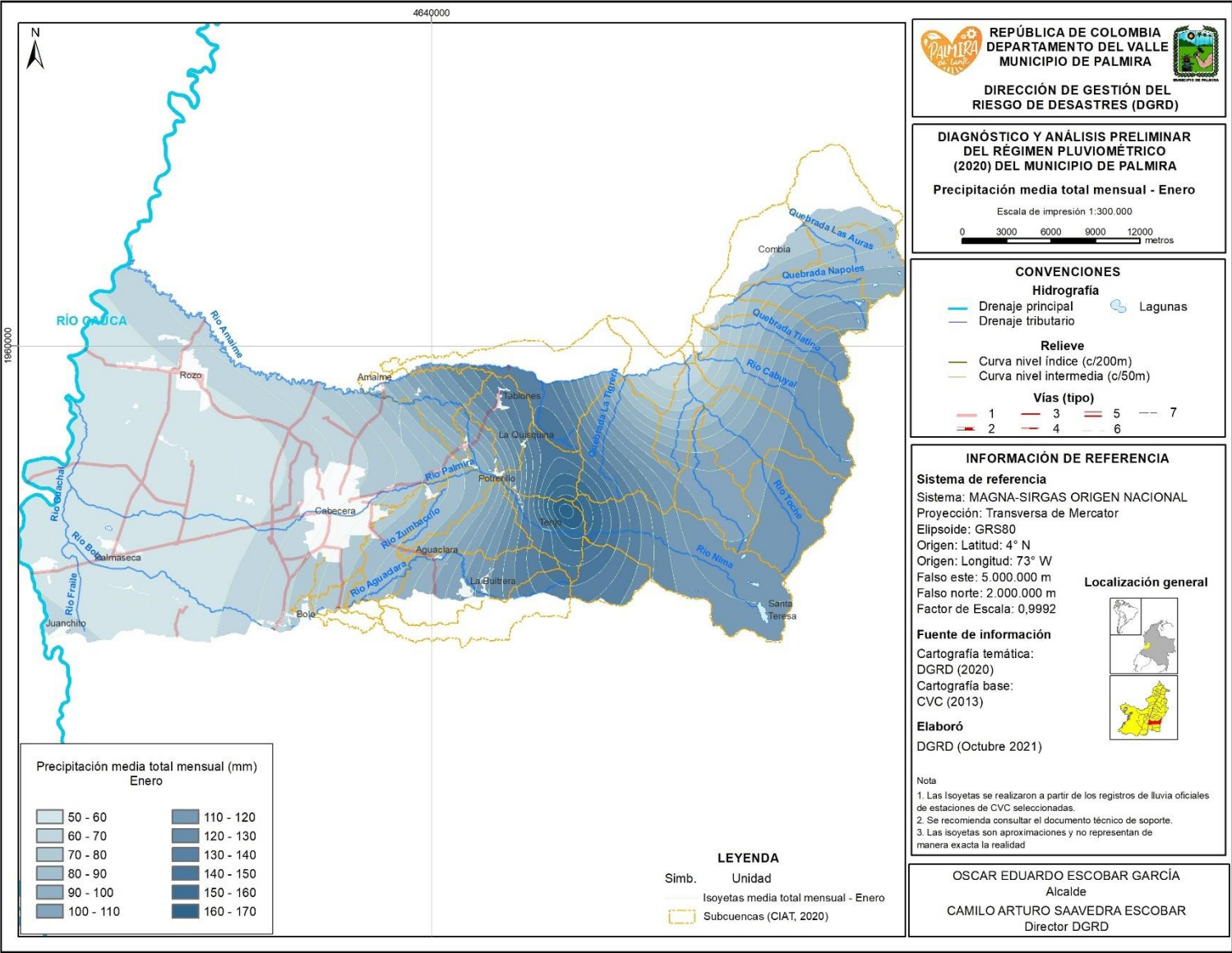


12.4. ANEXO 4. Mapa de Isoyetas – precipitación mínima total anual.

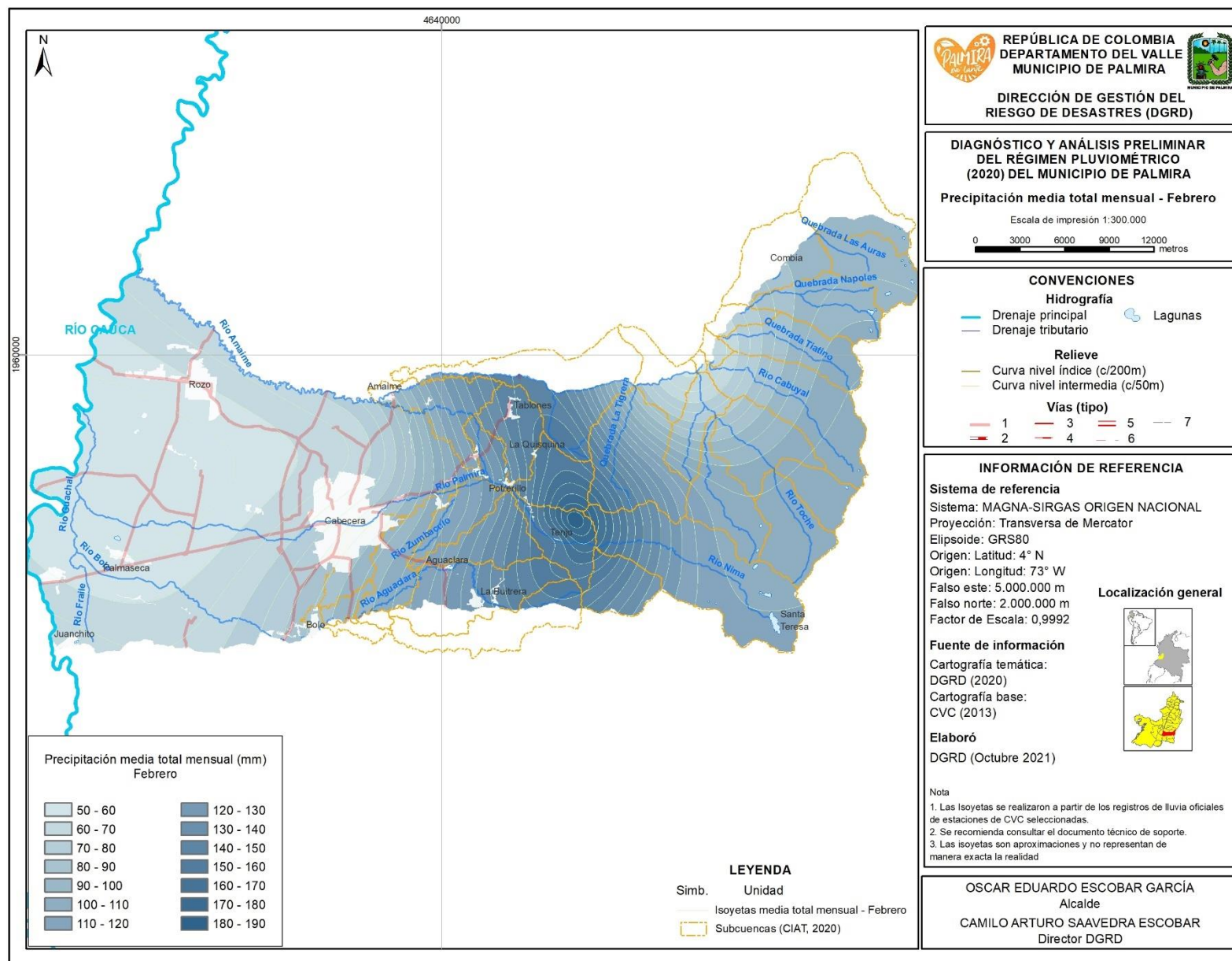


12.5. ANEXO 5. Mapa de Isoyetas – precipitación media mensual total.

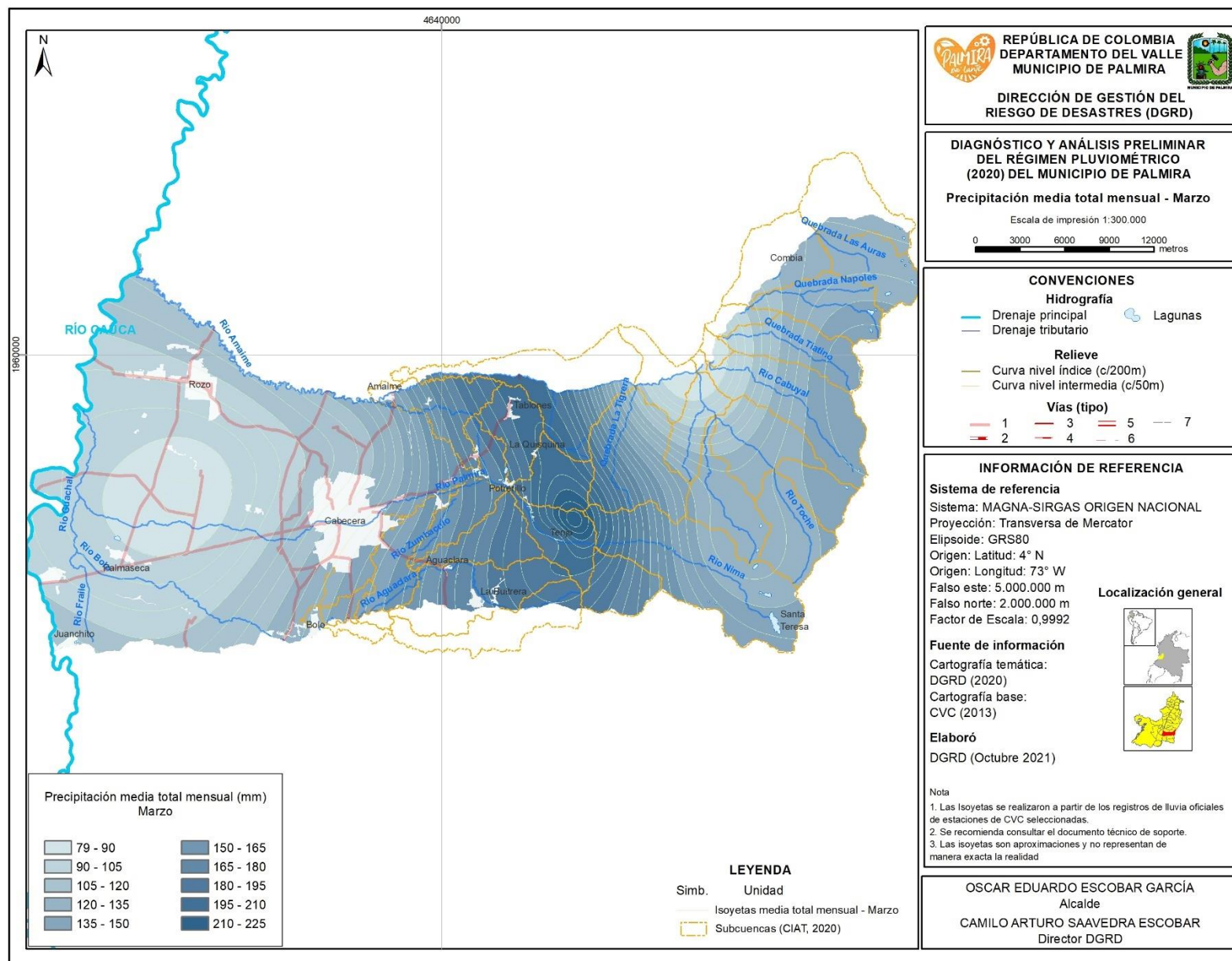
Isoyetas precipitación media total mensual – Enero



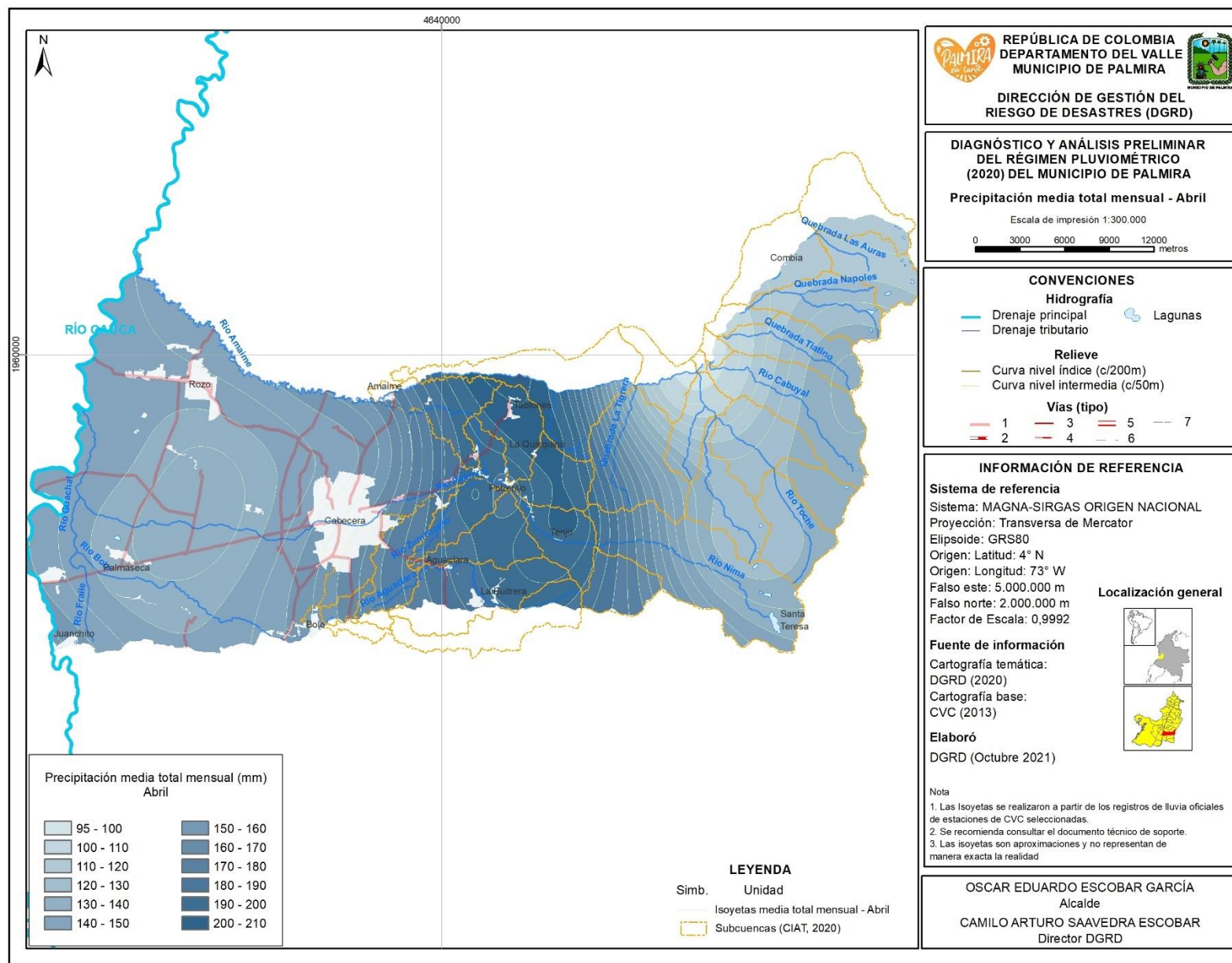
Isoyetas precipitación media total mensual – Febrero



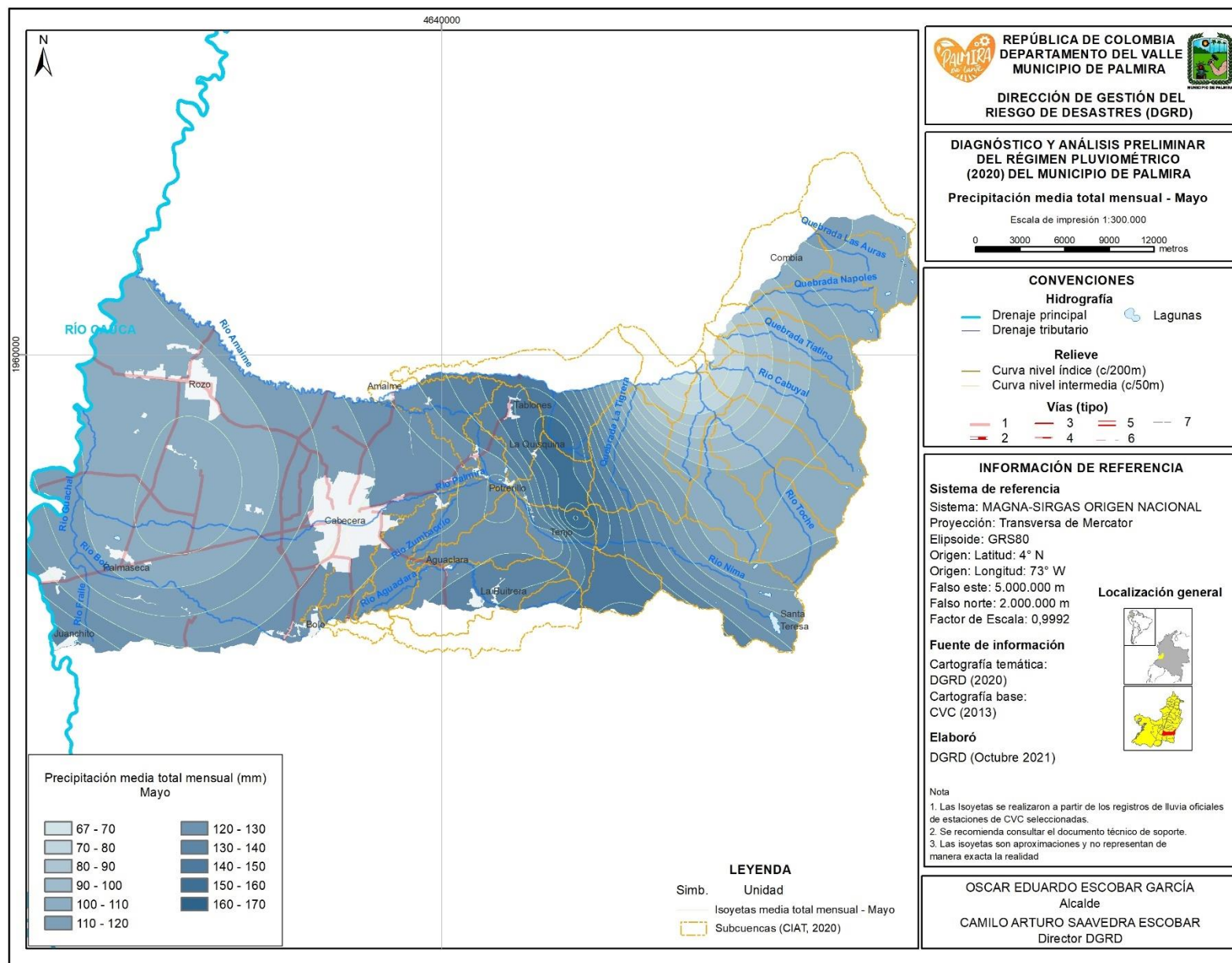
Isoyetas precipitación media total mensual – Marzo



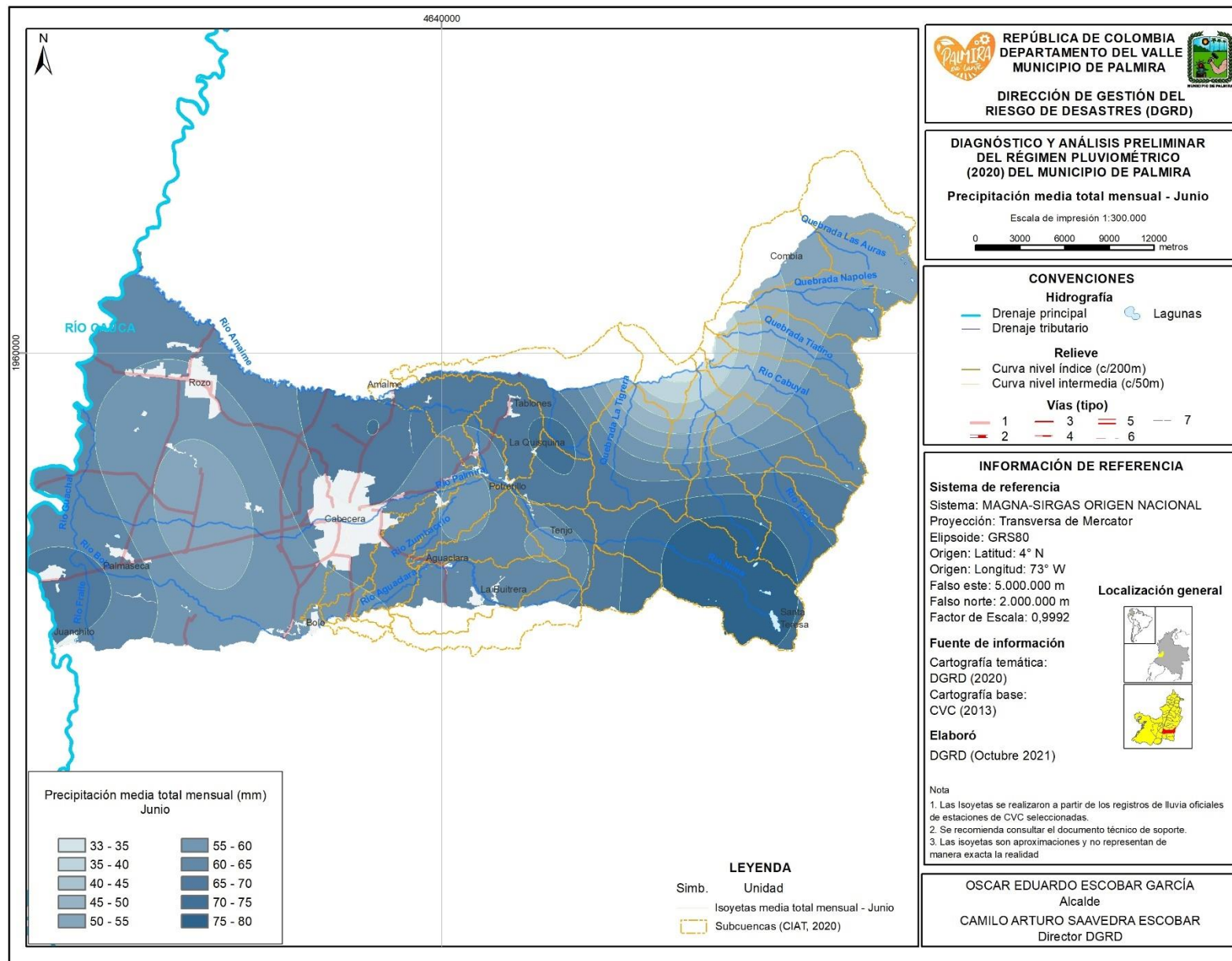
Isoyetas precipitación media total mensual – Abril



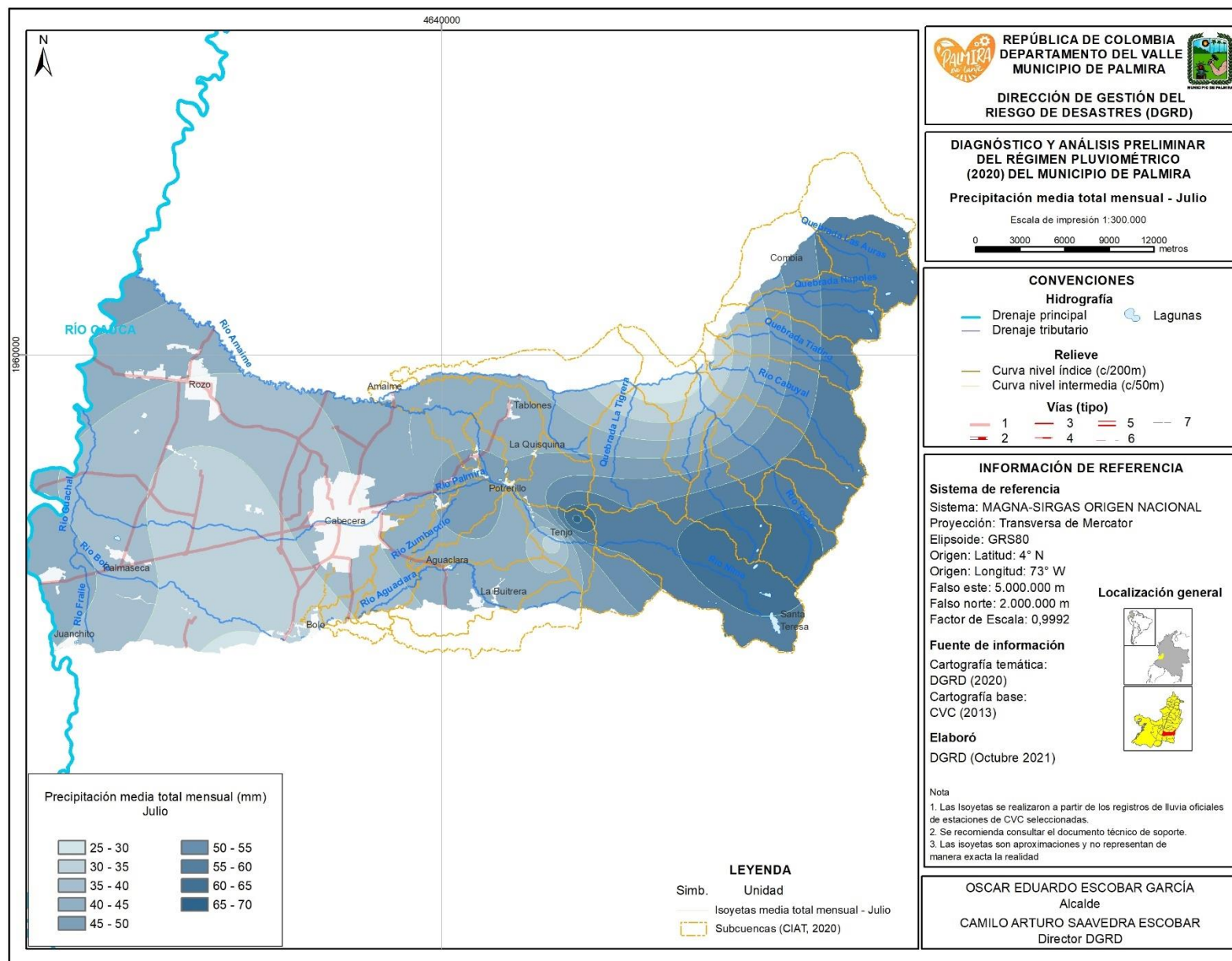
Isoyetas precipitación media total mensual – Mayo



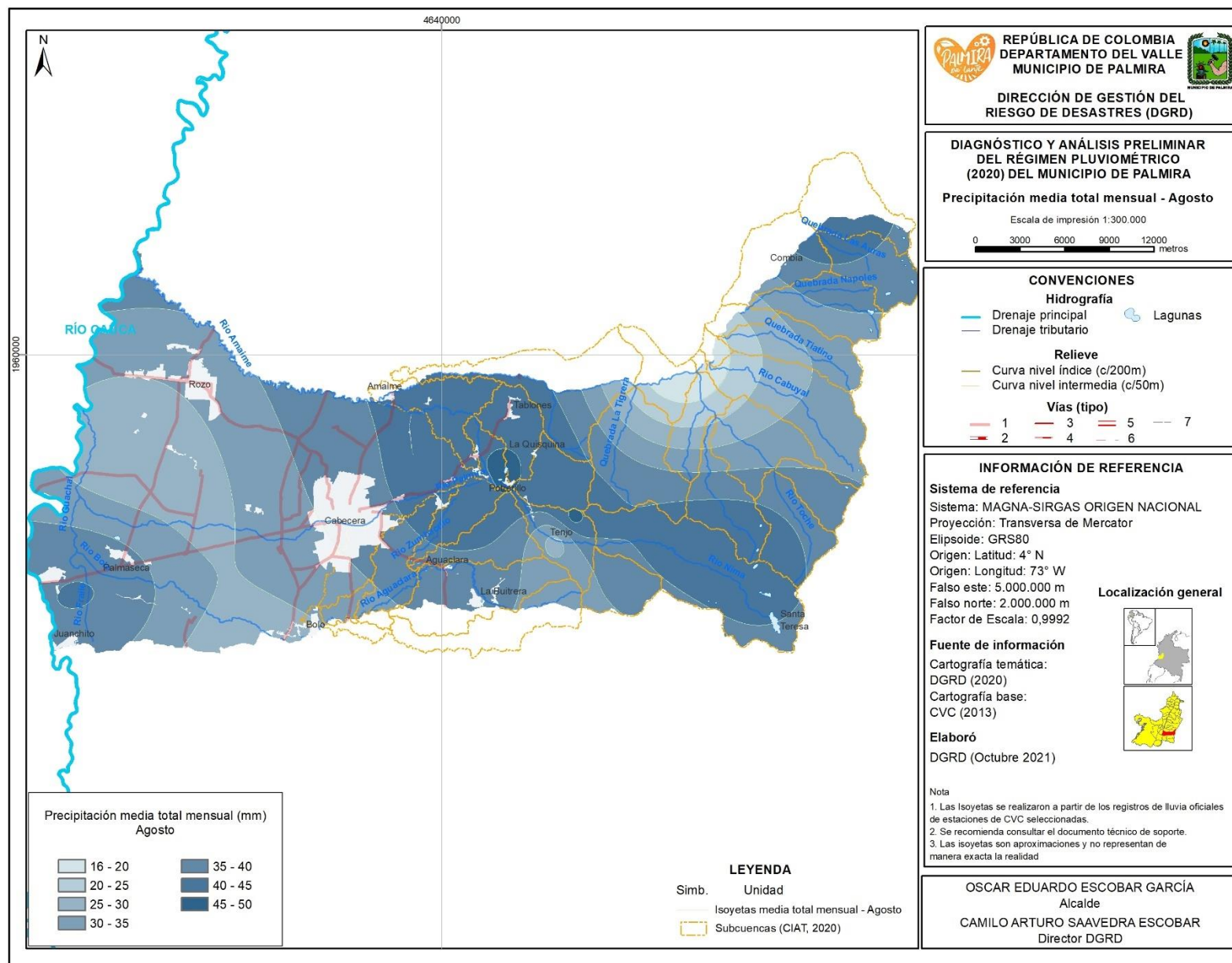
Isoyetas precipitación media total mensual – Junio



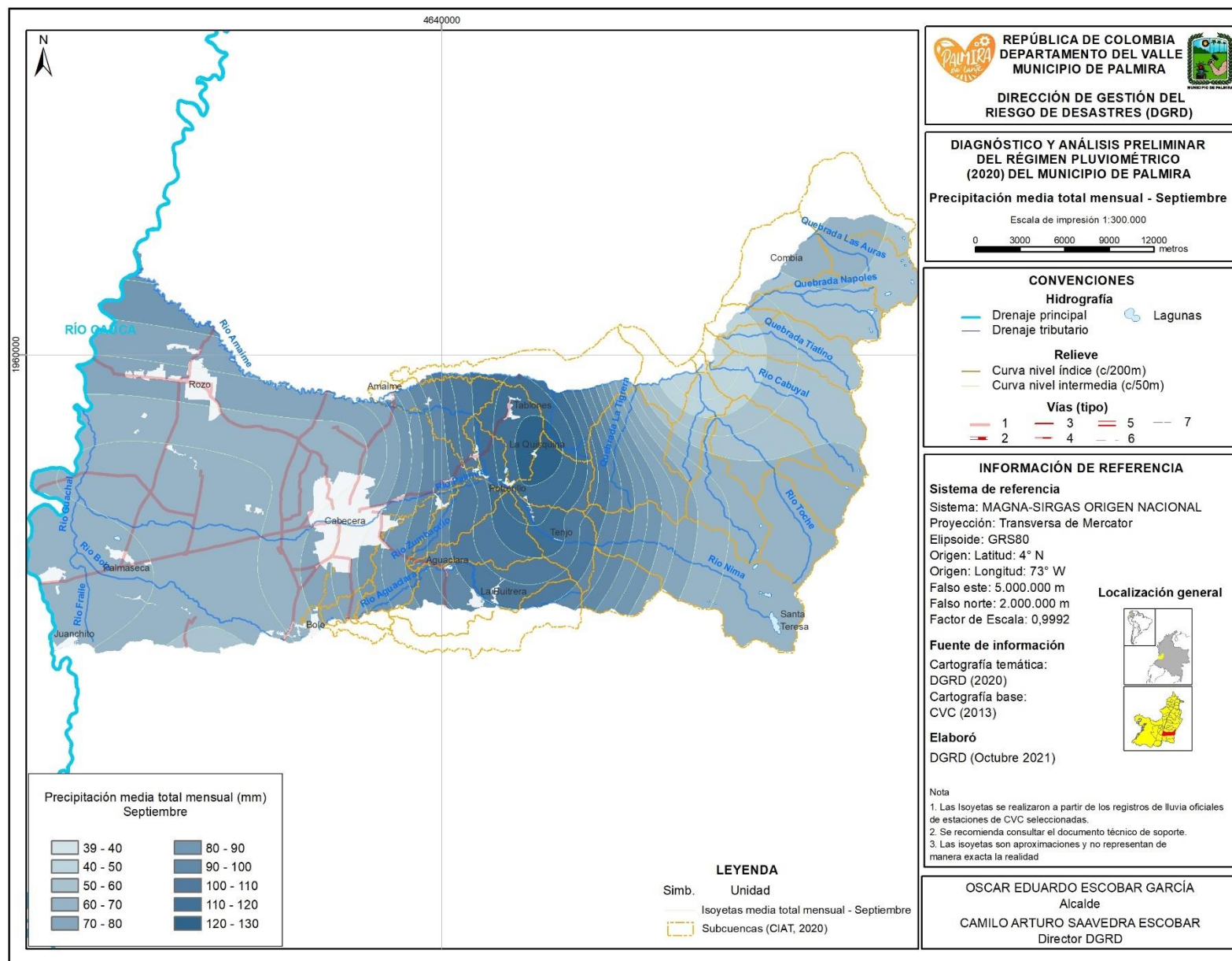
Isoyetas precipitación media total mensual – Julio



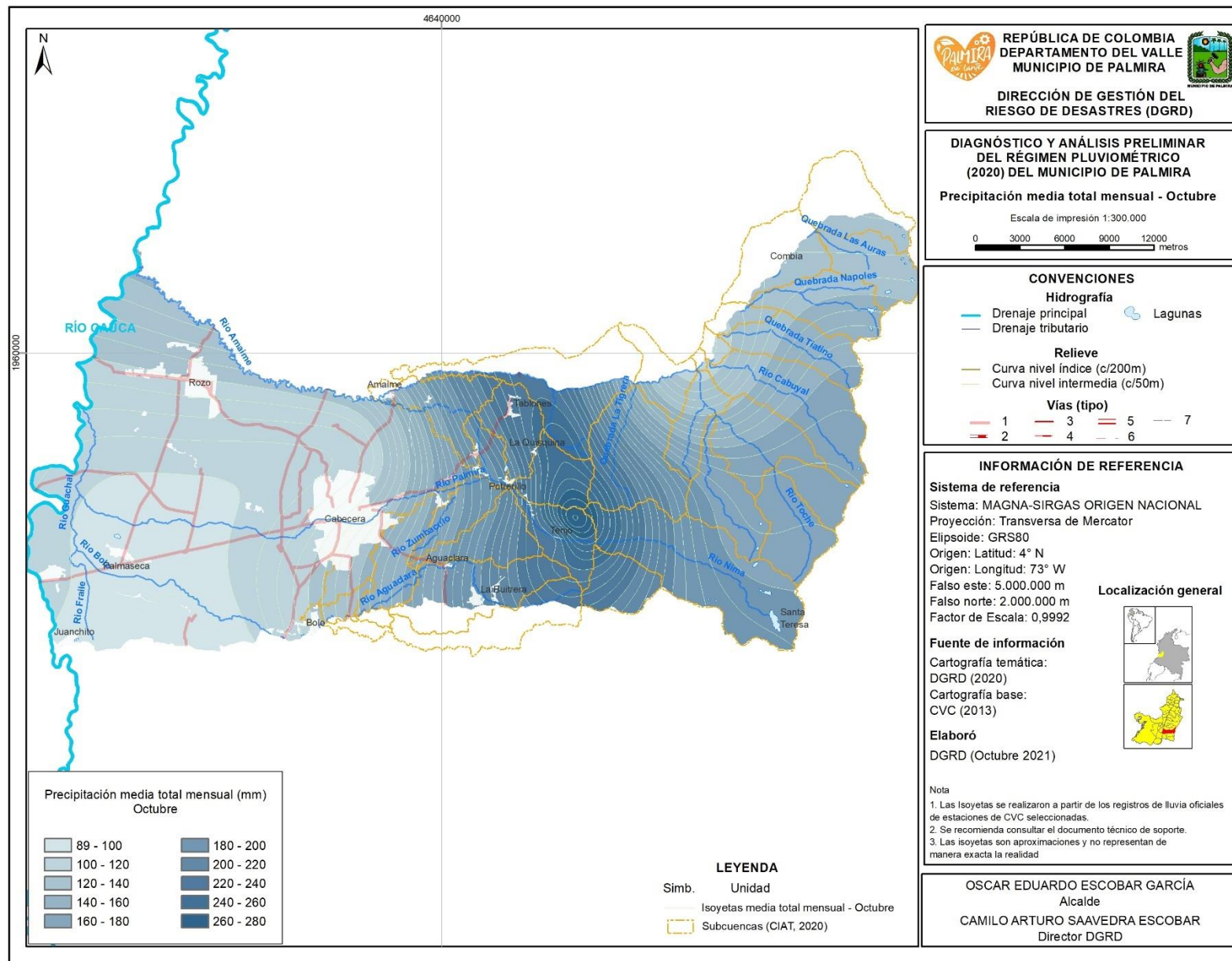
Isoyetas precipitación media total mensual – Agosto



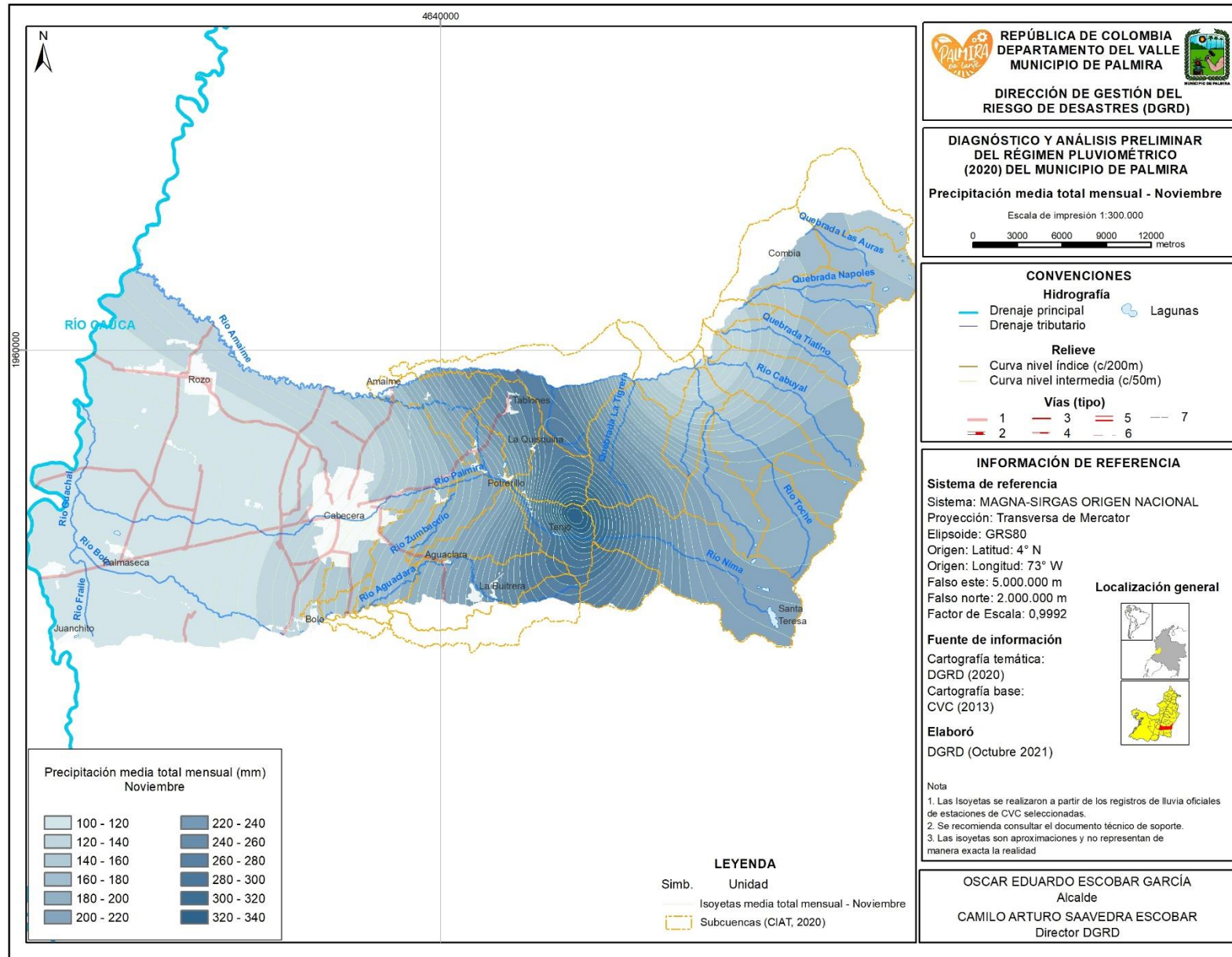
Isoyetas precipitación media total mensual – Septiembre



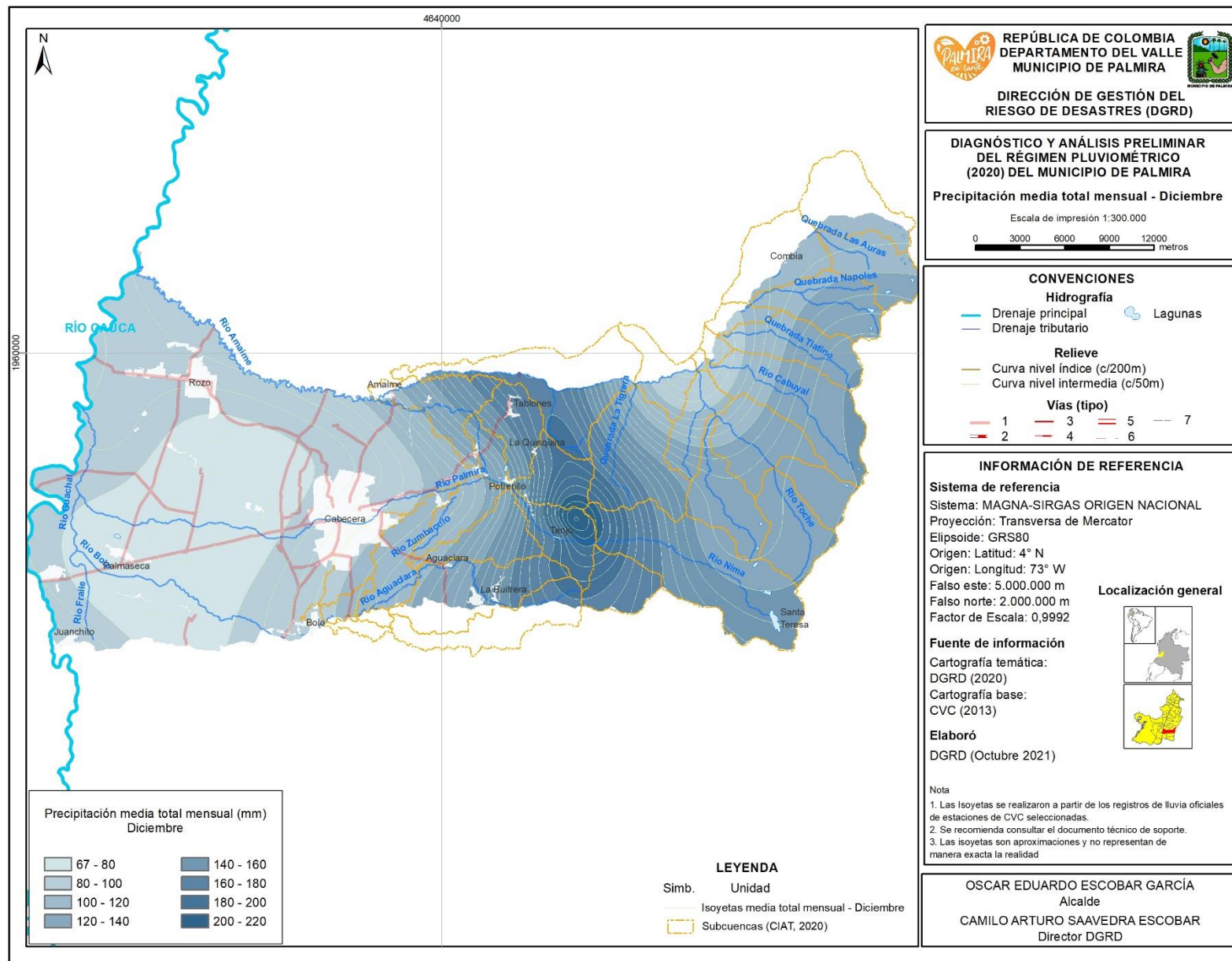
Isoyetas precipitación media total mensual – Octubre



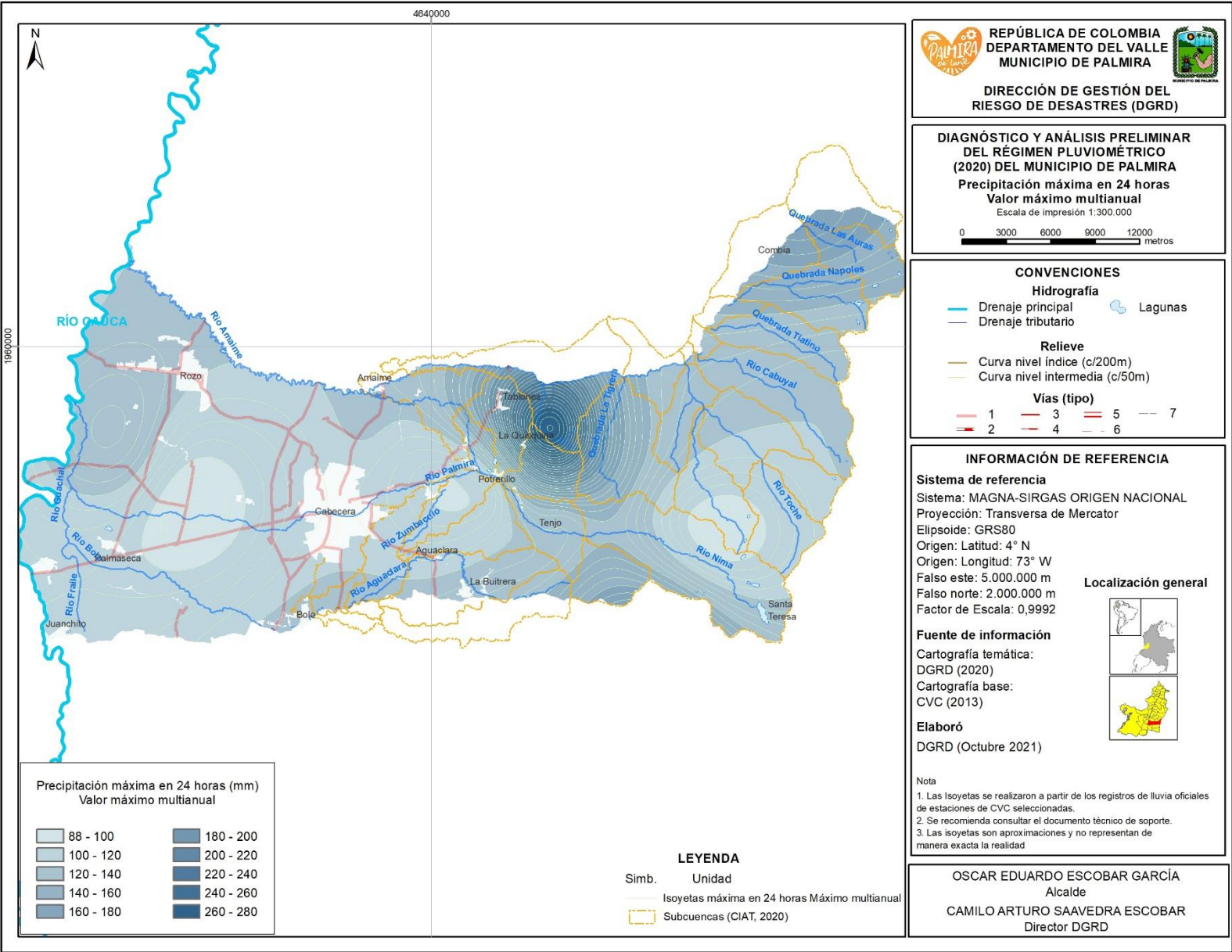
Isoyetas precipitación media total mensual – Noviembre



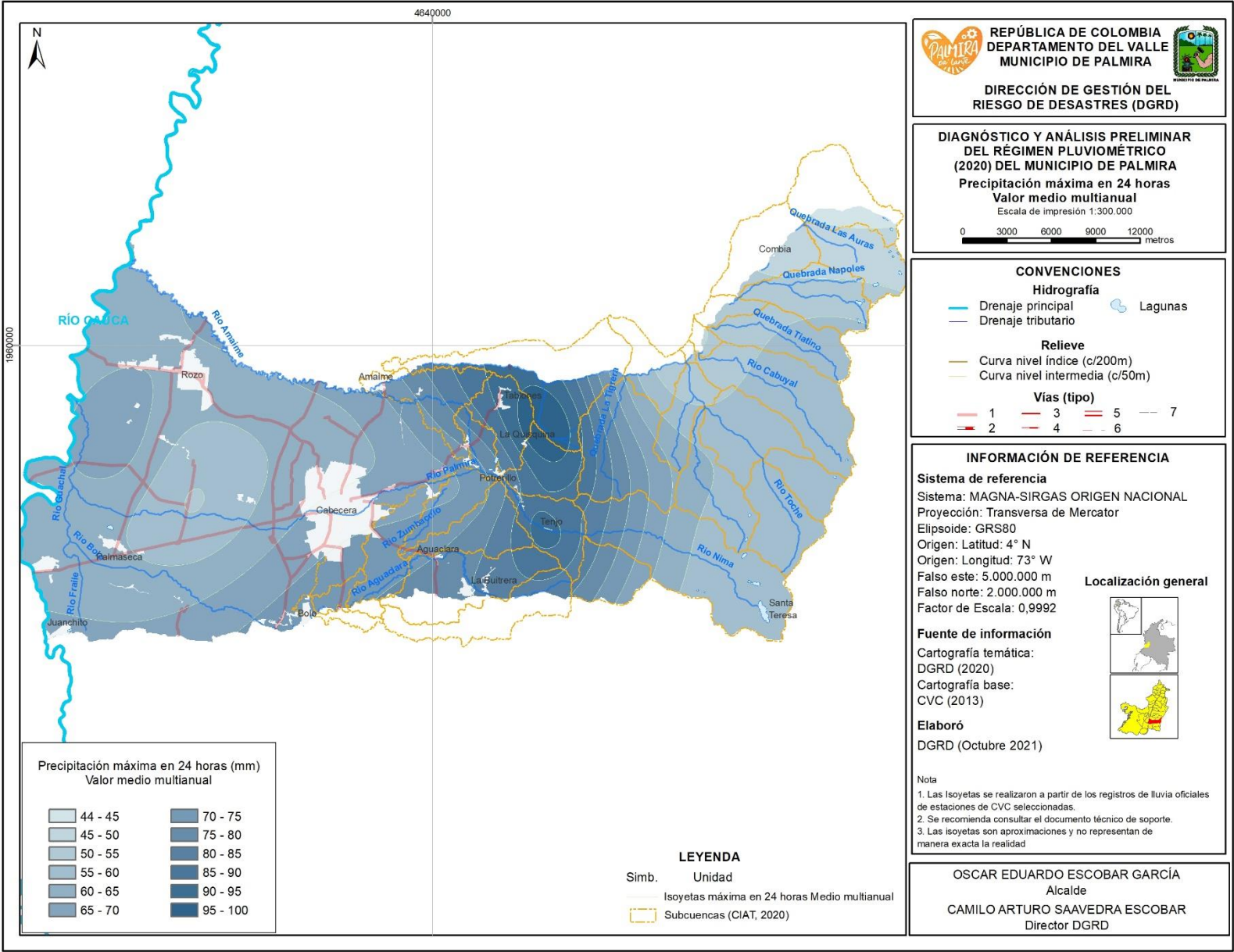
Isoyetas precipitación media total mensual – Diciembre



12.6. ANEXO 6. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor máximo multianual.

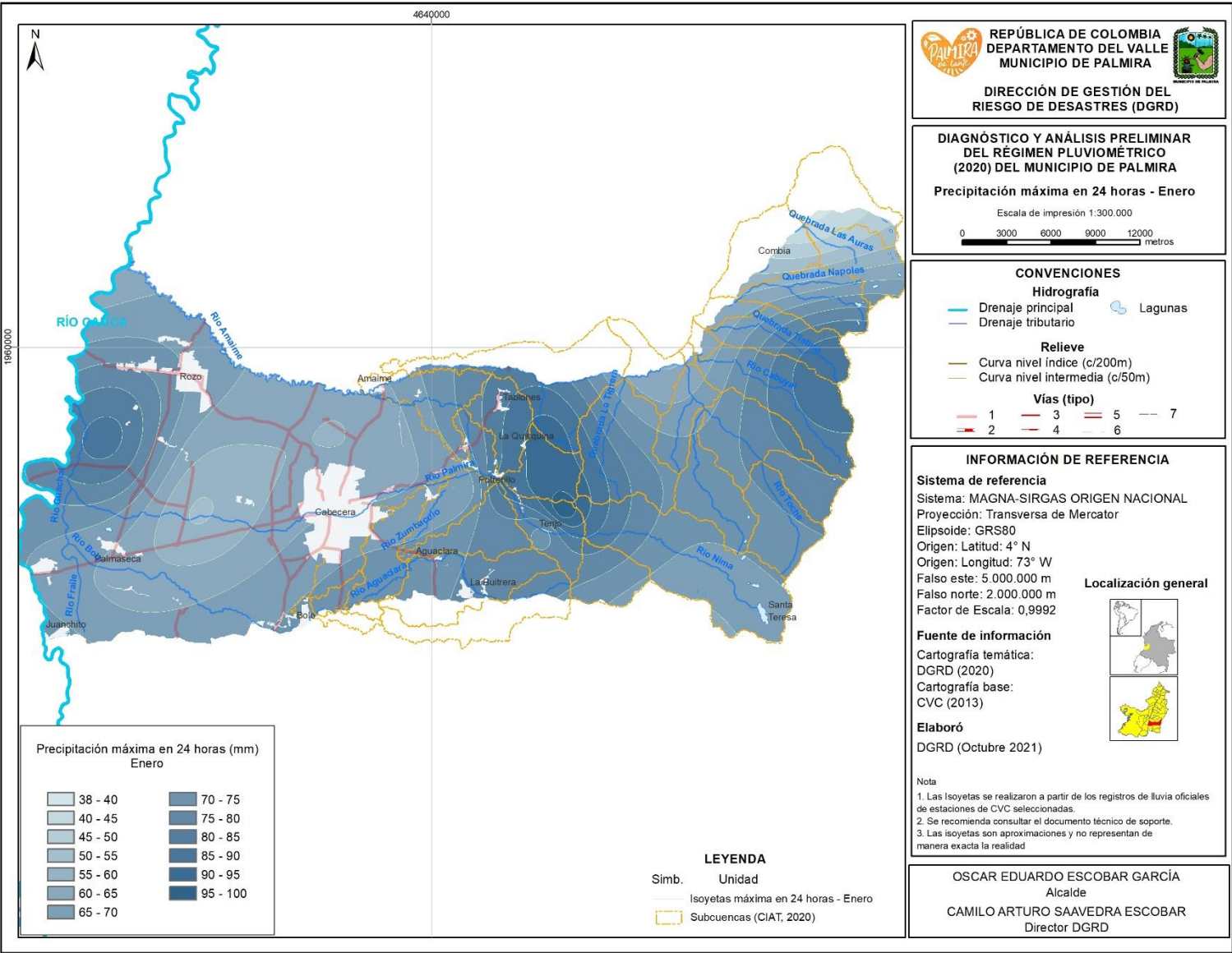


12.7. ANEXO 7. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas, valor medio multianual.

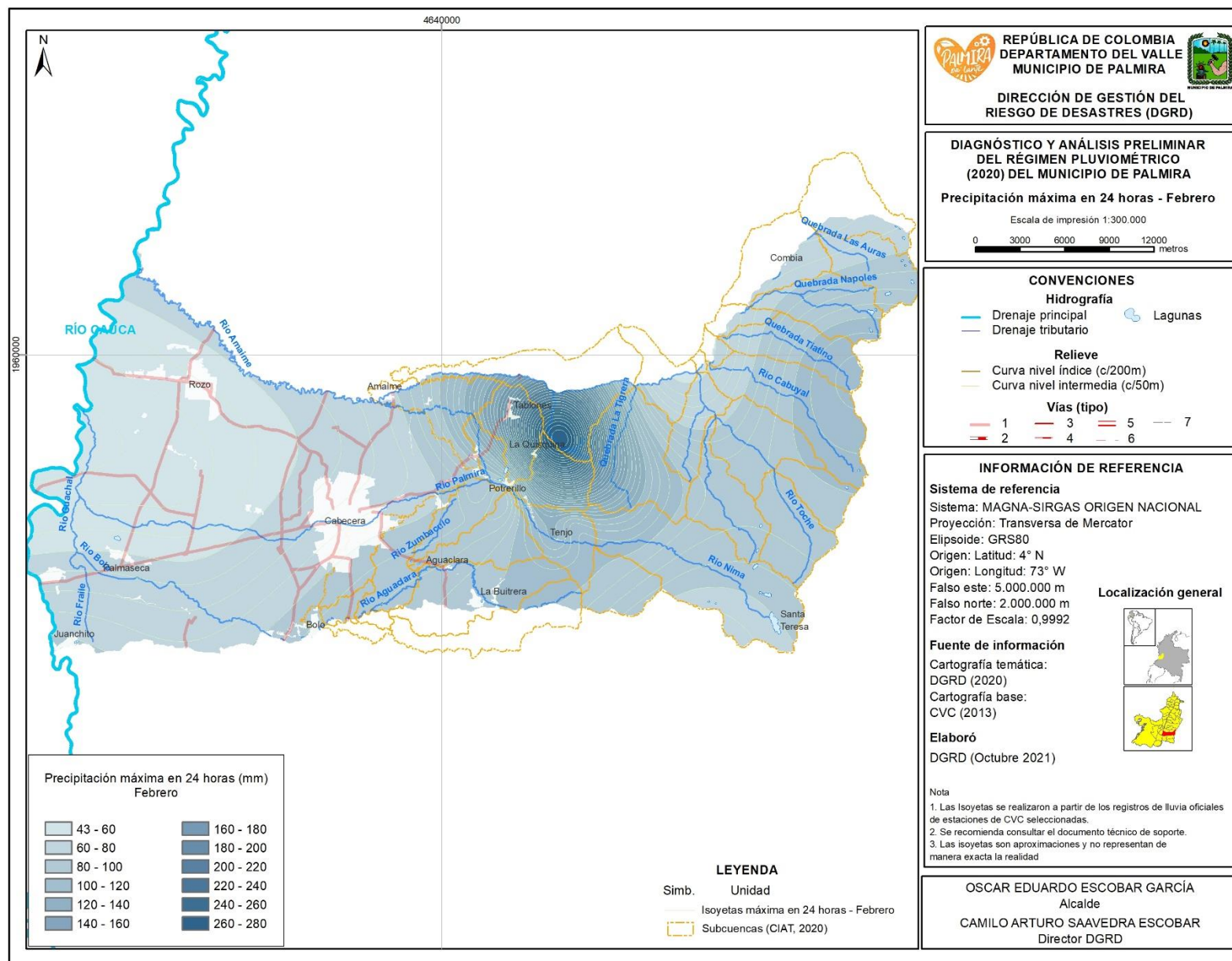


12.8. ANEXO 8. Mapa de Isoyetas – precipitación máxima en 24 horas por mes.

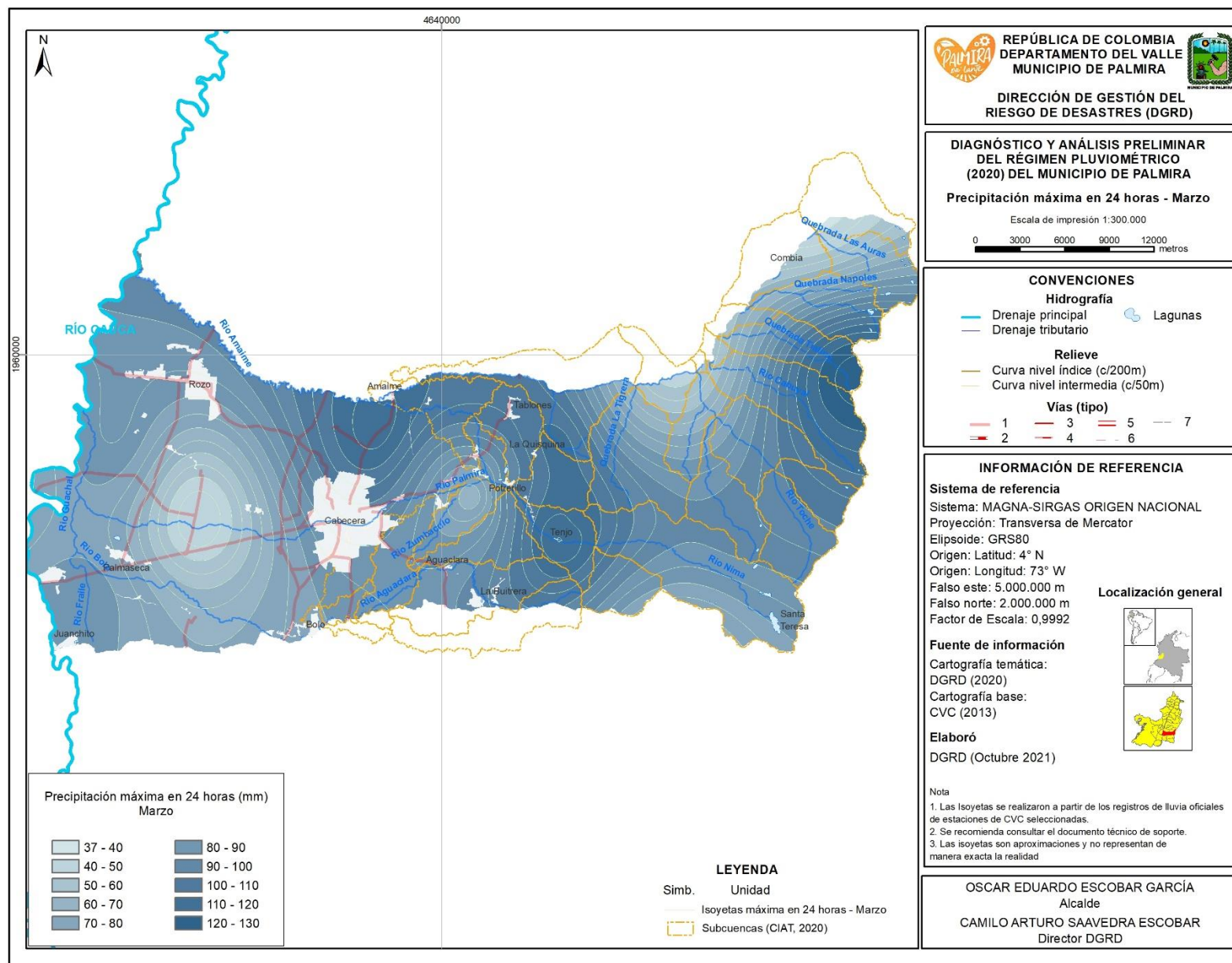
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Enero



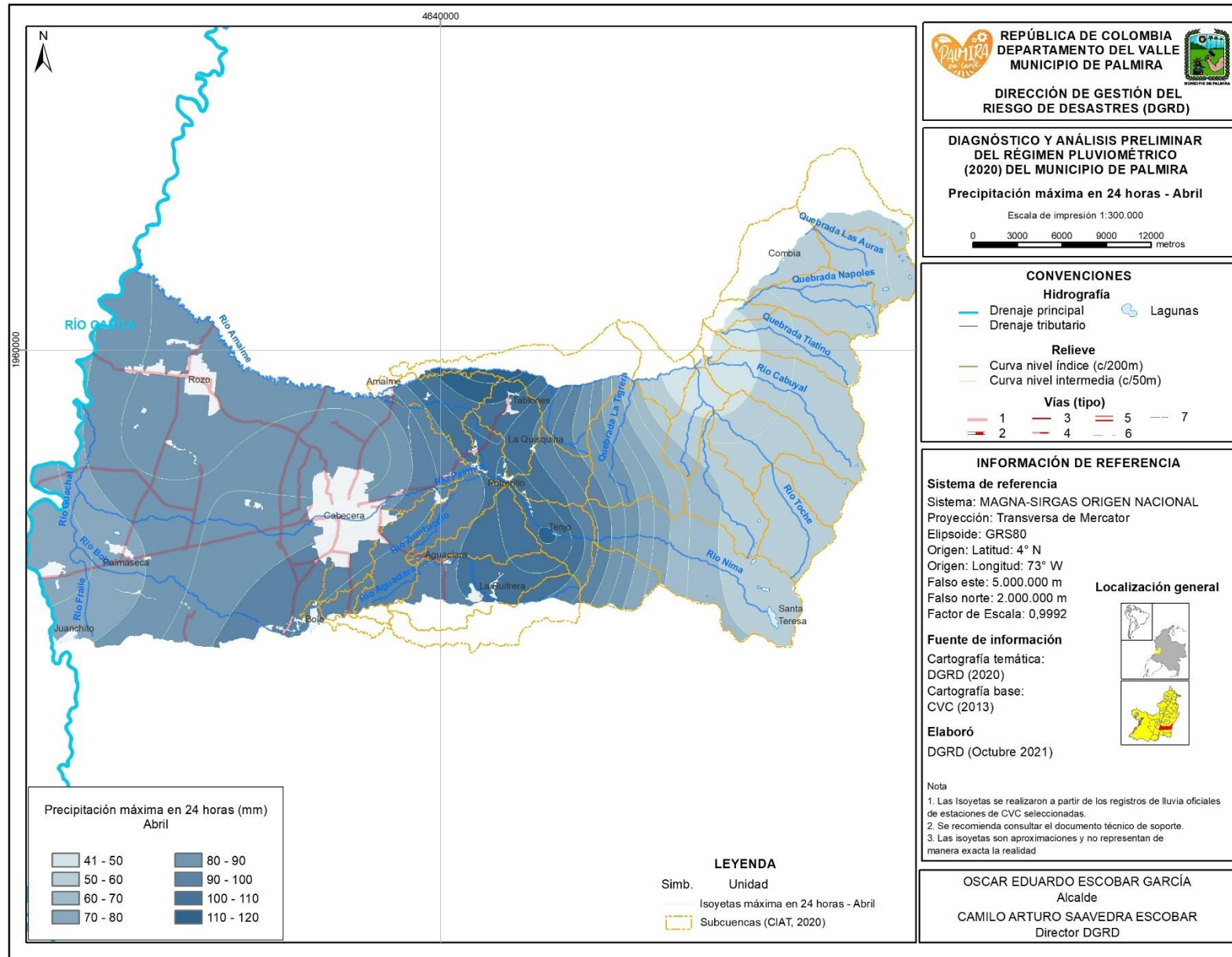
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Febrero



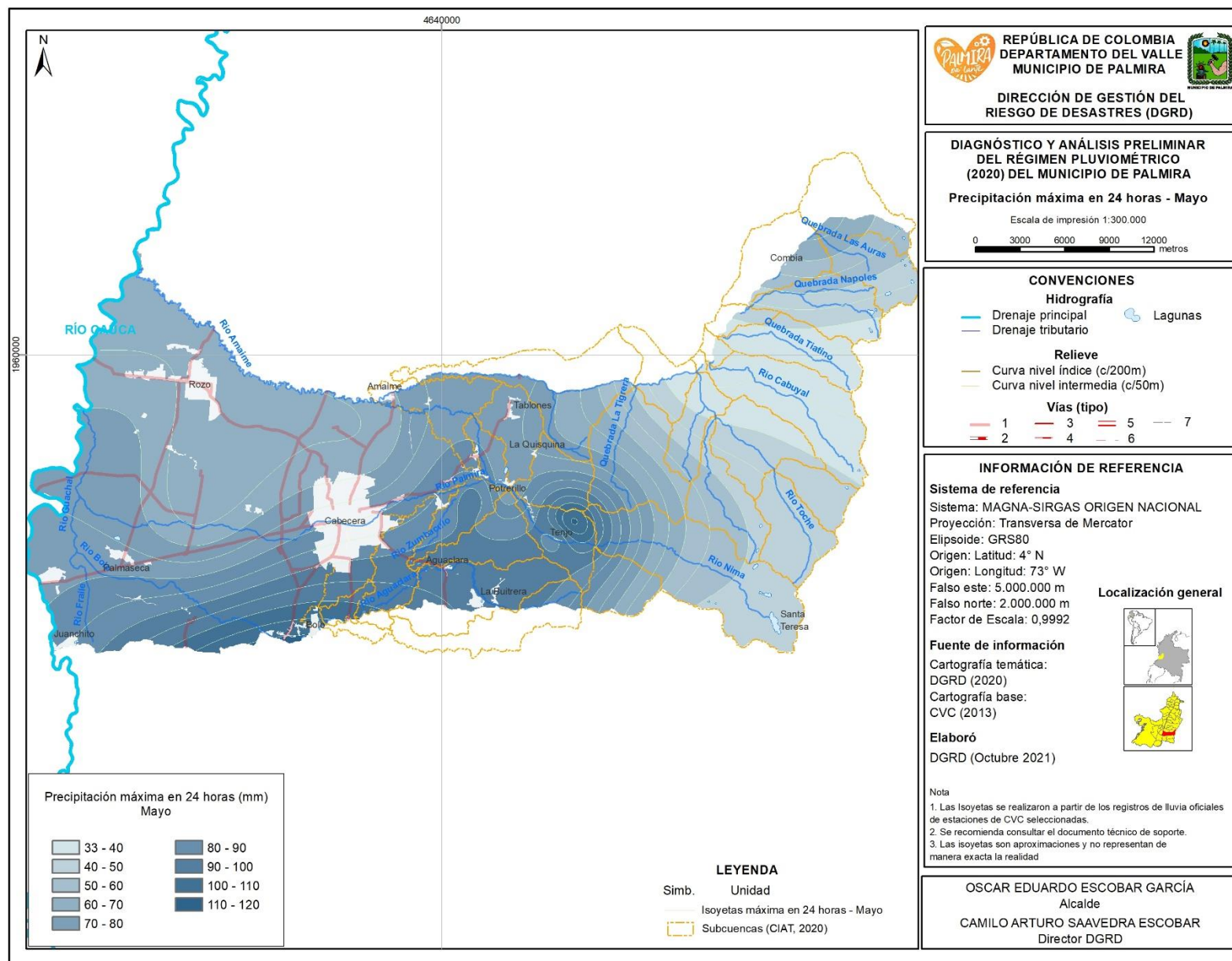
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Marzo



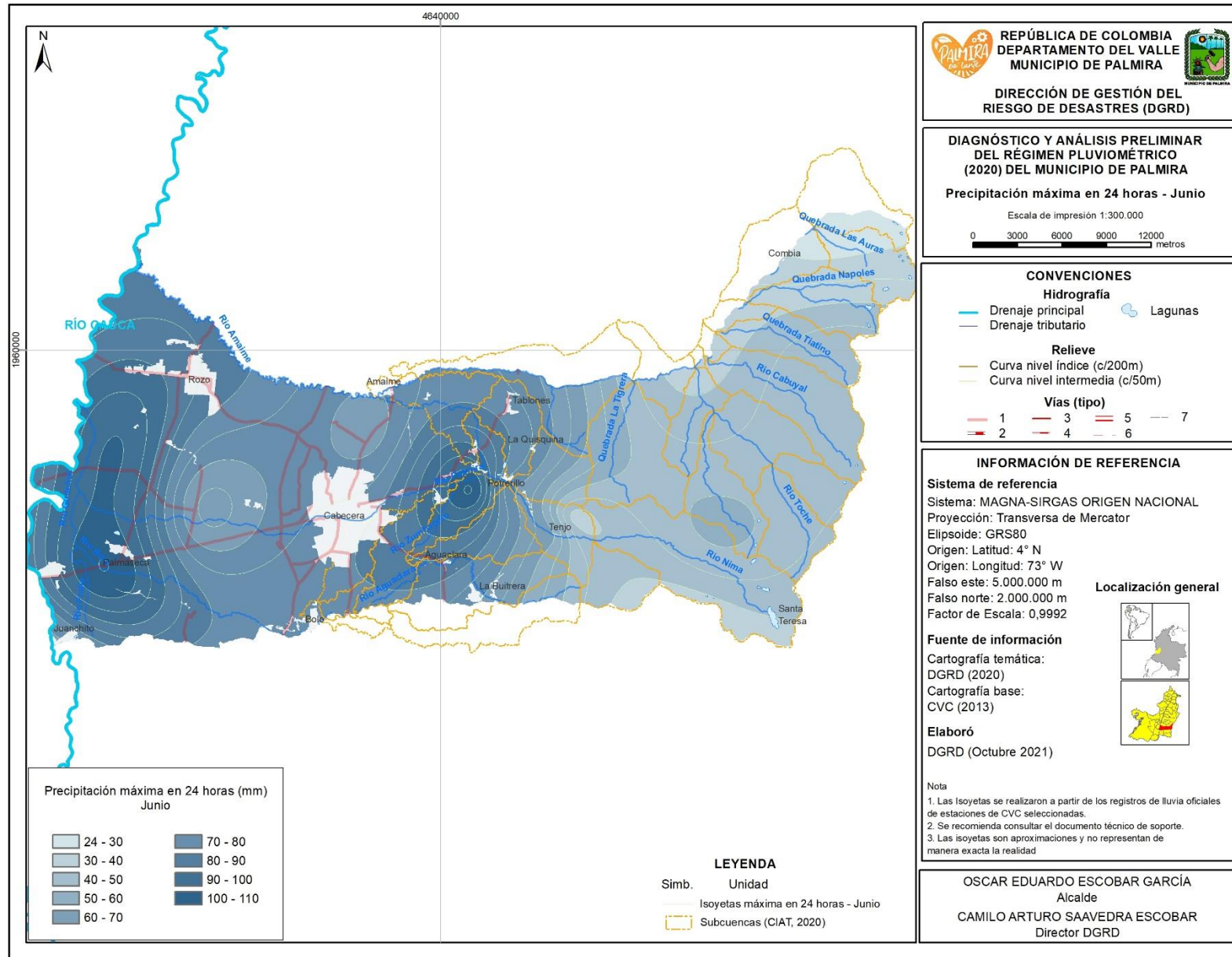
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Abril



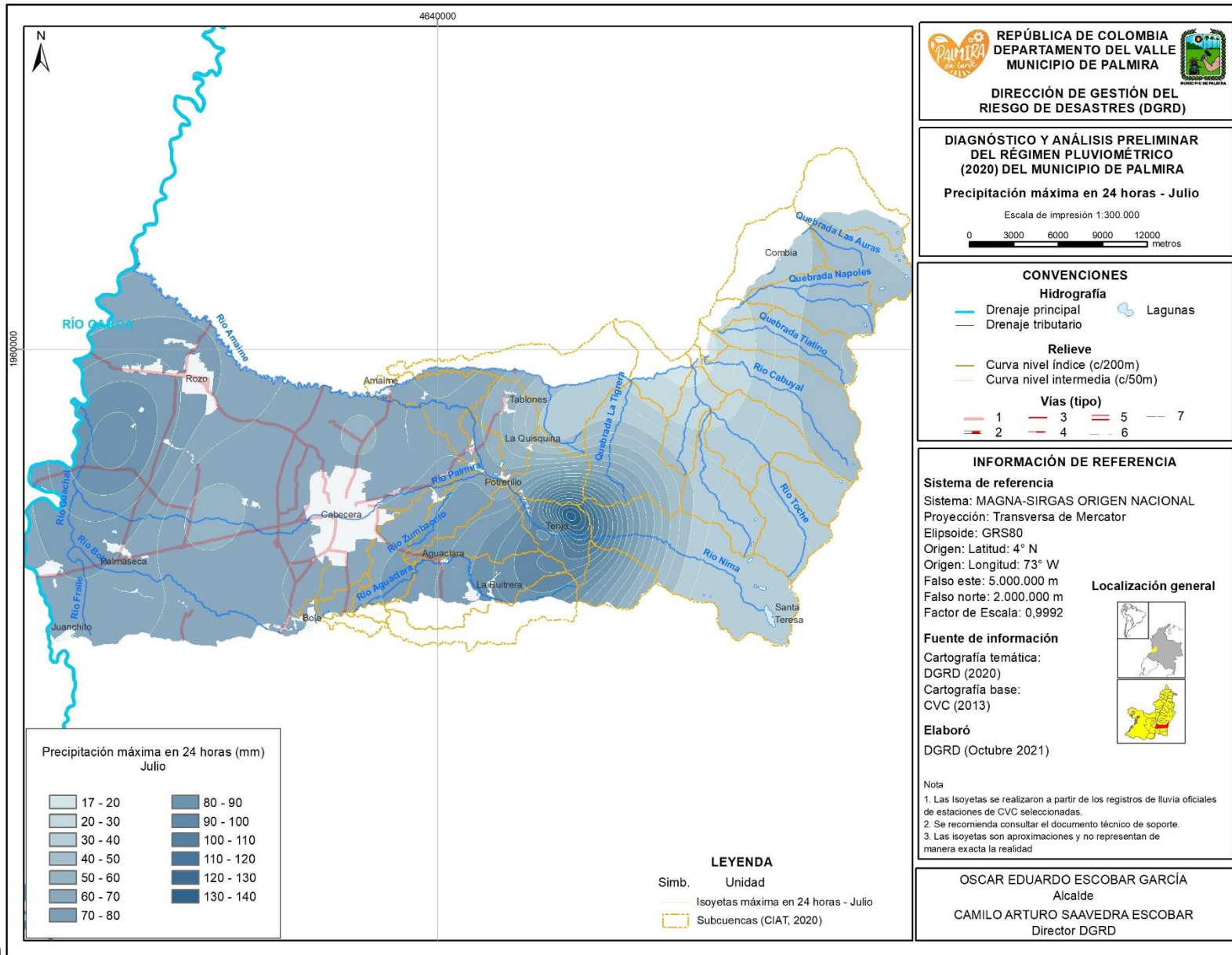
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Mayo



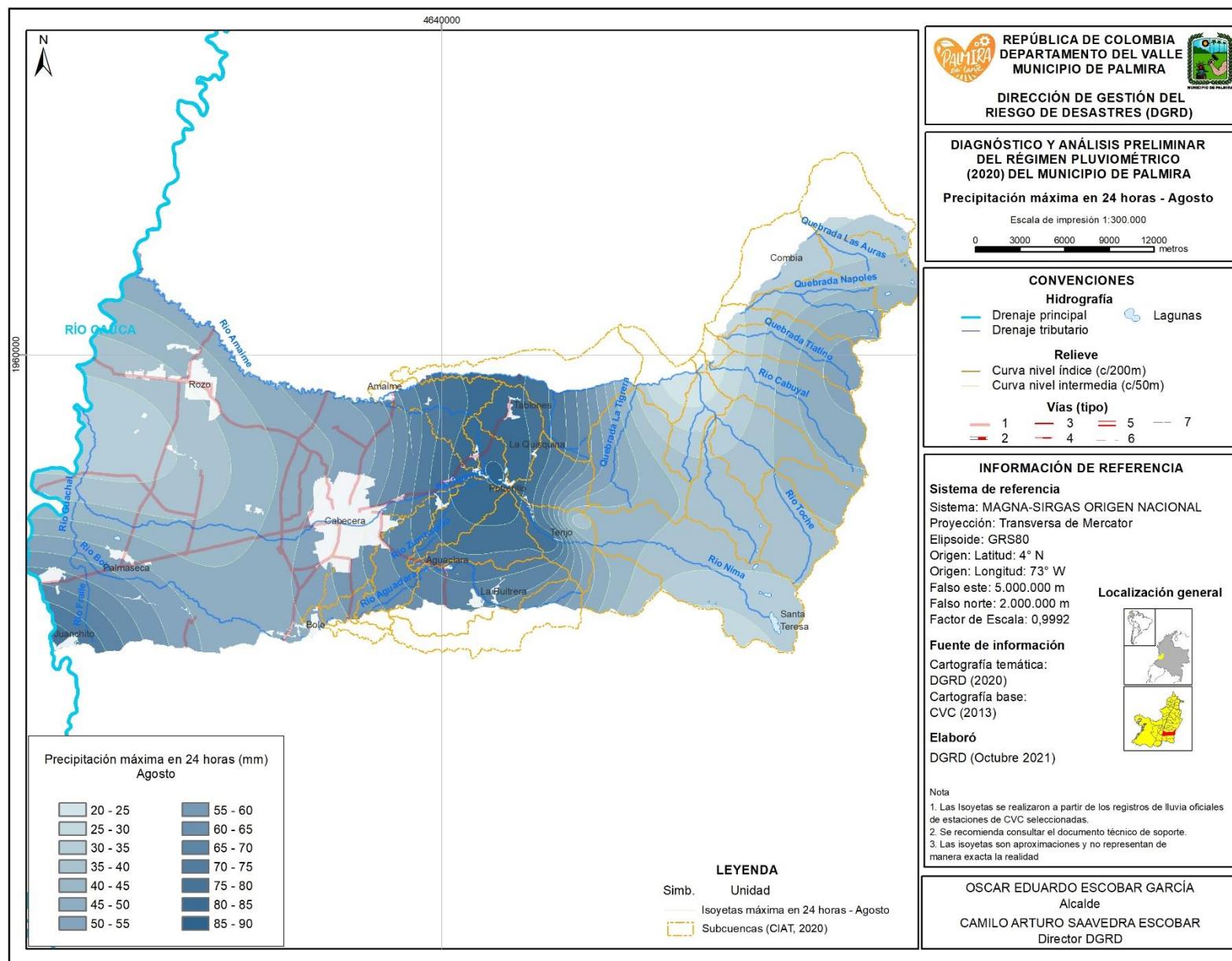
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Junio



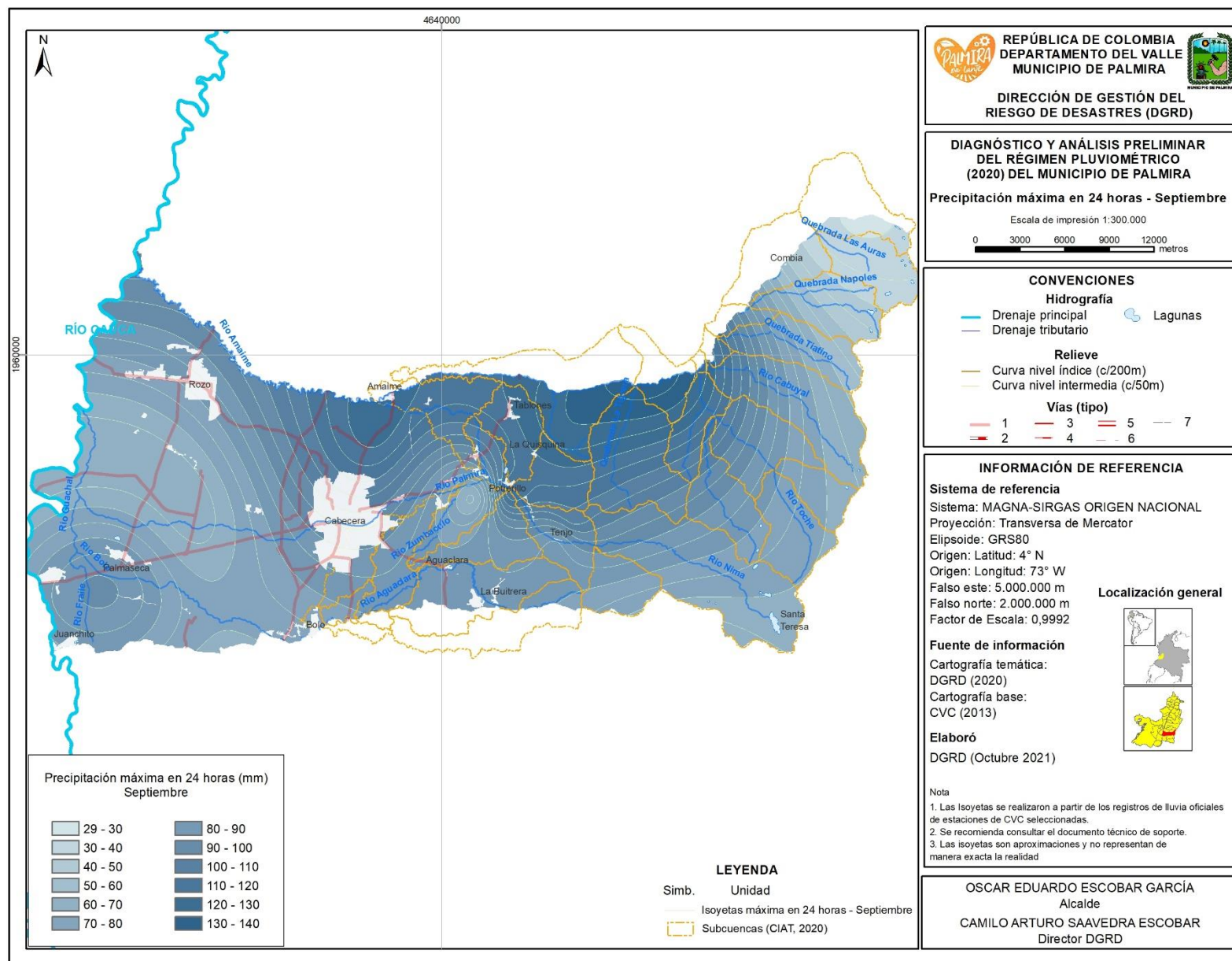
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Julio



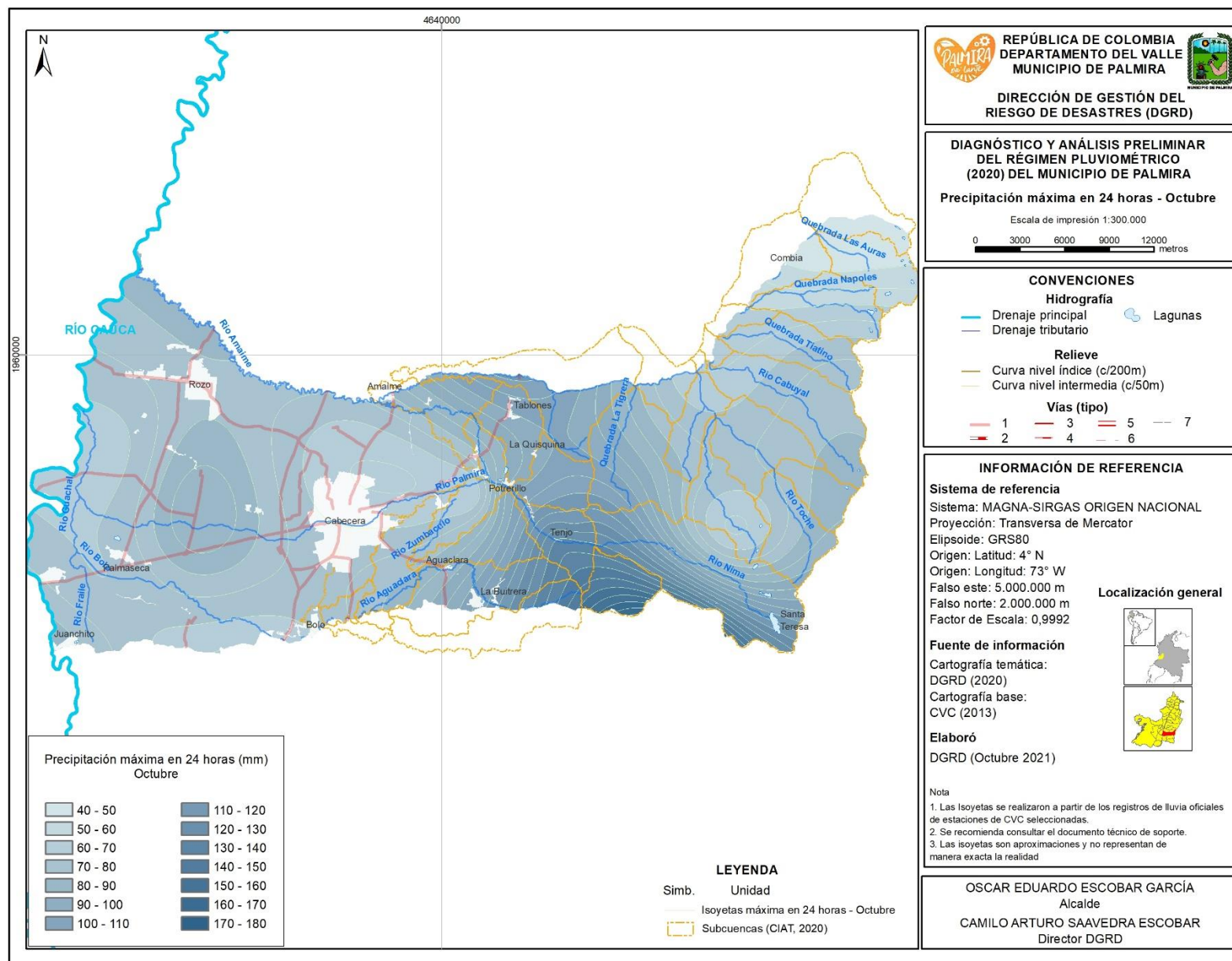
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Agosto



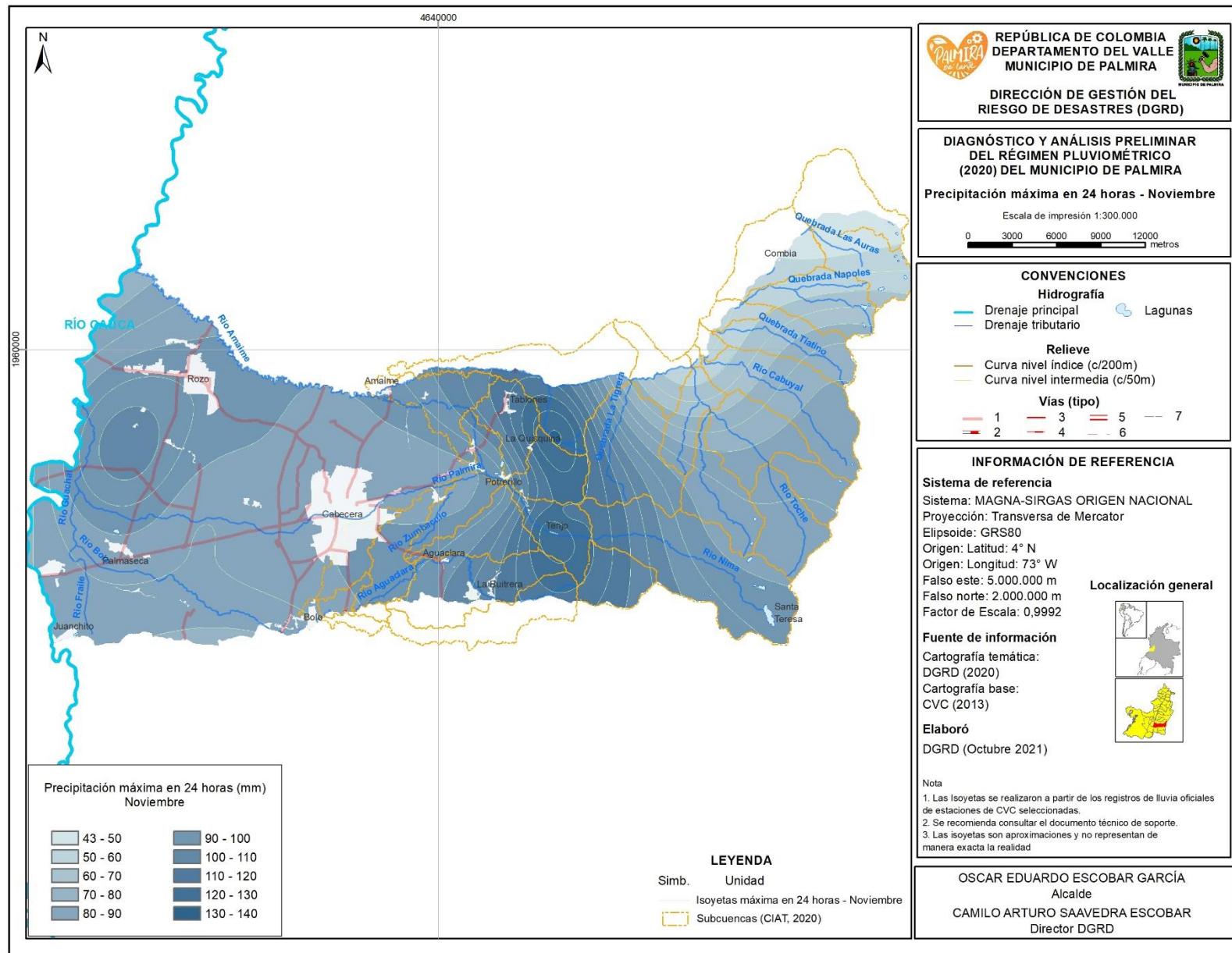
Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Septiembre



Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Octubre



Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Noviembre



Isoyetas precipitación máxima en 24 horas – Diciembre

