

CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO - BIÓTICO

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO RISARALDA

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica

"La cuenca vive, para que tu vivas"



CLIMA

ABRIL 2017

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RIO RISARALDA
FASE DE DIAGNÓSTICO

CONSORCIO ORDENAMIENTO CUENCA RIO RISARALDA

Carrera 18 E Nro. 42 B 352, Local 5

(6) 314 17 28 Pereira (Risaralda)

pomcasrisaralda@gmail.com

@POMCASRisarladaOtún

#POMCASRisarlada



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	INFLUENCIA GEOGRAFICA EN EL CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO RISARALDA.....	3
3	FISIOGRAFÍA	4
3.1	CORDILLERA OCCIDENTAL	4
3.2	CORDILLERA CENTRAL	4
4	FORMACIÓN CLIMATOLÓGICA ORIGINAL Y TRATADA.....	5
4.1	ESTACIONES HIDROLÓGICAS	10
5	TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA	12
5.1	ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD MEDIANTE EL MÉTODO MANN – KENDALL	16
6	CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN EL ÁREA DE LA CUENCA.....	23
6.1	PRECIPITACIÓN	24
6.1.1	<i>Distribución espacial de la precipitación</i>	26
6.1.2	<i>Distribución temporal de la precipitación</i>	28
6.2	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE	38
6.2.1	<i>Distribución espacial de la temperatura</i>	39
6.2.2	<i>Distribución temporal de la temperatura</i>	41
6.3	HUMEDAD RELATIVA	45
6.3.1	<i>Distribución espacial de la humedad relativa</i>	45
6.3.2	<i>Distribución temporal de la humedad relativa</i>	45
6.4	EVAPORACIÓN.....	48
6.4.1	<i>Distribución espacial de la evaporación.....</i>	48
6.4.2	<i>Distribución temporal de evaporación.....</i>	49
6.5	BRILLO SOLAR	51
6.5.1	<i>Distribución temporal del brillo solar</i>	52
6.5.2	<i>Vientos.....</i>	55
6.6	ESTIMACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD, FRECUENCIA, DURACIÓN (IDF).....	56
7	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	69
7.1	METODOLOGÍA	70
7.1.1	<i>Pisos Térmicos</i>	70
7.1.2	<i>Modelo Climático de Lang</i>	71
7.1.3	<i>Resultados y análisis</i>	72
8	ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ.....	75
8.1	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL	76
8.1.1	<i>Resultados del Índice de Aridez (IA).....</i>	81
9	BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE LA CUENCA	83
9.1	BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO	83
9.2	BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO.....	89
10	IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA Y LA INFLUENCIA DE FENÓMENOS MACROCLIMÁTICOS.....	94



11	CONOCIMIENTO DEL COMPONENTE CLIMÁTICO	103
12	BIBLIOGRAFÍA.	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Series de estaciones climatológicas en el área de estudio del POMCA Risaralda.	6
Tabla 2. Red de estaciones de monitoreo de caudal	10
Tabla 3. Resumen de resultados de la prueba de mann-Kendall para datos de precipitación.....	17
Tabla 4. Estaciones con registro de Precipitación.....	25
Tabla 5. Valores medios, máximos y mínimos de la precipitación en la cuenca del río Risaralda ...	38
Tabla 6. Estaciones seleccionadas de Temperatura Media del Aire	39
Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos de temperatura en la cuenca del río Risaralda.....	44
Tabla 8. Estaciones con Información de Humedad Relativa	45
Tabla 9. Valores medios, máximos y mínimos de humedad relativa en la cuenca del río Risaralda	47
Tabla 10. Estaciones con Registro de Evaporación.....	48
Tabla 11. Valores medios, máximos y mínimos de evaporación (mm) en la cuenca del río Risaralda	51
Tabla 12. Estaciones con Registro de Brillo Solar.....	52
Tabla 13. Valores medios, máximos y mínimos de brillo solar (horas) en la cuenca del río Risaralda	55
Tabla 14. Coeficientes a,b,c,d y e según la regionalización adoptada para el cálculo de las curvas IDF.....	57
Tabla 15. Parámetros utilizados para obtener curvas IDF	58
Tabla 16. Datos curva IDF estación Bellavista.....	59
Tabla 17. Datos curva IDF estación La Camelia	60
Tabla 18. Datos curva IDF estación La Samaria	61
Tabla 19. Datos curva IDF estación Línea La Porvenir	62
Tabla 20. Datos curva IDF estación Taijara Aljandría	63
Tabla 21. Datos curva IDF estación Taparcal	64
Tabla 22. Datos curva IDF estación San Clemente.....	65
Tabla 23. Datos curva IDF estación Mistrató.....	66
Tabla 24. Datos curva IDF estación Virginia La Alerta.....	67
Tabla 25. Datos curva IDF estación La Virginia	68
Tabla 26. Clasificación Caldas según piso térmico	70
Tabla 27. Rangos clasificación climática de Lang	71
Tabla 28. Tipos climáticos Caldas - Lang.....	72
Tabla 29. Calificaciones del índice de aridez	76



Tabla 30. Cálculo balance hídrico estación Virginia – La Alerta.....	85
Tabla 31. Cálculo balance hídrico estación Riosucio	87
Tabla 32. Cálculo balance hídrico estación San Clemente	88
Tabla 33. Caudal medio a largo plazo por nivel subsiguiente	91
Tabla 34. Índice Oceánico Niño (ONI) para eventos cálidos y fríos	94
Tabla 35. Consolidados años niño y niña.....	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización cuenca río Risaralda.....	3
Figura 2. Esquema de localización de estaciones cuenca Risaralda	11
Figura 3. Diagrama de Box – Whiskers decadal estación San Clemente	14
Figura 4. Diagrama de Box – Whiskers decadal estación San Clemente	15
Figura 5. Gráfico Mann Kendall estación Bellavista	18
Figura 6. Gráfico Mann Kendall estación La Camelia	18
Figura 7. Gráfico Mann Kendall estación La Samaria	19
Figura 8. Gráfico Mann Kendall estación Taparcal.....	19
Figura 9. Gráfico Mann Kendall estación San Clemente	20
Figura 10. Gráfico Mann Kendall estación Mistrató.....	20
Figura 11. Gráfico Mann Kendall estación Virginia La Alerta	21
Figura 12. Gráfico Mann Kendall estación La Virginia.....	21
Figura 13. Gráfico Mann Kendall estación La Virginia.....	22
Figura 14. Isoyetas de Precipitación Media Anual.....	27
Figura 15. Comportamiento de la precipitación estación San Clemente (Guática 2173 msnm)	28
Figura 16. Comportamiento de la precipitación estación Taijara (Guática 1478 msnm)	29
Figura 17. Comportamiento de la precipitación estación Taparcal (Belén de Umbría 1609 msnm)	29
Figura 18. Comportamiento de la precipitación estación Mistrató (Mistrató 1483 msnm)	30
Figura 19. Comportamiento de la precipitación estación Virginia La Alerta (La Virginia 922 msnm).....	30
Figura 20. Comportamiento de la precipitación estación La Virginia (La Virginia 950 msnm).....	31
Figura 21. Comportamiento de la precipitación estación Bellavista (Guática 2170 msnm)	31
Figura 22. Comportamiento de la precipitación estación La Camelia (Santuario 1736 msnm)	32
Figura 23. Comportamiento de la precipitación estación La Samaria (Viterbo 1736 msnm)	32
Figura 24. Comportamiento de la precipitación estación Línea La Porvenir (Pueblo Rico 2400 msnm).....	33
Figura 25. Comportamiento de la precipitación estación Pueblo Rico (Pueblo Rico 1570 msnm) ...	33
Figura 26. Comportamiento de la precipitación estación Inst. Los Fundadores (Riosucio 1820 msnm).....	34
Figura 27. Comportamiento de la precipitación estación La Margarita (Risaralda Caldas 980 msnm)	34
Figura 28. Comportamiento de la precipitación estación Riosucio (Riosucio Caldas 1946 msnm)	35
Figura 29. Comportamiento de la precipitación estación Arauca (Palestina Caldas 971 msnm)	35

Figura 30. Comportamiento de la precipitación estación Guerrerito (Quinchía Risaralda 797 msnm)	36
Figura 31. Comportamiento de la precipitación estación Irra (Quinchía Risaralda 785 msnm)	36
Figura 32. Comportamiento de la precipitación estación Aeropuerto Santagueda (Palestina Caldas 933 msnm)	37
Figura 33. Comportamiento de la precipitación estación Sub Marsella (Marsella Risaralda 1700 msnm)	37
Figura 34. Isotermas cuenca Risaralda	40
Figura 35. Variación temporal temperatura estación Pueblo Rico	41
Figura 36. Gráfica de masas temperatura estación Pueblo Rico	42
Figura 37. Gráfica de box mensual estación Pueblo Rico	43
Figura 38. Comportamiento de la humedad relativa estación La Samaria	46
Figura 39. Comportamiento de la humedad relativa estación Bellavista	46
Figura 40. Comportamiento de la humedad relativa estación La Camelia	47
Figura 41. Distribución espacial de la evaporación	49
Figura 42. Comportamiento de evaporación estación La Camelia	50
Figura 43. Comportamiento de evaporación estación Bellavista	51
Figura 44. Comportamiento del brillo solar estación La Camelia	53
Figura 45. Comportamiento del brillo solar estación Bellavista	53
Figura 46. Comportamiento del brillo solar estación Aeropuerto Santagueda	54
Figura 47. Comportamiento del brillo solar estación Pueblo Rico	54
Figura 48. Rosa de los vientos Aeropuerto Matecaña	56
Figura 49. Curvas IDF estación Bellavista	58
Figura 50. Curvas IDF estación La Camelia	59
Figura 51. Curvas IDF estación La Samaria	60
Figura 52. Curvas IDF estación Línea La Porvenir	61
Figura 53. Curvas IDF estación Taijara Alejandría	62
Figura 54. Curvas IDF estación Taparcal	63
Figura 55. Curvas IDF estación San Clemente	64
Figura 56. Curvas IDF estación Mistrató	65
Figura 57. Curvas IDF estación Virginia La Alerta	66
Figura 58. Curvas IDF estación La Virginia	67
Figura 59. Zonificación Climática en el Área del POMCA del río Risaralda	74
Figura 60. Evapotranspiración Potencial en el Área del POMCA del río Risaralda	78
Figura 61. Evapotranspiración Real en el Área del POMCA del río Risaralda	80

Figura 62. Índice de Aridez en el Área del POMCA del río Risaralda.	82
Figura 63. Precipitación, ETP y ETR en la estación Virginia – La Alerta.....	86
Figura 64. Precipitación, ETP y ETR en la Estación Riosucio.....	87
Figura 65. Precipitación, ETP y ETR en la Estación San Clemente	89
Figura 66. Esquema balance hídrico.....	90
Figura 67. Esquema balance hídrico a largo plazo	93
Figura 68. Variabilidad climática isoyetas enero	97
Figura 69. Variabilidad climática isoyetas febrero	97
Figura 70. Variabilidad climática isoyetas marzo.....	98
Figura 71. Variabilidad climática isoyetas abril.....	98
Figura 72. Variabilidad climática isoyetas mayo.....	99
Figura 73. Variabilidad climática isoyetas junio.....	99
Figura 74. Variabilidad climática isoyetas julio	100
Figura 75. Variabilidad climática isoyetas agosto	100
Figura 76. Variabilidad climática isoyetas septiembre	101
Figura 77. Variabilidad climática isoyetas octubre.....	101
Figura 78. Variabilidad climática isoyetas noviembre.....	102
Figura 79. Variabilidad climática isoyetas diciembre	102



ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Información meteorológica original (Digital)
- Anexo 2. Información meteorológica tratada (Digital)
- Anexo 3. Archivos Man Kendall
- Anexo 4. Curvas IDF
- Anexo 5. Mapas y Salidas cartográficas



1 INTRODUCCIÓN

Este documento técnico presenta la caracterización regional de las condiciones climáticas del área de estudio definida en el POMCA de la cuenca del río Risaralda, identificando zonificación climática, variabilidad climática, distribución espacial y temporal de las principales variables meteorológicas, balance hídrico de largo plazo (Caudal promedio anual de largo plazo) y estimación del Índice de Aridez.

Para lograr el cumplimiento del alcance se realiza la caracterización y localización geográfica de la red meteorológica existente en el área de influencia de la cuenca del río Risaralda y áreas colindantes. En esta identificación se incluyen: año de establecimiento, tipo de estación, parámetros medidos y escala del registro, carácter (privado o público) y disponibilidad de información.

Posteriormente, se realiza el tratamiento de datos climáticos teniendo en cuenta la Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM No. 168, 2008) y de acuerdo con los estándares de calidad aplicables para Colombia definidos por el IDEAM.

Analizada y tratada la información climática, se procede a realizar la caracterización (temporal y espacial) del clima en la cuenca hidrográfica del río Risaralda, en especial del régimen climático a partir de la variabilidad espacial y temporal del régimen de precipitaciones - valores normales (anuales, mensuales y diarios), así como los extremos (máximos y mínimos) y frecuencia de presentación. Para el análisis de eventos extremos (máximos y mínimos) se consideran escenarios de precipitación con períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años. El análisis de frecuencia se realiza desde un punto de vista no estacionario para tener en cuenta los efectos de la variabilidad climática.

Se han espacializado las variables climáticas referidas a: precipitación media anual y mensual; temperatura media, máxima y mínima mensual y anual, y otras estimadas a partir de estas variables como evapotranspiración potencial y real anual y mensual. Para la estimación de la Evapotranspiración Potencial y Real se consideraron las metodologías que han sido aplicables a las características climáticas regionales del Eje Cafetero.

Con toda la información procesada, se procede a realizar la clasificación climática de la cuenca, teniendo en cuenta sus particularidades, según los lineamientos de la metodología estándar para Colombia de Caldas-Lang, generando el correspondiente mapa. De igual manera, se procede con la estimación y Espacialización del Índice de aridez considerando las unidades hidrológicas a nivel de subcuenca.



Finalmente, se deriva balance hídrico de largo plazo (Caudal promedio anual de largo plazo) para la cuenca en ordenación, realizando su validación en función de la información disponible de caudales observados.

.

2 INFLUENCIA GEOGRAFICA EN EL CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO RISARALDA

La cuenca hidrográfica del río Risaralda se desarrolla en el flanco occidental de la cordillera Central, entre las coordenadas 777,000W y 817,000W, y las coordenadas 1'034,000N y 1'105,000N, en los departamentos de Caldas y Risaralda, donde el 60 % corresponde al Departamento de Risaralda y el 40% al de Caldas; tiene un área de drenaje de 1470 km², hasta su desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

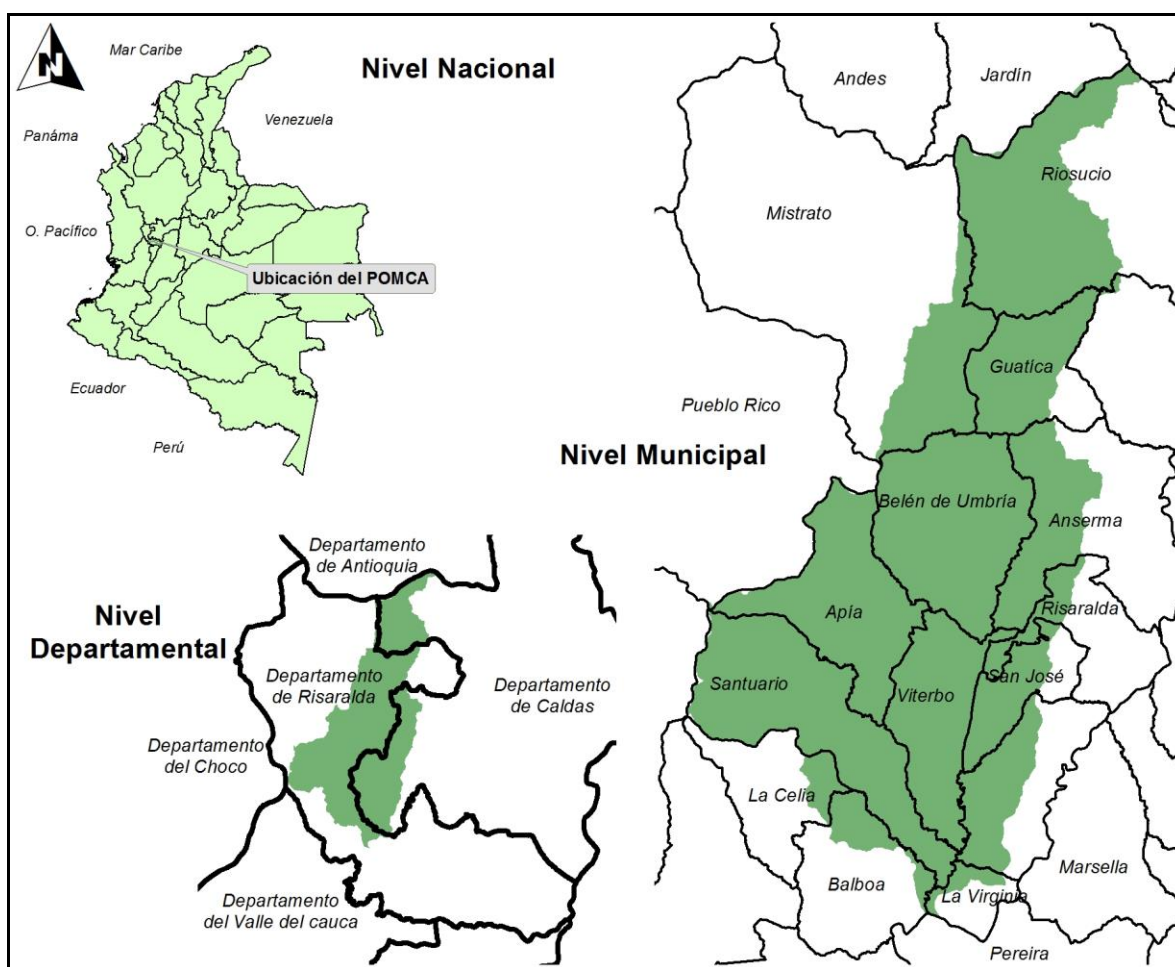


Figura 1. Localización cuenca río Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Cordillera occidental

En Risaralda la cordillera Occidental se extiende de sur a norte desde el cerro Tatamá con alturas de 4200 m., en los límites con Chocó y Valle del Cauca a 3950 m, hasta el cerro de Caramanta, de 3900 m, donde coinciden los límites de los departamentos de Risaralda, Chocó y Antioquía.

En el alto Bocato, en Antioquia, la cordillera occidental se divide en dos: el eje principal sigue hacia el norte, al nudo o cerro de Caramanta y a los Farallones de Citará, (entre Chocó y Antioquía), mientras que un ramal más bajo e igualmente volcánico se dirige hacia el este-noreste, al alto de Paramillo. Esta ramificación se llama nudo o lomo de San Fernando y es importante desde el punto de vista fisiográfico porque proyecta hacia el norte un largo espolón que separa la cuenca del río San Juan del Cañón del Río Cauca, y hacia el sur emite otro lomo largo de 50 Km más, que se interpone entre los ríos Risaralda y Cauca. Esto explica el nombre de “Mellizos” que se le da a las elevaciones ubicadas en medio de los ríos San Juan y Risaralda.

3.2 Cordillera central

Presenta tres regiones geológicas divididas en franjas de diferente altitud; la más baja corresponde a las rocas del terciario inferior; la intermedia va desde Santa Rosa de Cabal hacia el este, hasta las crestas de la cordillera, de 3500m de altura, y se caracteriza geológicamente por los esquistos micáceos que la componen, y la tercera, la más alta de la región geológica, con más de 3500 m, está integrada por rocas ígneas de andesitas y basaltos.

También se encuentran rocas de origen metamórfico e ígneo. Las primeras están constituidas por materiales esquistosos provenientes del paleozoico, que proceden de antiguos eventos de sedimentación, o por rocas ígneas que han evolucionado hasta su estado actual por calor, presión y otros fenómenos. Las rocas ígneas que se encuentran son de tipo intrusivo, de grano fino a grueso según la rapidez y la forma como se enfriaron, y por el hecho de ser intrusivas pueden ser menos antiguas que las metamórficas.

De acuerdo con las erupciones de los volcanes Quindío y Santa Isabel, se encuentran depósitos de materiales piroclásticos. Los depósitos más jóvenes provienen de los volcanes: el Ruiz, de carácter efusivo; y Santa Isabel, Tolima y cerro Bravo, que son de carácter explosivo. Las emanaciones de lava han estado restringidas a áreas pequeñas. En cambio, las erupciones explosivas han afectado extensas regiones formando capas de cenizas y lapilli, de cuya descomposición se

han producido grupos de suelos óptimos que constituyen la base principal del cinturón cafetero colombiano.

4 FORMACIÓN CLIMATOLÓGICA ORIGINAL Y TRATADA

Se realizó una revisión de las estaciones hidroclimatológicas existentes en el área de estudio de la cuenca Risaralda, las cuales son productos de proyectos desarrollados en la cuenca. Como fuentes de información de entidades que realizan el monitoreo hidroclimatológico son: IDEAM, La Federación Nacional de Cafeteros, La CHEC y el IDEA de la Universidad de Manizales, lo anterior no obsta que de que la totalidad de estaciones reportadas en la se utilizaron en el procesamiento de la información para análisis de clima, ya que varias de ellas se encuentran suspendidas o no tiene las series de datos con registros suficientes.

Para un mejor entendimiento de la Tabla 1, se presentan las convenciones como sigue:

Columna variable: Precipitación total (Ppt); Temperatura (T); Hr (Humedad relativa).

Por su parte para la columna tipo las convenciones son: Pluviométrica (PM), Climatológica Ordinaria (CO); Climatológica Principal (CP); Pluviográfica (PG);

En el anexo 1 (digital), se presenta el total de estaciones climáticas que hacen parte de la cuenca de fuente IDEAM y otras fuentes de información.

Se generó el listado de estaciones (Tabla 1) y un mapa con la localización de las estaciones, (Figura 2), con las cuales se cuenta con información para los posteriores análisis climatológicos y de oferta hídrica.

En la Tabla 1 se muestra el total de estaciones que tienen algún registro de información en la cuenca, esto con el fin de tener un panorama de lo existente, no obstante, para los análisis de clima únicamente se tuvieron en cuenta las estaciones que cumplen con los análisis de consistencia o de periodos de registros de series de datos.

Tabla 1. Series de estaciones climatológicas en el área de estudio del POMCA Risaralda.

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Serie	Variable	Tipo	Resolución	Estado	Entidad
2615006	ARAUCA	5.10852800000	-75.70161100000	890	1962-2015	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2617026	GUERRERITO	5.28141666667	-75.66447222222	845	1978-2015	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614502	BELLAVISTA	5.27591700000	-75.80000000000	2024	1963-2015	Ppt	CO	Mensual	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°	CO	Medios diarios	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°		Max diarios		
					1978-2015	Humedad relativa		Diarios		
					1979-2015	Evaporación		Diarios		
2617502	INST. LOS FUNDADORES	5.43333300000	-75.71666700000	1820	1970-1982	Ppt	CO	Diarios	Suspendida	IDEAM
2614503	LA CAMELIA	5.08022200000	-75.96694400000	1670	1963-2015	Ppt	CO	Diarios	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°		Medios diarios		
					1978-2015	T°		Max diarios		
					1978-2015	T°		Min diarios		
					1978-2015	Humedad relativa		Med diarios		
					1979-2013	Evaporación		Diarios		
					1979-2015	Brillo solar		Horas		
5401002	LA LINEA PORVENIR	5.17188888889	-75.97891666667	2060	1970-2015	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2614505	LA SAMARIA	5.05000000000	-75.88333333333	1020	1973-1996	Ppt	CO	Mensual	Suspendida	IDEAM
2614012	MISTRATÓ	5.29458333333	-75.87230555556	1520	1964-2015	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2617505	RÍO SUCIO	5.43333333333	-75.70000000000	1820	1970-1979	Ppt	CO	Diario	Suspendida	IDEAM

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Serie	Variable	Tipo	Resolución	Estado	Entidad
26170290	RIOSUCIO	5.42513888889	-75.72977777778	1950	1985 - 2015	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26170270	LA MARGARITA	5.13333333333	-75.71666666667	980	1963- 1983	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26155120	APTO SANTAGUEDA	5.08333333333	-75.68333333333	933	1941 - 1989	Ppt	CP	Diario	Suspendida	IDEAM
					1979 - 1989	T		Media diaria		
					1981 - 1989	T		Max diaria		
					1979 - 1989	HR		Medios diarios		
					1979 - 1987	Brillo solar		Horas		
2614011	SAN CLEMENTE	5.31836111111	-75.78702777778	2060	1970-2004	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614008	TAJARA ALEJANDRIA	5.28080555556	-75.82583333333	1415	1991-2004	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614009	TAPARCAL	5.16741666667	-75.86225000000	1652	1969-2015	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2614018	LA VIRGINIA	4.89286111111	-75.88197222222	900	1979-2015	Ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26110150	LA INMACULADA	4.79383333333	-75.98650000000	960	1958-2015	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2611012	VILLANUEVA	4.97083333333	-76.03811111111	1310	1970 - 2004	Ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
26140170	SUBESTACIÓN ANSERMA	5.23333333333	-75.78333333333	1660	1981-2003	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140030	LA MARIA	5.13333333333	-75.95000000000	1480	1965 -2000	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140160	LA PALESTINA	5.48333333333	-75.78333333333	2560	1963-2000	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
5401006	PUERTO DE ORO	5.41666666667	-75.96666666667	820	1964-1996	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010090	SAN ANTONIO DEL CHAMI	5.46666666667	-75.98333333333	1170	1962-2000	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
2617024	LOS CHANCOS	5.46666666667	-75.76666666667	2500	1963-1972	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010050	PUREMBARA	5.41666666667	-75.93333333333	1100	1963-1996	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140150	RÍO ARRIBA EMBALSE UMBRÍA	5.36666666667	-75.88333333333	1720	1963-2000	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Serie	Variable	Tipo	Resolución	Estado	Entidad
26140140	SUB. LA VIRGINIA	4.900000000000	-75.883333333333	711	1975-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140130	SUBESTACIÓN VITERBO	5.050000000000	-75.883333333333	930	1975-2003	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010080	PUEBLO RICO	5.233333333333	-76.033333333333	1570	1963 - 1999	Ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
2617034	LA ORIENTAL	5.366667000000	-75.716667000000	1630	1981-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614027	EL BARRANCO	5.333333333333	-75.883333333333	1580	1987-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614030	BUENOS AIRES	5.300000000000	-75.883333333333	1830	1981-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614039	OSPIRMA	5.333333333333	-75.816666666667	1550	1981-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2617011	EL DIAMANTE	5.316667000000	-75.700000000000	1550	1981-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614043	LOS NARANJOS	5.050000000000	-76.000000000000	1650	1981-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614020	LA TRIBUNA	4.950000000000	-75.966666666667	1500	1972-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614506	INGENIO RISARALDA	4.900000000000	-75.900000000000	900	1976-2001	Ppt	CO	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26140460	VISTA HERMOSA	5.233333333333	-75.900000000000	1900	1988-1998	Ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26140440	LA GAVIOTA	5.200000000000	-75.783333333333	1530	1984-1987	Ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26110130	BELLA VISTA	4.800000000000	-76.066666666667	1550	1974-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26110260	SANTA MARTA	4.866666666667	-76.050000000000	1760	1979-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26110270	EL PLACER	4.783333333333	-76.100000000000	1730	1971-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Serie	Variable	Tipo	Resolución	Estado	Entidad
										CAFETEROS
26140260	LA ELVIRA	5.20000000000	-75.86666666667	1520	1994-2002	Ppt	PG	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26140370	LA FLORIDA	5.15000000000	-75.88333333333	1350	1981-1986	Ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
2614042	EL TAMBORAL	5.11666666667	-75.91666666667	1450	1981-1986	Ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26170120	EL DESCANSO	5.48333333333	-75.63333333333	1650	1980-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE DECAFETEROS
26170130	LA MANUELITA	5.36666666667	-75.68333333333	1320	1970-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26170320	LA ARGENTINA	5.46666666667	-75.70000000000	1420	1978-2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26175070	RAFAEL ESCOBAR	5.46666666667	-75.65000000000	1320	1971-2002	Ppt	CO	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614035	LOS CAMBULOS	5.15000000000	-75.88333333333	1400	1988 - 2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2611026	SANTA MARTA	4.86666666667	-76.05000000000	1760	1979 - 2002	Ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
	CAMPING LAS PALMERAS	5.14550000000	-75.831000000	1016	2010 -2017	Ppt, T, Nivel	CO	Diaria	Activa	IDEA MANIZALES
	ESTACIÓN SAN JOSÉ	5.091900000	-75.790600000	1728	2013 - 2017	Ppt,T,HR, Velocidad viento, Presión barométrica, Radiación solar	CO	Diaria	Activa	IDEA MANIZALES

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

4.1 Estaciones hidrológicas

El río Risaralda, registra varias estaciones de monitoreo de caudal, dentro de las cuales encontramos: Buenos Aires, La Virgen y Puente Negro, en la Tabla 2 se relacionan la series existentes a la fecha y la fuente de información:

Tabla 2. Red de estaciones de monitoreo de caudal

CORRIENTE	CÓDIGO	ESTACIÓN	RESOLUCIÓN	PERIODO	FUENTE
Río Risaralda	2614704	Buenos aires	Mensual	1965-2001	IDEAM
			Minimos Mensual	1965-2001	
			Maximos mensuales	1971-2013	
	2614705	La Virgen	Diarios	1965-2013	
			Maximos mensuales	1970 - 2013	
			Minimos mensuales	1970 - 2013	
	2614714	Puente Negro	Diarios	1975-2013	
			Maximos mensuales	1975-2013	
			Minimos mensuales	1975-2013	

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Se generó un esquema con la localización de las estaciones con las cuales se cuenta con información para los posteriores análisis climatológicos y de oferta hídrica como se observa en la Figura 2.

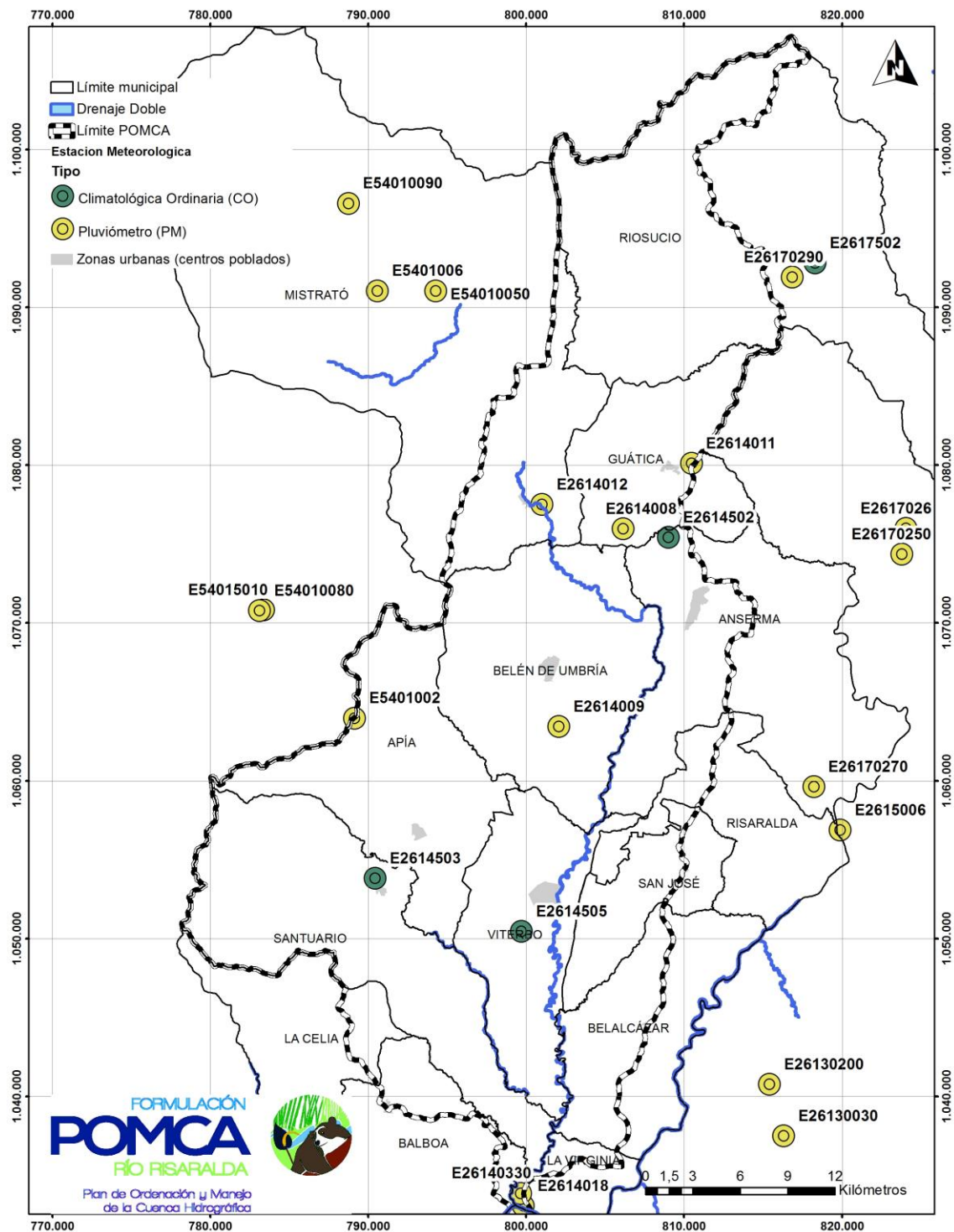


Figura 2. Esquema de localización de estaciones cuenca Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

5 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

Una vez obtenida las series de información sin tratamiento, se procedió a realizar el tratamiento de la misma. Sobre los registros obtenidos, se realizaron chequeos de consistencia de la información mediante la construcción de curvas másicas con el registro corregido acumulado, metodología comúnmente utilizada para determinar la presencia de posibles inconsistencias en la toma de los registros, análisis representado en el nivel de ajuste de los datos, y adicionalmente, para obtener una ecuación de tendencia que permita estimar datos no conocidos de la serie.

Una serie presenta mejor correlación y es más homogénea cuando los datos tienden a parecerse a la curva de ajuste y su desviación estándar se acerca a 1. De acuerdo con el análisis realizado en el presente estudio, los datos corregidos se ajustan en buena medida a la curva de regresión obtenida en cada caso no evidenciando cambios bruscos de tendencia e indicando con ello que no existen errores de lectura aparentes en la información histórica registrada. Igualmente, da una medida de confiabilidad sobre el procedimiento de complementación de datos faltantes, ya que los nuevos valores presentan ajuste.

Luego de hacer el procesamiento final de la información, se realizaron tablas resumen de los datos consolidados y ajustados a nivel decadal, mensual y anual. Los resúmenes de la información se encuentran en el Anexo 2 (Series de información tratada), en donde se encuentra una carpeta por cada variable climática, y por cada estación con registro de información se presentan los archivos de soporte en excel, así como los histogramas mensuales y anuales, las gráficas de masas y gráfica de box decadal.

Para robustecer el análisis, se emplearon estaciones complementarias cercanas a los límites de cuenca, para cubrir mejor la zona de influencia. Una vez se obtuvo información clasificada y depurada a partir de los registros originales, se realizó la obtención de datos faltantes, procedimiento que no se utilizó sin embargo para extender los registros de las estaciones, dado que los periodos de cada una son muy diferentes y no se pueden llevar a un periodo base uniforme; solo se utilizó el procedimiento para completar registros en años en los cuales solo faltaban como máximo 3 meses de datos, a partir de la metodología que se describe:

- Realizando la revisión del registro, se descartan los años a los cuales les falten más de 100 días de registros, (más de 3 meses).
- Para completar los datos faltantes de las estaciones se utilizó la metodología de Proporción Normal que consiste en correlacionar los registros propios de la estación mediante la siguiente ecuación:

Precipitación durante el mes i del año en estudio	=	Suma de todas la precipitaciones mensuales del año en estudio
Promedio de precipitación durante el mes i para todos los años de registro	=	Promedio anual de precipitación para todos los años de registro

Como se puede apreciar, el valor desconocido de precipitación durante un mes en particular se puede obtener si se conocen el promedio multianual de precipitación de ese mismo mes, la sumatoria de las precipitaciones mensuales del año estudiado y el promedio multianual de precipitación de toda la serie de datos. A partir de esta sencilla relación se obtuvieron los datos faltantes de lluvia para el presente estudio.

La consistencia y homogeneidad de los registros se analizó, como se ha dicho atrás, mediante gráficos de caja - bigotes, y curvas de masa, las cuales indican que los datos hidrológicos son coherentes y no presentan anomalías que se puedan juzgar como errores o cambios en el comportamiento de los datos con el tiempo, como puede suceder cuando existen cambios de localización de las estaciones o cambios en los equipos de medición; tampoco se detectaron valores extremos que se puedan reconocer como “outliers”; los archivos con resúmenes a nivel decadal, mensual y anual de toda la información se encuentran consignadas en las carpetas que se entregan como anexos.

Los gráficos Box – Whiskers o de caja y bigotes permiten visualizar ciertas características estadísticas de los datos como su dispersión y su simetría. El recuadro central o Caja representa la distribución de la serie de datos en cuartiles, (Q1 en la base que corresponde al 25% de los datos, Q2 que corresponde a la mediana de los datos y Q3 equivalente al 75% de los datos), las líneas que sobresalen de la caja representan los valores mínimo y máximo que adopta la variable. En contraste con el gráfico se localizan los puntos de la serie de datos histórica Este ejercicio estadístico se aplicó para todas las estaciones analizadas, siendo útil para evaluar los límites de confianza de los datos y para detectar datos atípicos, los cuales se encuentran por fuera del rango establecido. A continuación, se presenta a manera de ejemplo, dos gráficos Box- Whiskers para la estación San Clemente (Figura 3y Figura 4), en el anexo 2 se encuentra toda la información de soporte, los tratamientos realizados y los gráficos para cada una de las estaciones de precipitación utilizadas en los análisis de la variable temperatura.

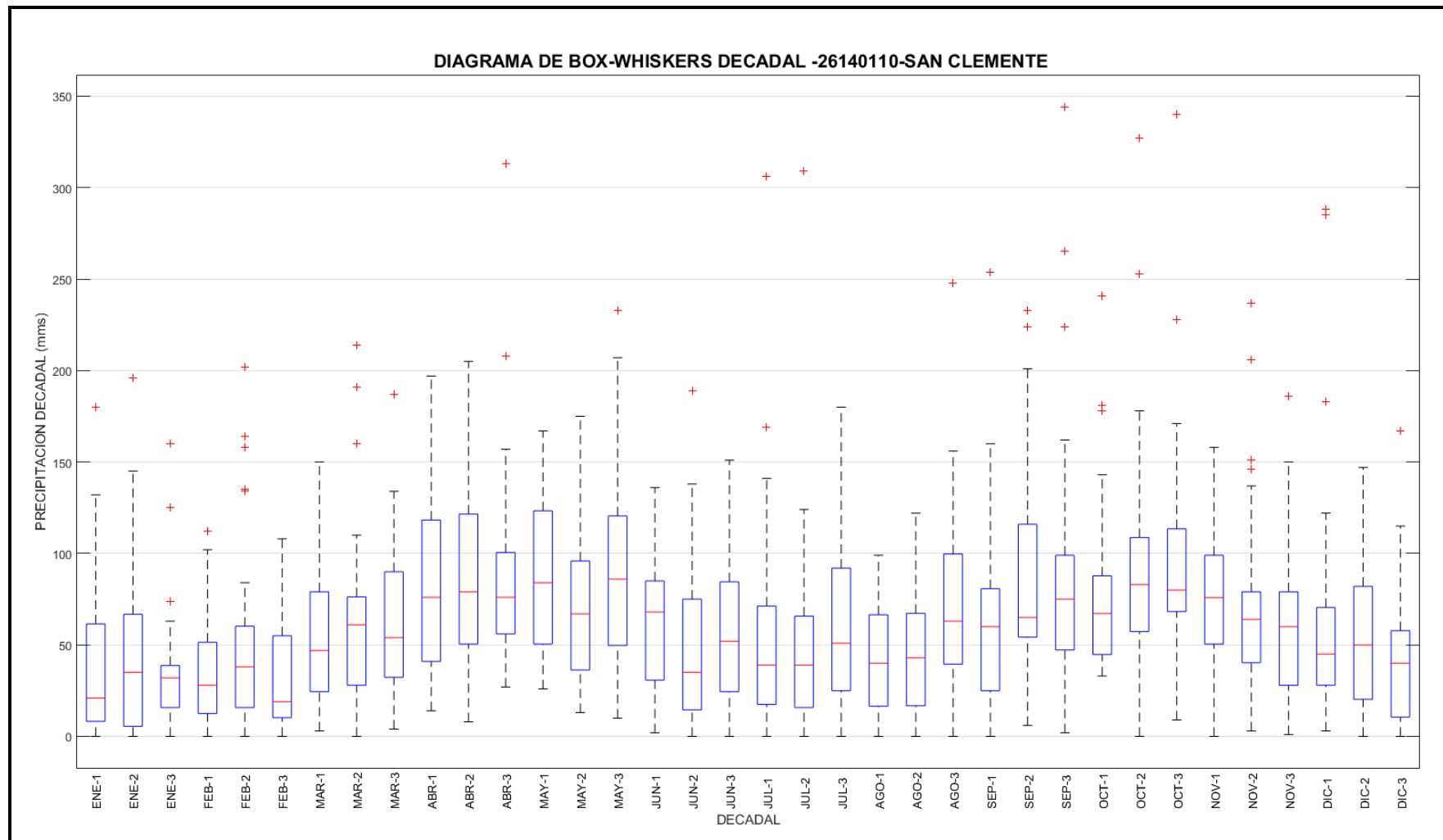


Figura 3. Diagrama de Box – Whiskers decadal estación San Clemente
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

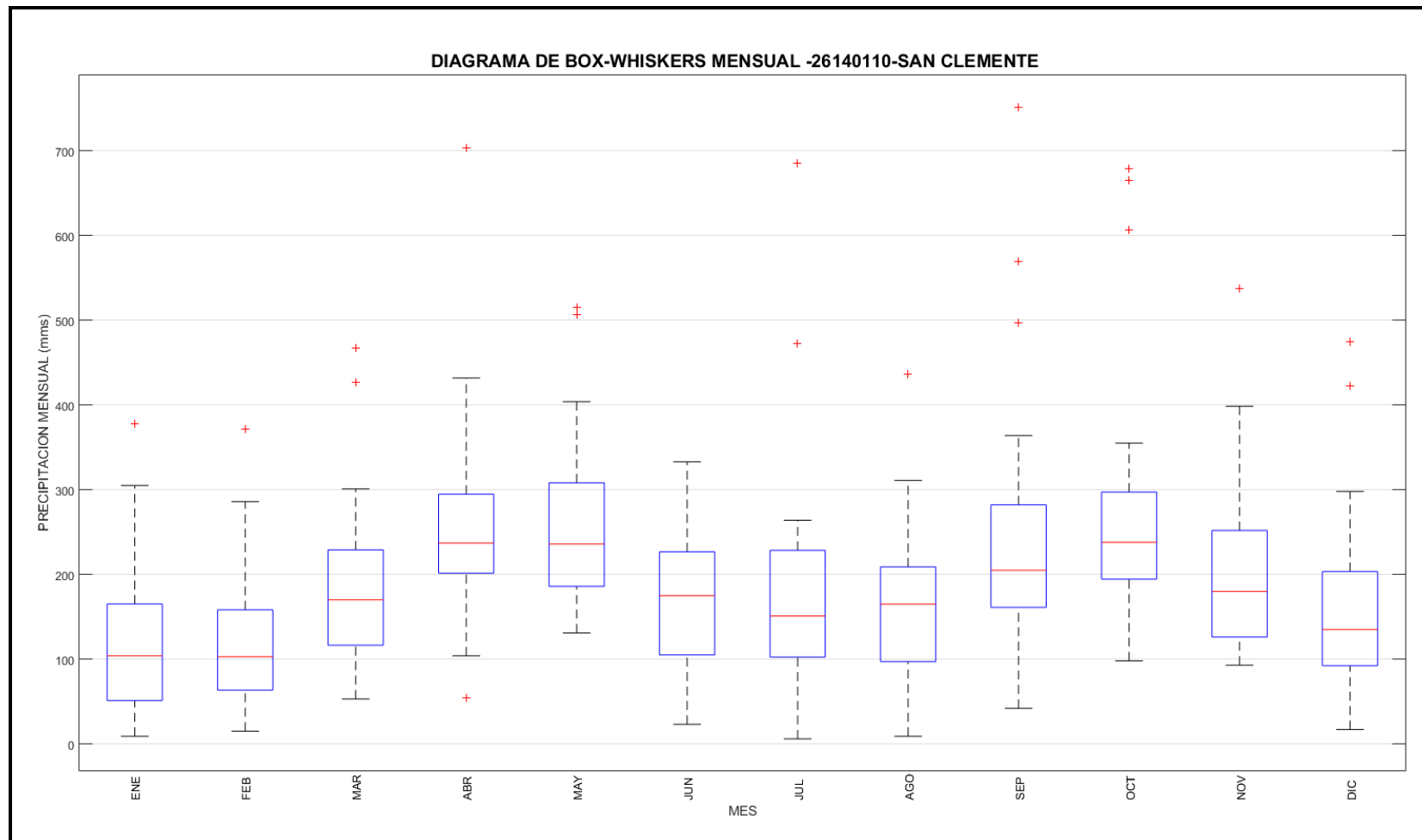


Figura 4. Diagrama de Box – Whiskers decadal estación San Clemente
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

5.1 Análisis de homogeneidad mediante el método Mann – Kendall

Con el fin de confirmar o rechazar la hipótesis de que existen cambios sistemáticos o tendencias definida en los valores de las series de registros hidrológicos de la cuenca, se sometieron los registros de precipitación y caudal, medios, máximos y mínimos, a análisis de tendencias mediante pruebas estadísticas de tendencias. Las pruebas para caudals se eportan en el informe de hidología; en el presente informe se reportan las pruebs realizadas sobre estaciones de precipitación.

El análisis se hace mediante el test de Mann-Kendall una clase de chequeo estadístico de tendencias en las series de tiempo, que es utilizado en ciencias ambientales debido a su simplicidad, y a que es un método flexible, que permite el uso de series incompletas y valores pequeños dentro del rango de la serie; el test se originó en el trabajo de Mann en 1945 y fue complementado por Kendall en 1975; ha sido mejorado por Dietz y Kileen en 1981 y por Hirsh y Slack en 1982, para incluir valores estacionales y mediciones múltiples, y posteriormente por Lettenmaier en 1988 y Libiseller y Grimwall en 2002; todos estos cambios han sido incluidos en el programa de computador utilizado para realizar las pruebas.

Los datos de las estaciones se analizaron a nivel mensual, a nivel anual, y a nivel de valores máximos y mínimos anuales; y las tendencias se investigaron para cada uno de los doce meses del año y para el promedio, los máximos y mínimos anuales. Los resultados se presentan en el Anexo 3 y se resumen en la Tabla 3. Como se puede observar, existen tendencias estadísticas en todas las series de todas las estaciones, pero no son necesariamente del mismo sentido, ni se pueden detectar en todos los casos en el mismo mes; en las tablas los meses de baja precipitación se mantienen en blanco y los de alta precipitación en gris; las tendencias a la baja se mantienen con fondo amarillo, en tanto que las tendencias al aumento, (subida de los valores), con fondo azul.

En el caso de los datos de precipitación, se analizaron solo algunas de las estaciones, dado que su cantidad es muy superior a las de los demás parámetros, y dado que se considera que es más difícil establecer tendencias en los datos de precipitación que en los de caudal.

La Tabla 3 muestra los resultados para las estaciones estudiadas; se pudo determinar que las tendencias cambian incluso de sentido, al considerar registros de diferente longitud, por lo que se prefirió realizar los análisis sobre un periodo común, en este caso el periodo 1990-2015, con 25 años del registro más reciente.

Tabla 3. Resumen de resultados de la prueba de mann-Kendall para datos de precipitación

ESTACIONES	AÑOS	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI	ME	MA	MI
Bellavista	35					S+							S+	S+	S+	
La Camelia	43					S*			S**					S**	S*	
La Samaria	15					B*										
Línea La Prov.	40		B*	B*	B+			B+			B+		B*	B+	B*	
Mistrató	49					S*	S*					S*	**	*	*	
San Clemente	35															
Tajara-Alejan	25												B*	B+		
Taparcal	44								S+							
Virginia-Alerta	35		S+							B*			S+			

Análisis con los registros 1990-2014 excepto para Sn Clemente, (1970-2010), y Samaria/Línea La Porvenir (1973 - 1996)

S sube, B baja, +Tst significaivo al 90%; * Test significativo al 95%; ** Test significativo al 99%; ***Test significativo al 99.9%;

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

En la Tabla 3 solo 3 estaciones poseen periodos diferentes, porque no tienen registro reciente. En casi todos los casos, sin embargo, se encuentran también tendencias estadísticamente significativas con diferente nivel de confianza y para diferentes meses; como se puede ver, las tendencias también cambian de sentido en algunas estaciones; del grupo aproximadamente la mitad muestra tendencias ascendentes y la mitad tendencias descendentes o nulas; en el caso de La Virginia la tendencia es ascendente en dos meses y descendente en un mes.

Se considera que, en la actualidad, con la longitud y continuidad de los reistros existentes, estos análisis no son suficientemente conclusivos ni coherentes para todo el registro de cada estación, para tomar acción, particularmente porque en el caso de la precipitación los registros son más incompletos que en el caso de las estaciones de caudal. Se considera que los valores medios, máximos y mínimos son suficientemente estables para justificar análisis con criterios de estacionareidad hidrológica.

Se muestra a continuación las figuras de los resultados del test de Mann – Kendall de las estaciones a las cuales se les realizó el análisis de tendencias; los archivos de cálculo y soporte se encuentran en el anexo 3.

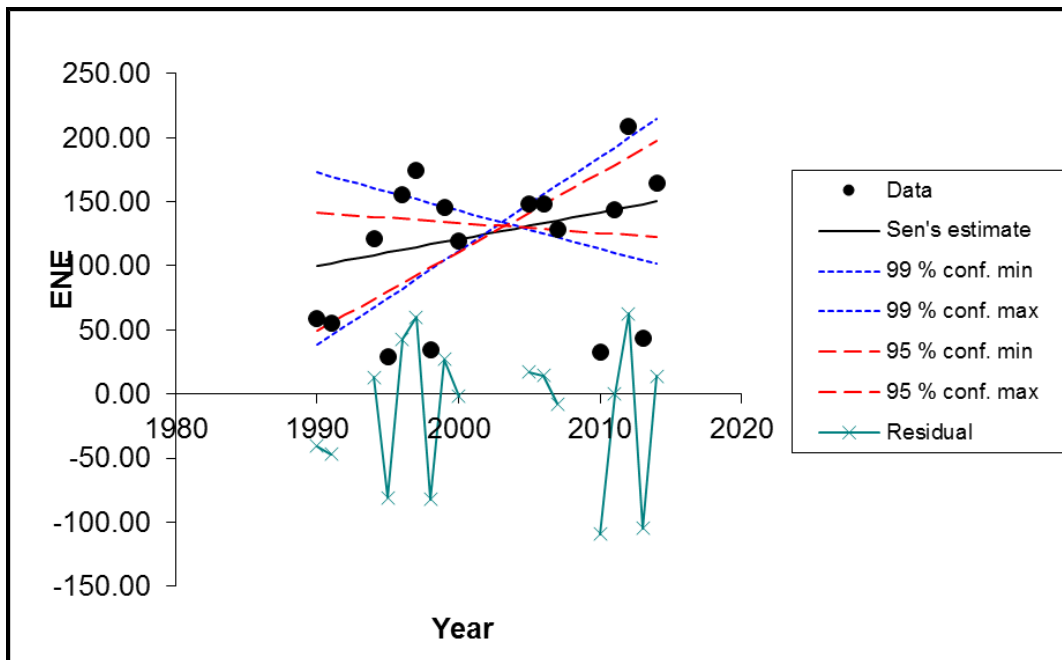


Figura 5. Gráfico Mann Kendall estación Bellavista
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

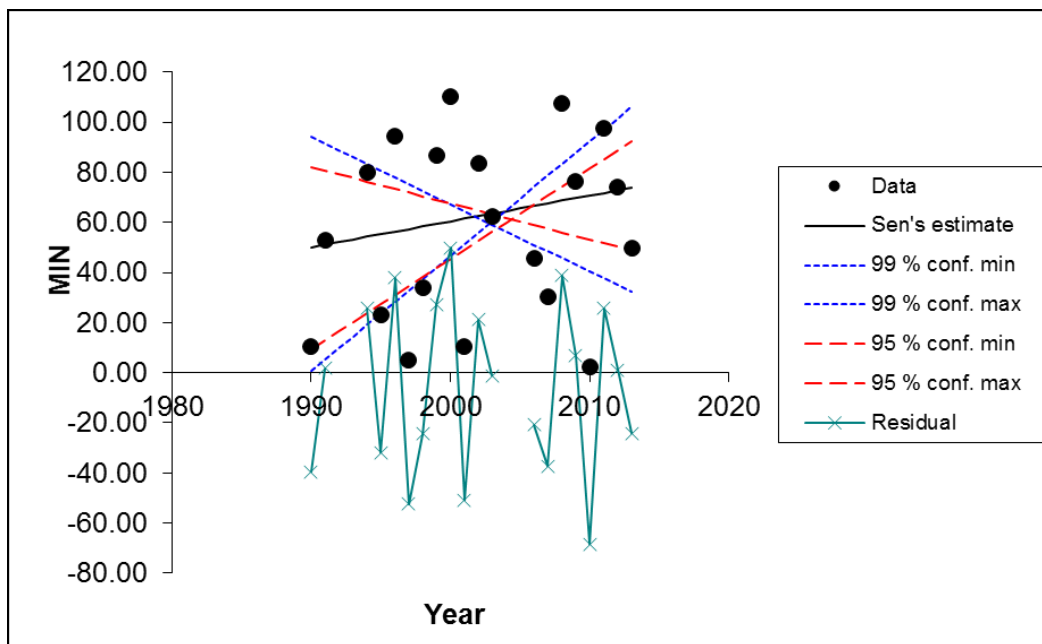


Figura 6. Gráfico Mann Kendall estación La Camelia
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

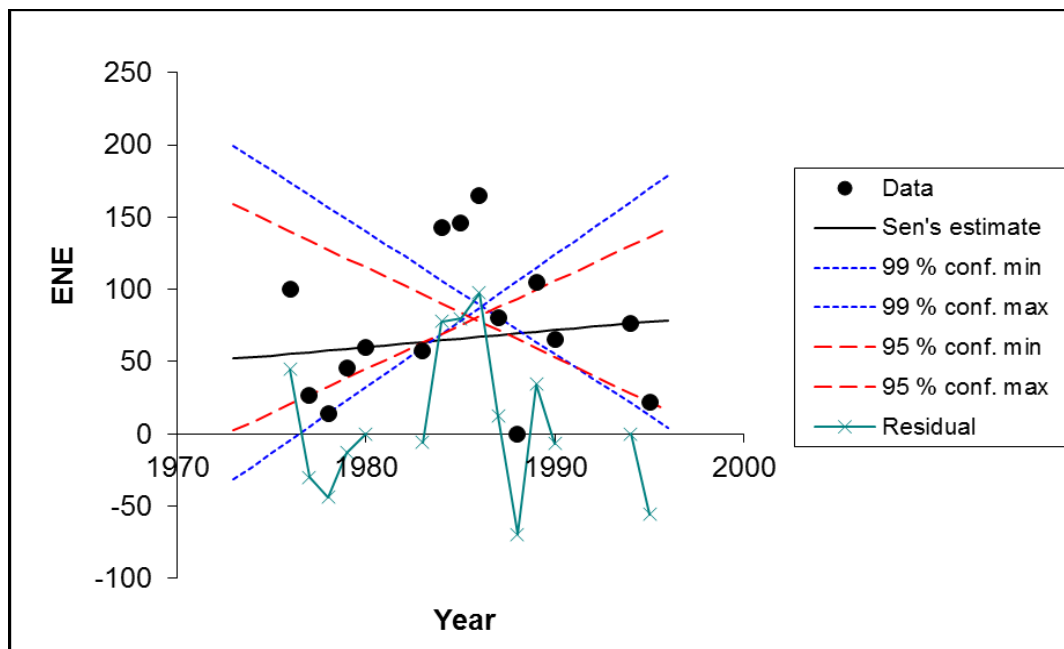


Figura 7. Gráfico Mann Kendall estación La Samaria
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

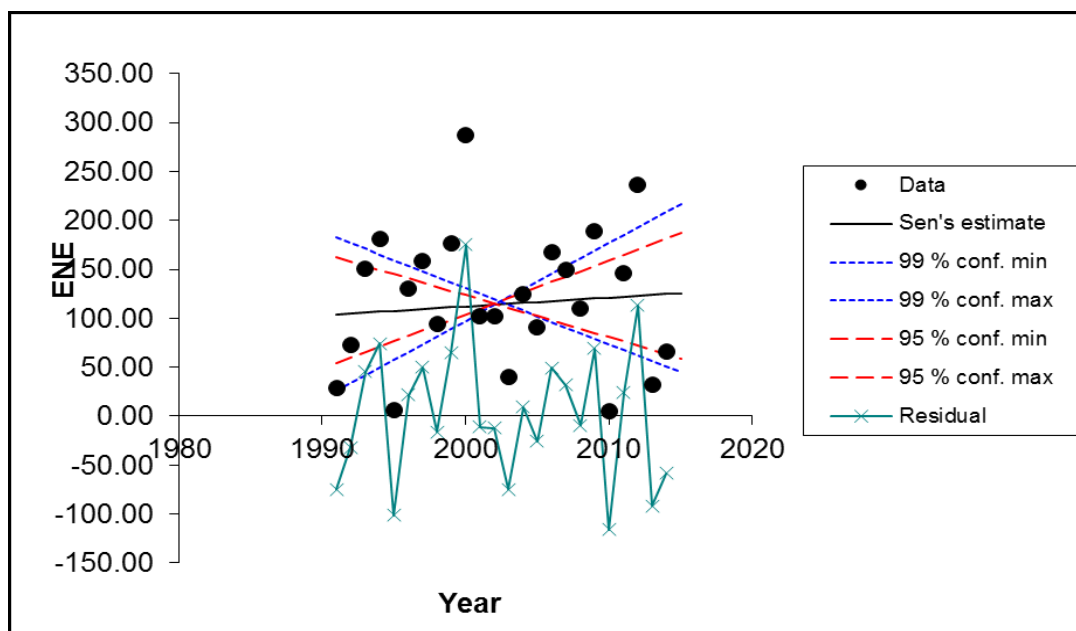


Figura 8. Gráfico Mann Kendall estación Taparcal
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

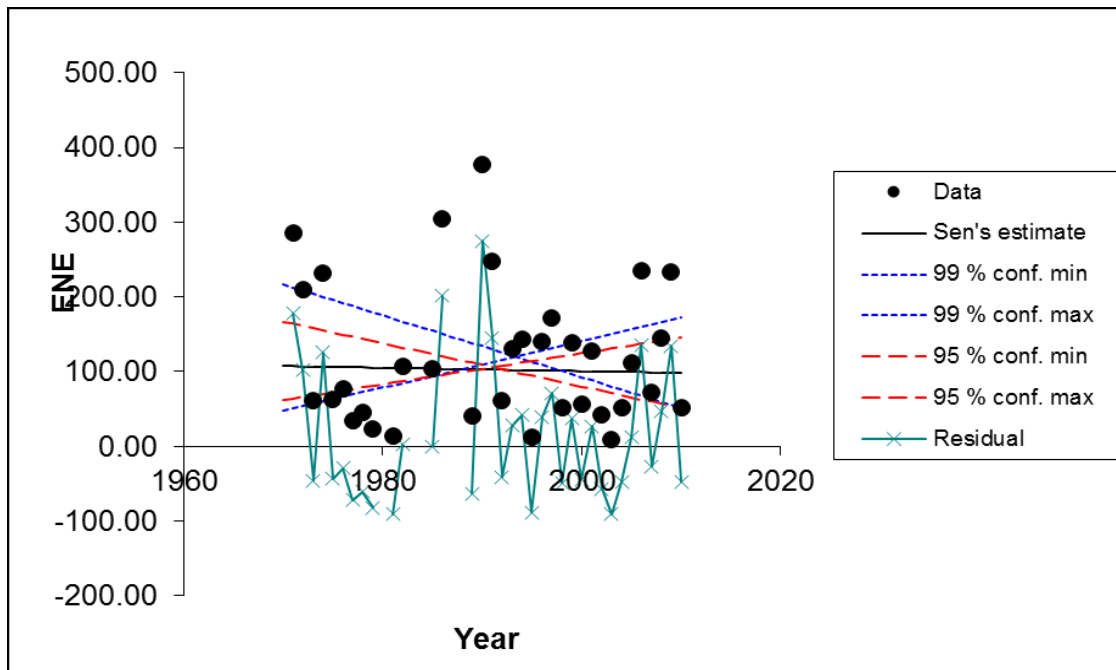


Figura 9. Gráfico Mann Kendall estación San Clemente
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

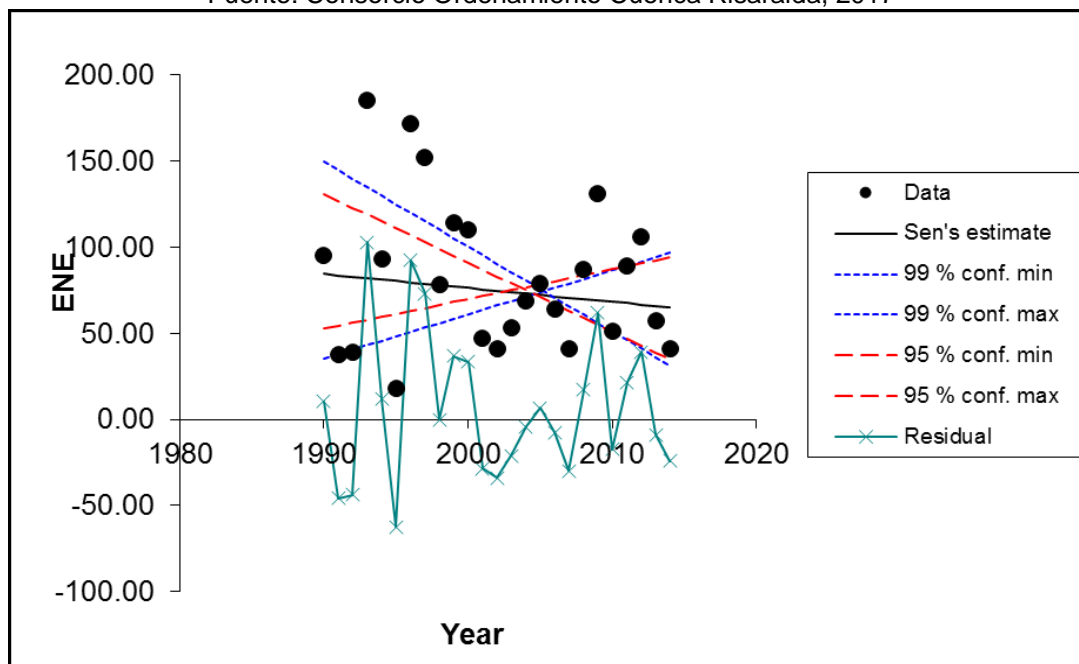


Figura 10. Gráfico Mann Kendall estación Mistrató
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

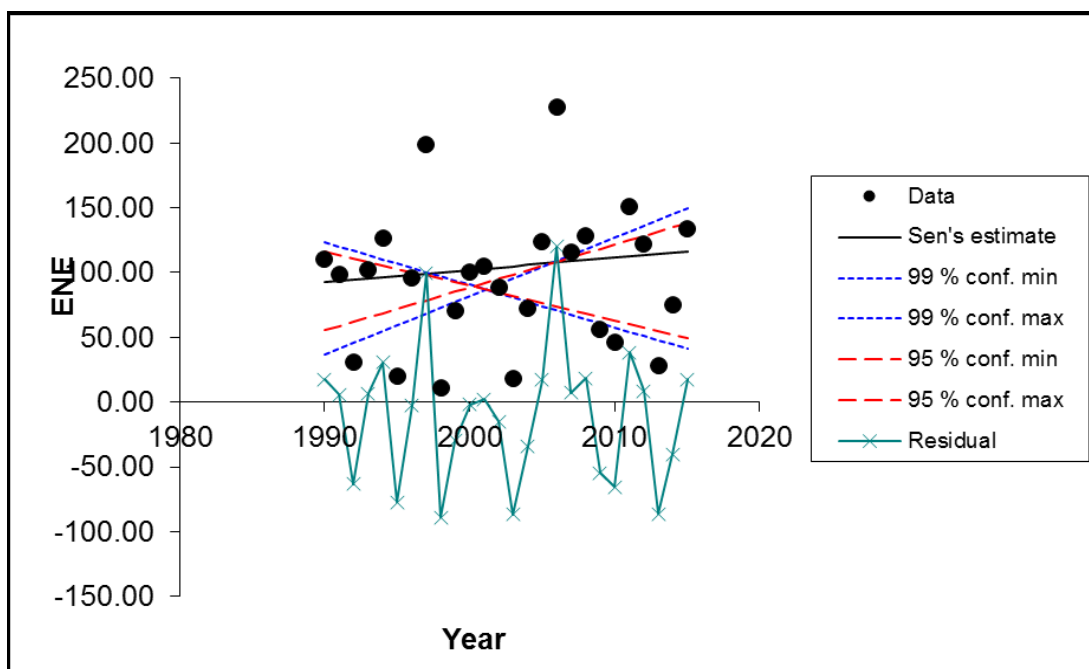


Figura 11. Gráfico Mann Kendall estación Virginia La Alerta
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

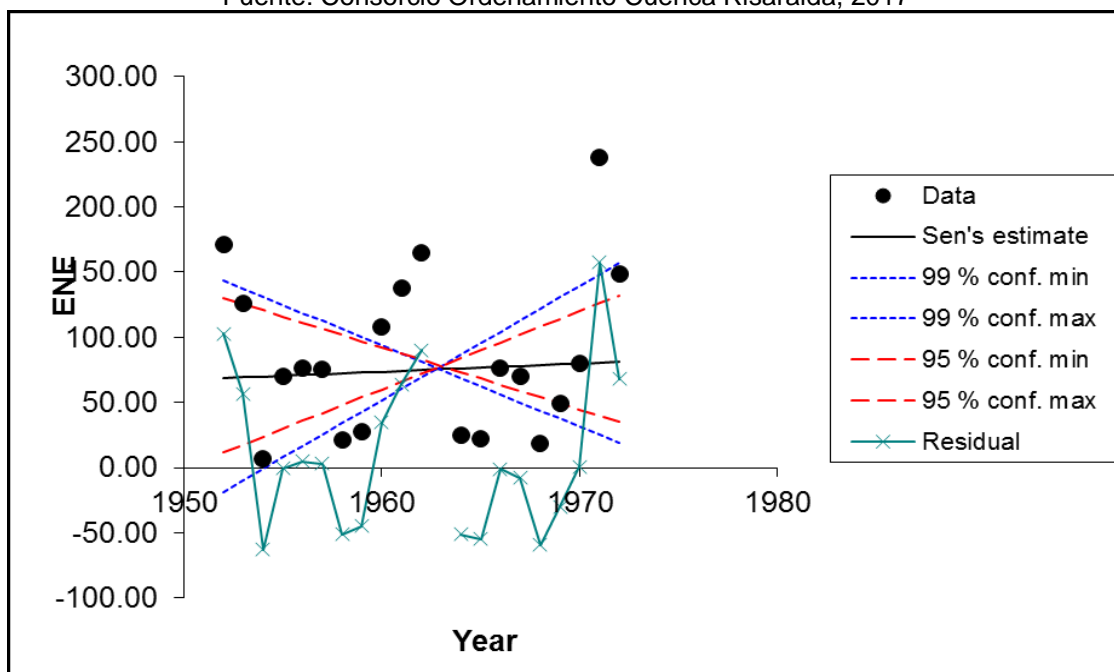


Figura 12. Gráfico Mann Kendall estación La Virginia
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

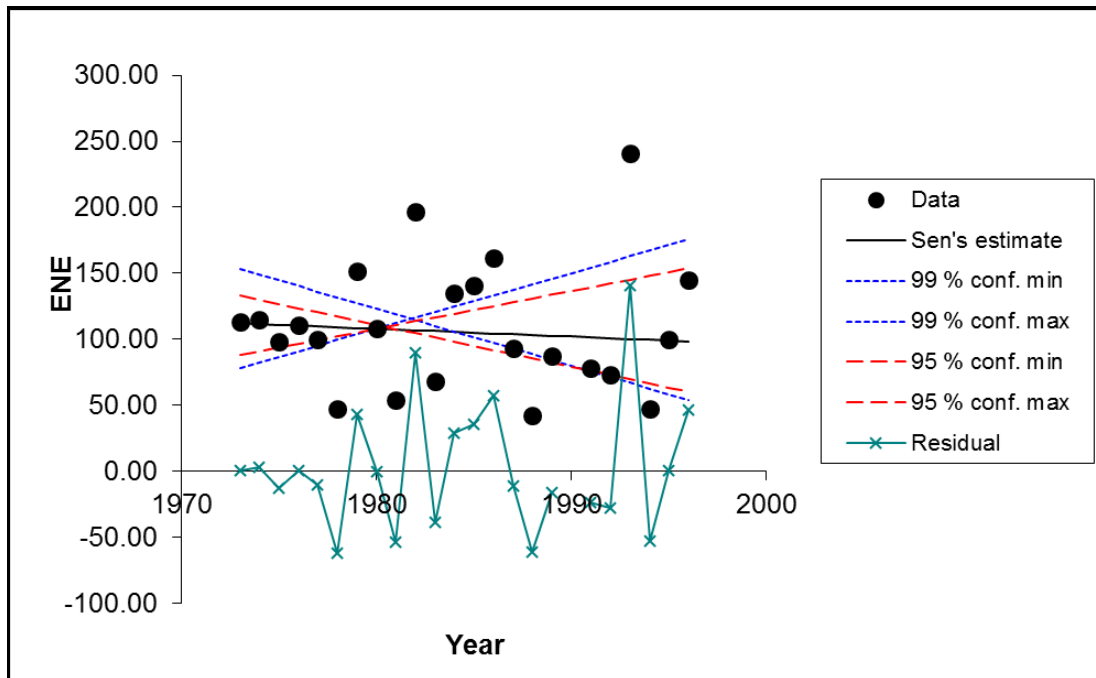


Figura 13. Gráfico Mann Kendall estación La Virginia
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN EL ÁREA DE LA CUENCA

La OMM (*Organización Meteorológica Mundial*), en su publicación técnica N°182, define el clima como la síntesis de las condiciones meteorológicas, caracterizadas por los estados y las evoluciones del tiempo (representadas por estadísticas a largo plazo que muestran el comportamiento de los elementos o variables meteorológicas) en una porción determinada del espacio.

La ubicación geográfica del territorio colombiano (entre 4°13'30" de latitud sur y 12°30'40" de latitud norte), sobre la franja ecuatorial o zona tórrida de la tierra, le permite recibir una cantidad abundante y casi constante de radiación durante todo el año, situación que supondría un clima tropical con temperaturas elevadas y muy poco variables a lo largo del año. Sin embargo, en Colombia es posible encontrar una diversidad climática envidiable, debido principalmente, a la riqueza orográfica del país.

Es importante anotar que, no solo la latitud y la orografía determinan las condiciones climáticas que predominan sobre el territorio colombiano, existen otros factores como la distribución de océanos y continentes y el desplazamiento de corrientes atmosféricas, los cuales inciden en el comportamiento de los elementos o parámetros meteorológicos (lluvias, temperatura, insolación, humedad, etc.) y entregan características particulares al clima en las distintas regiones del país.

Debido a las diferencias térmicas existentes entre las latitudes medias y bajas del planeta, se originan corrientes atmosféricas permanentes en la baja troposfera que se mueven entre los trópicos y el ecuador. Estas corrientes, cálidas y húmedas, de componente noreste y sureste son conocidas como vientos Alisios y en su recorrido se encuentran sobre la franja ecuatorial dando origen a una zona de bajas presiones conocida como Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), caracterizada por la formación de grandes y abundantes nubes, las cuales dan origen a precipitaciones de variada intensidad.

La ZCIT tiene un desplazamiento sur-norte-sur a lo largo del año, alcanzando su posición extrema norte (entre 12° y 15° N), durante los meses de julio y septiembre (estación de verano en el Hemisferio boreal) y su posición extrema sur (entre 3 y 5°S) en el período comprendido entre febrero y marzo. Este sistema recorre el centro del país dos veces al año dejando a su paso cantidades importantes de precipitación sobre Cundinamarca, donde se encuentra el área de estudio.

6.1 Precipitación

El comportamiento de la precipitación es estudiado a partir de la información disponible en las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la Federación Nacional de Cafeteros y La CHEC. Estas instituciones poseen registros de medición de las variables climatológicas en la zona de estudio, las cuales fueron analizadas para determinar su comportamiento histórico.

La precipitación es considerada, al lado de la temperatura, como una de las variables más importantes a la hora de estudiar el régimen climático de un lugar, especialmente en latitudes próximas al ecuador donde el concepto de clima pareciera limitarse al comportamiento de las lluvias. Además, es la precipitación el elemento que determina el tipo de cobertura, la distribución de la fauna y la flora y, más que nada, el establecimiento del ser humano sobre el planeta. Estas y otras razones, relacionadas todas con la disponibilidad del recurso hídrico, obligan a una mirada cuidadosa sobre el comportamiento de este parámetro. Del total de estaciones de precipitación, se seleccionaron 18 (Tabla 4), las cuales cumplieron con los análisis de homogeneidad y consistencia de las series de datos, como se mencionó anteriormente todos los archivos de soporte y las gráficas se encuentran en el anexo 2.

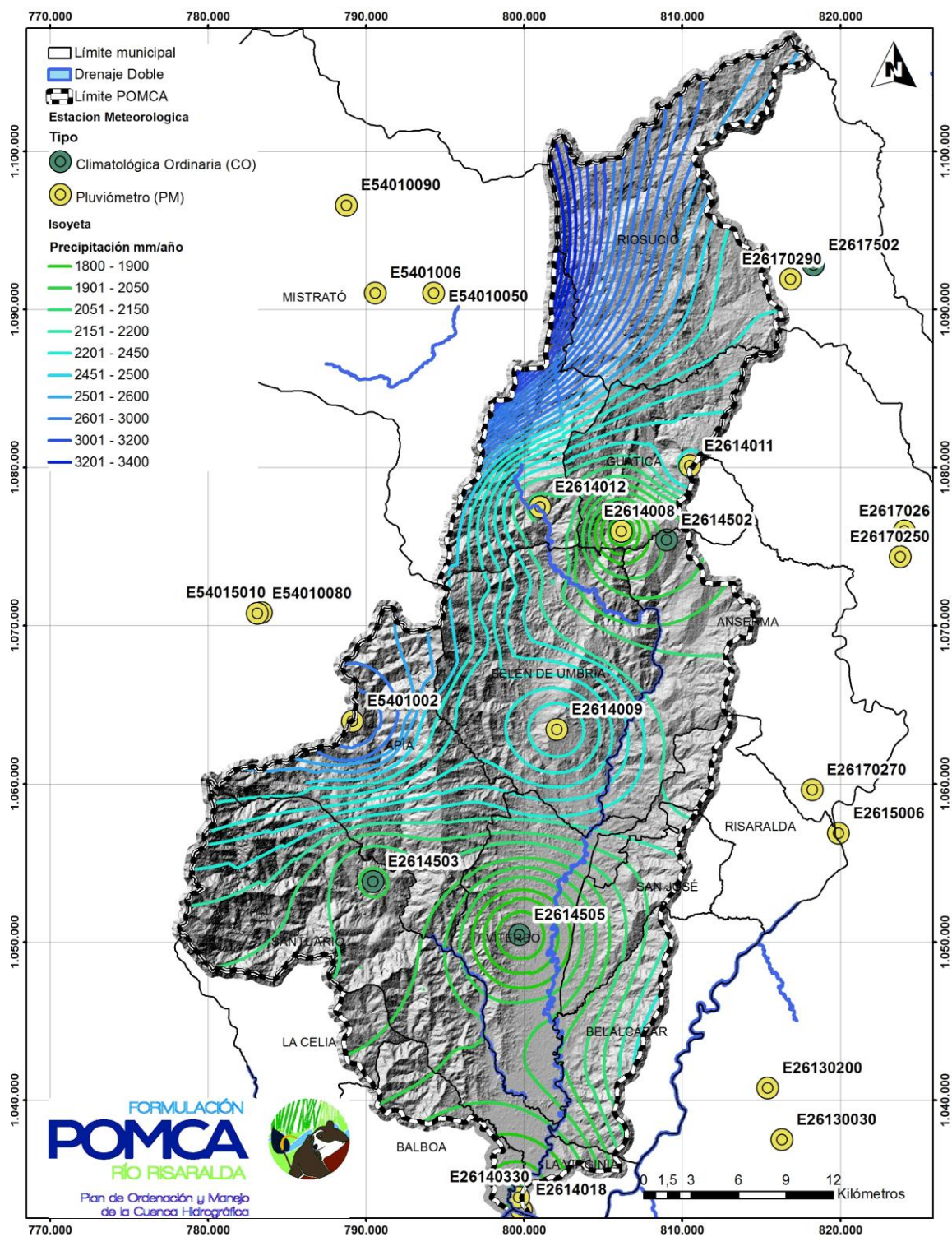
Tabla 4. Estaciones con registro de Precipitación

Nombre	Entidad	Cuenca	Registro	
			Desde	Hasta
BELLAVISTA	IDEAM	RISARALDA	1963	2015
LA CAMELIA	IDEAM	RISARALDA	1963	2015
LA SAMARIA	IDEAM	RISARALDA	1973	1996
TAIJARA ALEJANDRIA	IDEAM	RISARALDA	1991	2015
TAPARCAL	IDEAM	RISARALDA	1969	2015
SAN CLEMENTE	IDEAM	RISARALDA	1970	2015
MISTRATO	IDEAM	RISARALDA	1964	2015
VIRGINIA LA ALERTA	IDEAM	RISARALDA	1979	2015
LA VIRGINIA	IDEAM	RISARALDA	1952	1972
LINEA LA PORVENIR	IDEAM	RISARALDA	1970	2015
MISTRATÓ	IDEAM	RISARALDA	1964	2015
INST. LOS FUNDADORES	IDEAM	RISARALDA	1970	1982
RIO SUCIO	IDEAM	RISARALDA	1970	2015
LA MARGARITA	IDEAM	RISARALDA	1964	1983
GUERRERITO	IDEAM	RISARALDA	1978	2015
IRRA	IDEAM	RISARALDA	1962	1985
APTO SANTAGUEDA	IDEAM	RISARALDA	1949	1989
ARAUCA	IDEAM	RISARALDA	1962	2015
SUB MARSELLA	IDEAM	RISARALDA	1978	1982
PUEBLO RICO	CHEC	RISARALDA	1964	1999
PUERTO DE ORO	CHEC	RISARALDA	1964	1996
PUREMBARA	CHEC	RISARALDA	1963	1996
SAN ANTONIO DEL CHAMÍ	CHEC	RISARALDA	1963	2000
GUAYMARAL	FEDECAFE	RISARALDA	2002	2012
CUATRO ESQUINAS	FEDECAFE	RISARALDA	2002	2012
BELLAVISTA	FEDECAFE	RISARALDA	2002	2012
EL PLACER	FEDECAFE	RISARALDA	2002	2012
GUAYMARAL	FEDECAFE	RISARALDA	2002	2012

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.1.1 Distribución espacial de la precipitación

Las isoyetas medias mensuales multianuales para la cuenca del río Risaralda muestran que las mayores precipitaciones se presentan en la parte alta de la cuenca en jurisdicción del municipio de Riosucio con valores de 3350 mm/año, posteriormente hacía el municipio de Guática Risaralda se observa disminución presentándose precipitaciones de 2300 mm/año, oscilando entre 1800 mm/año hasta 2450 mm/año en jurisdicción de los municipios de Anserma Caldas, Belén de Umbría y Apia Risaralda; ya hacía la parte media baja de la cuenca en jurisdicción de Santuario Risaralda, Viterbo y Belalcázar Risaralda se observan precipitaciones que oscilan entre los 2000 mm/año y 1800 mm/año. (ver Figura 14).



6.1.2 Distribución temporal de la precipitación

Estadísticamente, cuando en una región se alternan dos temporadas lluviosas y dos relativamente secas durante el año, se dice que la distribución temporal de la precipitación es de tipo bimodal. Para establecer la manera cómo se comporta, en término medio, la precipitación a lo largo del año, se analizan los datos de algunas estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la cuenca. Estos datos permiten, a la vez, establecer la relación existente entre las cantidades de lluvia y fenómenos como la aridez.

De la Figura 15 a Figura 33 se observa la distribución temporal de la precipitación en las estaciones a las cuales se les realizó en análisis. Se observa para todas las estaciones un régimen bimodal de lluvias, característico de la región andina en donde las máximas precipitaciones se presentan en los meses de abril - mayo y septiembre - octubre; por su parte los menores valores se presentan en los meses de diciembre - febrero y junio a julio.

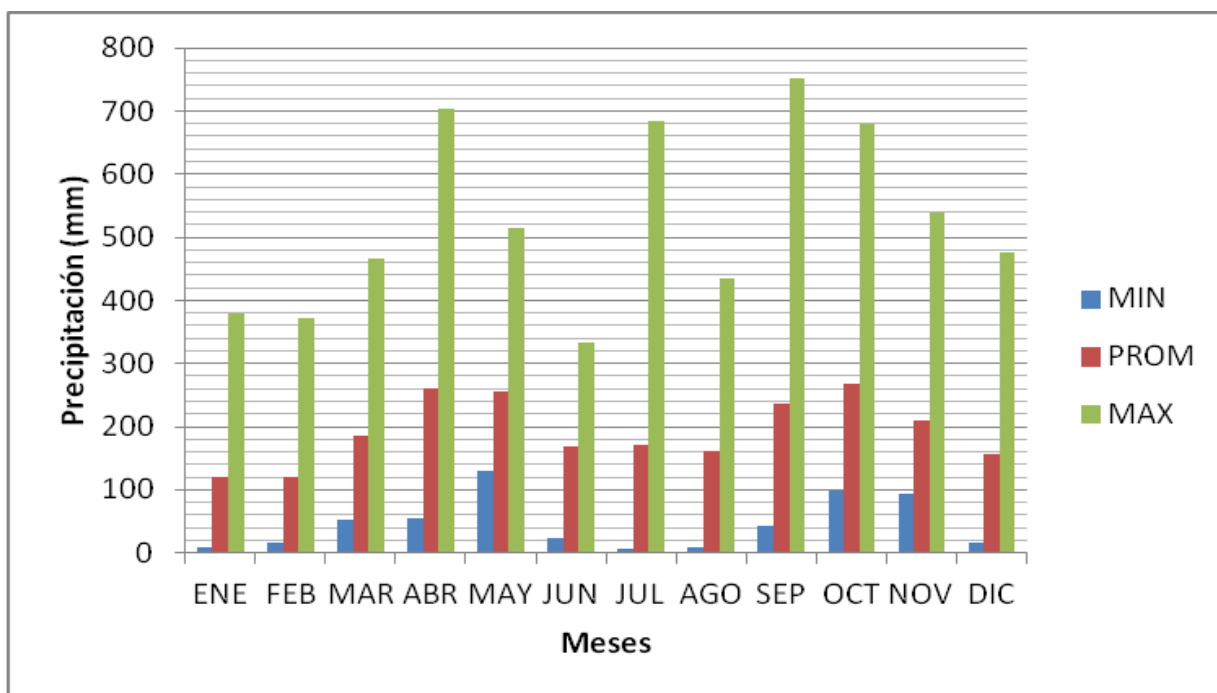


Figura 15. Comportamiento de la precipitación estación San Clemente (Guática 2173 msnm)
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

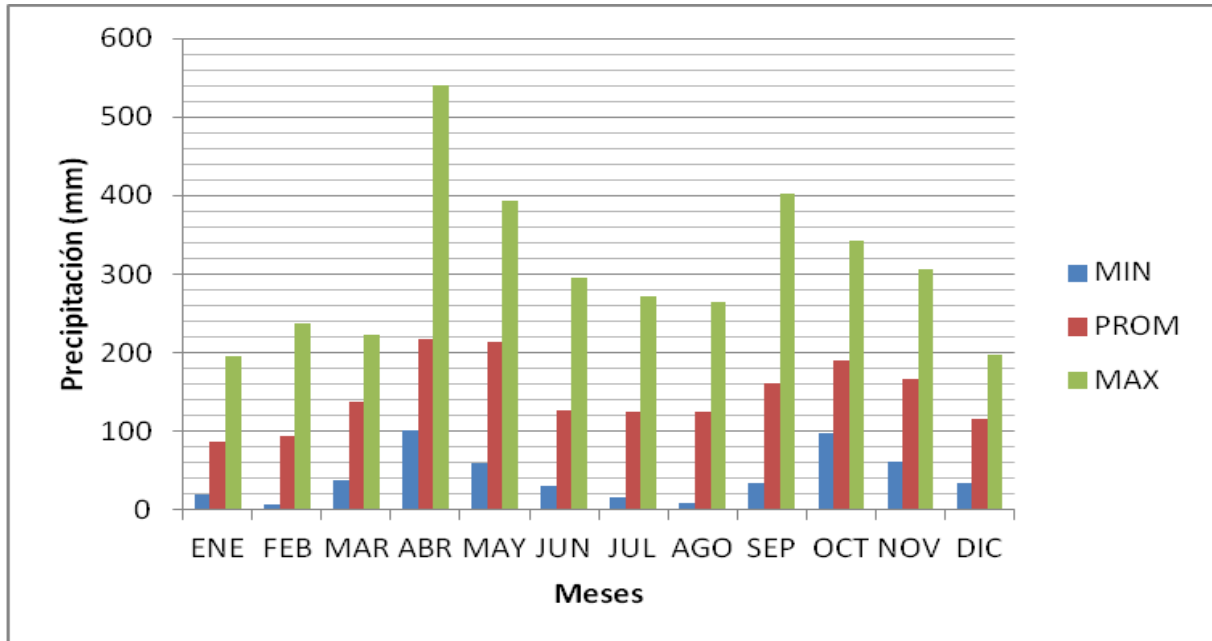


Figura 16. Comportamiento de la precipitación estación Taijara (Guática 1478 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

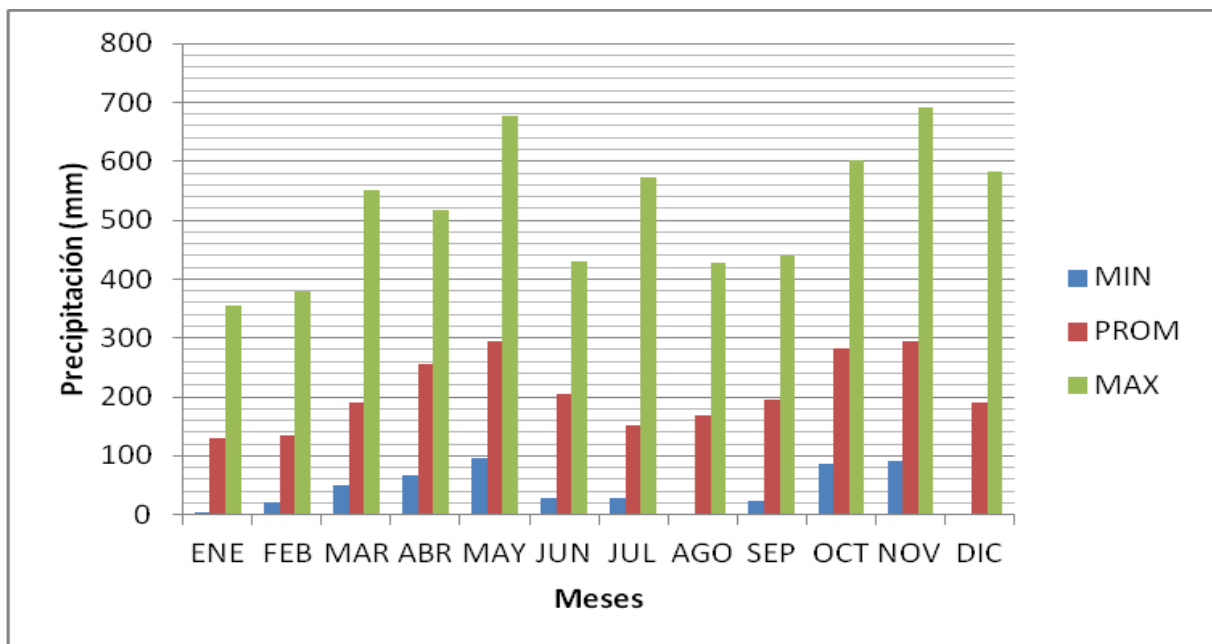


Figura 17. Comportamiento de la precipitación estación Taparcal (Belén de Umbría 1609 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

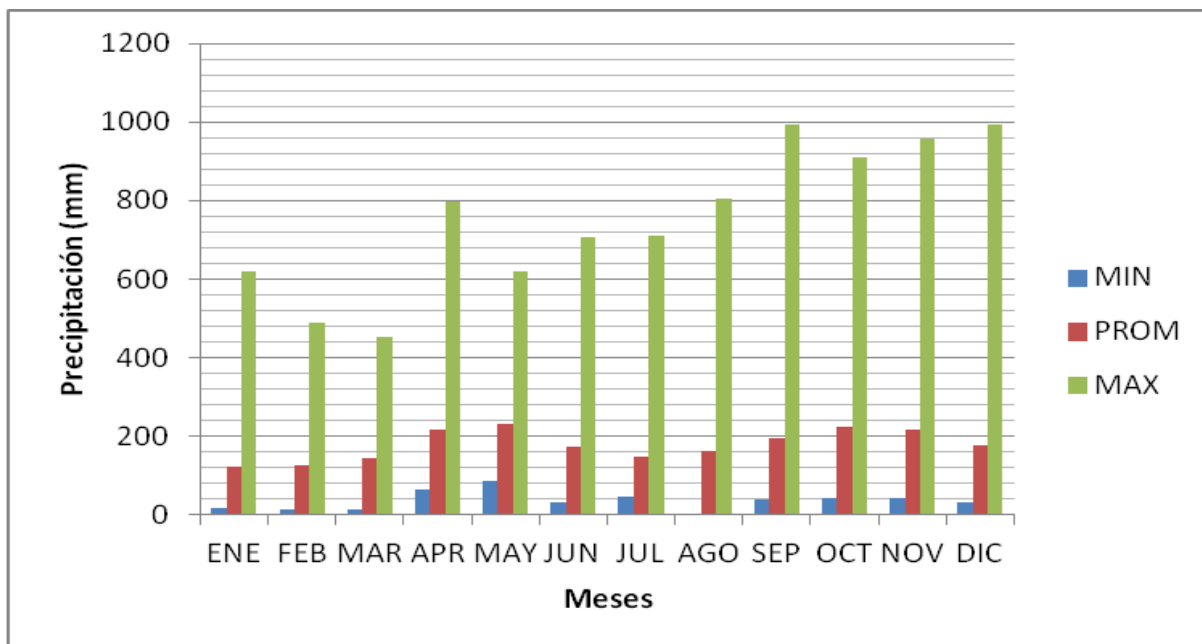


Figura 18. Comportamiento de la precipitación estación Mistrató (Mistrató 1483 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

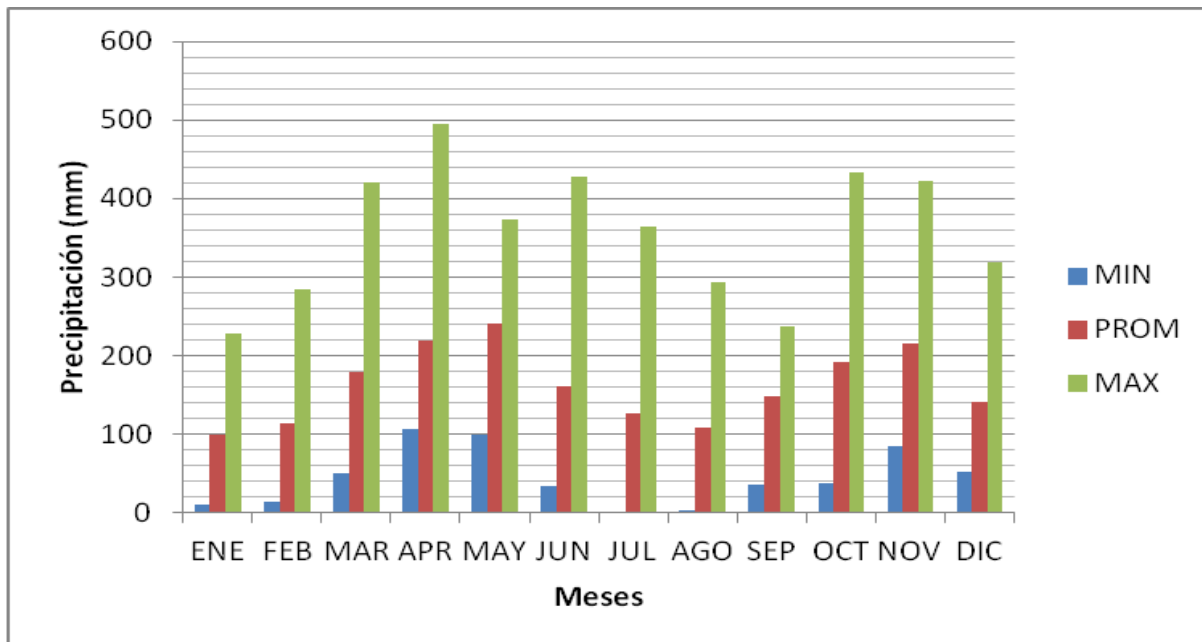


Figura 19. Comportamiento de la precipitación estación Virginia La Alerta (La Virginia 922 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

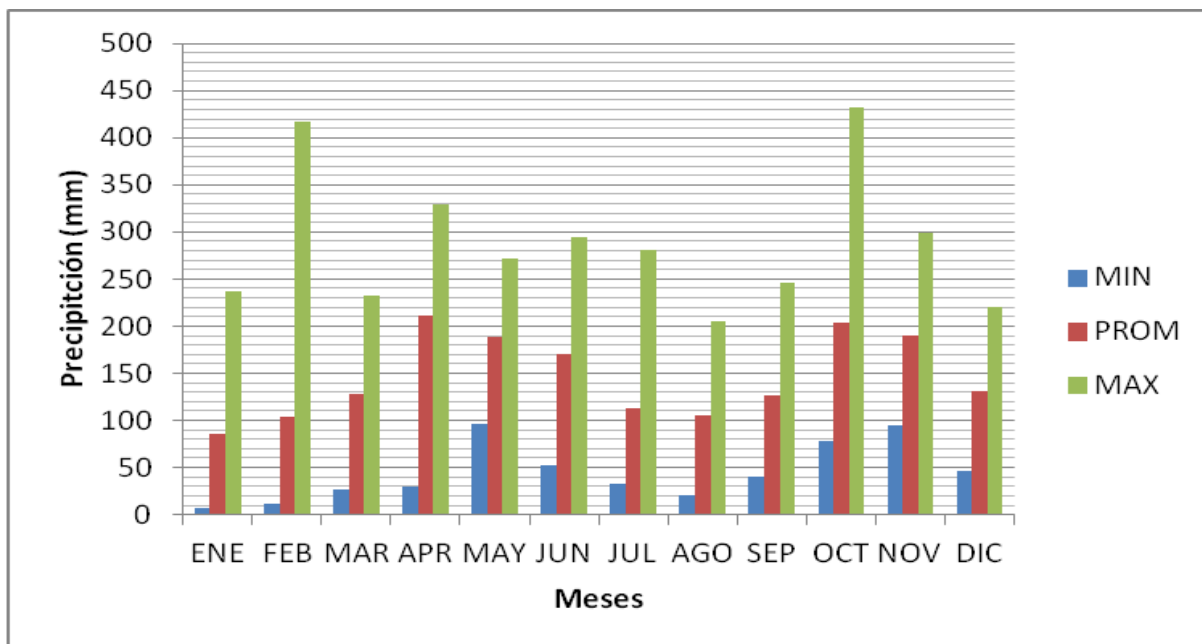


Figura 20. Comportamiento de la precipitación estación La Virginia (La Virginia 950 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

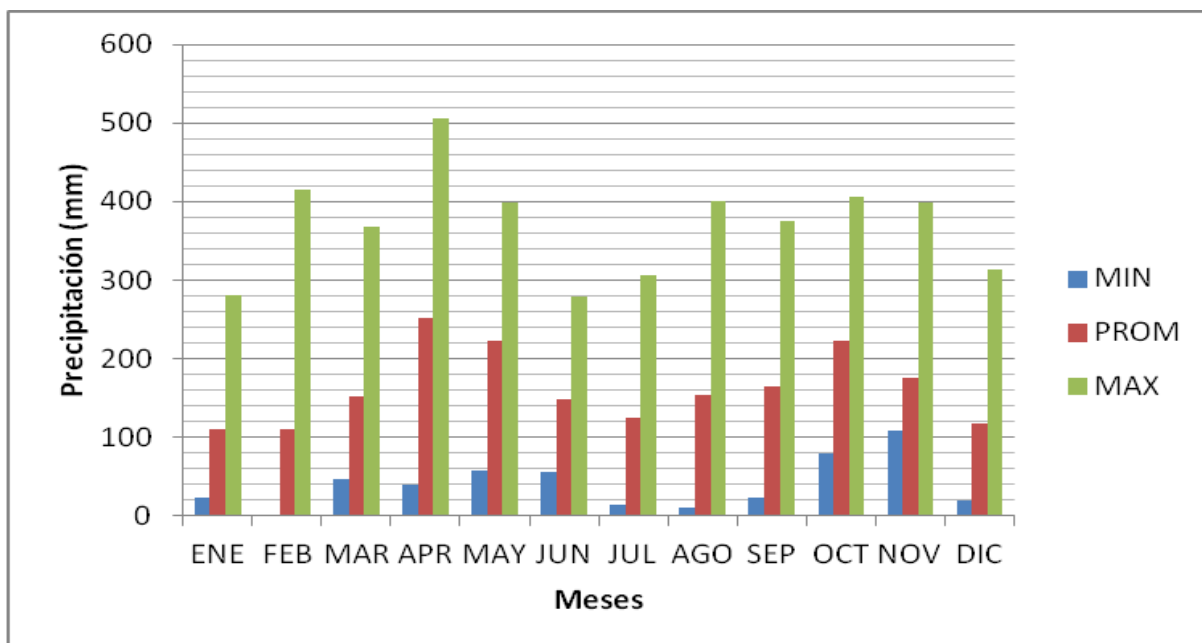


Figura 21. Comportamiento de la precipitación estación Bellavista (Guática 2170 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

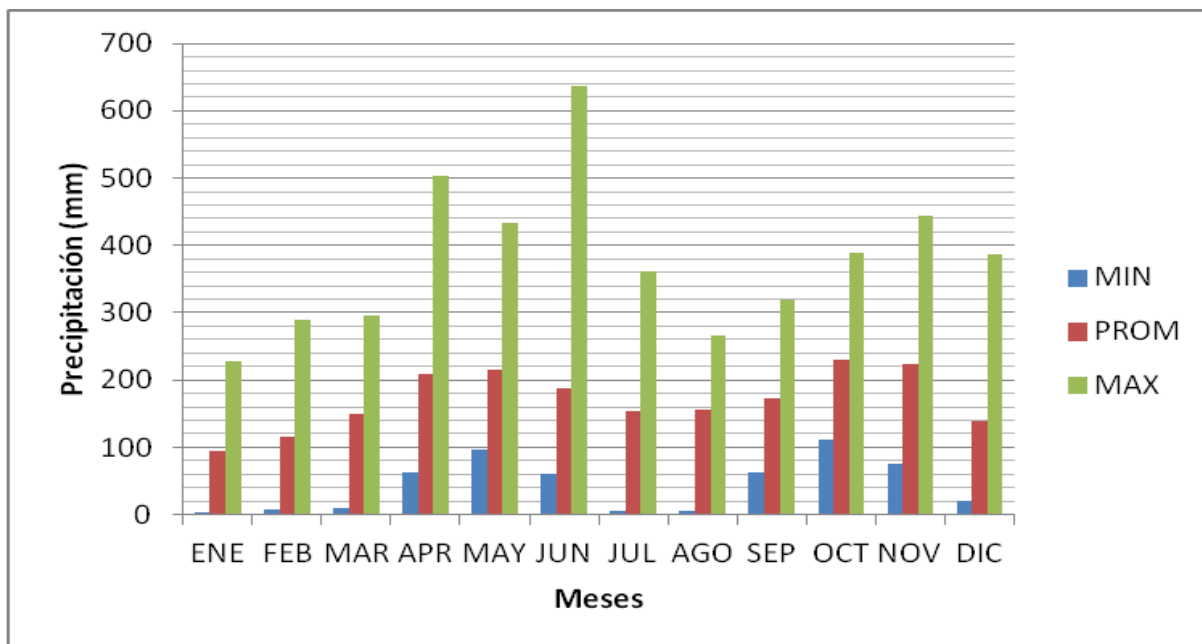


Figura 22. Comportamiento de la precipitación estación La Camelia (Santuario 1736 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

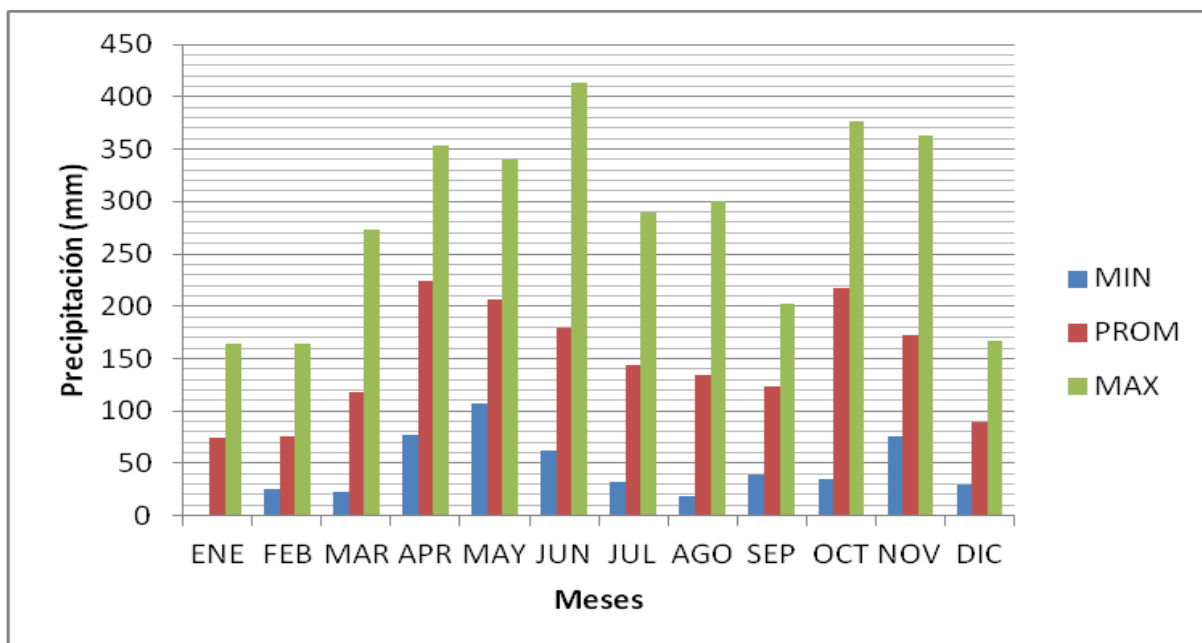


Figura 23. Comportamiento de la precipitación estación La Samaria (Viterbo 1736 msnm)
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

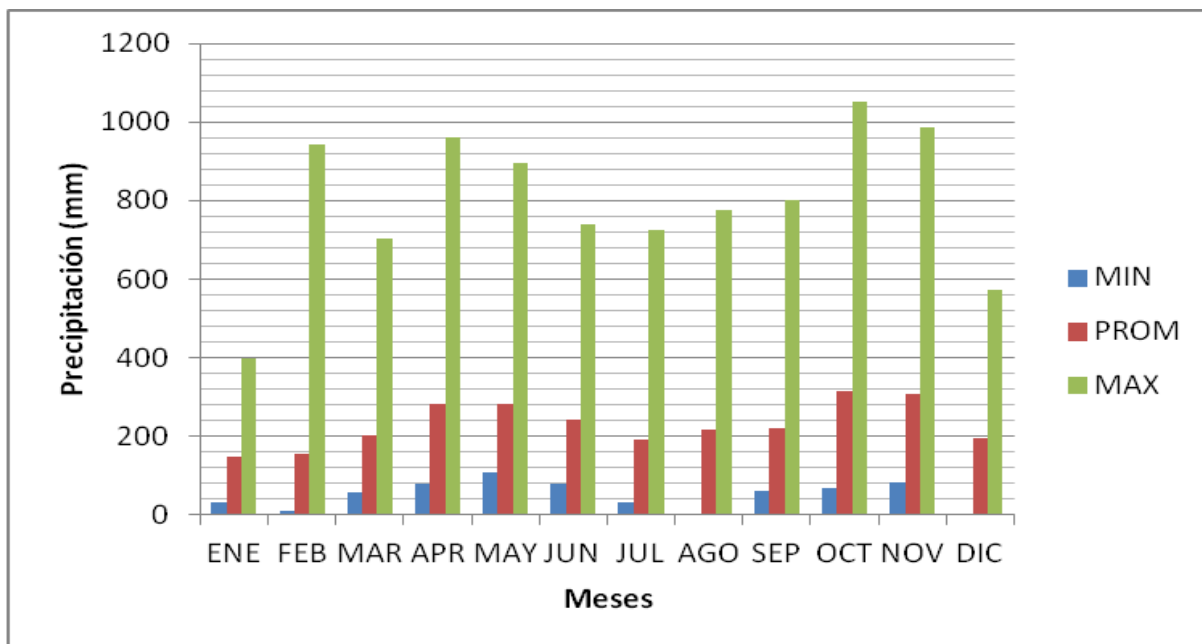


Figura 24. Comportamiento de la precipitación estación Línea La Porvenir (Pueblo Rico 2400 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

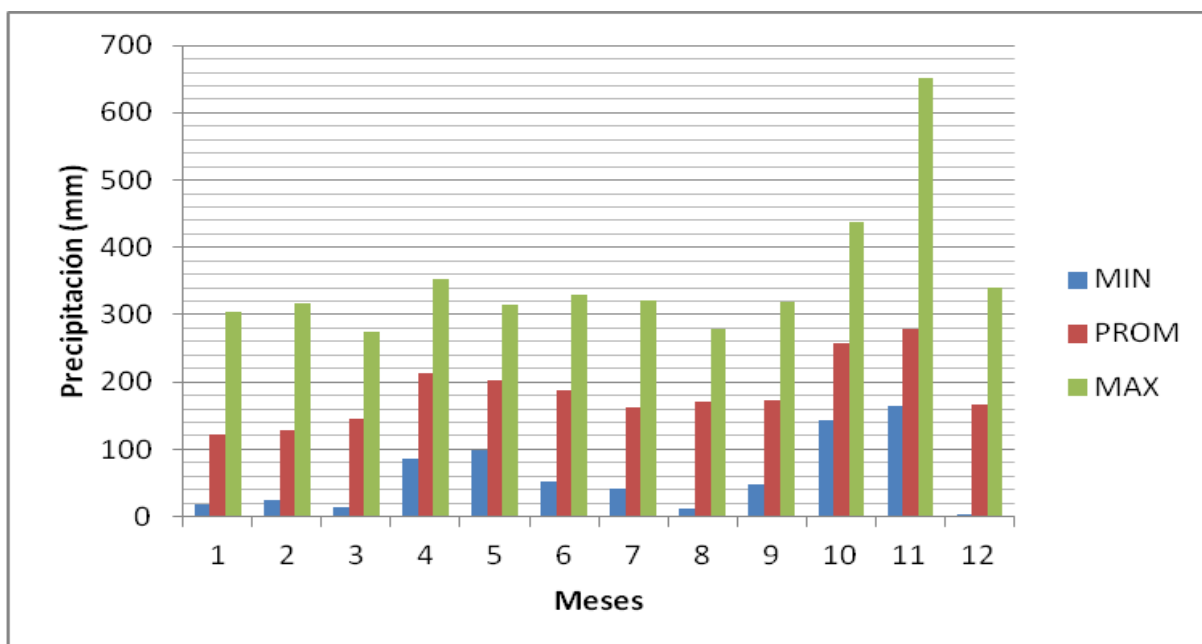


Figura 25. Comportamiento de la precipitación estación Pueblo Rico (Pueblo Rico 1570 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

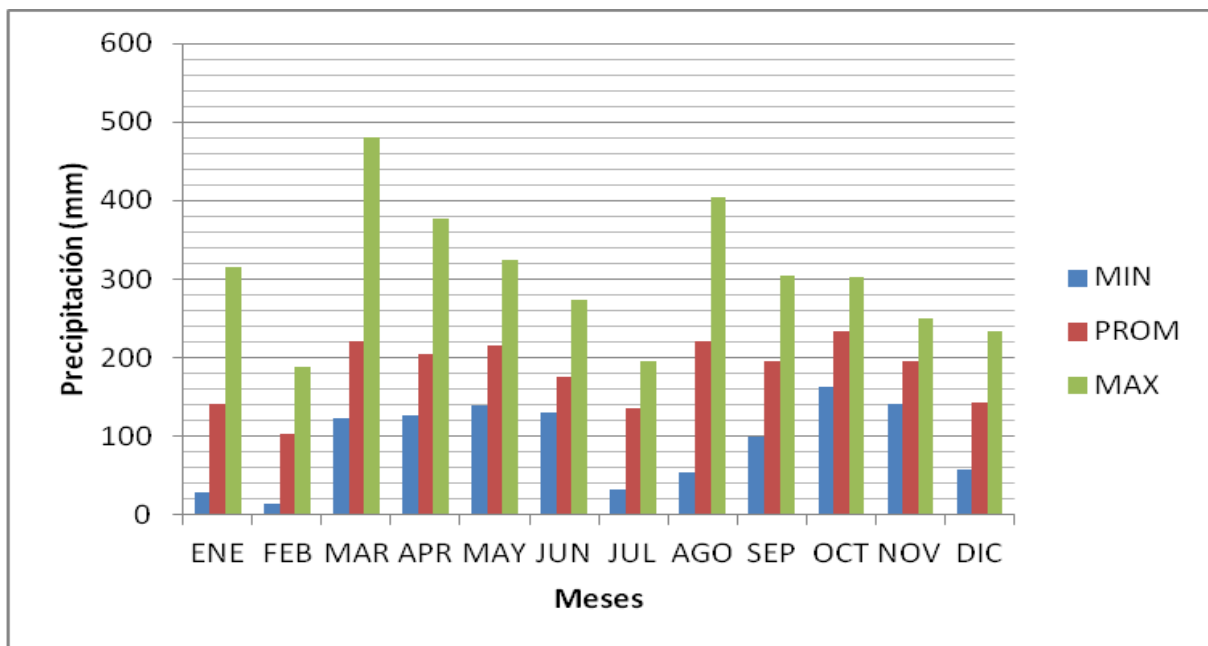


Figura 26. Comportamiento de la precipitación estación Inst. Los Fundadores (Riosucio 1820 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

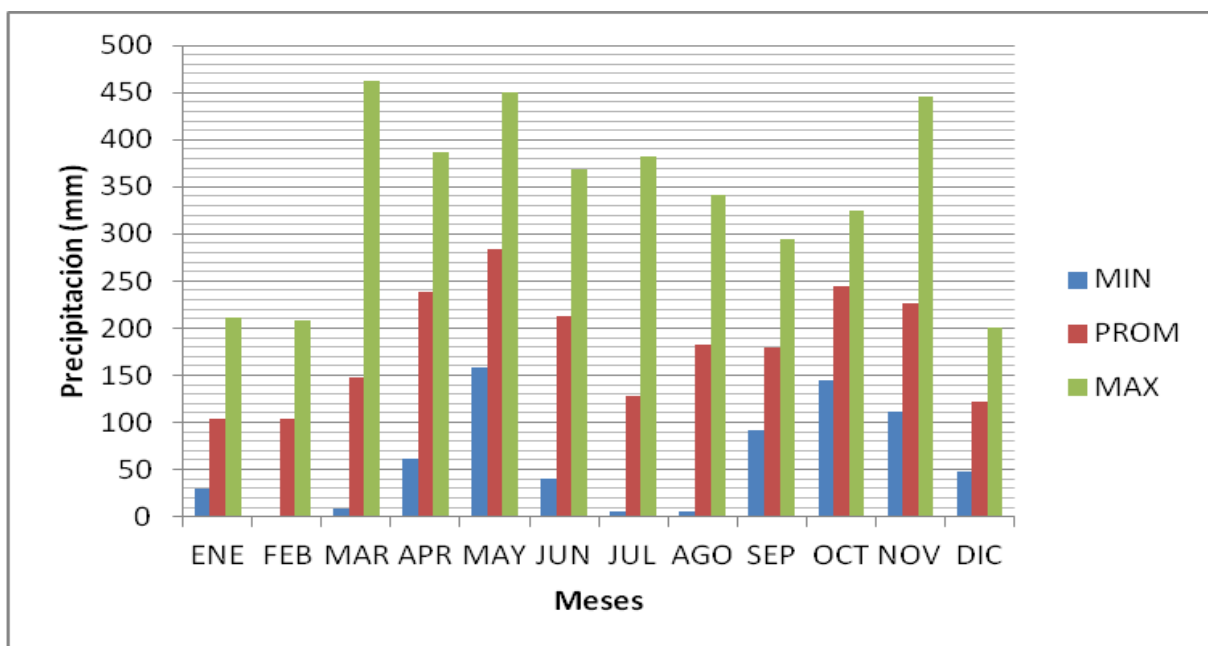


Figura 27. Comportamiento de la precipitación estación La Margarita (Risaralda Caldas 980 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

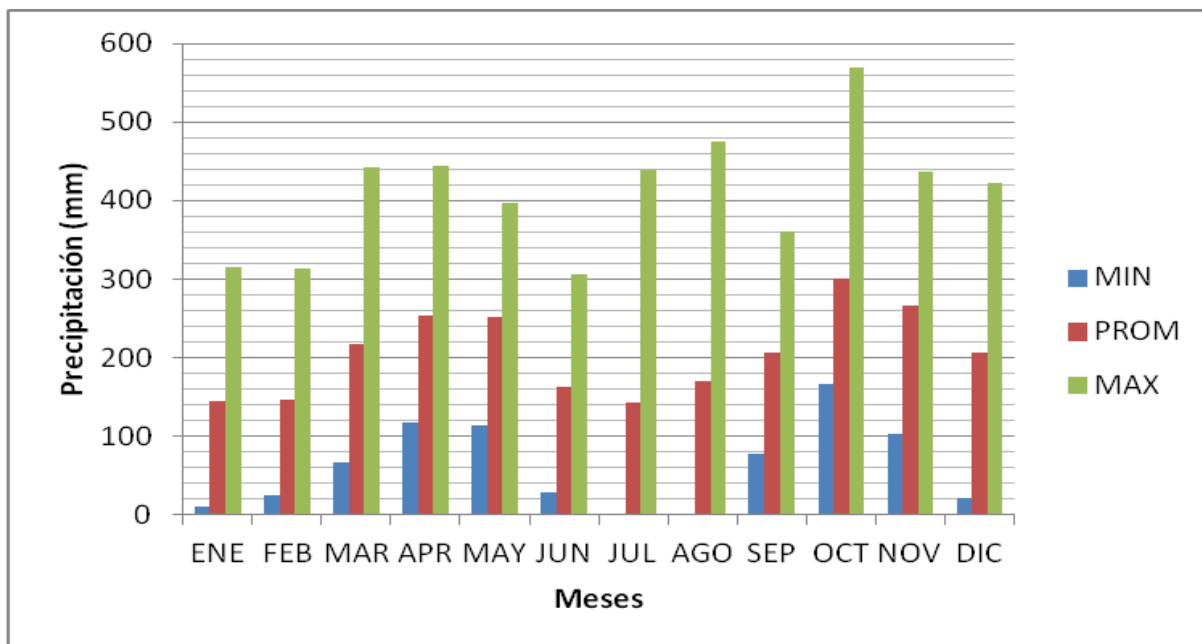


Figura 28. Comportamiento de la precipitación estación Riosucio (Riosucio Caldas 1946 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

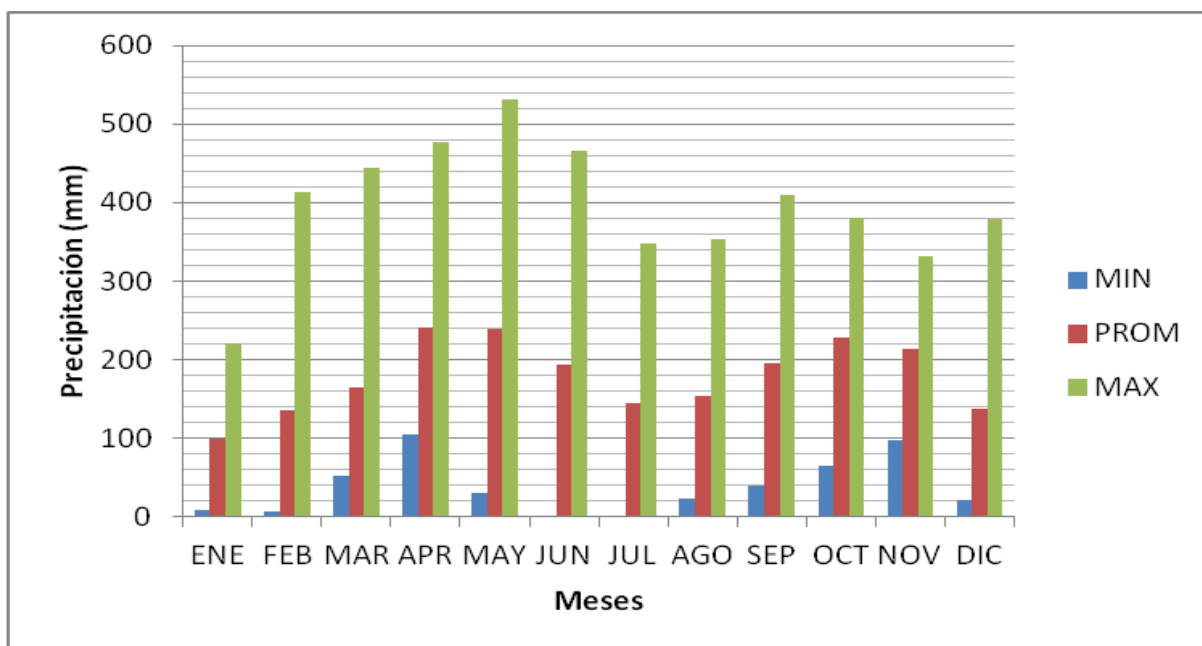


Figura 29. Comportamiento de la precipitación estación Arauca (Palestina Caldas 971 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

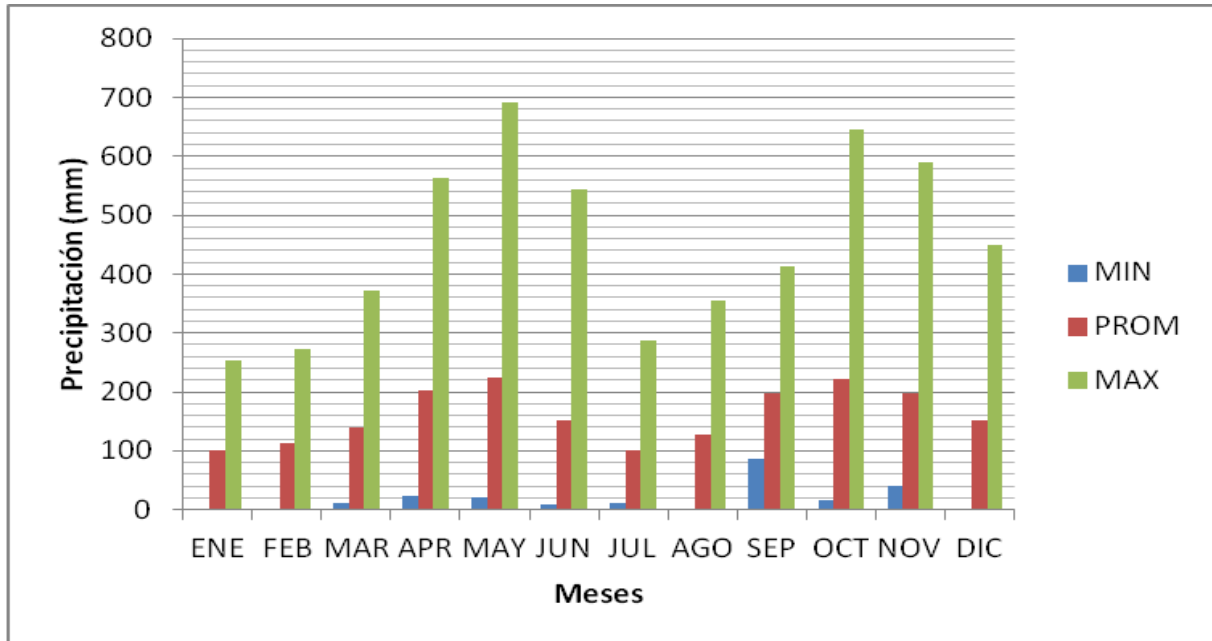


Figura 30. Comportamiento de la precipitación estación Guerrerito (Quinchía Risaralda 797 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

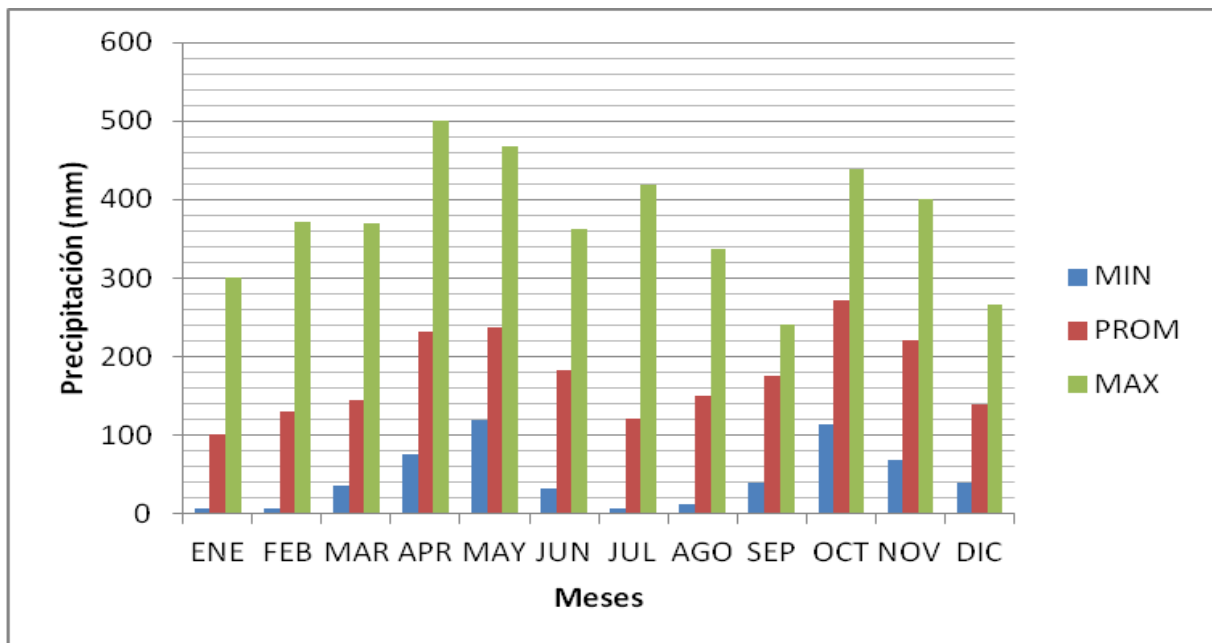


Figura 31. Comportamiento de la precipitación estación Irra (Quinchía Risaralda 785 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

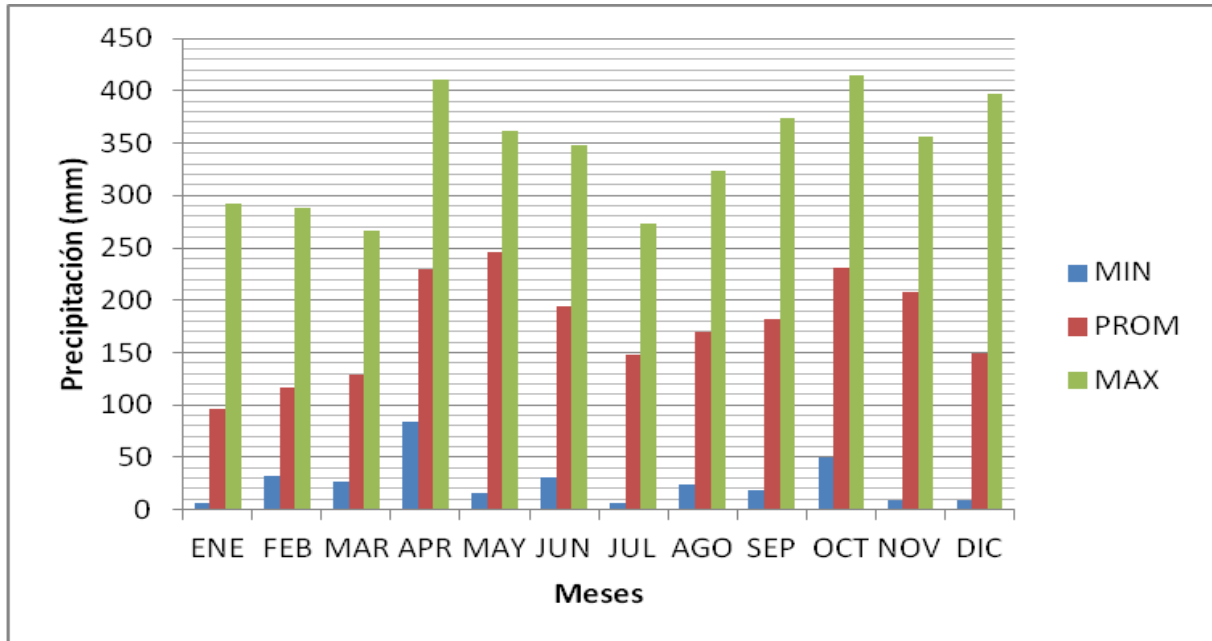


Figura 32. Comportamiento de la precipitación estación Aeropuerto Santagueda (Palestina Caldas 933 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

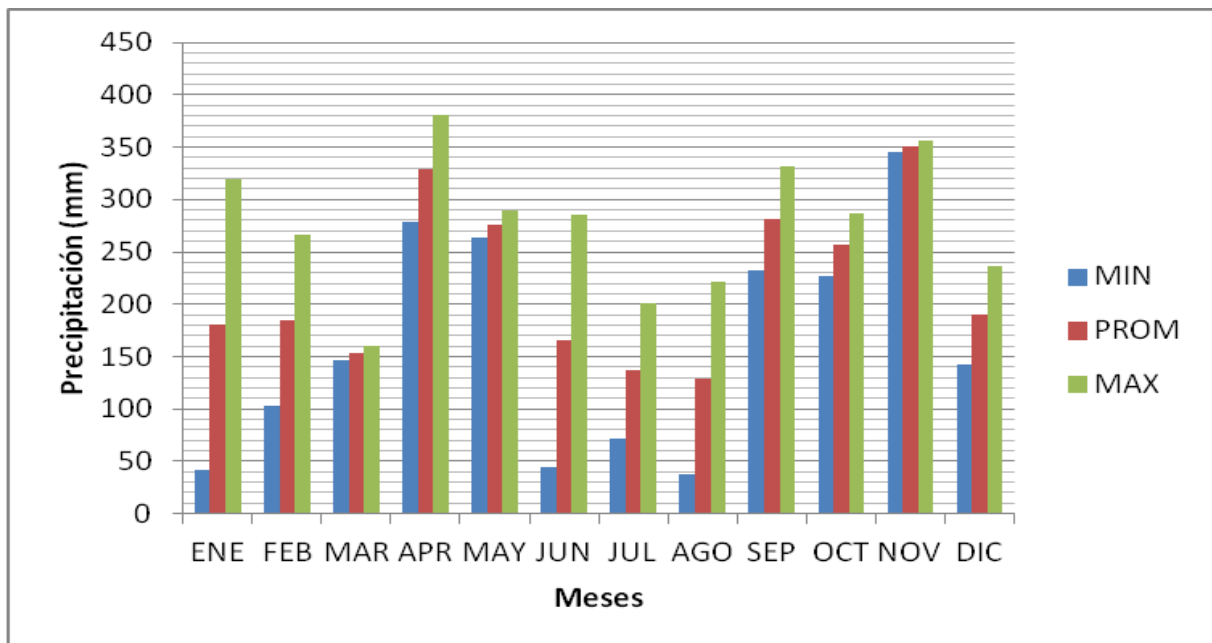


Figura 33. Comportamiento de la precipitación estación Sub Marsella (Marsella Risaralda 1700 msnm)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

La Tabla 5 consolida los resultados de los valores máximos (MAX), medios (MED) y mínimos de precipitación mensual para las estaciones dentro de la cuenca Risaralda.

Tabla 5. Valores medios, máximos y mínimos de la precipitación en la cuenca del río Risaralda

Estación		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TAJARA ALEJANDRIA (26140080)	MIN	19.00	7.00	37.00	101.00	59.00	30.00	15.40	9.00	34.14	97.00	61.00	33.00
	MED	86.01	94.34	137.05	217.92	213.98	125.92	123.75	123.69	161.80	189.47	165.56	116.31
	MAX	196.00	237.00	223.00	540.00	393.00	295.00	271.00	264.00	402.00	342.00	306.00	198.00
TAPARCAL (26140090)	MIN	5.00	22.00	51.00	66.00	96.00	27.00	27.00	0.00	24.00	86.80	90.00	1.00
	MED	129.14	135.55	189.67	255.25	294.28	204.38	152.71	17.60	195.32	283.36	294.51	189.62
	MAX	356.00	378.00	550.00	516.00	677.00	429.00	573.00	428.00	440.00	601.00	692.00	582.00
SAN CLEMENTE (26140110)	MIN	9.00	15.00	53.00	54.00	131.00	23.10	6.00	9.00	42.00	98.00	93.00	17.00
	MED	120.29	120.75	184.34	260.40	256.29	169.29	170.74	161.54	236.12	267.08	209.94	156.17
	MAX	378.00	372.00	467.00	704.00	515.00	333.00	685.00	436.00	752.00	679.00	538.00	475.00
MISTRATO (26140120)	MIN	18.00	11.50	13.00	65.00	84.00	33.00	47.00	4.00	37.80	44.00	44.00	30.00
	MED	121.01	126.53	142.96	216.67	230.19	174.28	148.68	163.71	195.29	225.47	216.93	175.15
	MAX	621.00	488.00	451.93	796.00	618.00	708.00	711.00	806.00	995.00	909.00	956.00	995.00
VIRGINIA LA-ALERTA (2614080)	MIN	11.00	14.00	51.00	106.00	100.00	34.00	0.00	3.00	35.00	38.00	84.00	52.00
	MED	98.31	114.06	179.44	219.23	240.97	160.35	126.26	109.08	147.72	191.66	214.50	141.35
	MAX	228.00	284.00	421.20	495.00	374.00	427.00	364.00	293.00	238.00	433.00	422.00	319.00
LA VIRGINIA (26140330)	MIN	7.00	12.00	26.00	30.00	97.00	53.00	33.00	21.00	40.00	78.00	94.00	47.00
	MED	85.68	104.33	128.01	211.69	188.21	170.59	113.19	105.90	126.15	204.20	189.88	131.39
	MAX	237.67	416.50	232.00	329.00	271.30	294.00	281.00	205.00	246.00	432.00	299.00	221.00
BELLAVISTA (26145020)	MIN	23.00	0.00	47.00	40.00	57.50	55.00	13.30	9.40	23.70	78.80	108.00	19.40
	MED	110.36	109.72	151.45	252.55	222.30	147.47	125.49	153.01	165.18	221.89	175.29	116.90
	MAX	280.00	415.00	367.00	505.00	398.00	278.00	305.90	401.00	374.70	406.82	399.50	312.80
LA CAMELIA (26145030)	MIN	2.40	8.10	10.60	62.90	96.90	61.60	6.20	4.90	62.00	111.49	75.40	21.30
	MED	94.06	115.53	150.43	208.03	214.94	187.57	153.18	156.23	172.83	229.29	222.79	138.65
	MAX	228.00	289.40	295.30	502.70	434.00	637.24	361.40	266.80	319.00	389.40	443.10	386.60
LA SAMARIA (26145050)	MIN	0.00	26.00	22.00	77.60	107.00	62.00	31.60	19.00	38.50	35.00	76.30	29.66
	MED	73.78	76.28	118.04	224.12	205.96	179.27	144.38	134.82	124.07	217.90	173.04	89.61
	MAX	164.70	164.90	272.55	354.10	339.40	413.60	289.80	300.60	202.61	377.00	362.80	166.70
MARACAY (54010020)	MIN	30.00	10.00	57.00	78.00	107.00	79.00	33.00	4.00	59.00	68.00	83.00	4.00
	MED	146.41	155.95	200.60	280.97	280.33	240.46	189.98	214.87	221.28	313.32	307.13	194.06
	MAX	399.00	944.00	703.00	962.00	895.00	741.00	726.00	777.00	800.00	1052.00	985.00	574.00

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.2 Temperatura media del Aire

Cuando se habla de la temperatura del aire en superficie se hace referencia a la lectura que se toma de un termómetro expuesto al aire en una caseta o abrigo meteorológico, a una altura comprendida entre 1,25 y 2 metros sobre el nivel del

suelo. En un punto cualquiera de la tierra, las temperaturas más bajas (mínimas) se presentan luego del enfriamiento nocturno y antes de que la radiación solar empiece a superar la terrestre. En la región intertropical, la temperatura máxima se presenta un poco después del medio día (aproximadamente dos horas después del cenit), cuando la inclinación de los rayos solares es aún pequeña y la ganancia de radiación por parte de la tierra continúa superando las pérdidas.

De otro lado, se sabe que la temperatura varía con la altitud, disminuyendo gradualmente en la medida que se asciende, lo que se conoce como gradiente térmico vertical y hace parte de la explicación de los pisos térmicos. Es normal, entonces que, en la medida en que ascendemos por la ladera de las montañas que enmarcan la cuenca del río Risaralda, los valores de temperatura se hagan cada vez menores.

La región presenta una gran variedad de climas, desde las zonas bajas con temperaturas superiores a 22° C, en la planicie del Valle del Cauca, hasta zonas más altas, con temperaturas medias de 15° C en la zona montañosa.

6.2.1 Distribución espacial de la temperatura

El comportamiento de la temperatura es posible analizarlo con el trazo de las isotermas, líneas que por teoría unen puntos con igual valor de temperatura. En la Figura 34 se observa el mapa de isotermas mensuales multianuales en la cuenca del río Risaralda, de allí se puede establecer que hacia la parte alta de la cuenca, se presentan temperaturas medias de 14 °C, posteriormente hacia la parte media de la cuenca la temperatura promedio es de 22 °C y hacia la parte baja se presentan valores que oscilan entre 26 y 30 °C.

En la Tabla 6 se presentan la estación seleccionada para análisis de temperatura media en función de la información disponible y con el cumplimiento de los criterios de consistencia y homogeneidad.

Tabla 6. Estaciones seleccionadas de Temperatura Media del Aire

ESTACIÓN	ENTIDAD	CUENCA	REGISTRO		AÑOS TOTALES	AÑOS INCOMPLETOS	VALOR MEDIO ANUAL (°C)
			DESDE	HASTA			
PUEBLO RICO	IDEAM	RISARALDA	1983	2015	33	10	18.7

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

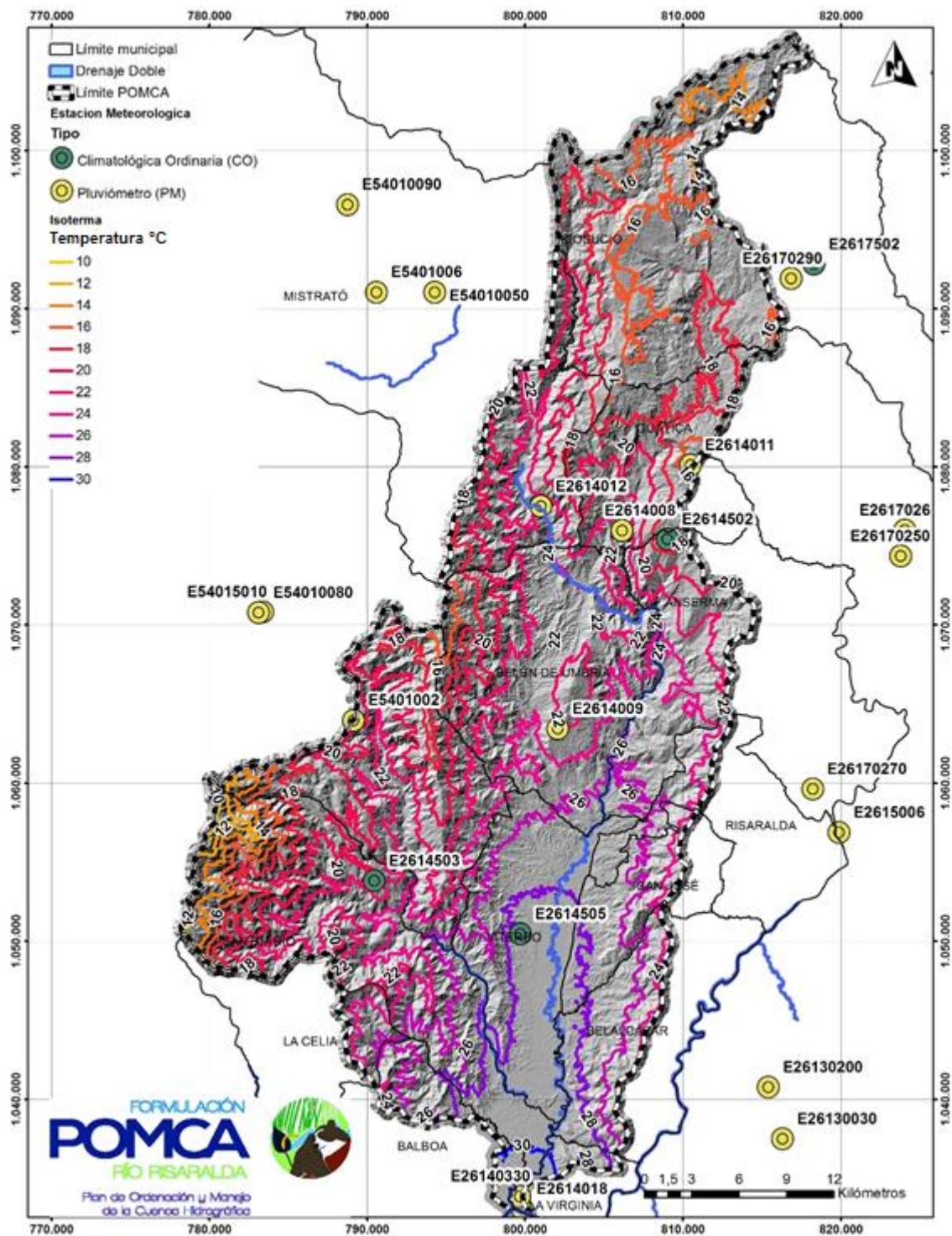


Figura 34. Isotermas cuenca Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.2.2 Distribución temporal de la temperatura

En la Figura 35 se observa el comportamiento de la temperatura en la estación Pueblo Rico, las barras de color verde hacen referencia a los valores medios, no se aprecia variaciones significativas, la temperatura oscila entre 18 y 19 °C

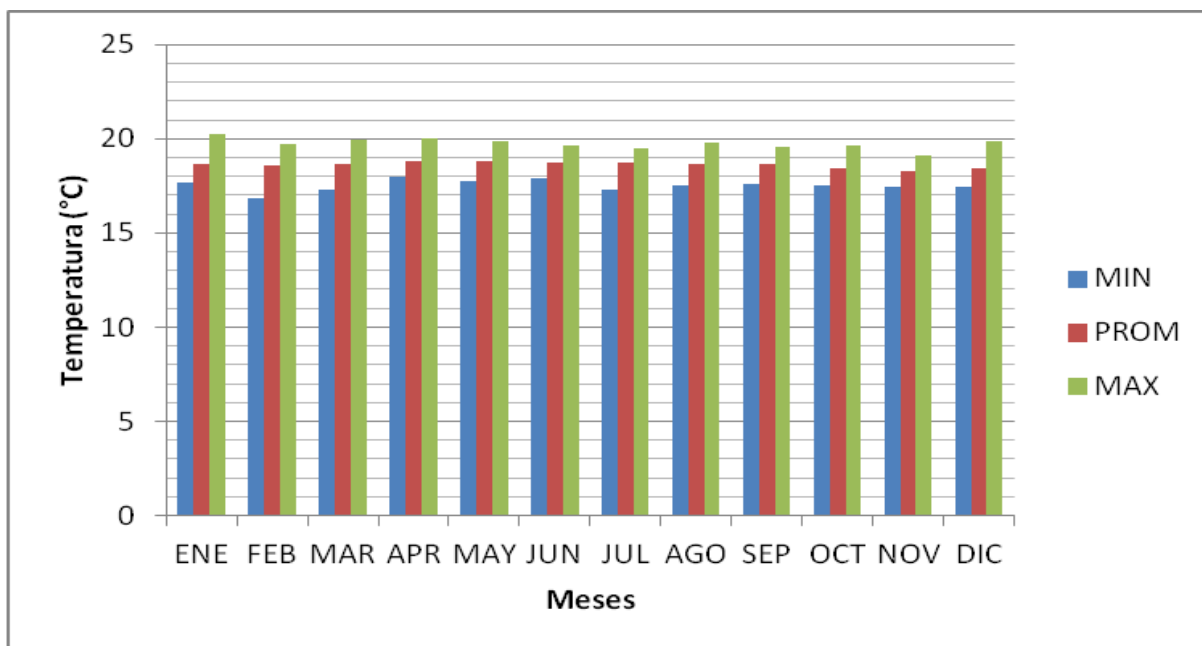


Figura 35. Variación temporal temperatura estación Pueblo Rico

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

En la Figura 36 se presenta la gráfica de masas para la temperatura en la estación Pueblo Rico, en donde se puede observar los datos corregidos. Por su parte la Figura 37, muestra el gráfico de box mensual.

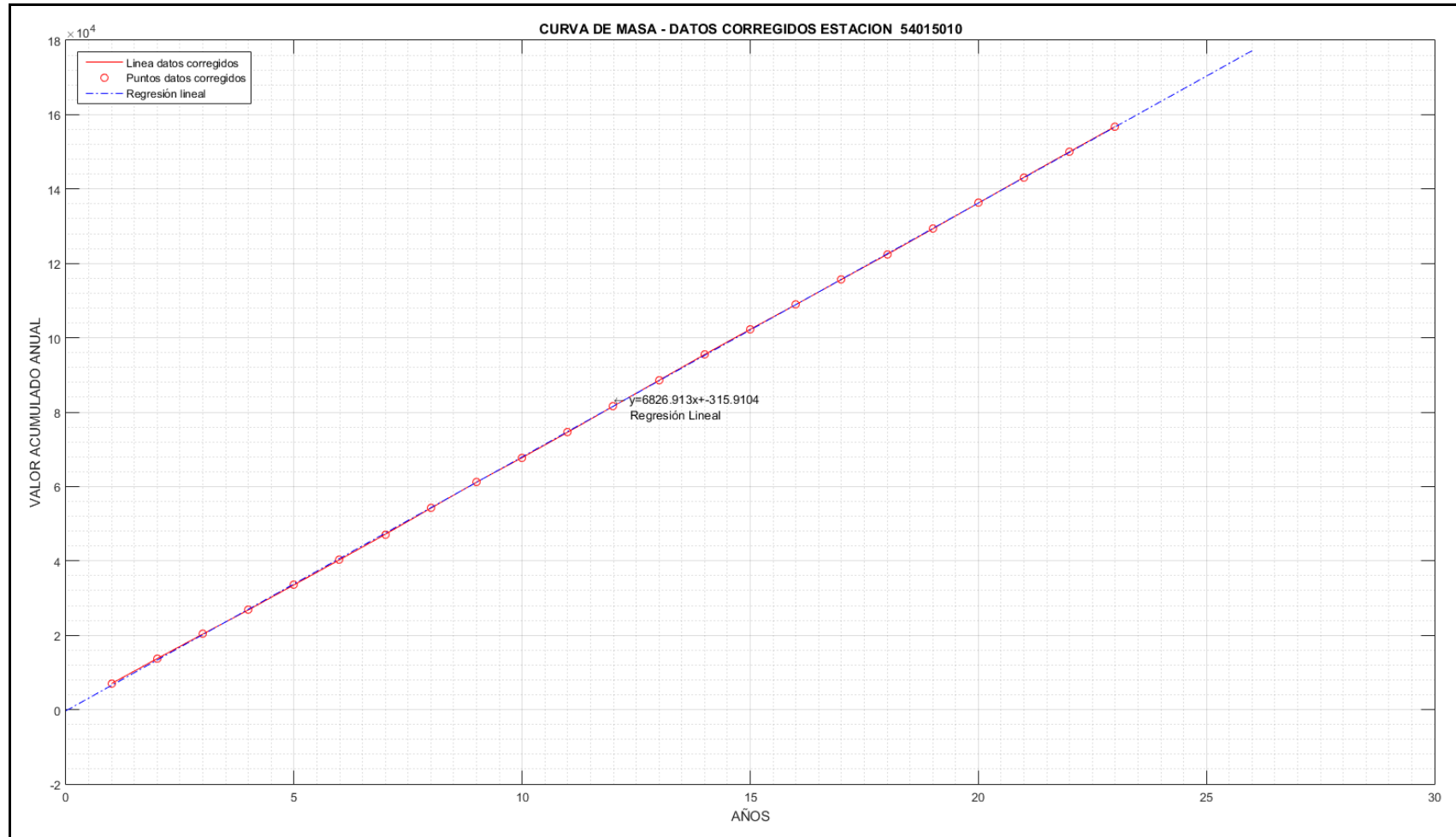


Figura 36. Gráfica de masas temperatura estación Pueblo Rico
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

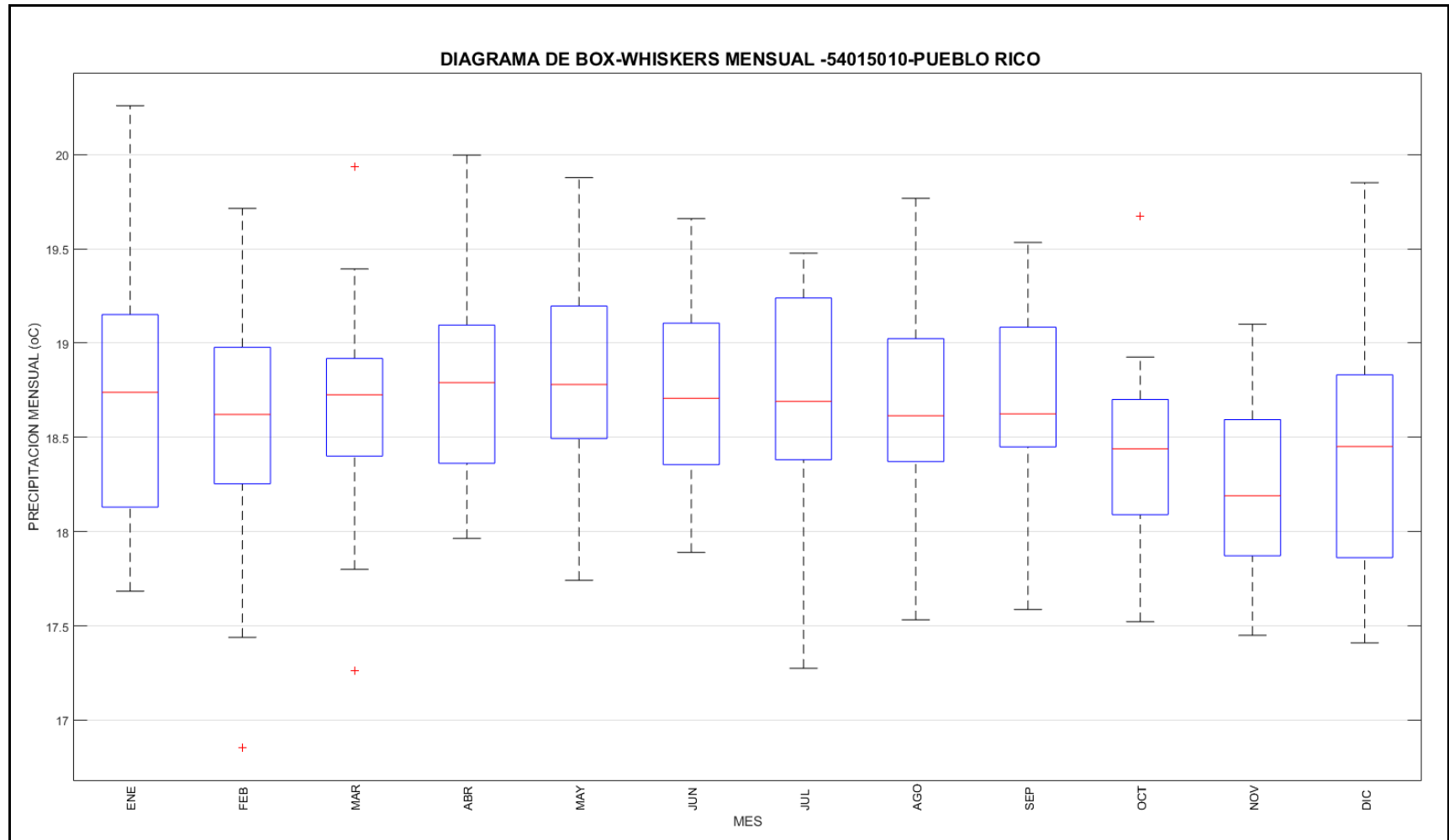


Figura 37. Gráfica de box mensual estación Pueblo Rico
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

La Tabla 7 consolida los resultados de los valores máximos (MAX), medios (MED) y mínimos de temperatura mensual para las estaciones dentro de la cuenca Risaralda.

Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos de temperatura en la cuenca del río Risaralda

Estación		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
APTO MATECAÑA (26135040)	MIN	20.21	20.55	20.74	20.50	20.39	20.33	20.40	20.45	19.97	20.09	19.91	20.12
	MED	21.88	22.03	21.91	21.58	21.51	21.65	21.93	22.03	21.60	21.01	21.03	21.47
	MAX	24.15	23.93	23.45	22.45	22.63	23.71	23.69	24.08	23.63	22.13	22.04	22.79
JARDIN BOTÁNICO (26135090)	MIN	19.14	18.73	19.45	19.44	19.44	19.26	19.70	19.38	18.70	18.85	19.10	19.34
	MED	20.29	20.45	20.30	20.18	20.05	20.19	20.34	20.44	19.84	19.63	19.71	19.91
	MAX	22.51	22.18	20.89	21.22	20.58	20.94	21.49	22.11	20.51	20.23	20.13	21.33
VERACRUZ (26135110)	MIN	17.68	17.90	17.84	17.68	18.00	17.74	17.93	17.81	17.58	17.45	17.15	17.35
	MED	18.92	19.01	19.00	18.75	18.75	18.71	18.93	18.87	18.60	18.22	18.34	18.48
	MAX	20.27	20.77	20.29	19.98	20.21	19.88	20.32	20.68	19.96	19.75	19.08	19.57
LA LAGUNA (26135140)	MIN	4.67	4.41	5.33	5.70	6.05	5.85	5.71	5.94	5.21	5.13	5.07	5.31
	MED	5.30	5.79	5.90	6.32	6.86	6.38	6.29	6.22	5.90	5.95	5.64	5.81
	MAX	6.49	7.60	6.78	7.64	7.92	7.05	6.85	6.56	6.73	6.62	5.97	6.58
SAN REMO (26135160)	MIN	15.82	16.05	16.36	16.68	16.68	16.52	16.63	16.44	16.01	15.85	16.09	16.15
	MED	16.99	17.30	17.26	17.24	17.31	17.22	17.34	17.49	16.95	16.85	16.86	16.90
	MAX	18.78	18.44	18.32	18.27	17.91	17.80	18.14	18.66	18.24	17.48	17.91	17.60
PUEBLO RICO (54015010)	MIN	17.68	16.85	17.26	17.96	17.74	17.89	17.28	17.53	17.59	17.52	17.45	17.41
	MED	18.66	18.58	18.66	18.80	18.83	18.76	18.75	18.66	18.66	18.42	18.27	18.41
	MAX	20.26	19.71	19.94	20.00	19.88	19.66	19.48	19.77	19.53	19.67	19.10	19.85

6.3 Humedad Relativa

En la baja atmósfera existen cantidades variables de agua en estado de vapor, las cuales se constituyen en uno de los componentes más importantes del aire atmosférico. En los primeros kilómetros de la tropósfera se encuentra concentrada la mayor parte del vapor de agua, procedente en su mayoría de los depósitos superficiales de agua (lagos, ríos y mares). Cuando una masa de aire se enfría se reduce su volumen y aumenta su razón de mezcla haciéndose más húmeda, razón por la cual los valores de humedad se incrementen en la medida que se asciende por las laderas de las montañas.

La humedad relativa es un parámetro de importancia para medir la evapotranspiración potencial y otros factores climáticos. En la cuenca, este parámetro se mide en las estaciones que aparecen en Tabla 8.

Tabla 8. Estaciones con Información de Humedad Relativa

Nombre	Entidad	Cuenca	Registro		Años totales	Años incompletos	Valor mínimo anual (%)	Valor medio anual (%)	Valor máximo anual (%)
			Desde	Hasta					
BELLAVISTA	IDEAM	RISARALDA	1978	2015	38	15	68.0	86.5	96.4
LA CAMELIA	IDEAM	RISARALDA	1978	2015	38	10	60.1	83.5	97.5
LA SAMARIA	IDEAM	RISARALDA	1978	1995	18	11	58.2	78.6	94.8

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.3.1 Distribución espacial de la humedad relativa

La humedad relativa, al igual que la precipitación crece en la medida en que se asciende por las montañas que limitan la cuenca presentando valores medios que, en su mayoría, oscilan entre 70% en los meses secos (enero a marzo) y 85% en los períodos en que aumentan las lluvias (mediados de abril hasta el mes de noviembre).

6.3.2 Distribución temporal de la humedad relativa

La Figura 38 a Figura 40 se muestra el comportamiento de la humedad relativa en las estaciones: La Samaria, La Camelia y Bellavista, los valores promedios muestran una tendencia muy similar a lo largo del año con porcentajes (%) de humedad entre los 78 y 80.

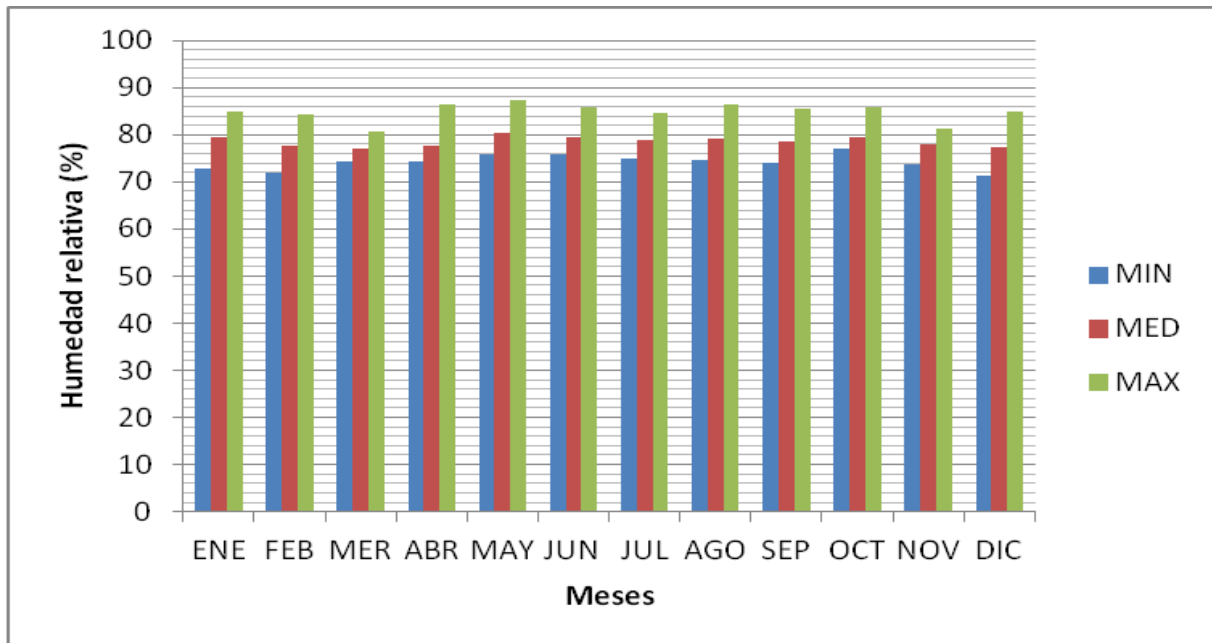


Figura 38. Comportamiento de la humedad relativa estación La Samaria
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

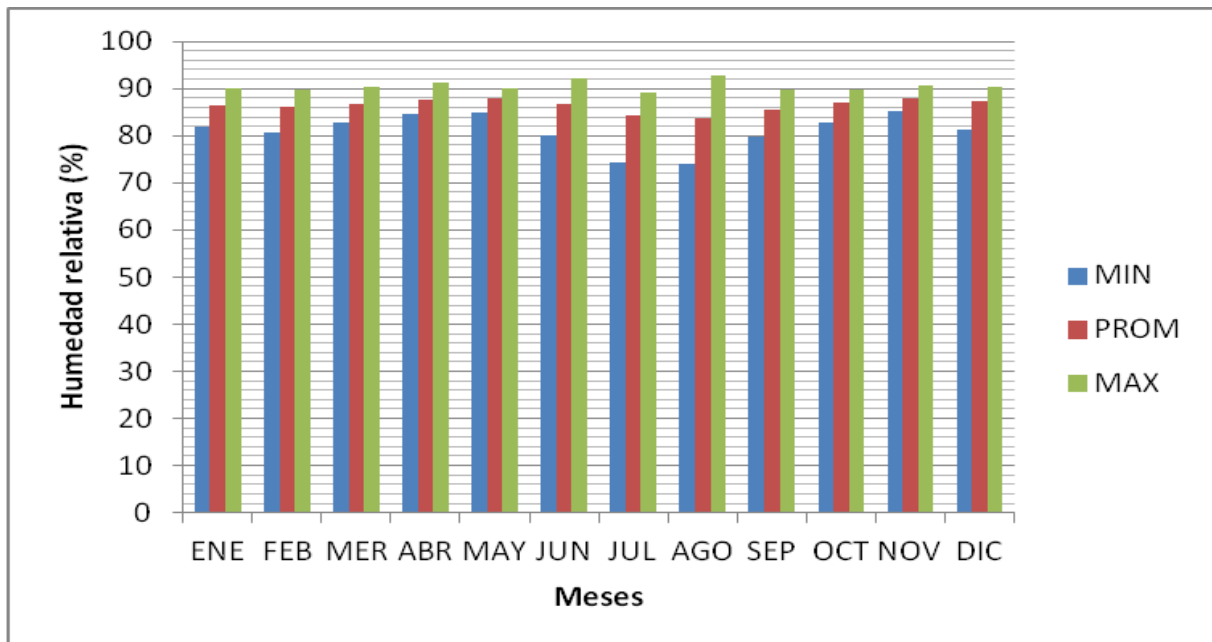


Figura 39. Comportamiento de la humedad relativa estación Bellavista
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

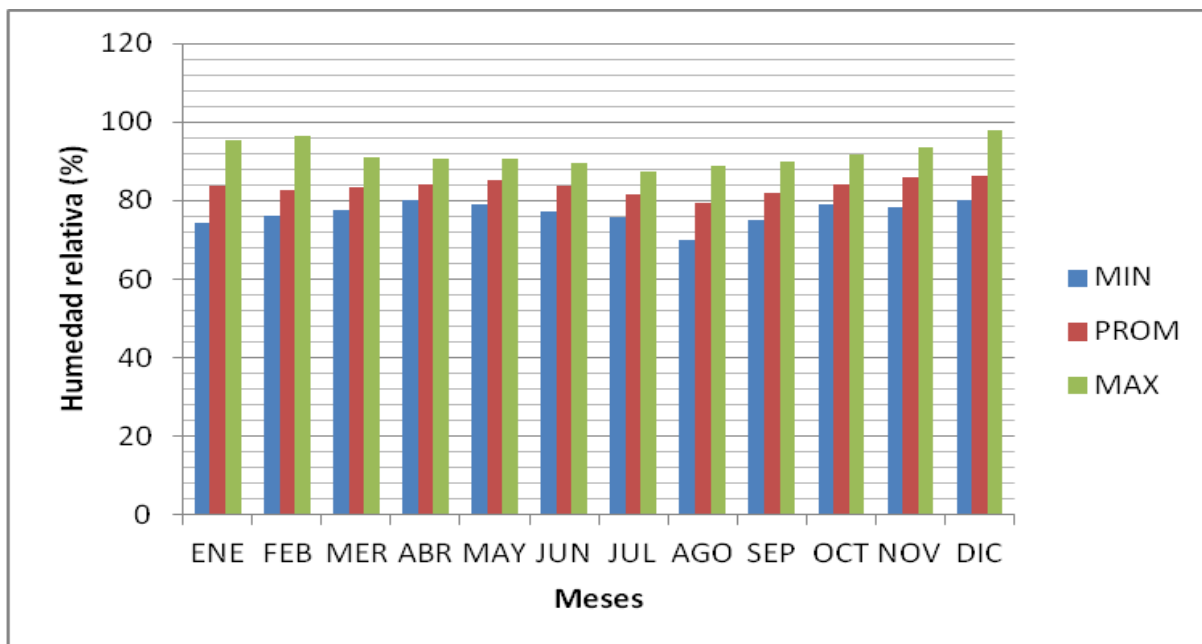


Figura 40. Comportamiento de la humedad relativa estación La Camelia
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

A continuación se muestra en Tabla 9, la cual consolida los resultados de los valores máximos (MAX), medios (MED) y mínimos de humedad relativa mensual para las estaciones dentro de la cuenca Risaralda.

Tabla 9. Valores medios, máximos y mínimos de humedad relativa en la cuenca del río Risaralda

Estación		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BELLAVISTA (26145020)	MIN	82.03	80.82	82.79	84.50	85.00	79.97	74.23	74.03	79.63	82.67	85.10	81.28
	MED	86.45	86.16	86.77	87.75	87.89	86.70	84.27	83.80	85.60	87.08	87.85	87.46
	MAX	90.19	89.89	90.42	91.37	90.07	92.30	89.29	92.68	89.66	89.77	90.60	90.29
LA CAMELIA (26145030)	MIN	74.13	76.11	77.55	80.10	79.06	77.13	75.71	69.82	74.96	79.04	78.46	80.10
	MED	83.87	82.56	83.32	84.23	85.15	83.79	81.54	79.36	82.03	84.26	86.06	86.15
	MAX	95.40	96.54	90.90	90.77	90.61	89.63	87.55	89.00	89.87	91.72	93.39	98.00
BELLAVISTA (26145020)	MIN	72.94	72.04	74.47	74.46	75.97	75.73	74.81	74.67	74.10	76.94	73.72	71.23
	MED	79.32	77.77	77.07	77.56	80.39	79.39	78.97	79.03	78.48	79.61	77.89	77.43
	MAX	84.86	84.20	80.55	86.39	87.21	85.93	84.55	86.41	85.40	85.80	81.18	84.90

6.4 Evaporación

La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, se debe a los procesos de evaporación del agua líquida, sublimación del hielo y transpiración de las plantas. Físicamente se puede definir como la conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición. Los elementos meteorológicos más importantes en un proceso de evaporación son la temperatura y el viento, sin embargo, los niveles de evaporación dependen directamente de la capacidad de retención. En las regiones montañosas es común observar que los totales de evaporación disminuyen cuando se asciende, presentándose los valores más bajos en la franja que coincide con el nivel de condensación.

Los registros de evaporación consisten en dos (2) estaciones, y son por lo tanto de bajo cubrimiento como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10. Estaciones con Registro de Evaporación

Nombre	Entidad	Cuenca	Registro		Años totales	Años incompletos	Valor mínimo anual (mm)	Valor medio anual (mm)	Valor máximo anual (mm)
			Desde	Hasta					
BELLAVISTA	IDEAM	RISARALDA	1979	2015	37	24	806.6	1122.7	1270.2
LA CAMELIA	IDEAM	RISARALDA	1979	2013	35	14	1032.0	1436.0	1656.7

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.4.1 Distribución espacial de la evaporación

En la Figura 41, se observa cómo se comporta la evaporación en la cuenca del río Risaralda, hacia la parte alta se presentan valores de 950 mm, hacia la parte media valores de 1200 mm y hacia la parte baja valores de 1400 mm

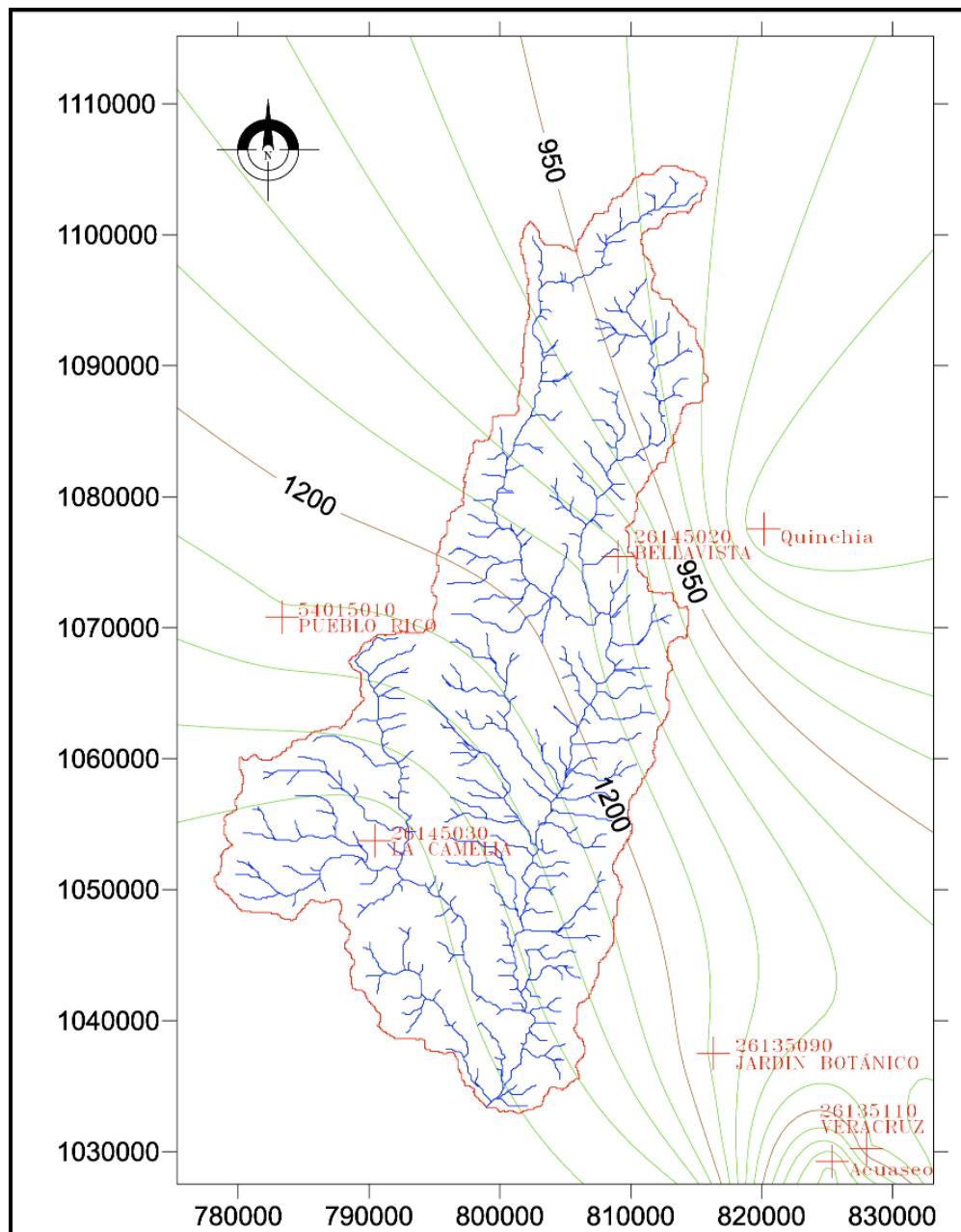


Figura 41. Distribución espacial de la evaporación
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.4.2 Distribución temporal de evaporación

Durante las épocas de lluvia la nubosidad aumenta haciendo que disminuya la cantidad de radiación sobre la superficie, lo que se ve reflejado en una

disminución de la térmica del aire en superficie. El enfriamiento del aire, debido a las lluvias y el decrecimiento de los valores de radiación, dan como resultado un aumento de la humedad del aire, condición que determina la disminución de los procesos de evaporación.

La estación La Camelia que se localiza a una altura de 1700 msnm, para esta estación se observa que los valores medios oscilan entre 105 y 138 mm, correspondiendo los valores máximos en el mes de julio - agosto y los valores menores en los meses de noviembre - diciembre (Figura 42), por su parte para la estación Bellavista presenta un comportamiento de la evaporación presenta valores medios que oscilan entre 80 y 110 mm, presentándose en el mes de abril, julio y agosto los mayores valores (Figura 43).

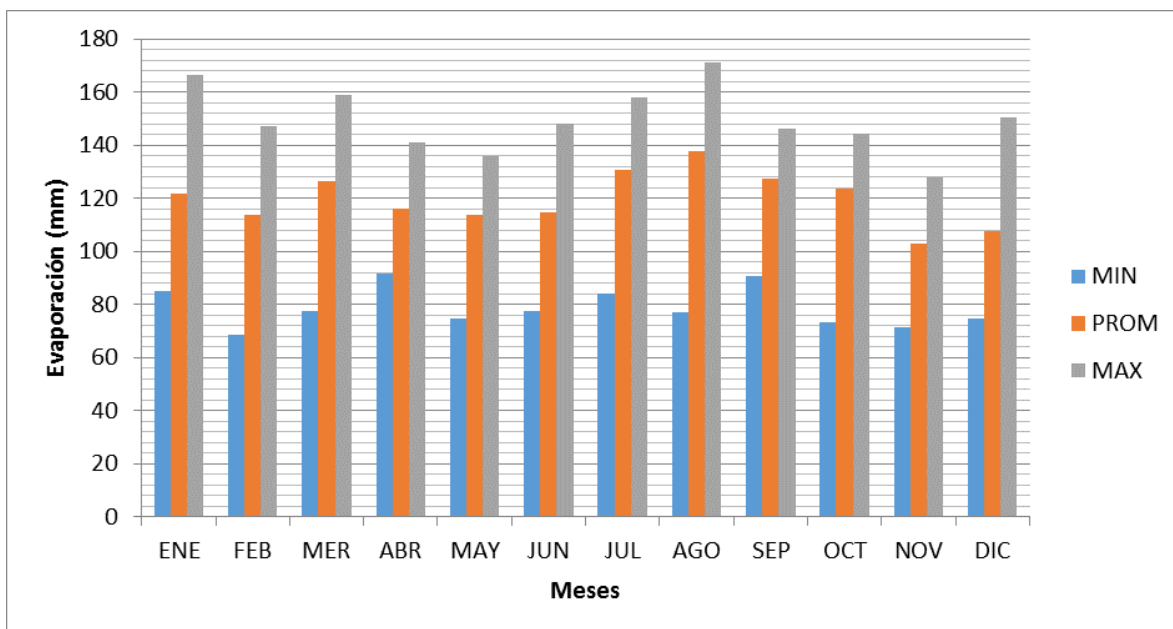


Figura 42. Comportamiento de evaporación estación La Camelia
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

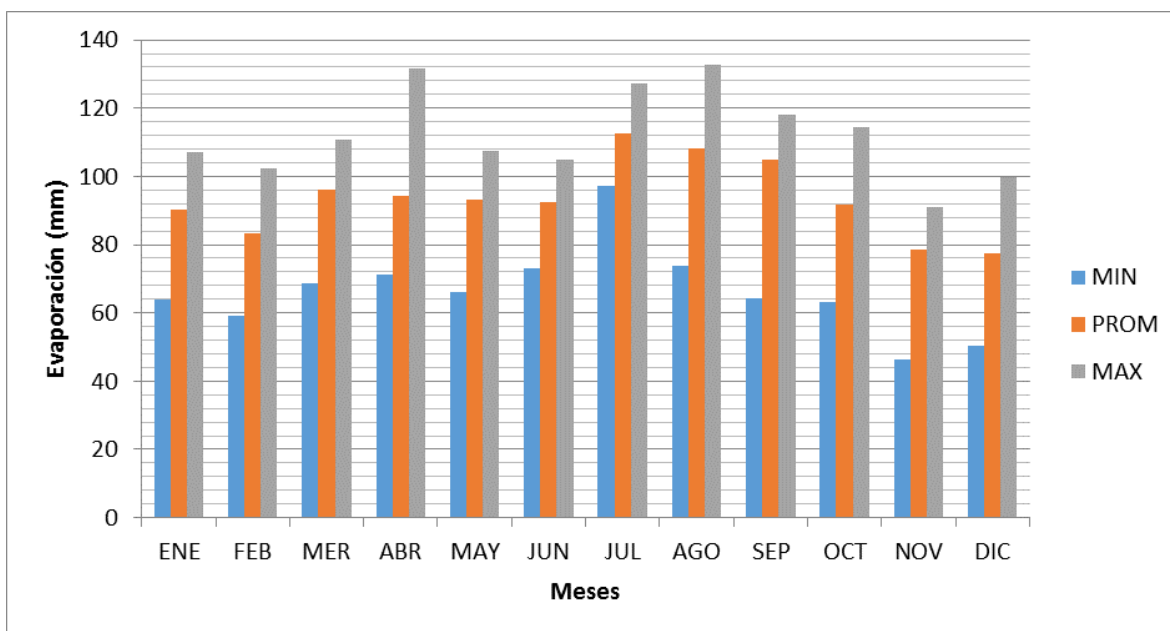


Figura 43. Comportamiento de evaporación estación Bellavista
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

A continuación, se muestra en la Tabla 11 el consolidado de los resultados para los valores máximos (MAX), medios (MED) y mínimos de evaporación mensual para las estaciones dentro de la cuenca Risaralda.

Tabla 11. Valores medios, máximos y mínimos de evaporación (mm) en la cuenca del río Risaralda

Estación		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Bellavista (26145020)	Min	64.0	59.22	68.57	71.40	66.24	73.03	97.34	73.90	64.10	63.31	46.50	50.40
	Med	90.3	83.41	96.22	94.13	93.09	92.54	112.4	108.1	104.9	91.69	78.38	77.36
	Max	107.2	102.2	110.6	131.7	107.6	105.0	127.1	132.7	118.2	114.5	91.03	99.86
La camelia (26145030)	Min	85.1	68.53	77.40	91.70	74.61	77.38	83.90	76.98	90.69	73.16	71.24	74.86
	Med	121.7	113.7	126.3	115.8	113.7	114.7	130.6	137.5	127.2	123.7	103.0	107.
	Max	166.	146.8	158.7	141.1	135.8	147.9	158.0	170.9	146.3	144.2	127.6	150.3

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.5 Brillo Solar

La duración del brillo solar representa el tiempo total (en horas normalmente) durante el cual incide la luz solar de manera directa sobre la superficie, en un lugar cualquiera de la tierra. El total de horas de brillo solar efectivo es uno de los factores que determinan el clima de una región. Este elemento meteorológico es

importante en muchas de las actividades del ser humano. Sectores como el agrícola, forestal, turismo, construcción y energía, planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades sobre la perspectiva de disponer de un suficiente número de horas con brillo solar durante el día.

En la Tabla 12 se presentan las estaciones en las cuales se procesó información para análisis temporal de brillo solar.

Tabla 12. Estaciones con Registro de Brillo Solar

Nombre	Entidad	Cuenca	Registro		Años totales	Años incomple- tos	Valor medio anual (horas)
			Des de	Hasta			
BELLAVISTA	IDEAM	RISARALDA	1979	2015	37	10	1417.3
LA CAMELIA	IDEAM	RISARALDA	1979	2015	37	13	1619.7
LA BOHEMIA	IDEAM	RISARALDA	1979	2015	37	9	1988.6
PUEBLO RICO	IDEAM	RISARALDA	1979	2015	37	12	1272.7
APTO SANTAGUEDA	IDEAM	RISARALDA	1979	1987	9	1	2126.5

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.5.1 Distribución temporal del brillo solar

Se observa un comportamiento para valores medios mensuales multianuales que oscilan entre 110 horas en el mes de abril (el menor valor) y 160 horas en el mes de agosto (el mayor valor), se observa un comportamiento bimodal, (Figura 44 a Figura 47).

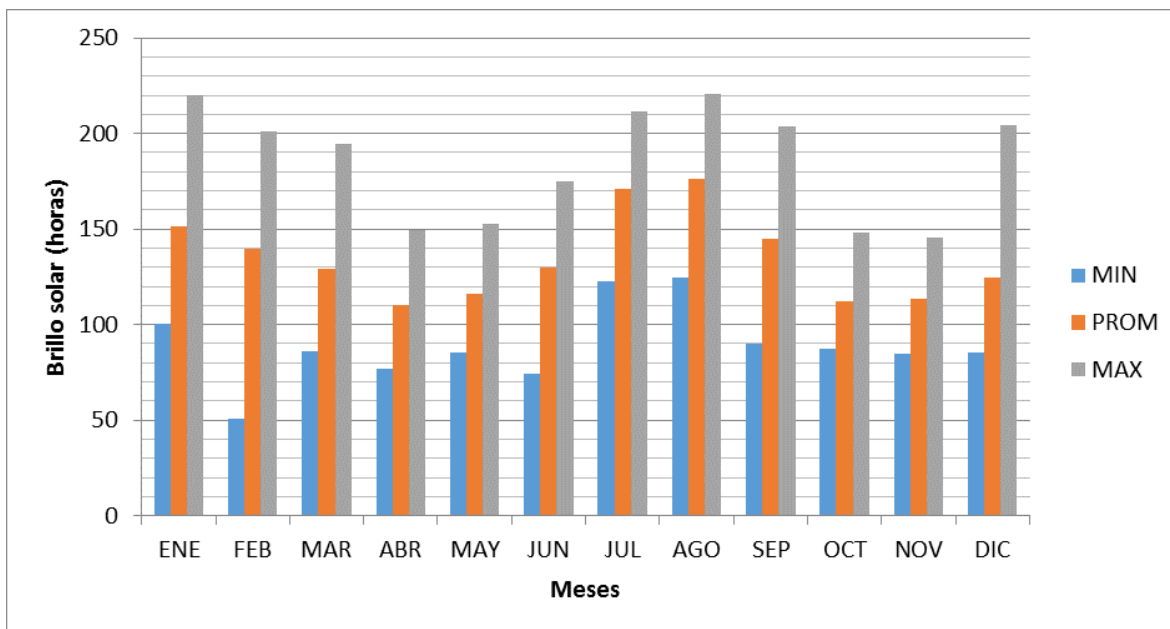


Figura 44. Comportamiento del brillo solar estación La Camelia
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

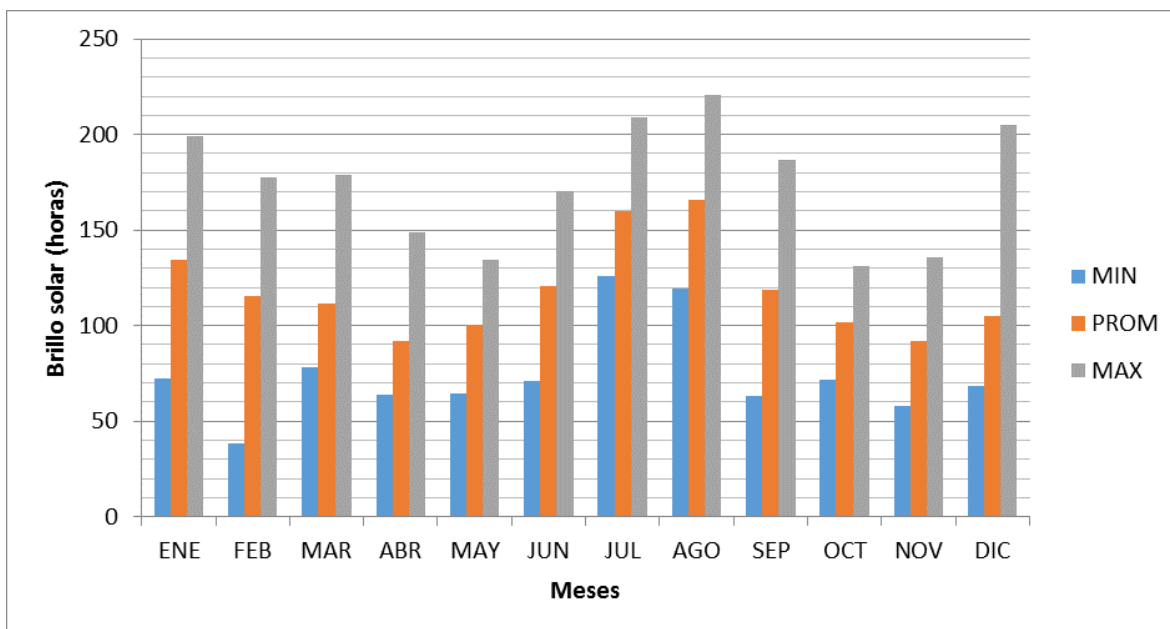


Figura 45. Comportamiento del brillo solar estación Bellavista
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

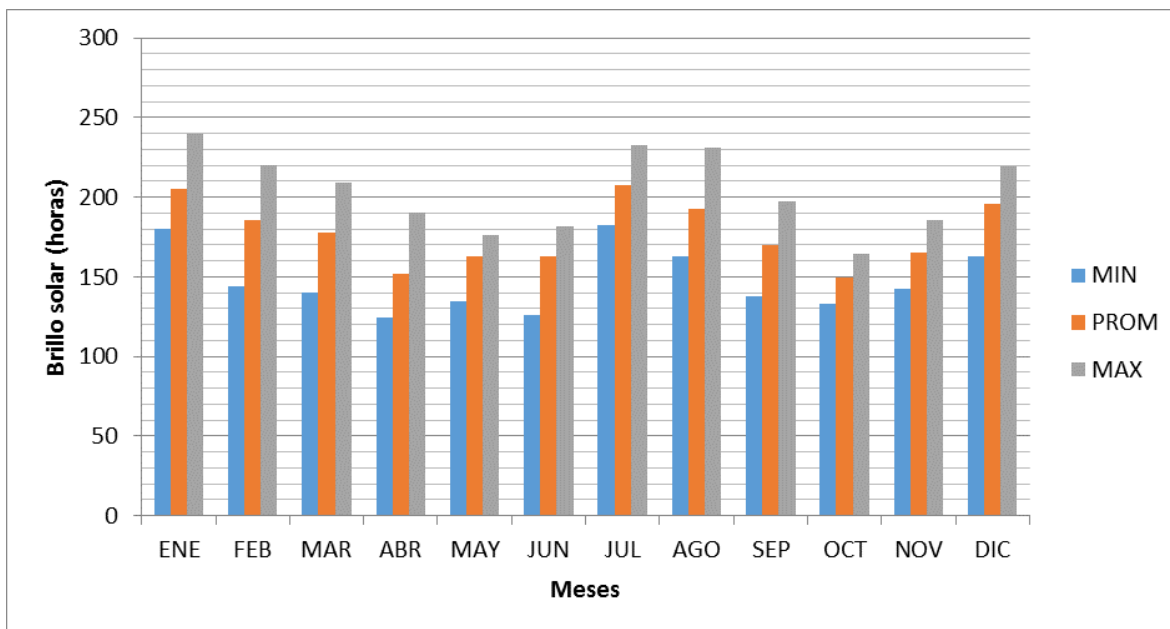


Figura 46. Comportamiento del brillo solar estación Aeropuerto Santagueda
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

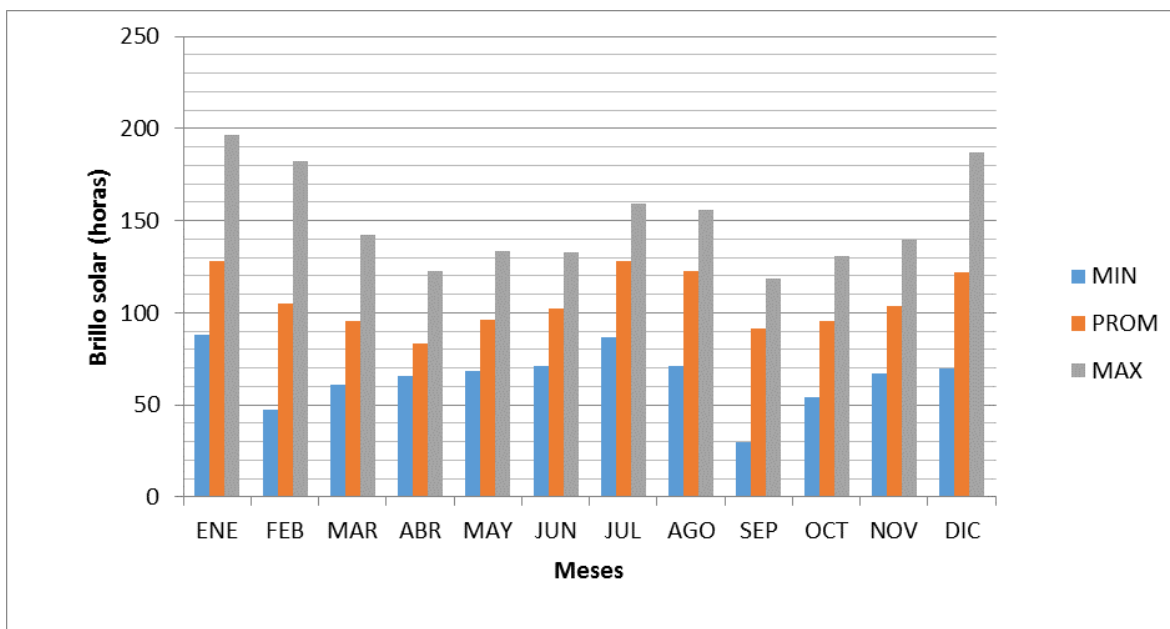


Figura 47. Comportamiento del brillo solar estación Pueblo Rico
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

La Tabla 13, consolida los resultados de los valores máximos (MAX), medios (MED) y mínimos de brillo solar mensual para las estaciones dentro de la cuenca Risaralda.

Tabla 13. Valores medios, máximos y mínimos de brillo solar (horas) en la cuenca del río Risaralda

Estación		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
LA BOHEMIA (26135100)	MIN	152.20	86.70	121.10	95.90	117.70	96.70	147.80	146.00	117.90	115.90	99.10	122.60
	MED	198.93	166.91	171.85	138.71	147.57	148.26	185.15	185.68	163.00	148.77	156.06	177.71
	MAX	253.90	219.40	240.56	182.70	175.20	185.50	216.20	223.10	206.44	185.00	184.55	262.40
BELLAVISTA (26145020)	MIN	72.00	38.30	78.20	63.50	64.78	70.90	125.82	119.35	63.00	71.80	58.00	68.30
	MED	134.66	115.30	111.23	91.97	100.28	120.39	160.18	165.85	118.39	101.93	92.08	105.01
	MAX	198.90	177.80	179.00	148.76	134.37	170.54	208.80	220.41	186.83	130.80	135.72	204.70
LA CAMELIA (26145030)	MIN	100.44	50.60	85.87	76.60	85.46	74.30	122.67	124.30	89.70	87.63	84.90	85.60
	MED	151.65	139.71	129.37	109.99	116.10	129.92	171.32	176.08	145.04	112.42	113.46	124.63
	MAX	219.80	201.06	194.80	149.60	152.50	174.60	211.32	220.72	203.50	148.37	145.20	204.19
APTO SANTAGUEDA (26155120)	MIN	180.40	143.70	140.10	124.24	134.75	126.00	182.20	163.00	138.00	133.10	142.40	162.50
	MED	205.06	185.97	177.53	151.75	162.88	163.06	207.37	192.31	169.92	149.67	165.58	195.44
	MAX	239.42	220.27	208.90	190.40	176.39	181.80	232.60	231.10	196.97	164.20	185.60	219.40
PUEBLO RICO (54015010)	MIN	87.80	47.50	61.00	66.00	68.50	71.10	86.60	71.10	29.90	54.20	67.30	69.40
	MED	128.14	104.71	95.21	83.44	96.05	102.13	128.14	122.76	91.22	95.21	103.95	121.78
	MAX	196.50	182.40	142.50	122.90	133.20	132.80	159.00	155.90	118.80	130.50	139.80	186.83

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

6.5.2 Vientos

No existe información con suficiente homogeneidad y consistencia para realizar un análisis temporal y espacial del clima en la cuenca.

La rosa de los vientos es una herramienta que permite evidenciar el comportamiento del viento en función de su dirección predominante y su velocidad asociada. Es indispensable para la seguridad de la navegación aérea, razón por la cual este tipo de información se toma preferentemente en los aeropuertos del país.

Se presenta la rosa de los vientos para el Aeropuerto Matecaña, el IDEAM tiene publicado la rosa de los vientos para la ciudad de Pereira, Figura 48, donde se puede apreciar que la dirección predominante es Nor Este con un 24%, esto indica acumulación de lluvias hacia ese sector que coincide con la localización del municipio de Dosquebradas y con la parte media – alta de la cuenca, es decir hacia donde se presente el óptimo pluviométrico, adicionalmente favorece la **lluvia orográfica** que es la producida por el ascenso de una columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo **orográfico**, como una montaña, en su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100%, que origina la **lluvia**. Con la dirección predominante de la rosa de las vientos también se puede inferir cuales serían las mejores zonas

para localización de sistemas lenticos artificiales o áreas de almacenamiento de agua como embalses o represas.

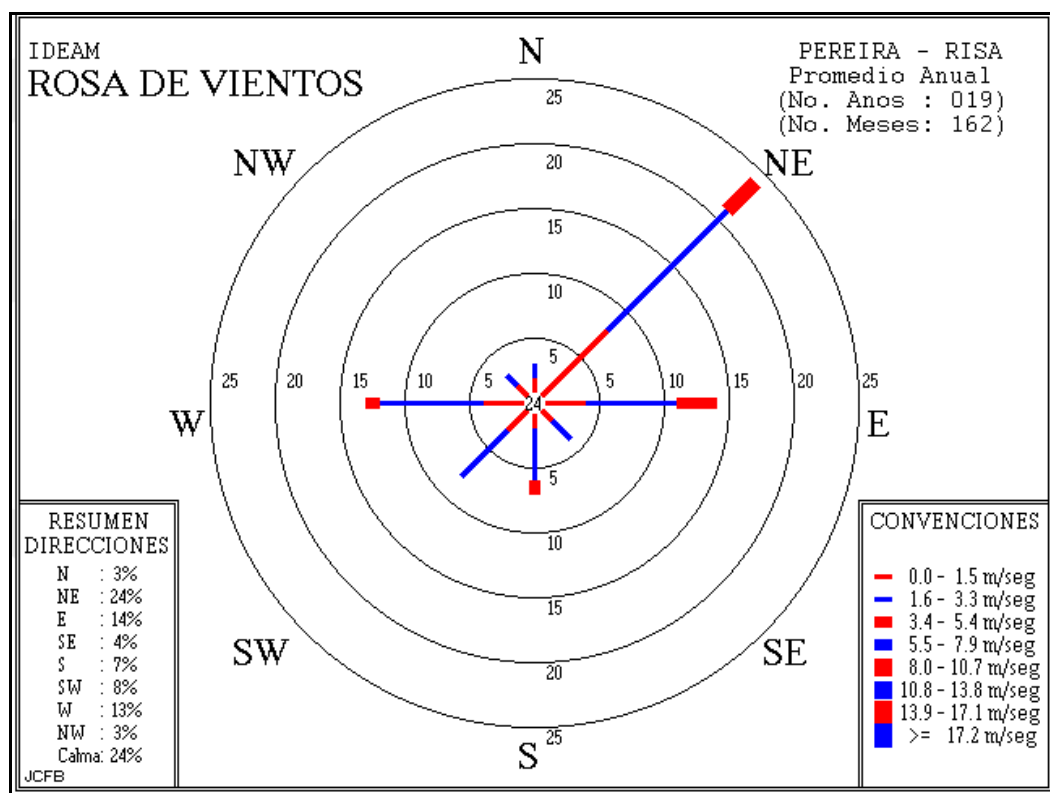


Figura 48. Rosa de los vientos Aeropuerto Matecaña
Fuente: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>, 2016

6.6 Estimación de curvas Intensidad, Frecuencia, Duración (IDF)

Las curvas IDF para todas las estaciones de la cuenca del Risaralda se obtuvieron mediante el método de Vargas y Díaz Granados¹, que se ha encontrado muy adecuado para el análisis, con base en la síntesis de más de 250 curvas de este tipo en todo el país. El Método parte de la ecuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e$$

¹ Vargas, M., Díaz Granados, M. "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia". Memorias XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Cali, Colombia, 1998.

Donde I es la intensidad de la lluvia en mm/hr; T es el periodo de retorno en años, t es la duración en horas, M es el valor promedio de la precipitación máxima diaria en mm y N es el número promedio de días con lluvia al año; los términos a , b , c , d , e son constantes que dependen de la localización geográfica de la estación donde se calcula la curva IDF; para la región Andina, se obtuvo $a = 1.22$; $b = 0.19$; $c = 0.66$; $d = 0.83$; $e = -0.05$.

El método está fundamentado en el análisis y depuración estadística de la información recopilada de curvas IDF ubicados en distintas zonas del país y de los resúmenes pluviométricos multianual de las mismas. Posteriormente, se plantean 4 ecuaciones con diferentes parámetros que deberán ser usadas de acuerdo a la región climatológica en donde se esté realizando la estimación de las curvas de intensidad y según la disponibilidad de información asociada a precipitación anual, número de días de lluvia y lluvia máxima en 24 horas.

Los términos a , b , c , d , e son constantes que dependen de la localización geográfica de la estación donde se calcula la curva IDF; para la región Andina, se obtuvo $a = 1.22$; $b = 0.19$; $c = 0.66$; $d = 0.83$; $e = -0.05$.

Tabla 14. Coeficientes a, b, c, d y e según la regionalización adoptada para el cálculo de las curvas IDF.

Tabla 3. Resultados para la Región Andina (R1) . 116 estaciones

	a	b	C	D	E	f	g	r^2
ec.8	0.94	0.18	0.66	0.83				0.93
ec.9	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05			0.93
ec.11	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08		0.93
ec.12	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01	0.93

Fuente: Vargas, M., Díaz Granados, M., 1998.

Tabla 15. Parámetros utilizados para obtener curvas IDF

ESTACION	PARAMETROS ECUACIÓN IDF DIAZ GRANADOS					MAX 24 HORAS (mm)	DÍAS DE LLUVIA
	a	b	c	d	e	M	N
Taijara	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	218	174
Taparcal	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	177	148
San clemente	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	155	157
Mistrató	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	165	183
Virginia	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	150	142
Bellavista	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	121	202
La camelia	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	100	203
La samaria	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	107	149
Línea la porvenir	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05	154	195

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

En cada caso entonces se ha calculado una tabla de valores de I, para diferentes duraciones y diferentes periodos de retorno, y se han graficado como se muestra a continuación.

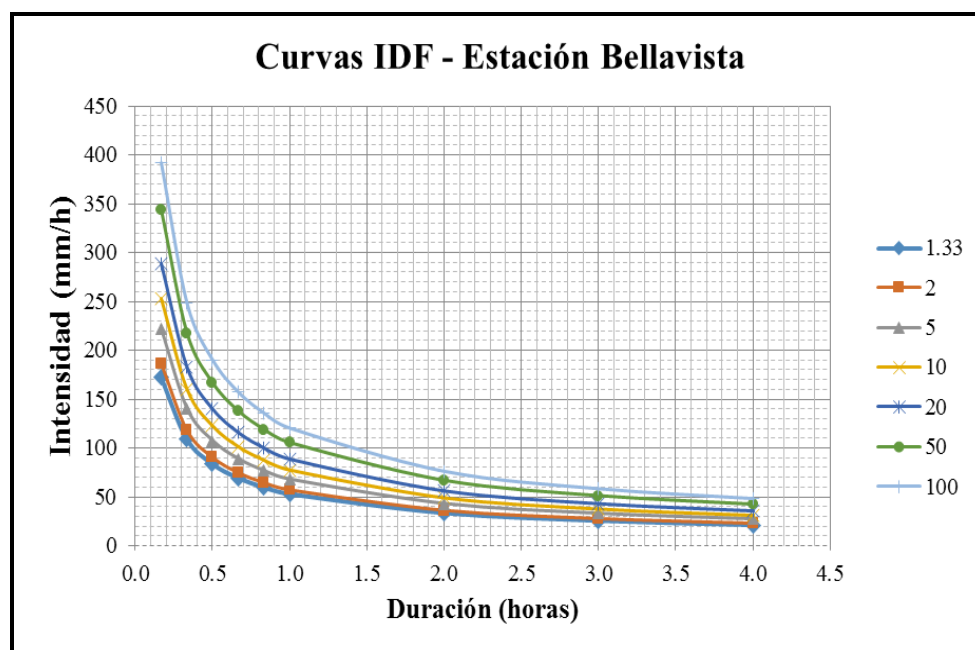


Figura 49. Curvas IDF estación Bellavista

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 16. Datos curva IDF estación Bellavista

	min	Duración								
		10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		172.56	109.21	83.57	69.12	59.65	52.89	33.47	25.61	21.18
2		186.47	118.01	90.31	74.69	64.46	57.15	36.17	27.68	22.89
5		221.93	140.46	107.48	88.89	76.72	68.02	43.05	32.94	27.24
10		253.17	160.23	122.61	101.41	87.52	77.60	49.11	37.58	31.08
20		288.81	182.78	139.87	115.68	99.84	88.52	56.02	42.87	35.45
25		301.32	190.70	145.92	120.69	104.16	92.35	58.45	44.72	36.99
50		343.74	217.54	166.47	137.68	118.82	105.35	66.68	51.02	42.20
100		392.12	248.17	189.90	157.06	135.55	120.18	76.06	58.20	48.14

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

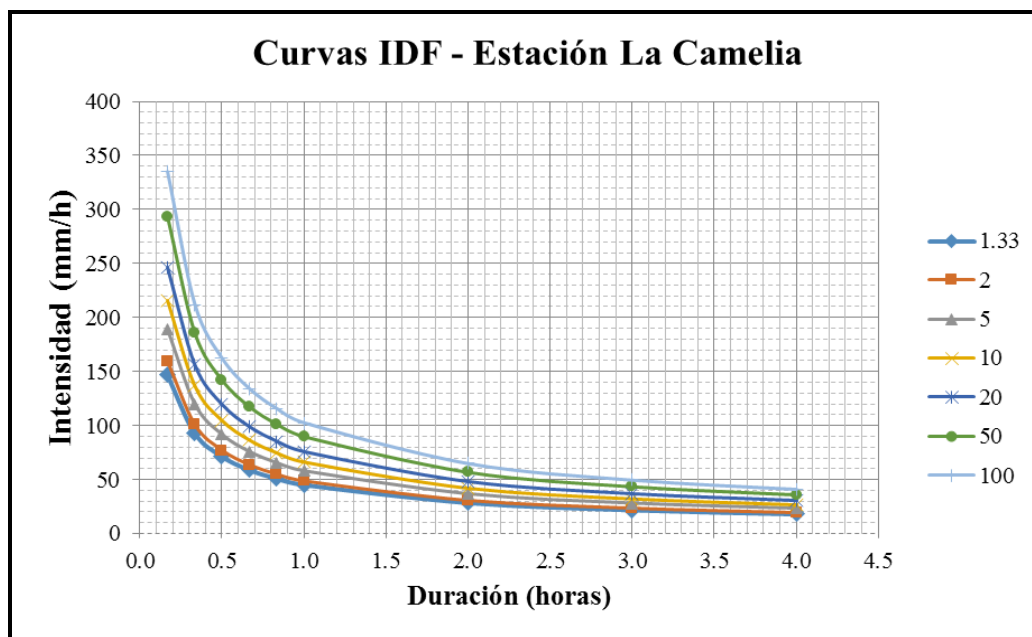


Figura 50. Curvas IDF estación La Camelia

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 17. Datos curva IDF estación La Camelia

		Duración								
		10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	min hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		147.26	93.20	71.32	58.98	50.91	45.13	28.56	21.86	18.08
2		159.13	100.71	77.06	63.74	55.01	48.77	30.87	23.62	19.53
5		189.39	119.86	91.72	75.86	65.47	58.05	36.74	28.11	23.25
10		216.05	136.73	104.63	86.54	74.68	66.22	41.91	32.07	26.52
20		246.46	155.98	119.36	98.72	85.20	75.54	47.81	36.58	30.26
25		257.14	162.74	124.53	102.99	88.89	78.81	49.88	38.17	31.57
50		293.33	185.64	142.06	117.49	101.40	89.90	56.90	43.54	36.01
100		334.62	211.77	162.05	134.03	115.67	102.56	64.91	49.67	41.08

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

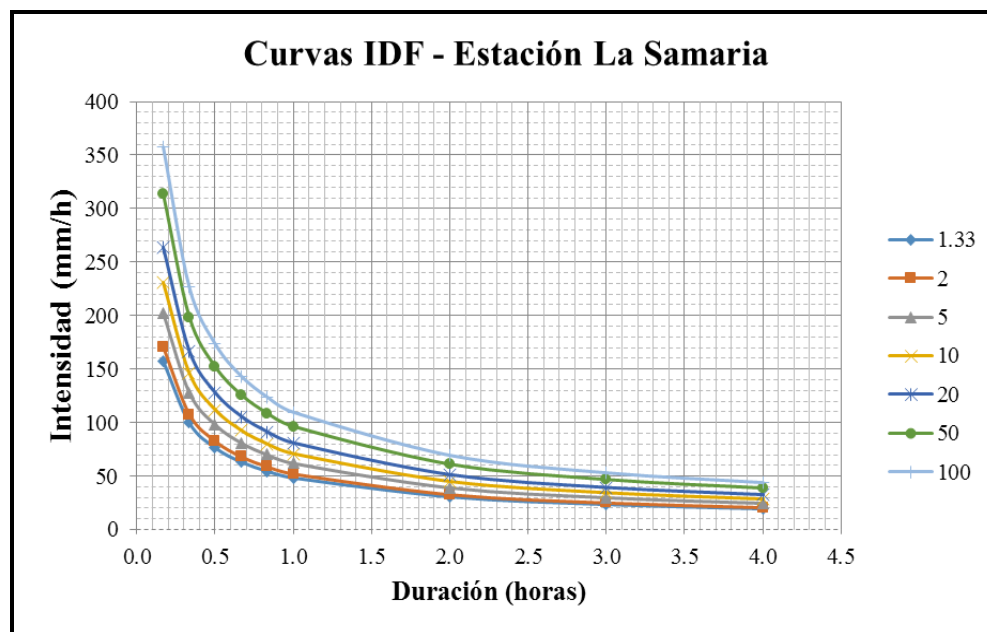


Figura 51. Curvas IDF estación La Samaria

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 18. Datos curva IDF estación La Samaria

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		157.48	99.67	76.27	63.08	54.44	48.27	30.55	23.38	19.33
2		170.18	107.70	82.41	68.16	58.83	52.16	33.01	25.26	20.89
5		202.54	128.18	98.09	81.12	70.01	62.08	39.29	30.06	24.86
10		231.05	146.22	111.89	92.54	79.87	70.81	44.82	34.29	28.36
20		263.57	166.81	127.64	105.57	91.11	80.78	51.13	39.12	32.36
25		274.98	174.03	133.17	110.14	95.06	84.28	53.34	40.82	33.76
50		313.69	198.53	151.92	125.64	108.44	96.14	60.85	46.56	38.51
100		357.85	226.48	173.30	143.33	123.70	109.68	69.41	53.12	43.93

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

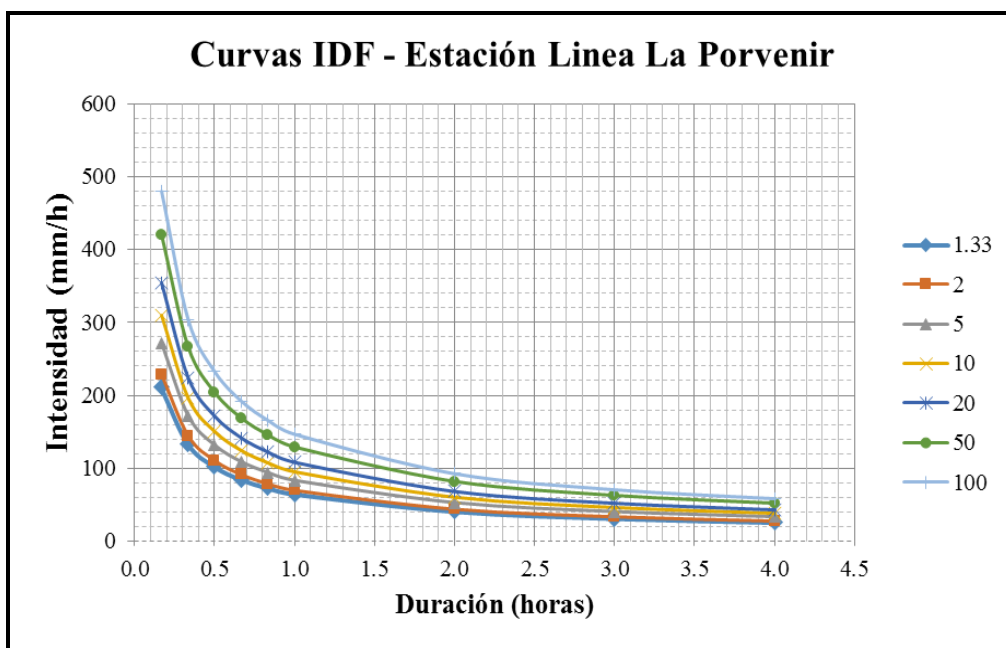


Figura 52. Curvas IDF estación Línea La Porvenir

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 19. Datos curva IDF estación Línea La Porvenir

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		211.13	133.62	102.25	84.57	72.99	64.71	40.95	31.34	25.92
2		228.15	144.39	110.49	91.38	78.87	69.93	44.26	33.86	28.01
5		271.54	171.85	131.50	108.76	93.87	83.22	52.67	40.30	33.33
10		309.76	196.04	150.01	124.07	107.08	94.94	60.09	45.98	38.03
20		353.36	223.64	171.13	141.53	122.15	108.30	68.54	52.45	43.38
25		368.67	233.32	178.54	147.66	127.44	112.99	71.51	54.72	45.26
50		420.56	266.17	203.67	168.45	145.38	128.90	81.58	62.42	51.63
100		479.76	303.63	232.34	192.16	165.85	147.04	93.06	71.21	58.90

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

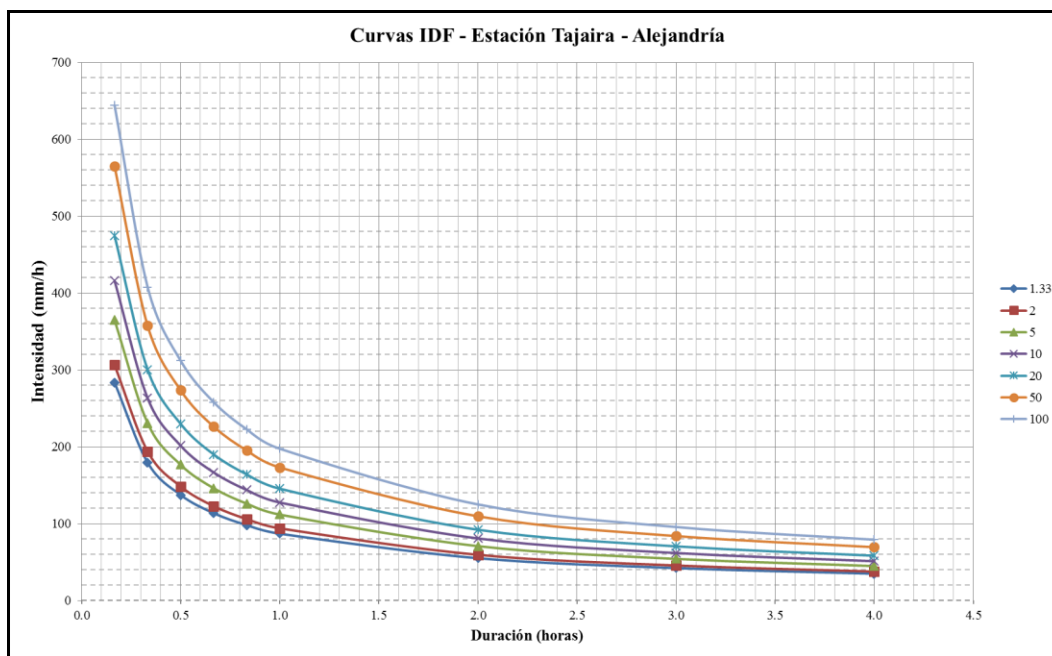


Figura 53. Curvas IDF estación Tajaira Alejandría

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 20. Datos curva IDF estación Taijara Aljandría

		Duración								
		10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		283.40	179.36	137.25	113.51	97.97	86.86	54.97	42.07	34.79
2		306.24	193.81	148.31	122.66	105.86	93.86	59.40	45.46	37.59
5		364.48	230.67	176.51	145.99	126.00	111.71	70.70	54.10	44.74
10		415.79	263.14	201.36	166.54	143.73	127.44	80.65	61.72	51.04
20		474.31	300.18	229.70	189.98	163.96	145.37	92.00	70.40	58.23
25		494.86	313.18	239.65	198.21	171.06	151.67	95.99	73.45	60.75
50		564.51	357.27	273.39	226.11	195.14	173.02	109.50	83.79	69.30
100		643.98	407.56	311.87	257.94	222.61	197.37	124.91	95.59	79.06

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

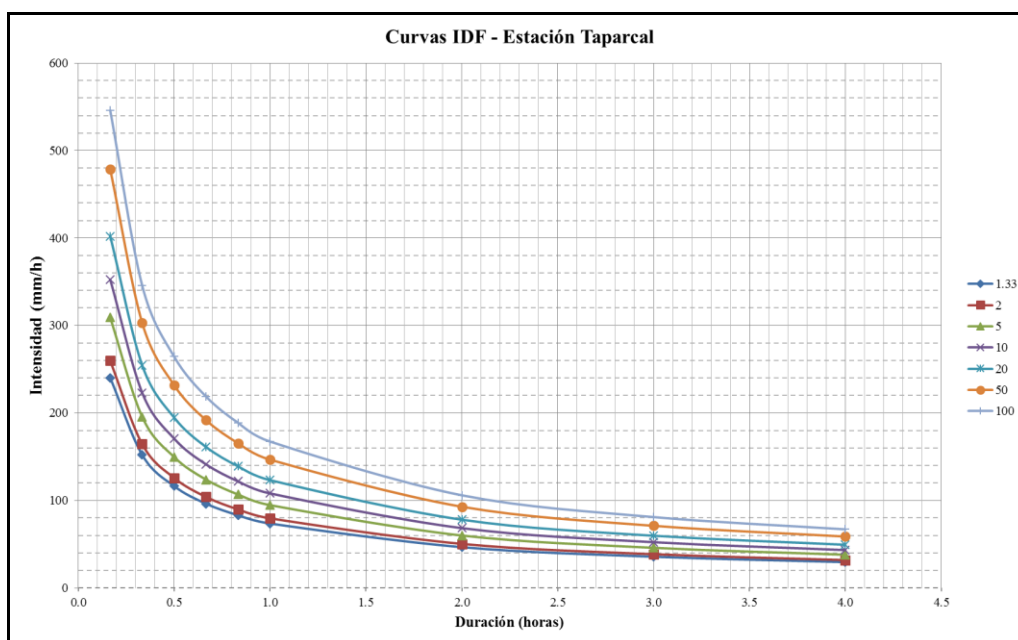


Figura 54. Curvas IDF estación Taparcal

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 21. Datos curva IDF estación Taparcal

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		240.28	152.07	116.36	96.24	83.06	73.64	46.61	35.66	29.50
2		259.65	164.33	125.74	104.00	89.76	79.58	50.36	38.54	31.87
5		309.03	195.58	149.66	123.78	106.83	94.71	59.94	45.87	37.94
10		352.53	223.11	170.72	141.20	121.86	108.05	68.38	52.33	43.28
20		402.15	254.51	194.75	161.07	139.02	123.26	78.01	59.69	49.37
25		419.56	265.53	203.19	168.05	145.04	128.59	81.38	62.28	51.51
50		478.62	302.91	231.79	191.71	165.45	146.69	92.84	71.04	58.76
100		546.00	345.55	264.42	218.69	188.74	167.34	105.91	81.04	67.03

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

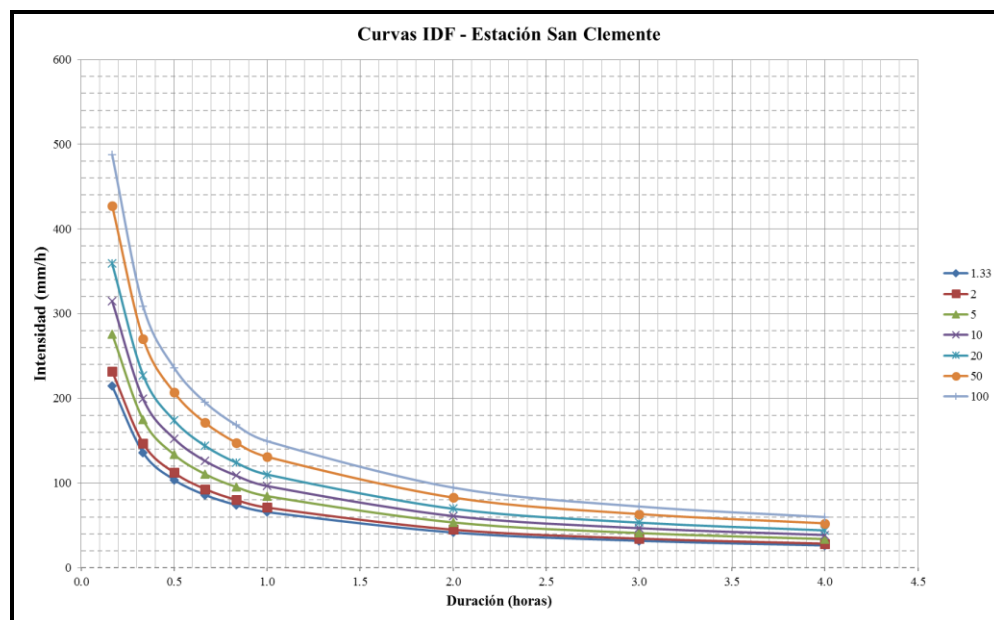


Figura 55. Curvas IDF estación San Clemente

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 22. Datos curva IDF estación San Clemente

		Duración								
		10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		214.60	135.81	103.93	85.95	74.18	65.77	41.63	31.85	26.34
2		231.89	146.76	112.30	92.88	80.16	71.07	44.98	34.42	28.47
5		275.99	174.67	133.66	110.54	95.41	84.59	53.53	40.97	33.88
10		314.84	199.26	152.47	126.10	108.84	96.50	61.07	46.73	38.65
20		359.16	227.30	173.93	143.86	124.16	110.08	69.67	53.31	44.09
25		374.71	237.15	181.47	150.09	129.53	114.85	72.68	55.62	46.00
50		427.46	270.53	207.01	171.21	147.77	131.01	82.92	63.45	52.48
100		487.63	308.61	236.15	195.31	168.57	149.46	94.59	72.38	59.86

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

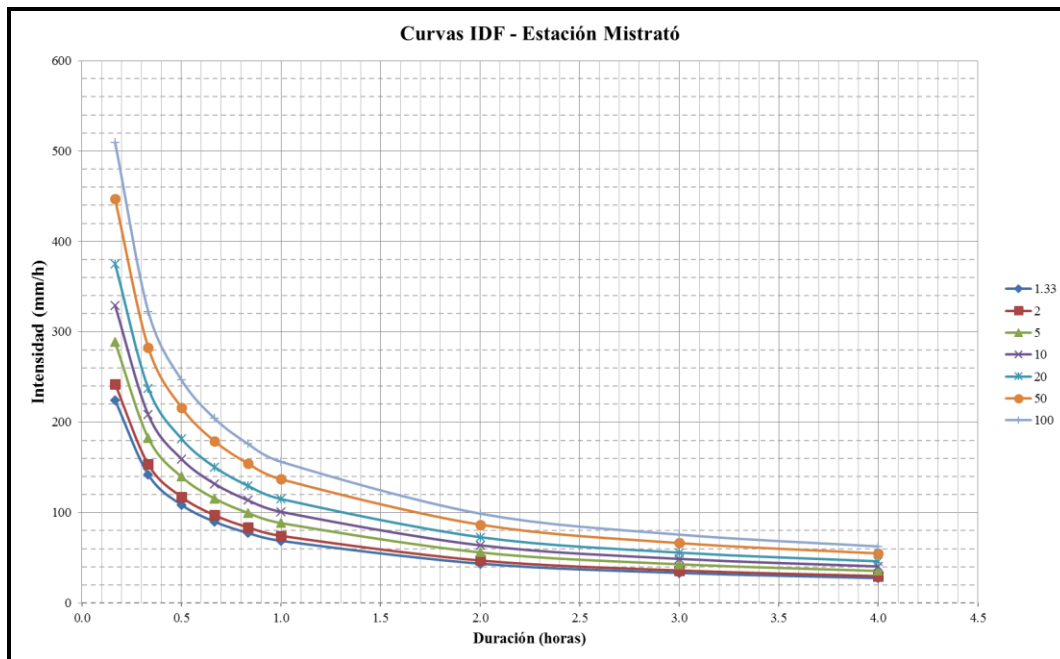


Figura 56. Curvas IDF estación Mistrató

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 23. Datos curva IDF estación Mistrató

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		224.31	141.96	108.63	89.84	77.54	68.75	43.51	33.29	27.54
2		242.39	153.40	117.39	97.09	83.79	74.29	47.02	35.98	29.76
5		288.49	182.58	139.71	115.55	99.72	88.42	55.96	42.82	35.41
10		329.09	208.28	159.37	131.81	113.76	100.86	63.84	48.85	40.40
20		375.42	237.59	181.81	150.37	129.78	115.06	72.82	55.72	46.09
25		391.68	247.88	189.68	156.88	135.40	120.05	75.97	58.14	48.08
50		446.81	282.78	216.38	178.96	154.46	136.94	86.67	66.32	54.85
100		509.71	322.58	246.84	204.15	176.20	156.22	98.87	75.66	62.57

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

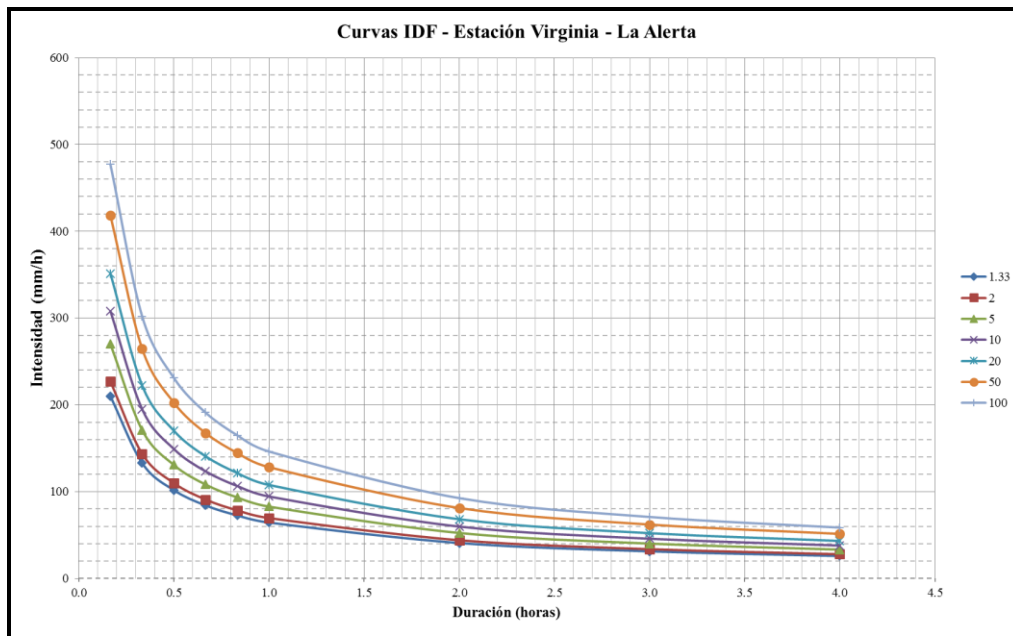


Figura 57. Curvas IDF estación Virginia La Alerta

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 24. Datos curva IDF estación Virginia La Alerta

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		209.93	132.86	101.66	84.08	72.57	64.34	40.72	31.16	25.77
2		226.84	143.57	109.86	90.86	78.42	69.53	44.00	33.67	27.85
5		269.98	170.87	130.75	108.14	93.33	82.75	52.37	40.07	33.14
10		307.99	194.92	149.15	123.36	106.47	94.40	59.74	45.71	37.81
20		351.34	222.36	170.15	140.72	121.45	107.68	68.15	52.15	43.13
25		366.56	231.99	177.52	146.82	126.71	112.35	71.10	54.41	45.00
50		418.16	264.64	202.51	167.49	144.55	128.16	81.11	62.07	51.33
100		477.02	301.89	231.01	191.06	164.90	146.20	92.53	70.80	58.56

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

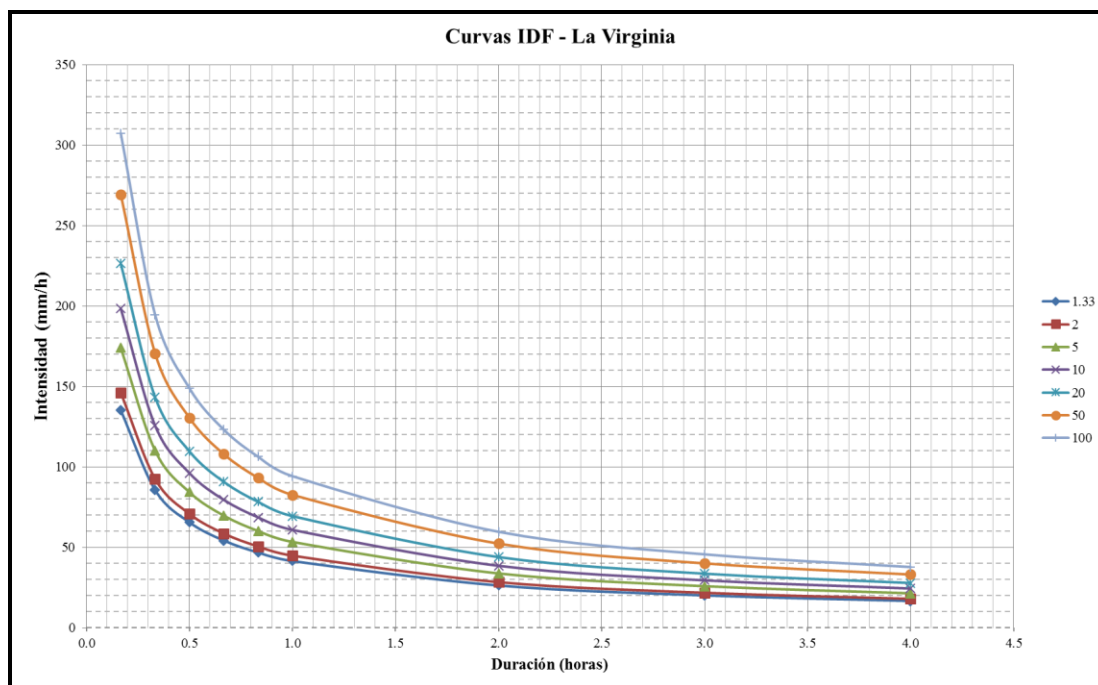


Figura 58. Curvas IDF estación La Virginia

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

Tabla 25. Datos curva IDF estación La Virginia

		Duración								
	min	10	20	30	40	50	60	120	180	240
T (Años)	hr	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0
1.33		135.23	85.59	65.49	54.17	46.75	41.45	26.23	20.07	16.60
2		146.13	92.48	70.77	58.53	50.52	44.79	28.35	21.69	17.94
5		173.92	110.07	84.23	69.66	60.12	53.31	33.74	25.82	21.35
10		198.41	125.57	96.08	79.47	68.59	60.81	38.49	29.45	24.36
20		226.33	143.24	109.61	90.65	78.24	69.37	43.90	33.59	27.78
25		236.14	149.45	114.36	94.58	81.63	72.37	45.80	35.05	28.99
50		269.38	170.48	130.45	107.89	93.12	82.56	52.25	39.98	33.07
100		307.29	194.48	148.82	123.08	106.23	94.18	59.61	45.61	37.72

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

7 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

La zonificación climatológica como necesidad para los diferentes campos de aplicación ha tenido que ser tratada por expertos en diferentes ramas científicas, bien afectando análisis detallados de unos elementos meteorológicos (especialmente de la temperatura y de la precipitación), o por clasificaciones climatológicas de escala mundial con diferenciaciones muy generales de acuerdo con sus objetivos respectivos, así se explica la introducción de conceptos de zonificación climatológica como el de pisos térmicos, o como la zonificación del clima árido, semiárido, húmedo y superhúmedo, agregando la precipitación como expresión de la “humedad”.

Por lo general las clasificaciones climáticas más usadas son definidas a priori, puesto que asignan valores obtenidos de las estaciones meteorológicas para diferentes variables medibles, a una clase o categoría predeterminada; entre este tipo de clasificaciones se cuentan: De Martonne (1926), Köppen (1936), Thornthwaite (1948), Emberger (1955), Gaussen (1955), Thornthwaite y Mather (1995), Troll (1965) y Hargreaves (1971), Caldas – Lang (1962) entre otras. Estas clasificaciones subjetivas dependen excesivamente del criterio de cada autor.

Otro factor a considerar es la variación espacio-temporal de los elementos climáticos; según Grove (1980): *"es reconocido que los elementos climáticos, especialmente en los trópicos, varían en cortas distancias, de acuerdo con la topografía y con otras condiciones, las cuales no siempre son fáciles de tener en cuenta"*. Ciertamente, la mayoría de los modelos actuales son modelos no espaciales, pues se basan en el concepto de que un valor medido representa un área homogénea alrededor del punto evaluado, lo cual no siempre es cierto para el caso de grandes variaciones climáticas o topográficas (Hashmani, García y Fontaner 1995).

La clasificación establecida por Caldas y aplicada al trópico americano, se basó en los valores de temperatura, pero con respecto a su variación altitudinal y no latitudinal. Por su parte, Lang fijó los límites de su clasificación teniendo en cuenta una sencilla relación entre la precipitación y la temperatura. Ninguno de los dos sistemas, por si solos, tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptables, por lo cual Schaufelberger (1962) propuso su unificación e implementó el sistema de clasificación CALDAS-LANG que, por lo mismo, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad.

7.1 Metodología

7.1.1 Pisos Térmicos

En 1802 se reunieron en Quito, Ecuador los investigadores Alejandro Von Humboldt (alemán), Aime Bonpland (francés) y Francisco José de Caldas (colombiano); quien disponía de información relativa a las alturas sobre el nivel del mar y su influencia en la variación de las temperaturas. Expuesta y analizada la información por Caldas, se determinaron los pisos térmicos para la región Andina Tropical. Entre 1882 y 1884 Hettner comprobó la teoría de Caldas al realizar un estudio de climas de altura en la cordillera oriental, confirmando el gradiente de la temperatura con la altitud. Caldas estableció una relación empírica que muestra que a una altitud de:

- 1000 m corresponde a una temperatura media de 23.8°C
- 2000 m corresponde a una temperatura media de 18.0°C
- 3000 m corresponde a una temperatura media de 12.7°C
- 4000 m corresponde a una temperatura media de 7.0°C

Tabla 26. Clasificación Caldas según piso térmico

Piso térmico	Símbolo	Rango de altura (m)	Temperatura °C
Cálido	C	0 – 1000	$T \geq 24$
Templado	T	1001 – 2000	$24 > T \geq 17.5$
Frío	F	2001 – 3000	$17.5 > T \geq 12$
Páramo bajo	Pb	3001 – 3700	$12 > T \geq 7$
Páramo alto	Pa	3701 – 4200	$T < 7$
Nival	N	> 4200	

Fuente.: CAR, Audicon Ambiotec, 2006

Piso Térmico Cálido: localizado entre 0 y 1 .000 m, con valores superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sea las características locales.

Piso Térmico Templado: Comprende altitudes situadas entre 1 .000 y 2.000 m, con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superiores e inferior de 500 m.

Piso Térmico Frío: se localiza entre 2.000 y 3.000 m de altitud, con temperaturas no inferiores a 12°C y un margen en sus límites altitudinales superior e inferior de 400 m.

Piso Térmico Paramuno: corresponde a las áreas situadas sobre los 3.000 m de altitud y bajo el límite de las nieves perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdivide en dos zonas de paramo: **Paramo Bajo**, de mayor temperatura, con altitud que oscila entre 3.200 y 3.700 m y que se caracteriza por estar en el intervalo de los 7 a los 12°C. **Paramo Alto**, de los 3.700 m a los 4.200, aproximadamente.

7.1.2 Modelo Climático de Lang

En el año 1915, Richard Lang estableció una clasificación climática basada en la relación obtenida al dividir la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media anual (T, en °C). Este cociente se llama también Índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang (Tabla 27).

Tabla 27. Rangos clasificación climática de Lang

Factor de Lang P/T	Clase de clima	Símbolo
0 a 20	Desértico	D
20.1 a 40	Árido	A
40.1 a 60.1	Semiárido	Sa
60.1 a 100	Semihúmedo	Sh
100.1 a 160	Húmedo	H
Mayor que 160	Superhúmedo	SH

Fuente: CAR, Audicon Ambiotec, 2006

A continuación (Tabla 28) se establece el procedimiento para determinar los climas según Caldas – Lang: I. Se localizan los sitios conociendo su altitud. II. Se obtiene los valores anuales de la temperatura y la precipitación. III. Con el valor de la temperatura y el de la altitud, se determina el piso térmico al cual pertenece cada uno de los sitios que se están clasificando, correspondiente a la primera palabra del tipo climático. IV. Se calcula el cociente P/T (Índice de Efectividad de la Precipitación o Factor de Lluvia de Lang) con este factor, se determina la segunda palabra del tipo climático.

Tabla 28. Tipos climáticos Caldas - Lang

Tipo de clima según Caldas - Lang	Tipo climático	Símbolo
	Cálido Superhúmedo	CSH
	Cálido Húmedo	CH
	Cálido Semihúmedo	Csh
	Cálido Semiárido	Csa
	Cálido Árido	CA
	Cálido Desértico	CD
	Templado Superhúmedo	TSH
	Templado Húmedo	Th
	Templado Semihúmedo	Tsh
	Templado Semiárido	Tsa
	Templado Árido	TA
	Templado Desértico	TD
	Frío Superhúmedo	FSH
	Frío Húmedo	FH
	Frío Semihúmedo	Fsh
	Frío Semiárido	Fsa
	Frío Árido	FA
	Frío Desértico	FD
	Páramo bajo Superhúmedo	PBSH
	Páramo bajo Húmedo	PBH
	Páramo bajo Semihúmedo	PBsh
	Páramo bajo Semiárido	Pbsa
	Páramo Alto Superhúmedo	PASH
	Páramo Alto Húmedo	PBH
	Nieves perpetuas	NP

Fuente: CAR, Audicon Ambiotec, 2006

7.1.3 Resultados y análisis

El extremo alto de la cuenca (nacimiento río Risaralda) presenta clima Páramo Bajo Superhúmedo, posteriormente y en jurisdicción del municipio de Riosucio Caldas se presenta clima de Frío Superhúmedo y Frío Húmedo, esta última unidad climática se mantiene hasta límites con el municipio de Guática Risaralda y sobre la margen izquierda de la cuenca sectores Noroeste y Sureste, inclusive se en la parte alta de Santuario se presenta zonificación climática de Páramo bajo súper húmedo.

La parte media de la cuenca presenta zonificación climática entre templado húmedo y templado semihúmedo, predominando este último se presenta por la

margen Noreste, este y sur este, en jurisdicción de municipios de Anserma, Risaralda, San José y Belalcázar en Caldas.

Posteriormente hacía la parte media baja de la cuenca en jurisdicción del municipio de Viterbo Caldas y La Virginia Risaralda se presenta zonificación climática Cálido Semihúmedo; finalmente en la parte más baja de la cuenca en su extremo inferior se presenta zonificación climática cálido semiárido.

En la Figura 59 se puede observar la zonificación climática para la cuenca.

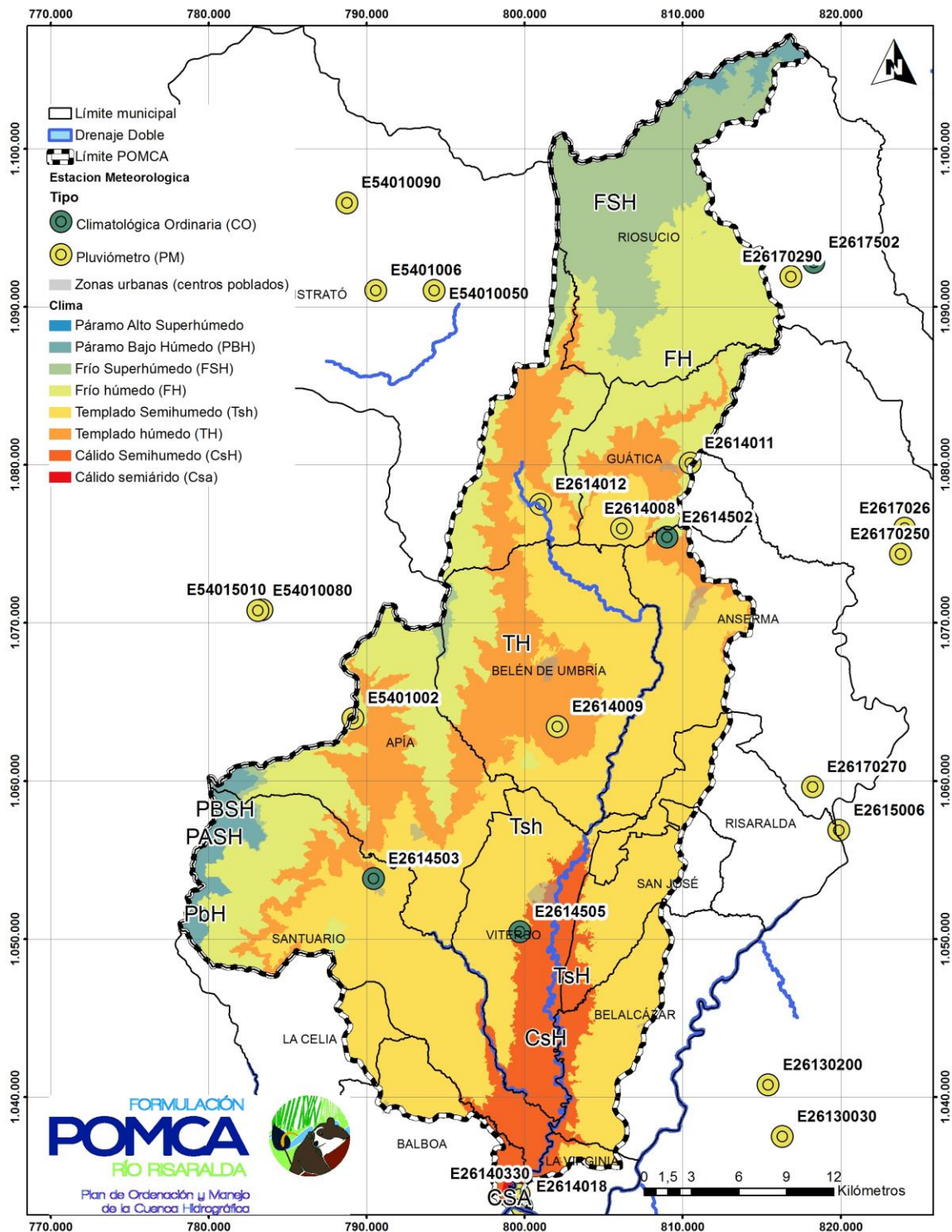


Figura 59. Zonificación Climática en el Área del POMCA del río Risaralda.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

8 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ

Las características del régimen hidrológico están determinadas por factores meteorológicos, bióticos, asociados con la cobertura de la superficie terrestre y los propios de la dinámica del agua en el suelo y subsuelo. En este Estudio, el régimen hidrológico se aborda desde la estimación de las condiciones de aridez y la capacidad de almacenar y retener agua representados en los índices de aridez y regulación

El índice de aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra, de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua. La *evapotranspiración potencial* representa, para este caso, un factor determinante en la obtención de este índice. Para generar el indicador, se utilizan las ecuaciones de Turc y Budyko, para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y la de Penman-Montieth, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).

El Índice de Aridez (IA), es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (IDEAM, 2010)

Los componentes de la ecuación del índice de aridez son la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, aplicadas como se expresa en la siguiente fórmula:

$$Ia = (ETP - ETR) / ETP$$

Donde:

Ia: índice de aridez (adimensional)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

ETR: evapotranspiración real (mm)

Es importante mencionar que el índice de aridez calculado para el ENA representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración potencial (ETP) y de evapotranspiración real (ETR) y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo, utilizada en análisis climáticos para clasificar el grado de humedad del suelo a través de la relación de la precipitación y la evapotranspiración potencial.

En la Tabla 29, se observa la calificación y la interpretación del índice de aridez

Tabla 29. Calificaciones del índice de aridez

Calificador	Ámbito numérico	Color
Altos excedentes de agua	(< 0.15)	
Excedentes de agua	(0.15 – 0.19)	
Moderado y excedente de agua	(0.20 – 0.29)	
Moderado	(0.30 - 0.39)	
Moderado y deficitario de agua	(0.40 - 0.49)	
Deficitario de agua	(0.50 - 0.59)	
Altamente deficitario de agua	(> 0.60)	

Fuente: IDEAM, 2014

8.1 Evapotranspiración Potencial y Real

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico, y se define como la suma de la evaporación física de agua desde la superficie y la transpiración de las plantas y los seres vivos. El balance de masas representa la cantidad de agua saliente del volumen de control hacia la atmósfera en forma de vapor de agua. La dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y condiciones atmosféricas propicias para el almacenamiento y transporte de vapor de agua.

La disponibilidad de agua en una zona es determinada por la precipitación dado que a largo plazo ésta es la responsable del suministro de agua a los acuíferos por infiltración manteniendo el flujo base de las corrientes. El suministro de agua en la zona vadosa va directamente a las plantas, y junto con el agua interceptada por las mismas conforma el volumen disponible para la evapotranspiración.

Diferentes fórmulas han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por (Barco, y otros, 2000), se demostró que los cálculos más confiables para estimar esta variable eran Cenicafé y Turc, lo cual se ha ratificado en múltiples trabajos que se han desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (2003 y 2009).

Para la estimación de la variable evapotranspiración para la cuenca del río Risaralda se utilizó el método de Cenicafé – Budyko, este método permite calcular la evapotranspiración potencial en función de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación (I), fue obtenida realizando una regresión a los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de estaciones climáticas de Colombia.

$$ETP = 1700.17 \exp(-0.0002 h)$$

Esta ecuación se realizó en el SIG a partir del IDW, a partir del uso de calculadora de mapas.

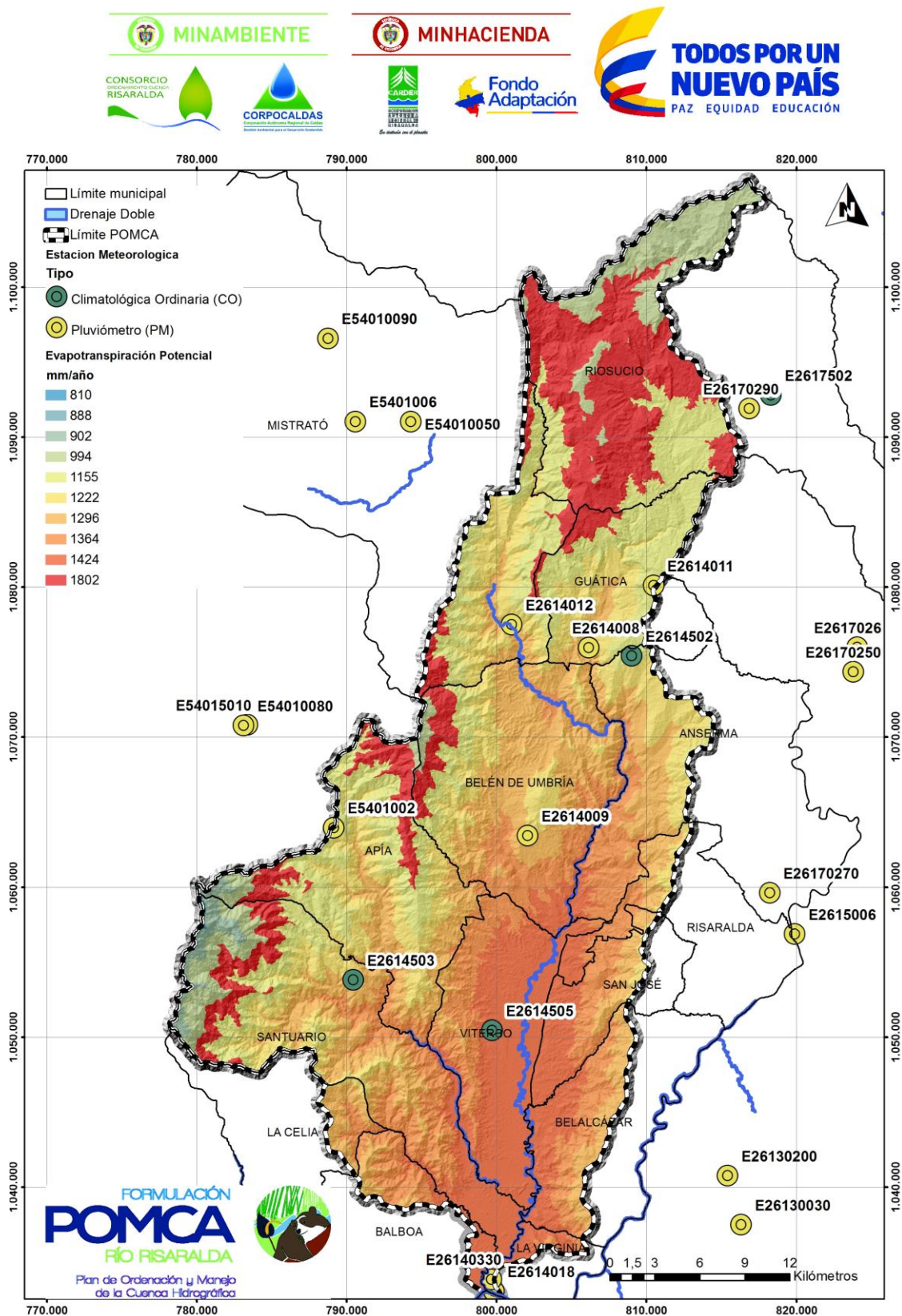
La Evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, que se presenta en la siguiente ecuación (2) (Amaya et al., 2009).

$$ETR = \left(ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \cdot \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right) \right)^{0.5}$$

Donde, *ETR* es la evapotranspiración real (mm/año) y *P* es la precipitación media de la cuenca (mm/año)

Los rangos de Evapotranspiración Potencial (ETP) en la cuenca de río Risaralda son muy variables oscilan desde los 810 mm/año hasta los 1800 mm/año, la parte alta hacia el nacimiento del río Risaralda, presenta ETP de 994 mm, inmediatamente después se presenta ETP de 1800 mm, lo anterior en jurisdicción del municipio de Risaralda, posteriormente hacia media alta y media de la cuenca, se observa ETP que varía desde los 1150 mm hasta los 1300 mm en jurisdicción de Belén de Umbría y de los municipios que se localizan sobre la cuchilla Este; hacia el sector Suroeste parte alta del municipio de Santuario en área del Distrito de Manejo Integrado Planes de San Rafael y Parque Regional Natural Tatamá se observa ETP que oscila entre los 990 mm pasando por los 1800 mm y descendiendo nuevamente hasta los 1300 mm, tendencia similar a la presentada en la parte alta de la cuenca.

Ya hacia la parte media y media baja se presenta ETP que va desde los 1350 mm hasta 1420 mm en la parte más baja de la cuenca. En la Figura 60 se muestra la salida gráfica resultante para la Evapotranspiración Potencial (ETP)



Por su la ETR no presenta variaciones tan significativas como en el caso de la ETP, hacia la parte alta de la cuenca los 800 mm y 850 mm, posteriormente hacia la parte media alta y media de la cuenca, se presentan ETR con valores alrededor de los 800 mm que se mantiene hasta el área en jurisdicción de Belén de Umbría en donde se presentan valores superiores a 1000 mm, que se mantienen hasta la parte baja de la cuenca (Figura 61).

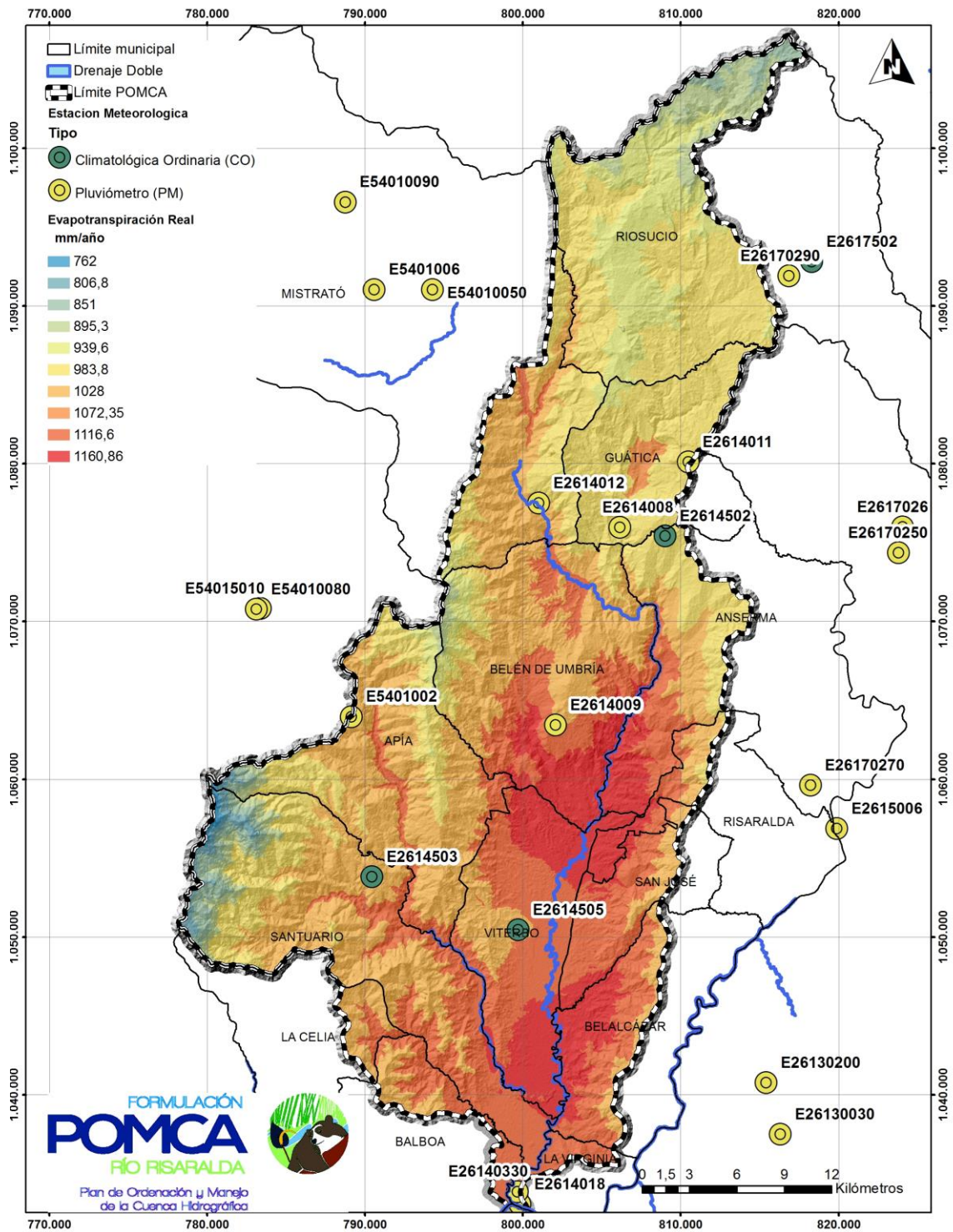


Figura 61. Evapotranspiración Real en el Área del POMCA del río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

8.1.1 Resultados del Índice de Aridez (IA)

En la Figura 62 se observa los resultados del Índice de Aridez (IA) en la cuenca del río Risaralda. De las siete (7) categorías mostradas en la Tabla 29, se presentan tres (3) categorías.

Toda la parte alta de la cuenca y la parte media y baja hacia el sector Noroeste y Suroeste hacia la cuchilla del San Juan presenta altos excedentes de agua, esto en jurisdicción del municipio de Riosucio Caldas, Belén de Umbría, Apia y Santuario Risaralda, este mismo indicador se presenta en una pequeña franja de la vertiente Este en la parte alta de alta de municipios de Anserma, San José, Risaralda y Belalcazar en Caldas.

Ya hacía la parte media y media baja de la cuenca y hacia el Sureste se presentan excedentes de agua, en esta misma zona en áreas de jurisdicción de Viterbo Caldas y La Virginia Risaralda, se presentan moderados y excedentes de agua.

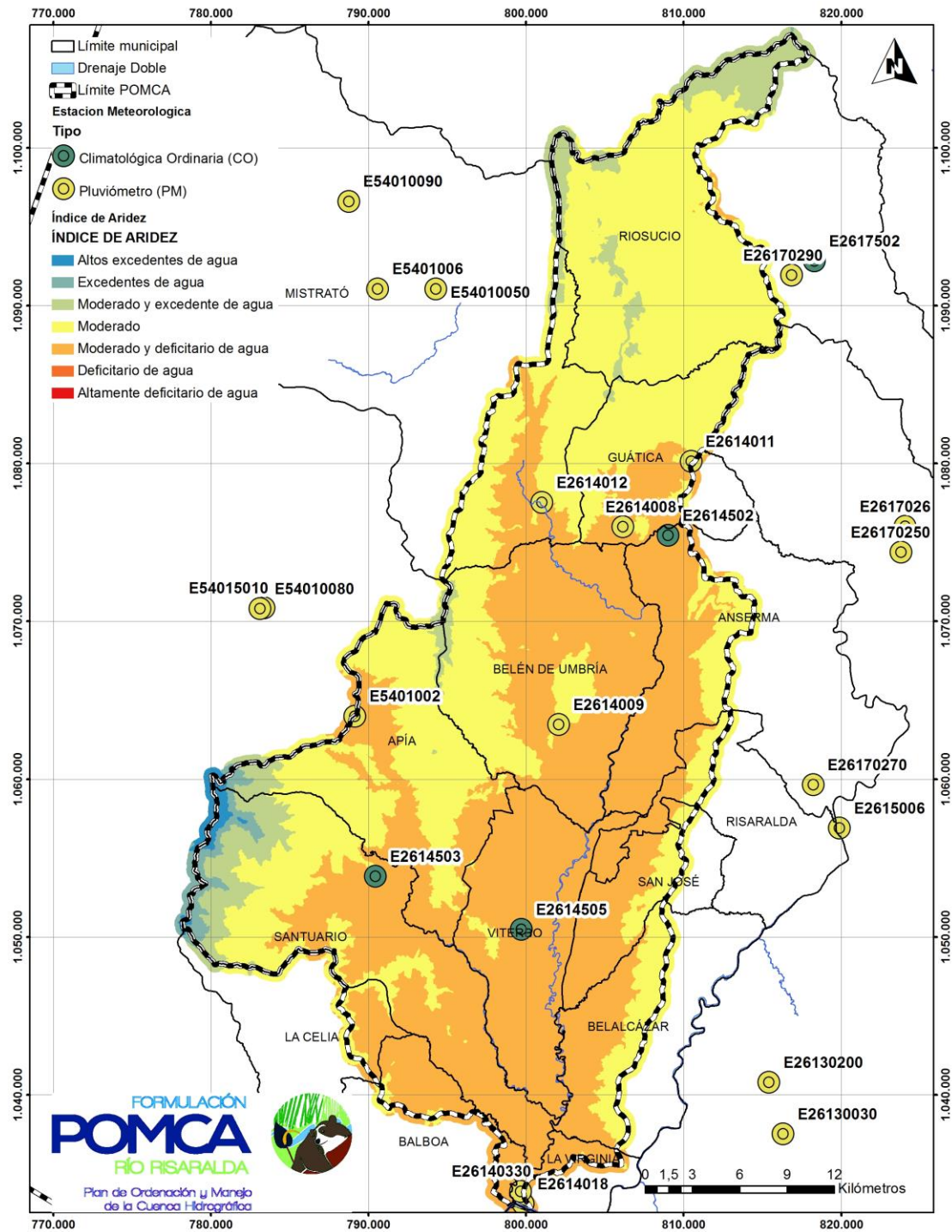


Figura 62. Índice de Aridez en el Área del POMCA del río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

9 BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE LA CUENCA

9.1 Balance hídrico climático

El balance hídrico determina las condiciones hídricas superficiales promedio de la zona de estudio y para su elaboración se utilizan los valores medios mensuales de precipitación y evapotranspiración. Sólo se consideran aportes por lluvia, los aportes por aguas subterráneas y pérdidas por percolación no son consideradas.

Se utilizó el método directo para el cálculo de balance hídrico, este método establece que conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua en los cultivos, estudios hidrológicos, entre otros.

El método directo propuesto por Thornthwaite y Matter, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva.

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros, en mm.

P = precipitación media mensual

ETP = Evapotranspiración Potencial

ETR = Evapotranspiración Real

$P - ETP$ = Diferencia entre P y ETP

R = Reserva

VR = Variación de la reserva

F = Déficit

Ex = Excedentes

Analizando algunos parámetros en detalle:

P – ETP = Es el balance mensual de entradas y salidas del suelo. La diferencia clasifica los meses secos ($P - ETP < 0$) y en meses húmedos ($P - ETP > 0$)

R = Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas ($P > ETP$), el agua excedente pasará a engrosar las reservas del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo. Sin embargo, el suelo no es “pozo sin fondo”, y cuando se alcance la capacidad de retención del suelo, el agua añadida en “exceso”, escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto, se debe tener en cuenta el concepto de reserva máxima a cantidad de agua por unidad de superficie (mm), que el suelo es capaz de

almacenar en su perfil. Para el modelo del balance hídrico se asumió una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de 100 mm, la cual corresponde a la cantidad de agua aprovechable por las plantas que puede conservar el suelo y depende principalmente de la textura y la profundidad

ETR = Es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ETP de referencia.

El procedimiento para el cálculo de la ETP por el método de Thornthwaite es el siguiente:

- 1) Se calculan un “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura t :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

- 2) Se calcula el “índice de calor anual” (I), sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

- 3) Se calcula ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10.t}{I} \right)^a$$

Donde ETP sin corr: ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

i = Temperatura media mensual (°C)

I = Índice de calor anual, obtenido en el punto 2

$$a = 675. 10^{-9} I^3 - 771. 10^{-7} I^2 + 1792. 10^{-5} + 0.49239$$

- 4) Corrección para el número de días del mes y en número de horas de sol

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \frac{N}{12} \frac{d}{30}$$

Donde:

ETP: ETP Corregida

N = Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d = Número de días del mes

Se seleccionaron tres (3) estaciones, para realizarles en balance hídrico climático.

En el rango altitudinal entre los 0 y los 1000 msnm se encuentra la Estación Virginia la-alerta, en donde se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 38 % se evapotranspira y el 62% son excesos.

Tabla 30. Cálculo balance hídrico estación Virginia – La Alerta

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
temp	24.18	23.79	24.43	24.12	24.52	24.45	24.24	24.17	24.07	23.39	23.21	23.50	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP	60.8	60.4	63.8	64.5	68.3	62.2	64.4	63.3	63.6	56.0	56.1	57.8	741.4
P	89.5	114	179.4	219.2	240.9	160.3	126.2	109	147.7	191.6	214.4	141.3	1933.5
P-ET	28.7	53.6	115.6	154.7	172.6	98.1	61.8	45.7	84.1	135.6	158.3	83.5	
Tipo de Período	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	
Reserva - R-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	60.8	60.4	63.8	64.5	68.3	62.2	64.4	63.3	63.6	56.0	56.1	57.8	741.4
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	28.7	53.6	115.6	154.7	172.6	98.1	61.8	45.7	84.1	135.6	158.3	83.5	1192.1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

En la Figura 63 se puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación Virginia La Alerta, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

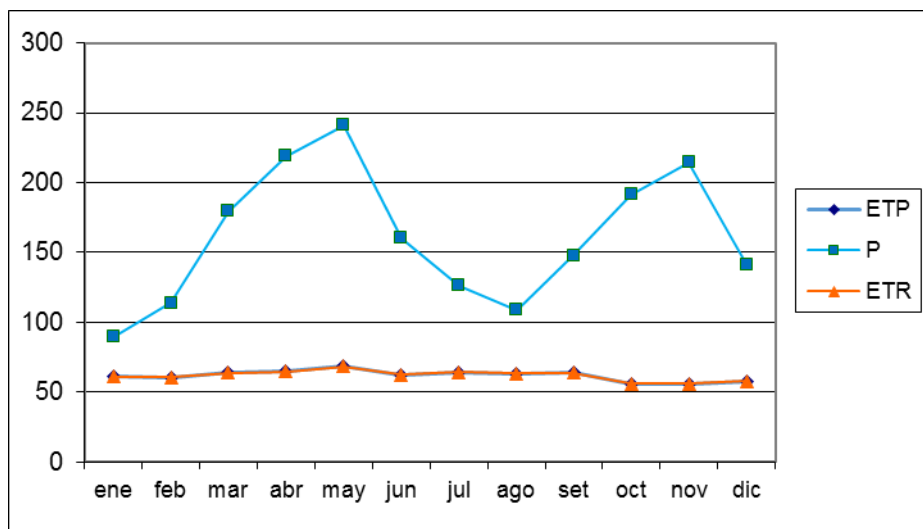


Figura 63. Precipitación, ETP y ETR en la estación Virginia – La Alerta

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

En el rango altitudinal entre los 1000 msnm y 2000 msnm se escogió la estación Riosucio que se localiza en los 1900 msnm, se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 33 % se evapotranspira y el 67% son excesos (Tabla 31).

En la Figura 64 se puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación Riosucio, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

Tabla 31. Cálculo balance hídrico estación Riosucio

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
temp	17.78	17.50	17.97	17.74	18.03	17.99	17.83	17.78	17.70	17.20	17.07	17.29	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP corr.	64.6	65.4	66.9	68.7	71.4	65.2	68.2	67.3	67.9	61.9	62.5	63.5	793.6
ETP	66.0	66.8	68.4	70.3	72.9	66.7	69.7	68.8	69.4	63.3	63.9	64.9	811.2
P	143.7	145.6	203.6	253.9	229.5	164.2	142.5	170.1	206.6	299.8	265.3	205.7	2430.5
P-ET	77.7	78.8	135.2	183.6	156.6	97.5	72.8	101.3	137.2	236.5	201.4	140.8	
Tipo de Período	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	
Reserva - R-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	66.0	66.8	68.4	70.3	72.9	66.7	69.7	68.8	69.4	63.3	63.9	64.9	811.2
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	77.7	78.8	135.2	183.6	156.6	97.5	72.8	101.3	137.2	236.5	201.4	140.8	1619.3

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

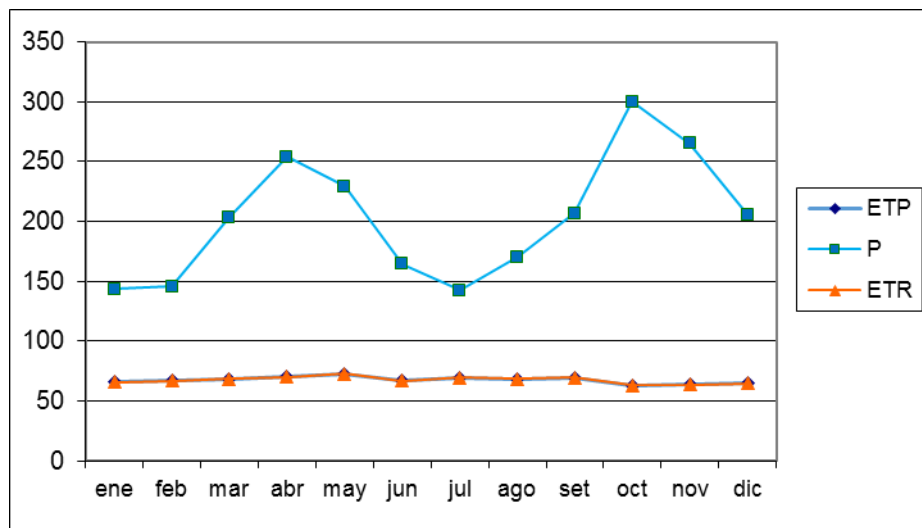


Figura 64. Precipitación, ETP y ETR en la Estación Riosucio

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

Finalmente, en el rango entre los 2000 y 3000 msnm se seleccionó la estación San Clemente, se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 33 % se evapotranspira y el 67% son excesos

Tabla 32. Cálculo balance hídrico estación San Clemente

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
temp	16.365	16.10	16.53	16.32	16.59	16.55	16.41	16.36	16.29	15.83	15.71	15.9	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP corr.	60.5	61.4	62.6	64.4	66.7	61.0	63.9	63.0	63.6	58.3	59.0	59.6	744.0
ETP	91.2	92.6	94.3	97.1	100.5	91.9	96.3	95.0	95.9	87.9	88.9	89.9	1121.6
P	120.2	120.7	184.3	260.3	256.2	169.2	170.7	161.5	247.9	267.0	196.7	149.3	2304.0
P-ET	29.0	28.1	90.0	163.2	155.7	77.3	74.4	66.5	152.0	179.1	107.8	59.4	
Tipo de Período	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	
Reserva - R.	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	91.2	92.6	94.3	97.1	100.5	91.9	96.3	95.0	95.9	87.9	88.9	89.9	1121.6
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	29.0	28.1	90.0	163.2	155.7	77.3	74.4	66.5	152.0	179.1	107.8	59.4	1182.4

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

En la Figura 65 se puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación San Clemente, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

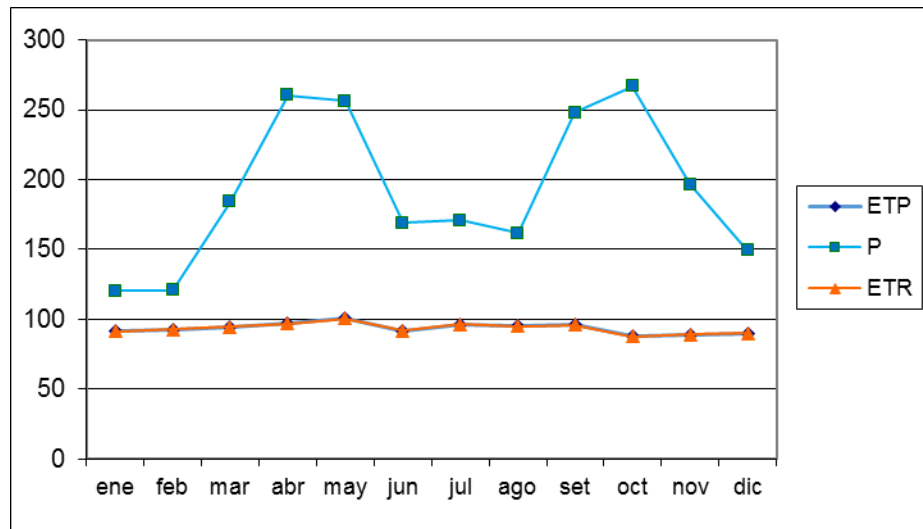


Figura 65. Precipitación, ETP y ETR en la Estación San Clemente
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

9.2 Balance hídrico a Largo Plazo

La base física del balance hídrico de largo plazo se soporta en la formulación de las ecuaciones de continuidad para volúmenes de control en columnas de suelo, atmósfera y la unión de ambas. Considerando la ecuación de continuidad dentro de una columna de suelo- atmósfera, que es asimilable a una cuenca hidrográfica, se define W como el almacenamiento de agua en la atmósfera, en unidades de longitud (volumen por unidad de área), P es la precipitación, E es la evapotranspiración *real*, Q es el flujo neto de humedad en la atmósfera, S es el almacenamiento de agua en el suelo, también en unidades de longitud, R es el flujo de agua hacia afuera de la columna de suelo; constituido por la escorrentía superficial y/o subterránea (ver siguiente figura)

Con las anteriores definiciones se obtiene una expresión de balance de agua para el volumen de control:

$$Q - R = \frac{d(W + S)}{dt}$$

$$\bar{P} - \bar{E} = \bar{R}$$

Cuando la integración temporal se realiza sobre un intervalo de gran duración (del orden de décadas), los cambios en las cantidades almacenadas W y S son despreciables. Así, la ecuación de balance de agua para la columna quedaría así:

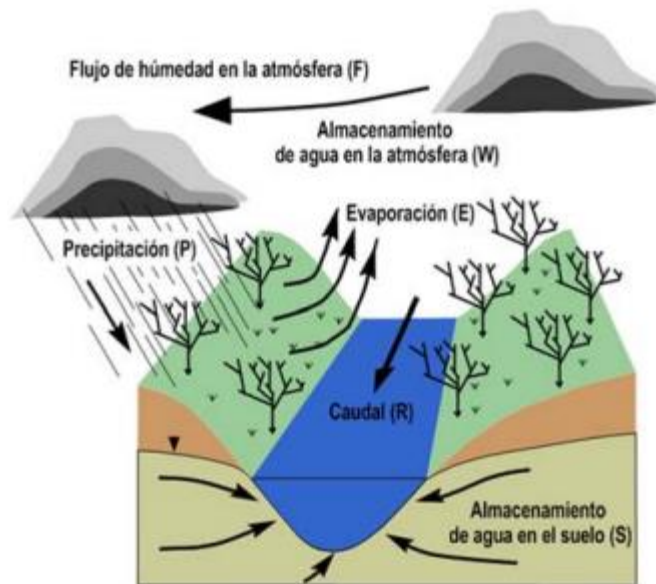


Figura 66. Esquema balance hídrico

Fuente: Gotta Ingeniería S.A.S, 2016

Esta relación es una aproximación a la escorrentía superficial que supone que el cambio en la cantidad almacenada en el suelo (o en la atmósfera) en el largo plazo es despreciable respecto a los demás términos. Esta aproximación es apropiada para el cálculo de los promedios de largo plazo puesto que conduce a errores que son de menor orden que los de medición de cada una de las componentes (Vélez et al., 2000).

En la Tabla 33 se presenta el caudal obtenido por medio del balance hídrico de largo plazo para la cuenca del río Risaralda para cada uno de los niveles subsiguientes definidos.

Tabla 33. Caudal medio a largo plazo por nivel subsiguiente

Código nivel subsiguiente	AREA m ²	Balance hídrico promedio mm/año	Q m ³ /s
261401	58936406.3	1869.995682	3.494762341
261402	115371094	1727.431975	6.319625707
261403	20102812.5	1396.59069	0.890265119
261404	3879375	1159.783617	0.142669824
261405	11527343.8	1244.832326	0.455023153
261406	1222656.25	1042.613802	0.04042232
261407	10831875	1340.070268	0.460282649
261408	7560000	1109.533705	0.265984107
261409	10492968.8	1025.328055	0.341157257
261410	4735937.5	1089.104627	0.163556933
261411	658593.75	1113.148145	0.023246842
261412	11902656.3	1181.027882	0.445756244
261413	1518906.25	1187.313029	0.057185984
261414	7134531.25	1321.025592	0.298861567
261415	5603593.75	1209.169075	0.214855793
261416	7705781.25	1273.408269	0.311155681
261417	224843.75	1075.855841	0.007670582
261418	65684375	1338.038574	2.786917411
261419	9864062.5	1050.776596	0.328669648
261420	53715312.5	1179.146631	2.008442091
261421	4784687.5	810.7892706	0.12301412
261422	20696406.3	862.674792	0.566155123
261423	38384843.8	823.4909865	1.00233298
261424	288784375	1247.514321	11.42385348
261425	8032187.5	798.7541689	0.203441884
261426	60785468.8	937.573309	1.807167462
261427	3971093.75	742.3091696	0.093473469
261428	5607187.5	767.7032569	0.13649975
261429	9827187.5	942.8567927	0.293811215
261430	936718.75	846.1635361	0.025133728
261431	1983437.5	914.0437385	0.057488224
261432	1050312.5	905.3353999	0.030152368
261433	2383593.75	1006.464046	0.076071836
261434	450000	910.7381813	0.012995693
261435	5652187.5	1033.08824	0.185160085
261436	2943750	943.7584103	0.08809579
261437	10087343.8	1055.70327	0.337685242
261438	2826093.75	937.4044118	0.084005351
261439	27605000	1049.992978	0.919110102
261440	8096718.75	856.4547728	0.21989071
261441	7702968.75	877.6147835	0.21436578
261442	1149062.5	758.2804195	0.027629109
261443	4039218.75	911.412673	0.116736275
261444	118906.25	765.7109125	0.002887107
261445	6547031.25	927.3889269	0.192530577
261446	82968.75	795.8114214	0.002093718

Código nivel subsiguiente	AREA m ²	Balance hídrico promedio mm/año	Q m ³ /s
261447	16365468.8	1014.281762	0.526357068
261448	181093.75	817.4667057	0.004694258
261449	5648593.75	1080.126144	0.193467586
261450	266875	1024.344352	0.008668566
261451	7814531.25	1096.564621	0.271725599
261452	2644218.75	1101.265311	0.092338483
261453	15929687.5	1121.568436	0.566534586
261454	1339687.5	1144.85953	0.04863502
261455	9623593.75	1120.947006	0.342070605
261456	3679843.75	1142.873629	0.133358586
261457	10979062.5	1108.859208	0.386042445
261458	948906.25	1105.198942	0.033255016
261459	5863125	1096.236675	0.20381065
261460	1510312.5	1072.233144	0.051351063
261461	7322656.25	1083.036465	0.251480966
261462	3191875	1031.323013	0.10438401
261463	16047187.5	1052.236834	0.535433846
261464	16921093.8	983.9229763	0.527938005
261465	179354375	1394.434791	7.930554934
261466	3732656.25	971.729393	0.115015595
261467	8025937.5	939.1553821	0.239015804
261468	5018281.25	1042.922007	0.165958776

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

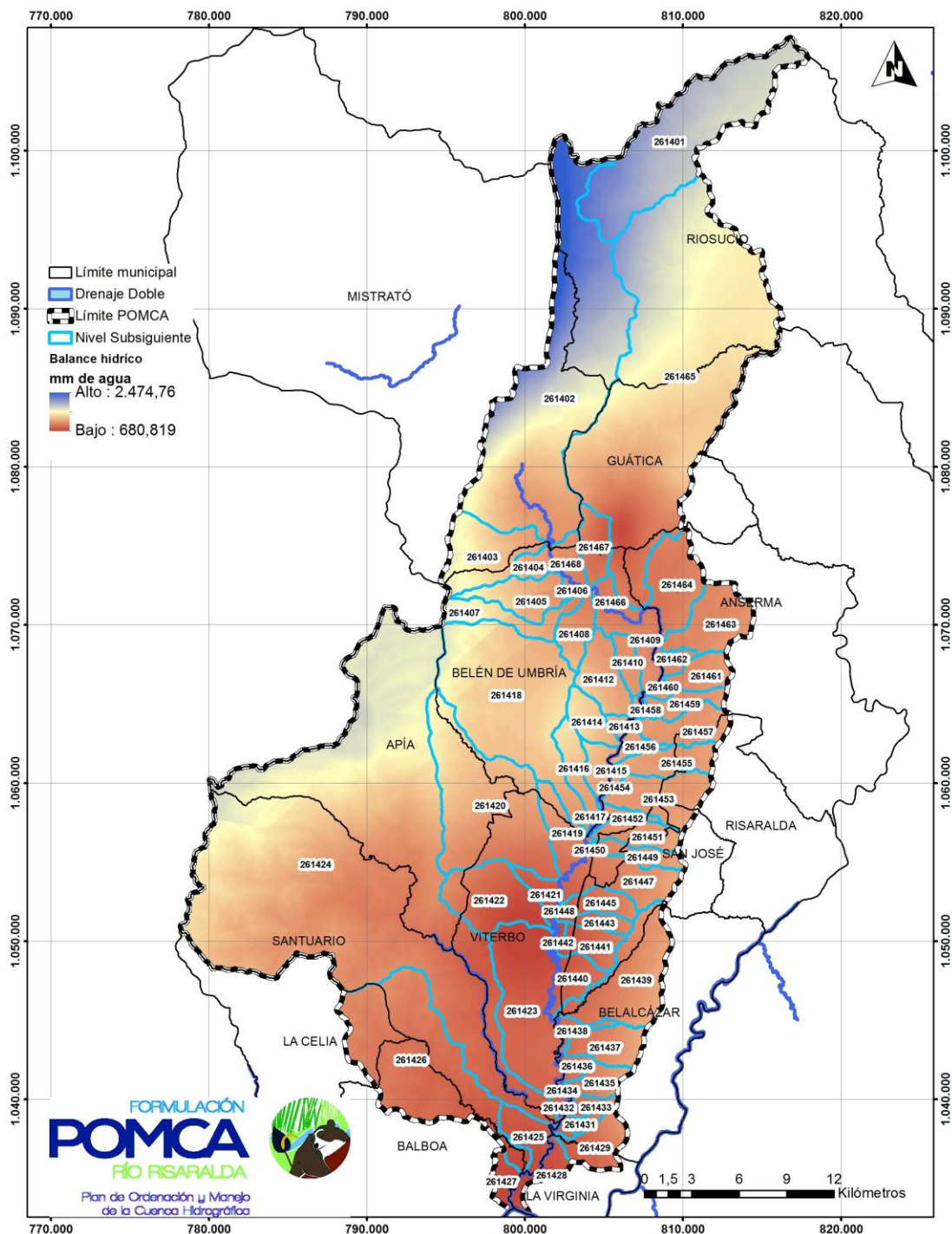


Figura 67. Esquema balance hídrico a largo plazo
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2017

10 IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA Y LA INFLUENCIA DE FENÓMENOS MACROCLIMÁTICOS

Con la finalidad de poder soportar que los fenómenos del ENSO se relacionen con los cambios presentados en la media y la varianza de las series estudiadas, se realizó el estudio de la influencia de dicho fenómeno.

Como primera medida se realizó la clasificación de los meses, con base en los reportes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), de fenómenos ENSO que se han presentado históricamente y que es actualizado mensualmente. Esta información se puede consultar en la página web de la NOAA y se observa en la Tabla 34.

Tabla 34. Índice Oceánico Niño (ONI) para eventos cálidos y fríos

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1951	-0.8	-0.6	-0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6
1952	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
1954	0.7	0.4	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5
1955	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.4
1956	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
1957	-0.3	0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.6
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
1959	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1960	-0.1	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
1964	1.0	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.7	1.8	1.5
1966	1.3	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8
1969	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.7	-0.4	0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9
1973	1.7	1.2	0.6	0	-0.4	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9
1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6

1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3
2016	2.2	1.9	1.5	1.1								

Fuente: National Weather Service, 2016

En la siguiente dirección electrónica se puede encontrar la anterior tabla:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Los eventos cálidos (en rojo) y fríos (en azul) han sido definidos para un umbral de ± 0.5 °C para el índice oceánico El Niño (ONI) y para efectos históricos el evento cálido o frío se define como presente cuando los valores del ONI están por fuera del umbral cinco veces consecutivos.

Utilizando esa clasificación de los meses se elaboraron gráficas que permitieran comparar el comportamiento de la precipitación media mensual multianual para los meses considerados secos (NIÑO), húmedos (NIÑA) y normales. Para este análisis se emplearon los datos de cuatro estaciones climáticas, ubicada en tres franjas altitudinales distintas de la siguiente forma:

Complementario con lo anterior se presenta en la Tabla 35 un consolidado de los años niño y niña, adicionalmente indicando si son fenómenos débiles, moderados, fuertes o muy fuertes.

Tabla 35. Consolidados años niño y niña

El niño				la niña		
Débiles	mod	Fuerte	Muy fuerte	Débiles	mod	Fuerte
1951-1952	1963-1964	1957-1958	1982-1983	1950-1951	1955-1956	1973-1974
1952-1953	1986-1987	1965-1966	1997-1998	1954-1955	1970-1971	1975-1976
1953-1954	1987-1988	1972-1973	2015-16	1964-1965	1998-1999	1988-1989
1958-1959	1991-1992			1967-1968	1999-2000	
1968-1969	2002-03			1971-1972	2007-08	
1969-1970	2009-10			1974-1975	2010-11	
1976-1977				1983-1984		
1977-1978				1984-1985		
1979-1980				1995-1996		
1994-1995				2000-01		
2004-05				2011-12		
2006-07						

Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

A partir de la definición de años niño, niña y normal por cada una de las 27 estaciones de utilizadas para análisis de precipitación, se realizó un análisis de variabilidad de la precipitación mediante las isoyetas.

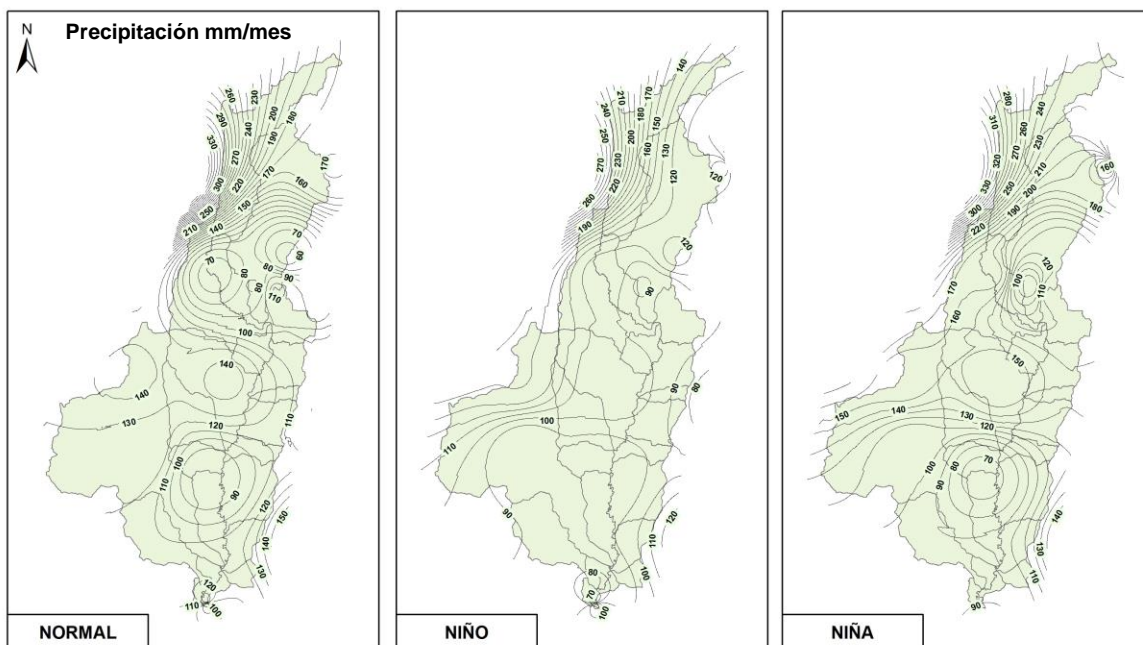


Figura 68. Variabilidad climática isoyetas enero
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

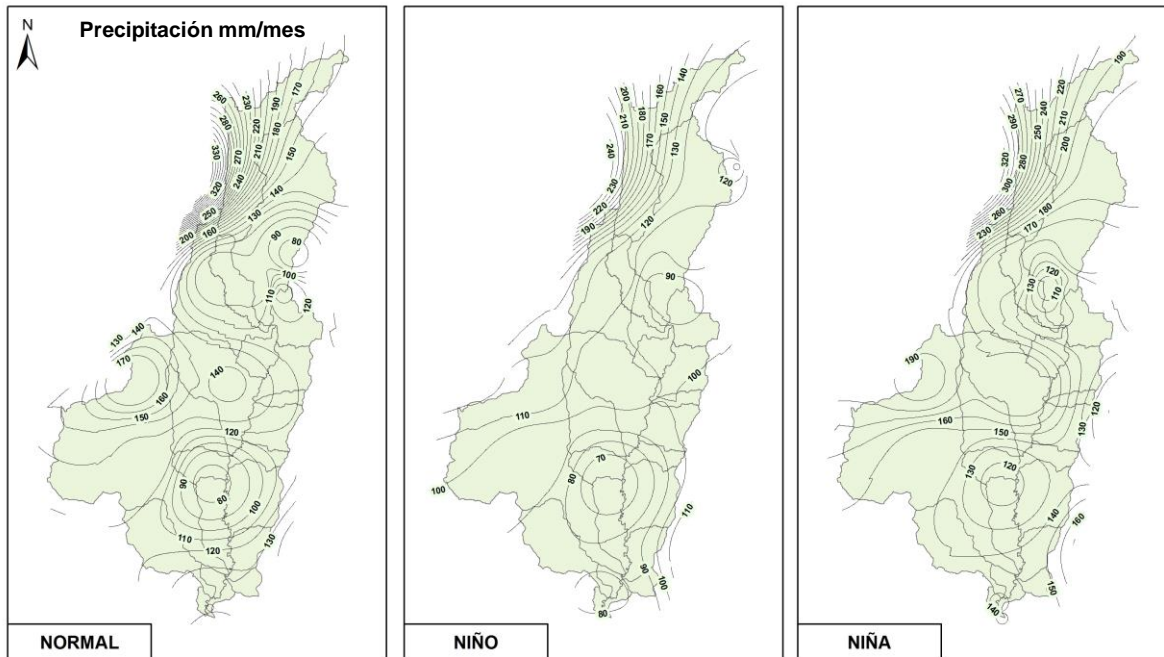


Figura 69. Variabilidad climática isoyetas febrero
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

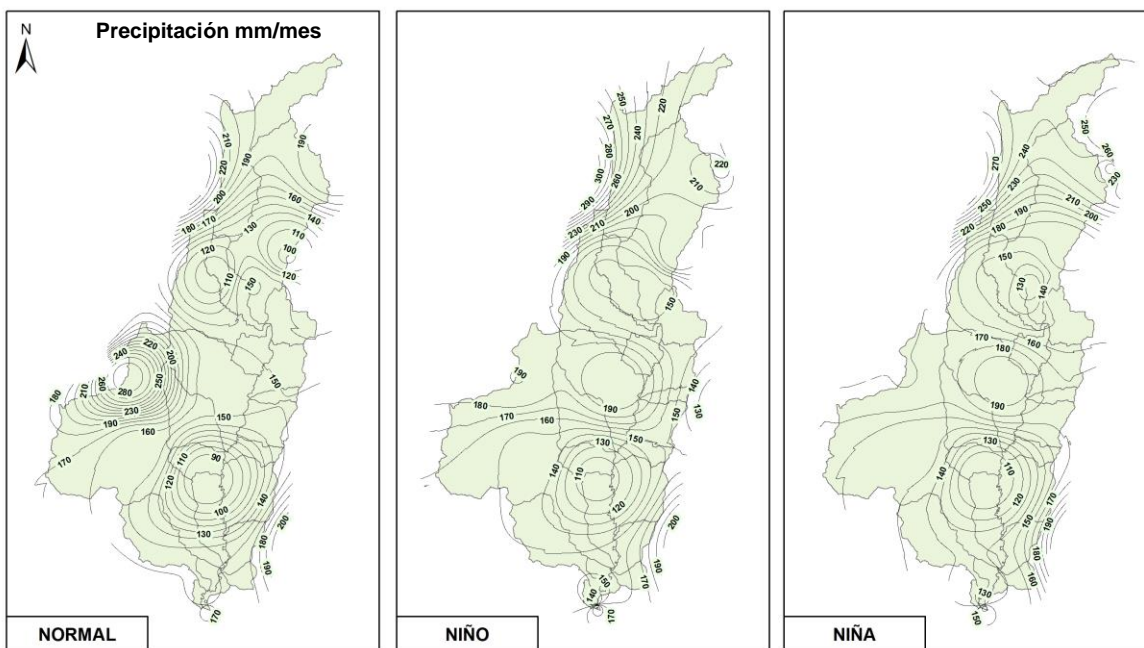


Figura 70. Variabilidad climática isoyetas marzo
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

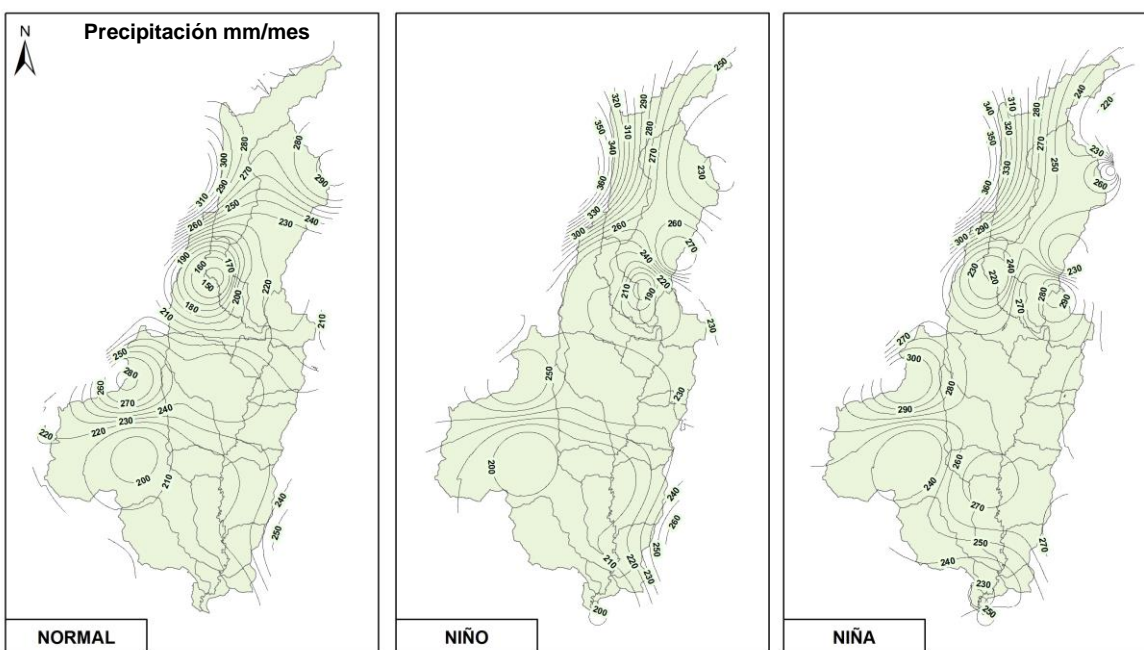


Figura 71. Variabilidad climática isoyetas abril
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

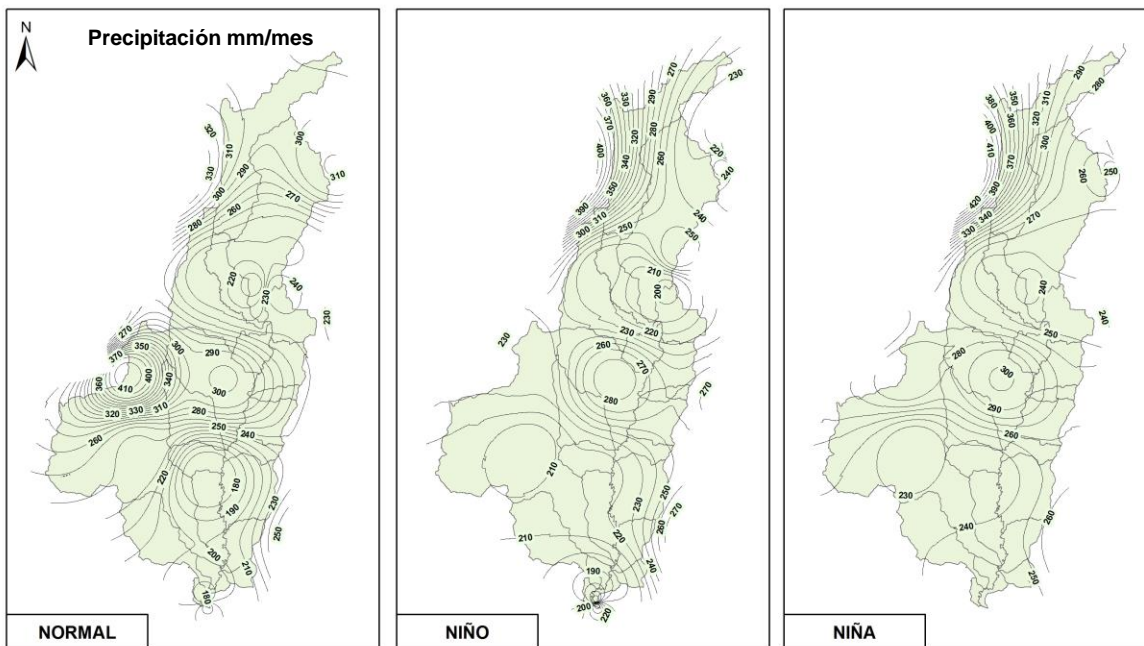


Figura 72. Variabilidad climática isoyetas mayo
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

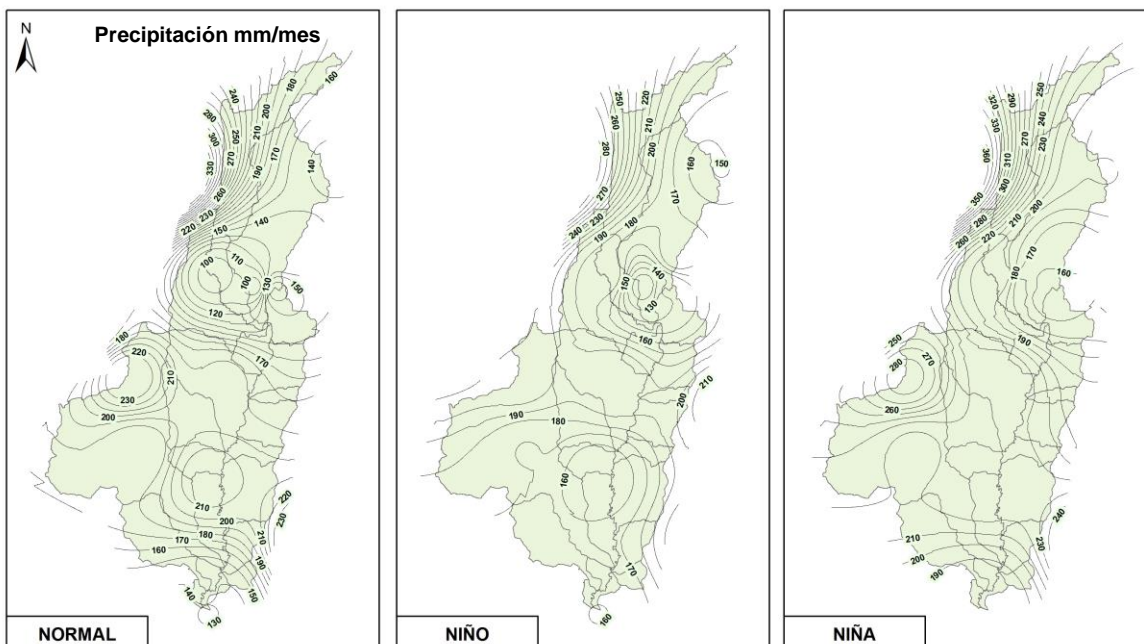


Figura 73. Variabilidad climática isoyetas junio
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

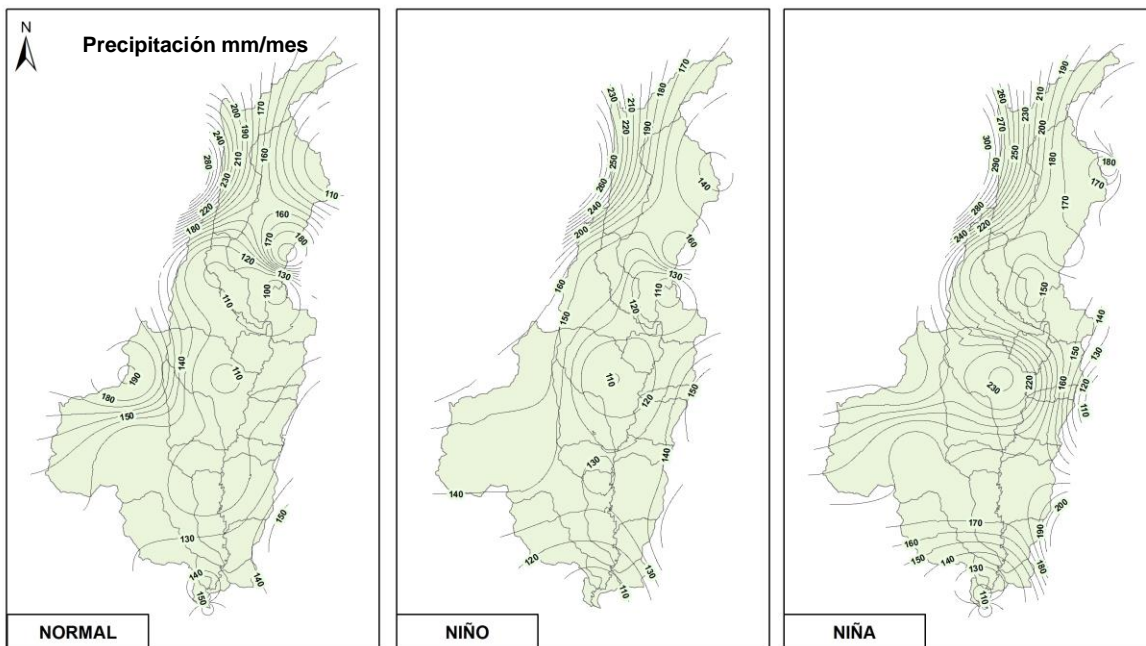


Figura 74. Variabilidad climática isoyetas julio
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

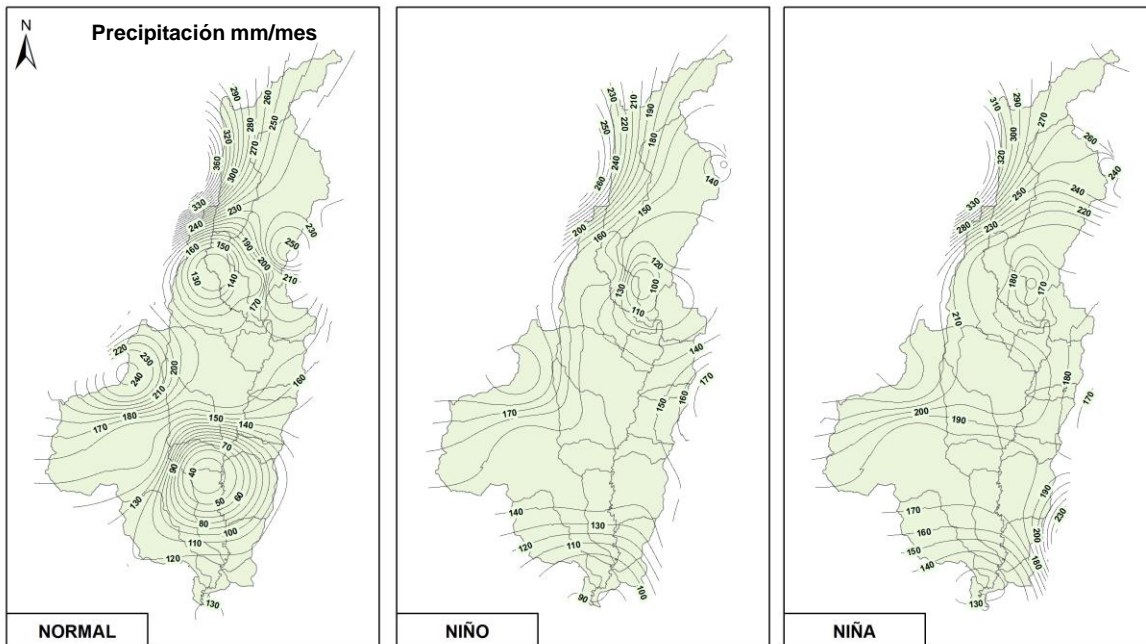


Figura 75. Variabilidad climática isoyetas agosto
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

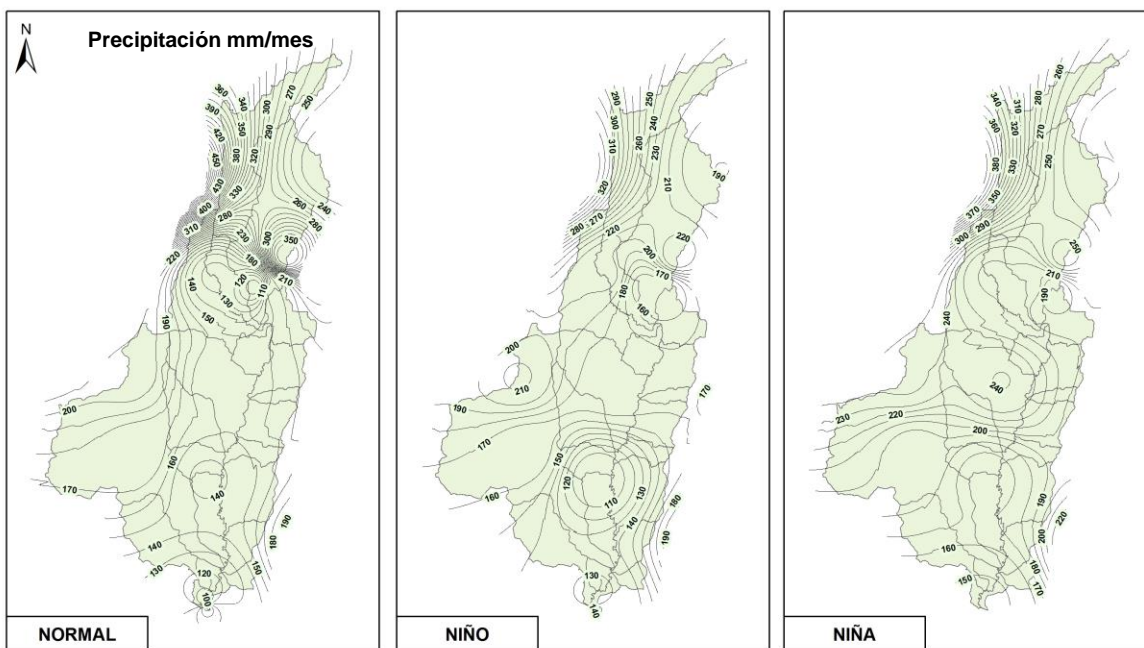


Figura 76. Variabilidad climática isoyetas septiembre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

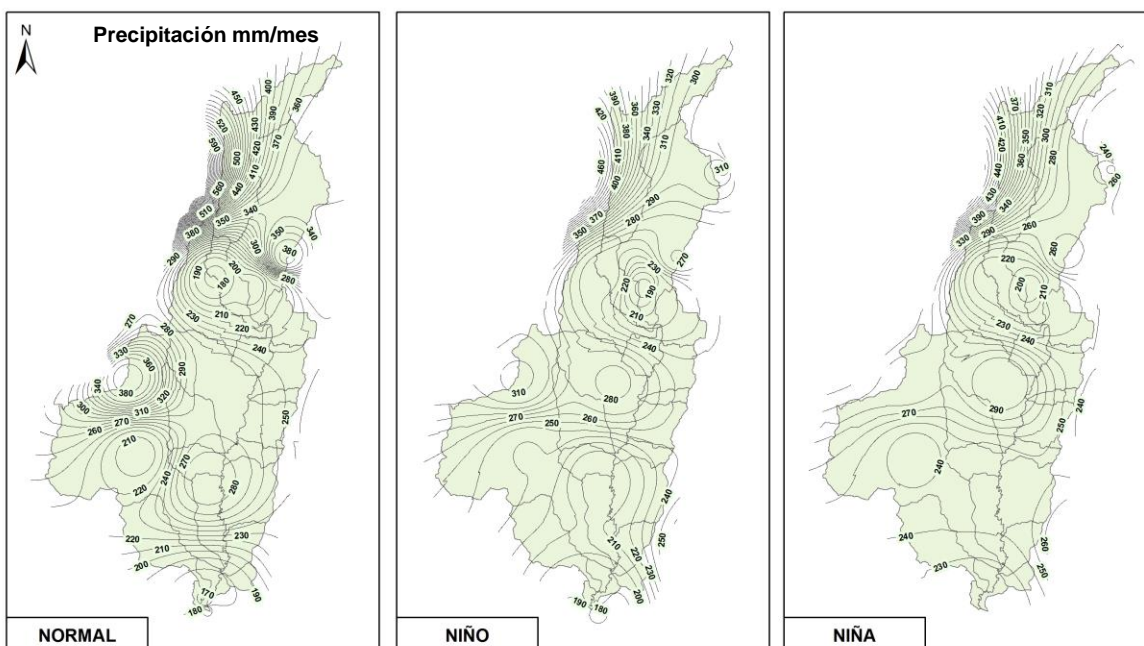


Figura 77. Variabilidad climática isoyetas octubre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

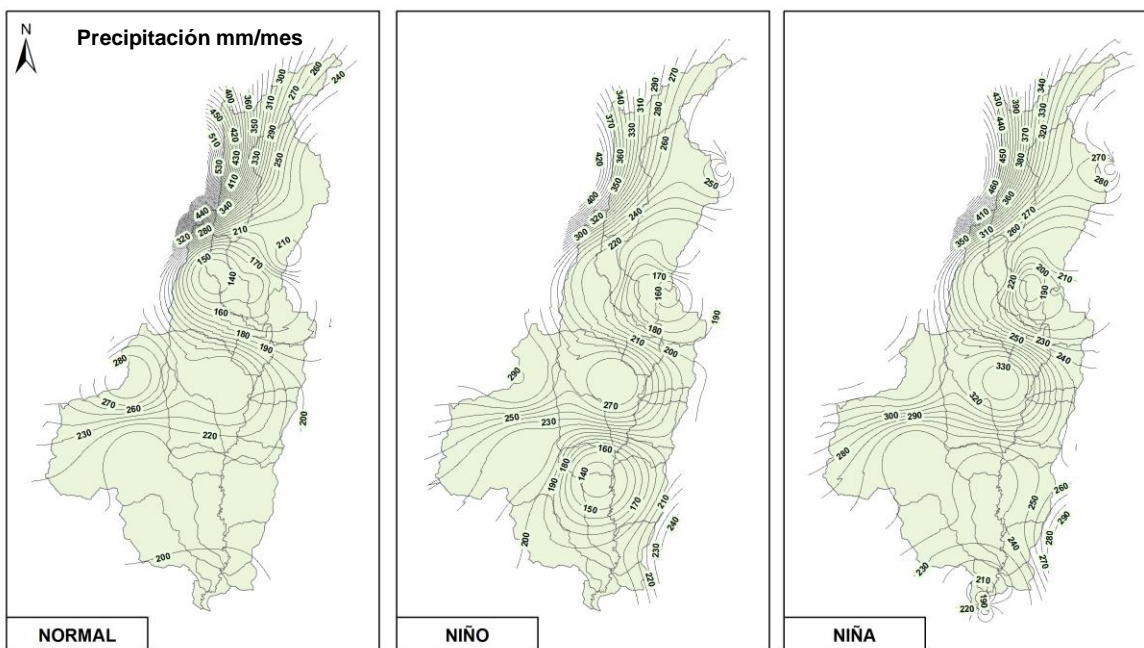


Figura 78. Variabilidad climática isoyetas noviembre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

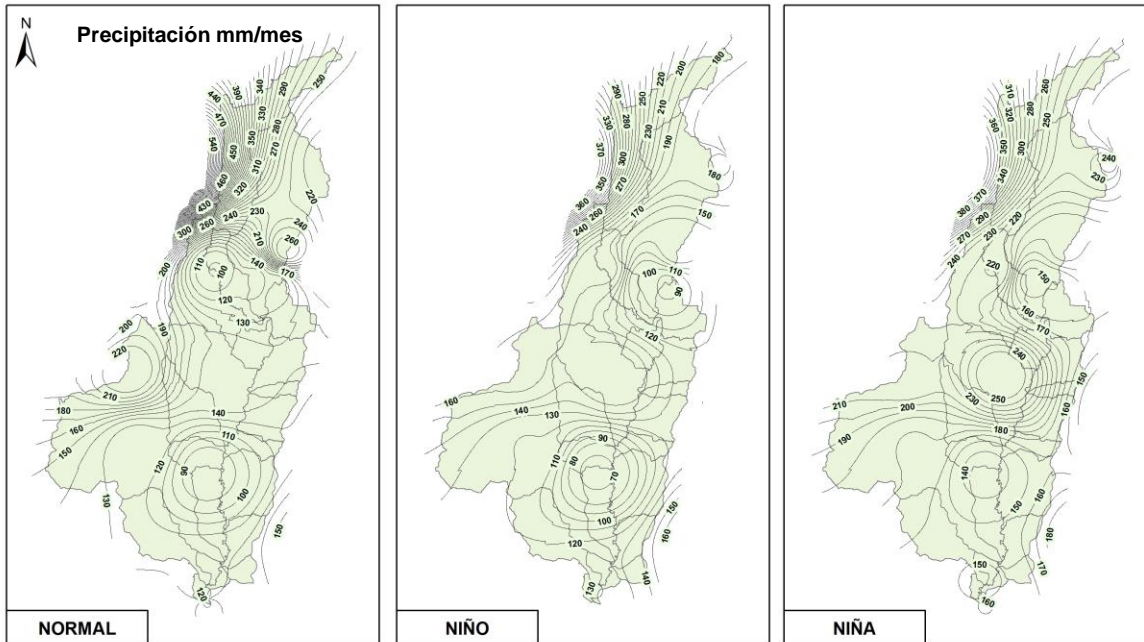


Figura 79. Variabilidad climática isoyetas diciembre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2017

11 CONOCIMIENTO DEL COMPONENTE CLIMÁTICO

Hacia la parte alta de la cuenca, donde se tiene la presencia y nacen los principales ríos tributarios del Risaralda, se recomienda la instalación de estaciones climatológicas e hidrológicas que permitan un mejor entendimiento de los procesos y servicios ecosistémicos que ofrece la cuenca alta. En particular, los asociados a la regulación hidrológica en los meses donde se presenta la influencia del fenómeno del Niño.

En particular, se debe considerar ampliar la instalación de estaciones que incluyan variables meteorológicas adicionales a la precipitación, tales como: temperatura, radiación, brillo solar, dirección y velocidad del viento, humedad relativa y evaporación, que permitan una mejor interpretación espacio-temporal de su comportamiento en toda la cuenca.

Se recomienda articular la información de la Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda (REDH), la Red Hidroclimatológica del IDEA Universidad de Manizales, al Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), el cual es responsabilidad de la CARDER y COPORCALDAS.

12 BIBLIOGRAFÍA.

Boada Cuevas, P. A. (2012). Caracterización climatológica de la cuenca alta del río Bogotá.

Corredor, J. (2014). Zonificación climatológica según el modelo Caldas–Lang de la cuenca Río negro mediante el uso del Sistema de Información Geográfica SIG.

CORPOCALDAS (2005). Estudio sobre el estado actual de los páramos en el departamento de Caldas

Cob, A. M. (2002). Infraestimación de la evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite en climas semiáridos. In *La información climática como herramienta de gestión ambiental bases de datos y tratamiento de series climatológicas: Reunión Nacional de Climatología (7th 2002 Albarracín, España)* (pp. 117-122).

García González, M. L. (2014). *Régimen e índice de aridez de Colombia: participación de Colombia en el proyecto regional del mapa de zonas áridas* (Doctoral dissertation).

Jaramillo, A. (2007). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia.

Vélez, J., Poveda, G. y Mesa, O. 2000. Balances Hidrológicos de Colombia. s.l.: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas - Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, 2000.

Unión Temporal Audicon Ambiotec, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2006). Elaboración de los estudios de diagnóstico prospectiva y formulación para la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suarez