



EVALUACION REGIONAL DEL AGUA

CUENCA CACHIRA SUR NIVEL I

Corporación Autónoma Regional para la
Defensa de la Meseta de Bucaramanga
C D M B
2019

Cascada Salto del Indio - El Playón

EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA-ERA

Cuenca Cáchira Sur

Corporación Autónoma Regional para la Defensa
de la Meseta de Bucaramanga

CDMB

2019

Documento

Elaboración	<p>Olga Johanna Sanabria Suescun Química-Especialista Ingeniería Ambiental</p> <p>Carlos Mauricio Torres Galvis Ingeniero Civil – Especialista Preservación Recursos Hídricos y Suelos</p>	Julio/2019
Soporte	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Cáchira Sur -POMCA 2019 • Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación regional del agua –ERA 2013 • Estudio Nacional del Agua-ENA 2010 • Estudio Nacional del Agua-ENA 2018 • Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010 • Decreto N°1640 de agosto de 2012 	
Revisión	<p>María Carmenza Vicini Martínez Coordinadora Gestión del Conocimiento e Investigación Ambiental</p> <p>Nelson Andrés Mantilla Oliveros Subdirector Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio-SOPIT</p>	Julio/2019
Aprobación	<p>Nelson Andrés Mantilla Oliveros Subdirector Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio-SOPIT</p>	Julio/2019
Dirección	<p>Dr. Martin Camilo Carvajal Camaro Director General CDMB</p>	

Contenido

PRESENTACIÓN	14
CAPÍTULO 1. INSTRUMENTOS BASICOS PARA LA EVALUACION DEL AGUA DE LA CUENCA CÁCHIRA SUR	16
1. INSTRUMENTOS	16
1.1 Instrumentos técnicos	16
1.2 Instrumentos de planificación ERA 2013	17
1.3 Instrumentos económicos	17
Salto El Indio-Playón	18
CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL E INDICADORES	19
2.1 Marco conceptual.....	19
2.2 Sistema de indicadores.....	19
Pozo El Silencio	21
CAPITULO 3. INFORMACIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA NIVEL II CACHIRA SUR.....	22
3.1 Localización de la cuenca NIVEL I en estudio	22
3.2 Clima.....	23
3.3 División Hidrológica de la Cuenca.....	24
3.3.1 Área (Km ²) de las Subcuencas Nivel II Cáchira sur.....	27
3.3.2 Porcentaje de las Subcuencas Nivel II Cáchira Sur	27
3.3.3 Distribución de Pendientes Cuenca Nivel I Cáchira Sur	27
3.3.4 Red estaciones Hidrometereológicas	30
CAPITULO 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	34
4.1 Características morfométricas y fisiográficas de las subcuencas nivel II de unidades hidrográficas que componen la Cuenca Cáchira Sur	34
4.2 Series de tiempo de las estaciones.....	35
4.2.1 Información disponible de las estaciones IDEAM	36
4.2.2 Selección del periodo de estudio.....	38
4.2.3 Series de tiempo.....	39
4.2.4 Estimación de datos faltantes.....	41
4.3 Análisis de estacionalidad, homogeneidad, consistencia y aleatoriedad	41
4.4 Precipitación	42

4.4.1 Distribución espacial.....	43
4.4.2 Precipitación máxima	45
4.4.3 Análisis de frecuencia precipitación máxima en 24 horas	47
4.5 Curvas IDF	50
4.5.1 Número de días con lluvia	51
4.6 Temperatura	53
4.6.1 Distribución temporal de temperatura	53
4.6.1 Distribución espacial.....	56
4.7 Humedad relativa.....	61
4.7.1 Distribución temporal humedad relativa	61
4.7.2 Distribución espacial humedad relativa	62
4.8 Evaporación	63
4.8.1 Distribución temporal. Evaporación	64
4.8.2 Distribución espacial de la evaporación	66
4.9 Brillo solar.....	67
4.10 Velocidad y dirección del viento	70
4.10.1 Recorrido del viento.....	72
4.11 Evapotranspiración.....	73
4.11.1 Evapotranspiración potencial.....	73
4.11.2 Evapotranspiración real (ETR)	79
4.12 Balance Hidroclimático.....	83
4.13 Balance hídrico de largo plazo	89
5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA CACHIRA SUR	91
5.1 Grados de humedad de Lang	93
6. DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE OFERTA HÍDRICA.....	96
6.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS)	96
6.2 Caudal ambiental	98
6.3 Oferta hídrica total disponible (OHDT)	99
6.4 Rendimiento hídrico	100
7. INDICADORES.....	105
7.1 Demanda hídrica.....	105
7.1.1 Demanda de uso doméstico	105
7.1.2 Demanda uso industrial	106
7.1.3 Demanda uso agrícola.....	107

7.1.4	Demanda uso pecuario.....	107
7.2	Índice de aridez.....	110
7.3	Índice de retención y regulación hídrica (IRH).....	114
7.4	Índice uso de agua superficial (IUA).....	125
7.5	Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)	127
7.6	Índice de vulnerabilidad por eventos torrenciales (IVET)	129
7.6.1	Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT).....	129
7.6.2	Índice de variabilidad de caudales (IV).....	133
7.6.3	Índice de vulnerabilidad eventos torrenciales (IVET)	135
7.7	Índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL)	137
7.7.1	Cálculo de IACAL DBO ₅	137
7.7.2	Cálculo IACAL DQO-DBO	137
7.7.3	Cálculo de IACAL SST	138
7.7.4	Cálculo de IACAL Nitrógeno.....	138
7.7.5	Cálculo de IACAL Fósforo	139
7.8	Índice de calidad de agua (ICA).....	141
7.8.1	Metodología del cálculo (ICA).....	144
7.8.2	Índice de calidad de agua promedio.....	145
8.	ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CUENCA CACHIRA SUR.....	147
9.	CONCLUSIONES	150
9.1	Acciones	153
10.	BIBLIOGRAFIA.....	155

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro Relación Sistema de Indicadores	21
Figura 2. Localización general Cuenca Nivel I Cáchira Sur.....	22
Figura 3. Elevación msnm Cáchira Sur.	23
Figura 4. Zona hidrológica Cuenca Cáchira Sur.....	24
Figura 5. Mapa delimitacion subcuencas, 5ª Mapa hidrografía (Subcuencas Nivel II)	26
Figura 6. Mapa de pendientes en porcentaje Cáchira Sur.....	29
Figura 7. Mapa Localización de las estaciones climatológicas	32
Figura 8. Distribución Espacial de la Precipitación Anual (mm) - Cuenca río Cáchira Sur.....	45
Figura 9. Distribución espacial de la Temperatura Media anual °C - cuenca del río Cáchira Sur	60
Figura 10. Distribución Espacial de la Humedad Relativa Promedio % Cuenca Del Río Cáchira Sur.	63
Figura 11. Distribución Espacial de la Evaporación mm - Cuenca del Río Cáchira Sur	66
Figura 12. Distribución espacial media mensual brillo solar (hr/año) - cuenca del río Cáchira Sur.....	69
Figura 13. Rosa de los vientos Estación Villa Leiva.	71
Figura 14. ETP mensual cuenca rio Cáchira Sur.....	76
Figura 15. ETP mensual (enero-junio) cuenca rio Cáchira Sur.	77
Figura 16. ETP mensual julio-diciembre, cuenca rio Cáchira Sur.....	78
Figura 17. ETR anual Cuenca Rio Cáchira Sur	80
Figura 18. ETR mensual (enero – junio) cuenca rio Cáchira Sur.	81
Figura 19. ETR mensual (enero – junio) cuenca rio Cáchira Sur.	82
Figura 20. Balance hídrico de largo plazo [mm/año].	90
Figura 21. Plano Pisos Térmicos Caldas Lang – Cáchira Sur.....	93
Figura 22. Grado de Humedad Caldas Lang – Cáchira Sur	94
Figura 23. Plano Zonificación Climática Caldas Lang – Cáchira Sur.....	95

Figura 24. Rendimiento hídrico anual, Cuenca Cáchira Sur.....	102
Figura 25. Rendimiento hídrico Mensual Año Normal (Ene-Jun) Cuenca Cáchira Sur	103
Figura 26. Rendimiento hídrico Mensual Año Normal (Jul-Dic) Cuenca Cáchira Sur	104
Figura 27. Demanda hídrica Cuenca Cáchira Sur	109
Figura 28. Índice de aridez – IA cuenca del río Cáchira Sur.....	113
Figura 29. Mapa zonificación espacial del Índice de Regulación Hídrica	124
Figura 30. Índice de uso de agua cuenca Cáchira Sur. Condición hidrológica Año Normal	126
Figura 31. Índice Vulnerabilidad Por Desabastecimiento (IVH).	128
Figura 32. Índice Morfométrico para la Cuenca Cáchira Sur	132
Figura 33. Categorización del índice de variabilidad	134
Figura 34. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET).....	136
Figura 35. Gráfica del IACAL total de la cuenca	140
Figura 36. Mapa puntos de monitoreo área jurisdicción de la CDMB	143
Figura 37. Mapa calidad tramos Cáchira Sur	146
Figura 38. Evaluación integral ERA cuenca Cáchira Sur.....	149

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Área (Ha) Subcuenca Nivel II Cachira Sur	27
Gráfica 2. Área (Ha) Subcuencas Nivel II Cachira Sur	27
Gráfica 3. Periodo de Operación de Estaciones Identificadas del IDEAM.....	36
Gráfica 4. Periodo de registro de precipitación total	39
Gráfica 5. Distribución temporal de la precipitación Estaciones IDEAM.....	43
Gráfica 6. Variación de la precipitación con la elevación.....	44
Gráfica 7. Variación Temporal Precipitación Máxima en 24 Horas.....	47
Gráfica 8. Precipitación Máxima Anual. Estación Vivero Surata.....	48
Gráfica 9. Análisis de Frecuencia de Precipitación Máxima en 24 Horas.....	48
Gráfica 10. Prueba de bondad de ajuste: Estación Vivero Surata	49
Gráfica 11. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: Estación Vivero Surata (23195090).	51
Gráfica 12. Variación Temporal del Número de Días con Lluvia	52
Gráfica 13. Variación temporal de la temperatura media.....	54
Gráfica 14. Variación temporal de la temperatura máxima promedio multianual.....	55
Gráfica 15. Variación Temporal de la Temperatura Mínima Media Mensual	56
Gráfica 16. Correlación Elevación Vs Temperatura Media Anual	57
Gráfica 17. Correlación elevación Vs Temperatura Máxima Anual.	57
Gráfica 18. Correlación Elevación Vs Temperatura Mínima Anual	58
Gráfica 19. Valores Medios Mensuales de Humedad Relativa (%)	62
Gráfica 20. Variación temporal de la evaporación total en las estaciones.....	65
Gráfica 21. Valores medios mensuales de brillo solar (Horas/ Mes)	67
Gráfica 22. Brillo Solar Total Mensual Promedio Multianual [Horas/Mes].....	68
Gráfica 23. Variación temporal de la velocidad del viento	71
Gráfica 24. Variación Temporal Del Recorrido Del Viento.....	73
Gráfica 25. Variación temporal de parámetros del balance hídrico Estación: Villa de Leiva (23185010).	84

Gráfica 26. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: Vivero Surata (23195090)	85
Gráfica 27. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: ESC AGR Cáchira (23195180).	86
Gráfica 28. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: Cachiri (23195200).....	87
Gráfica 29. Balance hídrico para la Cuenca Cáchira Sur.	88
Gráfica 30. Curva duración de caudales Cáchira	119
Gráfica 31. Curva duración de caudales Cachiri Bajo	120
Gráfica 32. Curva duración de caudales Cachiri Alto	120
Gráfica 33. Curva duración de caudales Romeritos	121
Gráfica 34. Curva duración de caudales El Pino	121
Gráfica 35. Curva duración de caudales El Pino	122

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Subcuencas nivel II, de la cuenca nivel I - Cáchira Sur	25
Tabla 2. Rangos de pendientes de acuerdo a IGAC	28
Tabla 3. Pendientes Cuenca Cáchira Sur.....	30
Tabla 4. Estaciones Hidrometereológicas área jurisdicción CDMB	31
Tabla 5. Estaciones disponibles IDEAM.	32
Tabla 6. Caracterización morfométrica y fisiográfica de las subcuencas Nivel II de la cuenca Nivel I Cáchira Sur.....	35
Tabla 7. Información Disponible de las Estaciones IDEAM	38
Tabla 8. Periodo de Estudio Homogéneo Seleccionado.....	40
Tabla 9. Series eliminadas. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015. .	40
Tabla 10. Precipitación Total Media Mensual Multianual [mm/mes]	42
Tabla 11. Precipitación máxima en 24 horas promedio multianual [mm/día].....	46
Tabla 12. Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno [mmm/día]	50
Tabla 13. Resultados de las curvas IDF [mm/hora]: VIVERO SURATA (23195090).	51
Tabla 14. Número de días con Lluvia Promedio Multianual [días].....	52
Tabla 15. Temperatura Media Mensual Promedio Multianual [°C].	53
Tabla 16. Temperatura máxima promedio multianual [°C].....	55
Tabla 17. Temperatura mínima promedio multianual [°C]	56
Tabla 18. Regresión lineal Temperatura media contra elevación	58
Tabla 19. Regresión lineal Temperatura máxima contra elevación	59
Tabla 20. Regresión lineal Temperatura mínima contra elevación	59
Tabla 21. Humedad Relativa Media Mensual Promedio Multianual.	61
Tabla 22. Evaporación total mensual promedio multianual [mm/mes].....	64
Tabla 23. Meses de evaporación máxima, media y mínima	66
Tabla 24. Brillo solar total mensual promedio multianual [horas/mes].....	68
Tabla 25. Velocidad media promedio multianual y dirección más frecuente [m/s].....	70
Tabla 26. Recorrido del viento [km/mes].	72

Tabla 27. Recorrido del viento [km/mes].	72
Tabla 28. Balance hídrico estación Villa de Leiva (23185010)	84
Tabla 29. Balance hídrico estación: Vivero Surata (23195090).....	85
Tabla 30. Balance hídrico estación: ESC AGR Cáchira (23195180)	86
Tabla 31. Balance hídrico estación Cachiri (23195200).	87
Tabla 32. Balance hídrico a nivel de cuenca.	88
Tabla 33. Resultados anuales del balance hídrico de cada subcuenca..	89
Tabla 34. Caudal por subcuenca obtenido por balance hídrico de largo plazo	91
Tabla 35. Modelo climático de Caldas – Lang.....	93
Tabla 36. Grado de humedad de Lang.....	94
Tabla 37. Distribución real del clima en la Cuenca del Río Cáchira Sur.....	96
Tabla 38. Oferta hídrica total año normal, Cáchira Sur.....	97
Tabla 39. Oferta hídrica total año seco, Cáchira Sur.....	97
Tabla 40. Oferta hídrica total lluvioso, Cáchira Sur.	98
Tabla 41. Valores de caudales ambientales año Normal.....	98
Tabla 42. Valores de caudales ambientales año seco y lluvioso.....	99
Tabla 43. Valores de caudales ambientales Año Seco Lluvioso.	99
Tabla 44. Oferta hídrica disponible año normal, Cáchira Sur.	99
Tabla 45. Oferta hídrica disponible año seco, Cáchira Sur.....	100
Tabla 46. Oferta hídrica disponible año lluvioso.	100
Tabla 47. Rendimiento hídrico año normal, Cáchira Sur.	101
Tabla 48. Rendimiento hídrico año seco, Cáchira Sur.....	101
Tabla 49. Rendimiento hídrico año lluvioso, Cáchira Sur.....	101
Tabla 50. Demanda Total M3/año	108
Tabla 51. Categorías del Índice de Aridez.....	111
Tabla 52. Índice de Aridez Año Normal	111
Tabla 53. Oferta hídrica Subcuenca Cáchira.....	115
Tabla 54. Oferta hídrica Subcuenca Cachiri Bajo	115
Tabla 55. Oferta hídrica Subcuenca Cachiri Alto	116
Tabla 56. Oferta hídrica Subcuenca Romeritos.....	117
Tabla 57. Oferta hídrica Subcuenca El Pino.....	117

Tabla 58. Oferta hídrica Subcuenca El Playón	118
Tabla 59. Ecuaciones duración de caudales para las estaciones	119
Tabla 60. Cálculo del Índice de Regulación Hídrica	123
Tabla 61. IUA Cuenca Cáchira Sur	125
Tabla 62. Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento (IVH)	127
Tabla 63. Índice Morfométrico	130
Tabla 65. Índice de variabilidad	133
Tabla 66. Categorías IVET	135
Tabla 67. Cálculo de IACAL DBO ₅ por subcuenca para época media.....	137
Tabla 68. Cálculo del IACAL DQO-DBO por subcuenca para época media.....	138
Tabla 69. Cálculo del IACAL SST por subcuenca en época media.....	138
Tabla 70. Cálculo del IACAL Nitrógeno por Subcuenca en época media.....	138
Tabla 71. Cálculo del IACAL Fósforo por subcuenca en época media.....	139
Tabla 72. Cálculo del IACAL para época media	139
Tabla 73. Descriptores de la Calidad del ICA	144
Tabla 74. Índice de calidad promedio	145
Tabla 75. Categoría de criticidad integral.	147
Tabla 76. Evaluación integral de la Cuenca Cáchira Sur.....	148

PRESENTACIÓN

La Evaluación Regional del Agua – ERA de la cuenca Nivel I Cáchira sur que pertenece al área de jurisdicción de la CDMB, se elaboró conforme lo establece el artículo 8° del Decreto N°1640 de agosto de 2012. La información incluida en el presente documento, aporta conocimiento del comportamiento climático y del estado actual de las reservas hídricas en la Cuenca Cáchira Sur.

Así mismo, este estudio brinda conocimiento para emprender acciones de protección y conservación de los recursos hídricos, en procura de restablecer un adecuado equilibrio en la zona.

En el presente documento se encuentran los resultados de la Evaluación Regional del Agua (ERA) para la **CUENCA CÁCHIRA SUR**, jurisdicción de la CDMB, en el cual se actualiza el estado, dinámica y tendencias del sistema hídrico en esta cuenca, producto de los procesos naturales y antrópicos para ejercer una adecuada administración en el uso y manejo sostenible del recurso hídrico.

Este documento se construyó con información actualizada del POMCA Cáchira Sur de la CDMB, y determina el estado de los indicadores que dan cuenta de las presiones por uso, afectaciones y criticidad del sistema hídrico.



Laguna de Guerrero- Cáchira

SECCIÓN A

CAPÍTULO 1. INSTRUMENTOS BASICOS PARA LA EVALUACION DEL AGUA DE LA CUENCA CÁCHIRA SUR

1. INSTRUMENTOS

Los instrumentos de gestión aprobados en la normatividad y considerados para la elaboración de los estudios regionales del agua son de carácter técnico, de planificación, y económicos.

1.1 Instrumentos técnicos

- a. Programa de Monitoreo del Recurso Hídrico en el área de jurisdicción de la CDMB.
- b. Registro de usuarios del recurso hídrico. Es un instrumento diseñado para consolidar la información de concesiones de agua y permisos de vertimiento.
- c. Guías para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico.
Incluye la guía para el Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, guía para los planes de ordenación del recurso hídrico-PORH, guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, guía para la elaboración de planes de manejo ambiental de acuíferos, y la guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas.
- d. Normatividad

Decreto N°1640 de agosto de 2012 del MADS
Decreto 1323 de 2007 del IDEAM
Decreto 1076 de 2015 del MADS(Capítulo 5 sección 1, artículo 2.2.3.5.1.2, Sistema de Información del Recurso Hídrico –SIRH),
Acuerdo de Consejo Directivo CDMB N° 1339 de 2017

1.2 Instrumentos de planificación ERA 2013

Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca-POMCA de Cáchira Sur-2019
Lineamientos Conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – IDEAM 2013
Guía para la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, POMCA-2014
Planes de ordenación del recurso hídrico-PORH-2014
Estudio Nacional del Agua 2014
Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018
Política Nacional para la Gestión Integrada de Recurso Hídrico promovida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) desde el 2010
Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR)
Plan de Acción Trienal- PAT-2016-2019

1.3 Instrumentos económicos

Los instrumentos económicos más relevantes que apoyan la regulación del uso y las condiciones de calidad corresponden a la tasa por utilización de agua y la tasa retributiva, consignadas en la Ley 99 de 1993, artículos 43 y 42 respectivamente.



SECCIÓN B

CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL E INDICADORES

2.1 Marco conceptual

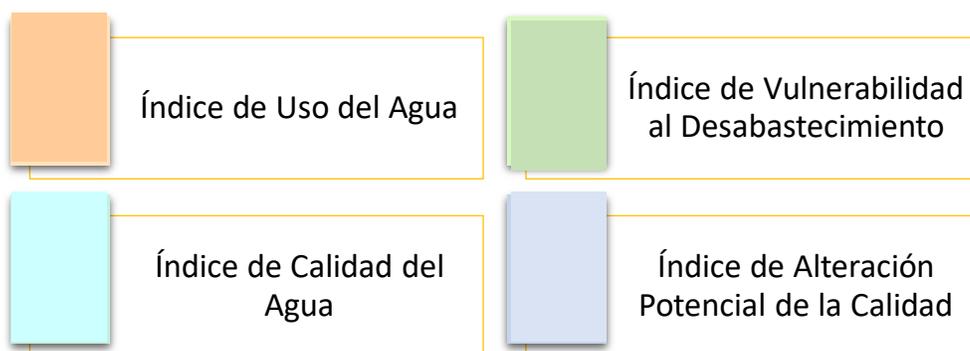
El ciclo hidrológico se soporta en el principio de conservación de masa (*balance hídrico*) y permite estimar la cantidad natural de agua dulce renovable disponible (en ríos, acuíferos, lagunas y glaciares), su distribución espacial y temporal en función del comportamiento de las variables de precipitación, evapotranspiración y escorrentía en las subzonas hidrográficas que integran el territorio colombiano. La evaluación del ciclo natural del agua se centra en el análisis de los flujos y almacenamientos de agua a nivel superficial, a partir de las variables fundamentales que caracterizan la hidrología de la zona a escala de subzona hidrográfica, para un periodo anual multianual y mensual multianual. (ENA, 2018)

2.2 Sistema de indicadores

El sistema de indicadores está integrado por dos grandes grupos: los que dan cuenta del régimen del sistema hídrico natural y los indicadores asociados con la intervención antrópica. Los indicadores de intervención antrópica se proyectan a partir de tres tópicos principales:

- La presión por uso de agua
- El estado de la calidad hídrica y la presión por contaminación sobre las condiciones de calidad
- La vulnerabilidad al desabastecimiento. (ENA, 2018)

De acuerdo al ENA 2010 y el ENA 2018, los indicadores que sintetizan las características del régimen hidrológico son el Índice de Aridez (IA) y el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH). Por otra parte, los factores climáticos e hidrológicos, incorporan la interacción con las actividades antrópicas corresponden a:



INDICE	SIGLA/ABREVIATURA
Uso del Agua	IUA
Vulnerabilidad al Desabastecimiento	IVH
Calidad del Agua	ICA
Alteración Potencial de la Calidad	IACAL

En este contexto, el sistema de indicadores hídricos para ENA 2014 está compuesto por nueve índices, de los cuales seis coinciden con los índices aplicados en ENA 2010. Los tres índices nuevos complementan la evaluación del agua en términos de presión antrópica por uso del recurso, lo cual permite el análisis de las afectaciones en la disponibilidad de agua verde para los ecosistemas (IPHE), las afectaciones en la disponibilidad de agua azul que al ser extraída de una cuenca no retorna a esta misma unidad hídrica (IARC), y la eficiencia en el Uso del Agua (EUA).

Como se puede apreciar en la figura 1, en el ENA 2014, en los Indicadores de Presión por Uso de Agua, se adicionaron tres índices más para un total de nueve (9), con respecto a los seis (6) que existían en el ENA 2010.

Los indicadores incorporados son:

- Índices de Presión Hídrica al Ecosistema (IPHE)
- Índice de Agua No Retornada a la Cuenca (IARC)
- Índice de Eficiencia en el Uso del Agua (IEUA)

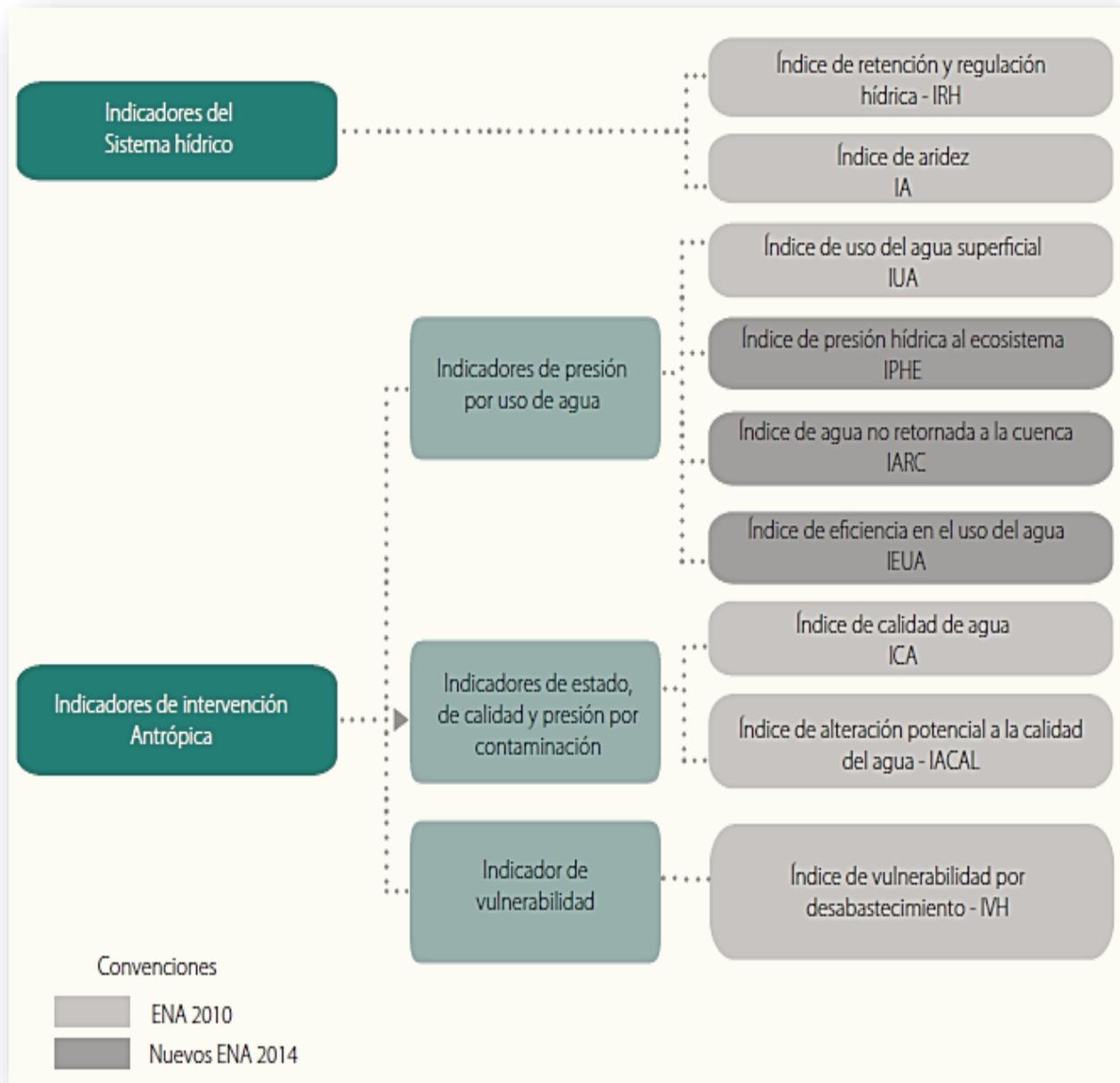


Figura 1. Cuadro Relación Sistema de Indicadores. Tomado de Estudio Nacional del agua 2014

Es importante tener en cuenta, que de los indicadores de presión por el uso del agua, actualmente la CDMB no dispone de información suficiente para realizar el cálculo de estos tres índices, razón por la cual solamente se calcula el índice de uso de agua (IUA).

CAPITULO 3. INFORMACIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA NIVEL II CACHIRA SUR

3.1 Localización de la cuenca NIVEL I en estudio

La Cuenca Nivel I Cáchira Sur, forma parte de la cuenca del río Lebrija, la cual se encuentra ubicada en el área de Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Geográficamente, se sitúa sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental en la zona andina colombiana, y su centro se localiza en las coordenadas 7°30' de latitud norte (N) y 73° 06' de longitud oeste (W), ocupando parte de los municipios de Surata, Rionegro y El Playón con un área de 682.21 km², o 68221 Ha. (Figura 2)

La Cuenca Nivel I del río Cáchira Sur se encuentra a una altura media de 1625 msnm con máximos de 3850 msnm localizados al oriente y mínimos a 175 msnm en el costado occidental en el valle del río Magdalena. (Figura 3)

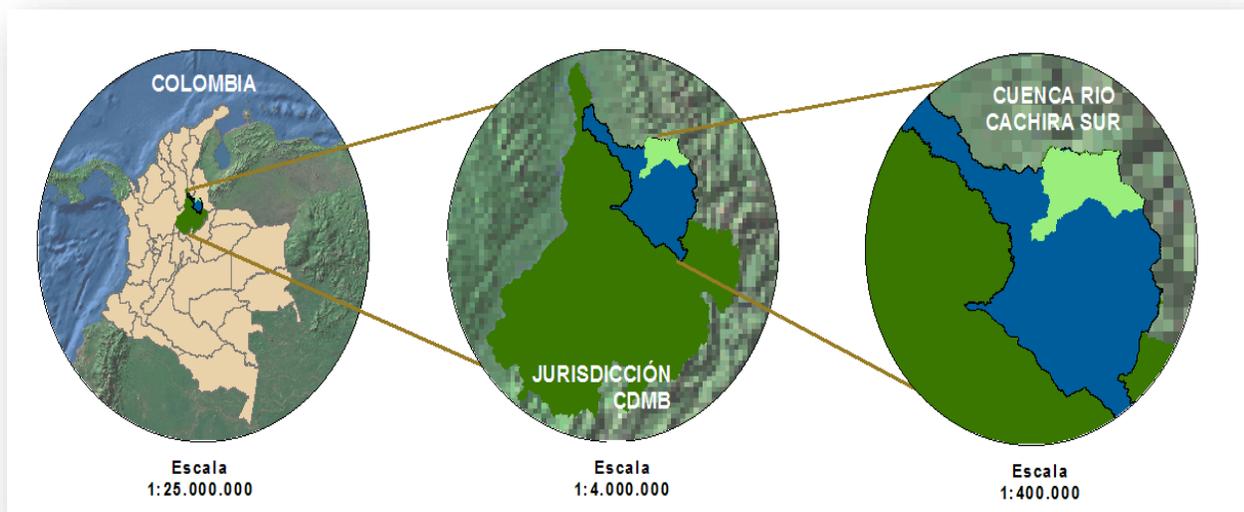


Figura 2. Localización general Cuenca Nivel I Cáchira Sur. Fuente CDMB

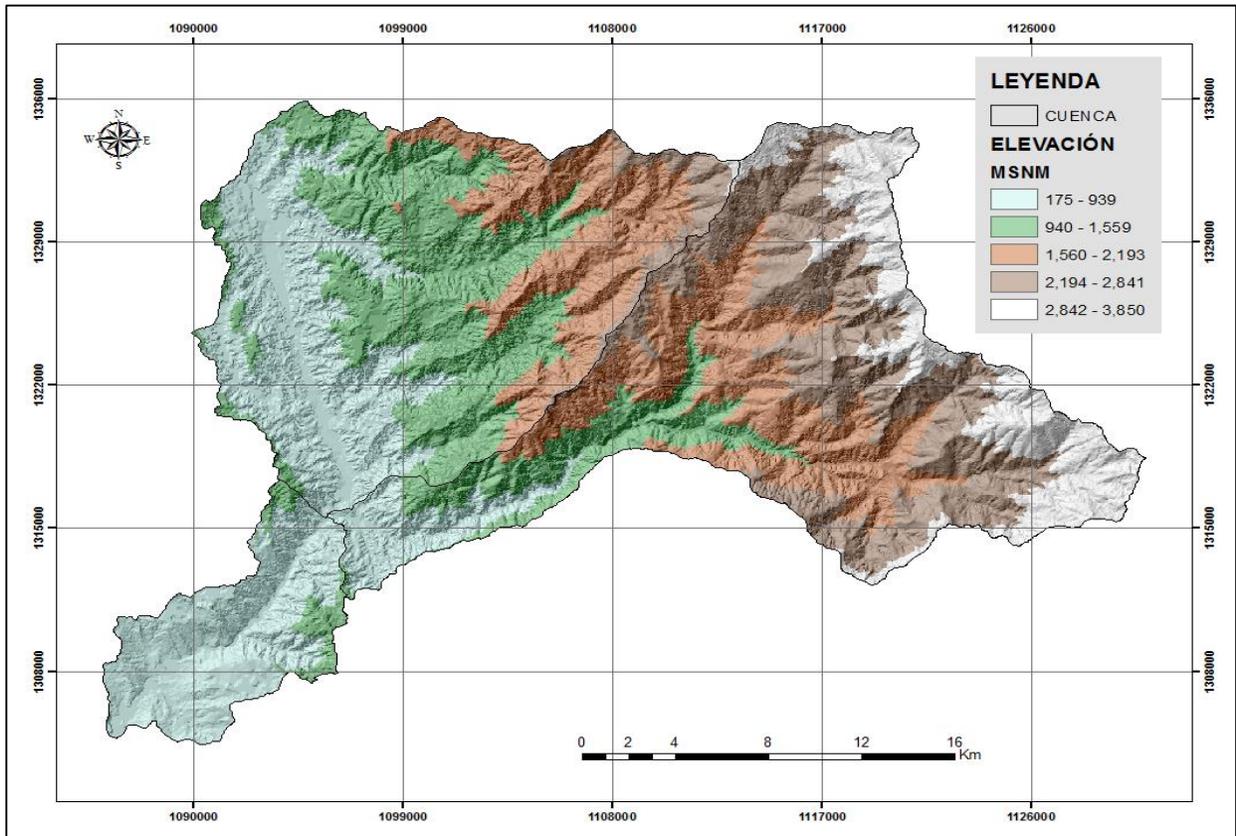


Figura 3. Elevación msnm Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

3.2 Clima

La cuenca es de carácter tropical, con variaciones altimétricas (msnm) que ofrecen una variedad de climas y biodiversidad en flora y fauna. Se halla influenciada por el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que corresponde a la región del globo terrestre donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur, lo cual genera dos períodos húmedos y dos secos que se alternan a lo largo del año.

Otros factores que ejercen influencia en las características climáticas de la cuenca del río Cáchira Sur, son la precipitación, la temperatura, humedad relativa, el brillo solar y especialmente los vientos. (Figura. 4)

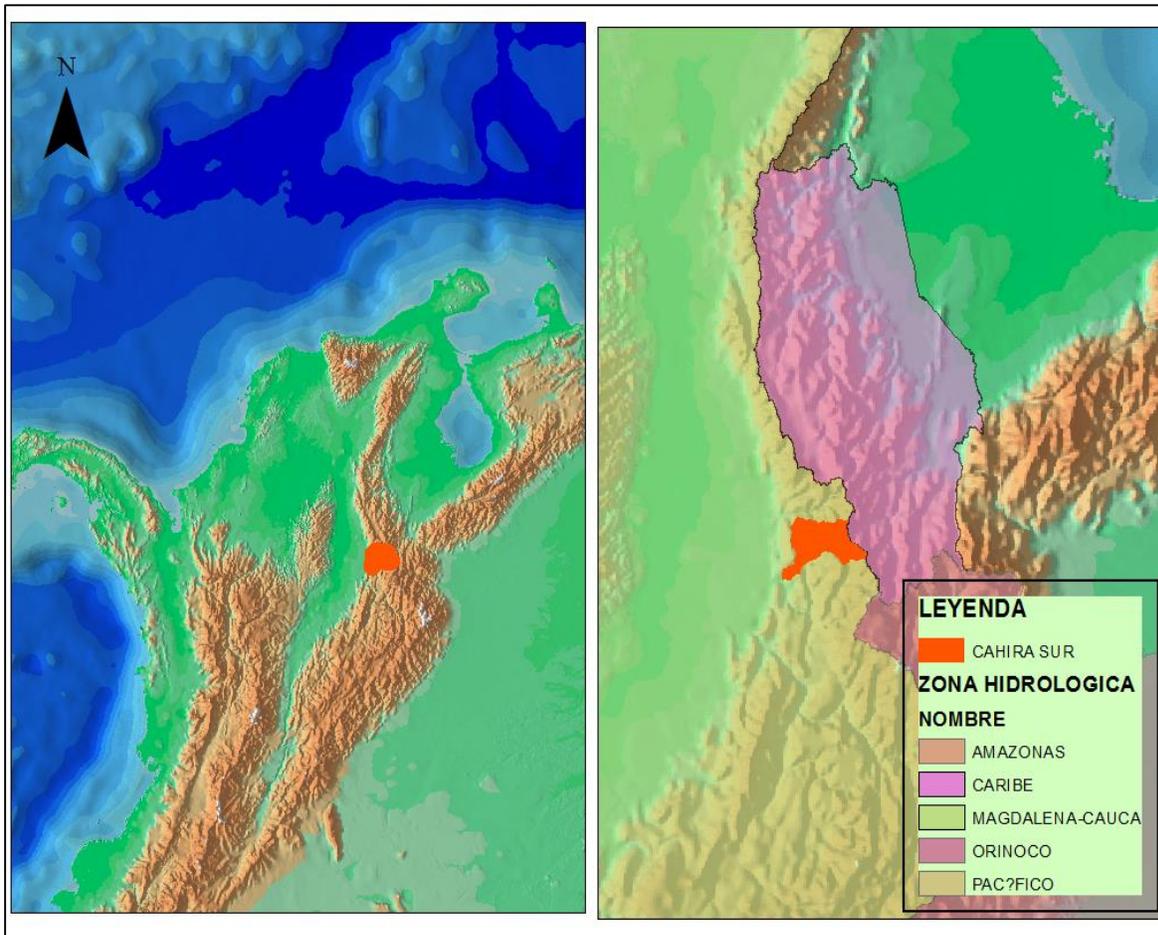


Figura 4. Zona hidrológica Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

3.3 División Hidrológica de la Cuenca

La Cuenca Cáchira Sur - Nivel I código 2319-02, localizada en área de Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, se subdivide a nivel hidrológico en seis (6) Subcuencas- Nivel II (ver Tabla 1), situadas en los municipios de Surata, El Playón y Río Negro, formando parte de la Cuenca del Río Lebrija y otros directos al río Magdalena.

SUBCUENCAS-NIVEL II	CÓDIGO	ÁREA (Km ²)	PERÍMETRO (Km)
CÁCHIRA	2319-02-01	71.48	45.95
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02	58.74	48.70

SUBCUENCAS-NIVEL II	CÓDIGO	ÁREA (Km ²)	PERÍMETRO (Km)
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03	140.07	59.55
ROMERITOS	2319-02-04	117.58	52.48
EL PINO	2319-02-05	139.75	64.25
EL PLAYÓN	2319-02-06	154.59	64.37

Tabla 1. Subcuencas nivel II, de la cuenca nivel I - Cáchira Sur

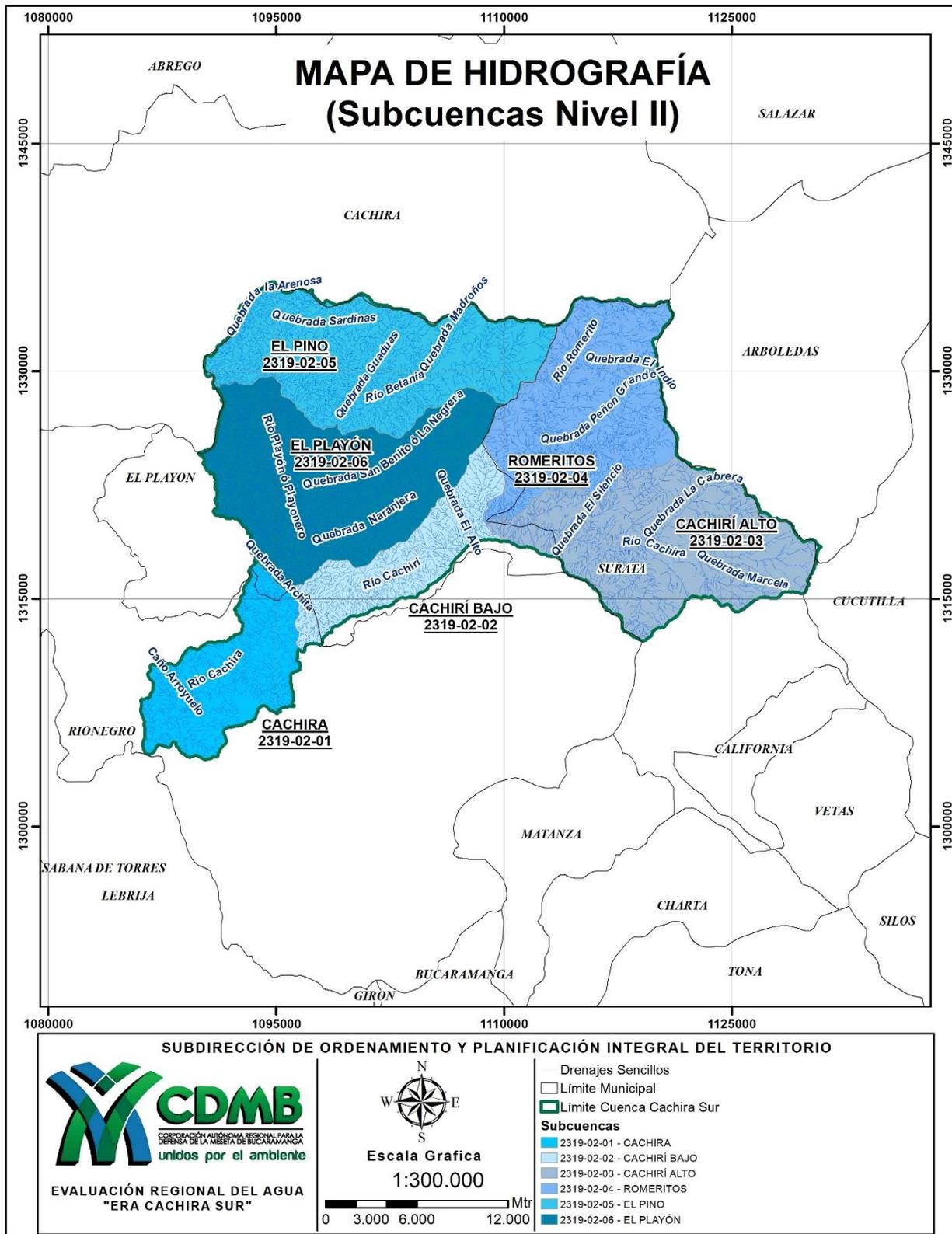
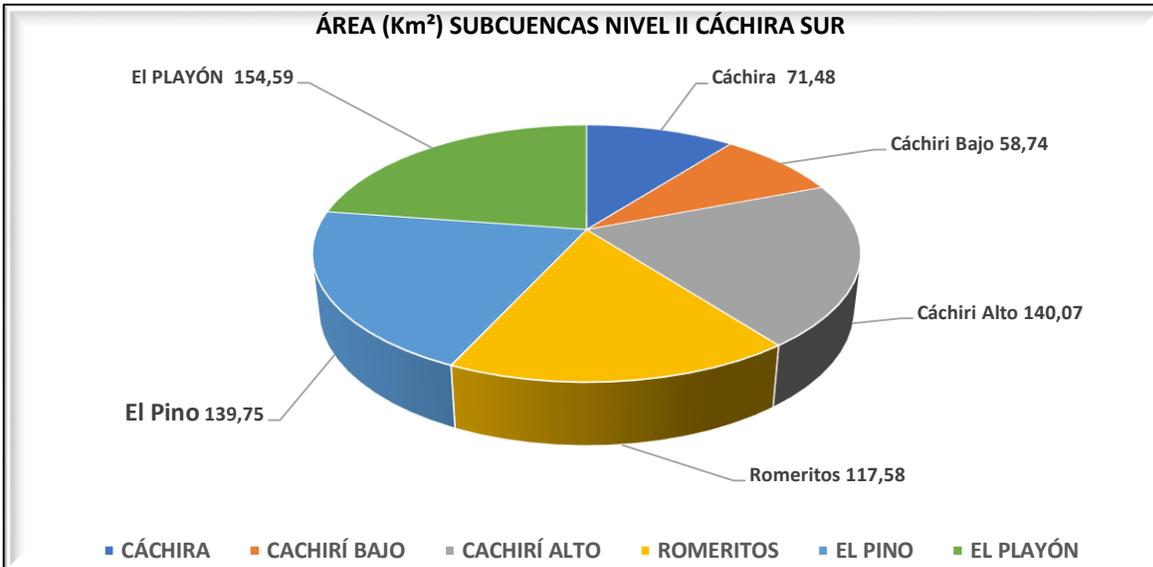


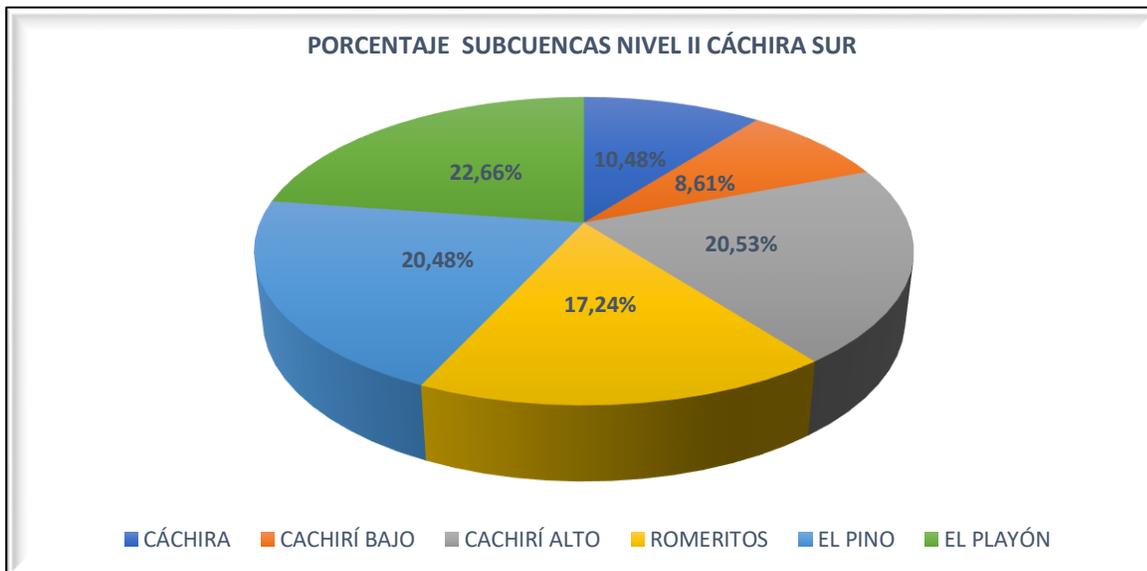
Figura 5A Mapa de hidrografía (Subcuencas Nivel II). Fuente: Pomca Cáchira Sur

3.3.1 Área (Km²) de las Subcuencas Nivel II Cáchira sur



Gráfica 1. Área (Ha) Subcuenca Nivel II Cachira Sur. Fuente: datos UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

3.3.2 Porcentaje de las Subcuencas Nivel II Cáchira Sur



Gráfica 2. Área (Ha) Subcuencas Nivel II Cachira Sur. Fuente: datos UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

3.3.3 Distribución de Pendientes Cuenca Nivel I Cáchira Sur

Teniendo en cuenta el gradiente de pendiente, discriminado en la Tabla 2., La cuenca presenta pendientes entre ligera y moderadamente escarpado. (Fig. 6)

SÍMBOLO	GRADIENTE (%)	DESCRIPCIÓN
A	0 - 3	Plano
B	3- 7	Ligeramente inclinado
C	7 - 12	Moderadamente inclinado
D	12 -25	Fuertemente inclinado
E	25 - 50	Ligeramente escarpado
F	50 - 75	Moderadamente escarpado
G	> 75	Fuertemente escarpado

Tabla 2. Rangos de pendientes de acuerdo a IGAC. Fuente:(IGAC, 2002)

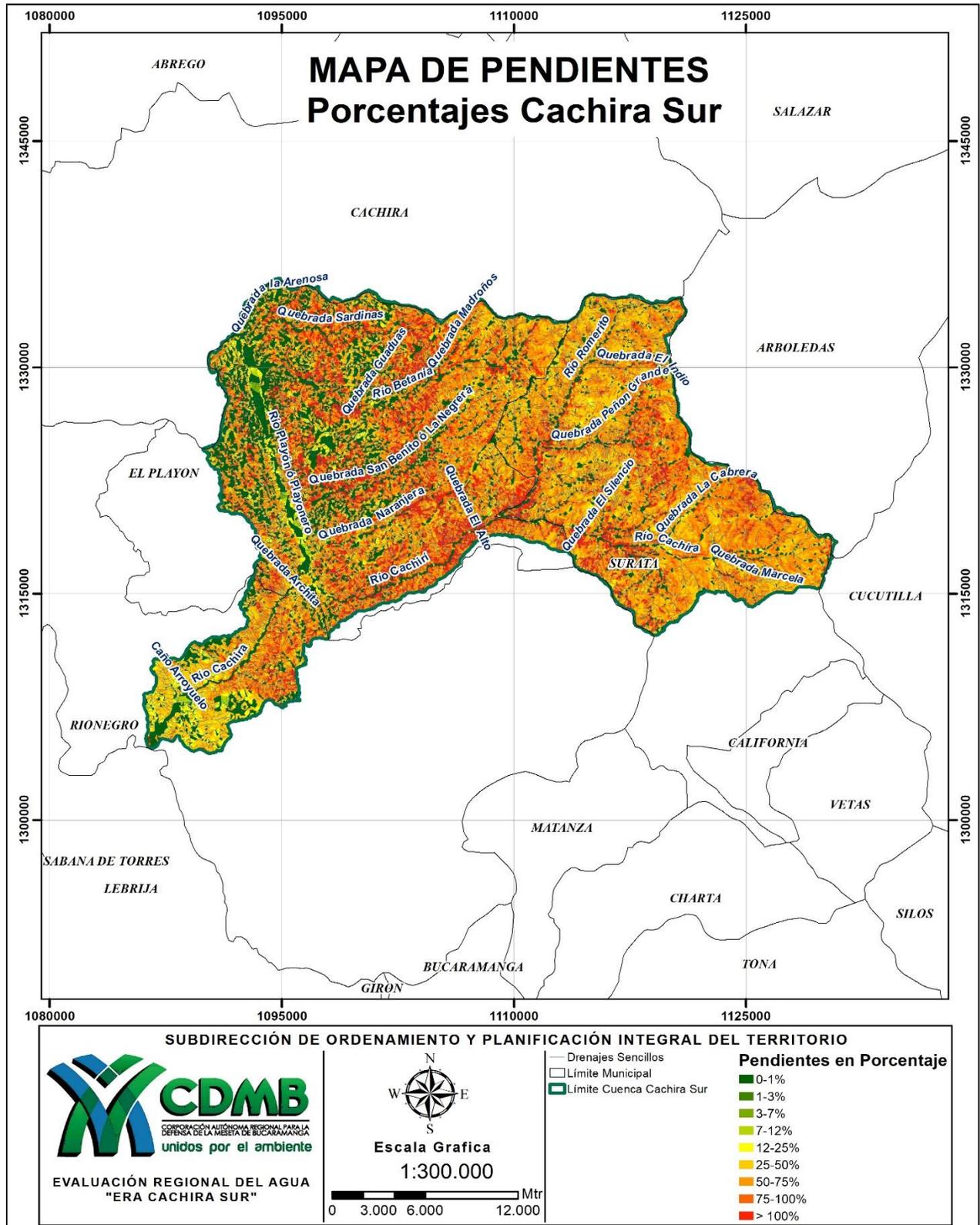


Figura 6. Mapa de pendientes en porcentaje Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La pendiente media de la Cuenca del Cáchira Sur es del orden de 53% para la totalidad de la cuenca e identificando que las zonas de menores pendientes se localizan en las partes bajas de los Cuenca del Río Cáchira Sur.

Cuenca	Código Cuenca	Pendiente de la cuenca %
RÍO CACHIRA SUR	2319-02	53%
Subcuenca	Código subcuenca	Pendiente de la cuenca %
CACHIRA	2319-02-01-00	43%
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	63%
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	60%
ROMERITOS	2319-02-04-00	56%
EL PINO	2319-02-05-00	52%
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	48%

Tabla 3. Pendientes Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

3.3.4 Red estaciones Hidrometereológicas

La CDMB cuenta con 18 estaciones climatológicas automáticas Davis, localizadas en el área de su jurisdicción:

Cuenca	Nombre	Coordenadas		Elevación [msnm]	Año de instalación	Municipio
		Norte	Este			
Cuenca Nivel I Cáchira del Sur	BETANIA	1.327.686	1.100.572	1005	2011	EL PLAYON
	LA NARANJERA	1.318.507	1.097.833	577	2012	EL PLAYON
	SENA	1.321.359	1.095.129	510	2011	EL PLAYON
	TURBAY	1.324.106	1.114.983	2236	2013	SURATA
	LA AGUADA	1.318.657	1.108.114	1445	2013	EL PLAYON
Nivel II Rio Negro	EL CAIRO	1.304.690	1.100.860	1059	2012	RIONEGRO
	SANTA CRUZ DE LA COLINA	1.308.473	1.108.727	1430	2012	MATANZA
Nivel II Salamaga	DIAMANTE	1.298.389	1.097.379	1054	2013	RIONEGRO

Cuenca	Nombre	Coordenadas		Elevación [msnm]	Año de instalación	Municipio
		Norte	Este			
Nivel II Surata	LAGO ALTO	1.314.018	1.122.312	2600	2011	SURATA
	EL ROBLE	1.295.190	1.123.241	2270	2011	CHARTA
Nivel II Lebrija Alto	EL ABURRIDO	1.292.166	1.106.906	1548	2013	BUCARAMANGA
	EL PANTANO	1.266.513	1.094.149	1290	2011	GIRON
Nivel II Rio de Oro	LA JUDIA	1.272.896	1.115.513	2165	2013	PIEDECUUESTA
	EL RASGON	1.270.464	1.119.338	2148	2013	PIEDECUUESTA
	ACAPULCO	1.265.648	1.102.787	1001	2013	GIRON
	PORTUGAL	1.284.205	1.088.385	1270	2013	LEBRIJA
	CIUDADELA	1.277.632	1.105.369	938	2012	BUCARAMANGA
	FLORIDA	1.273.904	1.107.315	861	2012	FLORIDABLANCA
	CLUB CAMPESTRE	1.273.072	1.106.399	940	2011	FLORIDABLANCA

Tabla 4. Estaciones Hidrometereológicas área jurisdicción CDMB

Sin embargo, es importante señalar que estas estaciones no tienen series de tiempos lo suficientemente largas para ser tenidas en cuenta. Por lo anterior, se seleccionaron las estaciones pluviométricas del IDEAM, debido a que disponen de un registro superior a 10 años, utilizados para el cálculo de los diferentes parámetros en la Evaluación de la Cuenca Alto Cáchira Sur.

Se identificaron ocho (8) estaciones activas al interior y en los alrededores de la cuenca, de las cuales se presenta el tipo y características generales. (Tabla 5).

CODIGO	NOMBRE	CAT.	FGDA	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	LAT.	LON.	ALT.	FECHA INST
23185010	VILLA LEIVA [23185010]	CP	IDEAM	QDA STOS GUTIERREZ	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.456	-73.537	328	15/01/1966
23190140	PLAYON EL [23190140]	PM	IDEAM	PLAYONERO	SANTANDER	EL PLAYON	7.465	-73.201	500	15/05/1958
23190360	PORTACHUELO [23190360]	PM	IDEAM	NEGRO	SANTANDER	RIONEGRO	7.328	-73.165	800	15/10/1967
23190510	CAOBO EL [23190510]	PM	IDEAM	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	LA ESPERANZA	7.596	-73.328	300	15/06/1971
23190540	VEGA LA [23190540]	PM	IDEAM	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	CÁCHIRA	7.651	-73.181	710	15/08/1976

CODIGO	NOMBRE	CAT.	FGDA	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	LAT.	LON.	ALT.	FECHA INST
23195090	VIVERO SURATA	CO	IDEAM	SURATA	SANTANDER	SURATÁ	7.366	-72.988	1725	15/09/1968
23195180	ESC AGR CACHIRA	CO	IDEAM	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	CÁCHIRA	7.735	-73.052	1882	15/03/1972
23195200	CACHIRI [23195200]	CO	IDEAM	CACHIRI	SANTANDER	SURATÁ	7.474	-72.991	1850	15/06/1971

Tabla 5. Estaciones disponibles IDEAM. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

La ubicación geográfica de las estaciones con relación al límite de la cuenca del río Cáchira Sur se presentan en la Figura 7.

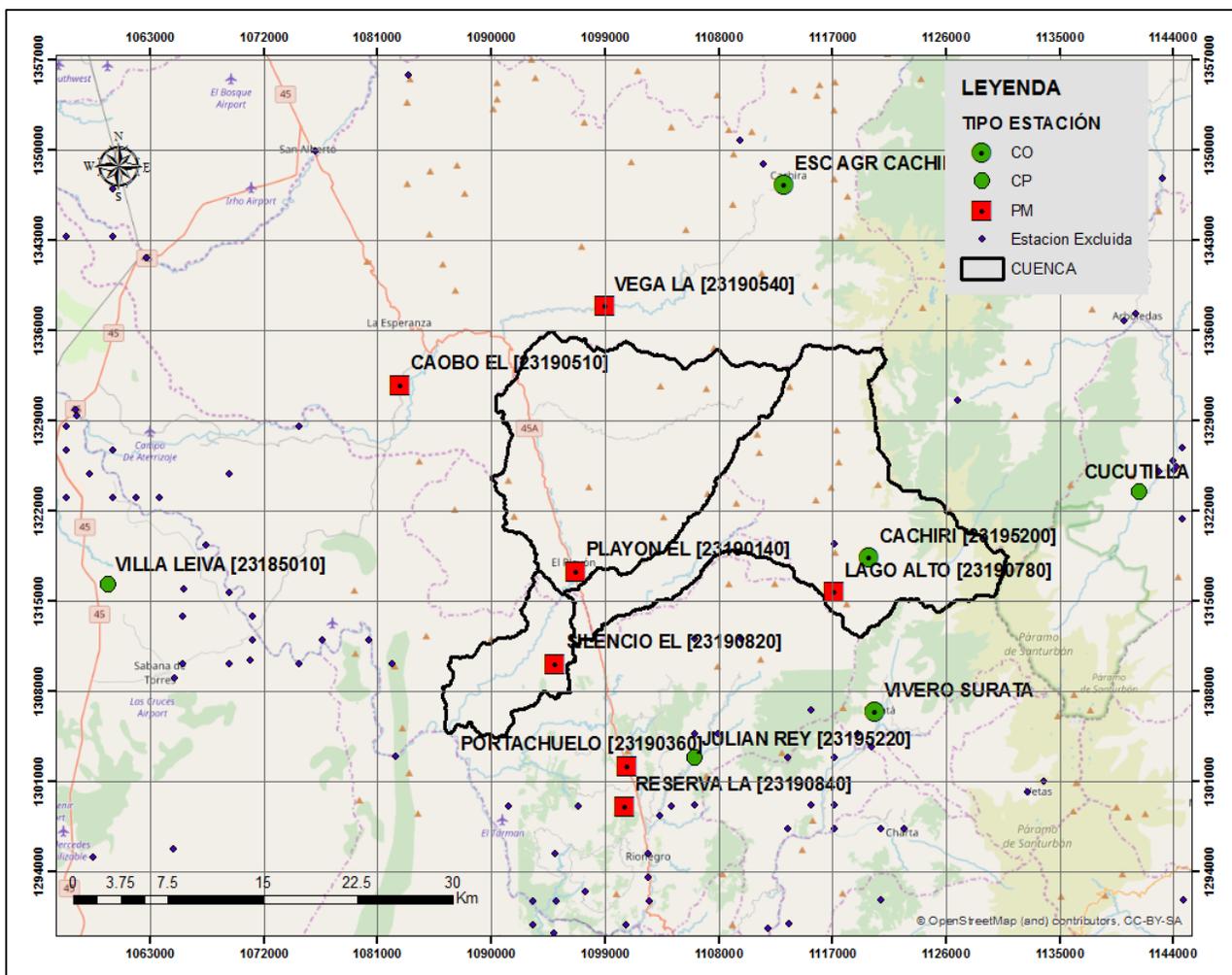


Figura 7. Mapa Localización de las estaciones climatológicas. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



SECCIÓN D

CAPITULO 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Características morfométricas y fisiográficas de las subcuencas nivel II de unidades hidrográficas que componen la Cuenca Cáchira Sur, ver tabla 6.

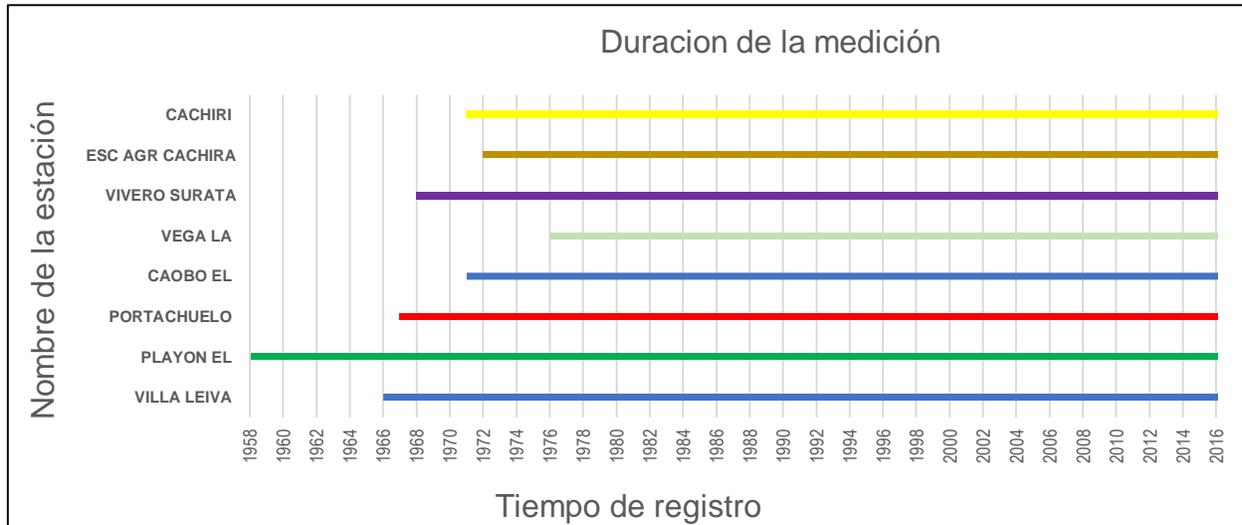
Código	2319-02-01	2319-02-02	2319-02-03	2319-02-04	2319-02-05	2319-02-06
Nivel II de unidades Hidrográficas	Cáchira	Cáchira Bajo	Cáchira Alto	Romerito	El Pino	El Playón
Área (km ²)	71.478	58.741	140.072	117.578	139.752	154.591
Perímetro (km)	45.95	48.70	59.55	52.48	64.25	64.37
Longitud del cauce LT. (Km)	17.915	20.513	20.337	26.650	32.966	19.985
Longitud de drenaje (Km)	149.07	125.57	275.78	234.31	298.00	343.28
Longitud Axial de la Cuenca (km)	14.17	13.81	16.54	18.22	13.75	19.79
Ancho Medio de la cuenca, (Km)	3.99	2.86	6.89	4.41	4.24	7.74
Densidad de Drenaje (km/km ²)	2.09	2.14	1.97	1.99	2.13	2.22
Factor de Forma	0.22	0.14	0.34	0.17	0.13	0.39
Coeficiente de compacidad.	1.52	1.78	1.41	1.36	1.52	1.45
Índice de alargamiento.	4.49	7.16	2.95	6.04	7.78	2.58
Área Mayor (Km ²)	40.42	40.83	77.30	153.59	109.58	114.61
Área Menor (Km ²)	31.06	17.91	62.77	98.19	30.18	39.98
Índice de asimetría	1.30	2.28	1.23	1.56	3.63	2.87
Pendiente Media de la Cuenca (%)	43%	63%	60%	56%	52%	48%

Código	2319-02-01	2319-02-02	2319-02-03	2319-02-04	2319-02-05	2319-02-06
Pendiente Media del Cauce (%)	1,12%	3,29%	13,77%	9,57%	6,83%	1,13%
Tiempo de Concentración Kirpich (Horas)	3.45	2.53	1.45	2.05	2.75	3.74
Tiempo de Concentración Temez (Horas)	2.63	2.38	1.80	2.37	2.97	2.86
Tiempo de Concentración Giadotti (Horas)	5.36	2.96	1.84	2.06	2.55	6.64
Tiempo de Concentración V T Chow (Horas)	3.55	3.26	2.58	3.25	3.93	3.81
Tiempo de Concentración California (Horas)	3.45	2.53	1.45	2.05	2.75	3.75
Elevación Media (msnm)	644.97	1,304.35	2,514.87	2,485.79	1,518.06	1,131.76
Coeficiente de Masividad (Km)	9.02	22.21	17.95	21.14	10.86	7.32
Coeficiente de Sinuosidad	1.26	1.49	1.23	1.46	2.40	1.01
Número Corriente primer Orden	175	142	359	308	359	168
Coeficiente de Torrencialidad	2.45	2.42	2.56	2.62	2.57	1.09
Relación de Bifurcación Promedio	2.56	1.86	1.68	1.69	2.09	1.88

Tabla 6. Caracterización morfométrica y fisiográfica de las subcuencas Nivel II de la cuenca Nivel I Cáchira Sur

4.2 Series de tiempo de las estaciones

Las series de tiempo de las estaciones identificadas en la cuenca o aledañas a la misma, tienen longitud de tiempo suficiente para el análisis climático. (Ver Grafica 3)



Gráfica 3. Periodo de Operación de Estaciones Identificadas del IDEAM. Fuente: Ut Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.2.1 Información disponible de las estaciones IDEAM

La información disponible para las estaciones del IDEAM en la cuenca o aledañas se presentan en la Tabla 7.

Código IDEAM	Tipo registro	Periodo registro	Tipo de variable						Total Series	
			BS	EV	HR	PT	TS	VD		VR
23185010 VILLA LEIVA	DIARIO	MEDIOS (valores)			X		X	X		3
		MÁXIMOS(valores)					X			1
		TOTALES(valores)	X	X		X			X	4
		MÍNIMOS(valores)					X			1
		V (vientos)						X		1
	MENSUAL	MEDIOS			X		X	X		3
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		NO DÍAS				X				1
		MÍNIMOS			X		X			2
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
		V						X		1
23190140 EL PLAYON	DIARIO	TOTALES				X				1
	MENSUAL	TOTALES				X				1
		NO DÍAS				X				1

Código IDEAM	Tipo registro	Periodo registro	Tipo de variable							Total Series
			BS	EV	HR	PT	TS	VD	VR	
23185010 VILLA LEIVA	DIARIO	MEDIOS (valores)			X		X	X		3
		MÁXIMOS(valores)					X			1
		MÁXIMOP24 HORAS			X					1
23190360 PORTACHUELO	DIARIO	TOTALES				X				1
	MENSUAL	TOTALES				X				1
		NO DÍAS				X				1
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
23190510 EL CAOBO	DIARIO	TOTALES				X				1
	MENSUAL	TOTALES				X				1
		NO DÍAS				X				1
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
23190540 LA VEGA	DIARIO	TOTALES				X				1
	MENSUAL	TOTALES				X				1
		NO DÍAS				X				1
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
23195090 VIVERO SURATA	DIARIO	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		MÍNIMOS					X			1
	MENSUAL	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		NO DÍAS				X				1
		MÍNIMOS			X		X			2
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
23195180 ESC AGR CACHIRA	DIARIO	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		MÍNIMOS					X			1
	MENSUAL	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		NO DÍAS				X				1
		MÍNIMOS					X			1

Código IDEAM	Tipo registro	Periodo registro	Tipo de variable							Total Series
			BS	EV	HR	PT	TS	VD	VR	
23185010 VILLA LEIVA	DIARIO	MEDIOS (valores)			X		X	X		3
		MÁXIMOS(valores)					X			1
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
23195200 CACHIRI	DIARIO	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		MÍNIMOS					X			1
	MENSUAL	MEDIOS			X		X			2
		MÁXIMOS					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		NO DÍAS				X				1
		MÍNIMOS					X			1
		MÁXIMO 24 HORAS			X					1
Total general			8	12	10	32	32	4	8	106

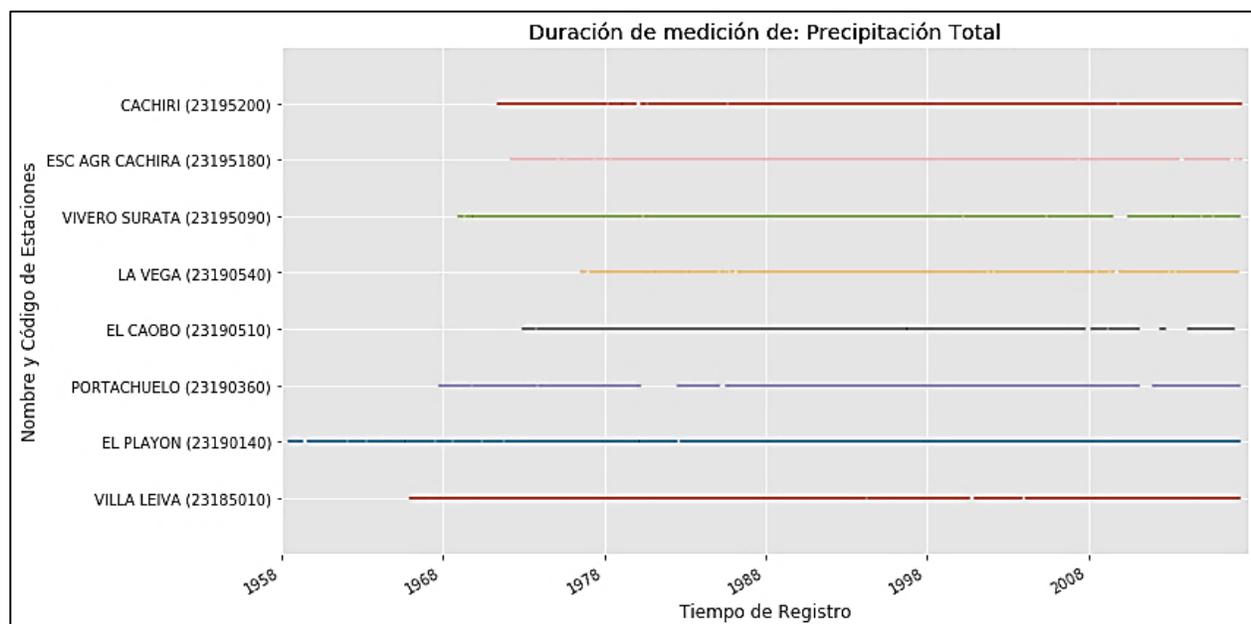
Tabla 7. Información Disponible de las Estaciones IDEAM. Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebríja Medio 2015.

BS: BRILLO SOLAR
 EV: EVAPORACIÓN
 HR: HUMEDAD RELATIVA
 PT: PRECIPITACIÓN
 TS: TEMPERATURA SUPERFICIAL
 VD: VELOCIDAD DEL VIENTO
 VR: RECORRIDO DEL VIENTO

En síntesis, se tienen ocho (8) estaciones con información de por lo menos una variable meteorológica, marcada con una “X”, para un total de 106 series de registros diarios y mensuales.

4.2.2 Selección del periodo de estudio

Para cada variable climática disponible, se seleccionó un periodo de tiempo homogéneo en el cual las estaciones tuvieran la mayor cantidad de datos. Un ejemplo se puede apreciar en la Gráfica 4, en un periodo de tiempo en que las estaciones disponibles han operado y tienen datos de precipitación.



Gráfica 4. Periodo de registro de precipitación total. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.2.3 Series de tiempo

Con base en la gráfica anterior, y la construcción para cada variable, se determinó el periodo de análisis para el presente estudio. En la Tabla 8, se presenta el periodo homogéneo (años) seleccionado para cada variable.

VARIABLE	TR	AÑO INICIO	AÑO FINAL	TOTAL AÑOS
Brillo Solar	TOTAL	1990	2016	27
Evaporación	TOTAL	1990	2016	27
Humedad Relativa	MEDIOS	1990	2016	27
Precipitación	TOTAL	1984	2016	33
Temperatura	MEDIOS	1984	2016	33
Temperatura	MÁXIMOS	1984	2016	33
Temperatura	MÍNIMOS	1984	2016	33
Velocidad y dirección del viento	MEDIOS	1990	2016	27

VARIABLE	TR	AÑO INICIO	AÑO FINAL	TOTAL AÑOS
Velocidad y dirección del viento	MÁXIMOS	1990	2016	27
Velocidad y dirección del viento	V	1990	2016	27
Recorrido del viento	TOTAL	1990	2016	27

Tabla 8. Periodo de Estudio Homogéneo Seleccionado. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De acuerdo con lo anterior, en este estudio se eliminaron series que tenían un corto periodo de tiempo de registro en el rango de años seleccionado, como también las series que tenían un porcentaje de datos faltantes mayor al 50%. En la Tabla 9 se detallan las series excluidas del análisis climático, para la cuenca Cáchira Sur en la primera etapa.

VARIABLE	TR	Series iniciales	Series Final	Observaciones
Brillo Solar	TOTAL	4	3	La ESC AGR CACHIRA presenta un 77% de datos faltantes en periodo de estudio. Sin embargo, se incluye en el análisis por considerarse valiosa la información disponible.
Evaporación	TOTAL	4	4	
Humedad Relativa	MEDIOS	4	4	
Precipitación	TOTAL	8	8	
Temperatura	MEDIOS	4	4	
Temperatura	MÁXIMOS	4	4	Vivero Surata presenta un porcentaje de faltantes del 44%, pero se conserva en el análisis
Temperatura	MÍNIMOS	4	4	
Velocidad y dirección del viento	MEDIOS	1	1	
Velocidad y dirección del viento	V	4	4	
Recorrido del viento	TOTAL	4	4	

Tabla 9. Series eliminadas. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.2.4 Estimación de datos faltantes

Con el propósito de complementar las series que presentan datos faltantes, se empleó el método de interpolación propuesto por Paulhus y Kohler (1952 citado por Searcy y Hardison, 1963), que estima el dato de lluvia o dato faltante, como el promedio de la precipitación ocurrida en las estaciones adyacentes que están bajo la misma influencia topoclimática en el tiempo referente (dato faltante), empleando la siguiente expresión:

$$D_i = \frac{a_i + b_i + c_i}{3} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

D_i : Dato estimado

a_i, b_i, c_i : Dato del mismo día en estaciones cercanas (a, b, c).

Para aplicar la anterior expresión, se aseguró que los valores medios o totales anuales no difieran en más del 10% entre las estaciones involucradas.

Mediante el procedimiento anterior, se obtuvieron los datos faltantes en las series de tiempo diario. Sin embargo, como algunas de las estaciones registraban períodos con vacíos considerables, mayores a un mes, se hizo necesario corroborar la consistencia de la información dada por cada una de ellas, por medio de un análisis de curvas de doble masa.

4.3 Análisis de estacionalidad, homogeneidad, consistencia y aleatoriedad

Para el análisis de series históricas, se asume generalmente que las series disponibles son estacionarias en la media (estacionalidad de primer orden) y en la varianza (estacionalidad de segundo orden). No obstante, si hay cambios o tendencias en los datos, la suposición de estacionalidad en las series es equivocada.

El objetivo de los siguientes análisis es evaluar la calidad de la información hidrológica, no con el propósito de rechazarla, sino de seleccionar los registros que representen mejor las condiciones hidrológicas. En este caso, no se realiza ningún tipo de

tratamiento a las series ya que no se tienen criterios o información suficiente para corregirla, debido a la dificultad para detectar la causa de los posibles cambios.

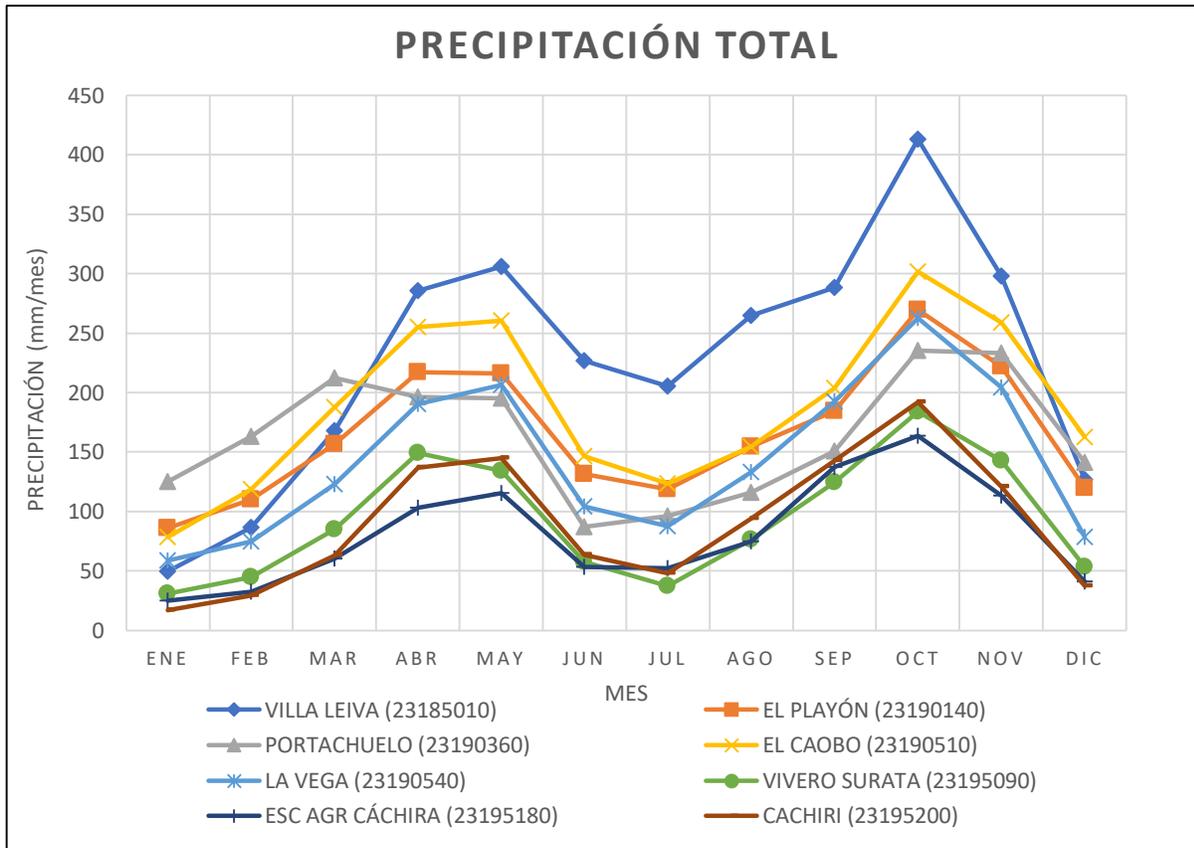
4.4 Precipitación

En el análisis de precipitación, se utilizó la información de ocho (8) estaciones distribuidas dentro y fuera de la cuenca. El promedio de precipitación de las estaciones es de 1725.2 mm, con un valor máximo de 2718.2 mm reportado en la estación de Villa de Leiva (23185010) y un valor mínimo de 971.0 mm registrado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180) (Ver Tabla 10 y Gráfica 5)

El promedio mensual más bajo es de 17.02 mm/mes y se presenta en el mes de enero para la estación de Cachiri (23195200), mientras que el promedio mensual más alto es de 413.11 mm en el mes de octubre, en la estación de Villa de Leiva (23185010).

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
VILLA LEIVA (23185010)	49.3	86.7	167.8	285.6	305.9	226.8	205.1	265.0	288.4	413.1	297.8	126.9	2718.2
EL PLAYÓN (23190140)	85.8	110.1	156.6	217.2	216.3	131.2	118.8	154.4	184.4	269.4	221.7	119.6	1985.4
PORTACHUELO (23190360)	125.1	162.9	212.2	196.1	195.2	87.0	96.3	116.2	150.9	235.3	233.2	141.3	1951.7
EL CAOBO (23190510)	78.5	118.8	187.9	255.4	260.7	146.2	123.4	154.3	203.6	301.6	258.7	162.5	2251.7
LA VEGA (23190540)	58.5	74.9	123.0	190.6	206.2	103.9	87.8	133.1	192.4	262.9	204.1	78.4	1715.7
VIVERO SURATA (23195090)	30.9	44.5	85.0	148.9	134.0	57.7	37.3	76.3	124.5	183.7	142.6	53.4	1118.8
ESC AGR CÁCHIRA (23195180)	24.9	32.3	60.3	103.1	115.5	53.2	52.2	74.6	137.1	163.5	113.3	40.9	971.0
CACHIRI (23195200)	17.0	29.2	63.1	136.8	144.9	6.5	48.0	93.9	142.7	192.2	120.6	37.4	1089.3

Tabla 10. Precipitación Total Media Mensual Multianual [mm/mes]



Gráfica 5. Distribución temporal de la precipitación Estaciones IDEAM. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

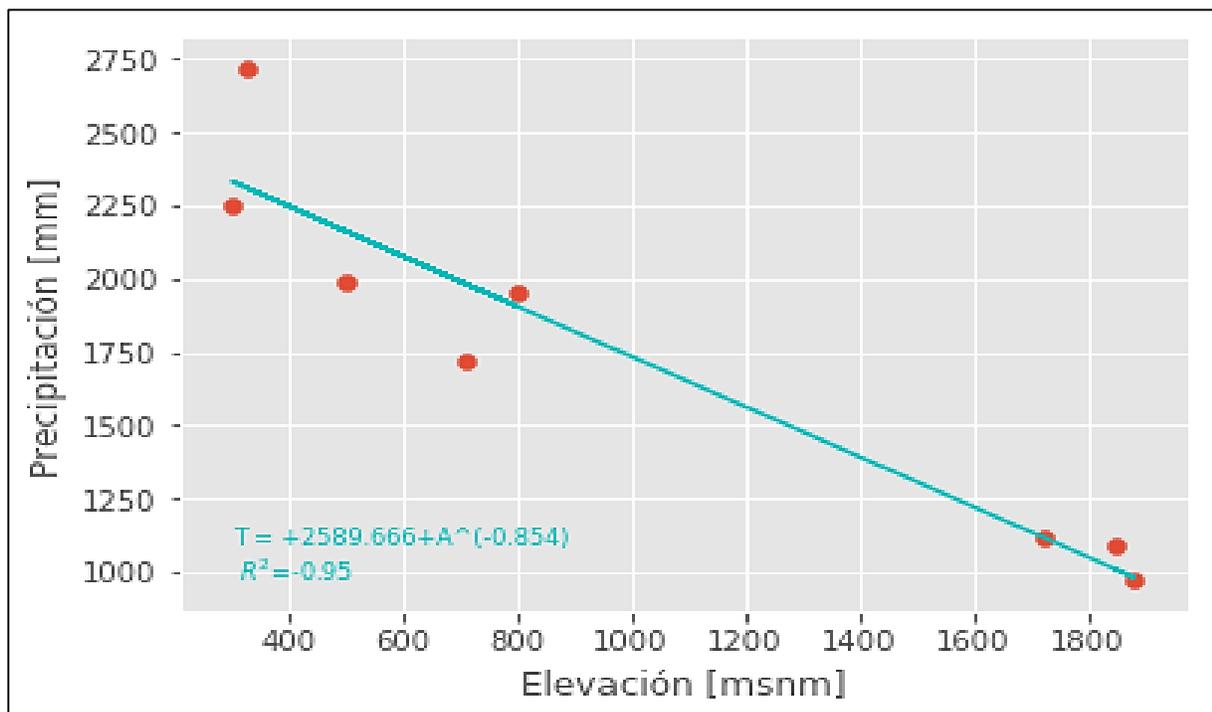
Los resultados de precipitación en las estaciones de la cuenca del Río Cáchira Sur, evidencian un régimen bimodal de lluvias, el primero en los meses de abril-mayo y un segundo régimen se presenta en los meses de octubre-noviembre.

Estos periodos están intercalados por dos períodos secos, aumentando las precipitaciones en el segundo período húmedo especialmente durante el mes de octubre y precipitaciones mínimas en los meses de enero y julio.

4.4.1 Distribución espacial

Con base en las condiciones altitudinales, la orientación y el costado occidental de la cordillera oriental en la que se encuentra la cuenca, la precipitación tiene una alta correlación negativa con relación a la elevación.

En la Gráfica 6, se evidencia la linealidad obtenida al correlacionar la precipitación total anual con la elevación, alcanzando un coeficiente de correlación de 0.95. Sin embargo, no se tuvo en cuenta debido a que los resultados para la parte alta no se ajustaron en forma adecuada, por esta razón se usó el método IDW con un factor de ponderación 2 para la interpolación de la precipitación.



Gráfica 6. Variación de la precipitación con la elevación

A partir de la información anual y mensual de la precipitación registrada en las ocho (8) estaciones se elaboraron los mapas de isoyetas. En la Figura 8, se representa la isoyeta de la precipitación total anual, en la cual se observa gran variabilidad en la cuenca, con valores que oscilan entre los 1100 mm en la parte alta de la cuenca, y un incremento gradual a medida que se desciende hacia parte baja de la cuenca donde los valores alcanzan hasta los 1900 mm.

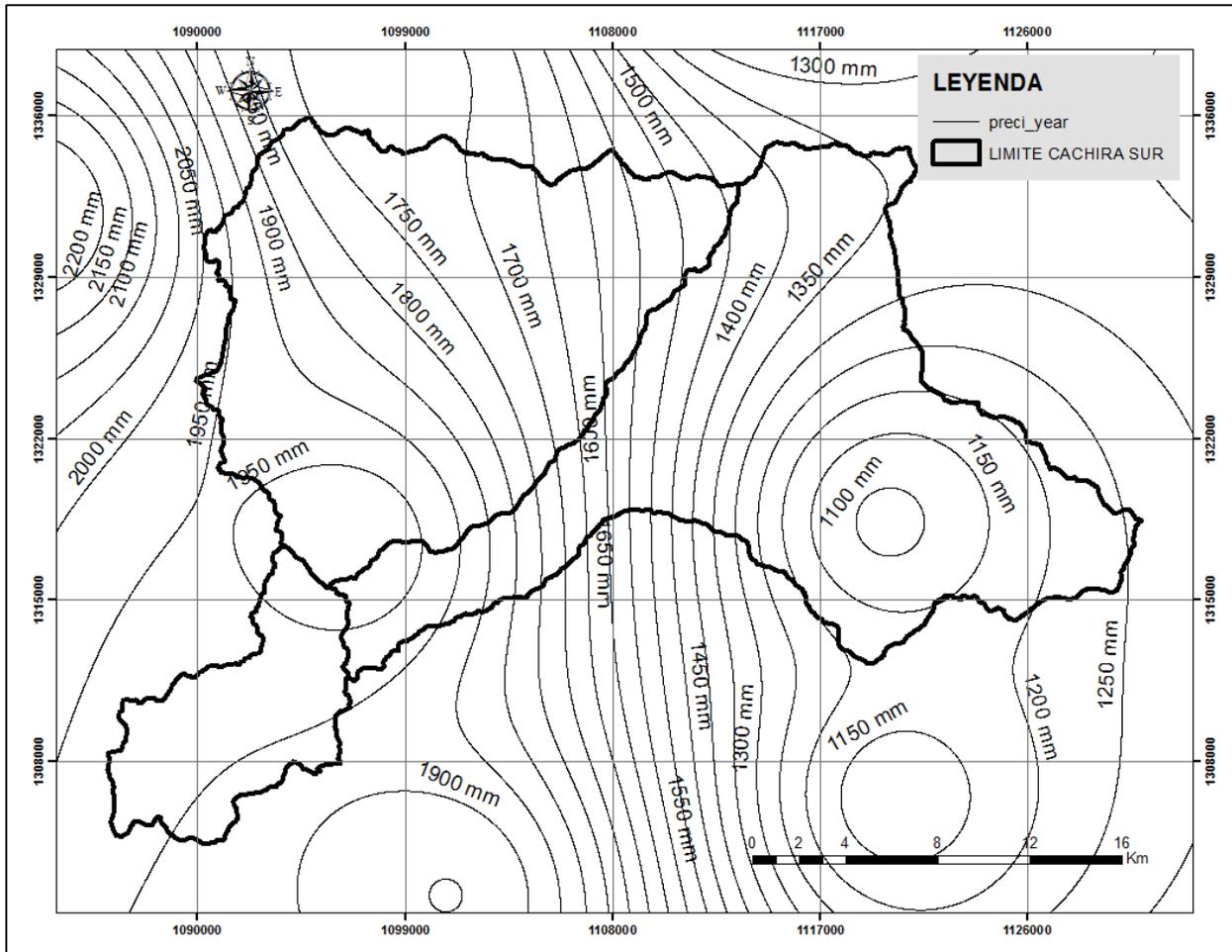


Figura 8. Distribución Espacial de la Precipitación Anual (mm) - Cuenca río Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.4.2 Precipitación máxima

La precipitación máxima en 24 horas, es la cantidad de lluvia que cae en un solo día y se registra en las ocho (8) estaciones disponibles del IDEAM; siendo esta información útil para comprender los posibles procesos erosivos y la generación de caudales máximos en el área de estudio.

Para el análisis de la información de Precipitación máxima en 24 horas se utilizó un total de 8 estaciones que se encuentran distribuidos por dentro y fuera de la cuenca. El promedio de las 8 estaciones disponibles es de 57.2 mm/día, con un valor máximo de 95.7 mm/día reportado en la estación de Villa de Leiva (23185010) y un valor

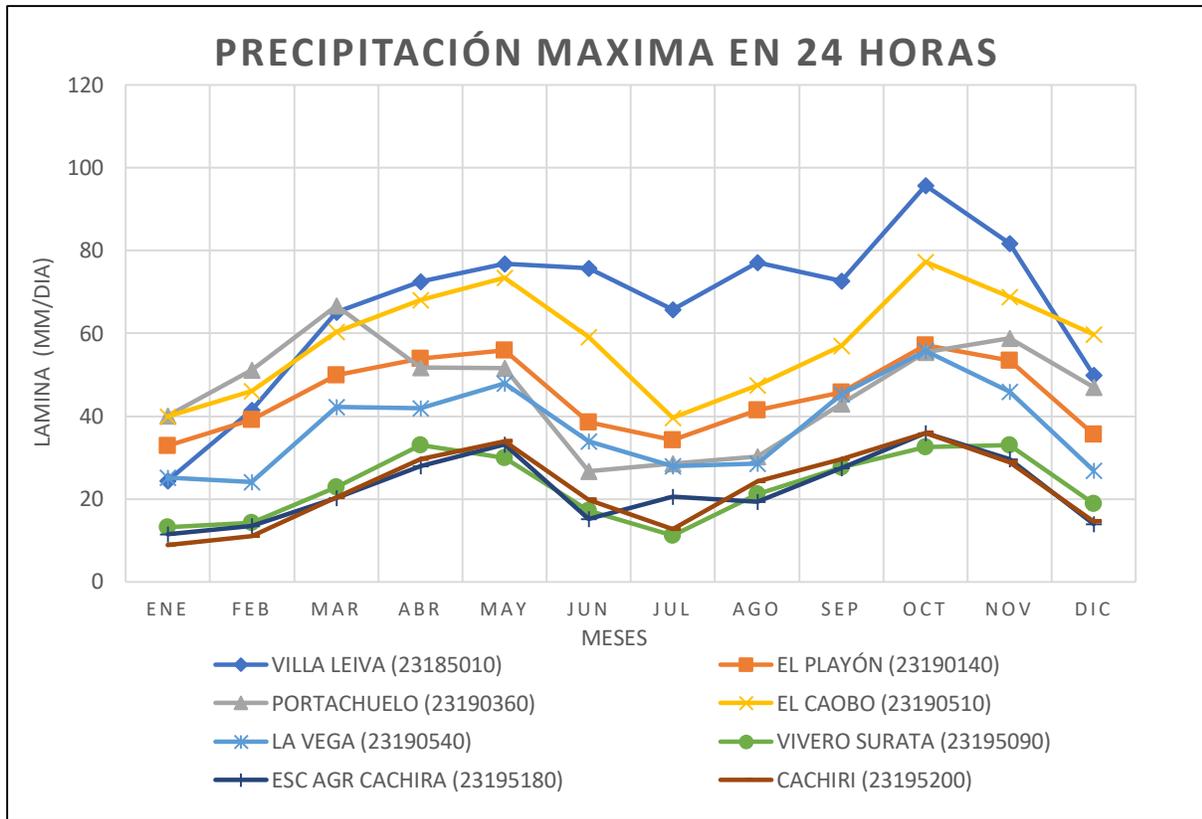
mínimo de 33.0 mm/día registrado en la estación de Vivero Surata (23195090). El promedio mensual más bajo es de 8.8 mm/día, se presenta en el mes de enero para la estación de Cachiri (23195200); mientras que el promedio mensual más alto es de 95.7 mm/día se presenta en octubre, en la estación de Villa de Leiva (23185010).

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Villa Leiva (23185010)	24.4	41.5	65.1	72.5	76.9	75.8	65.7	77.2	72.7	95.7	81.7	49.9	95.7
El Playón (23190140)	32.8	39.1	50.0	53.9	56.0	38.6	34.2	41.4	45.8	57.2	53.4	35.7	57.2
Portachuelo (23190360)	40.1	51.2	66.7	51.8	51.6	26.7	28.6	30.2	43.0	55.5	58.9	47.0	66.7
El Caobo (23190510)	40.0	46.1	60.4	68.0	73.5	59.2	39.6	47.5	57.0	77.3	68.9	59.8	77.3
La Vega (23190540)	25.2	24.1	42.2	42.0	47.9	33.9	28.0	28.5	45.3	55.8	46.0	26.9	55.8
Vivero Surata (23195090)	13.2	14.2	22.8	33.0	30.0	17.1	11.1	21.2	27.7	32.5	33.0	18.9	33.0
Esc Agr Cachira (23195180)	11.5	13.5	20.3	28.0	33.2	15.1	20.6	19.3	27.4	35.9	29.6	13.9	35.9
Cachiri (23195200)	8.9	11.0	20.4	29.6	33.9	19.8	12.7	24.3	29.6	36.0	28.8	14.5	36.0

Tabla 11. Precipitación máxima en 24 horas promedio multianual [mm/día]. Fuente: UT POMCA Cáchira sur y Lebrija medio 2015.

La Tabla 11 muestra la variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas para las estaciones disponibles, indicando un comportamiento bimodal similar al comportamiento de la precipitación total. Los valores más altos se registran en la estación Villa de Leiva y los más bajos se reportan para la estación Cachiri. En la Gráfica 7 se representa la variación y tendencia de los datos.

Los mayores valores se registran en la estación Villa de Leiva mientras que los valores más bajos se encuentran en la estación Cachiri.

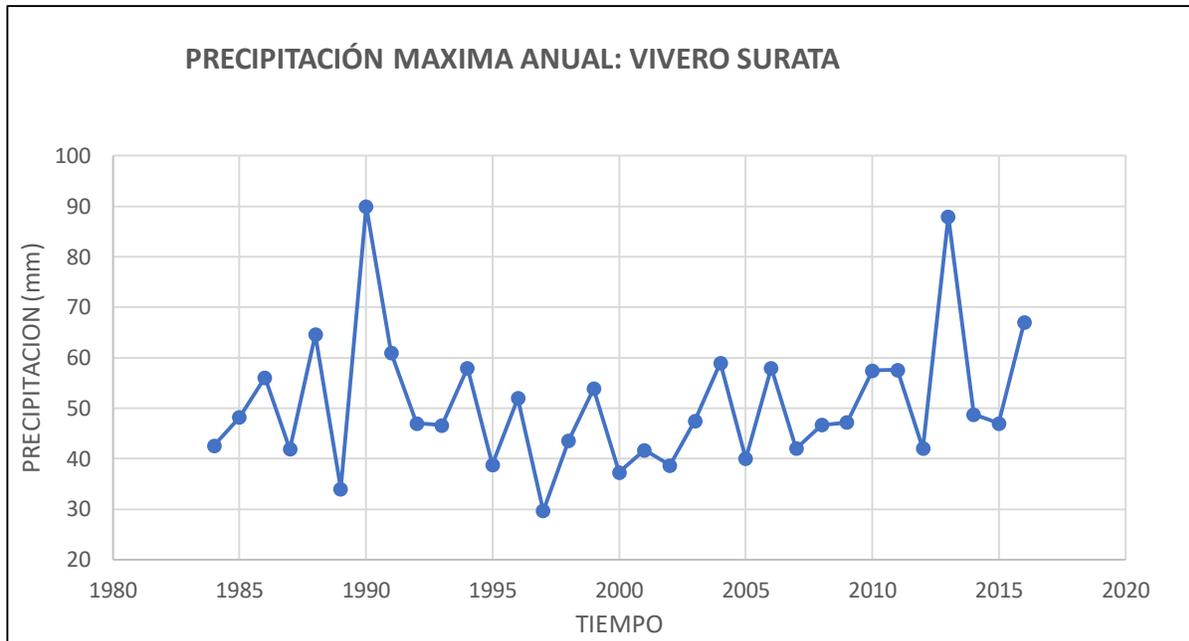


Gráfica 7. Variación Temporal Precipitación Máxima en 24 Horas. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.4.3 Análisis de frecuencia precipitación máxima en 24 horas

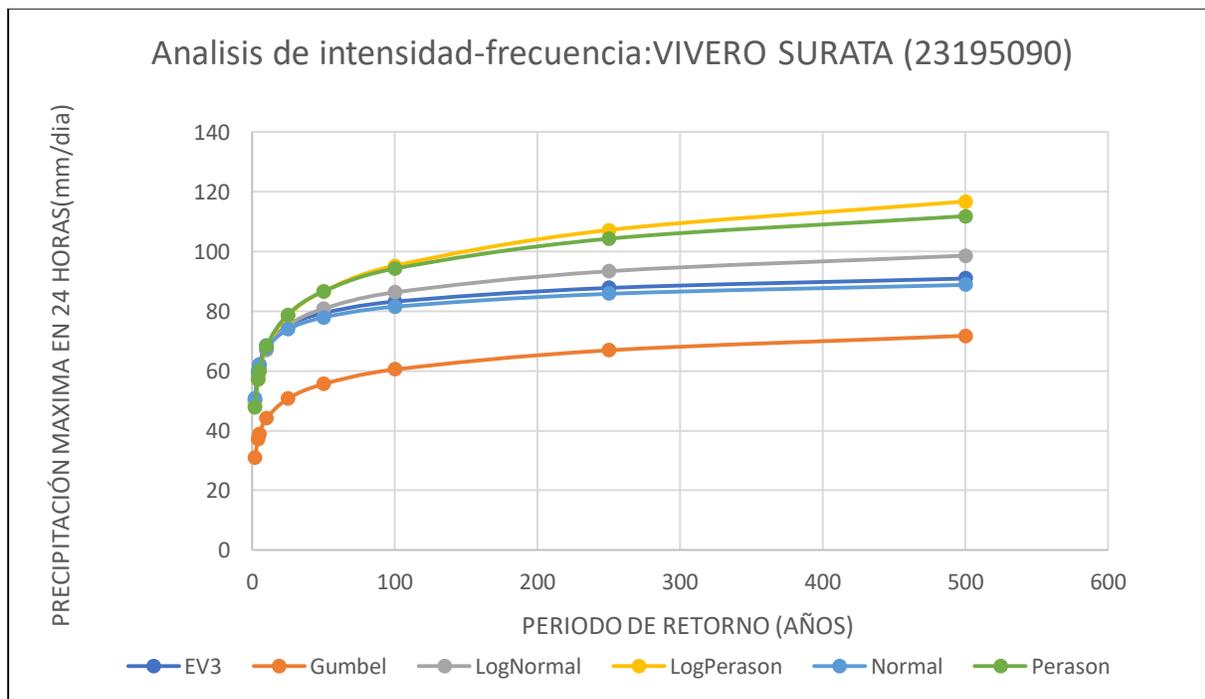
Se realizó el análisis estadístico de las series anuales de precipitación máxima en 24 horas, empleando algunas distribuciones de probabilidad utilizadas en el campo de la hidrología, como la distribución de EV3, Gumbel, Log Normal, Log Pearson, Pearson, Normal y aplicando el método de momentos para estimación de parámetros en todos los casos.

El Anexo 5 Consistencia de datos CS (archivo frecuencia- análisis de consistencia y bondad de cada estación), presenta los resultados del análisis de frecuencia de precipitación máxima en 24 horas máxima anual, y a manera de ejemplo, se presenta el análisis para la estación Vivero Suratá que se encuentra en la cuenca nivel III Suratá Alto.

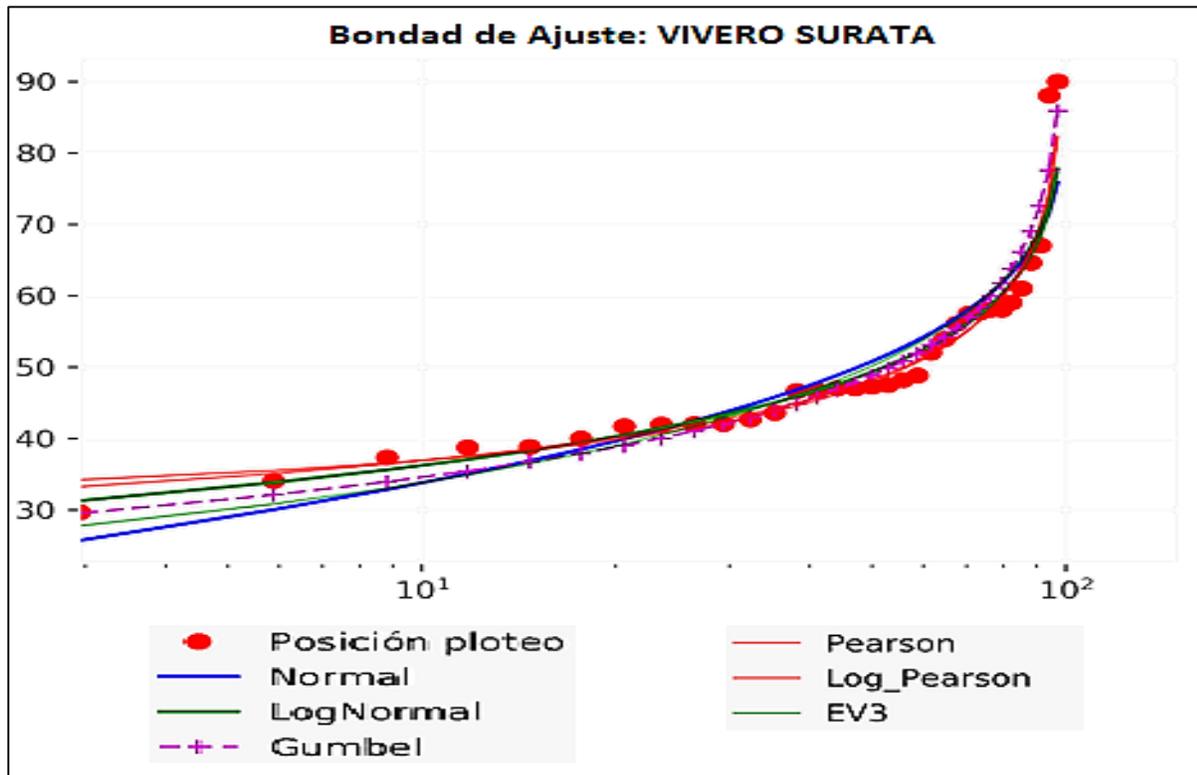


Gráfica 8. Precipitación Máxima Anual. Estación Vivero Surata. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Se realizó análisis de bondad de ajuste, para las distribuciones de probabilidad mencionadas, cuyos resultados para todas las estaciones se presentan en el Anexo 6 curvas IDF. En la Gráfica 9, se muestran los resultados para la estación Vivero Surata.



Gráfica 9. Análisis de Frecuencia de Precipitación Máxima en 24 Horas. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 10. Prueba de bondad de ajuste: Estación Vivero Surata. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En la Gráfica 10, se visualiza en un diagrama lineal la prueba de bondad de ajuste para la estación Vivero Suratá. La consolidación de los resultados del análisis de precipitación diaria máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno y la distribución utilizada, se aprecia en la Tabla 12.

ESTACIÓN	Distribución	2	4	5	10	25	50	100	250	500
Villa Leiva	LogPerason	124.9	142.8	148.5	166.3	191.3	211.8	233.9	266.1	293.0
El Playon	EV3	88.5	102.1	105.5	114.5	124.1	130.3	135.8	142.4	146.9
Portachuelo	LogNormal	96.4	111.5	115.6	127.1	140.7	150.2	159.4	171.0	179.6
El Caobo	Perason	111.4	132.2	137.2	149.7	162.4	170.2	177.0	184.8	190.1
La Vega	LogPerason	74.8	90.2	94.4	106.2	119.9	129.5	138.6	150.1	158.4
Vivero Surata	LogPerason	48.2	57.1	59.8	67.8	78.4	86.7	95.2	107.1	116.7

Esc Agr Cachira	LogPerason	47.8	63.4	68.7	86.4	114.0	139.1	168.5	215.6	258.7
Cachiri	LogPerason	47.0	56.1	58.9	67.6	79.3	88.7	98.7	112.9	124.5

Tabla 12. Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno [mmm/día]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.5 Curvas IDF

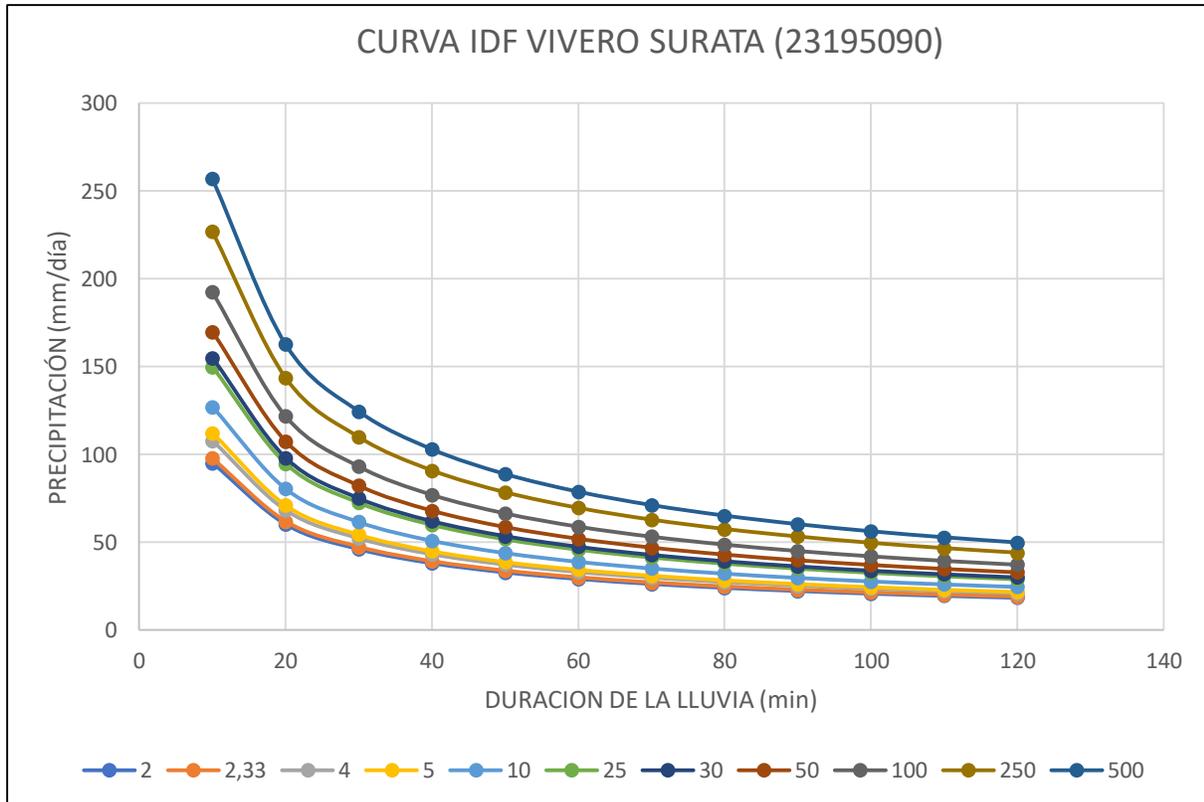
Se construyeron las curvas de intensidad, frecuencia y duración IDF, para cada una de las estaciones seleccionadas. Estas curvas resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Temez, 1978).

Para la estación de Vivero Surata, se registran en la Tabla 13, los resultados de los valores de intensidades de lluvia para varias duraciones de tormenta y periodo de retorno determinados; de igual manera, la Gráfica 11 muestra la representación gráfica de las curvas. El Anexo 6 - Curvas IDF CS, incluye los resultados para cada una de las estaciones que registran precipitación.

Duración [min]	PERIODO DE RETORNO [Años]										
	2	2.33	4	5	10	25	30	50	100	250	500
10	95.1	97.8	107.8	112.2	127.1	149.9	154.9	169.8	192.4	226.8	257.0
20	60.2	61.9	68.2	71.0	80.4	94.9	98.0	107.5	121.7	143.6	162.6
30	46.1	47.3	52.2	54.3	61.5	72.6	75.0	82.2	93.2	109.9	124.5
40	38.1	39.2	43.2	44.9	50.9	60.0	62.0	68.0	77.0	90.9	102.9
50	32.9	33.8	37.3	38.8	43.9	51.8	53.5	58.7	66.5	78.4	88.8
60	29.2	30.0	33.0	34.4	39.0	45.9	47.5	52.0	59.0	69.5	78.8
70	26.3	27.1	29.8	31.1	35.2	41.5	42.9	47.0	53.3	62.8	71.1
80	24.1	24.8	27.3	28.4	32.2	38.0	39.3	43.0	48.8	57.5	65.1
90	22.3	22.9	25.3	26.3	29.8	35.1	36.3	39.8	45.1	53.2	60.3
100	20.8	21.4	23.6	24.5	27.8	32.8	33.9	37.1	42.1	49.6	56.2

Duración [min]	PERIODO DE RETORNO [Años]										
	2	2.33	4	5	10	25	30	50	100	250	500
110	19.5	20.1	22.1	23.0	26.1	30.8	31.8	34.9	39.5	46.6	52.8
120	18.5	19.0	20.9	21.8	24.7	29.1	30.0	32.9	37.3	44.0	49.8

Tabla 13. Resultados de las curvas IDF [mm/hora]: VIVERO SURATA (23195090). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 11. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: Estación Vivero Surata (23195090). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.5.1 Número de días con lluvia

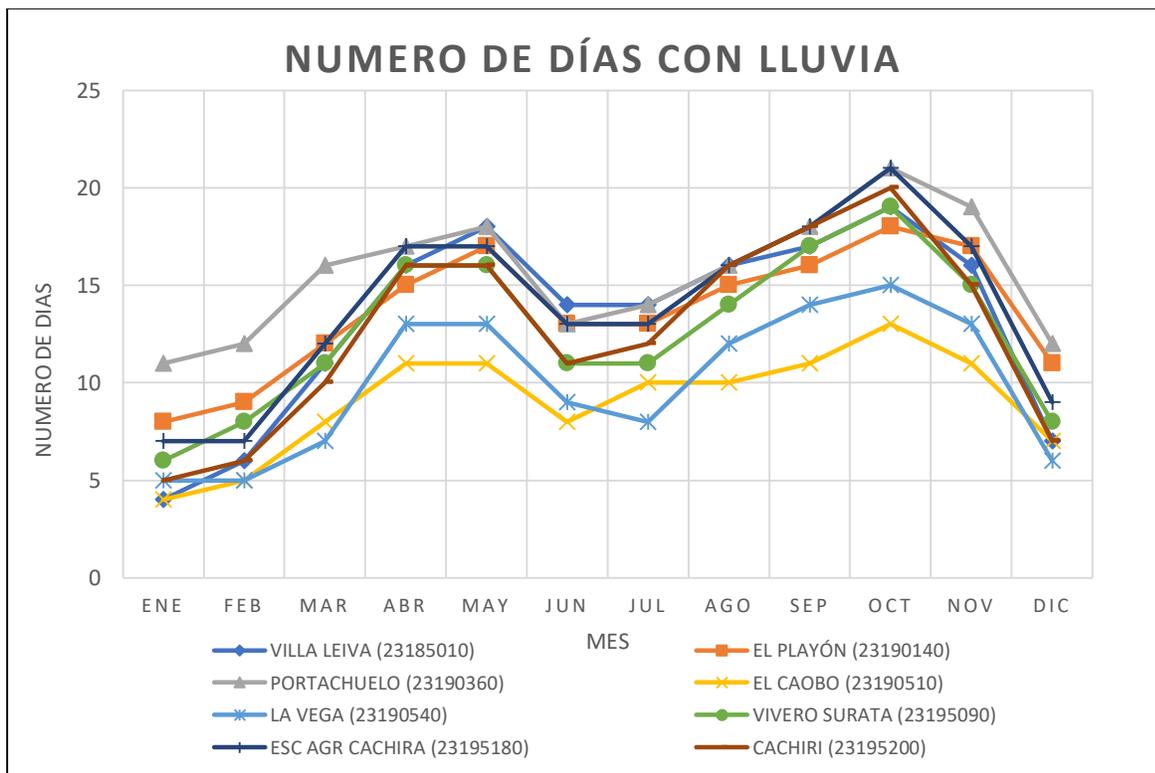
Con base en el registro diario de precipitación para cada una de las estaciones disponibles en el periodo de estudio, se determinó el número de días con lluvia promedio multianual para cada estación, ver Tabla 14.

En la Gráfica 12, se visualiza la variación temporal del número de días promedio mensual multianual, determinando que el número de días con precipitación es

proporcional al valor medio mensual de la precipitación, corroborando un régimen de variación bimodal.

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma y	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
VILLA LEIVA (23185010)	4	6	11	16	18	14	14	16	17	19	16	7	157
EL PLAYON (23190140)	8	9	12	15	17	13	13	15	16	18	17	11	164
PORTACHUELO (23190360)	11	12	16	17	18	13	14	16	18	21	19	12	187
EL CAOBO (23190510)	4	5	8	11	11	8	10	10	11	13	11	7	109
LA VEGA (23190540)	5	5	7	13	13	9	8	12	14	15	13	6	121
VIVERO SURATA (23195090)	6	8	11	16	16	11	11	14	17	19	15	8	153
ESC AGR CACHIRA (23195180)	7	7	12	17	17	13	13	16	18	21	17	9	166
CACHIRI (23195200)	5	6	10	16	16	11	12	16	18	20	15	7	153

Tabla 14. Número de días con Lluvia Promedio Multianual [días]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 12. Variación Temporal del Número de Días con Lluvia, Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.6 Temperatura

El estudio del comportamiento temporal y espacial de las temperaturas medias, máximas y mínimas se realizó a partir de la información registrada en las estaciones climatológicas localizadas en la cuenca.

4.6.1 Distribución temporal de temperatura

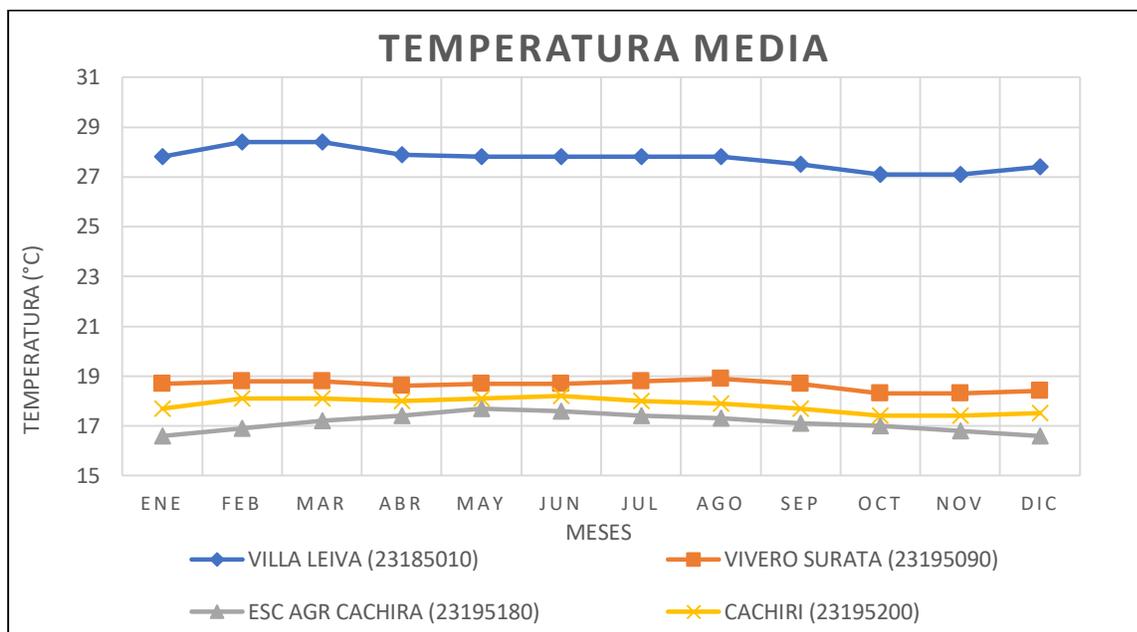
El análisis de la información de Temperatura media, se realizó con cuatro (4), estaciones que se encuentran distribuidas al interior y fuera de la cuenca. El promedio de temperatura de todas las estaciones es de 20.3 °C, con un valor promedio máximo de 27.7 °C registrado en la estación Villa de Leiva (23185010) y un valor promedio mínimo de 17.1 °C reportado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 16.6°C en los meses de enero y diciembre para la estación de ESC AGR Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 28.4°C presentado en los meses de febrero y marzo en la estación de Villa de Leiva (23185010). (Ver Tabla 15)

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Villa Leiva (23185010)	27.8	28.4	28.4	27.9	27.8	27.8	27.8	27.8	27.5	27.1	27.1	27.4	27.7
Vivero Surata (23195090)	18.7	18.8	18.8	18.6	18.7	18.7	18.8	18.9	18.7	18.3	18.3	18.4	18.6
ESC AGR Cáchira (23195180)	16.6	16.9	17.2	17.4	17.7	17.6	17.4	17.3	17.1	17.0	16.8	16.6	17.1
Cachiri (23195200)	17.7	18.1	18.1	18.0	18.1	18.2	18.0	17.9	17.7	17.4	17.4	17.5	17.8
													20.3

Tabla 15. Temperatura Media Mensual Promedio Multianual [°C]. Fuente: UT POMCA Cáchira sur y Lebrija medio 2015.

La Grafica 13, representa la variación temporal de la temperatura media mensual promedio multianual para las estaciones disponibles.



Gráfica 13. Variación temporal de la temperatura media, Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Se observaron variaciones de la temperatura a lo largo del año; obteniéndose temperaturas más cálidas, entre los meses de marzo y junio y temperaturas más bajas en los meses de octubre, noviembre y diciembre, coincidiendo dicha variación con los dos períodos húmedos y los dos períodos secos.

Para el análisis de temperatura máxima, se utilizó la información de las cuatro (4) estaciones que se encuentran distribuidas por dentro y fuera de la cuenca y está discriminada en la Tabla 16. El promedio anual de las cuatro estaciones es de 29.1 °C, con un valor máximo promedio anual de 37.2 °C reportado en la estación de Villa de Leiva (23185010) y un valor mínimo promedio anual de 25.3 °C reportado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

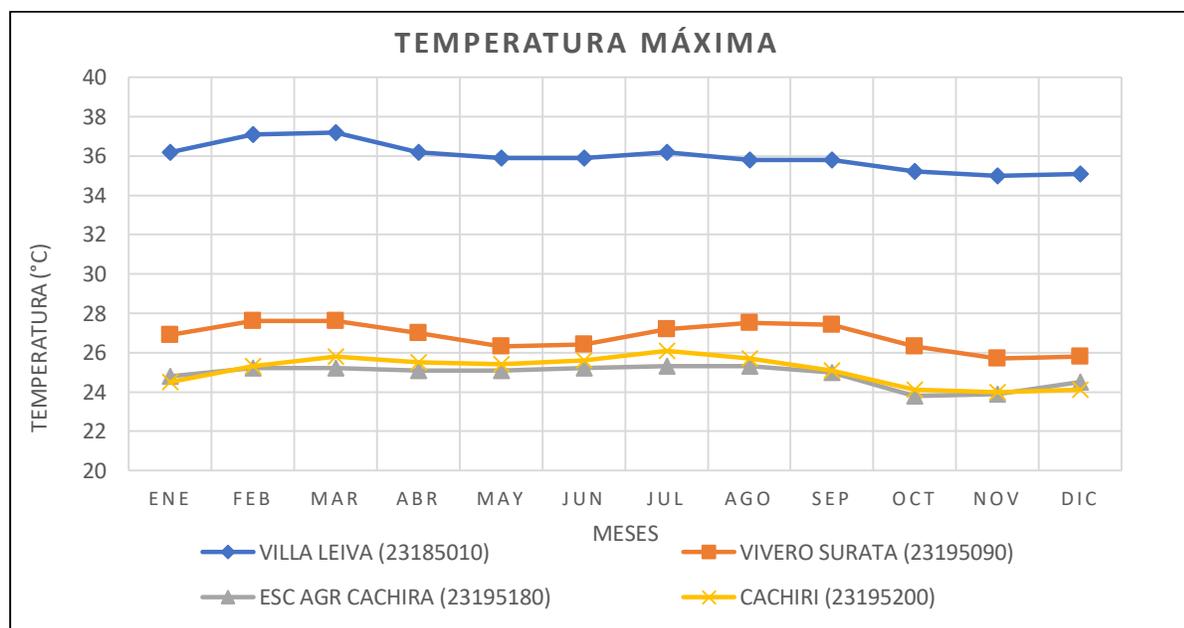
Así mismo, se observa que el promedio mensual más bajo es de 23.8 °C y se presenta en el mes de octubre para la estación de ESC AGR Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 37.2°C y corresponde al mes de marzo en la estación de Villa de Leiva (23185010).

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Villa Leiva (23185010)	36.2	37.1	37.2	36.2	35.9	35.9	36.2	35.8	35.8	35.2	35.0	35.1	37.2
Vivero Surata (23195090)	26.9	27.6	27.6	27.0	26.3	26.4	27.2	27.5	27.4	26.3	25.7	25.8	27.6
ESC AGR Cáchira (23195180)	24.8	25.2	25.2	25.1	25.1	25.2	25.3	25.3	25.0	23.8	23.9	24.5	25.3
Cachiri (23195200)	24.5	25.3	25.8	25.5	25.4	25.6	26.1	25.7	25.1	24.1	24.0	24.1	26.1

Tabla 16. Temperatura máxima promedio multianual [°C]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Promedio = 29.1°C

La variación temporal de los datos de temperaturas máxima y mínima registradas en las estaciones disponibles, se aprecia claramente en las Gráficas 14 y 15.



Gráfica 14. Variación temporal de la temperatura máxima promedio multianual. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

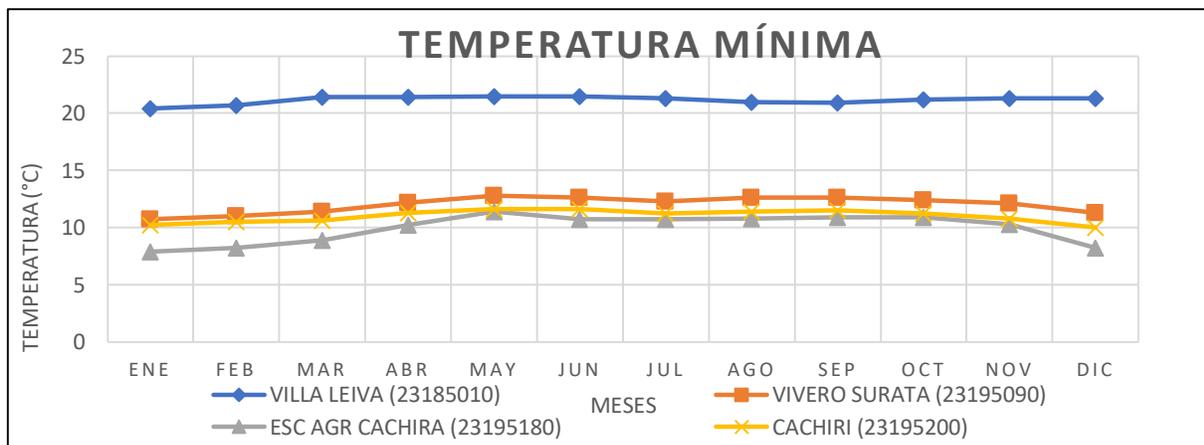
La información para el análisis de temperatura mínima promedio fue obtenida de las 4 estaciones antes mencionadas, alcanzando un promedio general de 12.3 °C, con un valor máximo de 20.4 °C reportado en la estación de Villa de Leiva (23185010) y un mínimo de 7.9 °C registrado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 7.9°C y se presenta en el mes de enero en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 21.5°C que se presenta en el mes de mayo en la estación de Villa Leiva (23185010).

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Villa Leiva (23185010)	20.4	20.7	21.4	21.4	21.5	21.5	21.3	21.0	20.9	21.2	21.3	21.3	20.4
Vivero Surata (23195090)	10.7	11.0	11.4	12.2	12.8	12.6	12.3	12.6	12.6	12.4	12.1	11.3	10.7
ESC AGR Cáchira (23195180)	7.9	8.2	8.9	10.2	11.4	10.7	10.7	10.8	10.9	10.9	10.3	8.2	7.9
Cachiri (23195200)	10.2	10.5	10.6	11.3	11.6	11.6	11.2	11.4	11.5	11.2	10.8	10.0	10.0

Tabla 17. Temperatura mínima promedio multianual [°C]. Fuente: ut Pomca Cáchira sur y Lebrija medio 2015.

Promedio = 12.3°C

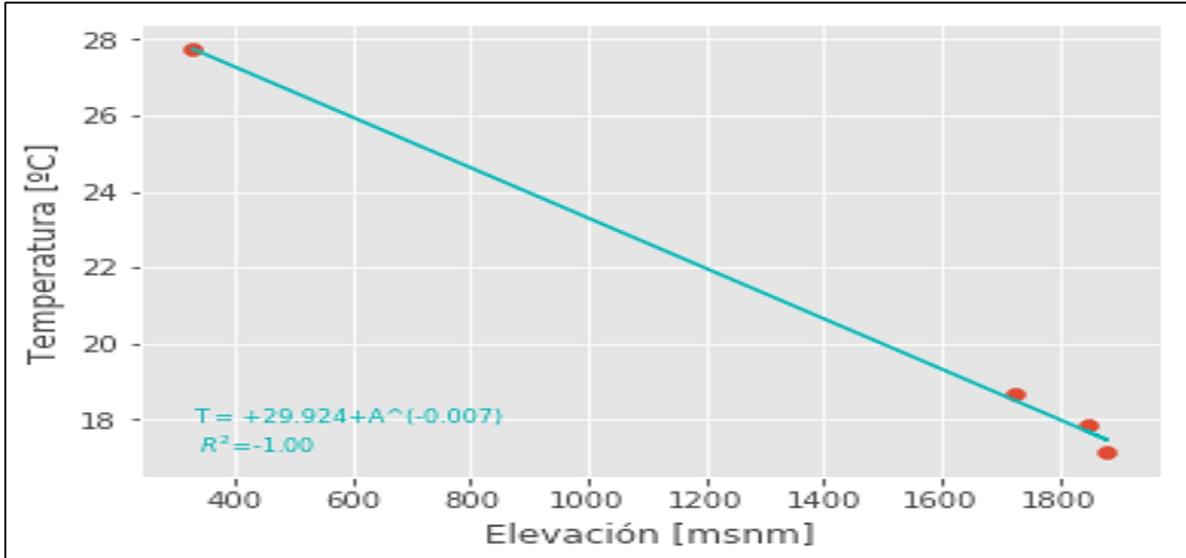


Gráfica 15. Variación Temporal de la Temperatura Mínima Media Mensual Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

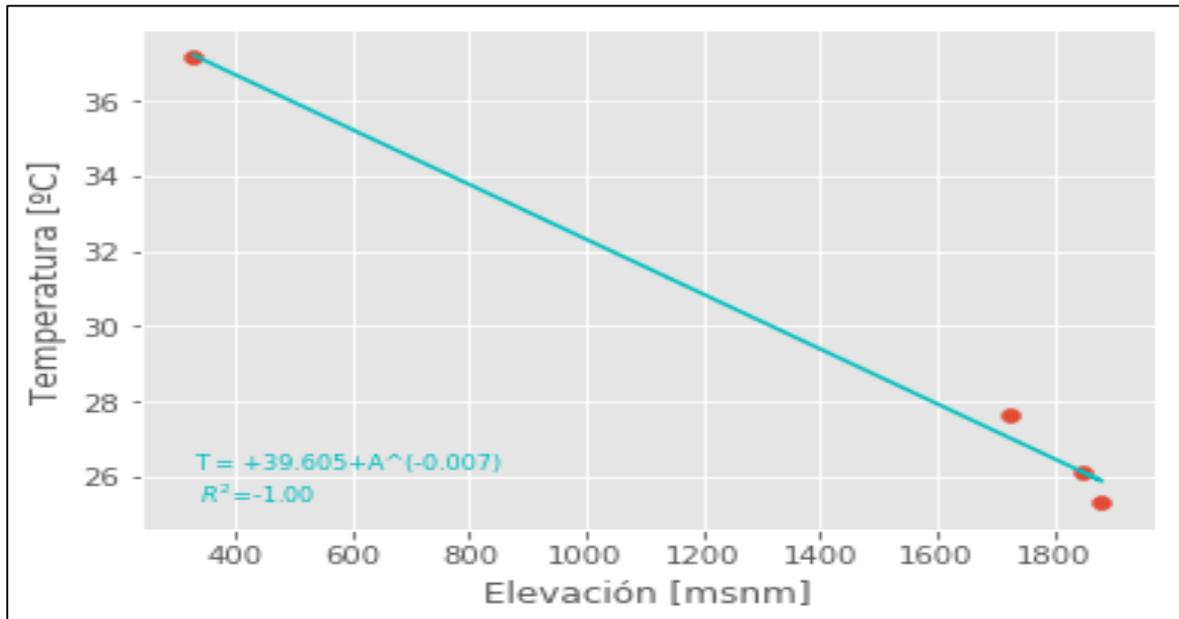
4.6.1 Distribución espacial

Espacialmente, el comportamiento de la temperatura a lo largo de la cuenca está determinada por la relación existente entre la temperatura y la elevación (msnm), en donde la temperatura disminuye en la medida que aumenta la altura. Con la información disponible de valores anuales y mensuales y empleando una técnica de regresión lineal, se determinó el modelo de representación de la temperatura media, máxima y mínima en función de la elevación. En las Gráficas 16-18 se muestran los

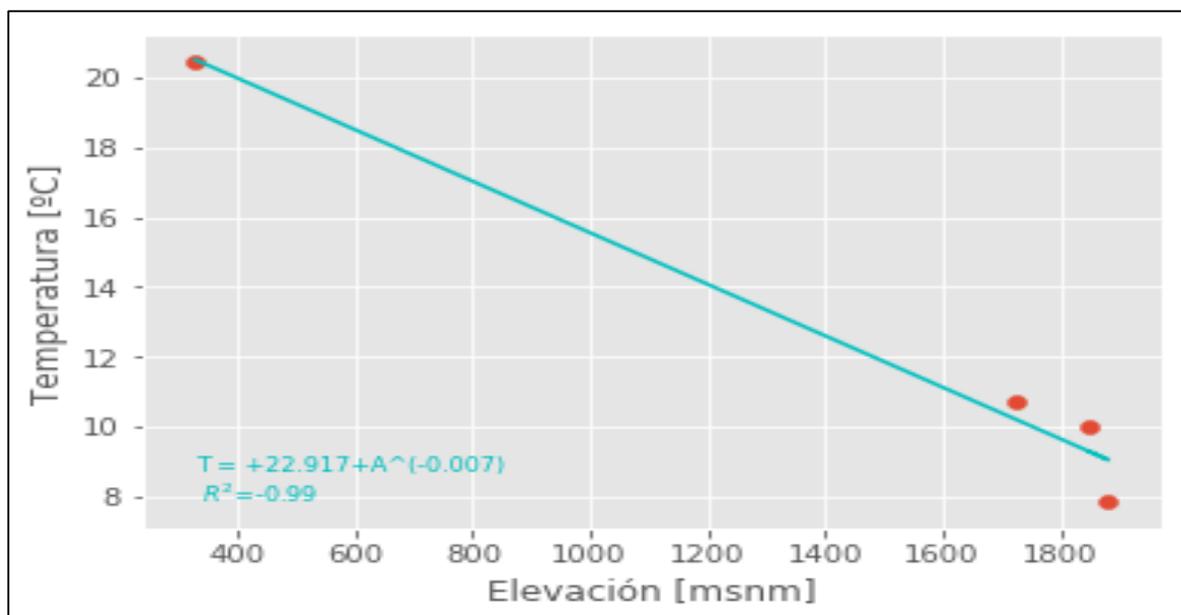
modelos obtenidos para la temperatura promedio anual media, máxima y mínima promedio anual con respecto a la elevación.



Gráfica 16. Correlación Elevación Vs Temperatura Media Anual Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 17. Correlación elevación Vs Temperatura Máxima Anual Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 18. Correlación Elevación Vs Temperatura Mínima Anual. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De igual forma, se efectuó el análisis a nivel mensual para las temperaturas medias, máximas y mínimas, con resultados tabulados en las Tablas 18-20.

MES	INTER	PENDIENTE	p_value	r_value	std_err
Ene	30.0985	-0.0069	0.0040	-0.9960	0.0004
Feb	30.7768	-0.0071	0.0030	-0.9970	0.0004
Mar	30.6509	-0.0069	0.0014	-0.9986	0.0003
Abr	30.0900	-0.0066	0.0005	-0.9995	0.0002
May	29.8872	-0.0065	0.0001	-0.9999	0.0001
Jun	29.9640	-0.0065	0.0004	-0.9996	0.0001
Jul	29.9939	-0.0066	0.0005	-0.9995	0.0001
Ago	30.0026	-0.0066	0.0011	-0.9989	0.0002
Sep	29.6453	-0.0065	0.0013	-0.9987	0.0002
Oct	29.2076	-0.0064	0.0005	-0.9995	0.0001
Nov	29.2060	-0.0064	0.0009	-0.9991	0.0002
Dic	29.5673	-0.0066	0.0024	-0.9976	0.0003
Promedio Anual	29.9242	-0.0066	0.0010	-0.9990	0.0002

Tabla 18. Regresión lineal Temperatura media contra elevación. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

MES	INTER	PENDIENTE	p_value	r_value	std_err
Ene	38.69	-0.01	0.01	-0.99	0.00
Feb	39.63	-0.01	0.01	-0.99	0.00
Mar	39.65	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Abr	38.48	-0.01	0.00	-1.00	0.00
May	38.17	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Jun	38.09	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Jul	38.41	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Ago	38.03	-0.01	0.01	-0.99	0.00
Sep	38.16	-0.01	0.01	-0.99	0.00
Oct	37.61	-0.01	0.01	-0.99	0.00
Nov	37.36	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Dic	37.34	-0.01	0.00	-1.00	0.00
Promedio Anual	39.60	-0.01	0.00	-1.00	0.00

Tabla 19. Regresión lineal Temperatura máxima contra elevación. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

MES	INTER	PENDIENTE	p_value	r_value	std_err
Ene	22.903	-0.007	0.013	-0.987	0.0009
Feb	23.170	-0.007	0.014	-0.986	0.0009
Mar	23.868	-0.007	0.007	-0.993	0.0006
Abr	23.664	-0.007	0.003	-0.997	0.0004
May	23.659	-0.006	0.001	-0.999	0.0002
Jun	23.734	-0.007	0.003	-0.997	0.0004
Jul	23.474	-0.007	0.001	-0.999	0.0002
Ago	23.160	-0.006	0.003	-0.997	0.0003
Sep	23.038	-0.006	0.002	-0.998	0.0003
Oct	23.361	-0.007	0.001	-0.999	0.0002
Nov	23.549	-0.007	0.002	-0.998	0.0003
Dic	23.869	-0.008	0.010	-0.990	0.0008
Prom Anual	22.917	-0.007	0.012	-0.988	0.0008

Tabla 20. Regresión lineal Temperatura mínima contra elevación. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

El mapa de isotermas medias anuales de la cuenca del río Cáchira Sur, se representan en la Figura 9.

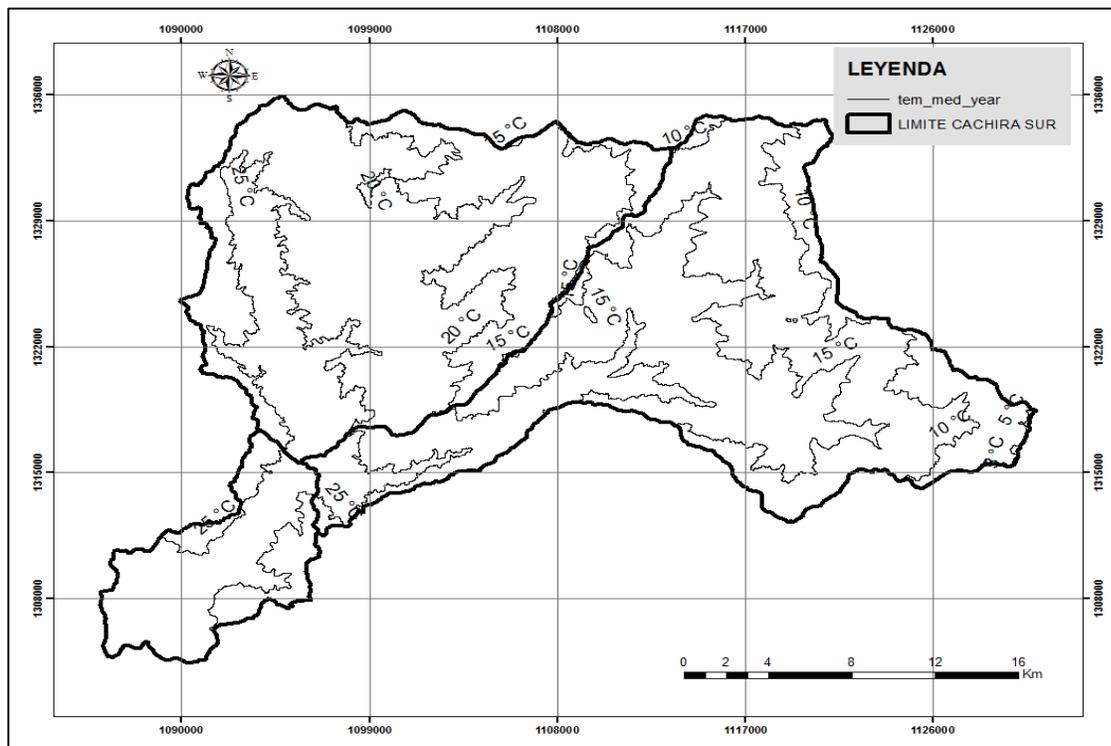


Figura 9. Distribución espacial de la Temperatura Media anual °C - cuenca del río Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De igual manera se elaboraron los mapas de isoterma media anual para la cuenca del río Cáchira Sur, a partir del cual se advierte que, durante los meses de marzo, junio y Julio, se presentan las temperaturas medias máximas que oscilan entre los 19°C y 21°C. Por otra parte, los meses de febrero, abril y diciembre registran los valores medios mínimos que oscilan entre 16°C y 17.1°C. Es importante destacar que en todos los casos la temperatura está en función de la altura.

Respecto al comportamiento espacial de las temperaturas máximas y mínimas en la cuenca, se elaboraron los mapas de temperatura máxima anual y temperatura mínima anual, hallando variaciones más amplias, con temperaturas que se van incrementando a medida que se desciende hacia el valle, escenario que concuerda con las características topográficas de la cuenca.

4.7 Humedad relativa

La Humedad relativa, muestra una variación en la zona, la cual está en relación inversa con el comportamiento temporal y estacional de la temperatura ambiente.

4.7.1 Distribución temporal humedad relativa

La información obtenida de humedad relativa derivó de las cuatro (4) estaciones disponibles referencias en la Tabla 21 que se encuentran distribuidas por dentro y fuera de la cuenca. El promedio de la humedad relativa es de 83.4 %, con un valor máximo de 85.4 % reportado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180) y un valor mínimo de 81.4% registrado en la estación de Vivero Surata (23195090). El promedio mensual más bajo es de 77.7% y se presenta en el mes de febrero para la estación de Villa de Leiva (23185010), mientras que el promedio mensual más alto es de 89.0% en el mes de noviembre en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

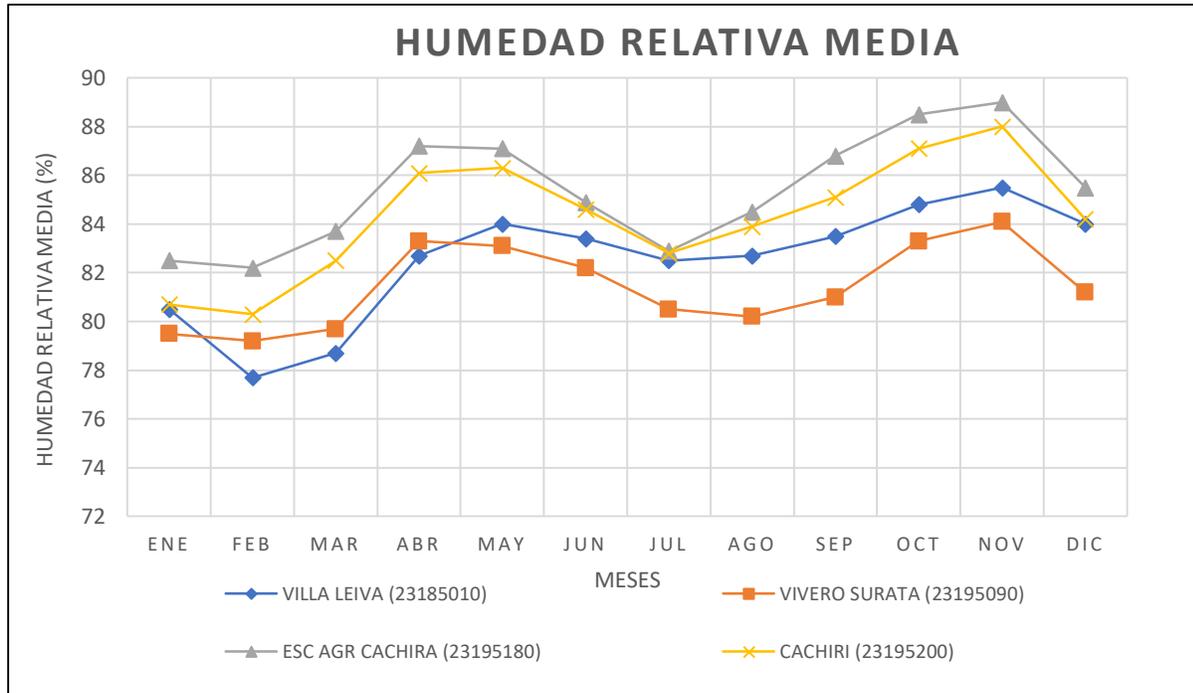
En la Tabla 21, se presentan los datos de humedad relativa media mensual promedio multianual en las estaciones disponibles.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom Anual
VILLA LEIVA (23185010)	80.5	77.7	78.7	82.7	84.0	83.4	82.5	82.7	83.5	84.8	85.5	84.0	82.5
VIVERO SURATA (23195090)	79.5	79.2	79.7	83.3	83.1	82.2	80.5	80.2	81.0	83.3	84.1	81.2	81.4
ESC AGR CACHIRA (23195180)	82.5	82.2	83.7	87.2	87.1	84.9	82.9	84.5	86.8	88.5	89.0	85.5	85.4
CACHIRI (23195200)	80.7	80.3	82.5	86.1	86.3	84.6	82.8	83.9	85.1	87.1	88.0	84.2	84.3

Tabla 21. Humedad Relativa Media Mensual Promedio Multianual. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

A nivel mensual, los valores más altos de humedad relativa corresponden a los meses donde aumentaron las precipitaciones y viceversa, concordando con el comportamiento bimodal. Se observaron los valores máximos promedio de humedad

relativa en el segundo período húmedo del año, y corresponden al mes de noviembre, así mismo los valores mínimos promedio se evidenciaron en los meses de julio y agosto. (ver Grafica 19)



Gráfica 19. Valores Medios Mensuales de Humedad Relativa (%) Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.7.2 Distribución espacial humedad relativa

El comportamiento espacial de la humedad relativa media anual para la cuenca del río Cáchira Sur, se realizó tomando como referencia dos (2) estaciones localizadas en la cuenca y su área de influencia, las cuales poseen registros históricos.

Se observó que los valores medios anuales de humedad relativa sobre el 82,5 %, está asociado a mayores condiciones de temperatura y disminución de la calidad del aire y estos valores que se van incrementando en el nacimiento del Cáchira Sur, y en la parte baja de la cuenca con humedades relativas medias anuales sobre 79%. Ver Figura 10.

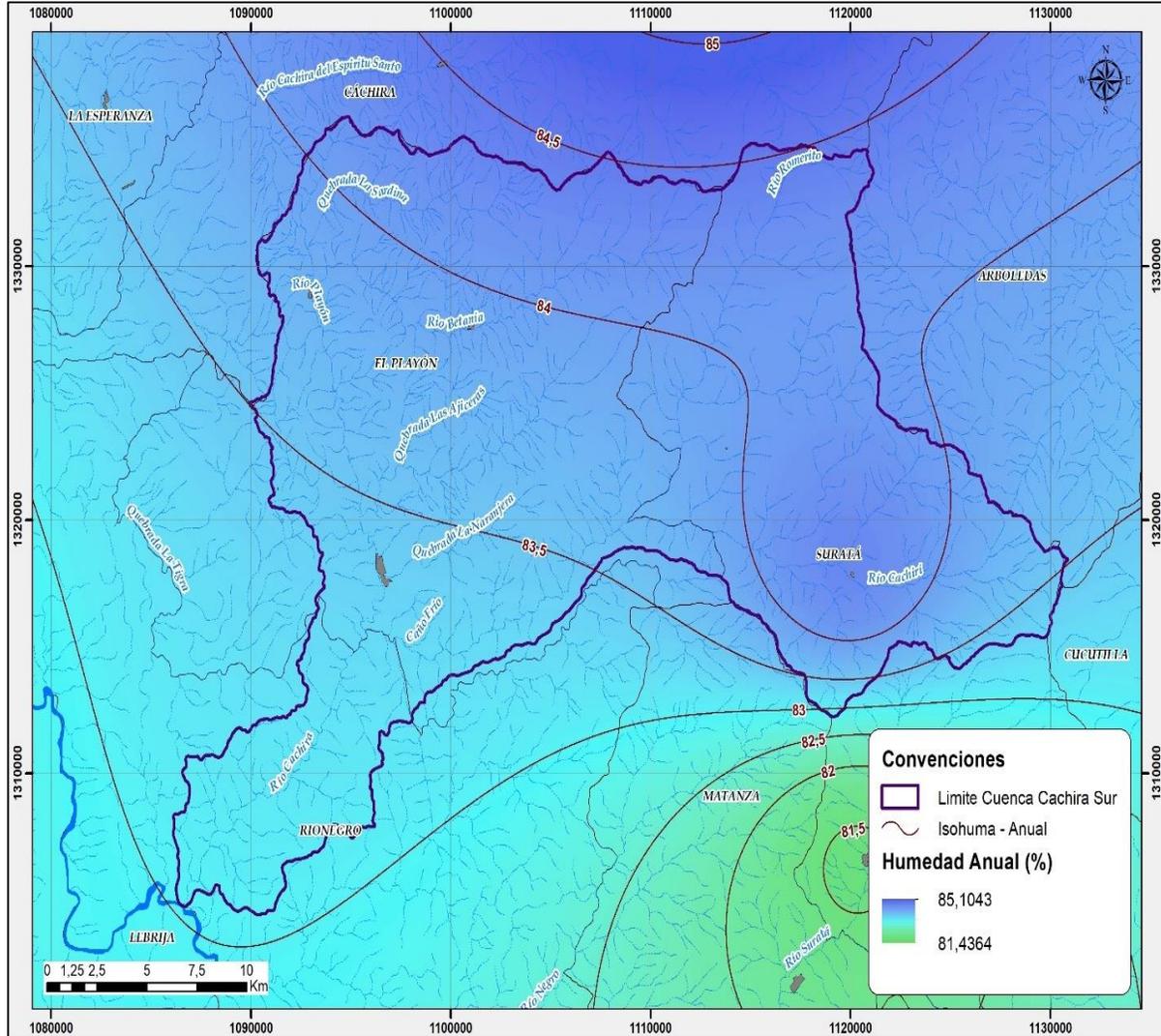


Figura 10. Distribución Espacial de la Humedad Relativa Promedio % Cuenca Del Río Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebríja Medio 2015.

También se advierte, que los meses en los cuales se presenta mayor Humedad Relativa que son octubre y noviembre con valores superiores al 84%, mientras que febrero es el mes que posee menor porcentaje de Humedad Relativa (79%).

4.8 Evaporación

La variación de la evaporación en la cuenca está asociado al comportamiento temporal y estacional de la precipitación y la temperatura ambiente.

4.8.1 Distribución temporal. Evaporación

La evaporación presenta un régimen bimodal, ajustado a las variaciones de la precipitación en la zona, a lo largo del año, con la presencia de dos períodos de evaporación altos, y dos períodos secos. El primero de mediados de enero, febrero y marzo, el segundo de julio, agosto y septiembre, con valores máximos de evaporación en el primer y segundo y dos períodos de valores de evaporaciones bajas correspondientes a los meses de lluvia, con valores mínimos durante el mes de noviembre. En la Tabla 22, se presentan los valores de humedad media promedio multianual.

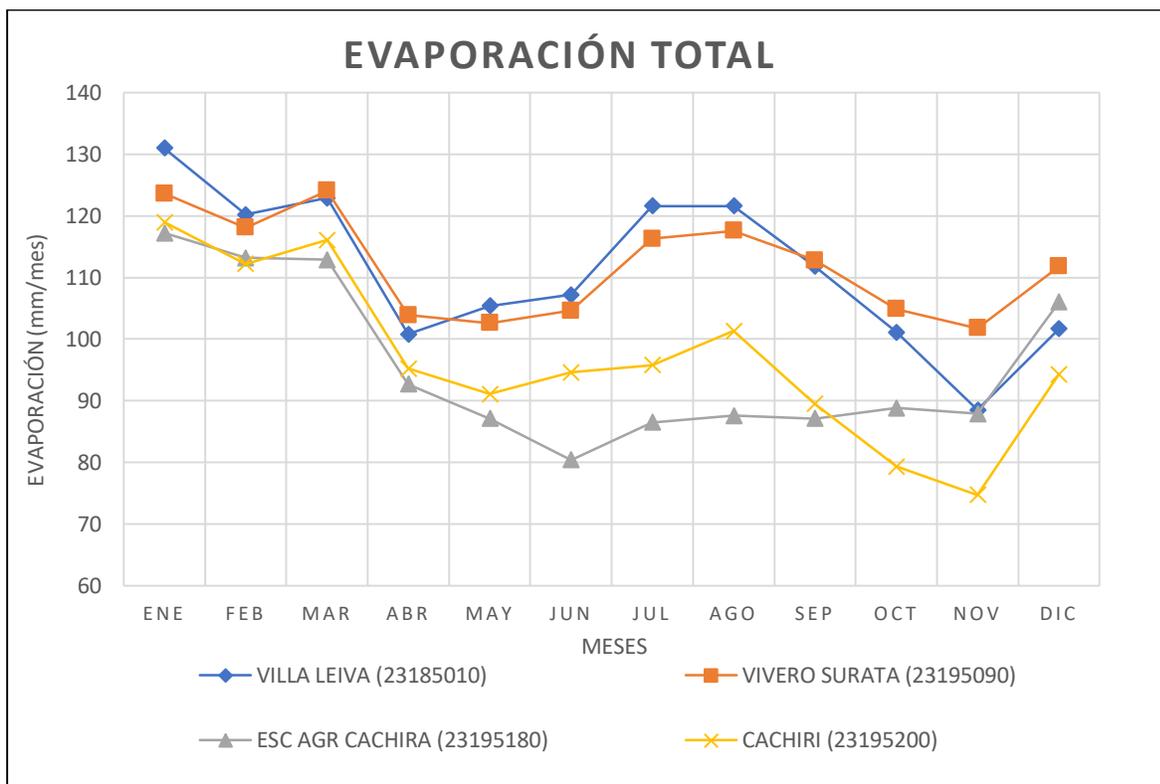
La información de evaporación resultante de las cuatro estaciones seleccionadas dentro y fuera de la cuenca se analizó y obtuvo un promedio de 1246.6 mm, con un valor máximo de 1342.1 mm reportado en la estación de Vivero Surata (23195090) y un valor mínimo de 1147.3 mm registrado en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 74.7 mm y se presenta en el mes de noviembre para la estación de Cachiri (23195200), mientras que el promedio mensual más alto es de 131.0 mm que y se presenta en el mes de enero en la estación de Villa de Leiva (23185010).

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Villa Leiva (23185010)	131.0	120.2	122.9	100.8	105.4	107.2	121.6	121.6	111.8	101.1	88.5	101.7	1333.8
Vivero Surata (23195090)	123.6	118.1	124.1	103.9	102.6	104.6	116.3	117.6	112.8	104.9	101.8	111.8	1342.1
ESC AGR Cáchira (23195180)	117.2	113.2	112.9	92.7	87.1	80.4	86.5	87.6	87.1	88.8	87.9	106.0	1147.3
Cachiri (23195200)	119.0	112.2	116.1	95.2	91.1	94.6	95.8	101.3	89.5	79.3	74.7	94.3	1163.1

Tabla 22. Evaporación total mensual promedio multianual [mm/mes]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Valor Promedio = 1246.6
 Valor Máximo = 1342.1
 Valor Mínimo = 1147.3



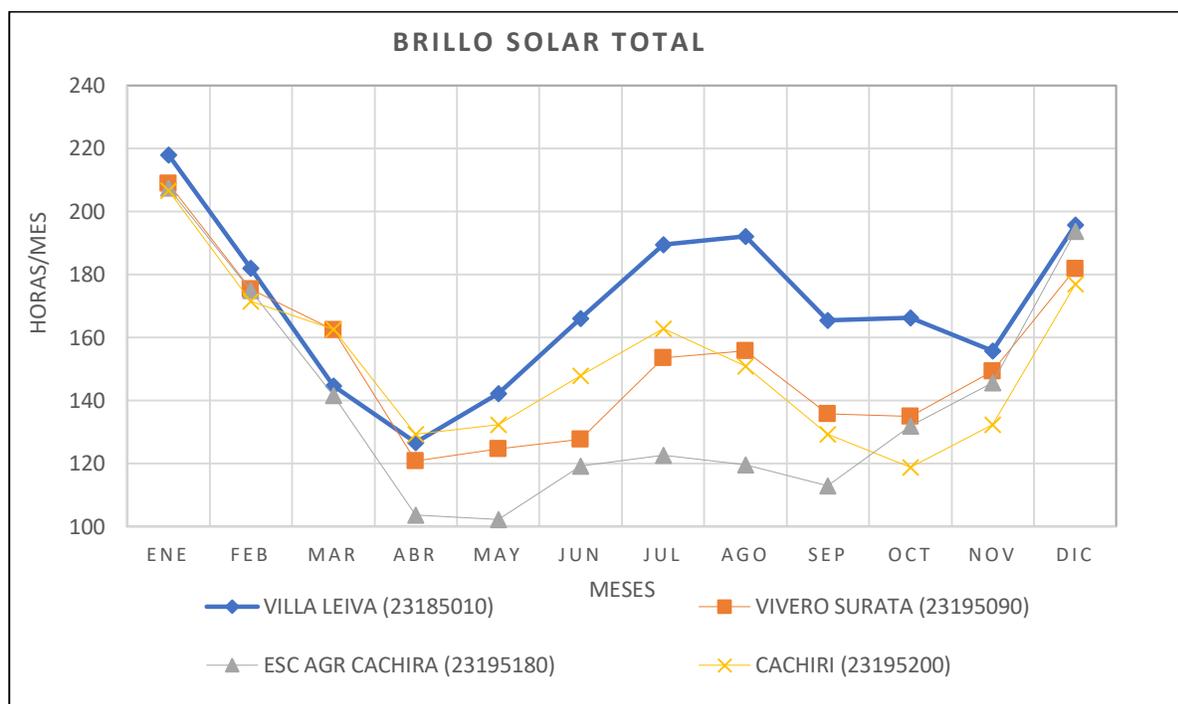
Gráfica 20. Variación temporal de la evaporación total en las estaciones. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Los meses de evaporación máxima, mínima y media se encuentran representados en la Gráfica 20 con la mayor evaporación registrada en el mes de enero para la estación Villa de Leiva; los datos se correspondientes se reportan en la Tabla 23.

Evaporación	Mes	Villa de Leiva	Vivero Surata	ESC Agr Cáchira	Cachiri
Máxima	Ene	X			
	Mar		X	X	X
Mínima	Nov	X	X		X
	Jun			X	

4.9 Brillo solar

Se evidencia que el brillo solar en la cuenca del río Cáchira Sur está relacionado con las variaciones de la precipitación, temperatura y evaporación. De acuerdo a lo registrado en la estaciones climatológicas disponibles, se advierten dos períodos de valores de insolación altos y dos bajos, los cuales se ajustan a un régimen bimodal, que corresponde a dos temporadas de lluvias y dos de estiaje que se presentan en la zona Andina colombiana; en donde el mes de mayor brillo solar se registra en el primer período seco del año, y corresponde a los meses de enero y febrero; las menores insolaciones se presentan en los meses de mayo y octubre, acorde a los períodos de lluvias del año. (ver Grafica 21)



Gráfica 21. Valores medios mensuales de brillo solar (Horas/ Mes). Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Para el análisis de la información de Brillo solar total mensual se tomaron los datos de las cuatro (4) estaciones, localizadas dentro y fuera de la cuenca. El promedio de los datos de brillo solar es de 1843.3 horas/año, con un valor máximo de 2044.7 horas/año

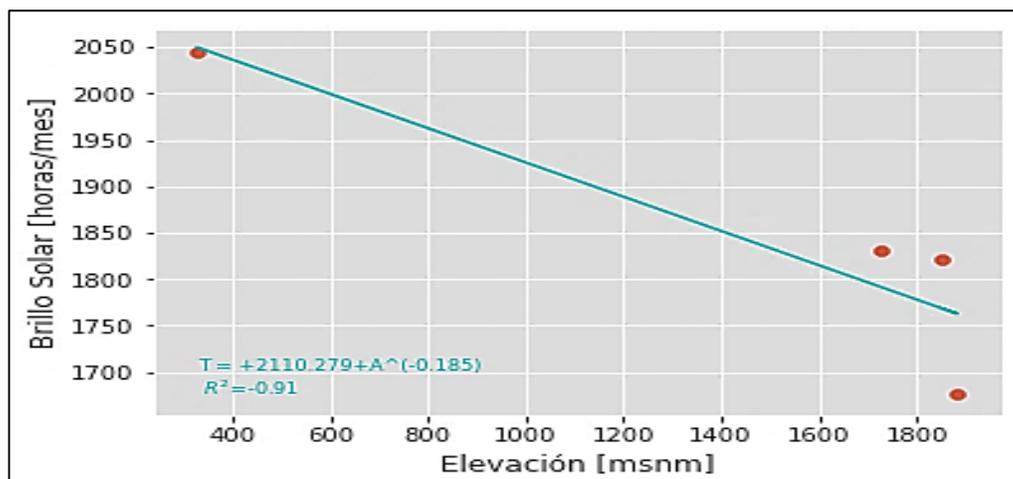
reportado en la estación de Villa de Leiva (23185010) y un valor mínimo de 1675.9 horas en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo se presentó en el mes de mayo en la estación de ESC AGR Cáchira (23195180) con un valor de 102.1 horas/mes, y el promedio mensual más alto correspondió al mes de enero en la estación de Villa de Leiva (23185010), con una medición de 217.8 horas/mes. (ver Tabla 24)

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Villa Leiva (23185010)	217.9	182.1	144.7	126.6	142.2	166.0	189.5	192.2	165.5	166.3	155.8	195.8	2044.7
Vivero Surata (23195090)	208.9	175.3	162.5	120.9	124.6	127.7	153.6	155.7	135.7	134.9	149.4	181.9	1831.0
ESC AGR Cáchira (23195180)	207.5	175.0	141.7	103.7	102.2	119.3	122.6	119.6	113.0	132.0	145.7	193.7	1675.9
Cachiri (23195200)	206.6	171.5	162.7	129.4	132.3	147.8	162.8	151.0	129.3	118.9	132.3	177.0	1821.5

Tabla 24. Brillo solar total mensual promedio multianual [horas/mes]. Fuente: Ut Pomca Cáchira sur y Lebrija medio 2015

Con los datos disponibles sobre brillo solar, tomados de las estaciones climatológicas que efectúan esta medición, se realizaron los mapas de isohelias a nivel mensual y anual logrando establecer que los valores anuales más bajos de insolación se presentan en las partes altas de la cuenca Cáchira Sur, e incrementan a medida que se desciende, como se muestra visualiza en la Grafica 22.



Gráfica 22. Brillo Solar Total Mensual Promedio Multianual [Horas/Mes] Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

La Figura 12 muestra la distribución espacial media mensual del brillo solar (hr/año).

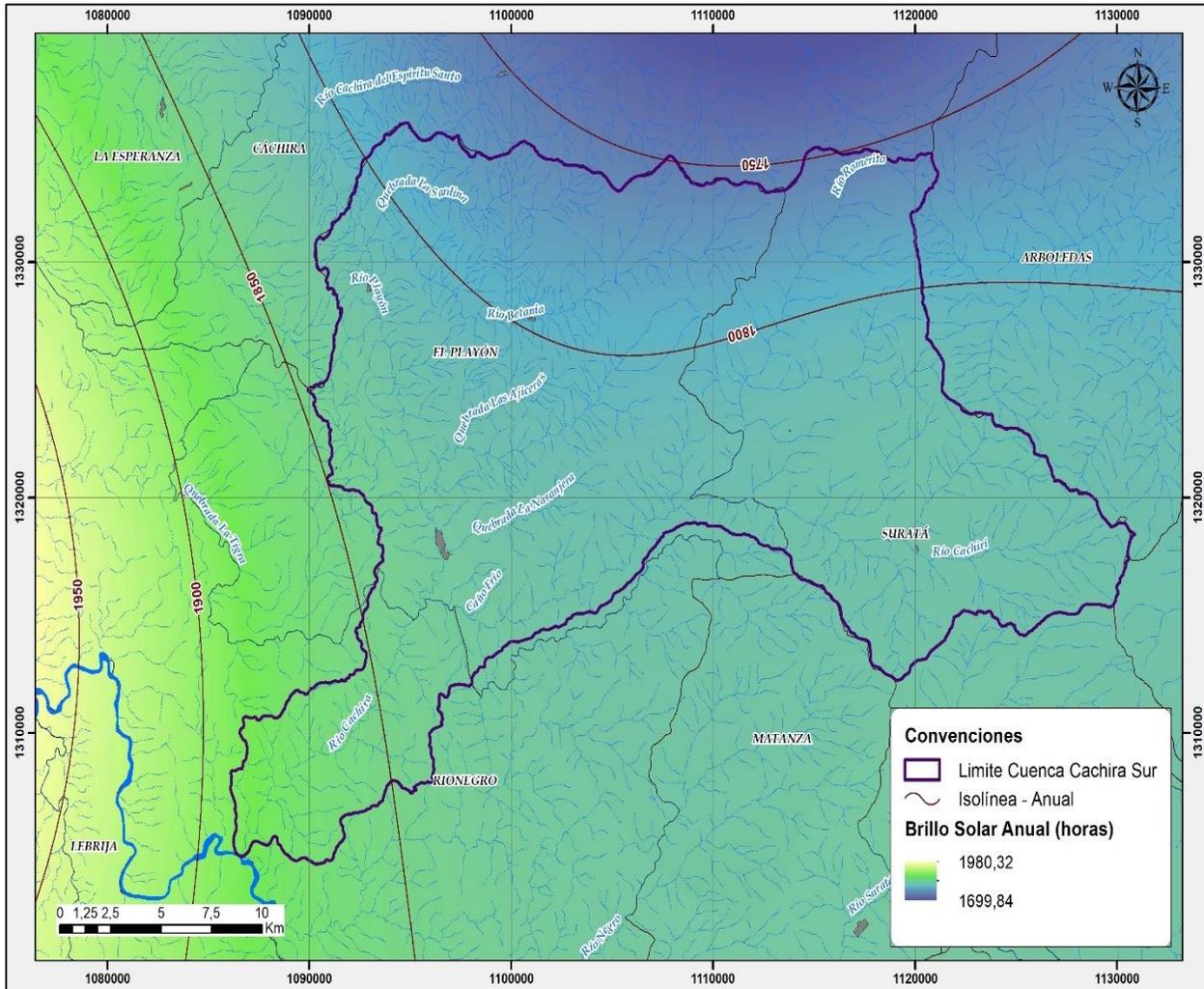


Figura 12. Distribución espacial media mensual brillo solar (hr/año) - cuenca del río Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

A medida que se desciende de la cuenca, se observa que las horas de brillo solar aumentan lo que determina que el área de intercepción entre la cuenca del río Cáchira y el río Lebrija exhibe mayores horas de brillo solar al año con un total de 2119,2 hrs/año.

Así mismo, a medida que se asciende por la cuenca se observa que el número de horas de brillo solar disminuye con un valor promedio anual de 1898,7 hr/año. En el primer semestre, los meses con menores horas de brillo solar son abril y mayo con

valores promedio mensuales de 126,4 hr/año y en el segundo semestre octubre presenta el menor número de horas de brillo solar con 122,25 hr/año.

4.10 Velocidad y dirección del viento

El viento, es el movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica, transportando energía y masa. Viene caracterizado por dos magnitudes: velocidad y dirección.

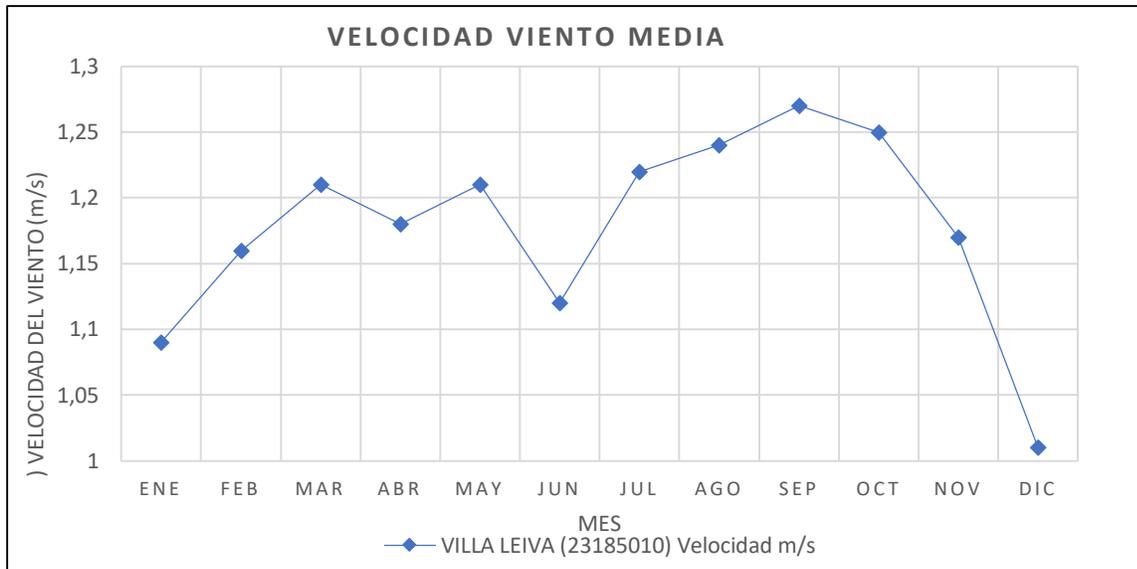
1. La velocidad del viento, mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinado. Su unidad de medida es habitualmente en metros por segundo (m/s).
2. Dirección, indica desde donde sopla el viento (orientación del vector), ésta se mide en grados (°) tomando como origen el Norte geográfico (IDEAM, 2006)

De las estaciones disponibles, solo la estación Villa de Leiva registra la velocidad y dirección del viento; en la Tabla 25 se reportan los datos sobre velocidad media y dirección modal predominantes.

ESTACIÓN		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Villa Leiva (23185010)	Velocidad m/s	1.09	1.16	1.21	1.18	1.21	1.12	1.22	1.24	1.27	1.25	1.17	1.01	1.18
	Dirección [grados]	360	45	45	225	45	360	270	360	360	360	45	360	360

Tabla 25. Velocidad media promedio multianual y dirección más frecuente [m/s]. Fuente: Ut Pomca Cáchira sur y Lebrija medio 2015.

En la Figura 13, se esquematiza la rosa de los vientos de la estación Villa de Leiva; y la variación temporal de la velocidad del viento registrada para esta estación, se presenta en la Gráfica 23. Es importante aclarar que, aunque se localiza externamente y distanciada de la cuenca, permite valorar el comportamiento de esta variable.



Gráfica 23. Variación temporal de la velocidad del viento Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

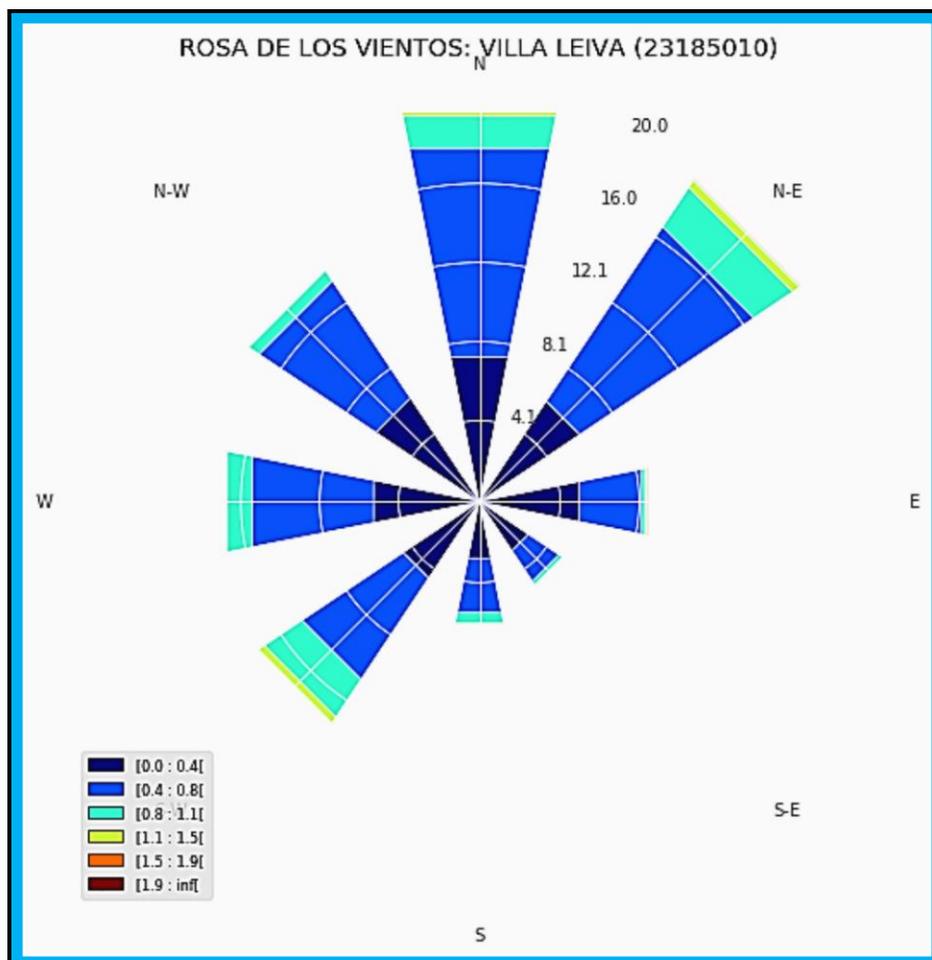


Figura 13. Rosa de los vientos Estación Villa Leiva. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.10.1 Recorrido del viento

Se realizó el análisis de la información del recorrido del viento, procedente de las cuatro (4) estaciones, determinando el promedio anual y sus promedios máximo y mínimo anual. De igual forma, se calcularon los promedios mensuales más bajo y más alto de los reportes de todas las estaciones. (Ver Tablas 26 y 27)

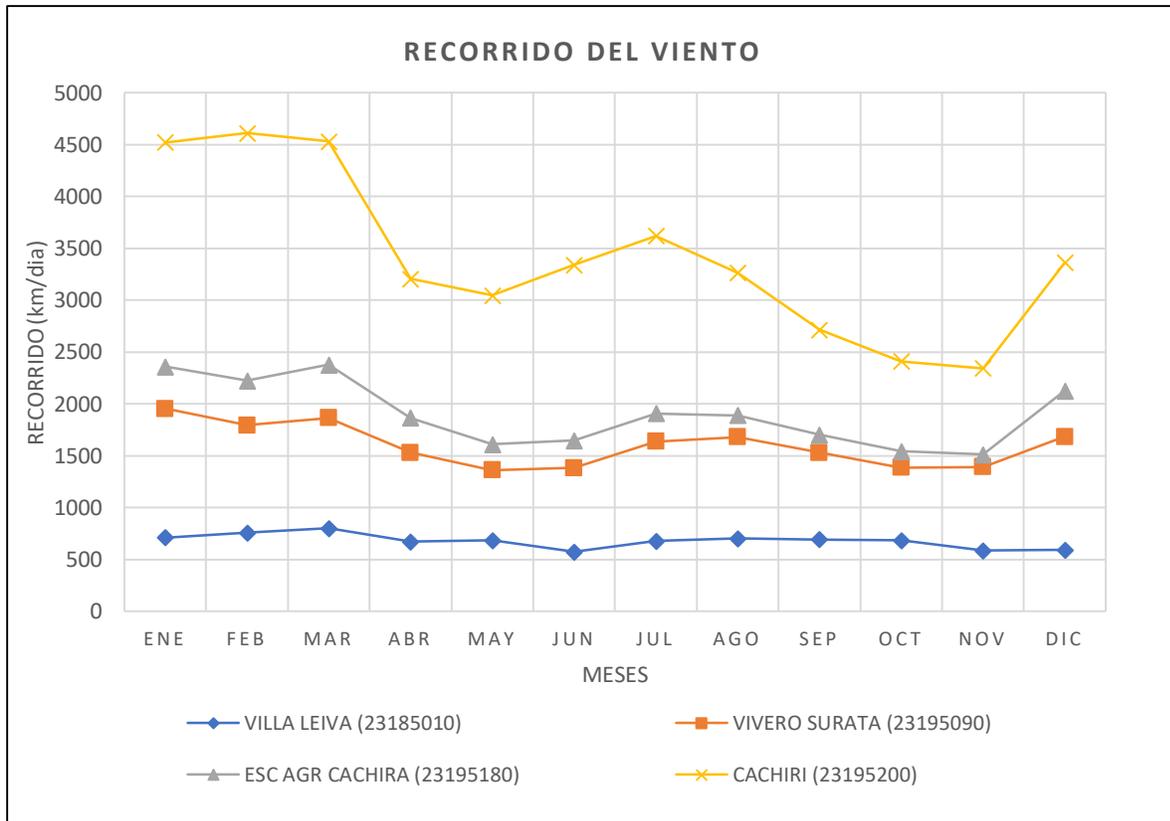
ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	total
Villa Leiva (23185010)	711.5	757.0	799.4	671.5	683.2	574.2	677.0	703.4	692.0	683.3	586.5	592.5	8131.4
Vivero Surata (23195090)	1955.1	1793.1	1865.7	1531.9	1360.5	1382.8	1638.0	1681.8	1529.3	1386.0	1392.4	1683.2	19199.6
ESC AGR Cáchira (23195180)	2358.1	2225.7	2376.2	1865.9	1610.0	1646.5	1909.5	1890.5	1703.9	1544.0	1512.3	2126.0	22768.6
Cachirí (23195200)	4521.3	4612.9	4533.2	3206.4	3046.6	3339.7	3619.7	3264.5	2714.4	2410.2	2342.9	3361.4	40973.4

Tabla 26. Recorrido del viento [km/mes]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

PROMEDIOS	Valor	Unidades	Estación
Anual	22.768.25	Km/mes	Cuatro estaciones
Máximo anual	40.973.4	Km/mes	Cuatro estaciones
Mínimo anual	8131.4	Km/mes	Cuatro estaciones
Mensual más bajo	574.16	Km/mes	Villa de Leiva
Mensual más alto	4612.9	Km/mes	Cachirí

Tabla 27. Recorrido del viento [km/mes]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La siguiente ilustración muestra una representación de líneas que contiene cuatro series que corresponden a la variación temporal del recorrido del viento en cada una de las estaciones. (ver Gráfica 24)



Gráfica 24. Variación Temporal Del Recorrido Del Viento Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.11 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la pérdida de agua por evaporación directa y el fenómeno biológico que ocurre cuando las plantas pierden agua de sus tejidos por transpiración. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

4.11.1 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración, es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera debido a la realización de dos procesos separados en los cuales se pierde agua, a través de la superficie del suelo por evaporación y por también a través de la transpiración de las plantas (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Thornthwaite (1948), define la evapotranspiración potencial (ETP) como la pérdida de agua de un terreno protegido por una cobertura verde de poca altura, por evaporación y transpiración de las plantas sin limitaciones de agua, mientras que la evapotranspiración real (ETR), o actual (según algunos autores) se refiere como la misma pérdida de agua bajo las condiciones de almacenamiento de agua en el suelo durante el periodo de análisis.

Teniendo en cuenta que no es posible calibrar el balance hídrico de largo plazo, se usó el método de Thornthwaite para estimar la evapotranspiración, teniendo en cuenta que es la metodología usada más ampliamente en el país y requiere como insumo la temperatura media; mientras que el método de Penman-Monteith se aplica a las estaciones que cuentan con información, de temperatura máxima, temperatura mínima, brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento, adicional a la temperatura media.

La evapotranspiración potencial (ETP), es un elemento importante del balance hídrico, por cuanto determina las pérdidas de agua desde una superficie de suelo en las condiciones que se han definido. La cuantificación de las pérdidas es indispensable para el cálculo del agua disponible en el suelo para ser utilizada por las plantas para su crecimiento y producción. Con relación a las precipitaciones recogidas, la ETP se toma como indicador climático de humedad o aridez ambiental, este parámetro se calcula mediante Thornwhite de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a. Determinar el índice de calor mensual a partir de la temperatura media mensual (i):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

- b. Determinar el índice de calor Anual (I) sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i \quad \text{(Ecuación 3)}$$

- c. Determinar la Evapotranspiración mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP(\text{Sin Corregir}) = 16 * \left(\frac{10*t}{I}\right)^a \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

ETP: (sin corregir) Evapotranspiración potencial a nivel mensual en mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas.

t: Temperatura Media Mensual °C.

I: Índice de Calor Anual.

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

- d. Realizar la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ETP = ETP_{\text{Sin Correg}} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración Corregida.

N: Número máximo de horas de sol, depende del mes y de la Latitud.

d: Número de días del mes.

La Figura 14 presenta un comportamiento homogéneo en los valores de ETP de la cuenca; no obstante, hacia la oeste muestra un incremento que oscila entre 449 mm y 780 mm al año. (Ver Anexo 7)

En el primer semestre del año, los meses de mayo y junio son los que reportan los datos más altos de ETP. (Ver Figura 15)

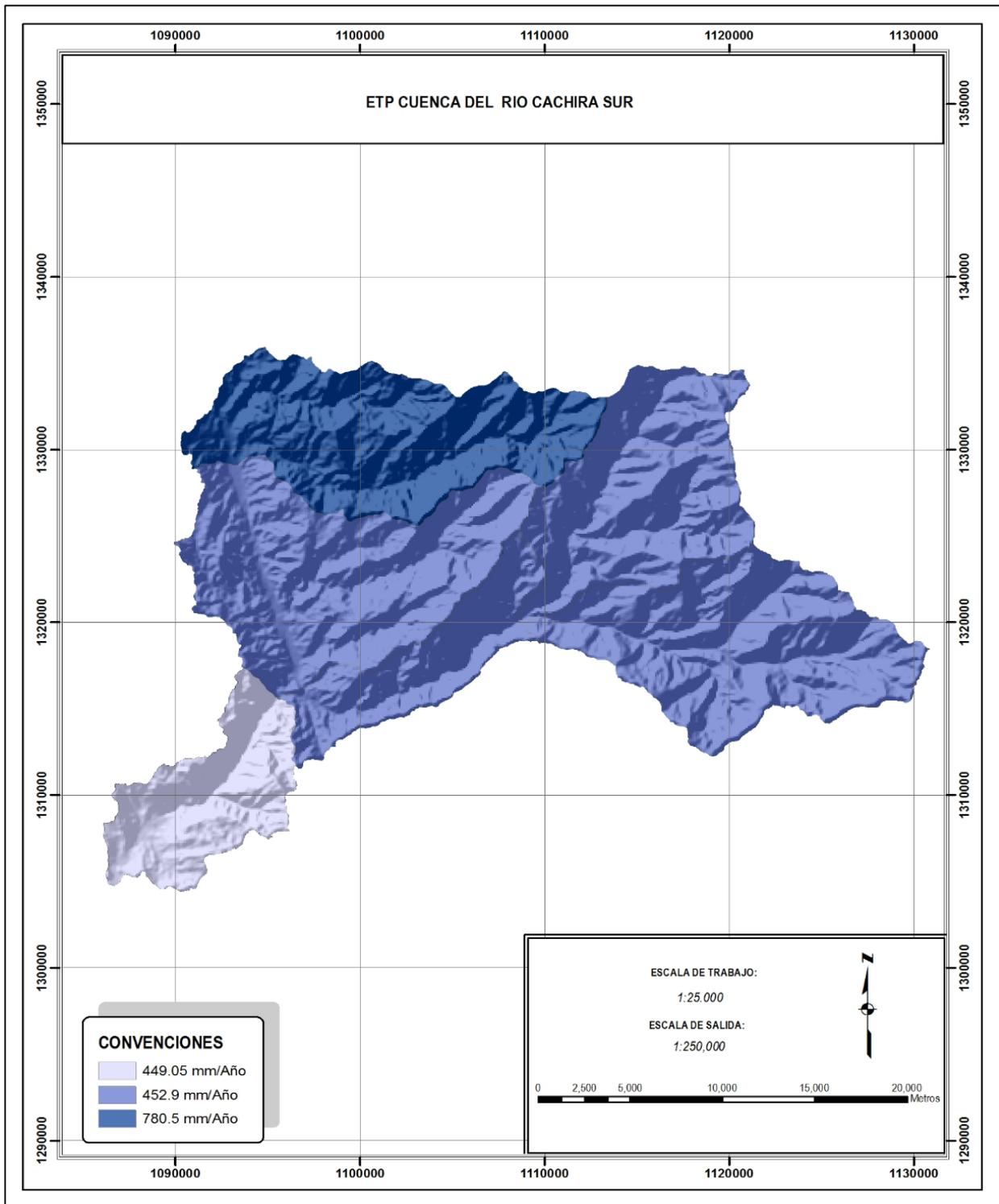


Figura 14. ETP mensual cuenca rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

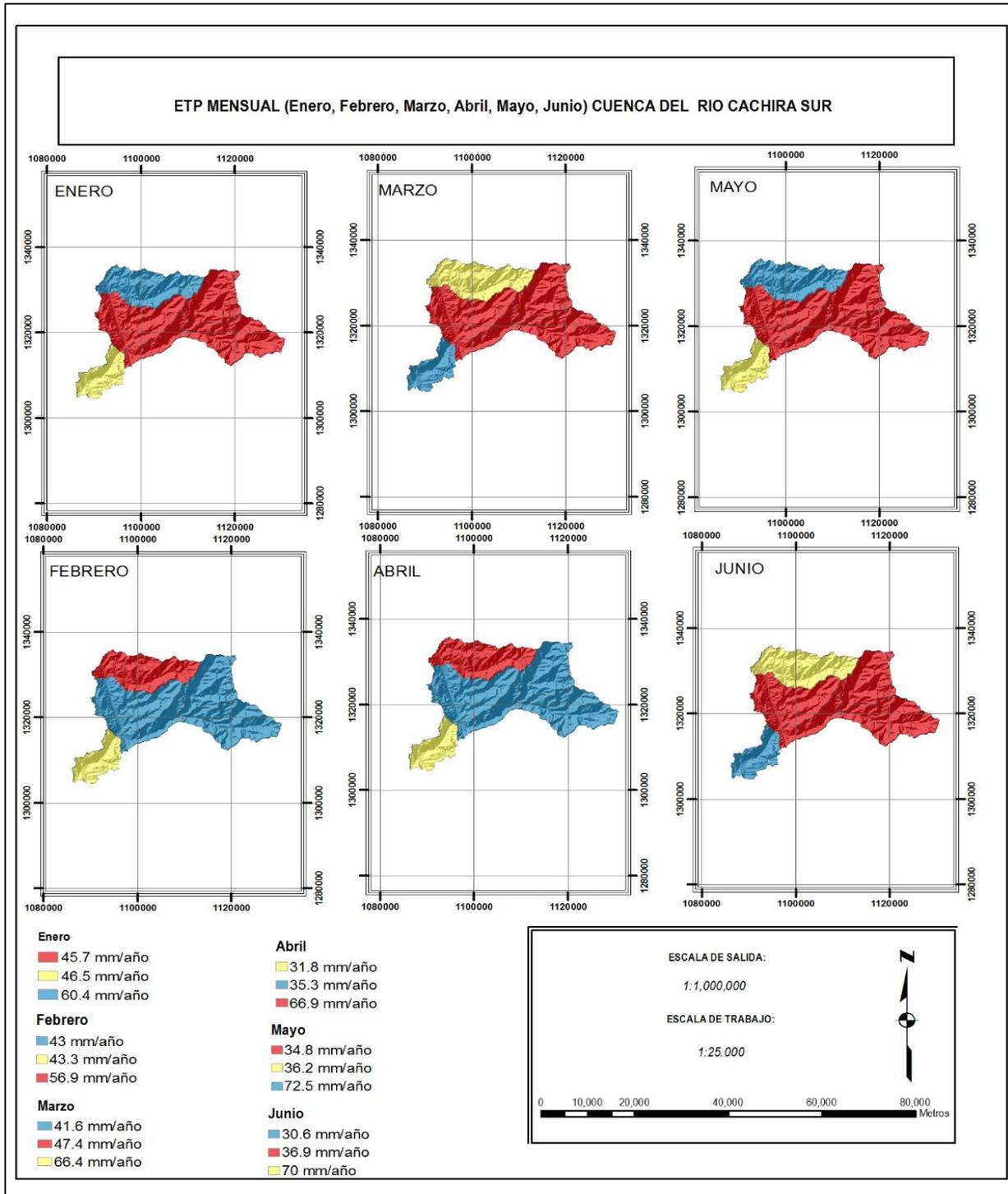


Figura 15. ETP mensual (enero-junio) cuenca rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En la Figura 16 se presentan los ETP mensual registrados para el segundo semestre del año en la cuenca Cáchira Sur, evidenciando los reportes más altos en el mes de julio.

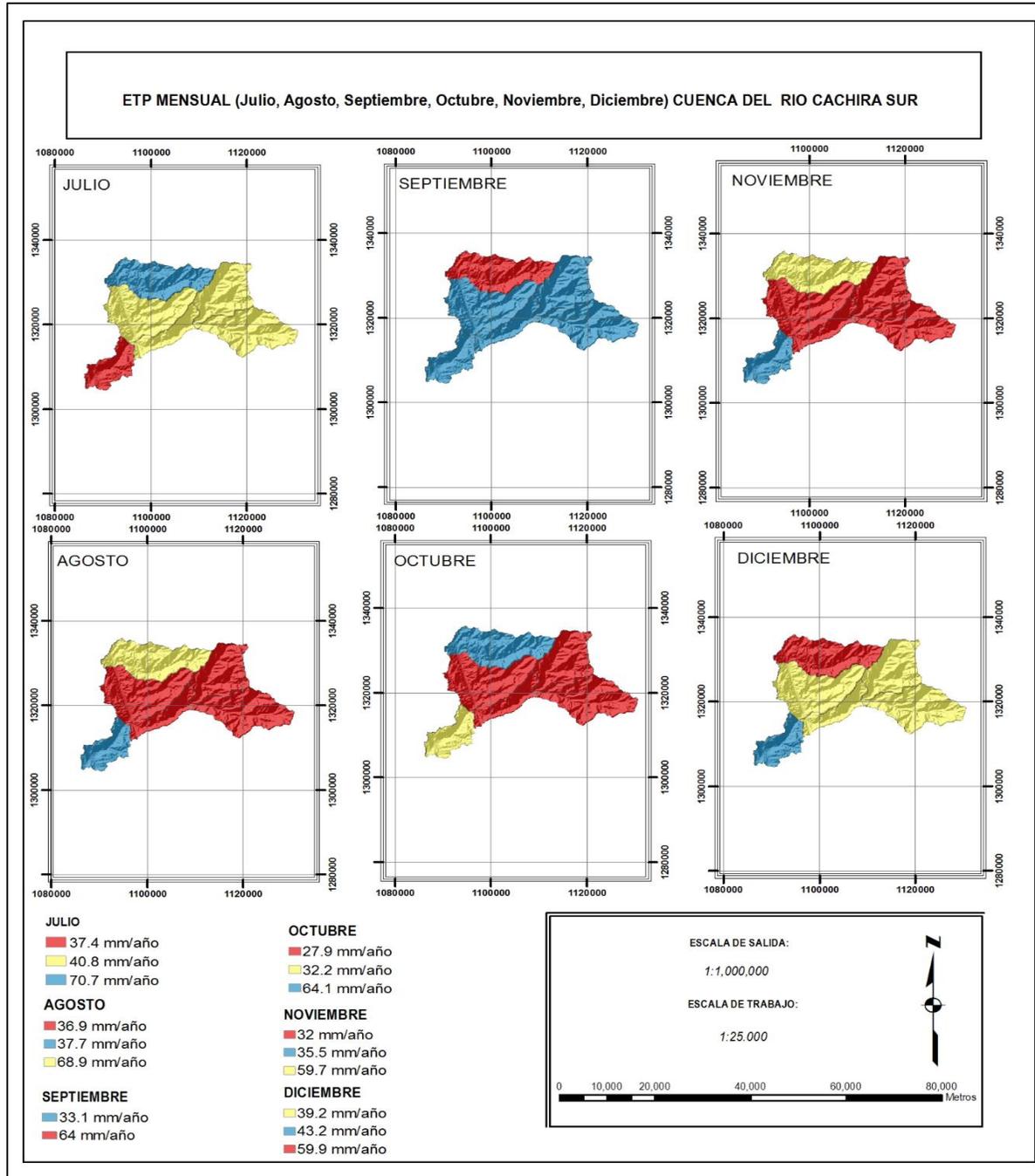


Figura 16. ETP mensual julio-diciembre, cuenca rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.11.2 Evapotranspiración real (ETR)

La evapotranspiración actual o efectiva, ocurre en la situación real en que se encuentra el sistema y difiere de los límites máximos o potenciales establecidos. En la ETR además de las condiciones atmosféricas interviene la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de la cobertura vegetal.

Para referirse a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la evapotranspiración se debe utilizar el concepto de evapotranspiración actual o efectiva, o evapotranspiración real. Este parámetro se calcula según lo propuesto por Turc (1955) en la siguiente fórmula:

$$ETR = \frac{P}{\left(0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right)^{0.5}} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.005 * T^3$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real en mm/año

P= Precipitación en mm/año

L= Factor heliotérmico

T= Temperatura media anual en °C

La evapotranspiración real (ETR) total anual en la Cuenca del Río Cáchira Sur, está entre 352 mm y 541 mm; el valor máximo de ETR mensual multianual se da en el mes de octubre con 58 mm y el valor mínimo de 16 mm en el mes de enero. (Ver Figuras 17-19)

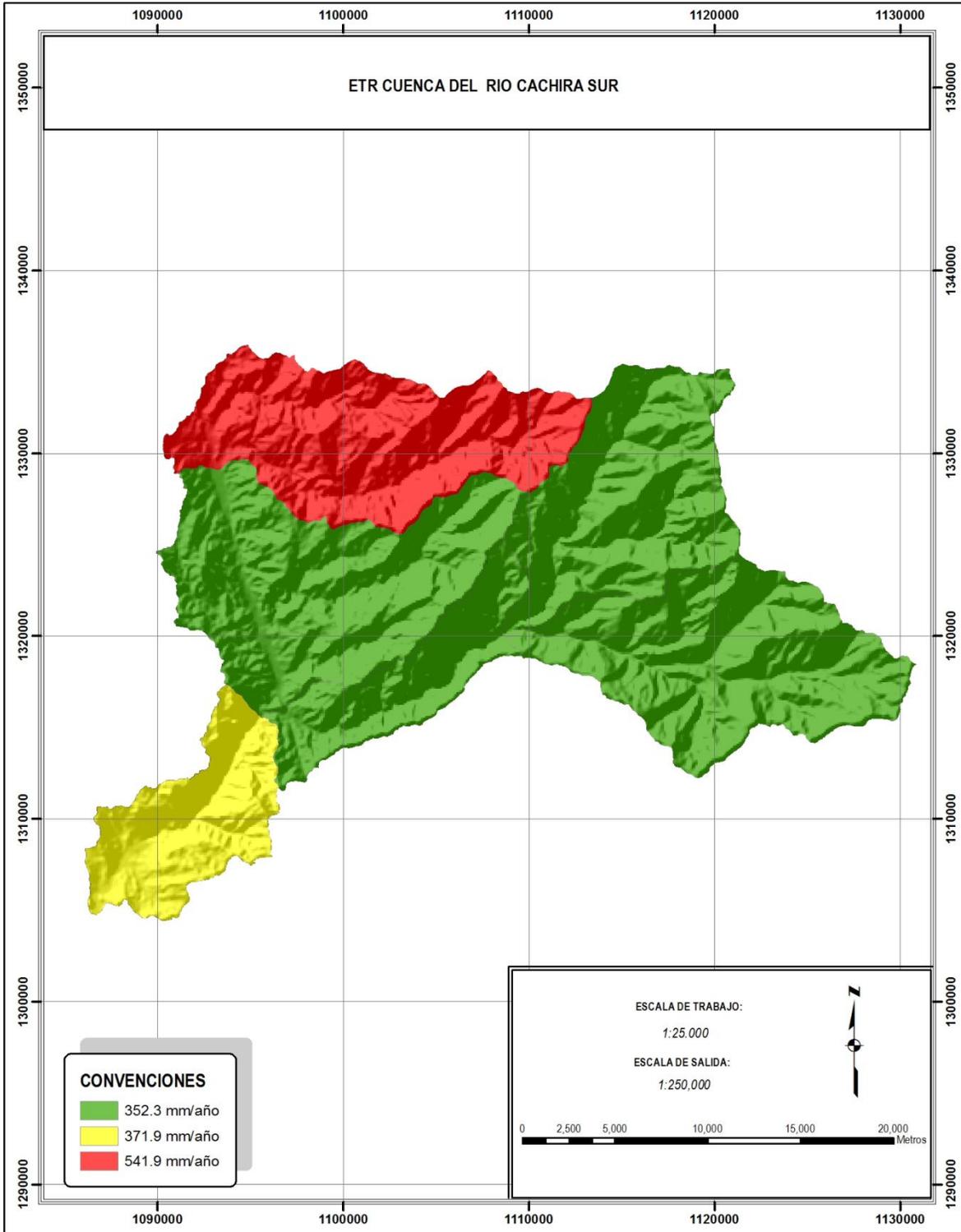


Figura 17. ETR anual Cuenca Rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

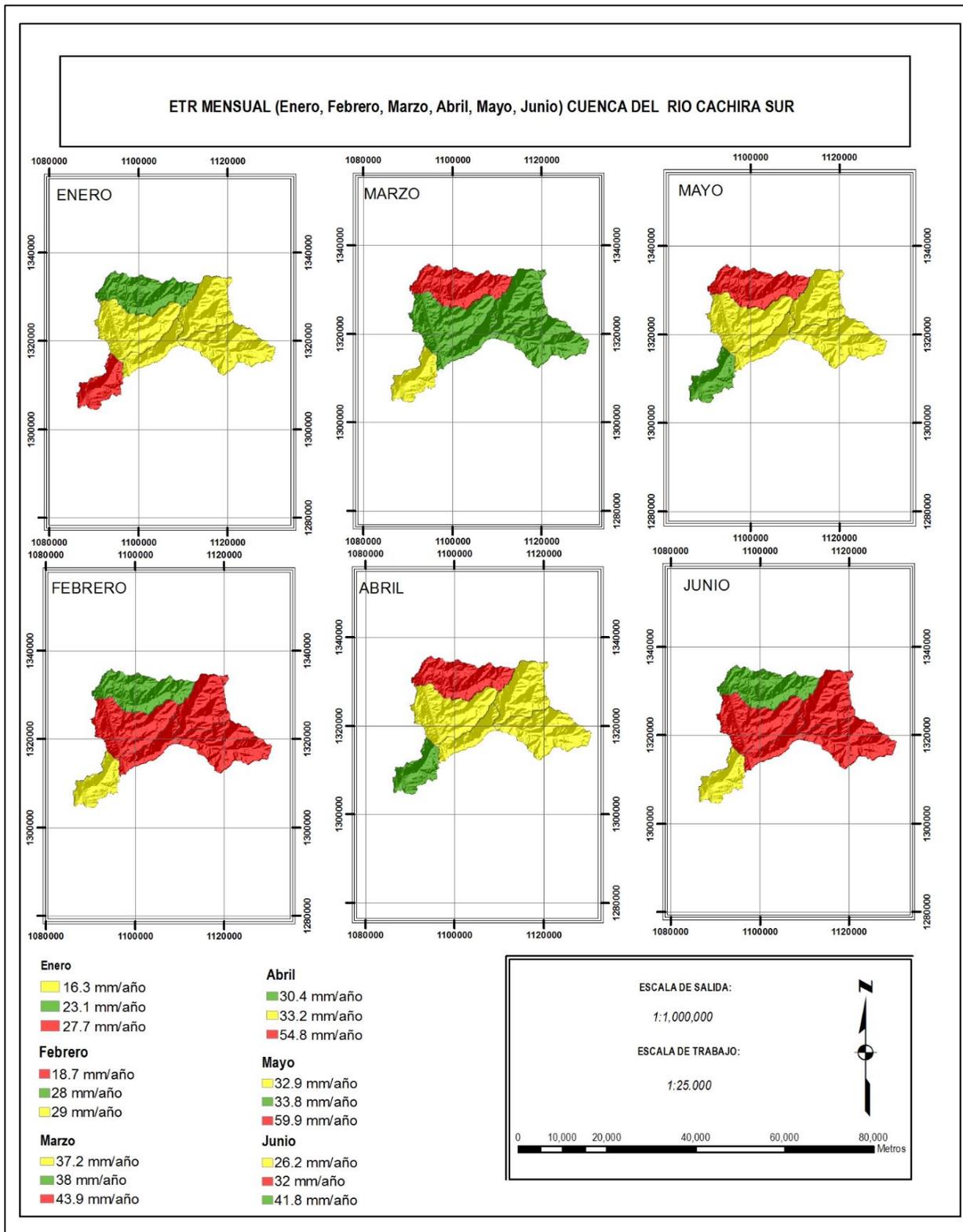


Figura 18. ETR mensual (enero – junio) cuenca rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

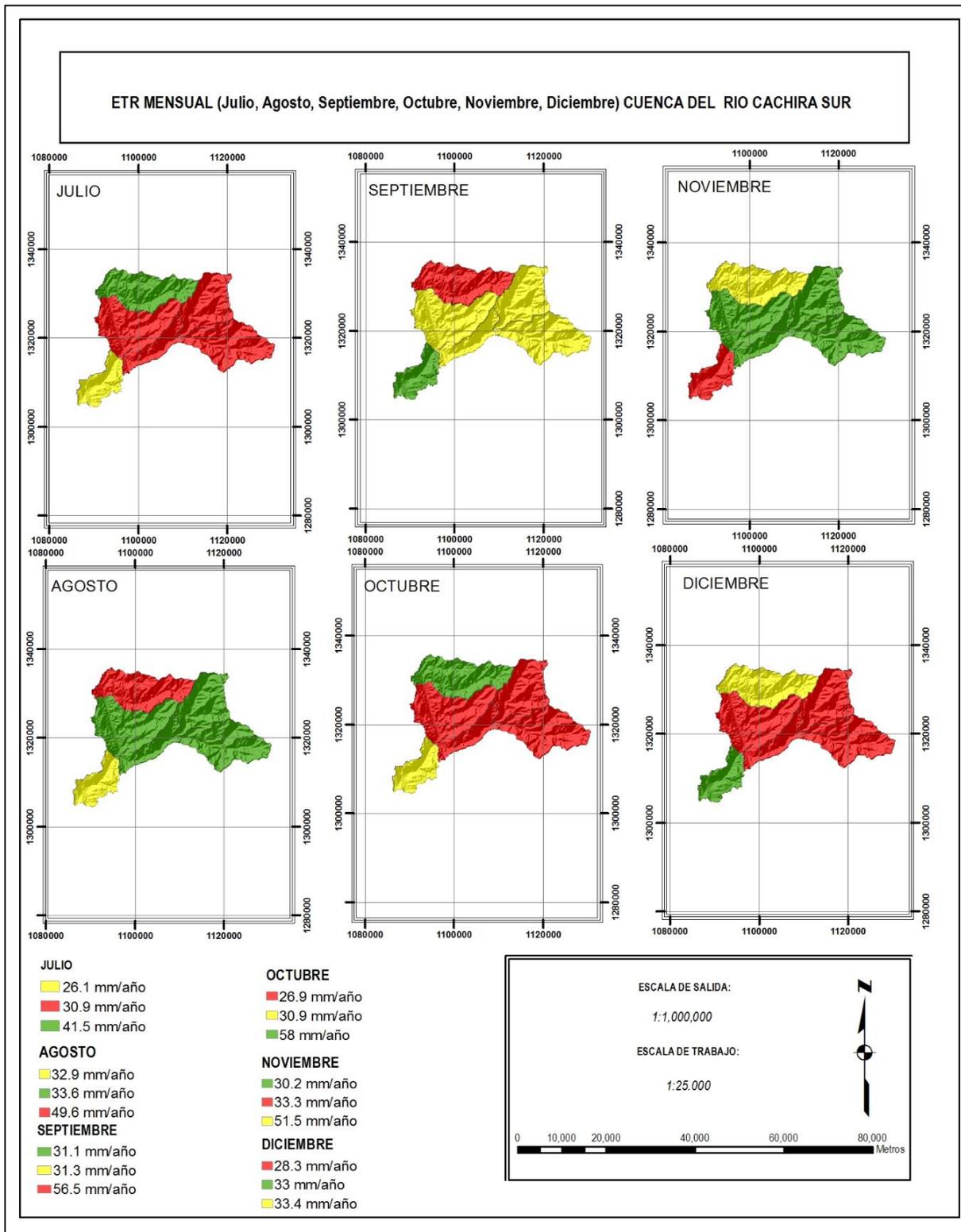


Figura 19. ETR mensual (enero – junio) cuenca rio Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.12 Balance Hidroclimático

El método de Thornthwaite, usa un balance hídrico que simula el ciclo hidrológico del cual se derivan los parámetros: excesos (EXC) y déficit (DEF). En el perfil del suelo, el balance hídrico considera un contenido de humedad máxima –CH max, de 100 mm (IDEAM, 2006) y se aplican las siguientes ecuaciones:

$$CH_j = P_j + CH_{j-1} - E_j, \quad \text{con } 0 \leq CH \leq CH_{max} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$$CH_i = \begin{cases} CH_{j-1} + P_j - E_j & \text{si } 0 < (CH_{j-1} + P_j - E_j) < CH_{max} \\ CH_{max} & \text{si } (CH_{j-1} + P_j - E_j) > CH_{max} \\ 0 & \text{si } CH_{j-1} + P_j - E_j < 0 \end{cases} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

$$EXC_j = CH_j - CH_{max} \quad \text{si } (CH_{j-1} + P_j - E_j) > CH_{max} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$ER_j = \begin{cases} E_j & \text{si } P > E \\ P_j + \Delta CH & \end{cases} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

CH: Contenido de humedad del suelo [mm]

P: Precipitación [mm]

E: Evapotranspiración [mm]

ER: Evapotranspiración Real [mm]

EXC: Excesos de agua [mm]

DEF: Déficit de agua [mm]

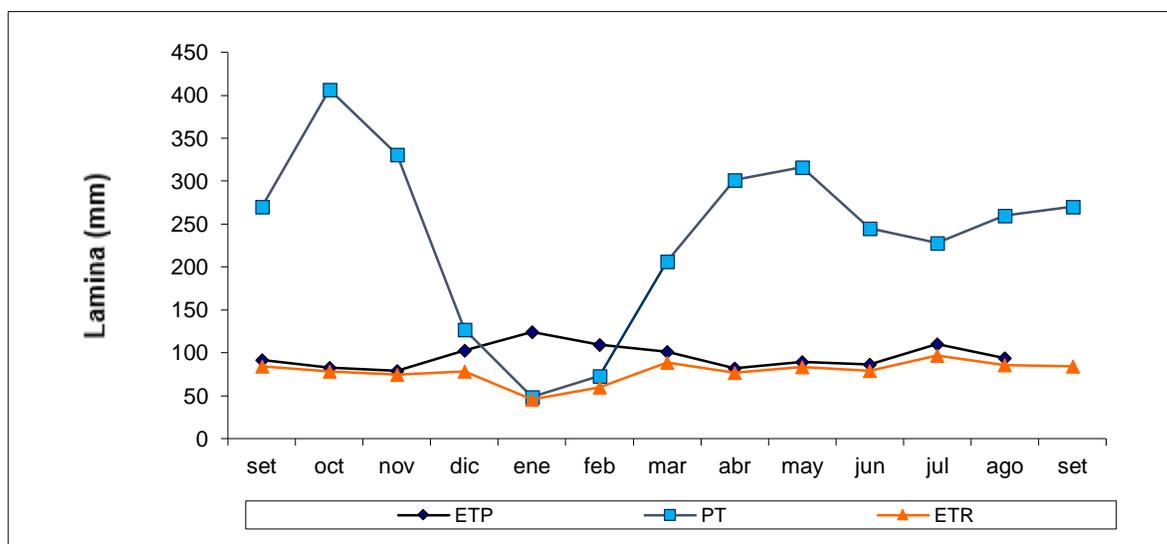
El cálculo del balance hídrico se realizó aplicando la metodología de Thornthwaite (1942) para las cuatro (4) estaciones que cuentan con temperatura media y precipitación. Igualmente se efectuó un balance hídrico espacio temporal considerando los mapas generados de precipitación y temperatura a nivel mensual sobre el área de la cuenca.

En las Tablas 28-32, se presentan los resultados del balance hídrico realizado para cada una de las estaciones que miden los parámetros de temperatura y precipitación. De igual forma, las Gráficas 25-28, muestran la variación temporal de las variables del balance hídrico para cada una.

Estación Villa de Leiva														
Parámetro	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P	105.6	164.6	129.8	48.4	74.9	121.3	131.2	110.2	150.4	115.2	83.1	103.3	105.6	1337.9
ETP corregida	42.1	34.9	33.8	43.5	47.6	42.8	40.9	31.3	35.1	33.0	41.0	42.8	94.9	468.6
ETR	38.0	33.1	31.7	31.7	39.2	39.2	37.8	29.2	33.2	30.7	35.8	38.4	38.0	417.9
Déficit	4.1	1.8	2.1	11.8	8.4	3.7	3.0	2.1	2.0	2.3	5.2	4.4	57.0	50.8
Reserva	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	63.6	129.7	96.0	4.9	27.3	78.5	90.3	78.8	115.2	82.2	42.1	60.5	10.7	869.2
ESC	67.7	131.5	98.1	16.7	35.6	82.2	93.4	81.0	117.2	84.5	47.3	64.9	67.7	920.0

Tabla 28. Balance hídrico estación Villa de Leiva (23185010). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija medio 2015

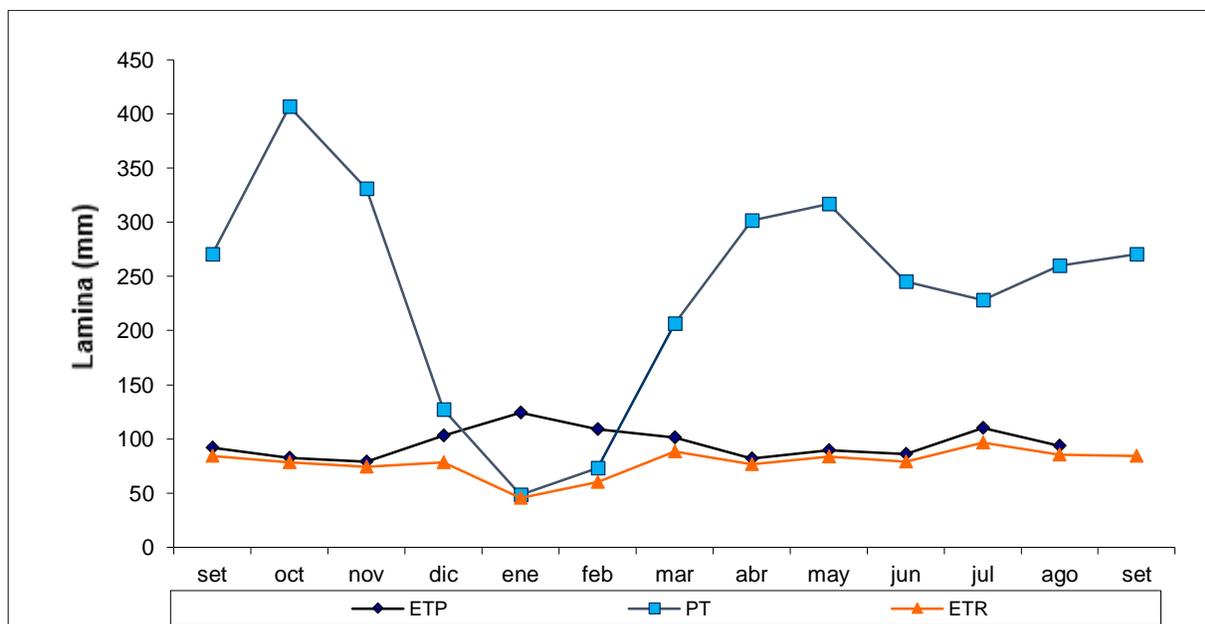
VARIACIÓN TEMPORAL DE PARÁMETROS DE BALANCE HÍDRICO



Gráfica 25. Variación temporal de parámetros del balance hídrico Estación: Villa de Leiva (23185010). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Estación Vivero Surata														
Parámetro	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
P	105.6	164.6	129.8	48.4	74.9	121.3	131.2	110.2	150.4	115.2	83.1	103.3	105.6	1337.9
ETP corr.	42.1	34.9	33.8	43.5	47.6	42.8	40.9	31.3	35.1	33.0	41.0	42.8	94.9	468.6
ETR	38.0	33.1	31.7	31.7	39.2	39.2	37.8	29.2	33.2	30.7	35.8	38.4	38.0	417.9
Déficit	4.1	1.8	2.1	11.8	8.4	3.7	3.0	2.1	2.0	2.3	5.2	4.4	57.0	50.8
Reserva	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	63.6	129.7	96.0	4.9	27.3	78.5	90.3	78.8	115.2	82.2	42.1	60.5	10.7	869.2
ESC	67.7	131.5	98.1	16.7	35.6	82.2	93.4	81.0	117.2	84.5	47.3	64.9	67.7	920.0

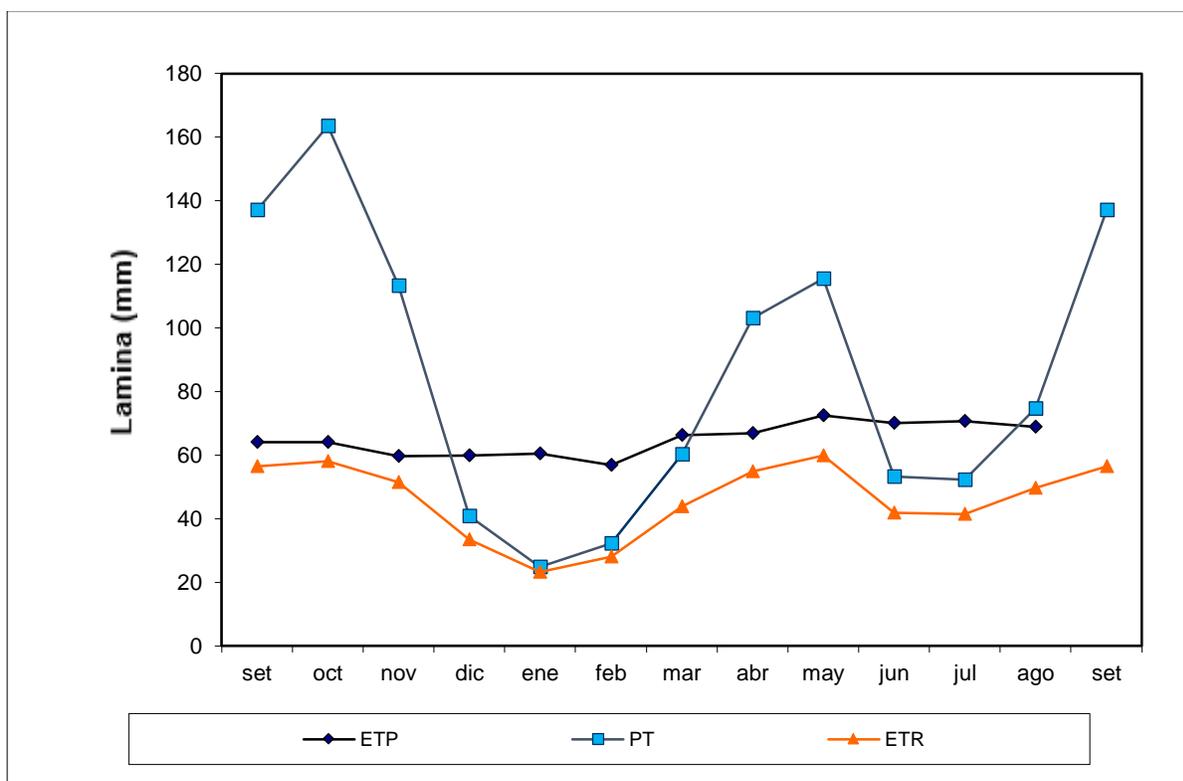
Tabla 29. Balance hídrico estación: Vivero Surata (23195090). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 26. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: Vivero Surata (23195090). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

ESTACIÓN ESC AGR CACHIRA														
Parámetro	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
P	137.1	163.5	113.3	40.9	24.9	32.3	60.3	103.1	115.5	53.2	52.2	74.6	137.1	970.9
ETP corr.	64.0	64.1	59.7	59.9	60.4	56.9	66.4	66.9	72.5	70.0	70.7	68.9	94.9	780.5
ETR	56.5	58.0	51.5	33.4	23.1	28.0	43.9	54.8	59.9	41.8	41.5	49.6	56.5	541.9
Déficit	7.6	6.2	8.2	26.5	37.3	29.0	22.5	12.1	12.6	28.2	29.2	19.3	38.5	238.5
Reserva	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	73.1	99.4	53.6	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2	43.0	0.0	0.0	5.7	42.2	310.9
ESC	80.6	105.5	61.8	7.5	1.8	4.3	16.4	48.3	55.6	11.4	10.7	25.0	80.6	429.0

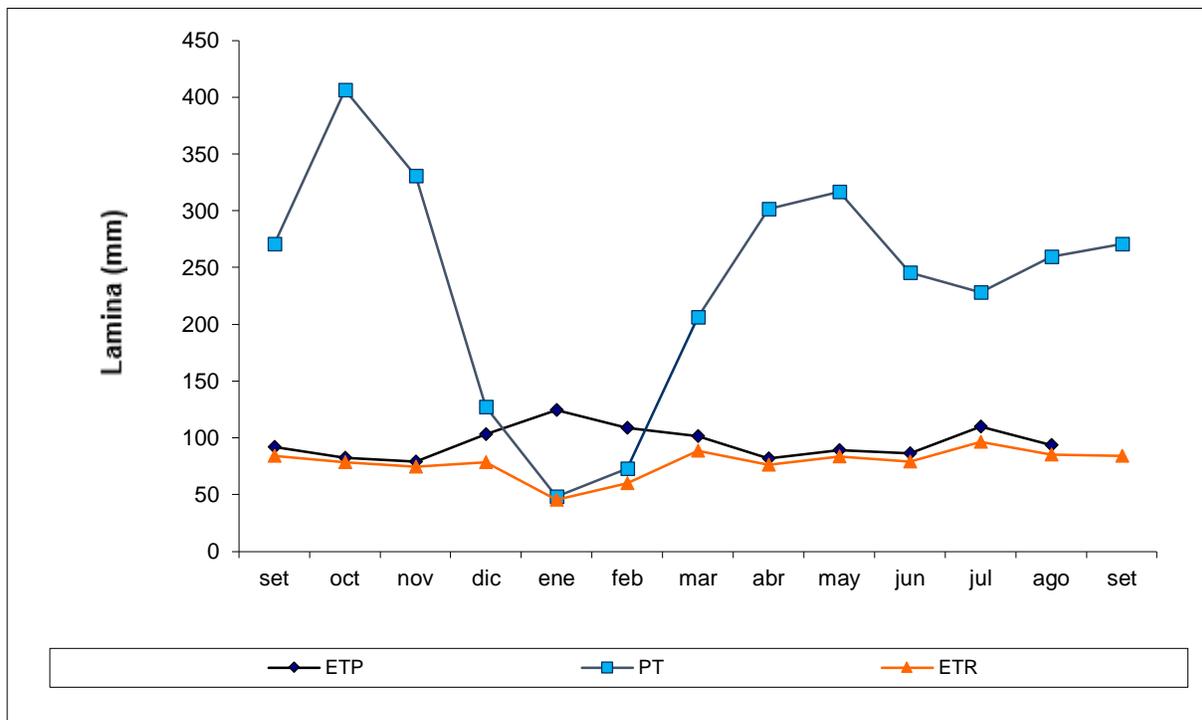
Tabla 30. Balance hídrico estación: ESC AGR Cáchira (23195180). Fuente: Pomca Cáchira sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 27. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: ESC AGR Cáchira (23195180). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

ESTACION CACHIRI														
Parámetro	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
P	105.6	164.6	129.8	48.4	74.9	121.3	131.2	110.2	150.4	115.2	83.1	103.3	105.6	1337.9
ETP corr.	42.1	34.9	33.8	43.5	47.6	42.8	40.9	31.3	35.1	33.0	41.0	42.8	94.9	468.6
ETR	38.0	33.1	31.7	31.7	39.2	39.2	37.8	29.2	33.2	30.7	35.8	38.4	38.0	417.9
Déficit	4.1	1.8	2.1	11.8	8.4	3.7	3.0	2.1	2.0	2.3	5.2	4.4	57.0	50.8
Reserva	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	63.6	129.7	96.0	4.9	27.3	78.5	90.3	78.8	115.2	82.2	42.1	60.5	10.7	869.2
ESC	67.7	131.5	98.1	16.7	35.6	82.2	93.4	81.0	117.2	84.5	47.3	64.9	67.7	920.0

Tabla 31. Balance hídrico estación Cachiri (23195200). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 28. Variación temporal de parámetros del balance hídrico estación: Cachiri (23195200). Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

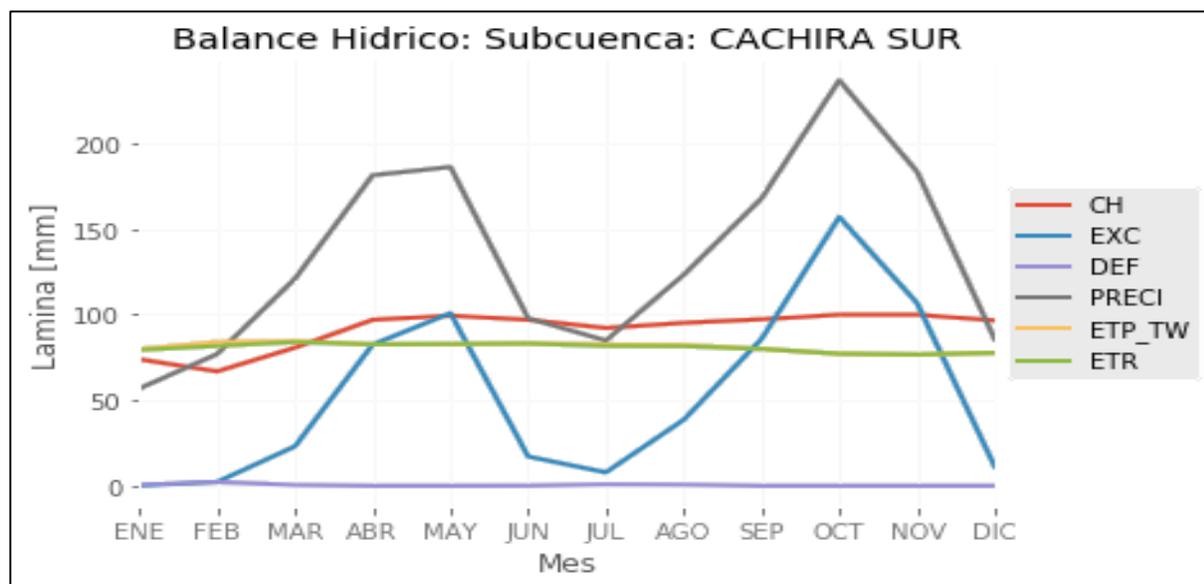
El procedimiento aplicado para el cálculo del balance hídrico en las estaciones de la cuenca, se empleó en la forma espacio temporal, tomando los mapas de precipitación

y temperatura media interpolados sobre la misma, generando 12 mapas mensuales de contenido de humedad, evaporación potencial (Thorntwaite,1948), evapotranspiración real, excesos y déficits.

Del balance Hídrico a nivel mensual, se tomaron los valores medios de cada parámetro, y se determinaron los resultados del balance Hídrico para cada una de las subcuencas. Ver anexo 7, ETP Balance caudales CS

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CH	73.9	66.9	80.7	97.0	99.5	97.0	92.2	95.2	97.3	100.0	100.0	96.6
EXC	0.1	2.3	23.1	82.5	100.9	17.2	7.9	38.6	85.7	157.0	106.8	11.3
DEF	0.5	2.4	0.5	0.0	0.0	0.1	0.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PRECI	56.8	77.0	121.0	181.4	186.2	97.9	84.9	123.3	167.8	236.9	183.6	85.6
ETP_TW	79.9	84.1	84.5	82.7	82.9	83.3	82.6	82.3	80.0	77.2	76.7	77.7
ETR	79.4	81.7	84.0	82.7	82.9	83.2	81.8	81.7	80.0	77.2	76.7	77.7

Tabla 32. Balance hídrico a nivel de cuenca. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



Gráfica 29. Balance hídrico para la Cuenca Cáchira sur. Fuente: UT Pomca Cáchira sur y Lebrija medio 2015.

CH: Contenido de Humedad,
 Exc: Excesos
 DEF: Déficits
 Preci: Precipitación total anual
 ETP_TW_A: Evapotranspiración potencial (Thornthwaite)
 ETR: Evapotranspiración real

En la Tabla 33 se presenta el resumen de los resultados a nivel anual del balance hídrico de cada subcuenca.

C_SUB_CUE	CH	EXC	DEF	PRECI	TEM_MED	ETP_TW	ETR
2319-02-05, 2319-02-06	1129.4	713.2	0.4	1780.6	259.9	1067.6	1067.4
2319-02-02, 2319-02-03, 2319-02-04	1117.0	611.3	0.2	1365.5	182.0	754.3	754.2
2319-02-01	868.8	402.9	44.8	1918.0	312.1	1559.5	1515.0

Tabla 33. Resultados anuales del balance hídrico de cada subcuenca. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.13 Balance hídrico de largo plazo

El balance hídrico de largo plazo predice de una forma muy general la respuesta hidrológica de déficit o exceso de agua en un área de cuenca. Esta metodología simplifica el cálculo, al realizar una limitación temporal a una escala anual de largo plazo, lo que permite considerar que el tiempo es relativamente grande y la variación en el almacenamiento es prácticamente nula; razón por la cual no se considera el almacenamiento ni la infiltración, calculando de esta manera el escurrimiento superficial, teniendo en cuenta solamente las entradas del sistema como la precipitación y las salidas como la evapotranspiración real.

La ecuación del cálculo de caudales a partir de balances hídricos de larga duración está dada por la siguiente expresión:

$$S = (P - ETR) \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde:

S: Esgurrimiento [mm/año]

P: Precipitación [mm/año]

ETR: Evapotranspiración potencial [mm/año]

En la Figura 20 se representa la espacialización del balance hídrico de largo plazo.

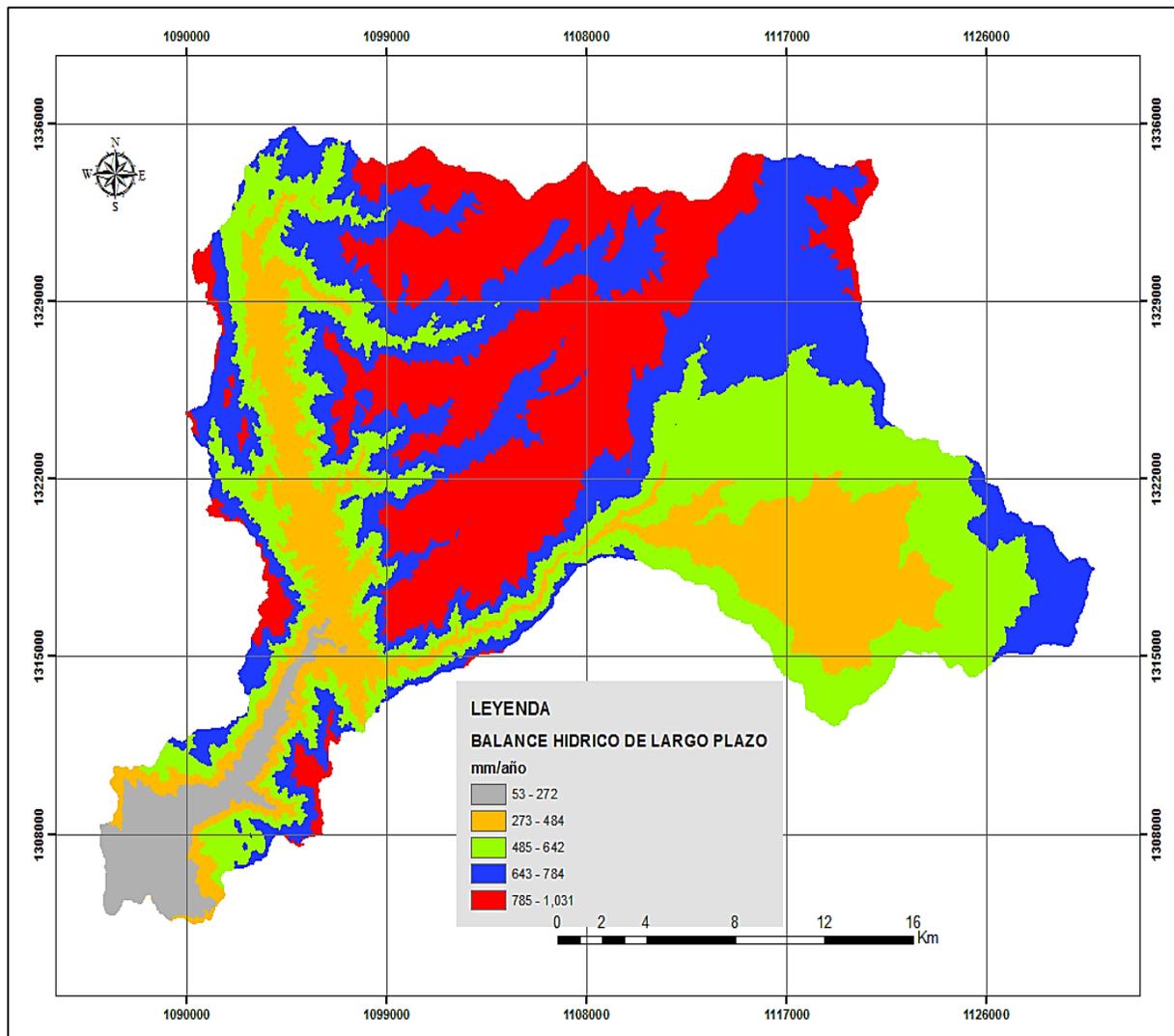


Figura 20. Balance hídrico de largo plazo [mm/año]. Fuente: UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Para estimar el caudal medio, se integró la ecuación anterior (Ecuación 14) sobre toda la cuenca obteniendo la siguiente fórmula:

$$Caudal\ Medio = \int_{\text{Área}} [P(x, y) - E(x, y)] dA \quad (\text{Ecuación 15})$$

El caudal medio se obtiene aplicando la ecuación anterior a elementos diferenciales de área, cuyo tamaño corresponde a área de 900 m² (30m x 30m). Por lo tanto, para cada celda discretizada al interior de la cuenca, se estimó E y P de los mapas descritos en secciones posteriores de la ecuación de balance y su resultado se multiplica por el área del píxel, obteniendo así el volumen de agua que el píxel aporta durante el intervalo de tiempo dado (un año en este caso).

La integración sobre toda la cuenca calcula el volumen total de agua que sale del sistema durante el mismo período de tiempo, convirtiendo este valor a m³/s o l/s para obtener el caudal medio.

Como se presenta en la sección de hidrografía en la cuenca del río Cáchira Sur, se definieron 3 subcuencas y los resultados del balance hídrico de largo plazo para cada subcuenca se presentan en la Tabla 34.

C_SUB_CUE	SUM	ZONE_CODE	ESCORRENTIA [mm/año]	VOLUMEN [m3]	CAUDAL [m3/s]
2319-02-05, 2319-02-06	233012000	1	233012000	209710800	6.65
2319-02-02, 2319-02-03, 2319-02-04	214677000	2	214677000	193209300	6.13
2319-02-01	31924900	3	31924900	28732410	13.69

Tabla 34. Caudal por subcuenca obtenido por balance hídrico de largo plazo. Fuente UT Pomca Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA CACHIRA SUR

Las clasificaciones climáticas, tienen como objetivo organizar conjuntos de condiciones climáticas homogéneas, para identificar y delimitar áreas como regiones climáticas.

En el presente estudio, se utilizó la clasificación climática de Caldas – Lang, que combina el sistema establecido por el sabio Francisco José de Caldas en 1802 aplicado al trópico americano y basado únicamente en la variación altitudinal de la temperatura (ver Figuras 22-24), y el modelo propuesto por Richard Lang (1915), que estableció su clasificación fundamentado en la relación precipitación anual (mm) por la temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$), cociente conocido como el índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang.

La unión de los dos sistemas caracteriza las unidades climáticas, con base en los principales elementos climatológicos que tienen mayores efectos. En el sistema unificado de Caldas – Lang, se definen veinticinco (25) tipos climáticos que se denominan teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

1. El valor de la temperatura media anual (piso térmico según Caldas)
2. El valor de la precipitación media anual, con la cual se define el factor de Lang (grado de humedad según Lang).

En la Tabla 35 se muestran los pisos térmicos, especificando para cada uno de ellos los rangos de altura y temperatura de acuerdo al modelo climático Caldas-Lang. El plano de los pisos térmicos de la cuenca Cáchira Sur, se visualiza claramente en la Figura 21.

PISO TÉRMICO	SÍMBOLO	RANGO DE ALTURA (METROS)	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)
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	$12 > T \geq 7$

PISO TÉRMICO	SÍMBOLO	RANGO DE ALTURA (METROS)	TEMPERATURA (°C)
PÁRAMO ALTO	Pa	3701 – 4200	T < 7

Tabla 35. Modelo climático de Caldas – Lang. Fuente: (IDEAM, 2015)

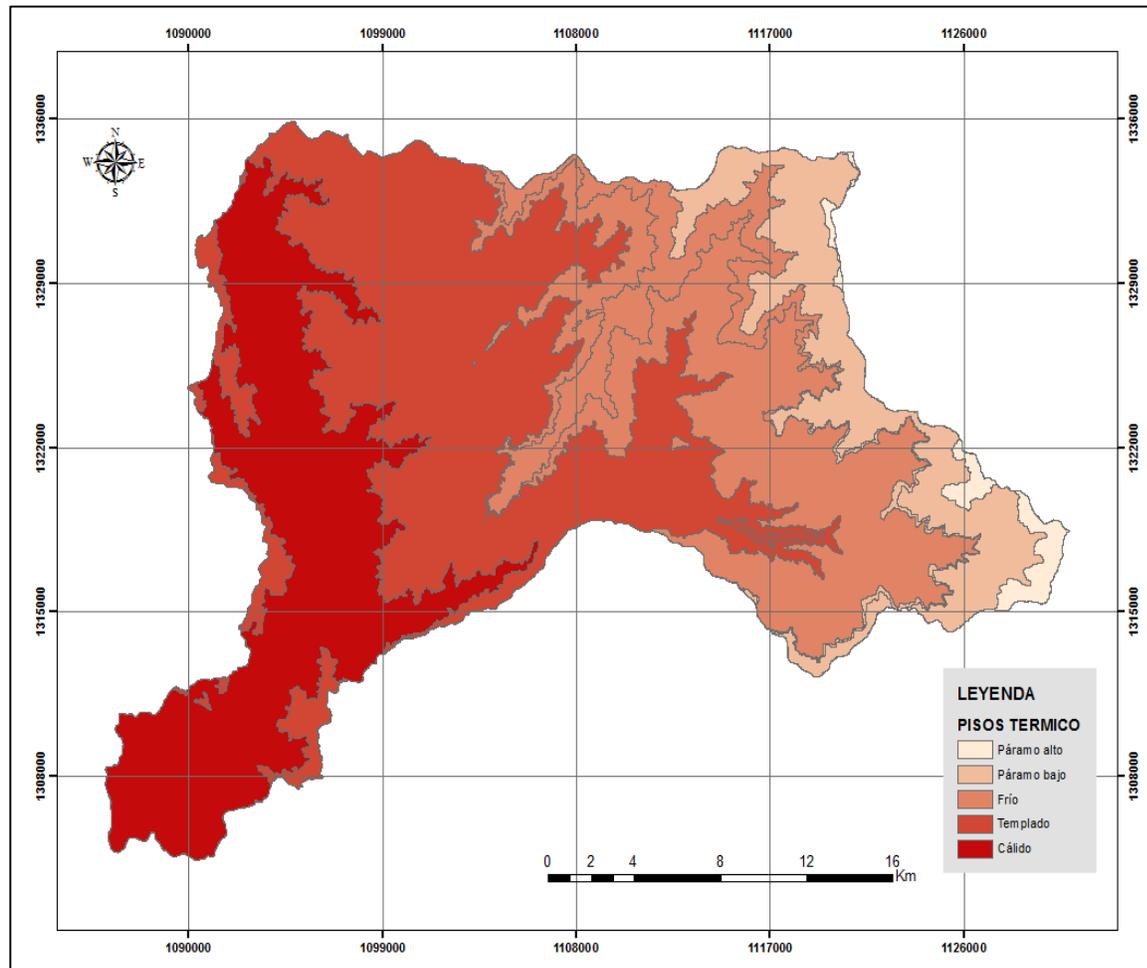


Figura 21. Plano Pisos Térmicos Caldas Lang – Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

5.1 Grados de humedad de Lang

GRADO DE HUMEDAD DE LANG		
Factor de Lang (P/T)	Símbolo	Clase de Clima
0 a 20.0	D	Desértico

GRADO DE HUMEDAD DE LANG		
20.1 a 40.0	A	Árido
40.1 a 60.0	sa	Semiárido
60.1 a 100.0	sh	Semihúmedo
100.1 a 160.0	H	Húmedo
Mayor a 160.0	SH	Superhúmedo

Tabla 36. Grado de humedad de Lang. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

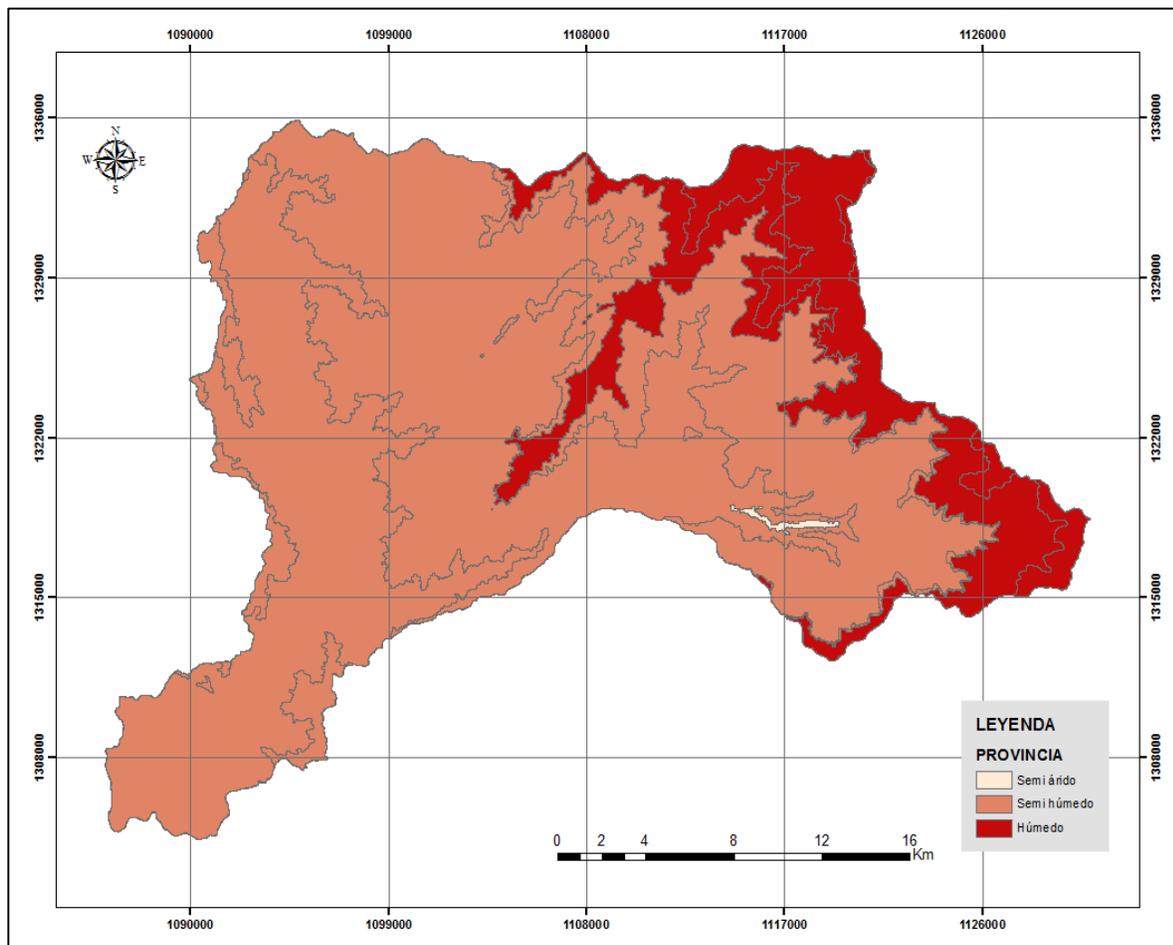


Figura 22. Grado de Humedad Caldas Lang – Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

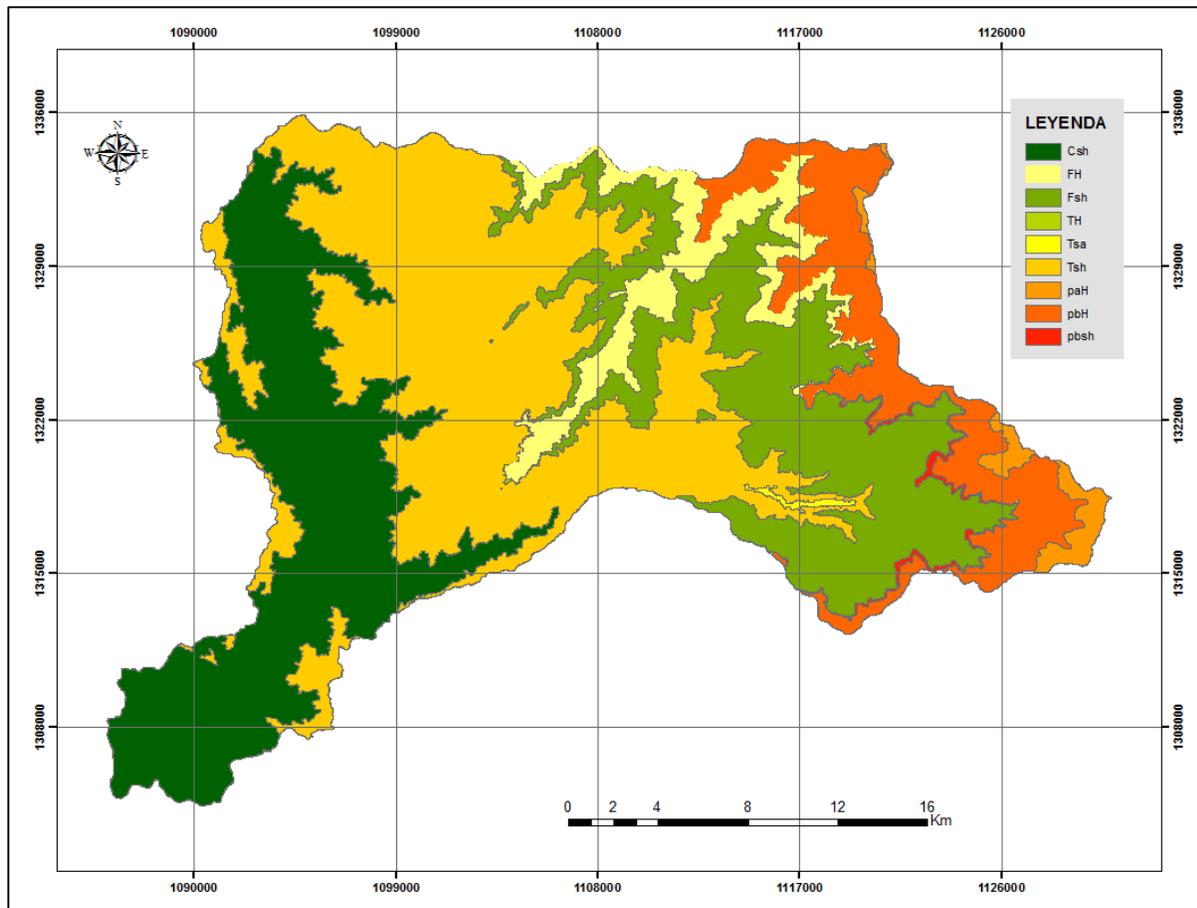


Figura 23. Plano Zonificación Climática Caldas Lang – Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Las estaciones de lluvia, los registros de temperatura existentes en la cuenca, la metodología de clasificación de pisos térmicos establecida por Caldas, y asociado al factor de humedad de Lang, fueron el marco de referencia utilizado para elaborar el mapa de zonificación climática para la cuenca del río Cáchira Sur, presentando cambios en las condiciones de humedad a medida que se desciende en la cuenca, desde el nacimiento del río principal y de sus tributarios, con variaciones desde páramo alto semihúmedo, páramo bajo semihúmedo, frío semihúmedo, templado semihúmedo hasta cálido semihúmedo.

En términos de distribución porcentual de área en la cuenca, se encontró un predominio del clima templado semihúmedo con un porcentaje de 36,34%; seguido de los climas cálidos Semihúmedo con 24.54%; frío semihúmedo 19,99%; y páramo bajo húmedo 10,72%. (Ver Tabla 37)

SÍMBOLO	PISO TÉRMICO	PROVINCIA	AREA [km2]	%
TH	Templado	Húmedo	0.1621	0.02
Tsa	Templado	Semi árido	1.3581	0.20
pbsh	Páramo bajo	Semi húmedo	3.9891	0.59
paH	Páramo alto	Húmedo	10.568	1.55
FH	Frío	Húmedo	41.2436	6.06
pbH	Páramo bajo	Húmedo	72.9786	10.72
Fsh	Frío	Semi húmedo	136.148	19.99
Csh	Cálido	Semi húmedo	167.1487	24.54
Tsh	Templado	Semi húmedo	247.4892	36.34
Total General			681.0854	100.0

Tabla 37. Distribución real del clima en la Cuenca del Río Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6. DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE OFERTA HÍDRICA

6.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS)

Calcular la oferta hídrica mediante un balance hidrológico a largo plazo es un procedimiento sencillo; sin embargo, de acuerdo a la cantidad de estaciones disponibles en la cuenca y la calidad de la información registrada, se dificulta la construcción de modelos hidrológicos y su calibración, al igual que la elaboración de relaciones área Vs caudal como alternativas metodológicas, desestimando el uso del proceso descrito para el balance hídrico.

En el estudio del POMCA Cáchira Sur, se consideró el modelo lluvia-escorrentía que permite generar la oferta hídrica total (año normal), oferta hídrica total (lluvioso), oferta hídrica total (seco), para cada subcuenca Nivel II de la Cuenca Cáchira Sur. (Ver Tablas 38-40).

Año hidrológico normal: En un año medio definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de caudales medios.

Año hidrológico húmedo: Está definido por los caudales máximos de los medios mensuales multianuales de la serie de caudales medios mensuales.

Año seco: Son los caudales mínimos mensuales de las series de Caudales medios, los cuales se identifican con el año típico seco, y el valor asociado a cada estación no necesariamente tiene correspondencia temporal entre las diferentes estaciones de la Cuenca.

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA TOTAL M3/S (AÑO NORMAL)												
Subcuenca	Código	Área (Km2)	Q ener	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Qjul	Q ago	Q sep	Q oct	Q non	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.040	0.076	0.659	2.123	2.289	0.725	0.359	1.216	2.283	3.179	2.004	0.296	15.250
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.010	0.021	0.302	1.075	1.223	0.407	0.191	0.676	1.140	1.584	0.999	0.145	7.773
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.005	0.009	0.134	0.476	0.541	0.180	0.085	0.299	0.505	0.701	0.442	0.064	3.441
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.004	0.008	0.112	0.400	0.454	0.151	0.071	0.251	0.424	0.589	0.371	0.054	2.888
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.008	0.019	0.073	0.214	0.246	0.050	0.048	0.111	0.357	0.468	0.274	0.033	1.900
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.013	0.029	0.220	0.739	0.844	0.249	0.141	0.441	0.914	1.242	0.762	0.104	5.698

Tabla 38. Oferta hídrica total año normal, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA TOTAL M3/S (AÑO SECO)												
Subcuenca	Código	Área (Km2)	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.4780	0.0030	0.0150	0.0088	0.0810	0.1556	0.0041	0.0010	0.0175	0.4630	1.0789	0.0643	0.0006	1.8928
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.7411	0.0020	0.0100	0.0040	0.0114	0.0889	0.0025	0.0002	0.0110	0.2419	0.6145	0.0126	0.0000	0.9991
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0725	0.0009	0.0044	0.0018	0.0050	0.0394	0.0011	0.0001	0.0049	0.1071	0.2720	0.0056	0.0000	0.4423
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.5779	0.0007	0.0037	0.0015	0.0042	0.0331	0.0009	0.0001	0.0041	0.0899	0.2284	0.0047	0.0000	0.3713
EL PINO	2319-02-05-00	139.7517	0.0001	0.0001	0.0004	0.0014	0.0011	0.0005	0.0005	0.0010	0.0022	0.0036	0.0019	0.0002	0.0130
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5907	0.0010	0.0050	0.0023	0.0069	0.0446	0.0017	0.0006	0.0064	0.1204	0.3038	0.0081	0.0002	0.5012

Tabla 39. Oferta hídrica total año seco, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA TOTAL M3/S (AÑO LUVIOSO)												
Subcuenca	Código	Área (Km2)	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.48	0.44	0.89	2.54	13.88	10.68	2.21	2.94	4.02	4.96	6.47	7.59	2.44	59.08
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74	0.22	0.45	1.22	2.82	2.99	1.22	1.47	1.64	2.51	3.33	2.45	1.21	21.52
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.07	0.10	0.20	0.54	1.25	1.32	0.54	0.65	0.73	1.11	1.47	1.09	0.53	9.53
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.58	0.08	0.17	0.45	1.05	1.11	0.45	0.55	0.61	0.93	1.24	0.91	0.45	8.00
EL PINO	2319-02-05-00	139.75	0.00	0.10	0.28	8.99	5.73	0.16	0.55	1.28	0.82	0.90	3.39	0.40	22.60
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.59	0.11	0.32	0.88	10.37	7.19	0.76	1.27	2.08	2.04	2.53	4.59	0.99	33.12

Tabla 40. Oferta hídrica total lluvioso, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2 Caudal ambiental

De acuerdo con el decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, caudal ambiental se define como “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.”

El caudal ambiental, se estima como el 25% de la oferta hídrica total año normal (Tabla 41), oferta hídrica total año lluvioso (Tabla 42), oferta hídrica total año seco (Tabla 43).

DATOS GENERALES			CAUDAL AMBIENTAL M3/S (AÑO NORMAL)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.010	0.019	0.165	0.531	0.572	0.181	0.090	0.304	0.571	0.795	0.501	0.074	3.812
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.003	0.005	0.076	0.269	0.306	0.102	0.048	0.169	0.285	0.396	0.250	0.036	1.943
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.001	0.002	0.033	0.119	0.135	0.045	0.021	0.075	0.126	0.175	0.111	0.016	0.860
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.001	0.002	0.028	0.100	0.114	0.038	0.018	0.063	0.106	0.147	0.093	0.013	0.722
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.002	0.005	0.018	0.053	0.062	0.013	0.012	0.028	0.089	0.117	0.068	0.008	0.475
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.003	0.007	0.055	0.185	0.211	0.062	0.035	0.110	0.229	0.310	0.191	0.026	1.425

Tabla 41. Valores de caudales ambientales año Normal. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			CAUDAL AMBIENTAL M3/S (AÑO SECO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.00076	0.00376	0.00220	0.02026	0.03890	0.00103	0.00024	0.00438	0.11575	0.26971	0.01606	0.00014	0.473
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.00050	0.00251	0.00101	0.00284	0.02224	0.00061	0.00006	0.00276	0.06047	0.15362	0.00315	0.000002	0.250
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.00022	0.00111	0.00044	0.00126	0.00984	0.00027	0.00002	0.00122	0.02677	0.06801	0.00140	0.000001	0.111
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.00019	0.00093	0.00037	0.00106	0.00826	0.00023	0.00002	0.00102	0.02247	0.05709	0.00117	0.000001	0.093

DATOS GENERALES			CAUDAL AMBIENTAL M3/S (AÑO SECO)												
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.00001	0.00003	0.00009	0.00035	0.00029	0.00012	0.00013	0.00026	0.00056	0.00090	0.00048	0.00005	0.003
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.00026	0.00125	0.00058	0.00173	0.01115	0.00042	0.00015	0.00161	0.03010	0.07596	0.00202	0.00005	0.125

Tabla 42. Valores de caudales ambientales año seco y lluvioso. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			CAUDAL AMBIENTAL M3/S (AÑO LUVIOSO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.109	0.223	0.635	3.470	2.671	0.552	0.735	1.006	1.241	1.619	1.898	0.610	14.769
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.054	0.113	0.305	0.705	0.748	0.305	0.367	0.410	0.628	0.832	0.613	0.301	5.381
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.024	0.050	0.135	0.312	0.331	0.135	0.162	0.182	0.278	0.368	0.271	0.133	2.382
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.020	0.042	0.113	0.262	0.278	0.114	0.136	0.152	0.233	0.309	0.228	0.112	2.000
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.001	0.025	0.070	2.248	1.431	0.040	0.138	0.319	0.204	0.226	0.848	0.099	5.651
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.027	0.081	0.219	2.593	1.797	0.189	0.317	0.520	0.511	0.633	1.147	0.247	8.280

Tabla 43. Valores de caudales ambientales Año Seco Lluvioso. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3 Oferta hídrica total disponible (OHDT)

La Oferta hídrica total disponible (OHDT) se obtiene restando de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) el caudal ambiental (Tablas 38-40; 41-43), para año normal, lluvioso y seco. Los resultados de la oferta hídrica disponible total superficial año normal, seco y lluvioso se registran en las Tablas 44-46.

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA DISPONIBLE M3/S (AÑO NORMAL)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.03	0.057	0.494	1.592	1.717	0.544	0.269	0.912	1.712	2.384	1.503	0.222	11.437
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.0076	0.015	0.227	0.806	0.917	0.305	0.143	0.507	0.855	1.188	0.749	0.108	5.8294
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.0034	0.007	0.1	0.357	0.406	0.135	0.063	0.224	0.379	0.526	0.332	0.048	2.5808
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.0028	0.006	0.084	0.3	0.341	0.113	0.053	0.188	0.318	0.442	0.278	0.04	2.1663
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.0059	0.014	0.055	0.16	0.185	0.038	0.036	0.083	0.268	0.351	0.205	0.025	1.4253
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.0096	0.022	0.165	0.554	0.633	0.187	0.106	0.331	0.686	0.931	0.572	0.078	4.2736

Tabla 44. Oferta hídrica disponible año normal, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA DISPONIBLE M3/S (AÑO SECO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.0023	0.011	0.007	0.061	0.117	0.003	7E-04	0.013	0.347	0.809	0.048	0.00042	1.4196
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.0015	0.008	0.003	0.009	0.067	0.002	2E-04	0.008	0.181	0.461	0.009	4.8E-06	0.7493
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.0007	0.003	0.001	0.004	0.03	8E-04	7E-05	0.004	0.08	0.204	0.004	2.1E-06	0.3317
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.0006	0.003	0.001	0.003	0.025	7E-04	6E-05	0.003	0.067	0.171	0.004	1.8E-06	0.2785
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	4E-05	8E-05	3E-04	0.001	9E-04	3E-04	4E-04	8E-04	0.002	0.003	0.001	0.00014	0.0098
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.0008	0.004	0.002	0.005	0.033	0.001	5E-04	0.005	0.09	0.228	0.006	0.00014	0.3759

Tabla 45. Oferta hídrica disponible año seco, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			OFERTA HIDRICA DISPONIBLE M3/S (AÑO LLUVIOSO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.3275	0.668	1.9057	10.409	8.014	1.655	2.206	3.018	3.723	4.8557	5.695	1.831	44.3082
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.1619	0.339	0.9137	2.1146	2.243	0.916	1.1	1.23	1.884	2.4971	1.8382	0.904	16.1424
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.0717	0.15	0.4045	0.9362	0.993	0.406	0.487	0.545	0.834	1.1055	0.8138	0.4	7.14656
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.0601	0.126	0.3396	0.7858	0.833	0.341	0.409	0.457	0.7	0.928	0.6831	0.336	5.99867
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.003	0.076	0.2109	6.7449	4.294	0.119	0.415	0.957	0.612	0.6775	2.5436	0.298	16.9519
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.0821	0.242	0.6574	7.7781	5.39	0.567	0.952	1.559	1.533	1.8976	3.4418	0.74	24.8392

Tabla 46. Oferta hídrica disponible año lluvioso, Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.4 Rendimiento hídrico

El rendimiento hídrico es una manera de expresar la escorrentía por unidad de área, teniendo en cuenta el área aferente al sitio de observación. El rendimiento hídrico o caudal específico, se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado (l/s km²) Era, 2013. La información correspondiente a año normal, seco y lluvioso se encuentra en las Tablas 47-49; Figuras 24-26.

Este concepto permite expresar la escorrentía por unidad de área para cuantificar la oferta hídrica superficial, estimar valores en unidades hidrográficas no instrumentadas y establecer comparaciones en diferentes unidades de análisis. (IDEAM, 2010).

DATOS GENERALES			RENDIMIENTO HIDRICO L/S/KM2 (AÑO NORMAL)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.5601	1.061	9.216	29.702	32.02	10.15	5.022	17.02	31.94	44.479	28.04	4.143	213.35
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.1733	0.351	5.143	18.303	20.82	6.927	3.255	11.5	19.41	26.971	17.01	2.461	132.32
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.0322	0.065	0.955	3.3982	3.865	1.286	0.604	2.135	3.603	5.0075	3.158	0.457	24.566
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.0322	0.065	0.955	3.3982	3.865	1.286	0.604	2.135	3.603	5.0075	3.158	0.457	24.566
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.056	0.137	0.521	1.5304	1.761	0.361	0.34	0.793	2.556	3.3457	1.96	0.237	13.599
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.0828	0.189	1.426	4.7817	5.457	1.613	0.912	2.852	5.914	8.032	4.93	0.671	36.86

Tabla 47. Rendimiento hídrico año normal, Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			RENDIMIENTO HIDRICO L/S/KM2 (AÑO SECO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	0.0426	0.2103	0.1233	1.1336	2.1769	0.0576	0.0134	0.2450	6.4773	15.0935	0.8990	0.0079	26.4804
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	0.0341	0.1707	0.0684	0.1936	1.5142	0.0418	0.0037	0.1878	4.1179	10.4609	0.2147	0.0001	17.0080
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.0063	0.0317	0.0127	0.0359	0.2811	0.0078	0.0007	0.0349	0.7645	1.9422	0.0399	0.00002	3.1577
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.0063	0.0317	0.0127	0.0359	0.2811	0.0078	0.0007	0.0349	0.7645	1.9422	0.0399	0.00002	3.1577
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.004	0.0007	0.0026	0.0099	0.0082	0.0033	0.0037	0.0075	0.0159	0.0258	0.0138	0.0014	0.0931
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.0067	0.0323	0.0150	0.0449	0.2885	0.0107	0.0040	0.0416	0.7789	1.9655	0.0523	0.0012	3.2418

Tabla 48. Rendimiento hídrico año seco, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

DATOS GENERALES			RENDIMIENTO HIDRICO L/S/KM2 (AÑO LUVIOSO)												
Cuenca Nivel III	Código	Área (Km2)	Q ene	Q feb	Q mar	Q abr	Q may	Q jun	Q jul	Q ago	Q sep	Q oct	Q nov	Q dic	Total
CACHIRA	2319-02-01-00	71.47804054	6.11	12.46	35.55	194.17	149.48	30.87	41.16	56.29	69.45	90.58	106.23	34.16	826.51
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58.74113357	3.67	7.68	20.74	48.00	50.90	20.80	24.97	27.93	42.77	56.68	41.72	20.53	366.41
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140.0724898	0.68	1.43	3.85	8.91	9.45	3.86	4.64	5.19	7.94	10.52	7.75	3.81	68.03
ROMERITOS	2319-02-04-00	117.577862	0.68	1.43	3.85	8.91	9.45	3.86	4.64	5.19	7.94	10.52	7.75	3.81	68.03
EL PINO	2319-02-05-00	139.7516952	0.03	0.73	2.01	64.35	40.97	1.13	3.96	9.13	5.84	6.46	24.27	2.85	161.73
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	154.5906867	0.71	2.09	5.67	67.09	46.49	4.89	8.21	13.44	13.22	16.37	29.68	6.38	214.24

Tabla 49. Rendimiento hídrico año lluvioso, Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

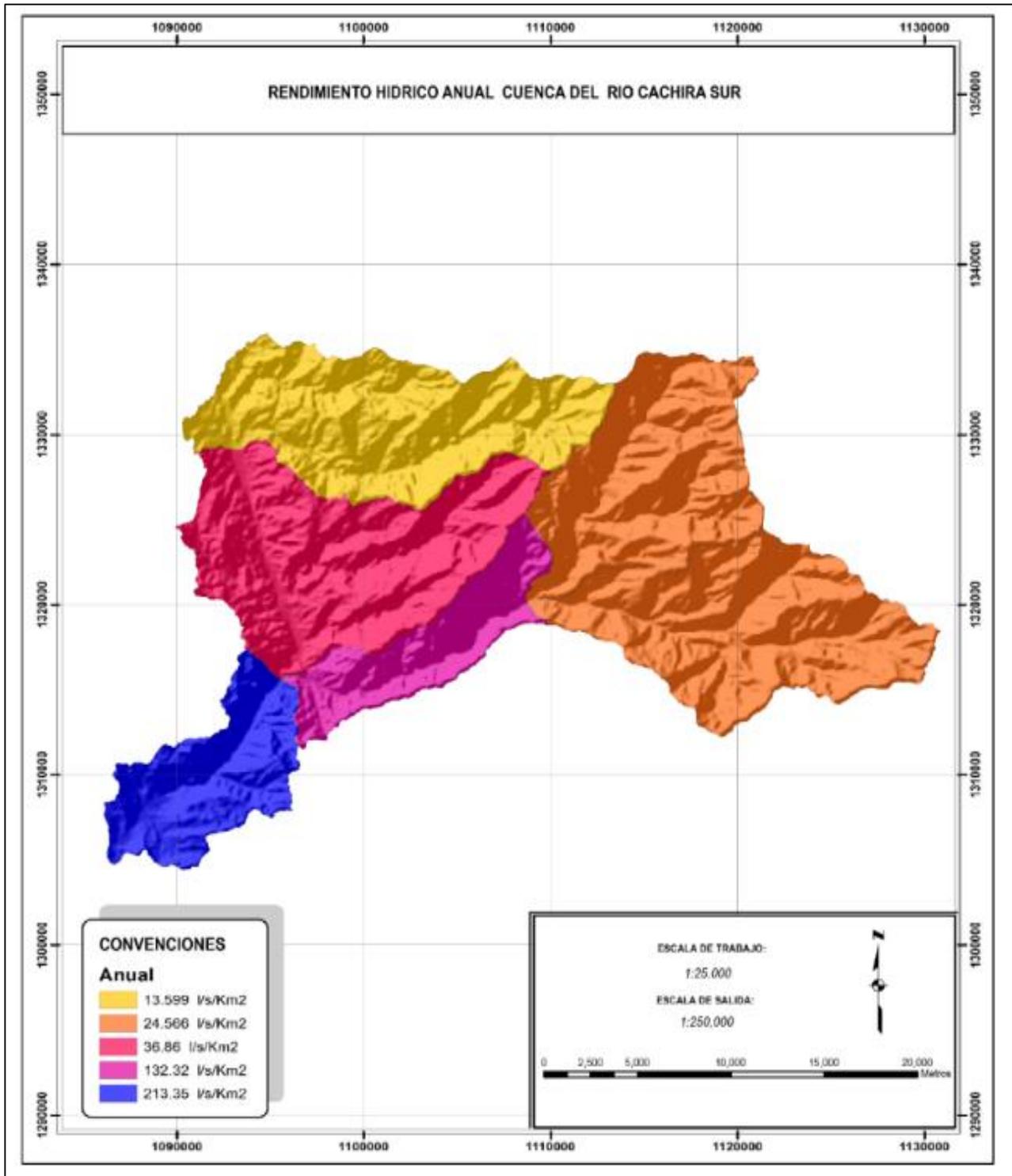


Figura 24. Rendimiento hídrico anual, Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

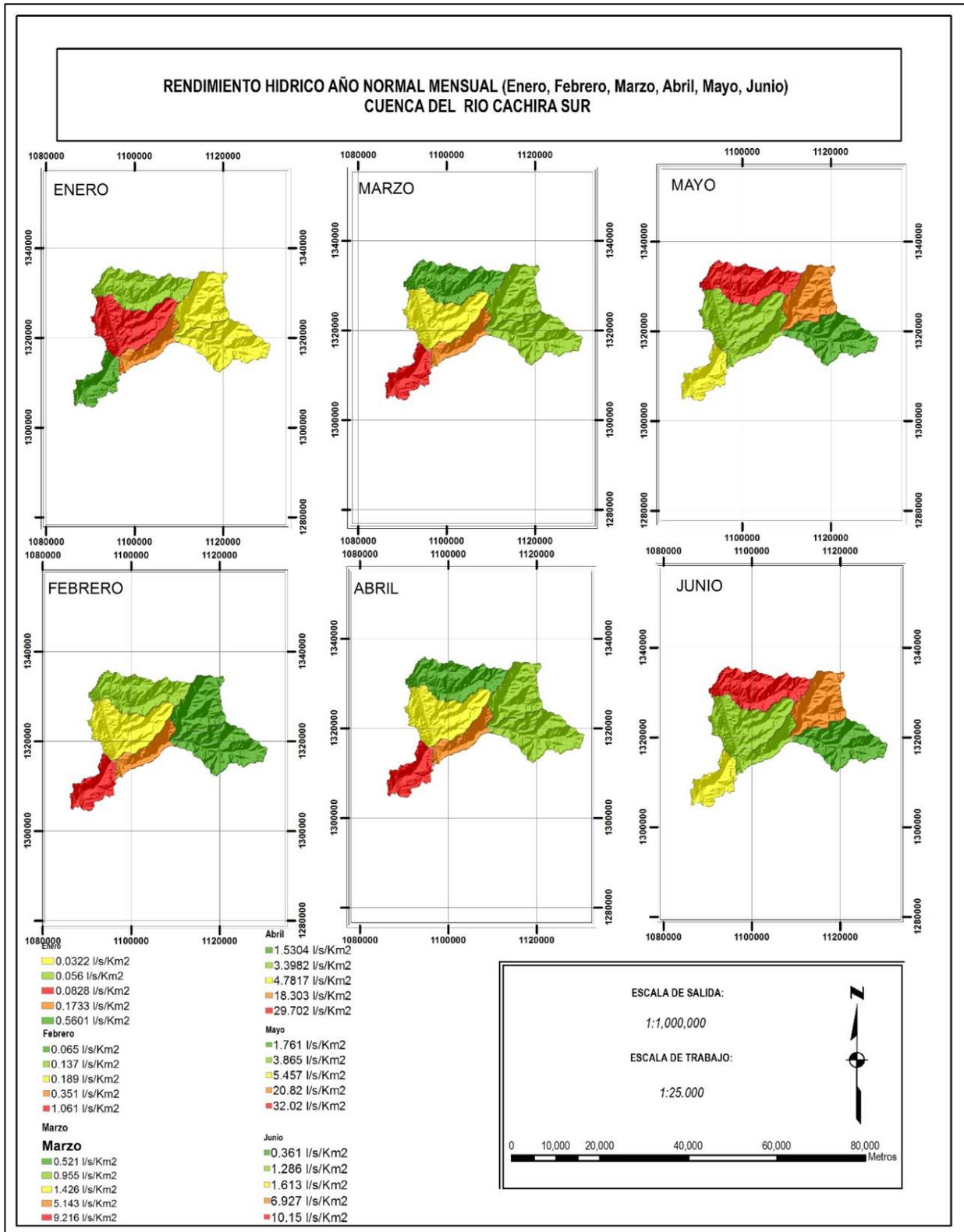


Figura 25. Rendimiento hídrico Mensual Año Normal (Ene-Jun) Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

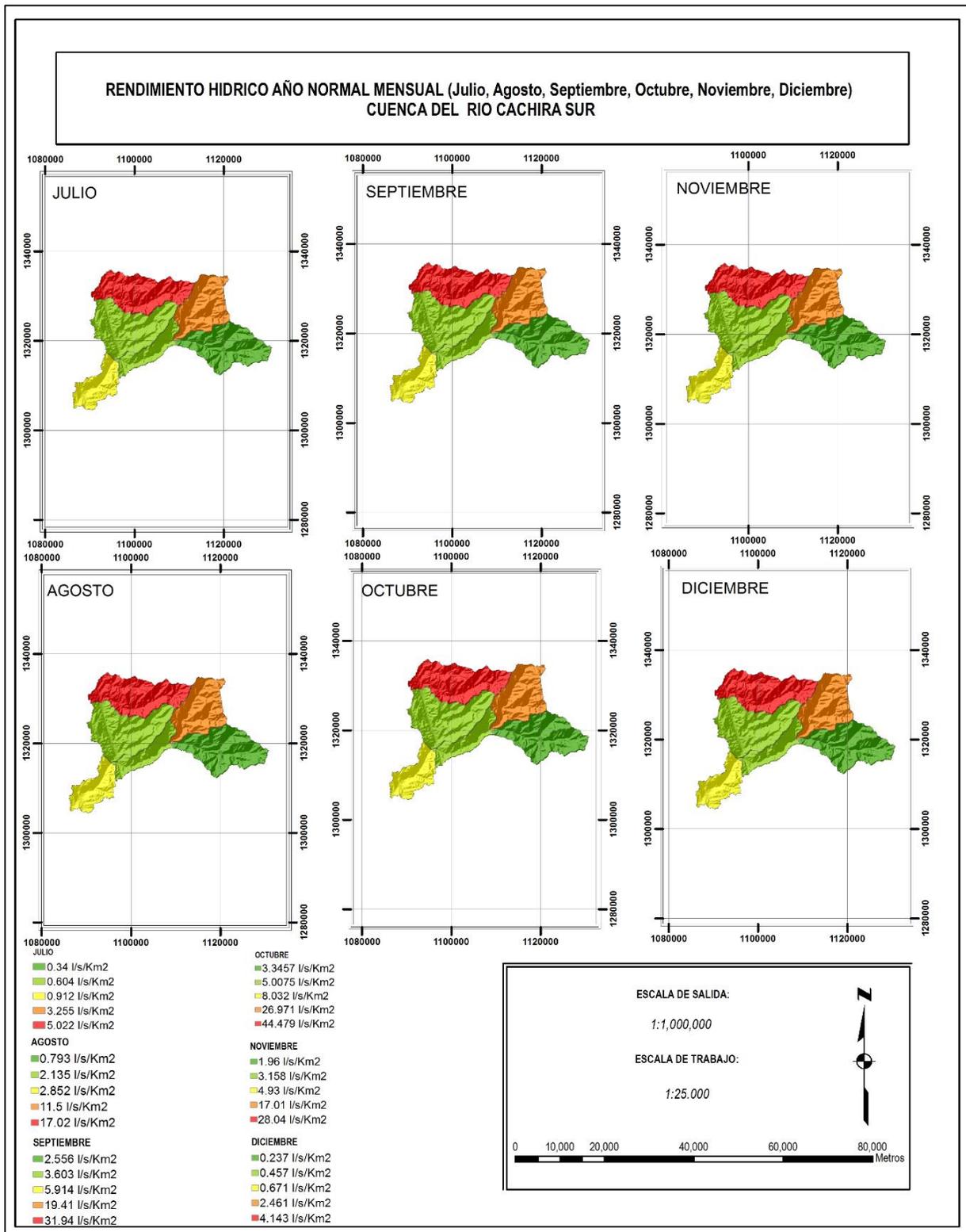


Figura 26. Rendimiento hídrico Mensual Año Normal (Jul-Dic) Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

7. INDICADORES

7.1 Demanda hídrica

La Demanda Hídrica comprende la extracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas de los ecosistemas no antrópicos. ERA, 2013

La Cuenca Cáchira Sur, no posee mediciones de demanda y consumos de agua utilizada para suplir las necesidades del territorio a excepción del acueducto del casco urbano de El Playón. Los sectores usuarios analizados para la determinación de las demandas, se discriminan a continuación:



7.1.1 Demanda de uso doméstico

Esta demanda corresponde a la cantidad de agua utilizada por la población rural y urbana para la satisfacción de sus necesidades y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{DUD: } (\text{Población} * \text{módulo de consumo}) / (86400 \text{ (s)}) = \text{L/hab día} \quad (\text{Ecuación 16})$$

En la Cuenca Cáchira Sur, el casco urbano del municipio del Playón, es el único que cuenta con los datos de consumo, los demás asentamientos o poblados no poseen

ningún tipo de información, por esta razón se utilizaron los módulos de consumo establecidos para en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Ras – 2000, Título B Sistemas de acueducto, y valores de población respectiva.

Para los municipios El Playón, Rionegro y Surata las características para calcular la demanda son las siguientes:

- 1) El nivel de complejidad del sistema se considera bajo.
- 2) El módulo de consumo utilizado en el presente estudio corresponde al promedio entre la dotación neta mínima y dotación neta máxima, $(110+150) / 2 = 130$ L/hab. día.
- 3) La variación de la dotación neta correspondiente a +10% es la definida para el nivel de complejidad del sistema Bajo y Clima Templado (entre 20 °C y 28 °C), que aplica para los municipios El Playón y Rio Negro. Para el municipio de Surata, cuya temperatura media anual se encuentra por debajo de los 20 °C no se realizará corrección.
- 4) El módulo de consumo a utilizar una vez evaluada la corrección por clima, es:
El Playón, Rio Negro y Surata =130 L/hab día.
- 5) Los módulos de consumo obtenidos se aplicaron en cada una de las subcuencas nivel II para obtener la demanda, utilizando la información total de población correspondiente a las veredas que no cuentan con mediciones de caudal en captaciones plenamente definidas.

7.1.2 Demanda uso industrial

En la zona solo son reportadas cuatro (4) industrias de tipo mediano para el procesamiento de lácteos; de las cuales tres están ubicadas en la zona poblada del

Pino municipio del Playón. También hay evidencia de industrias de muebles, pero estas son pequeñas y dispersas en el área.

En la zona solo son reportadas cuatro industrias de tipo mediano para el procesamiento de lácteos, tres están ubicadas en la zona poblada del Pino municipio del Playón, hay evidencia de industrias de muebles, pero estas son pequeñas y dispersas en el área.

Los consumos de estas pequeñas y medianas fábricas se ven incluidos en los valores de uso doméstico por lo cual la oferta hídrica no se verá disminuida.

7.1.3 Demanda uso agrícola

Para obtener la demanda por uso agrícola, se retomaron los valores de ETR y la información de coberturas de cultivos mixtos y Factores Kc por tipo de cobertura, seleccionando únicamente los correspondientes a cultivos mixtos subgrupos A, B, C y D, con sus respectivos valores de Kc.

De acuerdo con los antecedentes y las visitas de campo no se puede concluir que las poblaciones presenten distritos de riego; adicionalmente, la topografía dominante dificulta realizar riego de cultivos.

En la Tabla 50, se relacionan las demandas de agua para uso agrícola anual por Subcuenca; las UHA que no se encuentran relacionadas, no requieren de riego para el desarrollo de sus actividades agrícolas, de acuerdo con el uso actual de la tierra.

7.1.4 Demanda uso pecuario.

La Cuenca Nivel I Cáchira Sur, no tiene un alto índice de explotación pecuaria, ni infraestructura para uso del recurso hídrico en la producción pecuaria; sin embargo, se

tuvieron en cuenta las áreas de coberturas con pastos, en el cálculo de la escorrentía superficial y están implícitos en la demanda Agrícola y doméstica.

La sumatoria de demanda de agua para uso doméstico y para uso agrícola da como resultado la demanda total anual; la información se encuentra tabulada en la Tabla 50.

DATOS GENERALES			DEMANDA M3/AÑO				
SUBCUENCA	CÓDIGO	Área (Km ²)	DUP	DUAP	DUA	OTROS	OTROS USOS (DUP+DUAP+DUA+OTROS)
CACHIRA	2319-02-01-00	71,48	22.615,10	57.107,91	36.102,41	132.703,49	248.528,91
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	58,2	19.350,49	63.072,00	69.015,91	145.822,46	297.260,86
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	140,2	12.104,78	0	125.301,36	0	137.406,14
ROMERITOS	2319-02-04-00	118	615,58	0	2.921,50	0	3.537,08
EL PINO	2319-02-05-00	140,2	1.912,34	0	51.855,28	96.878,59	150.646,21
EL PLAYONERO	2319-02-06-00	154,1	675.253,88	62.272.852,53	167.423,36	585.858,15	63.701.387,92
Total		682,18	731.852,17	62.393.032,44	452.619,82	961.262,69	64.538.767,12

SUBCUENCA	CÓDIGO	OTROS USOS (DUP+DUAP+DUA+OTROS)	DUD	DT
CACHIRA	2319-02-01-00	248.528,91	77.472,60	326.001,51
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	297.260,86	12.518,53	309.779,39
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	137.406,14	9.521,35	146.927,49
ROMERITOS	2319-02-04-00	3.537,08	262,38	3.799,46
EL PINO	2319-02-05-00	150.646,21	47.591,61	198.237,82
EL PLAYONERO	2319-02-06-00	63.701.387,92	12.154.953,28	75.856.341,20
Total		64.538.767,12	12.302.319,75	76.841.086,87

Tabla 50. Demanda Total M3/año. Fuente CDMB

Se observa que la demanda total anual en las Subcuencas Nivel II Cáchira Sur, es de 77.177.856,87 m³/año, y la Subcuenca Nivel III El Playonero presenta un mayor

consumo con 75.856.341,20 m³/año, seguida de Cáchira y Cachiri Bajo con un total de 325.771,51 m³/año y 309.779,39 m³/año respectivamente. De igual modo, la Subcuenca que tiene menor demanda es Romeritos con 3.799,46 m³/año.

En la Figura 27, se presenta la Demanda Hídrica de las Subcuenclas nivel II Cáchira Sur.

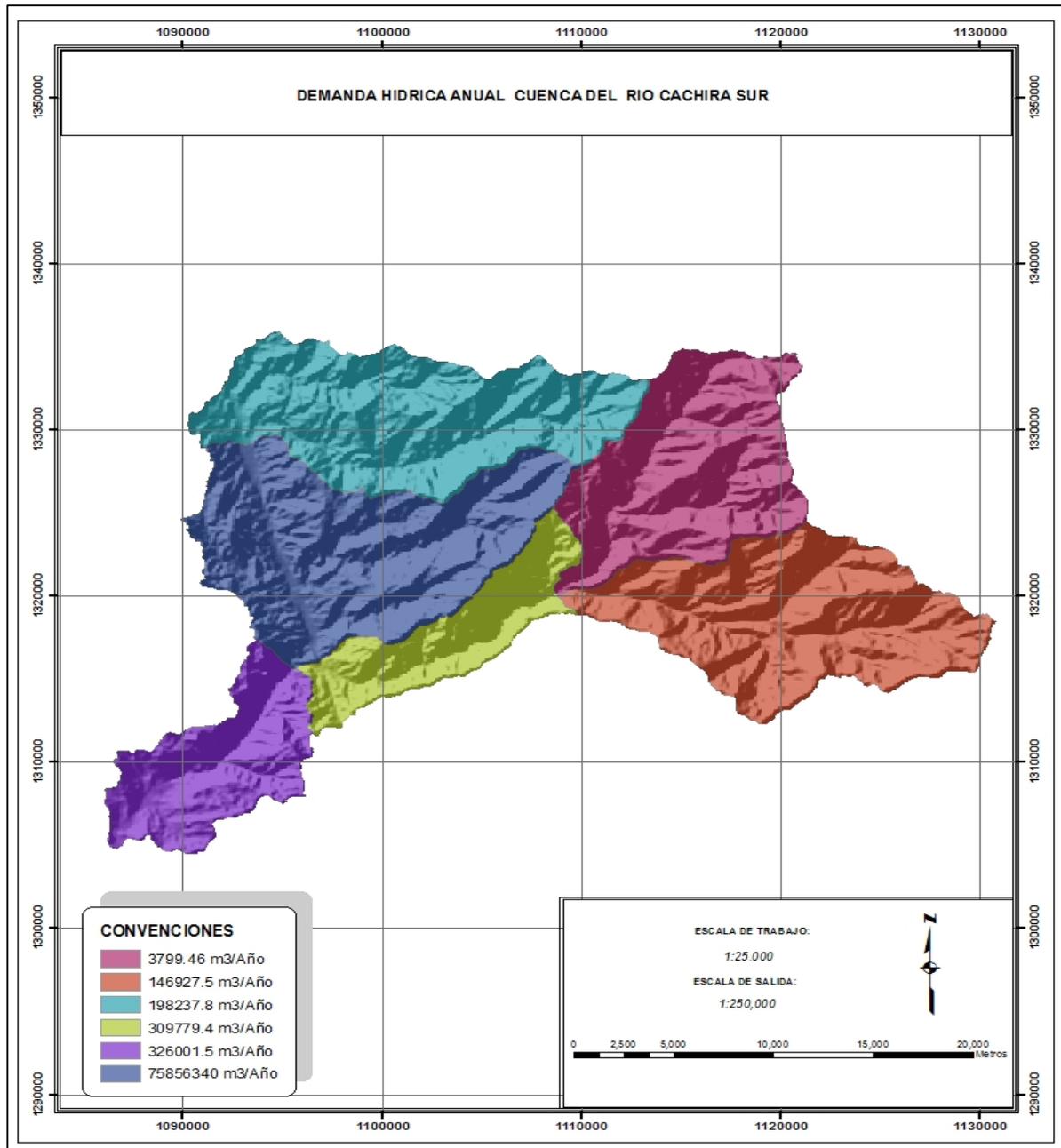


Figura 27. Demanda hídrica Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca rio Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

7.2 Índice de aridez

El índice de aridez es un indicador del régimen natural, que define las características cualitativas del clima a través de la medición del grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, identificando las áreas deficitarias o con excesos de agua.

El índice de aridez mide la relación entre la evapotranspiración potencial y la real mediante la siguiente ecuación:

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP} \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Dónde:

IA: Índice de aridez (adimensional)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

Es de aclarar, que el índice de aridez calculado por la metodología del ENA 2010, representa la dinámica superficial del suelo y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo utilizada en análisis climáticos para clasificar el grado de humedad a través de la precipitación y la evapotranspiración potencial.

Las categorías del Índice de Aridez y los rangos establecidos en el Estudio Nacional del Agua, 2010 se presentan en la Tabla 51.

Rango de Valores IA	Categoría	Características
< 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 – 0.19		Excedentes de agua

Rango de Valores IA	Categoría	Características
0.20 – 0.29		Entre moderados y excedentes de agua
0.30 – 0.39		Moderado
0.40 – 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 – 0.59		Deficitario de agua
> 0.60		Altamente deficitario de agua

Tabla 51. Categorías del Índice de Aridez. Fuente: IDEAM, 2013

En la estimación del índice de aridez para la cuenca Nivel I Cáchira Sur y sus subcuencas Nivel II, se reveló que toda la cuenca se encuentra clasificada en la categoría de Altos excedentes de agua. (Ver Tabla 52)

ESTACIONES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
VILLA DE LEIVA	0.64	0.45	0.13	0.06	0.07	0.08	0.12	0.09	0.08	0.05	0.06	0.24	0.17
VIVERO SURATA	0.40	0.33	0.11	0.05	0.07	0.14	0.30	0.13	0.06	0.04	0.06	0.23	0.16
CACHIRI	0.64	0.56	0.20	0.06	0.05	0.13	0.24	0.09	0.05	0.04	0.06	0.28	0.20
ESC AGR CÁCHIRA	0.62	0.51	0.34	0.18	0.17	0.40	0.41	0.28	0.12	0.10	0.14	0.44	0.31

Tabla 52. Índice de Aridez Año Normal

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla anterior y teniendo en cuenta las condiciones climatológicas de la cuenca, con valores de precipitaciones altas, y excesos de agua durante gran parte del año, es evidente que el índice de aridez

presenta durante el año, valores entre 0.20-0.29 que clasifica entre moderado y excedentes de agua para casi toda la subcuenca exceptuando el pino y Cáchira. Lo cual significa, que en esta cuenca en promedio no existe riesgo de aridez.

Para el año hidrológico normal, la Figura 28, muestra la distribución espacial del indicador índice de Aridez (Ia), donde se observa que este índice se encuentra entre los valores 0.16 y 0.31, que revelan desde excedentes de agua a moderados excedentes de aguas

En la parte baja de la cuenca se presentan Excedentes de agua, en la parte media muestra categoría entre Moderados y excedentes de agua, y en la Subcuenca El Pino el valor se clasifica como moderados.

En año hidrológico año seco, las subcuencas pasan a valores de altamente deficitarios de agua exceptuando la parte baja de la cuenca la cual presenta excedentes. En el caso del año hidrológico húmedo, toda la cuenca Cáchira Sur se califica como altos excedentes de agua.

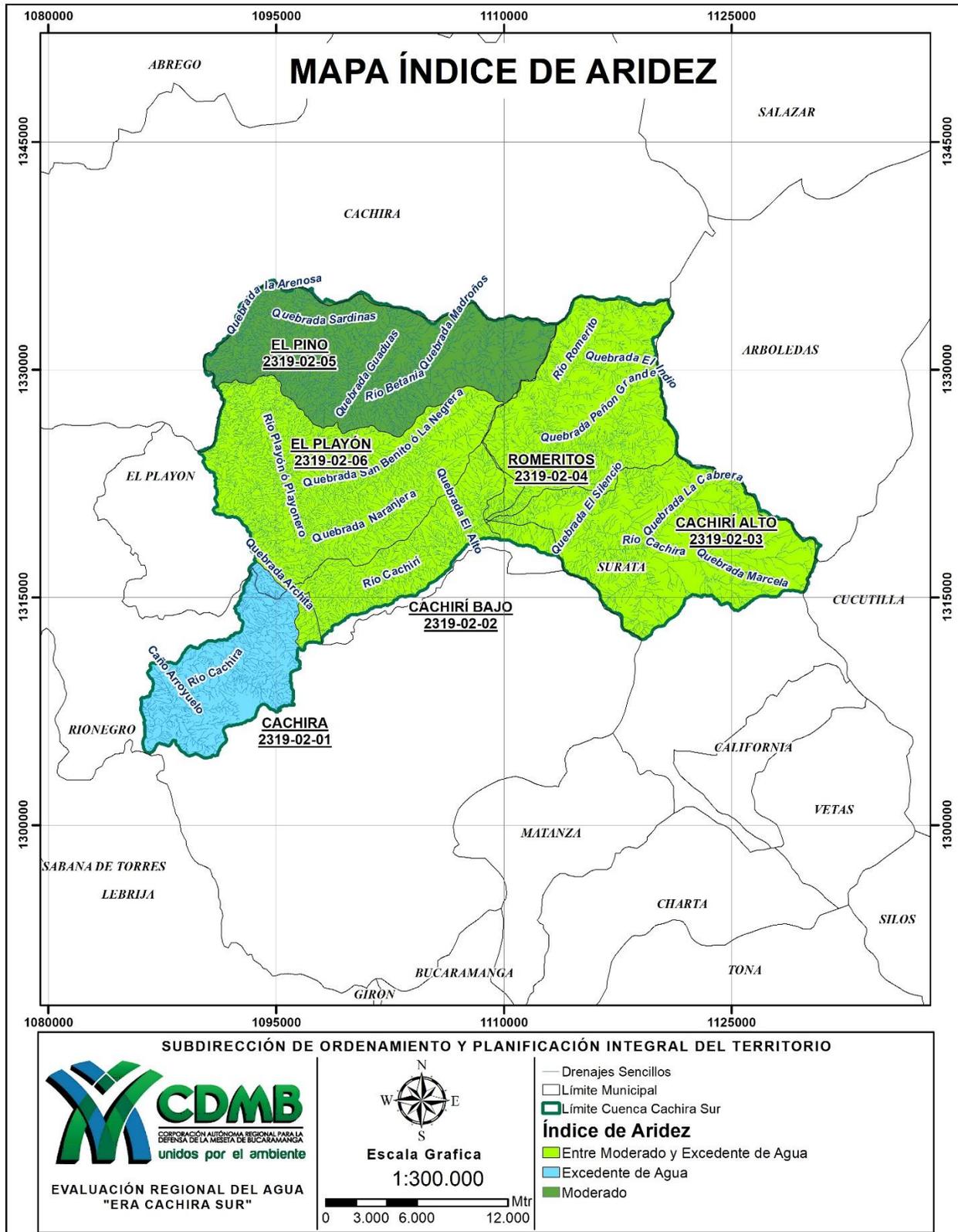


Figura 28. Índice de aridez – IA cuenca del río Cáchira Sur. Fuente: Autores ERA Cáchira Sur

7.3 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Teniendo en cuenta que en el área de estudio no existen estaciones hidrológicas con series de tiempos suficientemente extensas para el cálculo del indicador, se realizó la generación de caudales utilizando métodos indirectos que relacionan la precipitación y la evapotranspiración.

Con los datos de precipitación y Evapotranspiración se calcula la oferta hídrica total superficial en cada una de las Subcuencas Nivel II Cáchira Sur mediante la siguiente ecuación:

$$Q_c = 3.17 * 10^{-8} * A_c * (P - ETR) \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde:

A_c : Área de la cuenca (m²).

P : Precipitación media anual de la cuenca (m).

ETR : Evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

Q_c : Caudal medio anual (m³/s).

Las ofertas hídricas en m³/s generada por las Subcuencas Nivel II, se relacionan en las Tablas 53-58.

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km ²)				Estación			
CACHIRA				2319-02-01-00				71.478				Vivero Surata			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.085	0.761	1.492	3.776	0.571	1.244	0.079	1.505	1.282	6.896	2.758	1.222	21.672	1.806	6.896
1991	0.033	0.000	1.561	1.776	3.013	0.620	0.005	0.129	1.461	1.751	2.848	0.045	13.243	1.104	3.013
1992	0.071	0.137	0.043	0.949	2.938	0.469	0.352	0.776	1.178	0.553	1.825	0.291	9.583	0.799	2.938
1993	0.246	0.005	0.392	3.633	4.152	0.376	0.120	0.099	2.847	1.569	2.691	0.149	16.278	1.357	4.152
1994	0.043	0.501	0.668	3.874	2.372	0.058	0.225	0.304	2.171	4.281	2.996	0.121	17.615	1.468	4.281
1995	0.019	0.157	1.685	1.892	3.402	1.957	0.791	3.296	3.339	4.987	0.142	0.068	21.735	1.811	4.987
1996	0.046	0.630	2.264	1.012	1.473	1.484	3.845	2.091	2.741	4.407	2.313	0.199	22.506	1.875	4.407
1998	0.028	0.137	0.625	3.309	2.913	1.210	0.537	1.391	2.761	4.408	1.210	1.882	20.410	1.701	4.408
1999	0.071	1.825	0.297	3.945	2.690	1.327	0.441	2.296	3.204	3.516	3.436	0.400	23.447	1.954	3.945

2000	0.196	0.501	0.261	0.104	1.011	0.973	0.621	0.025	3.538	1.681	2.140	0.308	11.359	0.947	3.538
2001	0.118	0.085	1.120	0.232	1.953	0.072	0.073	0.090	2.175	2.803	1.159	0.318	10.198	0.850	2.803
2002	0.007	0.022	1.617	3.156	3.366	1.133	0.095	0.020	3.218	2.199	0.166	1.324	16.324	1.360	3.366
2003	0.012	0.081	0.503	3.981	0.241	1.683	0.436	1.969	3.607	5.072	2.021	0.939	20.546	1.712	5.072
2004	0.180	0.109	0.872	2.760	2.386	0.174	0.133	0.507	3.374	3.143	2.678	0.184	16.500	1.375	3.374
2005	0.405	0.073	0.006	1.259	4.616	2.348	1.404	1.085	2.212	4.794	4.906	0.067	23.176	1.931	4.906
2006	0.114	0.017	2.238	4.092	2.704	1.318	0.220	1.540	1.081	2.850	1.749	0.223	18.146	1.512	4.092
2007	0.043	0.012	1.231	2.281	2.187	0.187	1.029	3.290	1.807	7.000	0.651	0.118	19.835	1.653	7.000
2008	0.371	0.397	0.210	1.465	4.322	0.513	0.785	3.495	3.110	3.587	5.026	0.008	23.291	1.941	5.026
2011	0.084	1.168	3.075	6.515	6.342	1.486	0.778	1.396	1.728	3.076	3.754	1.899	31.300	2.608	6.515
2012	0.033	0.000	1.672	5.725	1.810	0.575	0.055	2.976	2.422	4.509	1.191	0.003	20.972	1.748	5.725
2014	0.002	0.396	0.479	1.939	1.654	0.004	0.052	0.849	0.803	5.069	2.224	0.409	13.879	1.157	5.069

Tabla 53. Oferta hídrica Subcuenca Cáchira

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km2)				Estación			
CACHIRI BAJO				2319-02-02-00				58.741				Cachiri			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.012	0.208	0.545	1.286	0.161	0.476	0.035	0.791	0.707	3.684	1.351	0.562	9.819	0.818	3.684
1991	0.016	0.000	0.670	0.578	1.341	0.276	0.002	0.083	0.628	0.823	1.163	0.001	5.581	0.465	1.341
1992	0.001	0.029	0.000	0.351	0.871	0.049	0.206	0.446	0.668	0.127	0.755	0.017	3.521	0.293	0.871
1993	0.107	0.002	0.020	1.568	1.831	0.184	0.069	0.026	1.494	0.670	0.884	0.024	6.878	0.573	1.831
1994	0.011	0.290	0.223	1.653	1.386	0.020	0.141	0.134	0.970	2.312	1.114	0.066	8.320	0.693	2.312
1995	0.012	0.021	0.825	0.834	1.822	0.921	0.447	1.572	1.729	2.462	0.033	0.020	10.699	0.892	2.462
1996	0.013	0.135	1.006	0.526	0.670	0.725	2.112	1.051	1.389	2.257	1.162	0.061	11.108	0.926	2.257
1998	0.003	0.020	0.357	1.607	1.254	0.675	0.210	0.641	1.281	2.063	0.342	0.757	9.211	0.768	2.063
1999	0.002	0.896	0.086	1.934	1.343	0.368	0.184	1.116	1.653	1.656	1.486	0.186	10.910	0.909	1.934
2000	0.029	0.051	0.112	0.057	0.524	0.552	0.302	0.017	1.693	0.793	1.040	0.197	5.368	0.447	1.693
2001	0.040	0.046	0.341	0.017	1.023	0.041	0.020	0.061	0.972	1.165	0.453	0.107	4.286	0.357	1.165
2002	0.002	0.013	0.478	1.352	1.486	0.462	0.002	0.013	1.721	0.857	0.014	0.670	7.071	0.589	1.721
2003	0.008	0.001	0.139	1.718	0.107	0.934	0.221	1.095	1.568	2.202	0.939	0.335	9.267	0.772	2.202
2004	0.017	0.045	0.507	1.194	0.981	0.016	0.085	0.296	1.707	1.595	1.265	0.003	7.710	0.643	1.707
2005	0.051	0.002	0.000	0.537	2.112	1.103	0.755	0.562	1.069	2.287	2.567	0.044	11.089	0.924	2.567
2006	0.017	0.011	0.873	1.736	1.572	0.574	0.107	0.919	0.517	1.306	0.499	0.000	8.132	0.678	1.736
2007	0.016	0.008	0.602	1.393	1.263	0.076	0.551	1.533	0.892	3.446	0.336	0.073	10.189	0.849	3.446
2008	0.242	0.143	0.078	0.750	2.002	0.198	0.490	1.784	1.497	1.777	2.216	0.001	11.178	0.932	2.216
2011	0.002	0.560	1.193	2.971	3.178	0.835	0.441	0.716	0.874	1.343	1.519	0.736	14.367	1.197	3.178
2012	0.000	0.000	0.819	2.635	0.952	0.370	0.012	1.559	1.307	2.284	0.672	0.000	10.610	0.884	2.635
2014	0.000	0.042	0.234	0.623	0.750	0.003	0.000	0.456	0.301	2.272	1.086	0.224	5.993	0.499	2.272

Tabla 54. Oferta hídrica Subcuenca Cachiri Bajo

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km2)				Estación			
CACHIRI ALTO				2319-02-03-00				140.072				Cachirí			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.005	0.092	0.241	0.569	0.071	0.211	0.015	0.350	0.313	1.631	0.598	0.249	4.347	0.362	1.631
1991	0.007	0.000	0.296	0.256	0.594	0.122	0.001	0.037	0.278	0.365	0.515	0.000	2.471	0.206	0.594
1992	0.001	0.013	0.000	0.155	0.386	0.022	0.091	0.198	0.296	0.056	0.334	0.008	1.559	0.130	0.386
1993	0.047	0.001	0.009	0.694	0.810	0.082	0.030	0.011	0.661	0.297	0.391	0.011	3.045	0.254	0.810
1994	0.005	0.129	0.099	0.732	0.613	0.009	0.062	0.059	0.430	1.024	0.493	0.029	3.684	0.307	1.024
1995	0.005	0.009	0.365	0.369	0.807	0.408	0.198	0.696	0.765	1.090	0.015	0.009	4.737	0.395	1.090
1996	0.006	0.060	0.446	0.233	0.297	0.321	0.935	0.465	0.615	0.999	0.515	0.027	4.918	0.410	0.999
1998	0.001	0.009	0.158	0.711	0.555	0.299	0.093	0.284	0.567	0.913	0.152	0.335	4.078	0.340	0.913
1999	0.001	0.397	0.038	0.856	0.595	0.163	0.081	0.494	0.732	0.733	0.658	0.082	4.830	0.403	0.856
2000	0.013	0.023	0.050	0.025	0.232	0.245	0.134	0.007	0.749	0.351	0.460	0.087	2.377	0.198	0.749
2001	0.018	0.020	0.151	0.007	0.453	0.018	0.009	0.027	0.431	0.516	0.200	0.047	1.897	0.158	0.516
2002	0.001	0.006	0.212	0.599	0.658	0.205	0.001	0.006	0.762	0.379	0.006	0.297	3.130	0.261	0.762
2003	0.003	0.001	0.061	0.761	0.048	0.414	0.098	0.485	0.694	0.975	0.416	0.148	4.103	0.342	0.975
2004	0.008	0.020	0.225	0.529	0.434	0.007	0.038	0.131	0.756	0.706	0.560	0.001	3.414	0.284	0.756
2005	0.023	0.001	0.000	0.238	0.935	0.488	0.334	0.249	0.473	1.012	1.137	0.019	4.909	0.409	1.137
2006	0.008	0.005	0.387	0.769	0.696	0.254	0.048	0.407	0.229	0.578	0.221	0.000	3.600	0.300	0.769
2007	0.007	0.004	0.266	0.617	0.559	0.034	0.244	0.679	0.395	1.526	0.149	0.033	4.511	0.376	1.526
2008	0.107	0.063	0.034	0.332	0.886	0.088	0.217	0.790	0.663	0.787	0.981	0.000	4.949	0.412	0.981
2011	0.001	0.248	0.528	1.315	1.407	0.370	0.195	0.317	0.387	0.595	0.673	0.326	6.361	0.530	1.407
2012	0.000	0.000	0.362	1.167	0.421	0.164	0.005	0.690	0.579	1.011	0.298	0.000	4.697	0.391	1.167
2014	0.000	0.019	0.104	0.276	0.332	0.001	0.000	0.202	0.133	1.006	0.481	0.099	2.653	0.221	1.006

Tabla 55. Oferta hídrica Subcuenca Cachiri Alto

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km2)				Estación			
ROMERITOS				2319-02-04-00				117.578				Cachirí			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.004	0.077	0.203	0.478	0.060	0.177	0.013	0.294	0.263	1.369	0.502	0.209	3.649	0.304	1.369
1991	0.006	0.000	0.249	0.215	0.498	0.103	0.001	0.031	0.233	0.306	0.432	0.000	2.074	0.173	0.498
1992	0.001	0.011	0.000	0.130	0.324	0.018	0.076	0.166	0.248	0.047	0.281	0.006	1.308	0.109	0.324
1993	0.040	0.001	0.008	0.583	0.680	0.068	0.026	0.010	0.555	0.249	0.329	0.009	2.556	0.213	0.680
1994	0.004	0.108	0.083	0.614	0.515	0.008	0.052	0.050	0.361	0.859	0.414	0.024	3.092	0.258	0.859
1995	0.005	0.008	0.307	0.310	0.677	0.342	0.166	0.584	0.642	0.915	0.012	0.007	3.976	0.331	0.915
1996	0.005	0.050	0.374	0.195	0.249	0.269	0.785	0.390	0.516	0.839	0.432	0.022	4.128	0.344	0.839
1998	0.001	0.007	0.133	0.597	0.466	0.251	0.078	0.238	0.476	0.767	0.127	0.281	3.423	0.285	0.767
1999	0.001	0.333	0.032	0.719	0.499	0.137	0.068	0.415	0.614	0.615	0.552	0.069	4.054	0.338	0.719
2000	0.011	0.019	0.042	0.021	0.195	0.205	0.112	0.006	0.629	0.295	0.386	0.073	1.995	0.166	0.629
2001	0.015	0.017	0.127	0.006	0.380	0.015	0.007	0.023	0.361	0.433	0.168	0.040	1.593	0.133	0.433
2002	0.001	0.005	0.178	0.502	0.552	0.172	0.001	0.005	0.640	0.319	0.005	0.249	2.628	0.219	0.640

2003	0.003	0.001	0.052	0.638	0.040	0.347	0.082	0.407	0.583	0.818	0.349	0.125	3.444	0.287	0.818
2004	0.006	0.017	0.189	0.444	0.365	0.006	0.032	0.110	0.634	0.593	0.470	0.001	2.865	0.239	0.634
2005	0.019	0.001	0.000	0.200	0.785	0.410	0.281	0.209	0.397	0.850	0.954	0.016	4.121	0.343	0.954
2006	0.006	0.004	0.325	0.645	0.584	0.213	0.040	0.341	0.192	0.485	0.185	0.000	3.022	0.252	0.645
2007	0.006	0.003	0.224	0.518	0.469	0.028	0.205	0.570	0.331	1.281	0.125	0.027	3.786	0.316	1.281
2008	0.090	0.053	0.029	0.279	0.744	0.073	0.182	0.663	0.556	0.660	0.824	0.000	4.154	0.346	0.824
2011	0.001	0.208	0.443	1.104	1.181	0.310	0.164	0.266	0.325	0.499	0.565	0.274	5.339	0.445	1.181
2012	0.000	0.000	0.304	0.979	0.354	0.137	0.004	0.579	0.486	0.849	0.250	0.000	3.943	0.329	0.979
2014	0.000	0.016	0.087	0.231	0.279	0.001	0.000	0.169	0.112	0.844	0.404	0.083	2.227	0.186	0.844

Tabla 56. Oferta hídrica Subcuenca Romeritos

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km2)				Estación			
EL PINO				2319-02-05-00				139.752				Escuela Agrícola Cáchira			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.045	0.299	0.450	1.232	0.220	0.354	0.018	0.216	0.151	0.932	0.494	0.255	4.665	0.389	1.232
1991	0.006	0.000	0.361	0.605	0.673	0.139	0.002	0.004	0.348	0.346	0.739	0.029	3.252	0.271	0.739
1992	0.045	0.062	0.028	0.282	1.086	0.263	0.031	0.074	0.121	0.241	0.463	0.176	2.871	0.239	1.086
1993	0.057	0.001	0.239	0.860	0.944	0.068	0.011	0.040	0.412	0.378	0.908	0.075	3.993	0.333	0.944
1994	0.017	0.045	0.223	0.935	0.205	0.018	0.011	0.069	0.478	0.555	0.884	0.015	3.455	0.288	0.935
1995	0.001	0.081	0.302	0.428	0.456	0.387	0.083	0.633	0.507	0.874	0.061	0.026	3.838	0.320	0.874
1996	0.017	0.284	0.505	0.150	0.313	0.268	0.479	0.365	0.444	0.692	0.384	0.070	3.972	0.331	0.692
1998	0.016	0.071	0.062	0.606	0.691	0.136	0.148	0.289	0.566	0.884	0.463	0.499	4.432	0.369	0.884
1999	0.045	0.325	0.111	0.705	0.457	0.515	0.111	0.420	0.491	0.695	0.810	0.082	4.767	0.397	0.810
2000	0.101	0.282	0.063	0.019	0.153	0.100	0.113	0.000	0.671	0.331	0.390	0.010	2.232	0.186	0.671
2001	0.039	0.011	0.405	0.137	0.285	0.007	0.029	0.000	0.481	0.707	0.321	0.105	2.525	0.210	0.707
2002	0.003	0.002	0.599	0.757	0.763	0.294	0.061	0.001	0.434	0.611	0.096	0.214	3.834	0.319	0.763
2003	0.000	0.051	0.196	0.942	0.054	0.194	0.072	0.224	0.842	1.185	0.412	0.291	4.463	0.372	1.185
2004	0.102	0.029	0.078	0.650	0.613	0.099	0.004	0.042	0.551	0.509	0.526	0.146	3.348	0.279	0.650
2005	0.217	0.046	0.004	0.304	0.974	0.456	0.176	0.163	0.410	0.918	0.717	0.001	4.387	0.366	0.974
2006	0.058	0.000	0.621	0.997	0.236	0.307	0.040	0.114	0.206	0.600	0.666	0.148	3.992	0.333	0.997
2007	0.012	0.000	0.222	0.129	0.203	0.049	0.139	0.664	0.311	1.235	0.099	0.006	3.069	0.256	1.235
2008	0.007	0.120	0.063	0.206	0.886	0.143	0.032	0.555	0.577	0.623	1.142	0.004	4.360	0.363	1.142
2011	0.054	0.220	0.888	1.385	1.066	0.161	0.081	0.216	0.281	0.713	0.987	0.528	6.579	0.548	1.385
2012	0.022	0.000	0.300	1.193	0.266	0.016	0.024	0.433	0.314	0.734	0.126	0.002	3.430	0.286	1.193
2014	0.001	0.221	0.086	0.669	0.386	0.000	0.051	0.115	0.242	1.121	0.412	0.059	3.363	0.280	1.121

Tabla 57. Oferta hídrica Subcuenca El Pino

Subcuenca Nivel II				Código				Área (Km2)				Estación			
EL PLAYON				2319-02-06-00				154.591				Cachiri			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	med	max
1990	0.050	0.400	0.717	1.860	0.298	0.587	0.035	0.603	0.497	2.732	1.154	0.529	9.463	0.789	2.732
1991	0.014	0.000	0.688	0.888	1.328	0.273	0.003	0.045	0.655	0.749	1.307	0.029	5.979	0.498	1.328
1992	0.045	0.077	0.028	0.454	1.512	0.286	0.131	0.292	0.447	0.303	0.832	0.184	4.592	0.383	1.512
1993	0.109	0.002	0.249	1.626	1.838	0.158	0.045	0.053	1.142	0.706	1.340	0.087	7.354	0.613	1.838
1994	0.023	0.187	0.331	1.742	0.882	0.028	0.079	0.135	0.952	1.685	1.428	0.047	7.520	0.627	1.742
1995	0.007	0.091	0.705	0.836	1.346	0.838	0.301	1.401	1.351	2.077	0.078	0.035	9.066	0.755	2.077
1996	0.023	0.350	0.997	0.407	0.640	0.622	1.511	0.879	1.123	1.795	0.952	0.100	9.399	0.783	1.795
1998	0.017	0.081	0.236	1.391	1.304	0.466	0.251	0.602	1.191	1.892	0.631	0.869	8.932	0.744	1.892
1999	0.046	0.763	0.153	1.650	1.113	0.695	0.200	0.965	1.299	1.504	1.536	0.172	10.098	0.841	1.650
2000	0.115	0.307	0.117	0.047	0.409	0.369	0.261	0.008	1.499	0.719	0.898	0.106	4.855	0.405	1.499
2001	0.058	0.033	0.572	0.145	0.784	0.027	0.038	0.030	0.956	1.277	0.542	0.157	4.619	0.385	1.277
2002	0.004	0.008	0.833	1.417	1.489	0.520	0.062	0.007	1.275	1.030	0.102	0.542	7.289	0.607	1.489
2003	0.004	0.052	0.264	1.781	0.106	0.650	0.179	0.759	1.608	2.261	0.870	0.455	8.991	0.749	2.261
2004	0.111	0.050	0.325	1.233	1.092	0.107	0.046	0.186	1.385	1.288	1.144	0.147	7.115	0.593	1.385
2005	0.243	0.047	0.004	0.566	2.006	0.995	0.545	0.437	0.932	2.036	1.972	0.022	9.805	0.817	2.036
2006	0.066	0.006	1.047	1.845	1.005	0.587	0.092	0.563	0.459	1.238	0.910	0.148	7.965	0.664	1.845
2007	0.020	0.004	0.516	0.809	0.820	0.086	0.408	1.413	0.747	2.919	0.263	0.042	8.047	0.671	2.919
2008	0.126	0.190	0.101	0.573	1.864	0.240	0.272	1.427	1.308	1.491	2.225	0.005	9.822	0.818	2.225
2011	0.055	0.493	1.471	2.836	2.619	0.569	0.296	0.566	0.708	1.369	1.730	0.888	13.599	1.133	2.836
2012	0.022	0.000	0.700	2.480	0.731	0.197	0.030	1.195	0.953	1.850	0.454	0.002	8.614	0.718	2.480
2014	0.001	0.241	0.200	0.974	0.753	0.001	0.051	0.338	0.389	2.231	0.943	0.169	6.292	0.524	2.231

Tabla 58. Oferta hídrica Subcuenca El Playón

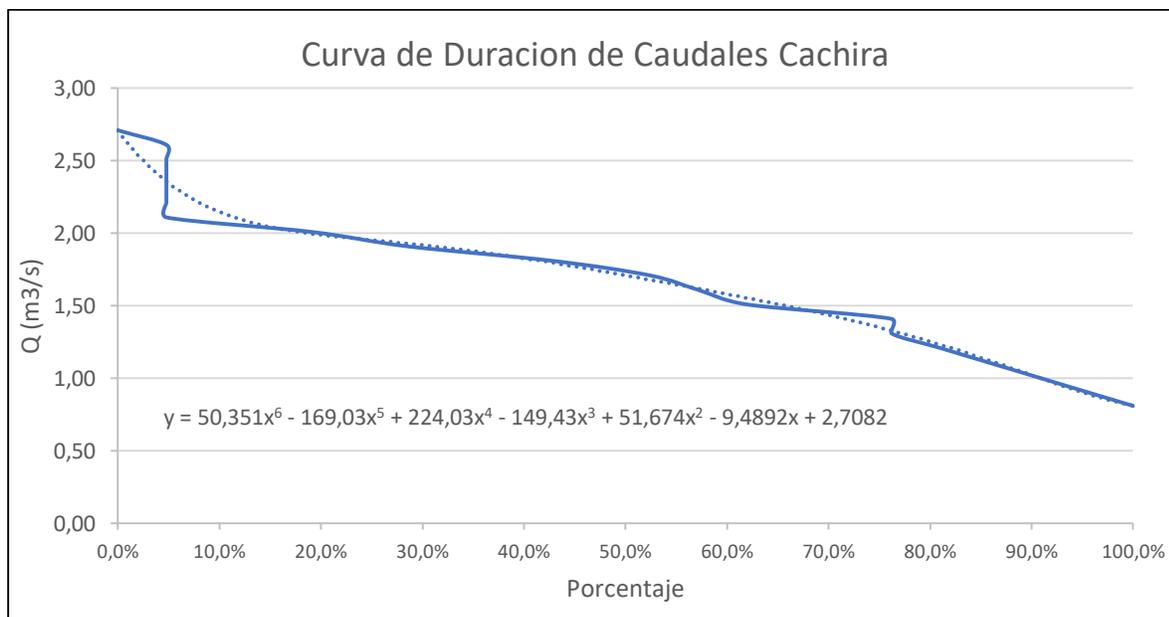
Las Ecuaciones correspondientes a duración de caudales para las estaciones analizadas, se hallaron con polinomios grado 6 para darle una mayor tendencia a la curva. (Ver Tabla 59)

Subcuenca Nivel II	Ecuación
Cáchira	$y = 50.351x^6 - 169.03x^5 + 224.03x^4 - 149.43x^3 + 51.674x^2 - 9.4892x + 2.7082$
Cachiri Bajo	$y = -9.9627x^6 + 1.0563x^5 + 36.957x^4 - 44.977x^3 + 19.679x^2 - 3.8984x + 1.295$
Cachiri Alto	$y = 10.766x^6 - 38.125x^5 + 52.315x^4 - 35.042x^3 + 11.62x^2 - 1.9584x + 0.5482$
Romeritos	$y = 5.1192x^6 - 20.202x^5 + 30.788x^4 - 22.877x^3 + 8.3721x^2 - 1.5518x + 0.4602$

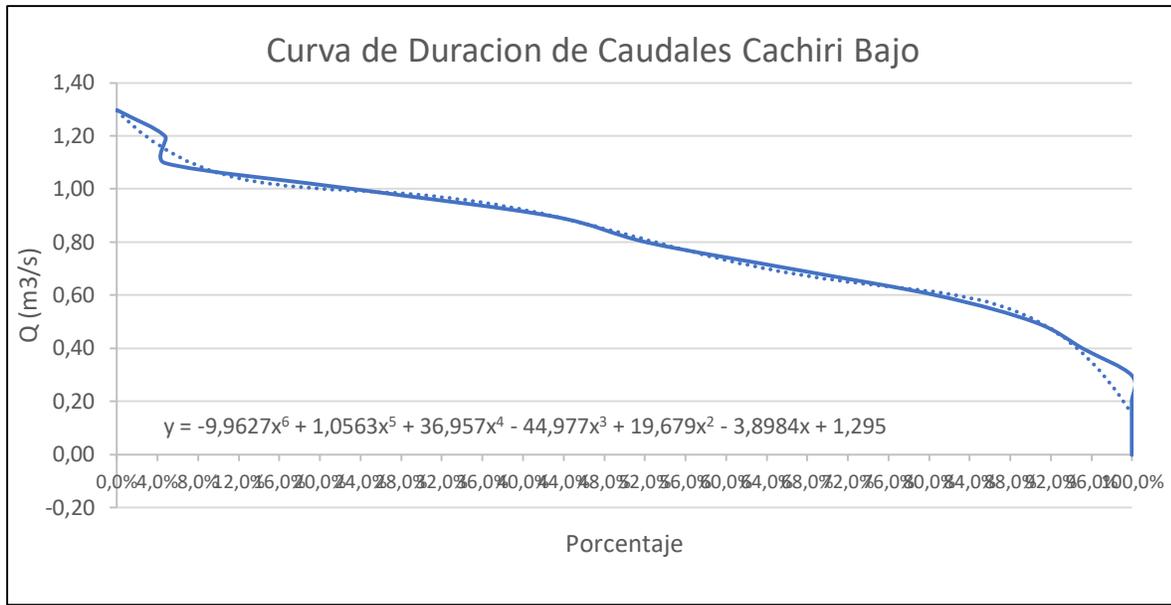
El Pino	$y = 11.9x^6 - 40.129x^5 + 53.032x^4 - 35.112x^3 + 12.278x^2 - 2.3267x + 0.5638$
El Playón	$y = -0.2725x^6 - 13.117x^5 + 38.477x^4 - 41.634x^3 + 20.227x^2 - 4.5926x + 1.2443$

Tabla 59. Ecuaciones duración de caudales para las estaciones

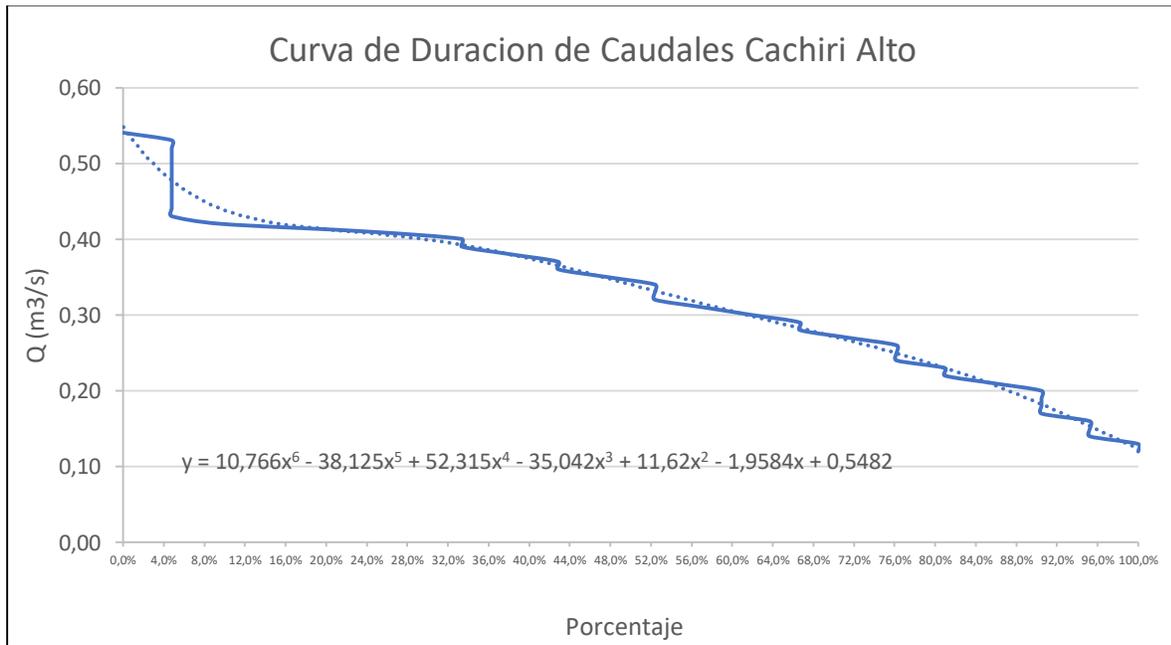
Las curvas de duración de caudales, para las Subcuencas nivel II, Cáchira, Cachiri Alto, Cachiri Bajo, Romeritos, El Pino y El Playón, están representadas en las Gráficas 30-35.



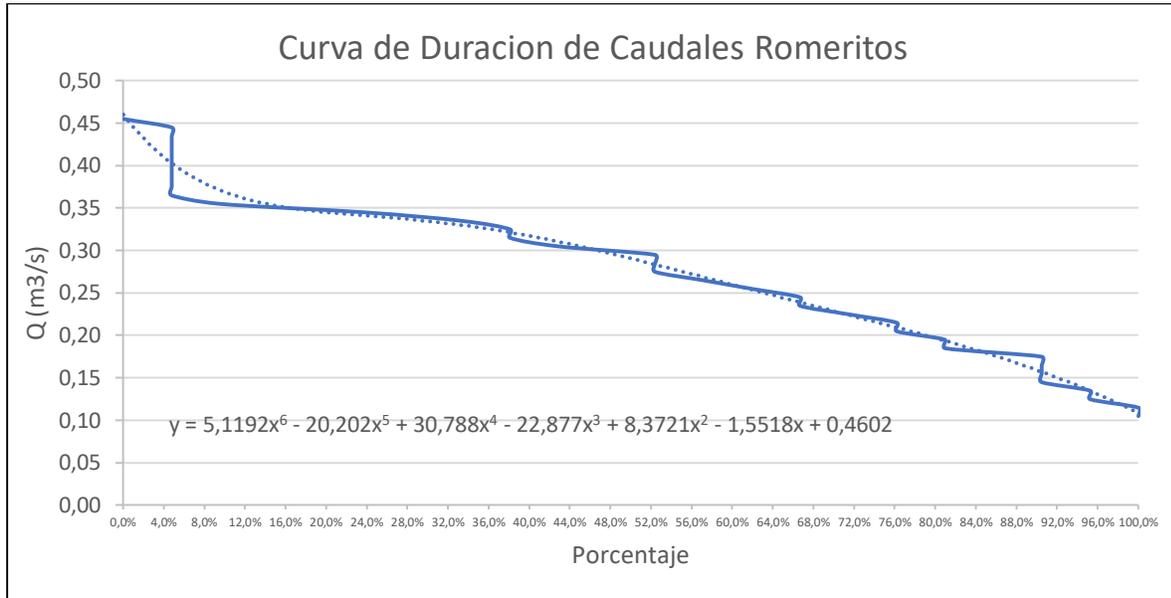
Gráfica 30. Curva duración de caudales Cáchira. Fuente: CDMB



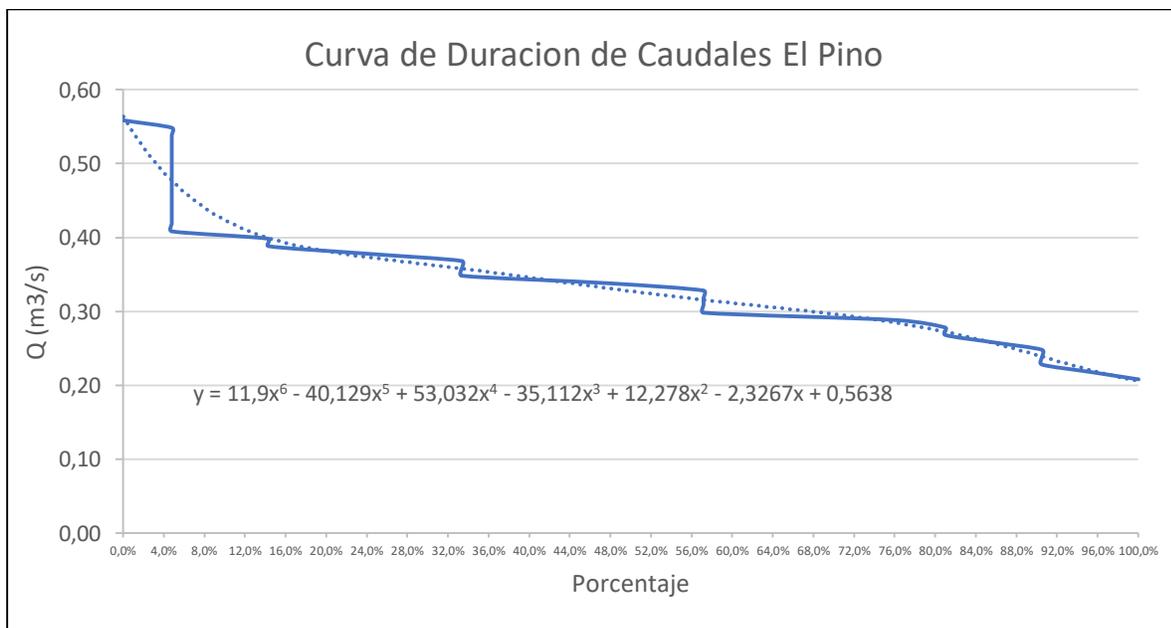
Gráfica 31. Curva duración de caudales Cachiri Bajo. Fuente: CDMB



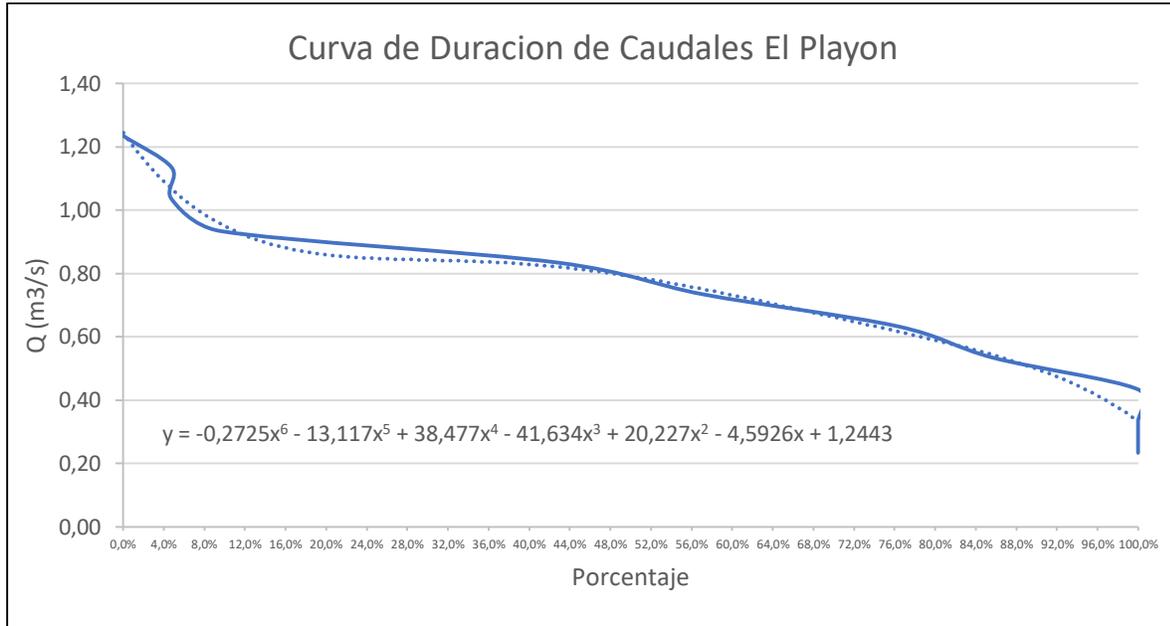
Gráfica 32. Curva duración de caudales Cachiri Alto. Fuente: CDMB



Gráfica 33. Curva duración de caudales Romeritos. Fuente: CDMB



Gráfica 34. Curva duración de caudales El Pino. Fuente: CDMB



Gráfica 35. Curva duración de caudales El Pino. Fuente: CDMB

El cálculo del Índice de Regulación Hídrica se ha generado por medio del tratamiento de la información de precipitación y evapotranspiración, mediante la ecuación:

$$IRH = \frac{Vp}{Vt} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Los resultados se consignaron en la Tabla 58 y la zonificación espacial se representan en la Figura 29.

Subcuenca nivel II	Código	Área (Km2)	Estación	Vp	Vt	IRH	Descripción
Cachira	2319-02-01-00	71,47804054	Vivero Surata	1.51060	1.658	0.91	Muy Alta retención y regulación de humedad

Cachirí Bajo	2319-02-02-00	58,741 13357	Cachiri	0.72070	0.805	0.894	Muy Alta retención y regulación de humedad
Cachirí Alto	2319-02-03-00	140,0724898	Cachiri	0.29316	0.329	0.891	Muy Alta retención y regulación de humedad
Romeritos	2319-02-04-00	117,577862	Cachiri	0.24994	0.278	0.90	Muy Alta retención y regulación de humedad
El Pino	2319-02-05-00	139,7516952	ESC AGR Cáchira	0.31770	0.333	0.95	Muy Alta retención y regulación de humedad
El Playón	2319-02-06-00	154.5906867	Cachiri	0.70136	0.752	0.93	Muy Alta retención y regulación de humedad

Tabla 60. Cálculo del Índice de Regulación Hídrica. Fuente CDMB

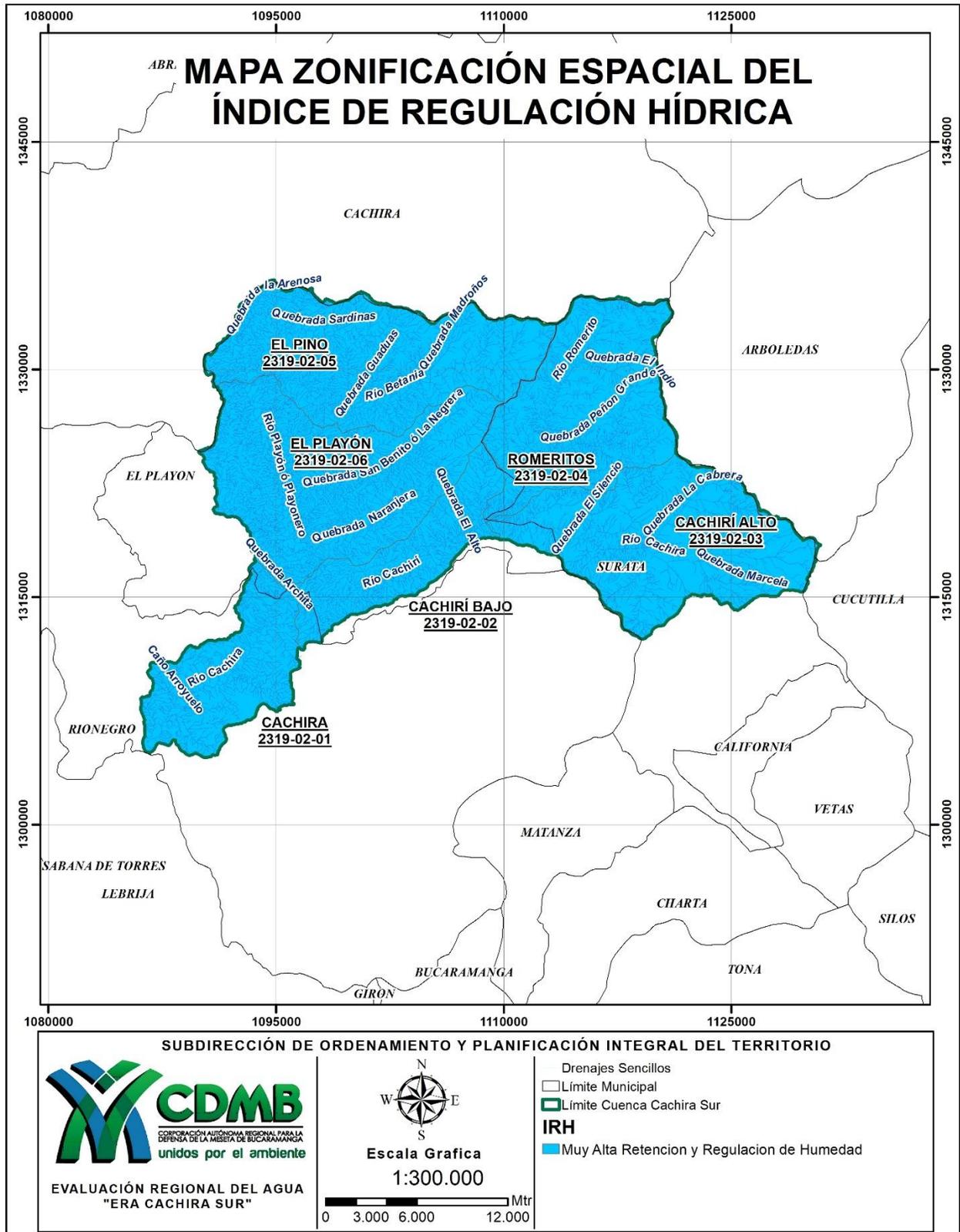


Figura 29. Mapa zonificación espacial del Índice de Regulación Hídrica. Fuente CDMB

7.4 Índice uso de agua superficial (IUA)

El índice de uso del agua – IUA relaciona la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis en relación con la oferta hídrica regional disponible neta (OHRD) para las mismas unidades de tiempo y espaciales. Por lo tanto, el IUA representa la relación porcentual de la demanda de agua en relación a la oferta hídrica regional disponible.

(Ecuación 20)

$$IUA = \left(\frac{Dh}{OHRD} \right) * 100$$

Donde:

IUA: Índice de uso del agua

Dh: Demanda hídrica

OHRD: Oferta hídrica superficial regional disponible

Los resultados del índice de uso de agua IUA, se encuentran tabulados en la Tabla 61 y representados en la Figura 30.

Datos generales		oferta hídrica superficial disponible.m3/s	Demanda Hídrica m3/s	Índice de uso de agua	Significado
Subcuenca	Código	OH	Dh	IUA	IUA
CACHIRA	2319-02-01-00	11.437	0.01033744	0.09	Muy Bajo
CACHIRÍ BAJO	2319-02-02-00	5.829	0.00982304	0.17	Muy Bajo
CACHIRÍ ALTO	2319-02-03-00	2.581	0.00465904	0.18	Muy Bajo
ROMERITOS	2319-02-04-00	2.166	0.00012048	0.01	Muy Bajo
EL PINO	2319-02-05-00	1.425	0.00628608	0.44	Muy Bajo
EL PLAYÓN	2319-02-06-00	4.274	2.4053888	56.28	Muy Alto

Tabla 61. IUA Cuenca Cáchira Sur. Fuente: UT Pomca Rio Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

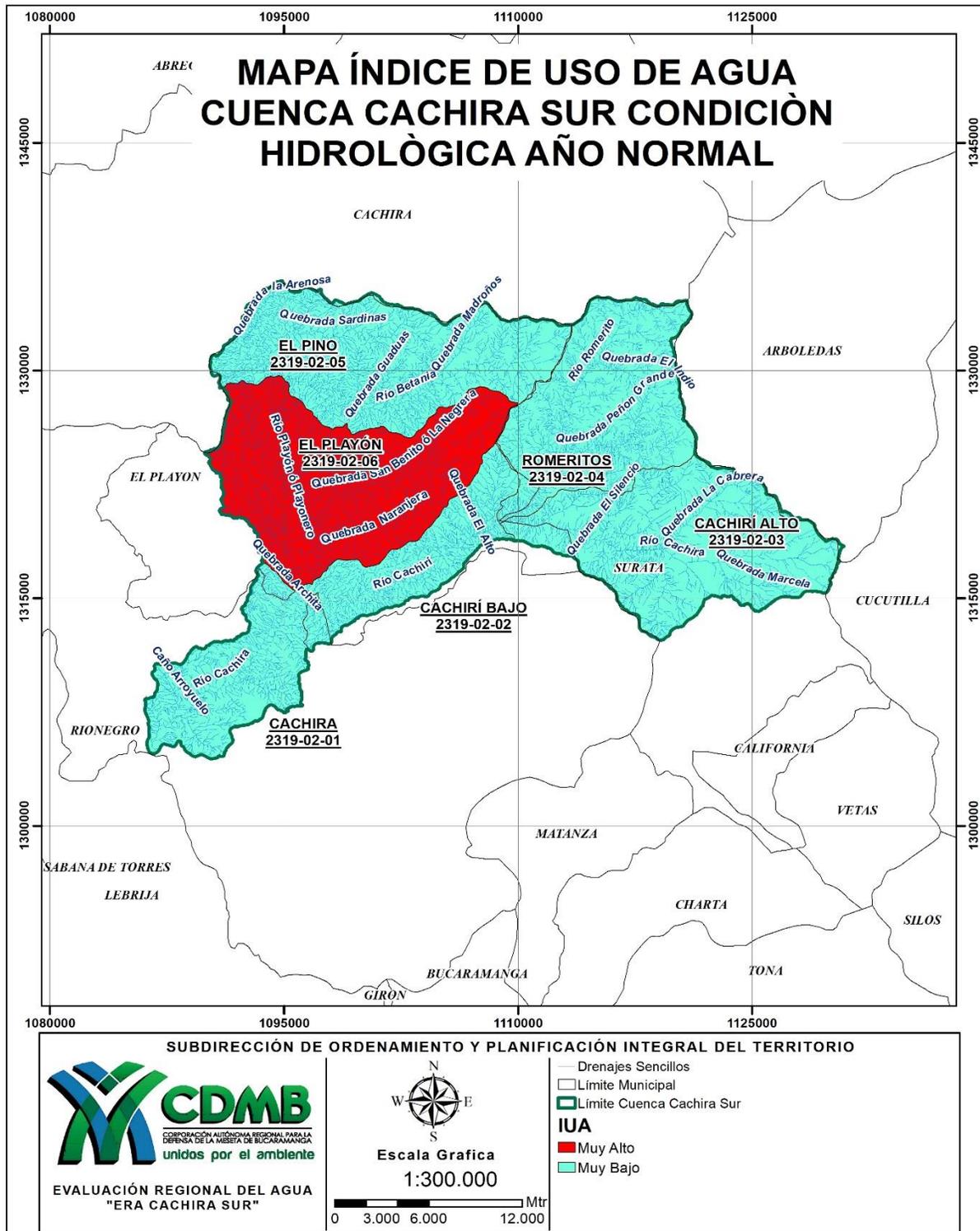


Figura 30. Índice de uso de agua cuenca Cáchira Sur. Condición hidrológica Año Normal

7.5 Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)

El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH), permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño)– puedan generar riesgos de desabastecimiento.

Se determina a través de una matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA). Los índices para cada una de las subcuencas, se encuentran detallados en la Tabla 62 y Figura 31.

Datos generales		Índice de uso de agua	Índice de Regulación Hídrica	Significado
Subcuenca	Código	IUA	IRH	IVH
Cachira	2319-02-01-00	Muy Bajo	Muy alto	Muy Bajo
Cachirí Bajo	2319-02-02-00	Muy Bajo	Muy alto	Muy Bajo
Cachirí Alto	2319-02-03-00	Muy Bajo	Muy alto	Muy Bajo
Romeritos	2319-02-04-00	Muy Bajo	Muy alto	Muy Bajo
El Pino	2319-02-05-00	Muy Bajo	Muy alto	Muy Bajo
El Playón	2319-02-06-00	Muy Alto	Muy alto	Medio

Tabla 62. Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento (IVH). Fuente: UT Pomca río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

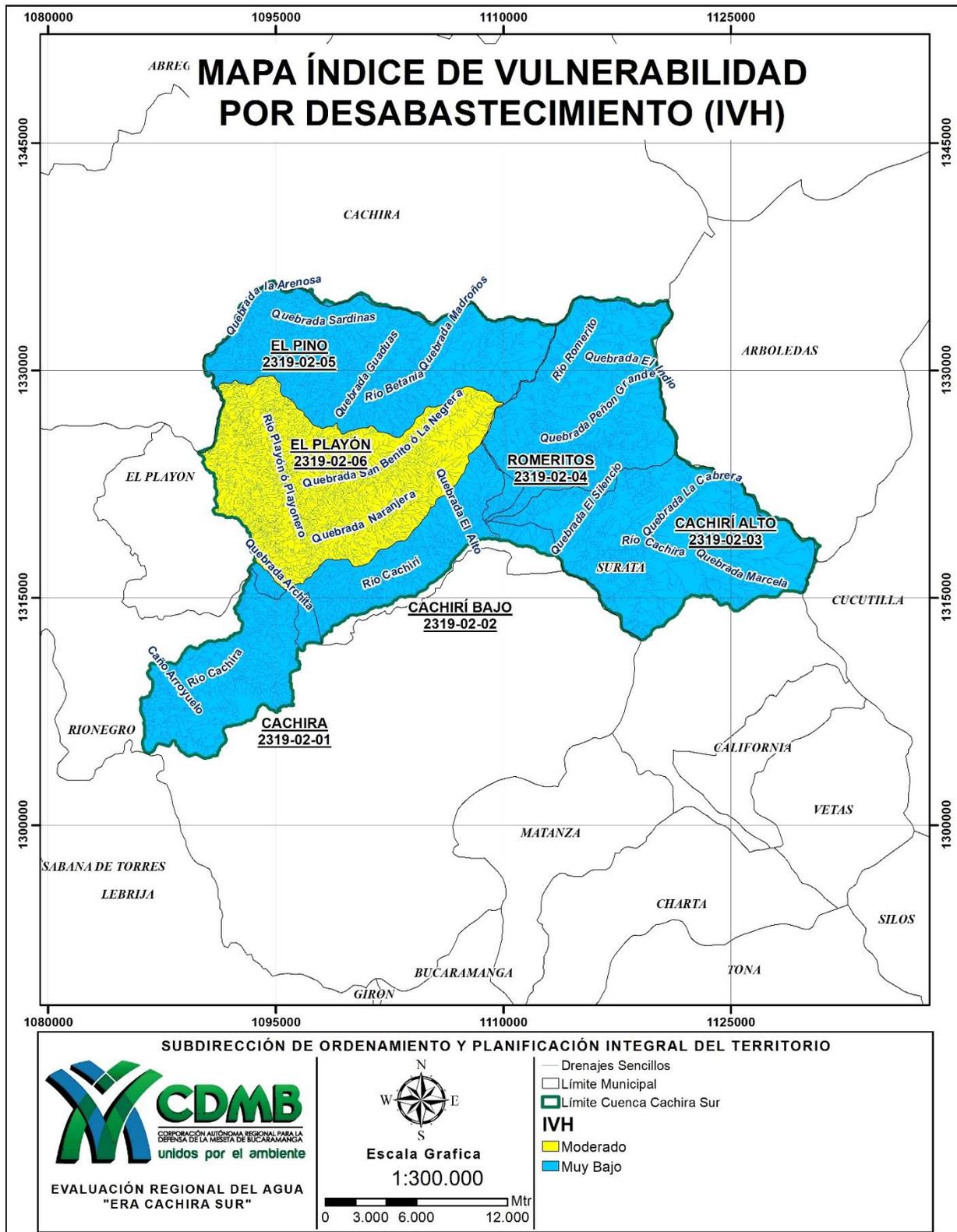


Figura 31. Índice Vulnerabilidad Por Desabastecimiento (IVH).

El uso principal del recurso hídrico en la cuenca Cáchira Sur, corresponde a las actividades agrícolas y solo en la Subcuenca hidrográfica nivel II de El Playón se encuentran actividades industriales y se concentra el mayor número de población.

Para el análisis de año hidrológico normal la cuenca que tiene un nivel medio de vulnerabilidad a desabastecimiento hídrico es la Subcuenca El Playón, y las demás Subcuencas nivel II de Cáchira Sur se catalogan en vulnerabilidad muy baja.

Para año hidrológico seco, en las Subcuencas El Pino y El Playón se califican de media vulnerabilidad, mientras que las Subcuencas de Cachiri Alto y Bajo pasan de calificación muy baja a Baja. Las restantes cuencas, Cáchira y Romeritos, permanecen en categoría de muy baja vulnerabilidad.

7.6 Índice de vulnerabilidad por eventos torrenciales (IVET)

Este índice representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales amenazantes, relacionando las características de la forma de la cuenca y las condiciones hidrológicas de la misma (IDEAM, 2013). El índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto, dependiendo estrictamente de una matriz de decisión entre el índice de variabilidad de caudales y el índice Morfométrico de Torrencialidad.

Por lo tanto, la morfometría de la cuenca está definida por el índice Morfométrico de Torrencialidad, que relaciona los parámetros morfométricos tales como: el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, que son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en la cuenca.

7.6.1 Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)

Este índice relaciona el coeficiente de compacidad de la cuenca, la pendiente media de la misma y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos del comportamiento de la escorrentía, la velocidad y capacidad de arrastre de una cuenca, con el fin de inferir la susceptibilidad de la cuenca a eventos torrenciales (León, 2009).

Para el cálculo del índice, es necesario determinar el coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje de la misma, los cuales son relacionados en la siguiente matriz de evaluación, datos categorizados de acuerdo a la Tabla 63, en donde se muestran las relaciones para categorizar el índice Morfométrico para cada cuenca de segundo nivel subsiguiente.

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	2,51 - 3,00	>3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 - 1,80	1,81 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 - 1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 - 35	36 - 50	51 - 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 - 30	30 - 45	46 - 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 - 1,500	1,251 - 1,375	1,126 - 1,250	1,00 - 1,125
			Oval - oblonga a rectangular - oblonga	Oval - redonda a oval - oblonga	Casi redonda a oval - redonda		

Tabla 63. Índice Morfométrico. Fuente: Rivas y Soto (2009) Pomca Cáchira Sur.

Para categorizar el índice Morfométrico de Torrencialidad en Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja se presenta la Tabla 64 y Figura 32.

		PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA						
		1	2	3	4	5		
Densidad de Drenaje	1	111	121	131	141	151	1	Coeficiente de Forma
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	

Tabla 64. Categorías índices Morfométrico de Torrencialidad. Fuente: IDEAM, (2013).

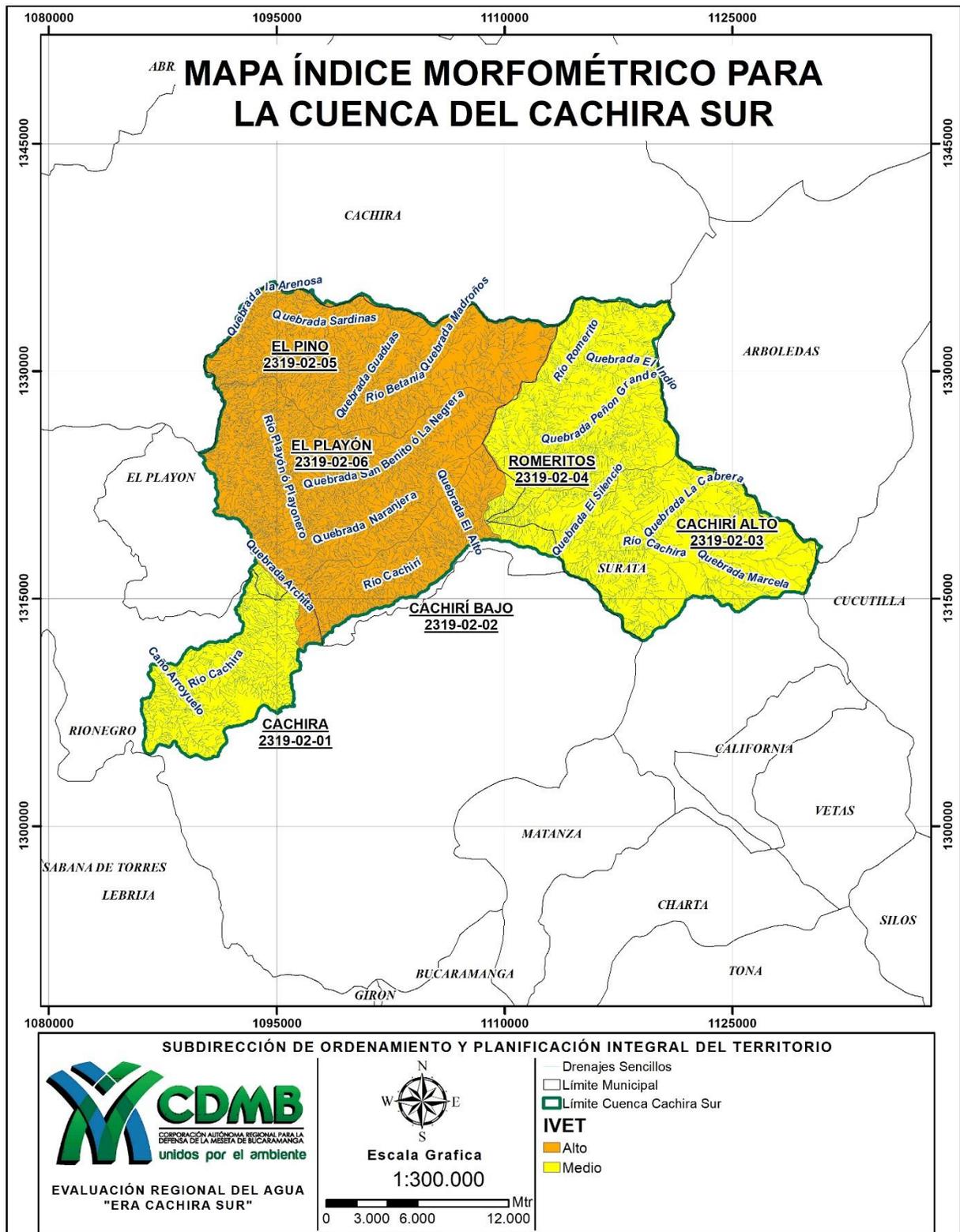


Figura 32. Índice Morfométrico para la Cuenca Cáchira Sur. Fuente Autores

7.6.2 Índice de variabilidad de caudales (IV)

La obtención del índice de variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una zona torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos, y los valores máximos. (IDEAM, 2013). El índice de variabilidad se obtiene de la curva de duración de caudales con la siguiente ecuación:

(Ecuación 21)

$$\text{Índice de Variabilidad} = IV = (\text{Log } (Q_i) - \text{Log } (Q_f)) / (\text{Log } (X_i) - \text{Log } (X_f))$$

Donde:

Qi y Qf representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales

Xi y Xf representan los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales

Qi y Qf, respectivamente.

Este índice se categoriza a partir de la matriz de calificación propuesta por el IDEAM Tabla 65 y se especializa en la Figura 33.

Índice de Variabilidad	IV
< 10°	Muy Baja
10.1° – 37°	Baja
37.1° – 47°	Media
47.1° – 55°	Alta
> 55°	Muy Alta

Tabla 65. Índice de variabilidad. Fuente. IDEAM, 2013.

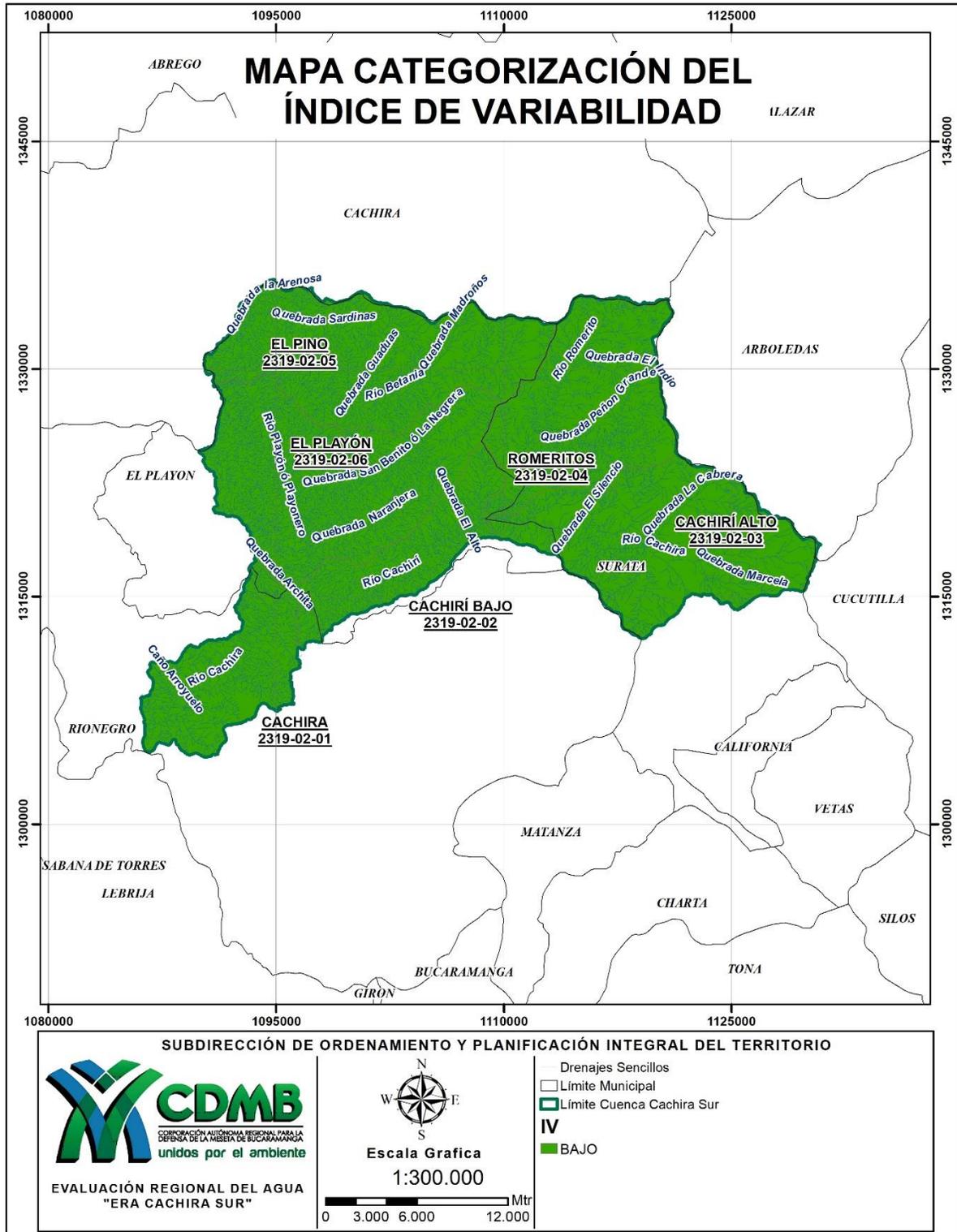


Figura 33. Categorización del índice de variabilidad. Fuente. Autores

7.6.3 Índice de vulnerabilidad eventos torrenciales (IVET)

Representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales amenazantes, relacionando las características de la forma de la cuenca y las condiciones hidrológicas de dicha cuenca (IDEAM, 2013). El índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto, y depende estrictamente entre una matriz de decisión entre el índice de variabilidad del drenaje y el índice Morfométrico de Torrencialidad. (Ver Tabla 66)

Índice de Variabilidad	Índice Morfométrico de Torrencialidad				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Muy bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Medio	Alto	Alto
Bajo	Baja	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Medio	Baja	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
Alto	Media	Medio	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Muy alto	Media	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Tabla 66. Categorías IVET. Fuente: IDEAM, 2013

IVET fue desarrollado a una escala 1:25.000, teniendo en cuenta los parámetros anteriormente especificados, para poder aplicar la matriz de evaluación establecida por el IDEAM.

El Índice de Vulnerabilidad a eventos torrenciales en donde se encuentran niveles de media a alta vulnerabilidad, se presenta en la Figura 34.

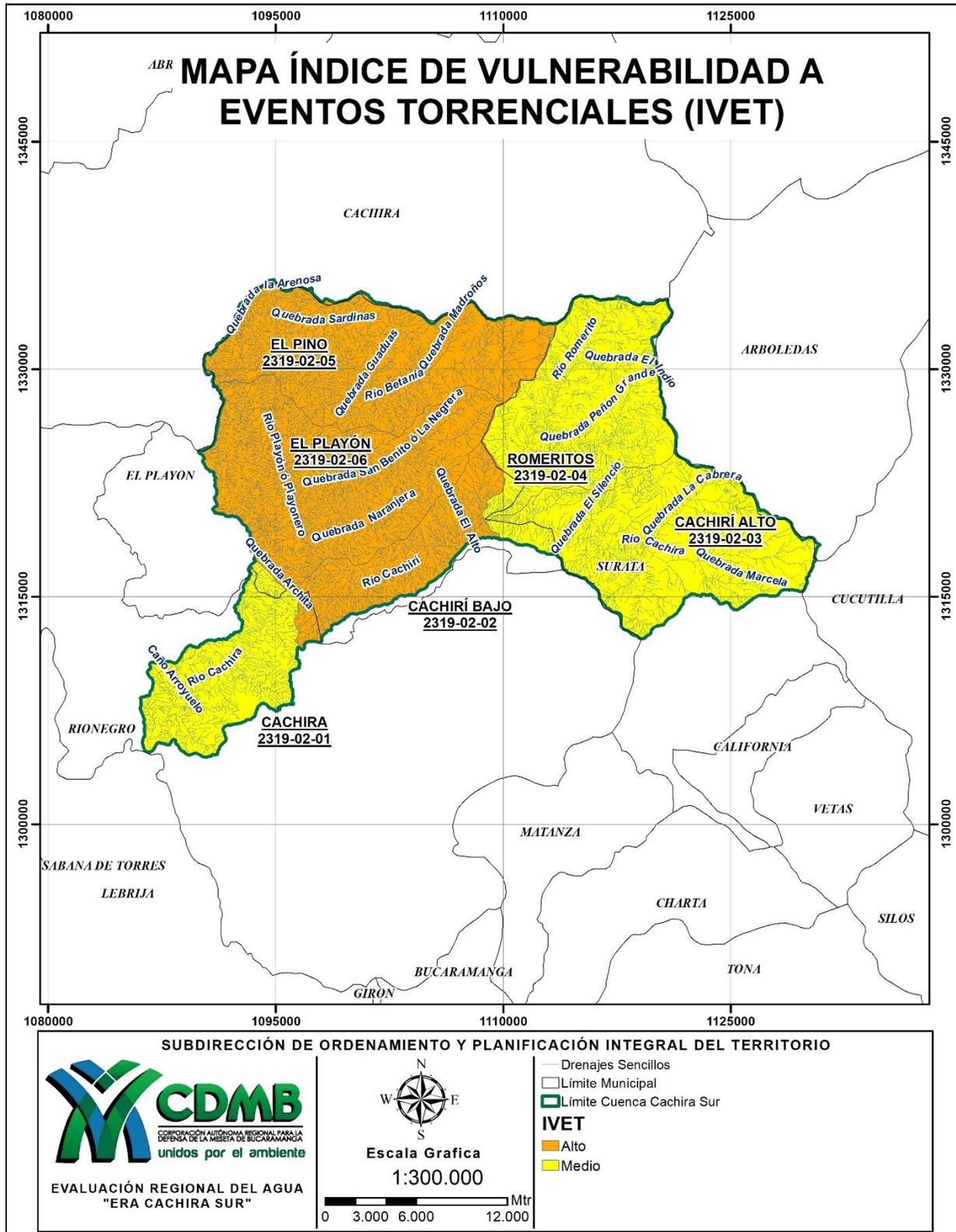


Figura 34. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET). Fuente: Autores

7.7 Índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL)

El recurso hídrico es vulnerable en cuanto a la afectación de su calidad, la cual se ve altamente afectada por la variabilidad climática. Ésta vulnerabilidad depende de la disponibilidad natural y/o regulada de dicho recurso, y de la presión ejercida sobre éste por cuenta de los usos y el consumo que realiza la población asentada en sus alrededores, así como los vertimientos que la población descarga en las corrientes.

Los valores calculados del indicador, se comparan con los establecidos en una tabla de interpretación, que permiten calificar la alteración potencial de la calidad del agua de forma descriptiva como de cierto nivel de presión (baja, moderada, media-alta, alta o muy alta); a su vez, están asociados a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). La comparación temporal de la vulnerabilidad reflejada por la alteración potencial de la calidad del agua simplifica la interpretación, la identificación de tendencias y la toma de decisiones.

7.7.1 Cálculo de IACAL DBO₅

SUBCUENCA	IACAL DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cáchira	0.68	3	MEDIA-ALTA
Cachirí Bajo	0.60	3	MEDIA-ALTA
Cachirí Alto	0.92	3	MEDIA-ALTA
Romeritos	0.16	2	MODERADA
El Pino	6.37	5	MUY ALTA
El Playón	2.82	4	ALTA

Tabla 67. Cálculo de IACAL DBO₅ por subcuenca para época media. Fuente: Consultoría Pomca Cáchira Sur 2015-2017.

7.7.2 Cálculo IACAL DQO-DBO

SUBCUENCA	IACAL DQO-DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cachira	0.68	3	MEDIA-ALTA

SUBCUENCA	IACAL DQO-DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cachirí bajo	0.60	3	MEDIA-ALTA
Cachirí alto	0.94	3	MEDIA-ALTA
Romeritos	0.17	2	MODERADA
El pino	6.39	4	ALTA
El playón	2.95	4	ALTA

Tabla 68. Cálculo del IACAL DQO-DBO por subcuenca para época media. Fuente: Consultoría Pomca Cáchira Sur 2015-2017.

7.7.3 Cálculo de IACAL SST

SUBCUENCA	SST (ton/hm ³)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cáchira	2.97	4	ALTA
Cachirí Bajo	5.08	4	ALTA
Cachirí Alto	3.02	4	ALTA
Romeritos	1.10	3	MEDIA-ALTA
El Pino	53.61	5	MUY ALTA
El Playón	20.33	5	MUY ALTA

Tabla 69. Cálculo del IACAL SST por subcuenca en época media. Fuente: Consultoría Pomca Cáchira Sur 2015-2017.

7.7.4 Cálculo de IACAL Nitrógeno

SUBCUENCA	N ton/hm ³)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cachira	5.53	5	MUY ALTA
Cachirí Bajo	17.98	5	MUY ALTA
Cachirí Alto	13.59	5	MUY ALTA
Romeritos	43.40	5	MUY ALTA
El Pino	105.06	5	MUY ALTA
El Playón	22.29	5	MUY ALTA

Tabla 70. Cálculo del IACAL Nitrógeno por Subcuenca en época media. Fuente: Consultoría Pomca Cáchira Sur 2015-2017

7.7.5 Cálculo de IACAL Fósforo

SUBCUENCA	P ton/hm ³)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Cáchira	0.73	5	MUY ALTA
Cachiri bajo	1.83	5	MUY ALTA
Cachiri alto	1.52	5	MUY ALTA
Romeritos	5.78	5	MUY ALTA
El Pino	11.03	5	MUY ALTA
El Playón	2.73	5	MUY ALTA

Tabla 71. Cálculo del IACAL Fósforo por subcuenca en época media. Fuente: Consultoría Pomca Cáchira Sur 2015-2017.

Ponderación final y cálculo del IACAL para época media

SUBCUENCA	PONDERACIÓN TOTAL	CLASIFICACIÓN
Cáchira	4	ALTA
Cachiri bajo	4	ALTA
Cachiri alto	4	ALTA
Romeritos	3.4	MEDIA ALTA
El Pino	4.8	MUY ALTA
El Playón	4.6	MUY ALTA

Tabla 72. Cálculo del IACAL para época media. Fuente: Consultoría POMCA Cáchira Sur 2015-2017.

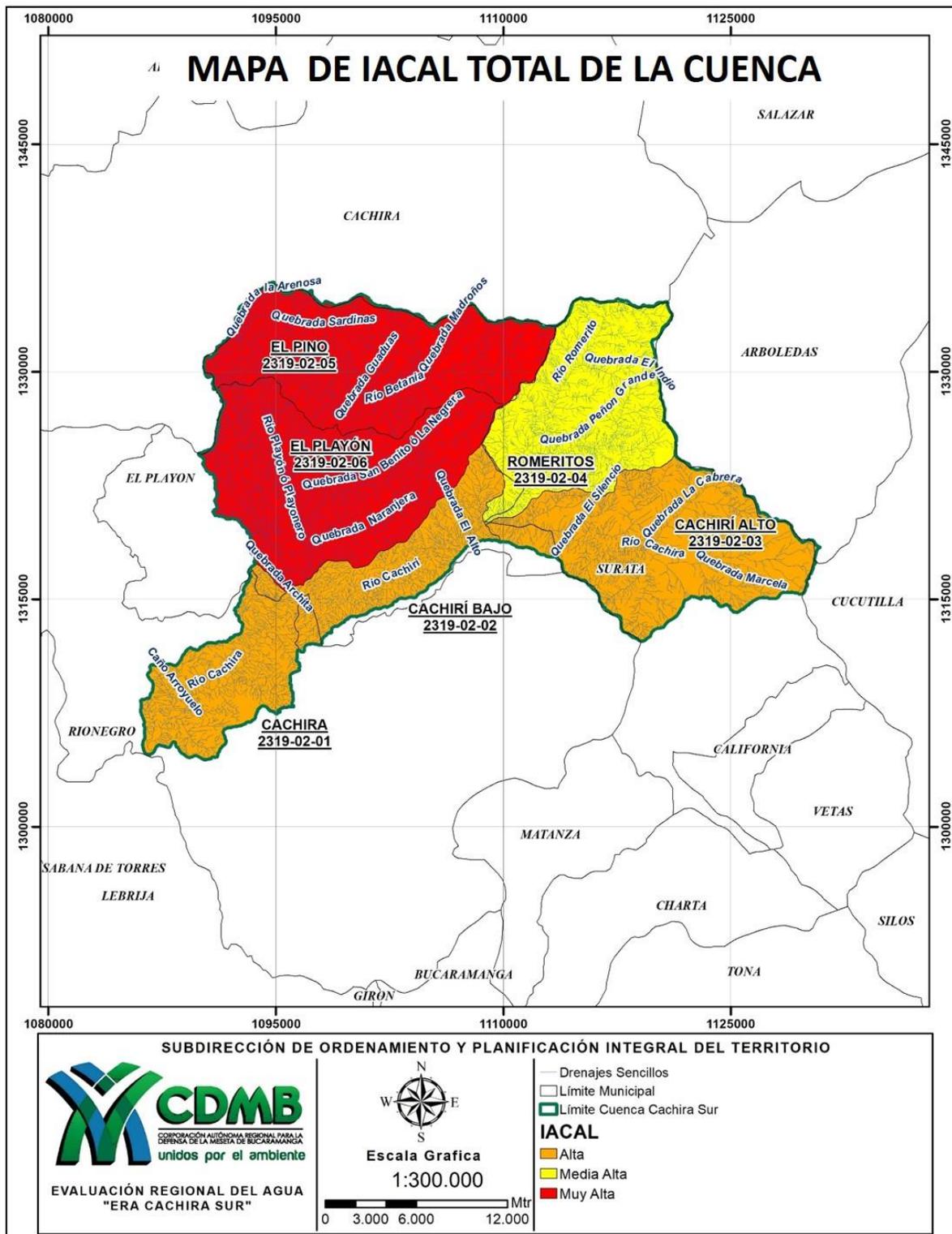


Figura 35. Gráfica del IACAL total de la cuenca. Fuente: Autores

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que la mayor presión por cargas contaminantes se encuentra en la subcuencas el Pino y El Playón, generado por la actividad de orden agrícola y pecuario de la zona, mientras que la Subcuenca de cachiri, bajo y alto presenta una presión alta, principalmente por la actividad pecuaria y doméstica.

En la Subcuenca de Cáchira se presenta una presión alta, que obedece a las cargas contaminantes y vienen de los sectores altos o de las subcuencas Cachiri bajo y alto, Pino y Playón, mientras que el Subcuenca Romeritos presenta una potencial presión media alta.

Otro aspecto a tener en cuenta es la falta de sistema de tratamiento de aguas residuales de los núcleos poblacionales asentados en la zona lo que influye en la presión sobre el recurso hídrico.

En el informe sobre calidad de agua superficial del año 2010 realizado por el IDEAM, la zona hidrográfica donde se encuentra la cuenca del río Cáchira presenta un índice de alteración de calidad muy alto para el periodo medio.

Los resultados muestran que el índice de presión por contaminación en época seca tiene una calificación de muy alta, lo cual se presenta por la baja disponibilidad hídrica de la zona y la presión constante de los contaminantes por las acciones antrópicas desarrolladas en la zona.

7.8 Índice de calidad de agua (ICA)

El concepto de calidad del agua que se plantea, apropia la definición de la Directiva Europea Marco del Agua, que asume que es necesario proteger un cuerpo de agua más como un bien ambiental que como un recurso para ser explotado y que no pretende una caracterización en función del uso (IDEAM, 2010).

El índice de calidad del agua, es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto variables, registradas en una red de monitoreo. Este indicador permite conocer las condiciones de calidad físico-química y microbiológica de un cuerpo de agua, e identifica problemas de contaminación en un punto determinado.

La Corporación Autónoma Regional CDMB desde el año 1999 ha venido realizando el cálculo de índice de calidad de agua (desarrollado por la National Sanitation Foundation) a partir de 9 parámetros que son el Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales, Turbiedad, Coliformes Fecales, PH y Temperatura.

Datos que fueron tabulados desde el año 2000 a 2015, con el fin de ver su comportamiento histórico a través del tiempo en los puntos de monitoreo definidos por la CDMB como se visualiza en la Figura 36.

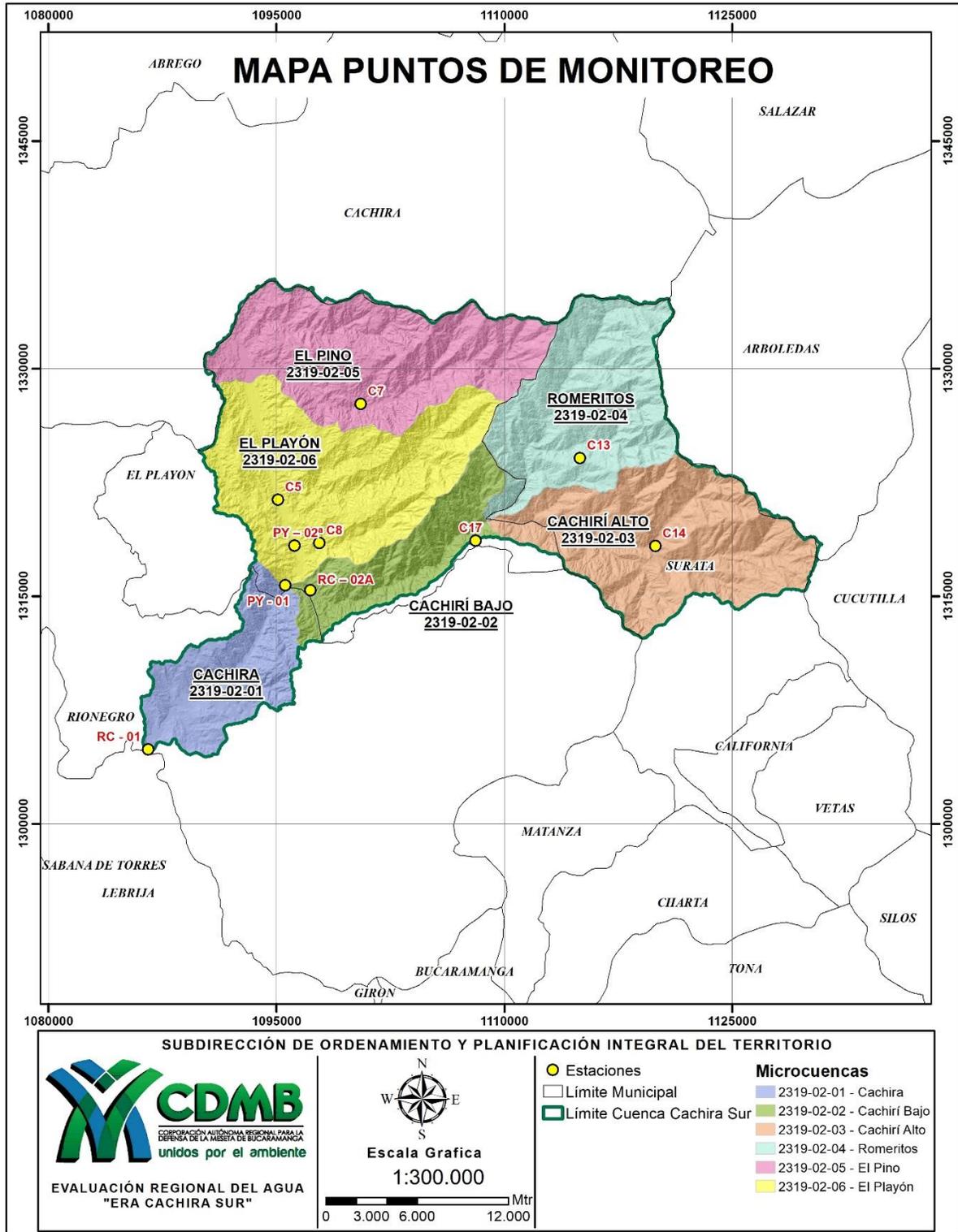


Figura 36. Mapa puntos de monitoreo Cáchira Sur

7.8.1 Metodología del cálculo (ICA)

El índice de Calidad del Agua ICA es calculado como la multiplicación de todos los nueve parámetros como se muestra en la ecuación.

(Ecuación 22)

$$ICA = \prod_{i=1}^n C_i^{W_i}$$

Donde:

C_i =Calidad del i ésimo parámetro, un número entre 0 y 100, obtenido del respectivo gráfico de calidad, en función en su concentración o medida.

W_i =Valor ponderado correspondiente al i ésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de valores W_i es igual 1, siendo i el número de parámetros que entran en el cálculo.

El ICA toma valores entre 0 y 100, los valores más bajos indican una peor calidad y mayores limitaciones para el uso del agua. La aplicación de ICA se utiliza como una herramienta para determinar el estado de las cuencas de la región en un tiempo determinado y con su análisis se puede evaluar las restricciones en los usos definidos en cada tramo de una corriente. (CDMB-2000).

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 19,0	Pésima	Rojo
20,0 – 36,0	Inadecuada	Naranja
37,0 – 51,0	Dudosa	Amarillo
52,0 – 79,0	Buena	Verde
80,0 – 100,0	Optima	Azul

Tabla 73. Descriptores de la Calidad del ICA. Fuente: CDMB-2000.

7.8.2 Índice de calidad de agua promedio

Teniendo en cuenta que la información generada por la CDMB, en lo referente al cálculo del índice de calidad el agua – ICA, se encuentra ponderada por año, no es posible calcular el ICA para periodos seco y húmedo de acuerdo a la metodología de la IDEAM, debido a que se cuenta con un valor anual por fuente y subcuenca Nivel II, tal y como se resume en la siguiente tabla:

FUENTE DE CONTROL	ESTACIÓN	ICA PROMEDIO MULTIANUAL	CLASIFICACIÓN
Río Playón	PY-02A	62,74	BUENA
Río Playón	PY-01	56,7	BUENA
Río Cachiri	RC-02A	61,44	BUENA
Río Cáchira	RC-01	57,52	BUENA

Tabla 74. Índice de calidad promedio. Fuente: CDMB, 2016.

En la Figura 37 se observa la calidad de los tramos de corriente en la cuenca Cáchira Sur

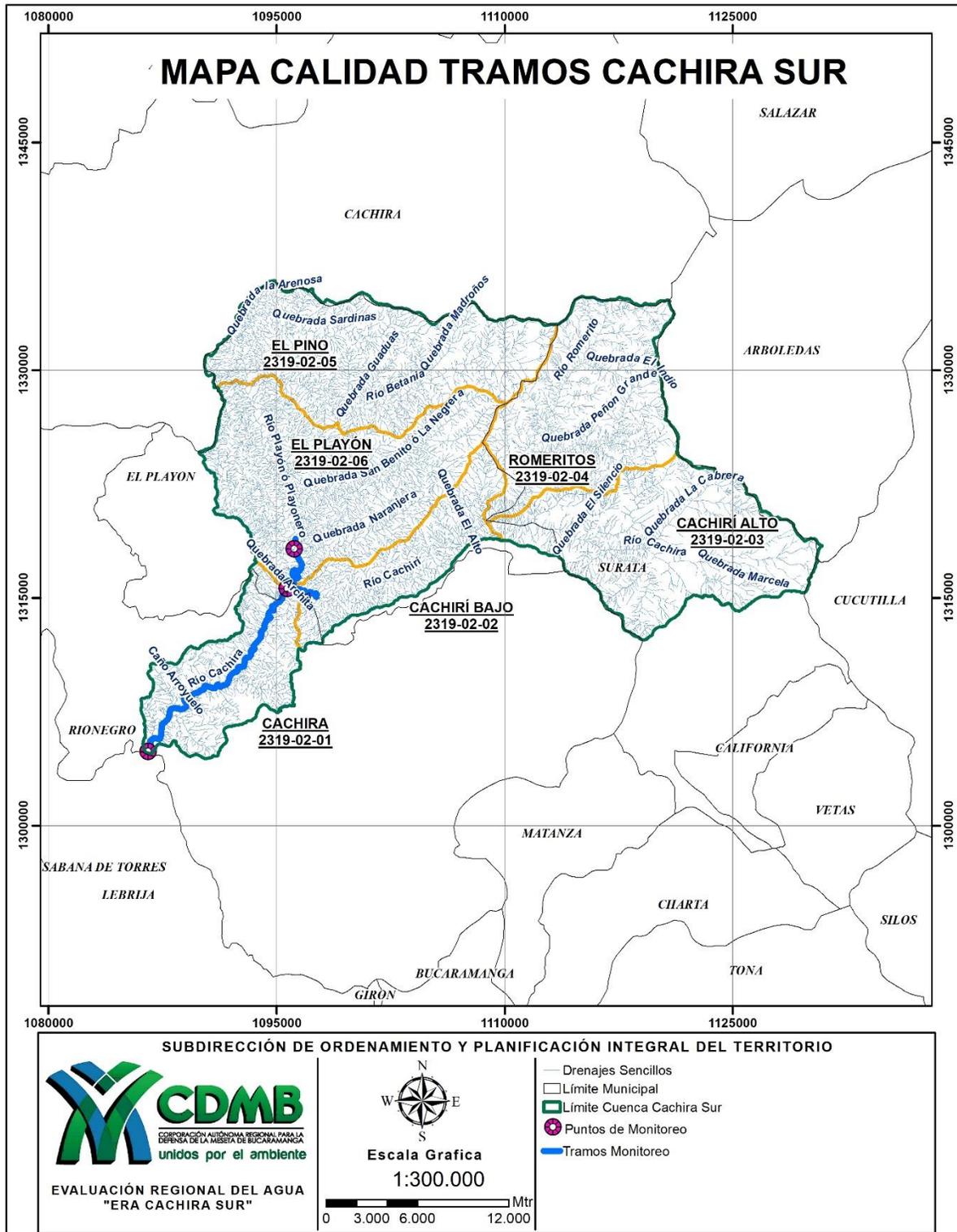


Figura 37. Mapa calidad tramos Cáchira Sur. Fuente: CDMB

8. ANALISIS INTEGRAL DE LA CUENCA CACHIRA SUR

Para realizar el análisis integrado de la cuenca, se siguió la metodología propuesta por la CAR para la Evaluación Regional del Agua-CDMB, en la Cuenca Alta del Río Bogotá, ya que permite conocer la disponibilidad del agua en la cuenca mediante el desarrollo de los diferentes indicadores para determinar el grado de disponibilidad, calidad y riesgo del recurso hídrico.

La metodología consiste en dar un puntaje de acuerdo a la criticidad de cada indicador, representando con color rojo la situación más crítica y por lo tanto un nivel de importancia de 5 y en color azul la situación más favorable con grado de importancia de 1.

Se realiza la calificación y sumatoria de cada calificación de los indicadores y se promedia por el número de indicadores. Las categorías de criticidad se encuentran relacionadas en la Tabla 75.

CATEGORIA DE CRITICIDAD INTEGRAL		
RANGO	COLOR	
MAYOR A 4,5		MUY ALTO
3,6 - 4,5		ALTO
2,6 - 3,5		MEDIO
1,6 - 2,5		BAJO
MENOR A 1,5		MUY BAJO

Tabla 75. Categoría de criticidad integral. Fuente CAR Cuenca Alta del Río Bogotá.

Los indicadores que se tuvieron en cuenta para el análisis integral a escala anual con condición de año normal son: Índice de Aridez (IA), Índice de Regulación Hídrica (IRH),

Índice de Uso de Agua (IUA), Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), Índice de Calidad del Agua (ICA), Índice de Alteración Potencial de la calidad del Agua (IACAL) y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

Un resumen de los indicadores por Subcuenca Nivel II y la valoración de la criticidad son presentados en la Tabla 76.

CODIGO	SUBCUENCA	IA	IRH	IUA	IVH	ICA	IACAL	IVET	TOTAL	PROMEDIO	CALIFICACION
2319-02-01-00	CACHIRA	1	1	1	1	2	4	4	14	2.00	BAJO
2319-02-02-00	CACHIRI BAJO	2	1	1	1	2	4	3	14	2.00	BAJO
2319-02-03-00	CACHIRI ALTO	2	1	1	1	2	4	3	14	2.00	BAJO
2319-02-04-00	ROMERITOS	2	1	1	1	2	3	3	13	1.86	BAJO
2319-02-05-00	EL PINO	3	1	1	1	2	5	4	17	2.43	BAJO
2319-02-06-00	EL PLAYONERO	2	1	5	5	2	5	4	24	3.43	MODERADO

Tabla 76. Evaluación integral de la Cuenca Cáchira Sur.

En la evaluación Integral de la cuenca Cáchira Sur, se aprecia que todas las Subcuencas presentan una baja calificación excepto la Subcuenca El Playonero. (ver Figura 38)

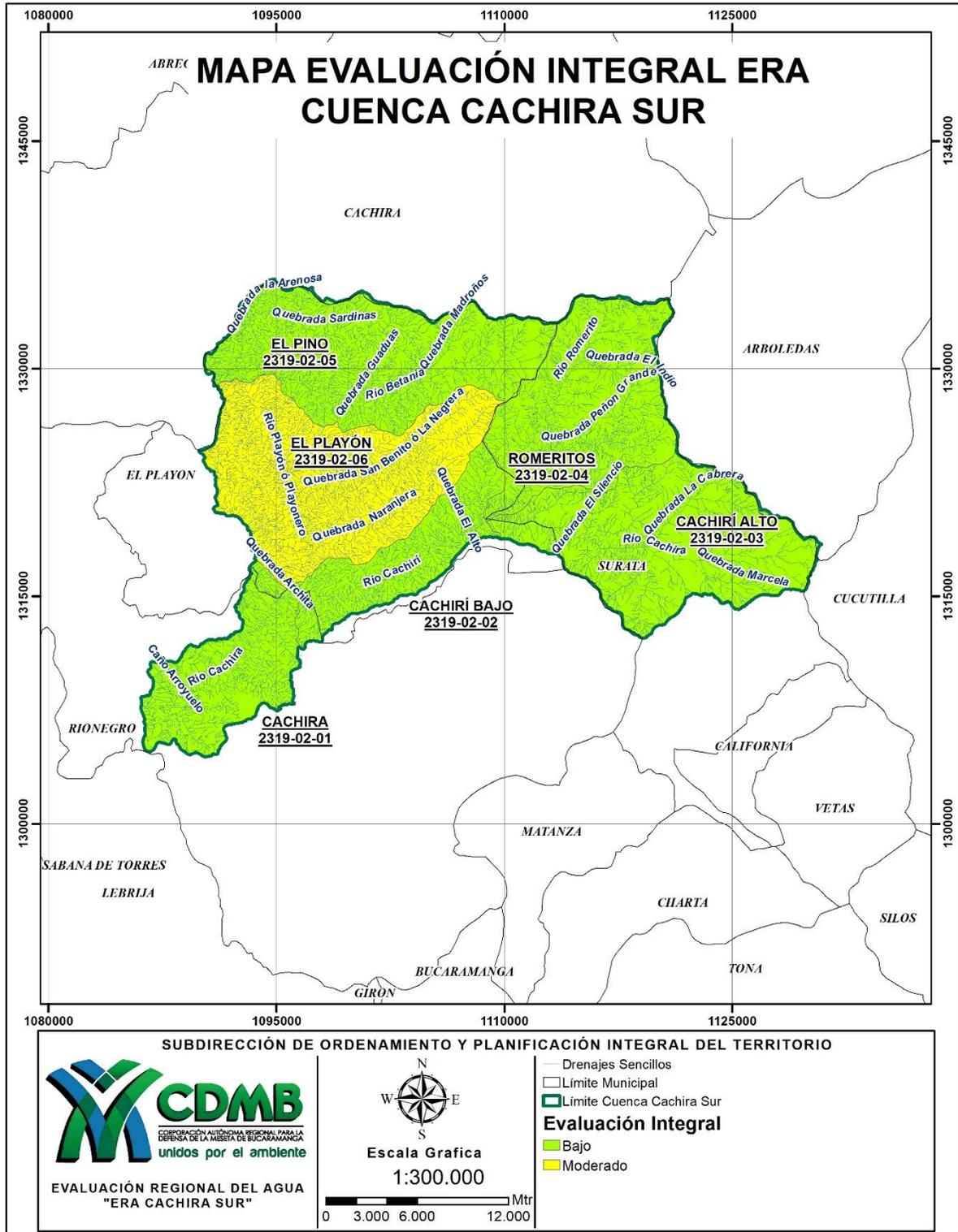


Figura 38. Evaluación integral ERA cuenca Cáchira Sur

9. CONCLUSIONES

1. El Índice de Aridez (Ia) de la cuenca Cáchira Sur fluctúa entre 0.16 y 0.31. En la parte baja de la cuenca se presentan Excedentes de agua; Los valores de Moderados a excedentes de agua se ubican en la mayor parte de la cuenca, detectándose en la cuenca del río El Pino valores de moderados referentes a Excedentes de agua, lo que permite concluir que a la fecha no existe riesgo de aridez en la cuenca.
2. La variación del índice de Aridez (Ia) en año hidrológico seco las Subcuencas Nivel II, pasan a valores altamente deficitarios en la mayoría de la cuenca; en la parte baja, la cuenca presenta niveles de deficitarios excedentes de agua. Para el año hidrológico húmedo toda la cuenca de Cáchira Sur se califica como altos excedentes de agua.
3. Dentro de la cuenca Nivel I Cáchira Sur, no se encuentran estaciones hidrológicas para el cálculo del Índice de Retención Hídrica (IRH).
4. Los valores del Índice de Retención Hídrica (IRH) para cada una de las cuencas Nivel II en la Cuenca Nivel I Cáchira Sur, se calculó mediante la generación de caudales modelos de lluvia-escorrentía.
5. Los valores del Índice de Retención Hídrica (IRH) en la cuenca Cáchira Sur Nivel I, reportó valores de muy alta capacidad para retener y regular caudales
6. El Índice de Uso de Agua (IUA) presenta para el comportamiento hidrológico normal, niveles muy altos de presión de la demanda con respecto a la oferta disponible en las cuencas Nivel II El Playón; las demás cuencas Nivel II se presentan niveles muy bajos de presión de la demanda con respecto a la oferta disponible. El nivel de muy alta presión en la cuenca de El Playón, obedece a que en esta cuenca es donde más se concentra la demanda.

7. Para la condición hidrológica de año seco, el valor del Índice de Uso de Agua (IUA) para las cuencas Nivel II de El Pino pasa a muy alta presión de la demanda con respecto a la oferta, y las cuencas Nivel II de Cachiri Bajo y Cachiri Alto tienen un valor de IUA de Baja presión.
8. El Índice de Vulnerabilidad por abastecimiento hídrico (IVH) nos está indicando que, para las condiciones de año hidrológico normal la cuenca Nivel II, El Playón presenta nivel de media fragilidad para mantener una oferta de abastecimiento de agua. Así mismo, el año hidrológico de condiciones secas se adicionan a ésta categoría la cuenca Nivel II, El Pino.
9. El Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT), que expresa el comportamiento de la escorrentía, la velocidad y capacidad de arrastre de una cuenca para inferir la susceptibilidad a eventos torrenciales, presenta niveles altos para las cuencas de Nivel II, Cachiri Bajo, El Pino y El Playón. Para las demás Subcuencas Nivel II su calificación es de Media.
10. El Índice de variabilidad (IV) que muestra la diferencia de los caudales mínimos y máximos, indica un nivel bajo para los caudales generados en cada una de las Subcuencas Nivel II.
11. Por lo anterior, el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) presenta un comportamiento similar al Índice Morfométrico con valores altos para las Subcuencas Cachiri Bajo, El Pino y El Playón. Las demás Subcuencas Nivel II presentan valores medios de Vulnerabilidad.
12. El Índice de Alteración Potencial de Calidad del Agua (IACAL) calculado para condición hidrológica de año normal muestra un comportamiento potencial con respecto a la DBO muy alto para la Subcuencas Subcuencas Nivel II, El Pino, y de categoría Alta para la Subcuencas Nivel II El Playón, lo que obedece principalmente

a la presencia de áreas urbanas y centros poblados, así como la actividad pecuaria y algunos tipos de industria: las Subcuencas Nivel II, Cáchira, Cachiri Bajo y Cachiri Alto, presenta una probabilidad de presión media alta, la cual se origina por las cargas pecuarias presentes en la zona y la población dispersa asentada en ellas.

13. En condiciones de año hidrológico seco los indicadores de IACAL para DBO, DQO-DBO, SST, N y P al igual que el valor ponderado sufren un deterioro en su calificación debido a los caudales muy bajos de dilución.
14. Con respecto a los índices de nutrientes, como por ejemplo el fósforo total, se observa una alteración potencial muy alta en todas las Subcuencas Nivel II, lo que significa que esta variable está pasando de ser un nutriente y convertirse en un contaminante, situación que no favorece las fuentes superficiales.
15. Con respecto al nitrógeno total, en todas las Subcuencas Nivel II se presenta una alteración muy alta, lo cual no es beneficioso especialmente teniendo en cuenta las condiciones ambientales provocadas por el cambio climático en proceso, que acentúan los procesos de toxicidad como efecto de disminución de la dilución en las zonas de menor pluviosidad, además de una mayor incidencia de procesos de eutrofización y mayor proliferación de algas tóxicas.
16. Con relación al Índice de Calidad del Agua (ICA). El Índice de Calidad ICA promedio, presenta una calificación Buena en las unidades hidrológicas Nivel II Cáchira Sur.
17. Las evaluaciones integrales del recurso hídrico superficial reportan valores de media criticidad para las Subcuencas El Playón producto de valores muy alta presión de la demanda con respecto a la oferta disponible (IUA), muy alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) y muy alto Índice de Alteración Potencial de

Calidad del Agua (IACAL). Adicionalmente presenta alta vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET).

18. Los valores de la evaluación integral del recurso hídrico superficial para el resto de Subcuencas se ubican en niveles bajos de criticidad.

9.1 Acciones

- En el marco conceptual de la ERA, el Índice de alteración de la calidad IACAL, está relacionado con las cargas contaminantes Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos suspendidos totales (DBO₅ y SST). Así mismo, en las metas globales de carga contaminante en el Instrumento económico Tasa Retributiva, se determinan estos parámetros, que pueden afectar el comportamiento del mencionado índice. Por esta razón, la información de la Tasa Retributiva se configura en la base para la evaluación de la presión causada por estas cargas puntuales en la cuenca. Aunque las metas globales solo están relacionadas a DBO₅ y SST, es importante tener en cuenta que las caracterizaciones de los vertimientos, pueden contener la presencia de cargas para las otras variables que conforman el IACAL.
- La aplicación del instrumento económico Tasa Retributiva, es fundamental para reducir la presión por contaminación, ya que este instrumento se debe ajustar al cumplimiento de las metas de globales cargas contaminantes para DBO₅ y SST, para el próximo quinquenio, con el fin de disminuir el Índice de Alteración Potencial de Calidad del Agua (IACAL), que se encuentra Muy Alto para las Subcuencas Nivel II, El Playón y El Pino en la condición hidrológica de año normal.
- De la misma forma, en condiciones de año hidrológico seco los indicadores de IACAL para DBO, SST, sufren un deterioro en su calificación debido a los caudales muy bajos por efectos de dilución.

- Es importante especificar el uso del agua cuando se otorguen concesiones para así tener una demanda real del uso de este recurso en la subcuenca ya que solamente se cuenta con uso doméstico y otros usos.
- Implementar programas de ahorro y uso eficiente del agua donde el uso del agua en las zonas donde el uso es muy alto y alto para tener un manejo integral del recurso hídrico en la cuenca Cáchira Sur.
- La CDMB, como entidad responsable de la protección de los recursos naturales, le corresponde implementar la red de calidad y cantidad de aguas subterráneas, con el fin de definir el tipo predominante de aguas, concentración de iones disueltos, composición química con respecto a la profundidad en la jurisdicción de la CDMB teniendo en cuenta las subcuencas Hidrogeológicas.
- La CDMB como autoridad ambiental debe tener conocimiento de las diferentes variables del ciclo hidrológico, razón por lo cual se deben implementar estaciones hidrológicas de registro continuo y con transmisión en tiempo real.

10. BIBLIOGRAFIA

Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua (ERA). Bogotá D.C.

Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2010). Estudio Nacional del Agua (ENA). Bogotá D.C.

Colombia, Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga – CDMB, (2015). POMCA Cuenca Alto Lebrija.

Colombia Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico- MADS 2010-2022, Bogotá D.C.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, (2016). Plan de Acción Trienal 2016-2019. Bucaramanga

Colombia, Corporación Autónoma Regional Cundinamarca-CAR, 2009, Evaluación Regional del Agua Cuenca Alta río Bogotá, Bogotá D.C.

Arias, A. 2017, Apoyo en el análisis de la información hidroclimatológica para la generación de indicadores del estudio regional del agua del área de jurisdicción de la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga. Trabajo de grado. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Bucaramanga.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, Cartografía

ANEXOS:

- Anexo 5, Consistencia de datos CS
- Anexo 6, Curvas IDF CS
- Anexo 7, ETP Balance Caudales CS