

An aerial photograph of a river valley in a mountainous region. The river flows through a lush green valley, surrounded by steep, forested hills. The sky is a clear, light blue. The text is overlaid on the image.

Documento

***Evaluación
Regional del Agua-
ERA***

Cuenca Lebrija Medio

Corporación Autónoma Regional para la
Defensa de la Meseta de Bucaramanga

C D M B

2019

EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA- ERA

Cuenca Lebrija Medio

Corporación Autónoma Regional para la Defensa
de la Meseta de Bucaramanga

CDMB

2019

DOCUMENTO

Elaboración	<p style="text-align: center;">Olga Johanna Sanabria Suescun Química-Especialista Ingeniería Ambiental</p> <p style="text-align: center;">Carlos Mauricio Torres Galvis Ingeniero Civil</p>	Diciembre/2019
Soporte	<p style="text-align: center;">Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Lebrija Medio-POMCA 2015</p> <p style="text-align: center;">Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación regional del agua –ERA 2013</p> <p style="text-align: center;">Estudio Nacional del Agua-ENA 2010</p> <p style="text-align: center;">Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010</p> <p style="text-align: center;">Decreto N°1640 de agosto de 2012</p>	
Revisión	<p style="text-align: center;">María Carmenza Vicini Martínez Coordinadora Gestión del Conocimiento e Investigación Ambiental</p> <p style="text-align: center;">Nelson Andrés Mantilla Oliveros Subdirector Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio-SOPIT</p>	Diciembre/2019
Aprobación	<p style="text-align: center;">Nelson Andrés Mantilla Oliveros Subdirector Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio-SOPIT</p>	Diciembre/2019
Dirección	<p style="text-align: center;">Dr. Martin Camilo Carvajal Camaro Director General CDMB</p>	

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	9
SECCIÓN A. MARCO GENERAL DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA -ERA CUENCA LEBRIJA MEDIO	10
CAPITULO 1. CONTEXTO GENERAL	11
1.1 Propósito del Evaluación Regional del Agua- ERA, Cuenca Lebrija Medio	11
1.1.1. Objetivo General	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 Justificación	11
1.3 Marco de contextual	12
1.3.1 Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH-2010-2022)	12
1.3.2 Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010	12
1.3.3 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)	13
1.3.4 Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)	14
1.3.5 Planificación, ordenamiento Territorial Ambiental y del Territorio	14
1.3.6 Evaluación Regional del Agua –ERA	15
SECCIÓN B	17
CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL	18
2.1 Ciclo del Agua ERA Y ENA	18
2.2 Sistema de Indicadores Hídricos	20
SECCIÓN C	23
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DEL AGUA- CUENCA LEBRIJA MEDIO	24
3.1 Procedimiento general para la evaluación del agua en la Cuenca Lebrija Medio	24
3.2 Instrumentos	25
3.2.1 Instrumentos técnicos	25
3.2.2 Instrumentos de planificación ERA 2013	25
3.2.3 Instrumentos económicos	26
SECCIÓN D	27
CAPITULO 4. INFORMACIÓN GENERAL DE LA CUENCA LEBRIJA MEDIO	28
4.1 Localización de la cuenca en estudio	28
4.2 División Hidrológica de la Cuenca Nivel I Lebrija Medio	29
4.3 Distribución Pendientes cuenca Lebrija Medio-Nivel	30
4.4. Red de estaciones climatológicas	31
4.5 Red estaciones Hidrometereológicas	34
SECCIÓN E	35
CAPITULO 5. AGUA SUPERFICIAL	36
5.1 Conceptos básicos	36
5.1.1. Oferta Hídrica Superficial	36
5.1.2. Oferta Hídrica Disponible (OHTD) (IDEAM, 2010 a, c.p. IDEAM; MADVT, 2013	36
5.1.3. Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD)	36
5.1.4. Oferta Hídrica Regional aprovechable (OHRA)	37
5.1.5. Caudal Medido en la Estación (Q est)	37
5.1.6. Caudal Ambiental (Qamb)	37
5.1.7. Año Hidrológico Medio y Año Hidrológico Húmedo	37

5.1.8. Año Hidrológico Seco	38
5.1.9. Caudal de Retorno (Qr)	38
5.1.10 Caudal Extraído (Qex) y Caudal de Trasvase (Qtr)	38
5.1.11. Balance Hídrico	38
5.1.12. Precipitación	40
5.1.13. Escorrentía	40
5.1.14. Evapotranspiración Real (ERT)	41
5.1.15 Evapotranspiración Potencial (ETP)	41
5.1.16. Almacenamiento	43
5.1.17. Área de la cuenca	43
5.1.18 Perímetro de la cuenca	43
5.1.19 Longitud del cauce principal	43
5.1.20 Longitud axial de la cuenca	43
5.1.21. Vulnerabilidad Hídrica	44
5.1.22. Demanda Hídrica (Dh)	44
5.1.22.1. Consumo Humano o Doméstico (DUD)	45
5.1.22.2. Consumo en Sector Agrícola (DUA)	46
5.1.22.3. Consumo Pecuario (DUP)	46
5.1.22.4. Consumo Industrial (DUI)	47
5.2. Indicadores	47
5.2.1. Índice de Aridez (Ia)	47
5.2.2. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)	48
5.2.3. Índice de uso de Agua (IUA)	50
5.2.4. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH)	51
5.2.5. Índice de Calidad del Agua (ICA)	52
5.2.6 Índice de Alteración "Potencial de la Calidad del Agua – IACAL	53
5.3 Marco metodológico	54
5.3.1.1. Cuenca Intervenida	55
5.3.1.2. Cuenca no Intervenida o poco intervenida.	55
5.3.1.3. Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)	55
SECCIÓN F	57
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS	58
6.1 Características morfométricas y fisiográficas de las subcuencas Nivel II de unidades hidrográficas que componen la Cuenca Lebrija Medio	58
6.2. Parámetros Climatológicos	59
6.2.1. Estaciones Climatológicas	59
6.2.2. Información disponible	61
6.2.3. Selección del Periodo de estudio	63
6.2.4. Precipitación	66
6.2.4.1. Distribución Temporal	66
6.2.4.2. Distribución Espacial	69
6.2.4.3. Precipitación Máxima En 24 Horas	70
6.2.4.4. Análisis De Frecuencia Precipitación Máxima En 24 Horas	73
6.2.4.5. Curvas IDF	76
6.2.4.6. Número de días con lluvia	78
6.2.5. Temperatura	80

6.2.5.1. Temperatura Media	80
6.2.5.2. Temperatura Máxima	81
6.2.5.3. Temperatura Mínima	83
6.2.5.4. Relación Altitud Vs Temperatura	84
6.2.6. Humedad Relativa	87
6.2.6.1. Distribución Espacial	88
6.2.7. Evaporación	88
6.2.7.1. Distribución Espacial	89
6.2.8. Brillo Solar	90
6.2.9. Viento	93
6.2.9.1. Velocidad y Dirección del Viento.	93
6.2.9.2. Recorrido del viento	95
6.2.10 Evapotranspiración.	96
6.2.10.1. Evapotranspiración Potencial.	96
6.2.10.2. Evapotranspiración Real (ETR)	99
6.2.11. BALANCES HIDROCLIMÁTICOS	101
6.2.11.1. Balances hidroclimáticos a nivel de subcuenca.	101
6.2.11.2. Balance hídrico de largo plazo	107
6.2.12. Zonificación Climática	109
6.3. Parámetros Hidrológicos	113
6.3.1. Estaciones Hidrológicas	113
6.3.3. Selección del periodo de estudio	116
6.3.4. Análisis visual de las series de datos	118
6.3.5. Análisis de los datos de las estaciones hidrológicas	118
6.3.6. Distribución temporal.	119
6.3.7. Estimación Caudales Característicos	123
6.3.8. Análisis de valores extremos	133
6.3.8.1. Caudales Máximos.	133
6.3.8.2. Caudales Mínimos.	138
6.3.9 Estimación de la Oferta Hídrica	142
6.3.9.1. Oferta Hídrica Año Hidrológico Normal	143
6.3.9.2. Oferta Hídrica Año Hidrológico Seco.	144
6.3.9.3. Oferta Hídrica Año Hidrológico Húmedo.	145
6.3.10. Balance Hídrico.	145
6.3.10.1. Precipitación	146
6.3.10.2. Escorrentía	146
6.3.10.3. Evapotranspiración Real	146
6.3. 11 Estimación del balance a nivel de cuenca y subcuenca	147
6.3.12. Rendimiento hídrico	152
6.3.13. Caudal Ambiental	155
6.3.13.1. Métodos para la Estimación de Caudales Ambientales	156
6.3.13.1.1. Metodología 1: Resolución 865 de 2004	156
6.3.13.1.2. Metodología 2: Método basado en el índice de retención y regulación hídrica	156
6.3.13.1.3. Metodología 3: Cálculo de Q95 y 7Q10 para condiciones secas, húmedas y neutrales	156
6.3.13.2. Valores de Caudales Ambientales de acuerdo a cada Metodología	157

SECCIÓN G	162
CAPITULO 7 INDICADORES	163
7.1. Demanda hídrica	163
7.1.1. Demanda Hídrica Concesionada	163
7.1.2. Demandas de agua para consumo humano	163
7.1.2.1. Método de extrapolación aritmético.	164
7.1.2.2. Método geométrico.	164
7.1.2.3. Método de crecimiento logarítmico.	165
7.1.3. Consumo agropecuario	165
7.1.3.1. Demanda de agua para usos agropecuarios	166
7.1.3.1.1. Precipitación efectiva (Pe).	168
7.1.3.1.2. Contribución de las aguas subterráneas (Ge).	168
7.1.3.1.3. Almacenamiento de agua en el suelo (Wb).	169
7.1.4. Estimativos de demanda de agua para consumo industrial	169
7.1.4.1. Consumo industrial	169
7.1.5. Calculo general de la Demanda.	171
7.2. Índice de Aridez.	172
7.3. Índice de Retención y Regulación Hídrica - IRH	175
7.4. Índice de Uso de Agua Superficial (IUA)	178
7.5. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH)	181
7.6. Índice de susceptibilidad por eventos torrenciales (IVET)	184
7.6.1. Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)	184
7.6.2. Índice de Variabilidad de Caudales (IVQ)	188
7.6.3. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)	190
7.7. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)	192
7.7.1. Calculo IACAL para Año Hidrológico Medio	197
7.7.2. Calculo IACAL para Año Hidrológico Seco.	202
7.8. Índice de calidad del agua (ICA)	206
7.8.1. Generalidades	206
7.8.2. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)	206
7.8.3. Metodología de cálculo ICA	207
7.8.3.1. Oxígeno Disuelto (OD)	209
7.8.3.2. Solidos Suspendidos Totales (SST)	209
7.8.3.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	210
7.8.3.4. Conductividad Eléctrica (CE)	210
7.8.3.5. Potencial de Hidrogeno (PH)	210
7.8.3.6. Relación Nitrógeno/Fosforo Total	211
7.8.3.7. E. Coli	211
7.8.4. Resultados del índice de calidad del agua (ICA)	211
7.8.4.1. A Nivel Nacional	211
7.8.4.2. A Nivel Regional	212
7.8.4.3. Datos Monitoreo de calidad para condición de Año Hidrológico Seco	213
7.8.4.3.1. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Cáchira del Espíritu Santo	217
7.8.4.3.2. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Lebrija Medio y Directos	218
7.8.4.3.3. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II la tigua	220

7.8.4.3.4. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Quebrada Doradas	221
7.8.4.3.5. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II La Platanala	221
7.8.4.3.6. ICA Otras Unidades Hidrológicas Nivel II	221
7.8.4.4. Datos Monitoreo de calidad para condición de Año Hidrológico Época húmeda	223
7.8.4.4.1. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Cáchira del Espíritu Santo	226
7.8.4.4.2. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Lebrija Medio y Directos	226
7.8.4.4.3. ICA Unidades Hidrológica Nivel II La Tigra	227
7.8.4.4.4. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Quebrada Doradas	228
7.8.4.4.5. ICA Unidades Hidrológica Nivel II La Platanala	228
7.8.4.4.6. ICA Otras Unidades Hidrológica Nivel II	229
SECCIÓN H	231
CAPITULO 8. ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CUENCA LEBRIJA MEDIO	232
SECCIÓN I	237
CAPITULO 9. CONCLUSIONES	238
9.1 Acciones	239
BIBLIOGRAFIA	240
LISTADO DE TABLAS	241
LISTADO DE FIGURAS	244

INTRODUCCIÓN

Las CARs CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR adoptaron las Evaluaciones Regionales del Agua – ERA, reglamentadas en el artículo 8° del Decreto N°1640 de agosto de 2012; con el fin de determinar la situación actual de la oferta, demanda, calidad y análisis de riesgos vinculados a la dinámica del agua y de esta forma avanzar en el conocimiento de las cuencas hidrográficas de la jurisdicción. La ERA integra los temas definidos en la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico – 2010 y se siguen los lineamientos conceptuales y metodológicos contenidos en el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010 y la Evaluación Regional del Agua (ERA) 2013 apuntando al cumplimiento de los objetivos de la Política Nacional del Recurso Hídrico entre los que se destacan, evaluar las microcuencas Nivel III que surten los acueductos municipales, las condiciones de calidad de las fuentes, la cantidad de agua en periodos de tiempos normales, húmedos y secos, y las amenazas y los riesgos asociadas al recurso hídrico.

En el presente documento se encuentran los resultados de la Evaluación Regional del Agua (ERA) para la **CUENCA LEBRIJA MEDIO**, jurisdicción de la CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR, en el cual se presenta 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 de la CDMB en el POMCA Lebrija Medio, y contribuye aportando información y conocimiento sobre la oferta, la demanda, la calidad, el riesgo, las respuestas hidrológicas a la variabilidad climática. Así mismo, determina indicadores que dan cuenta de las presiones por uso, afectaciones y criticidad del sistema hídrico. En conclusión, esta evaluación en la Cuenca Lebrija Medio, servirá de guía para la ejecución de las evaluaciones en las otras cuencas que pertenecen al área de jurisdicción de la CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR.

MARCO GENERAL DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA -ERA CUENCA
LEBRIJA MEDIO



SECCIÓN A

CAPITULO 1. CONTEXTO GENERAL

En este capítulo se presenta el objetivo, justificación y entorno en el cual se va a realizar la evaluación, y el escenario para su aplicación.

1.1 Propósito del Evaluación Regional del Agua- ERA, Cuenca Lebrija Medio

1.1.1. Objetivo General

Valorar el estado del sistema hídrico en la cuenca Lebrija Medio, como consecuencia de los procesos naturales y antrópicos para una apropiada administración, uso y manejo sostenible del agua en la región.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar y evaluar la oferta hídrica superficial con sus respectivos indicadores hídricos, para la toma de decisiones.
- Evaluar la demanda hídrica superficial.
- Determinar la calidad hídrica superficial, basada en el Índice de Calidad del Agua (ICA), y el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en la cuenca Lebrija Media.
- Realizar el balance hídrico de la Cuenca Lebrija Medio.
- Evaluar las amenazas y vulnerabilidad asociados al recurso hídrico en la Cuenca Lebrija Medio teniendo en cuenta los Índices de régimen natural como el Índice de Aridez (IA), Índice de Regulación Hídrica (IRH) y los de intervención antrópica como el Índice de Uso del Agua (IUA) y el Índice de Vulnerabilidad Hídrica al desabastecimiento (IVH).

1.2 Justificación

Las Corporación Autónoma Regional CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR, como Entidades Ambientales, a partir de la Ley 99 de 1993 son las encargadas de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente, los recursos naturales renovables y

propender por su desarrollo sostenible, razón por la cual en cumplimiento del Decreto 1640, art. 8. realizó la Evaluación Regional del Agua-ERA Cuenca Lebrija Medio que contiene el análisis de la oferta, demanda, disponibilidad, uso, calidad y vulnerabilidad del recurso hídrico teniendo en cuenta la variación climática y las posibles condiciones de cambio climático.

La Evaluación Regional del Agua – ERA, Cuenca Lebrija Medio, se constituye como el fundamento técnico para tomar decisiones acertadas con respecto al recurso hídrico, que refleja el escenario actual y las tendencias en el estado y comportamiento del agua en la región.

En su desarrollo se analizaron y evaluaron los datos, generando la información necesaria para una adecuada Gestión Integral Recurso Hídrico. Adicionalmente, la información sirve de apoyo en la aplicación de instrumentos económicos y en la elaboración y seguimiento de los planes ambientales y de gestión.

1.3 Marco de contextual

1.3.1 Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH-2010-2022)

En la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico se han definido estrategias y directrices que definen hacia donde se deben direccionar las acciones de cada una de las instituciones y de los usuarios que forman parte de la gestión integral del recurso hídrico.

Esta política fue proyectada como un instrumento orientador de la gestión integral del recurso hídrico, para establecer los objetivos y estrategias en el uso y aprovechamiento eficiente del agua, el manejo del recurso por parte de las autoridades y usuarios, y la prevención de la contaminación hídrica, teniendo en cuenta el equilibrio en los aspectos sociales, económicos y ambientales.

1.3.2 Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010

El Estudio Nacional del Agua (ENA 2010), presenta el balance hídrico y las relaciones de demanda-oferta en Colombia e indicadores de sostenibilidad proyectados para el periodo

2010-2022. Este documento maneja el concepto de integralidad y apunta en forma general a los ciclos y procesos de la naturaleza, reconociendo al agua como elemento indispensable y definitivo en la dinámica de los procesos sociales y productivos. Además, proporciona elementos importantes sobre el uso del recurso y se evidencia la necesidad de avanzar en la obtención de información y el conocimiento regional, para planificar y gestionar el recurso hídrico.

Acorde al avance del ENA, 2018, el conocimiento de la distribución, estado, dinámica y presiones sobre los sistemas hídricos en cantidad y calidad, constituyen el soporte para la planificación del territorio y la toma de decisiones para determinar la funcionalidad e integralidad en los servicios ecosistémicos sus potencialidades y restricciones para efectos de aprovechamiento energético, seguridad alimentaria, abastecimiento y uso sectorial.

1.3.3 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)

La GIRH, es un proceso sistemático para el desarrollo y aprovechamiento ordenado entre los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales; donde los recursos hídricos son limitados y sus usos son independientes. Por lo tanto, se define como “un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas”.

La Gestión Integral del Recurso Hídrico es un medio que permite cumplir con 3 objetivos estratégicos:

- a- Eficiencia para lograr una mayor durabilidad de los recursos hídricos.
- b- Equidad en la disposición del recurso agua entre los diferentes grupos socioeconómicos.
- c- Sostenibilidad ambiental, para proteger los recursos hídricos y los ecosistemas conexos.

1.3.4 Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)

De acuerdo al Decreto 1323 de 2007 del IDEAM, el Sistema de Información del Recurso Hídrico –SIRH, es el conjunto de elementos que integra y estandariza el acopio, registro, bases de datos, manejo, consulta, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilitan la gestión integral del recurso.

El SIRH gestiona conocimiento respecto al estado, comportamiento y la dinámica del ciclo hidrológico en las unidades de interés hidrológico, teniendo en cuenta la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PNGIRH.

Actualmente el SIRH cuenta con información relacionada con la oferta, demanda, calidad, riesgo y gestión del recurso hídrico, la cual es procesada y consolidada, gracias al trabajo articulado que se viene adelantando con el IDEAM y las 42 autoridades ambientales competentes, que desde el año 2012 han realizado un esfuerzo conjunto para reportar y poner a disposición, la información de los usuarios y monitoreo de calidad realizada a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción.

1.3.5 Planificación, ordenamiento Territorial Ambiental y del Territorio

El territorio nacional cuenta con cinco áreas hidrográficas que contemplan, 41 zonas y 309 subzonas. La CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR, tienen a su cargo la planificación en las subzonas que pertenecen a su jurisdicción, con base en la PNGIRH que determina los niveles para planificación, ordenamiento y manejo del agua en Colombia. (ver Figura 1.)

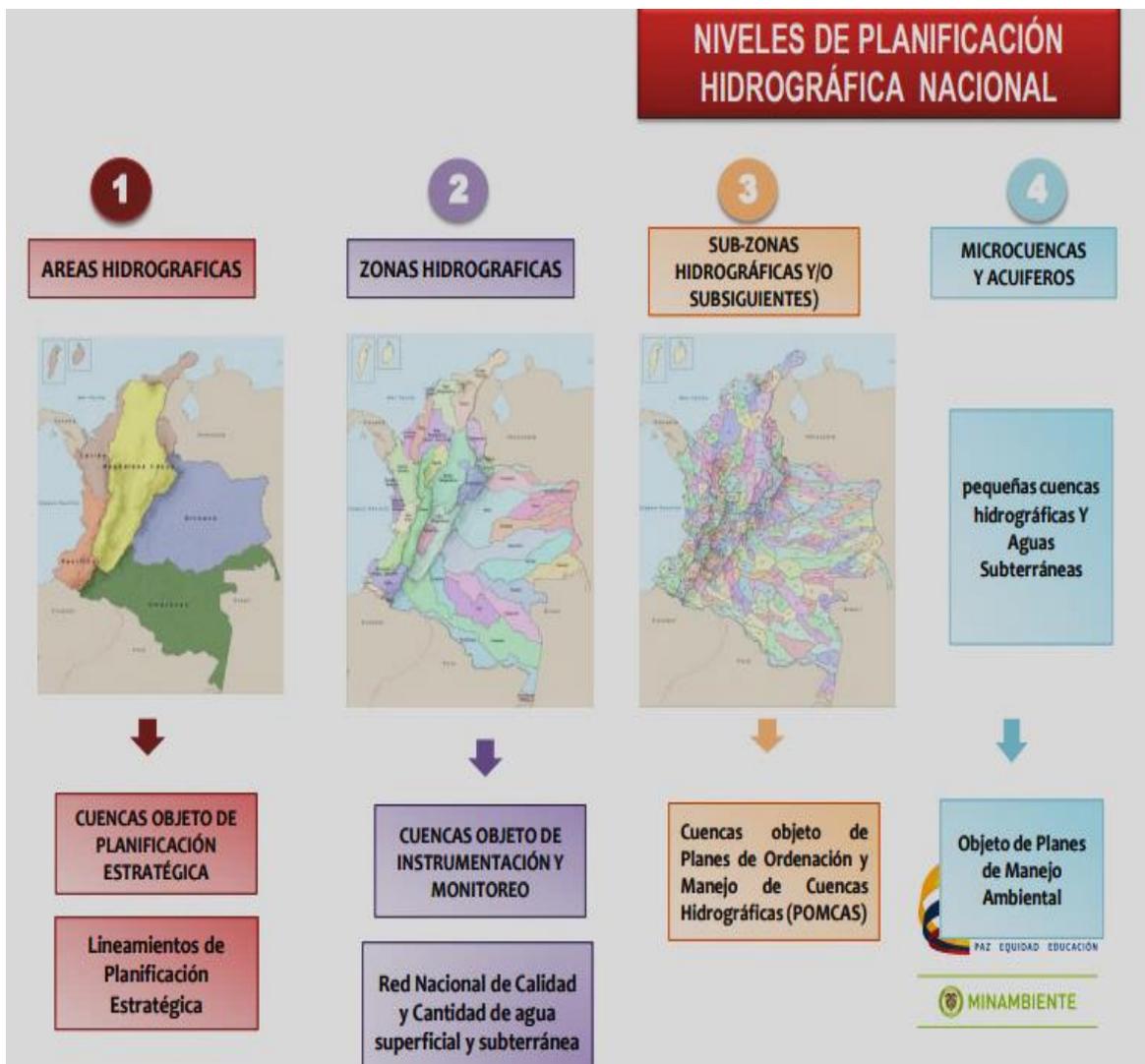


Figura 1. Niveles de planificación hidrográfica nacional MADVT, 2010.

1.3.6 Evaluación Regional del Agua –ERA

Es un instrumento articulador orientado a generar información en forma ordenada para apoyar la planificación, gestión y aplicación de los otros instrumentos. Es importante mencionar que la información de oferta, demanda, calidad y riesgos, son partes primordiales en la gestión de las autoridades ambientales y es necesario que la información esté disponible y constituya parte de los sistemas de información y de difusión de dichas entidades.

La evaluación regional se apoya en el análisis general de la situación actual y las tendencias del recurso hídrico, vinculada a la oferta, demanda, calidad, cantidad, amenaza y

vulnerabilidad del agua. Esta actividad se expresa por medio de indicadores hídricos regionales, prácticos y adecuados para la toma de decisiones.

De igual modo, las evaluaciones regionales del agua deben cumplir las necesidades de información y conocimiento para acatar la normatividad vigente, en las leyes, decretos, resoluciones nacionales, regionales y acuerdos.

Se espera que los productos técnicos generados a partir de las evaluaciones regionales del agua, sean apropiados para el cumplimiento de las funciones de las autoridades ambientales, el fortalecimiento del Sistema de Información Ambiental para Colombia-SIAC, aplicación de normas técnicas para administrar, controlar y hacer seguimiento de la hidrología y recurso hídrico en la jurisdicción de las autoridades ambientales, la ordenación de cuencas (POMCAs), la planificación y ordenamiento del uso del recurso (reglamentación de corrientes; concesiones y permisos de vertimiento), así como en instrumentos asociados al ordenamiento forestal, manejo de páramos, humedales, áreas protegidas, zonas secas, manglares, sistemas acuíferos, aguas marinas y costeras y la aplicación de instrumentos económicos como tasas por uso y tasas retributivas.



SECCIÓN B

CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL

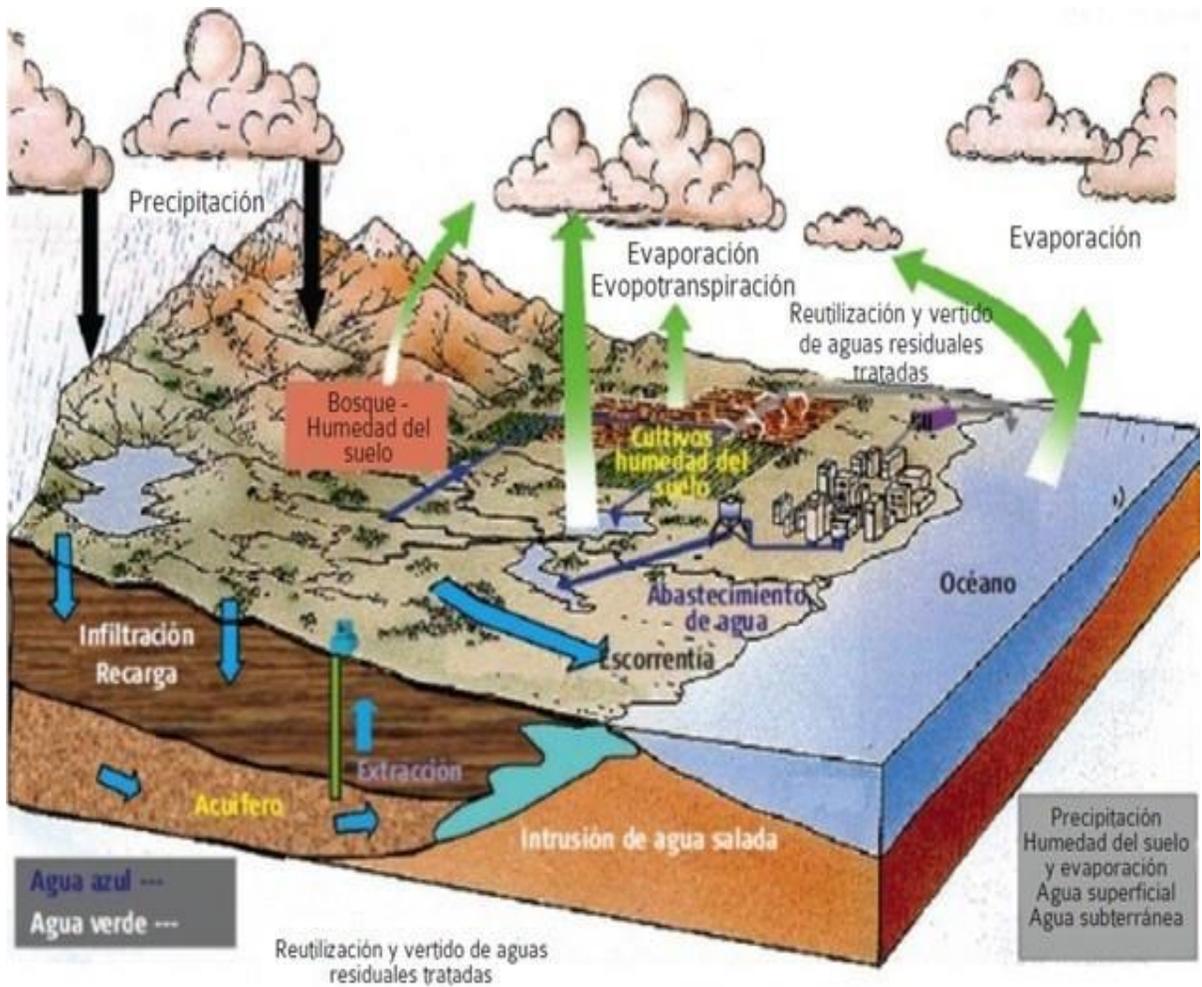
2.1 Ciclo del Agua ERA Y ENA

El ciclo hidrológico y su balance de agua global constituyen el modelo básico para comprender el funcionamiento del sistema hídrico y las interacciones entre el océano y el continente (IDEAM 1998). Está regido por procesos naturales continuos pero irregulares en el espacio/tiempo y representa la circulación y transformación del agua en sus diversos estados en la esfera terrestre. Su dinámica es determinada por las condiciones de radiación solar, acción de la gravedad y las interacciones de las capas superiores de la tierra: atmósfera, litosfera y biosfera.

Teniendo en cuenta estas condiciones, el agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida; el proceso de evaporación inicia desde la superficie del océano y a medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua por condensación. Las gotas se agrupan y forman nubes que posteriormente caen por precipitación. Si la temperatura en la atmósfera es muy baja, el agua desciende como nieve o granizo; si es cálida, cae como gotas de lluvia. (ver Figura 2.)

Una parte del agua que llega a la superficie terrestre será aprovechada por los seres vivos; otra circula por el terreno hasta llegar a ríos, lagos u océano, fenómeno conocido como escorrentía. Otro porcentaje del agua se filtrará a través del suelo formando acuíferos o capas de agua subterránea, llamada capa freática, proceso denominado infiltración.

El agua puede brotar en la superficie desde la capa freática, en forma de fuente formando arroyos o ríos. Tarde o temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación. Una gota de lluvia puede recorrer todo el ciclo o una parte de él.



Fuente: (UNESCO, 2006 a, c.p. (IDEAM, 2013))

Figura 2. Ciclo Hidrológico- Unesco 2006.

La acción del hombre altera la dinámica de los procesos naturales y la distribución espacial y temporal de la cantidad de agua superficial; en consecuencia, trastorna el balance hídrico en las unidades hidrográficas que integran una región.

La evaluación regional del Agua, Cuenca Lebrija Medio, se sustenta en el marco conceptual y el análisis general del estado actual y las tendencias del comportamiento de la oferta hídrica, demanda de agua, calidad de agua, amenaza y vulnerabilidad de las fuentes hídricas en la región. Esta dinámica se expresa con un sistema de indicadores hídricos regionales relacionados con la funcionalidad del sistema, realizables y apropiados para la toma de decisiones.

2.2 Sistema de Indicadores Hídricos

En términos generales, un indicador es la medida cuantitativa o la observación cualitativa que permite identificar cambios en el tiempo y cuyo propósito es determinar el funcionamiento de un sistema, alertando sobre la existencia de un problema, para permitir la toma de decisiones o medidas para solucionarlo, una vez se tenga claridad sobre las causas que lo generaron (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-OCDE, 2001).

De acuerdo al ENA 2010, 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:

- Índice de Uso del Agua (IUA)
- Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento (IVH)
- Índice de Calidad del Agua (ICA)
- Índice de Alteración Potencial de la Calidad (IACAL).

Además, el soporte básico para el sistema de indicadores es el sistema de información del recurso hídrico, SIRH.

Con el fin de evaluar el estado en cuanto a la cantidad y calidad del agua en Colombia, se desarrolló el "Sistema de Indicadores Hídricos" (ver Tabla 1.), sencillos y de fácil interpretación, que pretenden responder a los cuestionamientos sobre la disponibilidad del recurso y las restricciones por afectaciones a la oferta o a la calidad.

Los índices están asociados al régimen natural y a la intervención antrópica; se encuentran definidos en el orden nacional y se conservan a nivel regional (ver Tabla 1), con los ajustes metodológicos para llevarlos a la resolución pertinente y escalas mayores (IDEAM, ENA 2010).

Indicadores Hídricos			
Régimen Natural		Intervención Antrópica	
Índice de Aridez	IA	Índice de Uso del Agua	IUA
Índice de Regulación Hídrica	IRH	Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento	IVH
		Índice de Amenaza potencial por Afectación a la Calidad del Agua	IACAL
		Índice de Calidad del Agua	ICA

Tabla 1. Indicadores hídricos, ENA 2010

El conjunto de indicadores debe abordar el tema del agua en forma integral y está integrado por los seis índices definidos en el ENA 2010 y seis índices que complementan la evaluación en los temas de agua subterránea, condiciones de calidad, amenaza y vulnerabilidad de los sistemas hídricos y del recurso por variabilidad climática y contaminación (ver figura 3).

Este sistema de indicadores hídricos muestran el estado y dinámica del agua, las presiones, efectos en la disponibilidad de la variabilidad hidrológica y deben aplicarse a cada unidad de análisis definida por la autoridad ambiental (ERA, 2013).

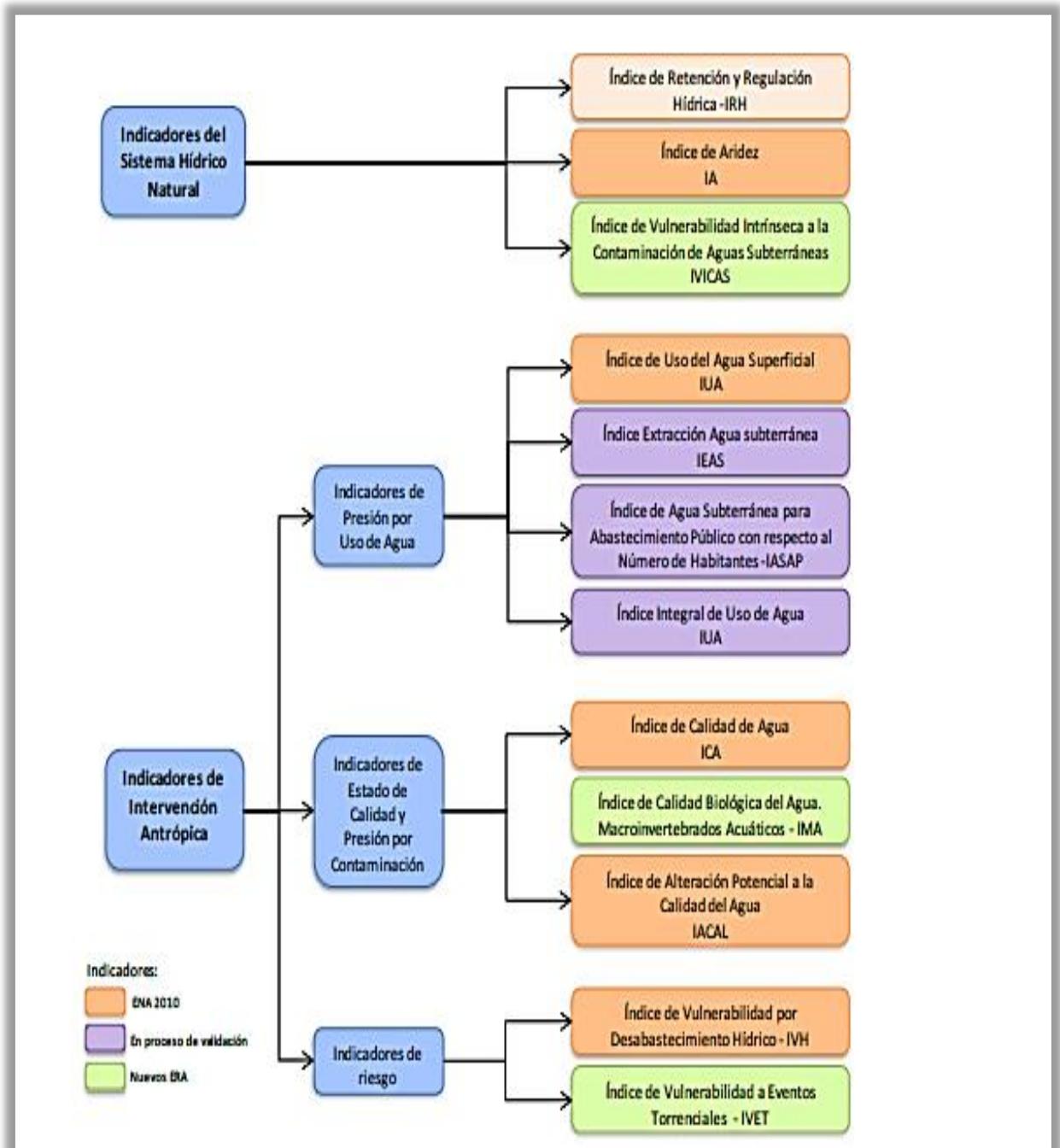


Figura 3. Sistema de indicadores Hídricos Regionales. ERA-2013



Rio Vetas. Punto RV-05.
CDBM 2019

SECCIÓN C

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DEL AGUA- CUENCA LEBRIJA MEDIO

Este capítulo relaciona con los elementos metodológicos como el procedimiento general, instrumentos y sistemas de información y estadísticos de soporte.

3.1 Procedimiento general para la evaluación del agua en la Cuenca Lebrija Medio

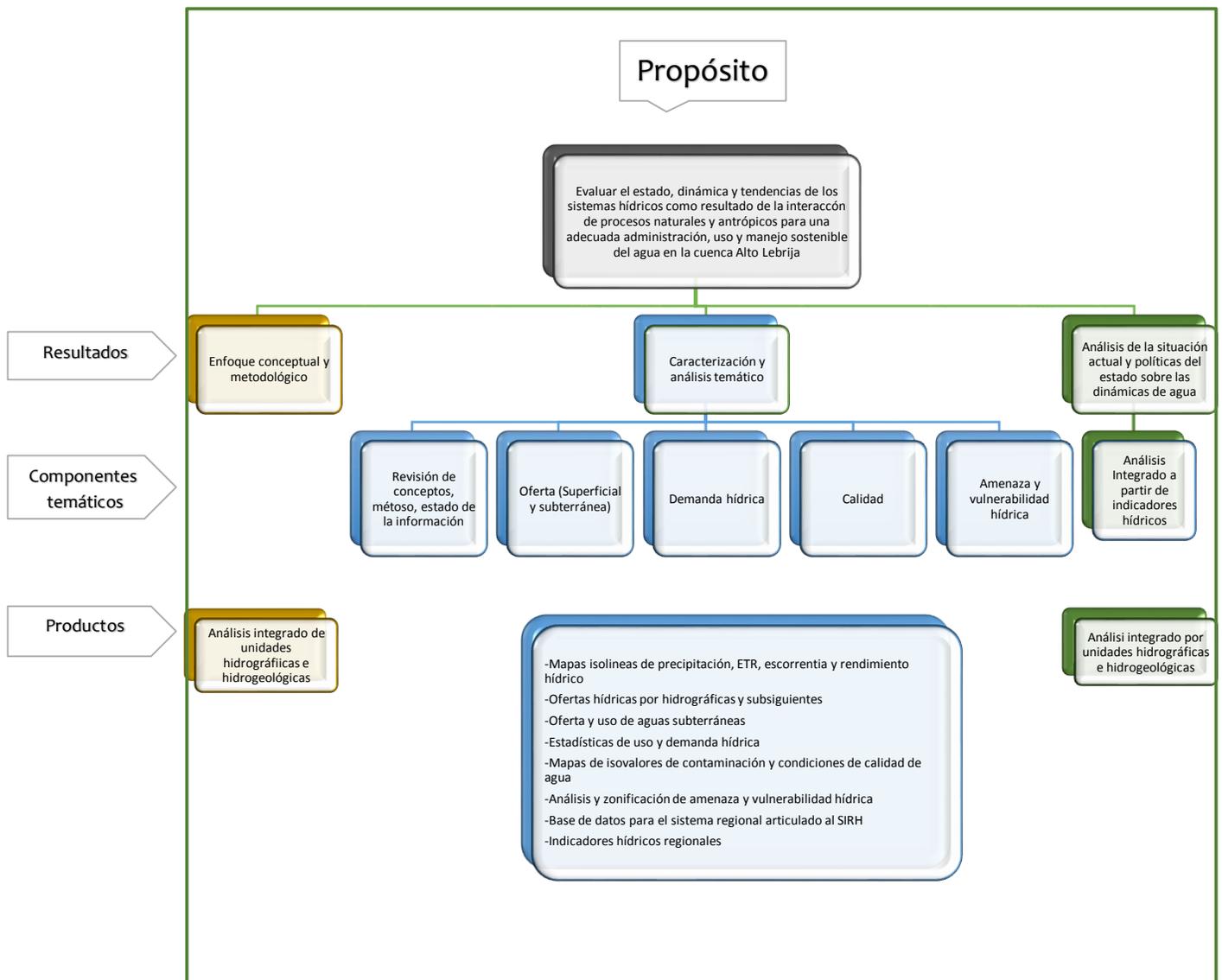


Figura 4. Marco metodológico para la evaluación del agua ERA.

3.2 Instrumentos

Las ERA están influenciados por instrumentos que pueden ser técnicos, de planificación, y económicos.

3.2.1 Instrumentos técnicos

Entre los instrumentos útiles en el proceso de elaboración de las Evaluaciones regionales del agua se encuentran:

- a. Programa de Monitoreo del Recurso Hídrico en el área de jurisdicción de la CDMB, CAS, CORPONOR Y CORPOCESAR.
- 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 Nivel III.
- d. Normatividad legal.

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, Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010 del MADS, Lineamientos y Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua-ERA 2013 del IDEAM, Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010-2022

3.2.2 Instrumentos de planificación ERA 2013

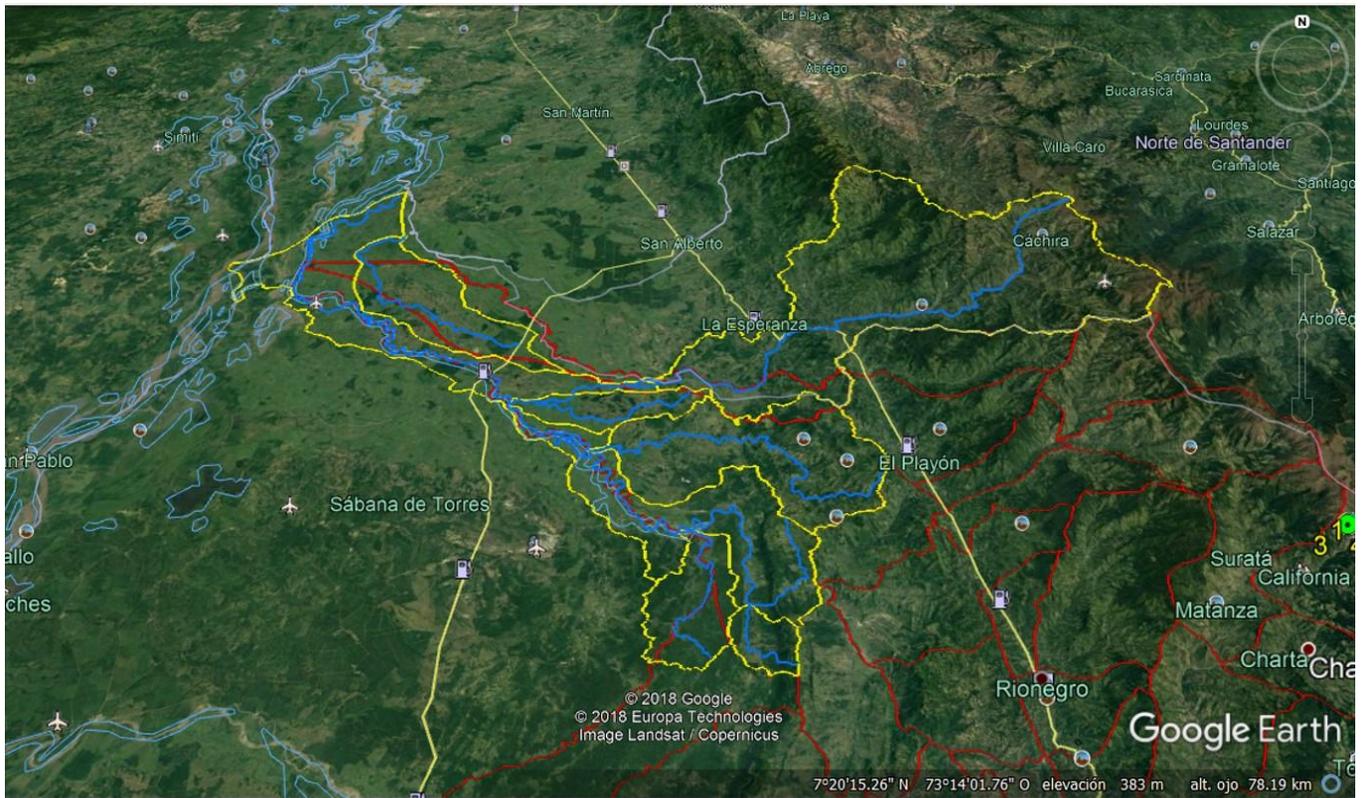
Las ERA deben constituirse en insumos técnicos para los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas-POMCA para las subzonas hidrográficas, planes de manejo ambiental para

cuencas de orden inferior a subzonas hidrográficas o subsiguientes y Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.

Asimismo, se deben relacionar los planes de acción de las Autoridades Ambientales, como el Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR), Plan de Acción Trienal- PAT y Plan Operativo Anual POA. De igual forma, los planes de las entidades territoriales en los que tienen intervención las autoridades ambientales como los planes de Ordenamiento Territorial (Ley 388, 1997), saneamiento y manejo de vertimientos municipales-PSMV, ahorro y uso eficiente del agua (Ley 373, 1997), entre otros.

3.2.3 Instrumentos económicos

Los instrumentos económicos más importantes para las Evaluaciones Regionales del Agua ya que procuran apoyar la regulación del uso y las condiciones de calidad del agua son la tasa retributiva y la tasa por utilización de agua, consignadas en la Ley 99 de 1993, artículos 43 y 42 respectivamente.



SECCIÓN D

CAPITULO 4. INFORMACIÓN GENERAL DE LA CUENCA LEBRIJA MEDIO

4.1 Localización de la cuenca en estudio

La Cuenca Lebrija Medio forma parte de la Cuenca del río Lebrija, la cual se encuentra localizada en el sector noroccidente y centro norte del departamento de Santander, al sur del departamento del Cesar y al occidente del departamento de Norte de Santander. Posee una extensión total de 192.901 hectáreas, las cuales se encuentran distribuidas en jurisdicción de cuatro autoridades ambientales de esta manera en la Tabla 2:

Tabla 2. Área y porcentaje de incidencia por Corporación Regional

CORPORACION	AREA (HA)	%
Corporación Autónoma Regional de Santander - CAS	23531,82	12,20%
Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR	7121,16	3,69%
Corporación Autónoma Regional del Norte de Santander - CORPONOR	81801,1	42,41%
Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB	80447,34	41,70%
TOTAL	192901,42	100,00%

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

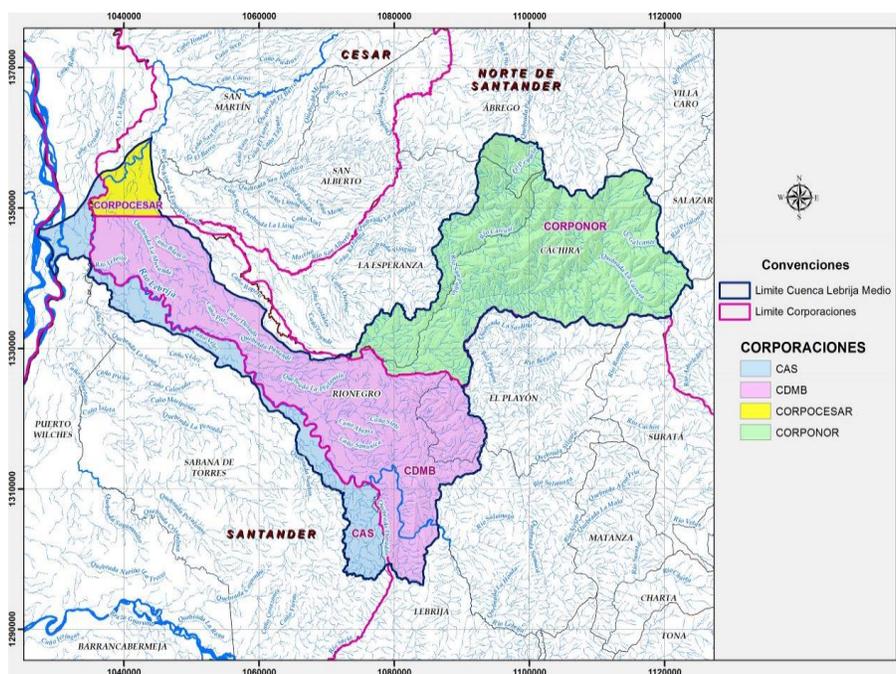


Figura 5. Área Corporaciones, POMCA del Río Lebrija Medio

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En aspectos climáticos, la cuenca tiene una precipitación media anual que varía entre 1152 y 3.033 mm, con un ciclo anual de tendencia bimodal, con dos periodos lluviosos (Marzo – Mayo y Septiembre – Noviembre) y dos secos (Dic.- Febrero y junio – agosto). El rango de variación de la temperatura se estima entre 25°C y 28° C.. La humedad relativa media multianual asciende a 84,6%. El brillo solar anual varía entre 1918 y 2110 horas. La evaporación media multianual varía entre 1241 y 1.491 mm/año.

4.2 División Hidrológica de la Cuenca Nivel I Lebrija Medio

En la tabla 3 se presenta la división hidrológica de La cuenca hidrográfica nivel I Lebrija Medio. Igualmente se presenta la codificación, el área y el perímetro de la cuenca nivel I y de cada una de las cuencas nivel II o Subcuencas. La delimitación de las cuencas se realizó teniendo en cuenta las características de su red de drenaje tomando como referencia el plano topográfico de la cuenca a escala 1:25.000 de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Teniendo en cuenta que en época de lluvias, por la topografía plana de terreno, los canales principales se desbordan propiciándose que se pierda la delimitación de las cuencas. Por lo anterior se delimitó y codificó las cuencas de Cáchira del Espíritu Santo y Musanda a pesar que solo aportan en año hidrológico húmedo

Tabla 3. División hidrológica Lebrija Medio

Cuenca Nivel I	Codigo Cuenca	Área Km2	Perímetro (Km)
RÍO LEBRIJA MEDIO	2319-03	1.929,014	396,0701
Cuenca Nivel II o Subcuenca	Codigo Subcuenca	Area (Km2)	Perimetro (Km)
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-00	491,425	259,63
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	70,766	46,49
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	24,656	22,30
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	248,301	94,28
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	862,248	227,51
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	49,845	41,19
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	181,773	75,62

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

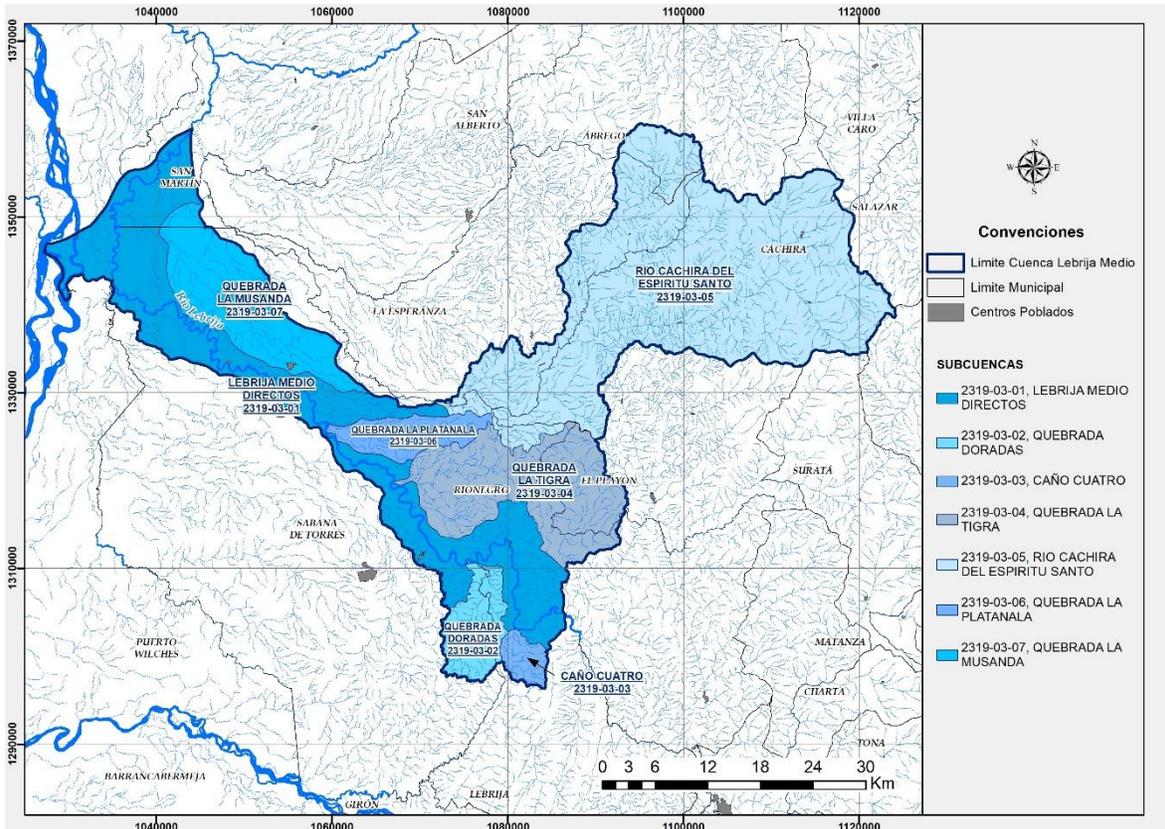


Figura 6. Cuencas hidrográficas Río Lebrija Medio.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.3 Distribución Pendientes cuenca Lebrija Medio-Nivel I

La pendiente de un terreno se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve; todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo con su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno.

Como elemento base para el análisis del medio físico, se determinaron los siguientes rangos homogéneos de pendientes, los cuales son los adoptados por la FAO y para el caso colombiano por el IGAC para los estudios de suelos. En la Tabla 4 se describe cada uno

de los rangos de pendiente obtenidos del análisis correspondiente y su área dentro de la cuenca.

Tabla 4. Rangos y descripción de pendientes.

PENDIENTE	SÍMBOLO	SUPERFICIE (Ha)	% Area	DESCRIPCIÓN
0-3 %	a	99.827,87	51,75	A nivel / casi a nivel
3-7 %	b	4.240,64	2,2	Ligeramente inclinada / Ligeramente ondulada
7-12 %	c	3.781,74	1,96	Moderadamente Inclinada / Moderadamente ondulada / Ligeramente quebrada
12-25 %	d	9.551,71	4,95	Fuertemente inclinada / Fuertemente ondulada / Moderadamente quebrada
25-50 %	e	27.923,62	14,48	Fuertemente quebrada / Ligeramente escarpada
50-75 %	f	28.931,77	15	Moderadamente escarpada
>75%	g	18.644,11	9,67	Fuertemente escarpada (Incluye escarpes sub verticales y verticales)
TOTAL		192.901,46	100	

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.4. Red de estaciones climatológicas

Después de la revisión del catálogo de estaciones del IDEAM, se identificó de forma preliminar, un total de 47 estaciones en un radio de 10 km alrededor de la cuenca, de las cuales en la Tabla 5, se presenta el tipo y características generales de dichas estaciones.

Tabla 5. Inventario de Estaciones Climatológicas

CODIGO	NOMBRE	CAT	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	LAT	LONG	ALT	FECHA INST
24055080	VIZCAINA LA LIZAMA	AM	VIZCAINA	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	6.982972	-73.704889	114	25/10/2004
16035030	SARDINATA	CO	RIECITO	NORTE DE SANTANDER	SARDINATA	8.076667	-72.803056	320	15/03/1973
23195090	VIVERO SURATA	CO	SURATA	SANTANDER	SURATA	7.365833	-72.9875	1.725	15/09/1968
23195180	ESC AGR CACHIRA	CO	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	CACHIRA	7.735278	-73.051667	1.882	15/03/1972
23195200	CACHIRI	CO	CACHIRI	SANTANDER	SURATA	7.473889	-72.991111	1.85	15/06/1971
23205020	COL COOPERATIVO	CO	MAGDALENA	BOLIVAR	SAN PABLO	7.475	-73.925556	165	15/08/1974
16025030	SALAZAR	CP	SALAZAR	NORTE DE SANTANDER	SALAZAR	7.774583	-72.830556	860	15/03/1973
16055040	ABREGO CENTRO ADMO	CP	ALGODONAL	NORTE DE SANTANDER	ABREGO	8.087222	-73.223056	1.43	15/07/1969
23185010	VILLA LEIVA	CP	Q STOS GUTIERREZ	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.456111	-73.537222	328	15/01/1966
23197690	PALOGORDO AT	HA	DE ORO	SANTANDER	GIRON	6.969167	-73.130556	690	15/10/1997
23187280	SITIO NUEVO	LM	MAGDALENA	SANTANDER	PUERTO WILCHES	7.784	-73.801917	58	15/11/1978
23197370	SAN RAFAEL	LM	LEBRIJA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.578056	-73.560556	78	15/10/1974
23190590	FLORESTA LA	PG	QDA DE LA IGLESIA	SANTANDER	BUCARAMANGA	7.090278	-73.123889	925	15/06/1978
23190700	PIEDECUESTA GJA	PG	LATO	SANTANDER	PIEDECUESTA	6.993333	-73.067778	1	15/07/1970
23190830	BUCARAMANGA IDEAM	PG	SURATA	SANTANDER	BUCARAMANGA	7.128333	-73.118333	1.025	15/10/1996
16030090	VILLA CARO	PM	LA GUAYABERA	NORTE DE SANTANDER	VILLA CARO	7.914722	-72.98	1.49	15/08/1973
23180020	PTO WILCHES	PM	MAGDALENA	SANTANDER	PUERTO WILCHES	7.348611	-73.893056	73	15/05/1958
23180040	PORVENIR EL	PM	Q STOS GUTIERREZ	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.452778	-73.482778	110	15/09/1972
23180050	ESTABLO EL	PM	Q STOS GUTIERREZ	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.541389	-73.598056	98	15/08/1972
23180070	SABANA DE TORRES	PM	Q STOS GUTIERREZ	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.39	-73.489444	144	15/05/1968
23180080	ELOY VALENZUELA	PM	CGA DE PAREDES	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.489444	-73.678333	90	15/08/1974
23180100	SITIO NUEVO	PM	MAGDALENA	SANTANDER	PUERTO WILCHES	7.783333	-73.800833	98	15/08/1974
23180110	PATURIA	PM	MAGDALENA	SANTANDER	PUERTO WILCHES	7.586111	-73.825278	105	15/08/1974
23180120	COQUERA LA	PM	MAGDALENA	SANTANDER	PUERTO WILCHES	7.222778	-73.919167	170	15/08/1974
23190140	PLAYON EL	PM	PLAYONERO	SANTANDER	EL PLAYON	7.464722	-73.201389	500	15/05/1958
23190210	MAGARA	PM	LEBRIJA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.593333	-73.681389	89	15/11/1989
23190260	LAGUNA LA	PM	QDA LA ANGULA	SANTANDER	LEBRIJA	7.079722	-73.213611	1.05	15/05/1967
23190280	PALO GORDO	PM	DE ORO	SANTANDER	GIRON	6.9675	-73.133056	950	15/06/1967
23190320	PROVINCIA	PM	LEBRIJA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.4025	-73.435	109	15/10/1992
23190350	LLANO DE PALMAS	PM	QDA HONDA	SANTANDER	RIONEGRO	7.240139	-73.195361	778	15/11/1967
23190360	PORTACHUELO	PM	NEGRO	SANTANDER	RIONEGRO	7.328056	-73.165	800	15/10/1967
23190380	PALMAS	PM	QDA HONDA	SANTANDER	LEBRIJA	7.211083	-73.217889	855	15/11/1967
23190400	GALVICIA LA	PM	TONA	SANTANDER	FLORIDABLANCA	7.124444	-73.057222	1.779	15/01/1968
23190440	NARANJO EL	PM	QDA SAN BENITO	SANTANDER	LEBRIJA	7.205	-73.299722	825	15/04/1971
23190460	PAPAYAL	PM	LEBRIJA	SANTANDER	RIONEGRO	7.615556	-73.648889	100	15/05/1971
23190500	SAN ALBERTO	PM	QDA SAN ALBERTO	CESAR	SAN ALBERTO	7.759722	-73.388333	134	15/05/1971
23190510	CAOBO EL	PM	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	LA ESPERANZA	7.595556	-73.3275	300	15/06/1971
23190540	VEGA LA	PM	CACHIRA	NORTE DE SANTANDER	CACHIRA	7.650833	-73.180556	710	15/08/1976
23190560	SAN RAFAEL	PM	LEBRIJA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.574444	-73.559722	84	15/12/1976
23190600	PANTANO EL	PM	QDA LA ANGULA	SANTANDER	GIRON	6.9975	-73.230278	1.28	15/11/1967
23190810	PLANES LOS	PM	SAN ALBERTO	CESAR	SAN ALBERTO	7.812611	-73.321444	850	15/11/1984
24050070	PUTANA LA	PM	SOGAMOSO	SANTANDER	SAN VICENTE	7.127167	-73.520556	150	15/07/1973
24060040	AGUASCLARAS	PM	QDA AGUASCLARA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.264167	-73.548056	132	15/07/1973
24060060	PTE LA PAZ	PM	SOGAMOSO	SANTANDER	BETULIA	7.108611	-73.419444	180	15/04/1979
24060080	PAYOA 5	PM	QDA PAYOA	SANTANDER	SABANA DE TORRES	7.270278	-73.490833	161	15/11/1984
23195130	APTO PALONEGRO	SP	DE ORO	SANTANDER	LEBRIJA	7.121472	-73.184528	1.189	15/08/1974
23195502	APTO PALONEGRO	SP	DE ORO	SANTANDER	LEBRIJA	7.121472	-73.184528	1.189	05/05/2005

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Según la Tabla 5, la principal entidad por el número de estaciones en el listado es el IDEAM con 47 estaciones.

De las 46 estaciones operadas por el IDEAM, se realizó análisis de proximidad e incidencia por polígonos de Thiessen, identificando la mayor representación de las estaciones. Se identificaron 4 estaciones climatológicas ordinarias y 1 climatológica principales, importantes para el cálculo del balance hídrico y de los caudales por métodos indirectos.

De las estaciones encontradas las que se identifica con mayor representación en la cuenca corresponde a Villa Leiva y Esc Agr Cachimari, por estar ubicadas dentro del área de drenaje.

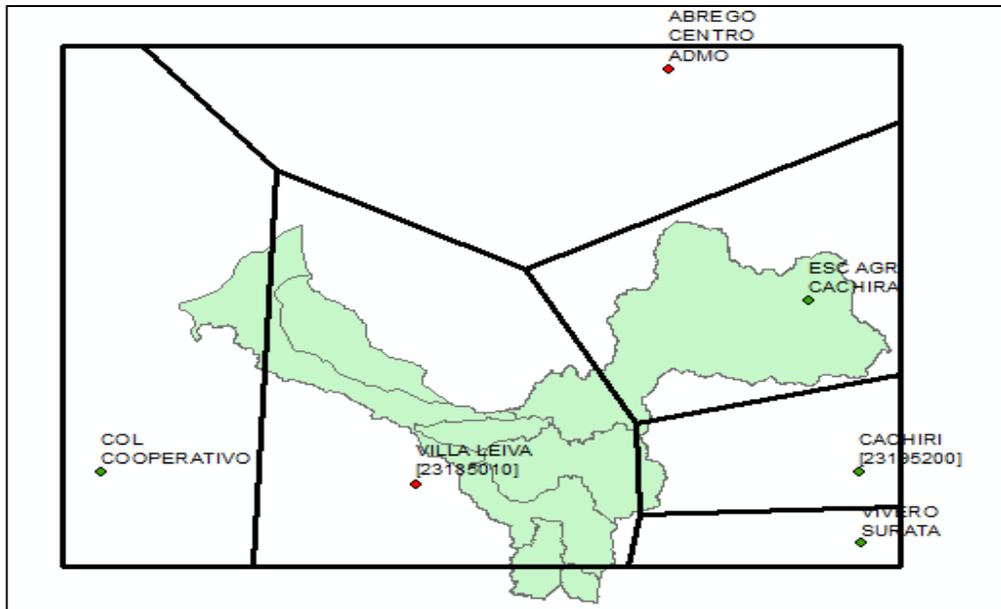


Figura 7. Áreas representativas de las estaciones

Tabla 6. Área cubierta dentro de las Subcuencas por las Estaciones Climatológicas

Subcuenca	Estación	Área km ²	Porcentaje
Caño Cuatro	Villa Leiva	24,66	100%
Q. Doradas	Villa Leiva	70,77	100%
Q. La Musanda	Villa Leiva	181,77	100%
Q. Platanala	Villa Leiva	63,12	100%
Q. La Tigra	Villa Leiva	215,24	87,43%
	Cachiri	30,95	12,57%
Río Cáchira del Espíritu Santo	Villa Leiva	118,26	14,00%
	Esc Agr Cáchira	722,17	85,60%
	Cachiri	3,02	0,40%
Río Lebrija Medio Directos	Col Cooperativo	118,09	23,70%
	Villa Leiva	380,97	76,0%

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

4.5 Red estaciones Hidrometeorológicas

Aun cuando el Río Lebrija Medio presenta un gran potencial hidrológico y una fuerte presión antrópica, existe muy baja cobertura de estaciones hidrológicas en la zona. Con base en la información disponible en el catálogo de información del IDEAM ubicadas en la cuenca del Lebrija Medio, se identificó 13 estaciones de forma preliminar. Las características generales de las estaciones hidrométricas identificadas en el área de la cuenca se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Inventario de estaciones Hidrológicas en la cuenca del lebrija medio

CODIGO_C AT	NOMBRE	CATE G_	ESTAD O	FGDA	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	LATITU D	LONGIT UD	ALTITU D	FECHA_IN ST	FECHA_SU SP
23187210	NO HAY COMO DIOS	LM	SUS	IDEAM	BZO BOSTON	SANTAND ER	PUERTO WILCHES	7.70	-73.80	79.00	15/08/1979	15/09/1979
23197070	SAN RAFAEL MIRA 8	LM	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	SABANA DE TORRES	7.60	-73.62	70.00	15/10/1965	15/12/1979
23187100	VILLA LEIVA [23187100]	LM	SUS	IDEAM	QDA VENECIA	SANTAND ER	LEBRIJA	7.58	-73.60	115.00	15/06/1972	15/12/1979
23197350	CNO GRANDE [23197350]	LM	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	RIONEGRO	7.63	-73.58	770.00	15/10/1971	15/07/1981
23197370	SAN RAFAEL [23197370]	LM	ACT	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	SABANA DE TORRES	7.58	-73.56	78.00	15/10/1974	
23197090	SAN ALBERTO [23197090]	LM	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	LEBRIJA	7.52	-73.52	330.00	15/03/1967	15/11/1979
23187300	TOPACIO EL [23187300]	LM	SUS	IDEAM	CANAL PRINCIPAL	SANTAND ER	SABANA DE TORRES	7.52	-73.50	70.00	15/07/1980	15/05/1996
23197030	URBINA LA [23197030]	LG	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	RIONEGRO	7.48	-73.47	116.00	15/12/1965	15/12/1979
23187090	ESTABLO EL [23187090]	LM	SUS	INCOR A	CANAL PRINCIPAL	SANTAND ER	PUERTO WILCHES	7.53	-73.45	100.00	15/12/1971	15/01/1972
23197240	PROVINCIA [23197240]	LM	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	SABANA DE TORRES	7.40	-73.44	109.00	15/01/1967	15/04/1989
23197040	PROVINCIA MIRA # 4	LM	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	SABANA DE TORRES	7.42	-73.43	100.00	15/10/1965	15/11/1979
23197670	DARIEN EL [23197670]	LM	SUS	IDEAM	CÁCHIRA	SANTAND ER	RIONEGRO	7.57	-73.40	150.00	15/11/1992	15/04/1995
23197400	ANGOSTURAS [23197400]	LG	SUS	IDEAM	LEBRIJA	SANTAND ER	LEBRIJA	7.34	-73.33	331.00	15/08/1972	18/06/2014

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



SECCIÓN E

CAPITULO 5. AGUA SUPERFICIAL

5.1 Conceptos básicos

5.1.1. Oferta Hídrica Superficial

La escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica total, pero, para fines de uso del recurso hídrico es importante definir que solo una parte de esa escorrentía o caudal puede ser usada y por ello se define la “oferta hídrica disponible”. (ENA, 2018)

5.1.2. Oferta Hídrica Disponible (OHTD) (IDEAM, 2010 a, c.p. IDEAM; MADVT, 2013)

La OHTD hace referencia al volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la OHTS el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales.

La escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica total, pero, para fines de uso del recurso hídrico es importante definir que solo una parte de esa escorrentía o caudal puede ser usada y por ello se define la “oferta hídrica disponible”.

5.1.3. Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD)

La OHRD se obtiene de la oferta hídrica disponible (OHTD) más los volúmenes de agua de caudales de retorno asociados a diferentes usos. Es importante señalar que incluye la suma o resta de caudales de transvase que ingresen a la cuenca o salgan de ella. La OHRD es la oferta que se utiliza para el cálculo de índice de uso de agua (IUA).

Los caudales medidos en estaciones localizadas en cuencas intervenidas representan este caudal disponible regional (Q_{dr}) que en términos generales corresponde a la expresión de la siguiente ecuación: (IDEAM ERA, 2013)

$$Q_{dr} = Q_t - Q_{amb} + Q_r \pm Q_{tr}$$

Ecuación 1

5.1.4. Oferta Hídrica Regional aprovechable (OHRA)

La Oferta Hídrica Regional Aprovechable (OHRA), se representa por el caudal hídrico regional aprovechable Q_{hra} , y se define como el Volumen promedio de agua que resulta de restar del volumen medido en la estación hidrométrica de referencia, representativa de la unidad de análisis, el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental. Esta oferta se calcula con la siguiente ecuación: (IDEAM ERA, 2013)

$$Q_{hra} = Q_{est} - Q_{amb} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q_{hra} : Caudal hídrico regional aprovechable

Q_{est} : Caudal medido en la estación

Q_{amb} : Caudal Ambiental

5.1.5. Caudal Medido en la Estación (Q_{est})

Caudal medido en la estación hidrométrica de referencia, que debe ser representativa de la unidad de análisis correspondiente

5.1.6. Caudal Ambiental (Q_{amb})

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 (Decreto 3930/2010).

5.1.7. Año Hidrológico Medio y Año Hidrológico Húmedo

El año hidrológico medio está definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de caudales medios. (IDEAM ERA, 2013), y el año Hidrológico húmedo, está determinado por los caudales máximos de los medios mensuales multianuales de la serie de caudales medios mensuales.

5.1.8. Año Hidrológico Seco

Corresponde a los caudales mínimos mensuales de las series de caudales medios; los cuales se identifican con el año típico seco.

5.1.9. Caudal de Retorno (Qr)

Es el porcentaje del caudal extraído por los diferentes sectores/usuarios, el cual es retornado a los cauces o cuerpo de agua en un período de tiempo considerado (IDEAM ERA, 2013), está definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de caudales medios.

5.1.10 Caudal Extraído (Qex) y Caudal de Trasvase (Qtr)

El (Qex) es el caudal total extraído de una fuente para la atención de las demandas de los diferentes usos. El (Qtr), es el caudal de agua que se desvía de una cuenca a otra, para aumentar la disponibilidad. En el caso de una unidad de análisis específica, puede ser positivo (si entra) o negativo (si sale hacia otra cuenca).

5.1.11. Balance Hídrico

Permite caracterizar las diferentes condiciones del recurso hídrico, dentro de un ecosistema o cuenca, mediante la comprensión de almacenamientos, flujos y balances que estén dentro del ciclo hidrológico, a partir de los cuales se determina el régimen hidrológico para estimar y cuantificar la oferta hídrica. (IDEAM ERA, 2013).

$$P - Esc (total) - ETR \pm \Delta S \pm \Delta er = 0 \text{ Ecuación 3}$$

P: Precipitación (mm)

Esc: Escorrentía total (mm)(flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: Evapotranspiración real (mm)(evaporación + transpiración)

ΔS : Almacenamiento

Δer : Término residual de discrepancia

Sin embargo, cuando las unidades hidrográficas de análisis corresponden con áreas hidrográficas reguladas o muy intervenidas para el uso y aprovechamiento por parte de los diferentes sectores usuarios. La ecuación será:

$$P - ETR - Ex + Rt \pm Tr \pm \Delta S \pm \Delta er = Esc \text{ (medida)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

Esc: Escorrentía total (mm)(flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: Evapotranspiración real (mm)(evaporación + transpiración)

ΔS : Almacenamiento

Δer : Término residual de discrepancia

Ex: Sumatoria del volumen extraído expresado en mm (demanda)¹

Rt: Sumatoria del volumen de agua que retorna a la cuenca asociada a diferentes actividades, en el período considerado (mm)

Tr: Sumatoria de volumen de transvase (mm) hacia (+) o desde la cuenca (-)

ETP: Evapotranspiración potencial, mm (evaporación + transpiración)

En la Figura 8, se muestra un esquema del balance hídrico entre ETP Y ETR. Se observa excedente + almacenamiento donde P (precipitación) y sobrepasa a ETR y ETP que corresponde a uso de la reserva, donde la ETR y ETP está por encima de P.

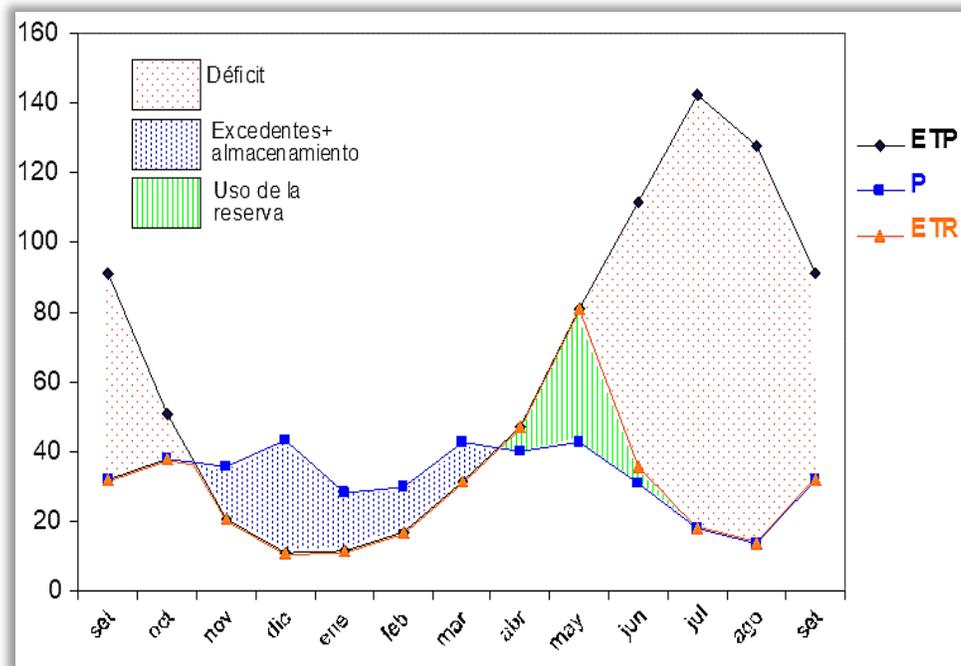


Figura 8. Bosquejo del balance hídrico

5.1.12. Precipitación

Es la caída de agua sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve, y granizo. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad o pluvial. Es una parte importante del ciclo de vida y del ciclo hidrológico y es responsable del depósito de agua dulce en el planeta.

5.1.13. Escorrentía

La lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje se conoce como escorrentía y corresponde al comportamiento de la ecuación del balance hídrico, definido como parte de la precipitación que por no infiltrarse o evaporarse, ésta lámina de agua fluye por la superficie del suelo concentrándose en los cauces y cuerpos de agua. La escorrentía se expresa en milímetros de lámina mensual o anual.

El cálculo de escorrentía media mensual con base en la precipitación media mensual y la Evapotranspiración Real (ETR) media mensual; se obtiene mediante la ecuación propuesta en la guía de la Evaluación Regional del Agua (IDEAM, ERA 2013):

$$ESC = P - ETR$$

Ecuación 5

Donde

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ESC: Escorrentía (mm)

5.1.14. Evapotranspiración Real (ERT)

La evapotranspiración está definida como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa, junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Para hallar la ETR utilizó el método de Budyco para cada estación.

Ecuación 6

$$ETR = \left[\left(ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \right) \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm).

5.1.15 Evapotranspiración Potencial (ETP)

Es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

Ecuación 7

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

Donde:

ETP (Sin Corregir): Evapotranspiración potencial a nivel mensual

en $\frac{\text{mm}}{\text{mes}}$, para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas.

t: Temperatura Media Mensual °C.

I: Índice de Calor Anual.

Ecuación 8

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

Con relación a las precipitaciones recogidas, la ETP se toma como indicador climático de humedad o aridez ambiental, y este parámetro se calcula mediante Thornwhite.

Es primordial realizar la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

Ecuación 9

$$ETP = ETP_{\text{Sin Correg}} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración Corregida.

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

d: Número de días del mes.

Determinar el índice de calor mensual a partir de la temperatura media mensual (*i*)

Ecuación 10

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Determinar el índice de calor Anual (*I*) sumando los 12 valores de *i*:

$$I = \sum i$$

5.1.16. Almacenamiento

Las características del régimen hídrico y la oferta de agua, se complementan con los almacenamientos superficiales representados por los cuerpos de agua lenticos, ecosistemas de humedales, lagos lagunas, ciénagas y pantanos y oferta regulada con reservorio y embalses.

5.1.17. Área de la cuenca

Se define como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido-directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Ese parámetro está especificado en km².

5.1.18 Perímetro de la cuenca

El perímetro corresponde a la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa en kilómetros.

5.1.19 Longitud del cauce principal

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua expresado en kilómetros. Es fundamental tener en cuenta la sinuosidad del cauce; el parámetro se determina en kilómetros.

5.1.20 Longitud axial de la cuenca

Se define como la distancia en kilómetros, entre la desembocadura y el punto más alejado de la cuenca. El parámetro se expresa en kilómetros.

5.1.21. Vulnerabilidad Hídrica

La vulnerabilidad del recurso está relacionada con la fragilidad de los sistemas hídricos para conservar y mantener la capacidad hidrológica actual ante posibles alteraciones climáticas y a la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento y distribución frente a la reducción de la oferta y disponibilidad del agua.

El riesgo en la gestión integral del recurso hídrico está relacionado con el manejo y gestión del exceso y/o déficit de agua, unido a la gestión de las cuencas hidrográficas deterioradas, a la pertinencia de los proyectos hidráulicos con el conocimiento de la variabilidad climática e hidrológica del país, al crecimiento no planificado de la demanda sobre una oferta neta limitada, a conflictos por el uso del agua y a las deficientes e inadecuadas acciones para la gestión del riesgo por eventos socio-naturales que aumentan la vulnerabilidad del recurso. (MADS, PNRH 2010)

5.1.22. Demanda Hídrica (Dh)

La demanda hídrica superficial se calcula para las actividades socioeconómicas predominantes en las Cuencas que requieren del recurso hídrico para su desarrollo. Los diferentes tipos de demanda contemplados en el análisis corresponden a los principales usos identificados, mapa de cobertura de uso del suelo, y listado de concesiones suministrado por la Corporación.

Las actividades humanas implican una utilización intensa de agua, tanto para cubrir las necesidades básicas de tipo biológico y cultural, como para el desarrollo económico de la sociedad. Por ello, en la cuantificación de la demanda se integran todas las actividades que requieren el recurso hídrico, mostrándose su comportamiento y distribución en el tiempo para planificar su uso sostenible.

La demanda hídrica se define como el agua extraída consumida, más el agua extraída no consumida, basado en la información de consumos suministrada por la autoridad ambiental y reportada en el estudio POMCA Rio Lebrija, y la información de la clasificación de la demanda reporta por el IDEAM en estudio de aguas de 2014.

La demanda calcula para todas las actividades en m³/ año, teniendo en cuenta su concentración y el tamaño de los usuarios en cada unidad de análisis identificada y contextualizada. Se expresa según la siguiente ecuación.

Ecuación 12

$$D_h = DT = DUD + DUA + DUAV + DUP + DUI$$

Donde:

DT: demanda hídrica

DUD: consumo humano o doméstico

DUA: consumo del sector agrícola

DUP: consumo del sector pecuario

DUI: consumo del sector industrial

DUAV: Demanda de agua por uso avícola.

5.1.22.1. Consumo Humano o Doméstico (DUD)

El cálculo de la demanda se establece a partir de la estimación del consumo humano requerido, para satisfacer las necesidades fundamentales de un habitante al día, teniendo en cuenta un umbral mínimo de consumo, con el propósito de mantener un nivel de bienestar

La ecuación de cálculo es la siguiente:

Ecuación 13

$$Ch = P * I + pt$$

Donde:

Ch: consumo humano $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

P: población (número)

I: intensidad del consumo (adimensional)

Pt: pérdidas técnicas $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

5.1.22.2. Consumo en Sector Agrícola (DUA)

Se refiere a la cantidad de agua que se requiere aportar de manera artificial para suplir las necesidades de riego de un cultivo y se formaliza por la Evapotranspiración del cultivo (ETc) menos el agua que han aportado las precipitaciones. Cuando la precipitación efectiva es mayor que las necesidades de riego, la demanda o riego bruto es igual a cero (0). En caso contrario, cuando la precipitación efectiva es menor al uso consuntivo del cultivo, la demanda se define por la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el agua que se aporta por precipitación.

5.1.22.3. Consumo Pecuario (DUP)

Es la cantidad de agua que se utiliza en la cría, levante, engorde, beneficio y sacrificio asociado con la producción de carne proveniente de bovinos, porcinos, caprinos y aves; producción de huevos, leche y lana, así como cría de caballos, conejos, y animales en cautiverio para la producción de pieles.

Ecuación para el cálculo:

Ecuación 14

$$C_{sp} = C_v + C_s + C_{ua}$$

Donde:

C_{sp} : consumo sector pecuario $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

C_v : consumo vital en cada fase del proceso

productivo por especie $\left(\frac{\frac{m^3}{cab}}{edad}\right) * N^\circ$ animales

C_s : consumo en sacrificio $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

C_{ua} : consumo en lugares de manejo y alojamiento animal $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

5.1.22.4. Consumo Industrial (DUI)

El Decreto 3930 de 2010 considera dentro de los procesos manufactureros aquellos relacionados con la generación de energía, minería, hidrocarburos, fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares, elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución. La manera de cálculo se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 15

$$C_{si} = G_i + P_i + C + K$$

Donde:

C_{si} : Consumo del sector manufacturero $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

G_i o P_i : Consumo de los diferentes sectores presentes en el área de estudio de grandes industrias (G_i) o pequeñas industrias (P_i) $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

C : Construcción $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

K : Ajuste por cobertura

5.2. Indicadores

5.2.1. Índice de Aridez (I_a)

Es una característica cualitativa del clima que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación, para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial. Integra el conjunto de indicadores definidos en el ENA 2010.

Ecuación 16

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde:

I_a : índice de aridez (adimensional)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

ETR: evapotranspiración real (mm).

Una vez establecidos los cálculos del índice para estaciones representativas de las unidades hídricas de análisis en las regiones, se construyen las isolíneas, teniendo en cuenta los rangos que se encuentran discriminados en la Tabla 8 por categoría índice de aridez.

Tabla 8. Categorías Índices de Aridez

<i>Rangos</i>	<i>Categoría</i>	<i>Características</i>
Menor de 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 a 0.19		Excedentes de agua
0.20 a 0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 a 0.39		Moderado
0.40 a 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 a 0.59		Deficitario de agua
Mayor de 0.60		Altamente deficitario de agua

5.2.2. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

Permite calcular la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios.

Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación. El cálculo del indicador se realiza empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 17

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde:

IRH: índice de retención y regulación hídrica

V_p: volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios

V_t: volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

Es un indicador dimensional que varía entre 0 y 1. Los datos se agrupan para tener una descripción cualitativa desde muy alta hasta muy baja capacidad de retención y regulación de humedad.

Los valores obtenidos se agrupan en rangos para facilitar la comparación entre unidades hídricas de análisis. A cada rango se le asigna una calificación cuantitativa. Las cinco categorías propuestas se muestran en la Tabla 9 “Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH)”.

Tabla 9. Categorías del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

Rango de valores IRH	Categoría	CARACTERÍSTICAS
> 0.85	Muy alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0.75 -0.85	Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0.65 – 0.75	Medio	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0.50 – 0.65	Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0.50	Muy bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja.

5.2.3. Índice de uso de Agua (IUA)

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 (OHRD) neta para las mismas unidades de tiempo y espaciales.

Relación porcentual de la demanda de agua en relación con la oferta hídrica regional disponible.

Ecuación 18

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

Donde:

IUA: índice de uso del agua

Dh: demanda hídrica.

OHRD: oferta hídrica superficial regional disponible.

La categorización de condición de presión de la demanda sobre la oferta hídrica, se define a partir de los mismos cinco rangos y categorías utilizados en el ENA 2010: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Tabla 10. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua (IUA). Fuente y disponibilidad de datos: Series históricas de caudales diarios y mensuales con longitud temporal mayor de 15 años. Información de demanda sectorial para los diferentes usos

Rango (Dh/Oh) *100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1-10.	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

5.2.4. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH)

Es el grado de fragilidad del sistema hídrico, para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño)-, podría generar riesgos de desabastecimiento.

El IVH 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). (ver Tabla 11)

Tabla 11. Categorías del Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento

Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)		
Índice de uso de agua	Índice de regulación	Categoría Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio

Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)		
Índice de uso de agua	Índice de regulación	Categoría Vulnerabilidad
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

5.2.5. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El índice de Calidad del Agua (desarrollado por la National Sanitation Foundation) se determina 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.

El índice de Calidad del Agua ICA es calculado como la multiplicación de todos los nueve parámetros elevados a un valor atribuido en función de la importancia del parámetro, así:

$$ICA = \prod_{i=1}^n C_i^{w_i} \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

ICA = Es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en variables; un número entre 0 y 100, adimensional.

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.

En la Tabla 97, se muestran los descriptores de las variables simplificadas en el ICA.

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).

Es de aclarar que los intervalos definidos por la entidad ambiental no son iguales a los establecidos en el estudio nacional del agua, ENA (2010), y mantenidos en el estudio nacional del agua ENA (2014).

5.2.6 Índice de Alteración "Potencial de la Calidad del Agua – IACAL

El IACAL es un referente de la presión por contaminantes sobre las condiciones de calidad del agua en los sistemas hídricos superficiales, numéricamente es el promedio que surge de dividir las cargas estimadas de cada una de las cinco variables fisicoquímicas, NT+PT+SST+ (DQO-DBO)/5. Las fórmulas de cálculo del indicador para año medio y para año seco, son las siguientes:

Año medio:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n Catiacal_{ijt-añomed}}{n} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- $IACAL_{jt-añomed}$: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t , evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio.
- $CATIACAL_{ijt-añomed}$: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio.
- n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

5.3 Marco metodológico

5.3.1. Procedimiento para la evaluación y caracterización de la oferta hídrica superficial y su disponibilidad

En el flujograma representado en la Figura 9. Se puntualizan los tipos de oferta y sus relaciones para la Evaluación Regional del Agua.



. Figura 9. Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones. ERA 2013.

5.3.1.1. Cuenca Intervenida

Es aquella que por la presión de las diferentes actividades que se desarrollan en ella, se extrae un volumen de agua permanente y constante. En estos casos en particular, es primordial hacer el análisis teniendo en cuenta las condiciones de régimen natural o realizando un inventario de entradas y salidas hasta el punto de interés hidrológico.

5.3.1.2. Cuenca no Intervenida o poco intervenida.

Se refiere en general a las cuencas que no tienen una presión alta de demanda hídrica o que, por su magnitud de caudal, la sustracción de agua no representa variaciones sustanciales en los promedios de las series de caudales.

5.3.1.3. Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Tomando la definición del IDEAM (2014), la oferta hídrica total superficial es el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial.

Se determina con la variable escorrentía, que se calcula a partir de la serie histórica de caudales medidos seleccionando estaciones hidrológicas representativas de cuencas con régimen poco intervenido o a partir de modelos lluvia escorrentía donde no hay estaciones hidrológicas o estas son poco representativas. Según (ENA, 2010) mediante el balance hídrico, se pueden caracterizar las diferentes regiones y establecer el rango de disponibilidad natural de agua, como resultado de la interrelación de los parámetros hidrológicos y meteorológicos (precipitación, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real y escorrentía).

El balance hídrico permite verificar los estimativos de escorrentía y evaluar los componentes de precipitación y de evapotranspiración del ciclo hidrológico.

Para el presente trabajo y la poca representatividad de las estaciones hidrológicas se realiza el cálculo a partir de modelos lluvia escorrentía.

Estimación del balance a nivel de cuenca Nivel I y subcuenca Nivel II

El cálculo del valor aproximado de caudal medio anual para cada una de las subcuencas Nivel II se hace usando la siguiente expresión, considerando que la oferta hídrica es el indicador del caudal medio de una cuenca:

Ecuación 21

$$Q_c = 3.17 * 10^{-8} * A_c * (P - ETR)$$

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).

Si bien el IDEAM permite el cálculo de la oferta hídrica mediante un balance hidrológico a largo plazo, esta metodología resulta ser en algunos casos superficial. Sin embargo, de acuerdo a la cantidad de estaciones presentadas en la cuenca y la calidad de la información registrada en estas, se dificulta la construcción de modelos hidrológicos y calibración de estos, al igual que la construcción de relaciones área vs caudal como alternativas metodológicas principales.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Características morfométricas y fisiográficas de las subcuencas Nivel II de unidades hidrográficas que componen la Cuenca Lebrija Medio

A continuación, se describen algunos de los parámetros morfométricos más relevantes de la Cuenca del Río Lebrija Medio. Es importante tener en cuenta, que el comportamiento de la cuenca se debe a la interacción de varios factores (POMCA Cuenca Lebrija Media), para las siete (7) Subcuencas Nivel II de la Unidad Hidrográfica Lebrija Medio.

Tabla 12. Caracterización morfométrica y fisiográfica de las subcuencas Nivel II

Código	2319-03-01	2319-03-02	2319-03-03	2319-03-04	2319-03-05	2319-03-06	2319-03-07
Nivel II de unidades Hidrográficas	Lebrija Medio Directos	Quebrada Doradas	Caño Cuatro	Quebrada La Tigra	Río Cáchira del Espíritu Santo	Quebrada La Platana	Quebrada La Musanda
Área (km ²)	491.43	70.77	24.66	248.30	862.25	49.84	181.77
Perímetro (km)	259.63	46.49	22.30	94.28	227.51	41.19	75.62
Longitud del cauce LT.	157.344	22.848	9.431	50.037	92.970	21.140	40.445
Longitud de drenaje (Km)	573.40	121.49	37.66	360.30	1,344.43	78.85	219.95
Ancho Medio de la cuenca,	3.12	3.10	2.61	4.96	9.27	2.36	4.49
Densidad de Drenaje (km/km ²)	1.17	1.72	1.53	1.45	1.56	1.58	1.21
Factor de Forma	0.02	0.14	0.28	0.10	0.10	0.11	0.11
Coeficiente de compacidad.	3.28	1.55	1.26	1.68	2.17	1.63	1.57
Índice de alargamiento.	50.38	7.38	3.61	10.08	10.02	8.97	9.00
Área Mayor (Km ²)	265.72	41.11	14.32	136.01	486.19	28.59	109.38
Área Menor (Km ²)	226.70	29.66	10.34	112.29	376.06	21.25	72.39
Índice de asimetría	1.17	1.39	1.38	1.21	1.29	1.35	1.51
Pendiente Media del Cauce	0.51%	0.66%	9.01%	2.20%	4.19%	0.47%	0.06%
Tiempo de Concentración Kirpich (Horas)	24.89	5.11	0.94	5.86	7.37	5.46	19.68
Tiempo de Concentración TEMEZ (Horas)	15.94	3.50	1.09	5.05	7.16	3.52	8.47

Tiempo de Concentración Giadotti (Horas)	14.35	6.93	1.46	5.20	5.14	7.49	38.65
Tiempo de Concentración V T Chow (Horas)	16.19	4.52	1.69	6.15	8.25	4.53	9.51
Tiempo de Concentración California (Horas)	24.92	5.11	0.94	5.87	7.37	5.46	10.70
Elevación Media (msnm)	123.75	172.42	385.78	390.93	1,583.76	131.92	60.69
Coeficiente de Masividad (Km)	0.25	2.44	15.64	1.57	1.84	2.65	0.33

6.2. Parámetros Climatológicos

6.2.1. Estaciones Climatológicas

En la Tabla 13 se muestra las estaciones finales a usar en el presente estudio y la Figura 10 se muestra la localización de las estaciones con relación al límite de la cuenca del río Lebrija Medio.

Tabla13. Estaciones Disponibles para el Estudio

CÓDIGO	NOMBRE	CAT	CORRIENTE	DEPARTAMEN	MUNICIPIO	LAT	LONG	ALT	FECHA INST
23195090	VIVERO SURATA	CO	SURATA	SANTANDER	SURATÁ	7.365833	-72.9875	1.725	15/09/1968
23195180	ESC AGR CÁCHIRA	CO	CÁCHIRA	N. DE SANTANDER	CÁCHIRA	7.735278	-73.05166	1.882	15/03/1972
23195200	CACHIRI	CO	CACHIRI	SANTANDER	SURATÁ	7.473889	-72.991111	1.85	15/06/1971
23205020	COL COOPERATIVO	CO	MAGDALENA	BOLÍVAR	SAN PABLO	7.475	-73.925556	165	15/08/1974
23185010	VILLA LEIVAJ	CP	Q GUTIERREZ	SANTANDER	S. DE TORRES	7.456111	-73.537222	328	15/01/1966
23180040	PORVENIR EL	PM	Q GUTIERREZ	SANTANDER	S. DE TORRES	7.452778	-73.482778	110	15/09/1972
23180100	SITIO NUEVO	PM	MAGDALENA	SANTANDER	P. WILCHES	7.783333	-73.800833	98	15/08/1974
23190140	PLAYON EL	PM	PLAYONERO	SANTANDER	EL PLAYÓN	7.464722	-73.201389	500	15/05/1958
23190460	PAPAYAL	PM	LEBRIJA	SANTANDER	RIONEGRO	7.615556	-73.648889	100	15/05/1971
23190510	CAOBO EL	PM	CÁCHIRA	N. DE SANTANDER	LA ESPERANZA	7.595556	-73.3275	300	15/06/1971
23190540	VEGA LA	PM	CÁCHIRA	N. DE SANTANDER	CÁCHIRA	7.650833	-73.180556	710	15/08/1976
23190560	SAN RAFAEL	PM	LEBRIJA	SANTANDER	S. DE TORRES	7.574444	-73.559722	84	15/12/1976

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

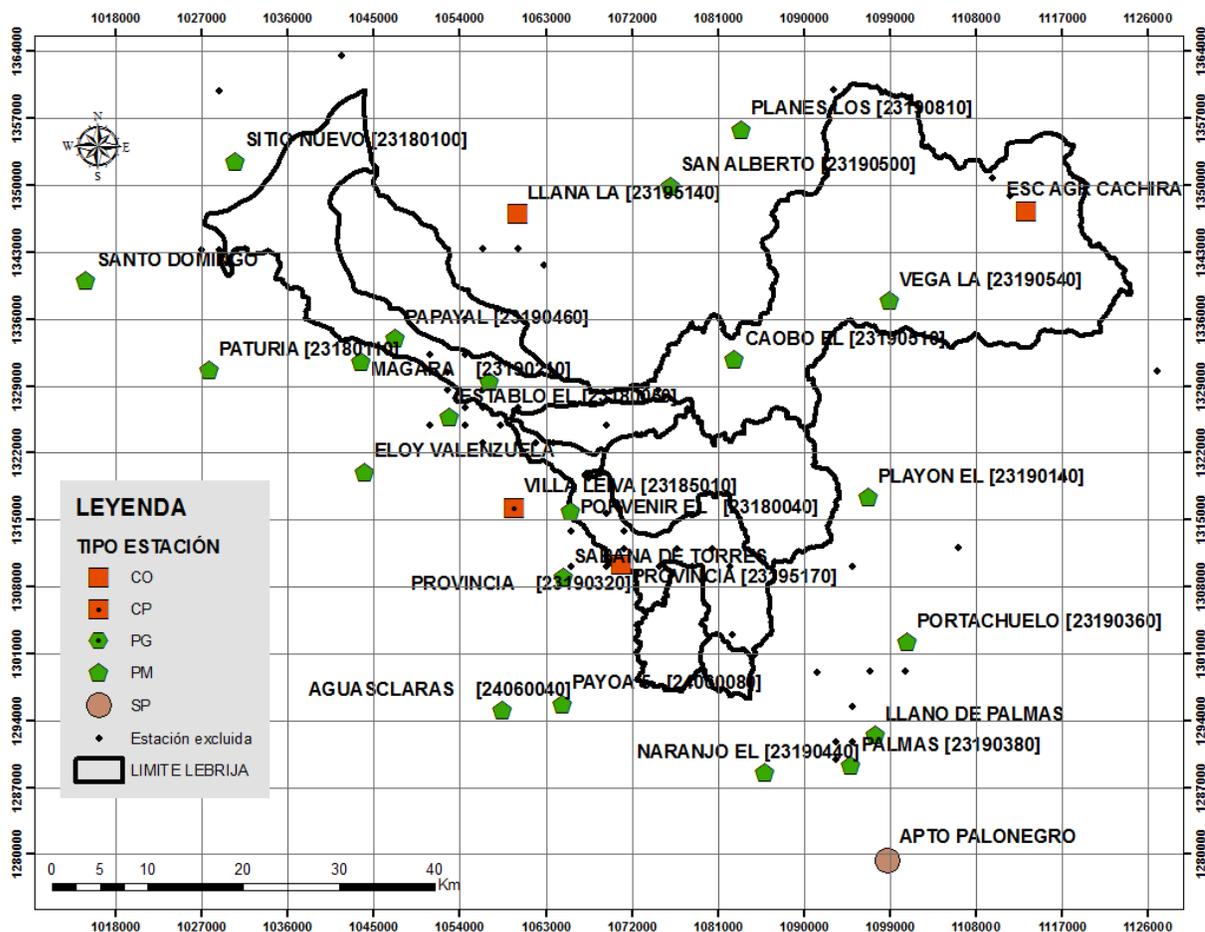


Figura 10 Localización de Estaciones climaticas utilizadas en el análisis

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica Principal, PG: Pluviográfica, PM: Pluviómetrica, SP: Sinóptica principal.

En la Tabla 14 se presenta la cantidad de estaciones identificadas que se usaran en este estudio clasificadas por categoría, siendo 7 las estaciones Pluviómetricas (PM), 1 estación Climatológica Principal (CP) y 4 estación Climatológicas Ordinarias (CO).

Tabla14. Estaciones climatológicas Cuenca del Río Lebrija.

TIPO ESTACIÓN	Total
CO	4
CP	1
PM	7
Total general	12

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De las estaciones identificadas, 1 se encuentra en el departamento de Bolívar, 3 en Norte de Santander y 8 en Santander.

En la Figura 11 se muestra el periodo de operación de las estaciones identificadas, el cual indicaría que, de presentar series sin información faltante, presentaría una longitud suficiente para el análisis climático que se pretende realizar para la presente cuenca.

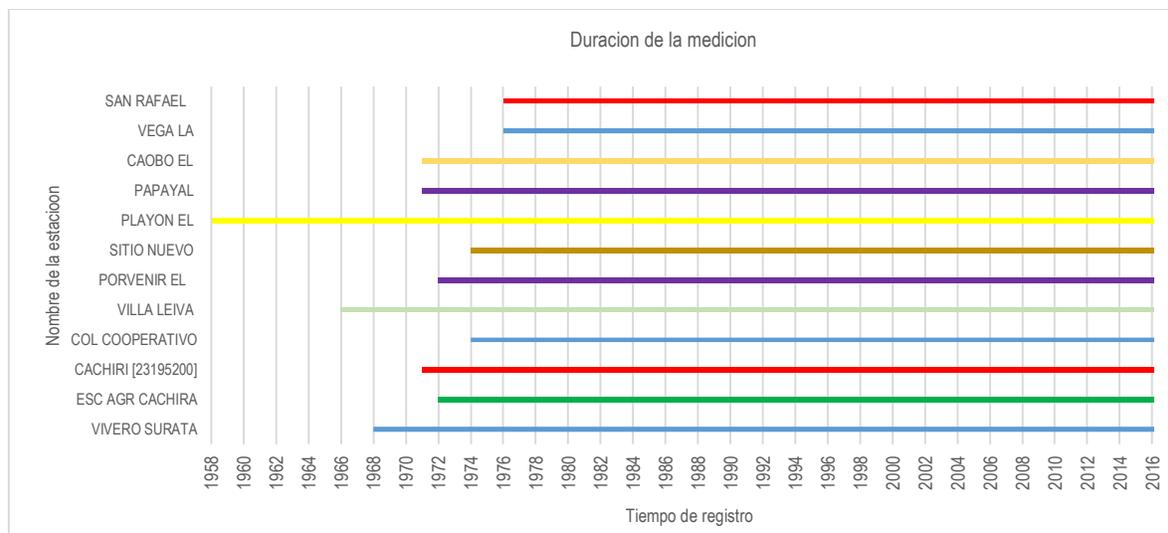


Figura 11 Periodo de operación de estaciones a usar en el estudio

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Con la información entregada por el IDEAM se generó una base de datos con la información de los registros de las estaciones disponibles, en formato SQLite.

6.2.2. Información disponible

Una vez realizada la solicitud de la totalidad de la información disponible para las estaciones antes mencionadas y revisada la información entregada por el IDEAM, en la Tabla 15 se presenta el resumen de la información disponible para el estudio en cada una de las estaciones.

Tabla15. Información de estaciones climatológicas, Cuenca del Río Lebrija.

CÓDIGO IDEAM	FRECUENCIA	TIPO VARIABLE	VARIABLE CLIMÁTICA							TOTAL SERIES
			BS	EV	HR	PT	TS	VD	VR	
23180040	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23180100	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23185010	DIARIOS	1			X		X	X		3
	MENSUALES	TOTALES	X	X		X			X	4
		V						X		1
		1			X		X	X		3
		TOTALES	X	X		X			X	4
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
V						X		1		
23190140	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23190460	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23190510	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23190540	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23190560	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23195200	DIARIOS	1			X		X			2
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		1			X		X			2
		TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
		2					X			1
TOTALES	X	X		X			X	4		
1			X		X			2		

		2			X		X			2
		TOTALES	X	X		X			X	4
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		8					X			1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23195090	DIARIOS	1			X		X			2
		2					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
	MENSUALES	1			X		X			2
		2					X			1
		TOTALES	X	X		X			X	4
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1
23205020	DIARIOS	TOTALES				X				1
	MENSUALES	TOTALES				X				1
		DÍAS CON LLUVIA				X				1
		MÁXIMA EN 24 HORAS				X				1

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

BS: BRILLO SOLAR, EV: EVAPORACIÓN, HR: HUMEDAD RELATIVA, PT: PRECIPITACIÓN, TS: Temperatura superficial, VD: VELOCIDAD DEL VIENTO, VR: RECORRIDO DEL VIENTO

6.2.3. 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. A manera de ejemplo, en la Figura 12 se muestra el periodo de tiempo en el que las estaciones disponibles para el análisis de la variable de brillo solar han operado y tienen datos de la variable.

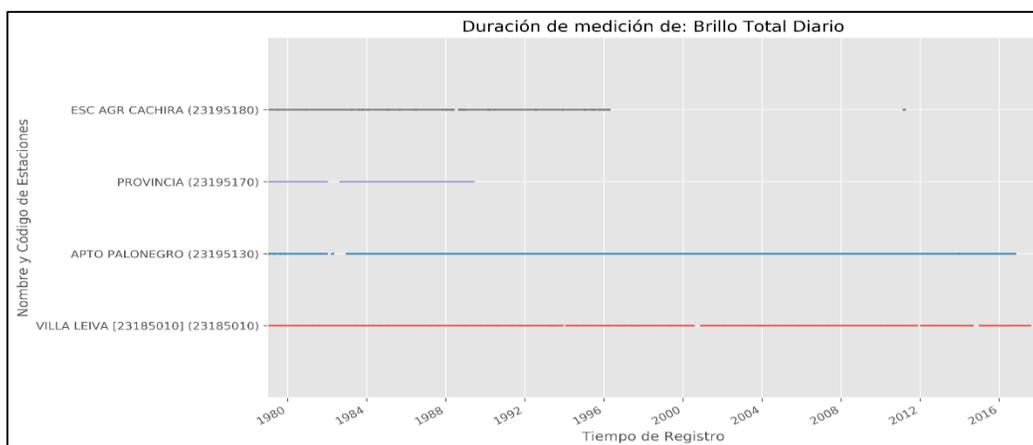


Figura 12. Periodo de registro de Brillo Total Diario.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

A partir de la anterior figura elaborada para cada variable se determinó el periodo de análisis para el presente estudio. En la Tabla 16 se presenta el periodo homogéneo seleccionado para cada variable.

Tabla 16. Periodo de Estudio Homogéneo Seleccionado

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	1988	2016	29
Temperatura	MEDIOS	1988	2016	29
Temperatura	MÁXIMOS	1988	2016	29
Temperatura	MÍNIMOS	1988	2016	29
Velocidad y dirección del viento	MEDIOS	1990	2016	27
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

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En la Tabla 17 se muestra la fecha inicio y fecha final de la serie disponible, el número de registros diarios, el número de registros faltantes en la longitud de la serie, el porcentaje de faltantes tanto en la serie original como en el periodo seleccionado, y el número de años para las series de brillo solar disponibles.

Tabla 17. Datos faltantes series brillo solar

ESTACIÓN	INICIO	FIN	REGIS	FALTANTES	DF_SERIE [%]	DF [%]_PE	AÑOS SE	AÑOS_P E
VILLA LEIVA (23185010)	1-1-1979	12-31-2017	12754	1126	8.1	8.8	39	27
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	1-1-1979	12-31-2011	5417	793	12.8	76.9	33	27

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De acuerdo con lo anterior, en esta etapa, se eliminaron series, debido a su corto periodo de tiempo de registro en el periodo seleccionado o un porcentaje mayor al 50% de datos faltantes. En la Tabla 18 se presenta las series que se retiraron del análisis climático para la Cuenca en esta primera etapa.

VARIABLE	TR	Series iniciales	Series Final	Observaciones
Brillo Solar	TOTAL	4	3	Se eliminan PROVINCIA (23195170) ES AGR CÁCHIRA (23195180) presenta un 77% de datos faltantes en periodo de estudio, sin embargo, se deja en el análisis por considerarse valiosa la información disponible.
Evaporación	TOTAL	4	3	Se elimina la serie de la estación PROVINCIA (23195170).
Humedad Relativa	MEDIOS	5	3	Se eliminan LA LLANA (23195140) y PROVINCIA (23195170) por presentar más del 90% de datos faltantes en el periodo de estudio
Precipitación	TOTAL	27	25	Se eliminan LA LLANA (23195140) y PROVINCIA (23195170)
Temperatura	MEDIOS	5	3	Se eliminan LA LLANA (23195140) y PROVINCIA (23195170)
Temperatura	MÁXIMOS	5	3	Se eliminan LA LLANA (23195140) y PROVINCIA (23195170)
Temperatura	MÍNIMOS	5	3	Se eliminan LA LLANA (23195140) y PROVINCIA (23195170)
Velocidad y dirección del viento	MEDIOS	2	2	
Velocidad y dirección del viento	MEDIOS	4	4	
Recorrido del viento	TOTAL	4	3	Se eliminan PROVINCIA (23195170)

Tabla 18. Información disponible

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.4. Precipitación

El análisis de los valores de precipitación y de su distribución tanto temporal como espacial se realizó a partir de los valores medios mensuales y totales anuales de las estaciones identificadas para la Cuenca del Río Lebrija Medio.

6.2.4.1. Distribución Temporal

Como se mencionó anteriormente, la distribución de la precipitación a lo largo del año está marcada por el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) sobre la zona ecuatorial, correspondiente a una franja de bajas presiones a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los grandes cinturones de alta presión, ubicados en la zona subtropical de los hemisferios Sur y Norte, dando origen a la formación de grandes masas nubosas y abundantes precipitaciones. La ZCIT tiende a seguir el desplazamiento aparente del sol con un retraso aproximado de dos meses.

La ocurrencia de dos estaciones lluviosas a lo largo del año, la primera de comienzos de marzo a finales de junio y la segunda de mediados de septiembre a finales de noviembre, se originan por el paso de la ZCIT sobre la región Andina colombiana, con el movimiento de sur a norte de la ZCIT para el primer período húmedo y el desplazamiento descendente de norte a sur para el segundo período; intermedio a la ocurrencia de los dos períodos húmedos se intercalan dos períodos secos.

Además del paso de la ZCIT, el segundo proceso climatológico que determina el comportamiento de la precipitación en la cuenca tiene su origen en los sistemas convectivos locales, generando lluvias de carácter orográfico especialmente en las zonas altas de la Cuenca del Río Lebrija Medio y sus afluentes principales.

Para el análisis de la información de Precipitación (Ver Tabla 19) que se encuentran distribuidos por dentro y fuera de la cuenca. El promedio de las 25 estaciones disponibles es de 2369.1 mm/año, con un valor máximo de 3347.5 mm reportado en la estación de Aguas Claras (24060040) y un valor mínimo de 1082.2 mm/año reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180) como se puede ver en la Figura 13.

Tabla 19, Precipitación Total Mensual Promedio Multianual [mm/mes]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EL PORVENIR (23180040)	55.5	92.5	182.7	315.6	333.4	234.8	212.8	288.2	292.6	425.5	313.7	173.6	2920.8
SITIO NUEVO (23180100)	11.6	32.1	69.4	195.8	301.6	268.0	239.2	290.5	264.3	300.8	199.3	65.6	2238.2
VILLA LEIVA (23185010)	53.7	83.8	177.7	291.3	317.1	228.0	210.7	262.3	290.3	413.9	314.4	146.4	2789.5
EL PLAYÓN (23190140)	81.7	108.4	161.1	220.9	210.3	135.5	120.7	155.5	173.8	259.7	227.2	126.7	1981.2
PROVINCIA (23190320)	71.6	112.6	213.3	321.8	326.8	222.1	195.2	266.8	289.9	387.9	342.5	190.7	2941.2
PAPAYAL (23190460)	28.6	57.9	145.6	275.9	351.1	237.5	260.1	288.4	323.9	372.5	301.5	119.7	2762.7
EL CAOBO (23190510)	80.2	106.7	208.3	259.0	271.8	152.8	130.8	169.9	206.1	316.7	287.3	180.5	2370.2
LA VEGA (23190540)	57.9	77.8	132.1	192.2	217.1	111.2	94.2	140.6	198.7	259.5	214.7	79.6	1775.8
SAN RAFAEL (23190560)	34.0	61.2	149.7	296.8	358.7	232.5	229.3	253.0	290.2	354.7	294.7	100.4	2655.2
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	24.7	35.0	69.5	111.6	121.2	66.4	60.7	89.8	144.3	176.1	127.4	55.6	1082.2
CACHIRI (23195200)	17,3	20,7	68,1	140,4	154,8	72,6	50,0	101,0	145,0	184,8	129,8	42,7	1127,2
COL COOPERATIVO (23205020)	18.52	49.80	132.1	272.0	341.4	252.0	302.9	335.3	330.0	378.2	286.0	62.3	2760.52

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

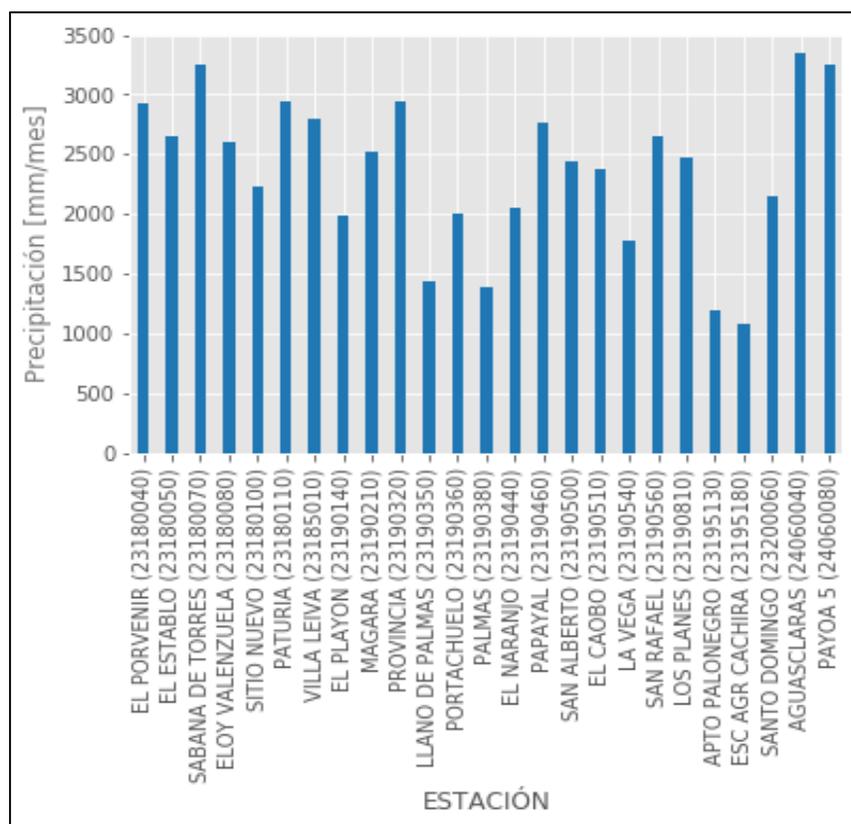
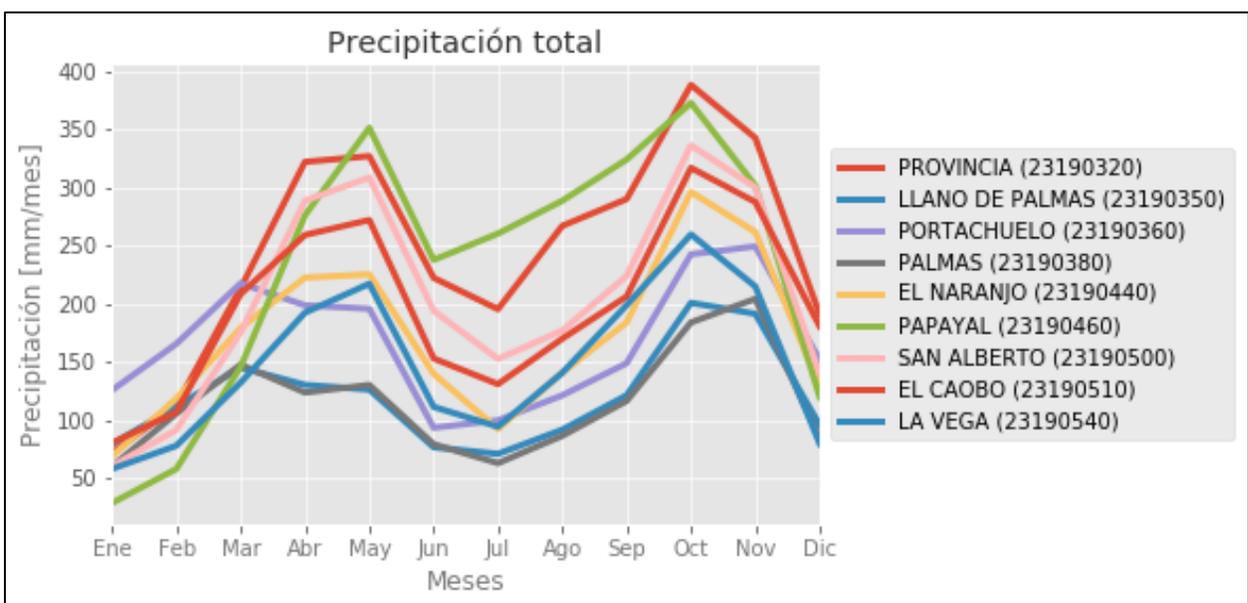
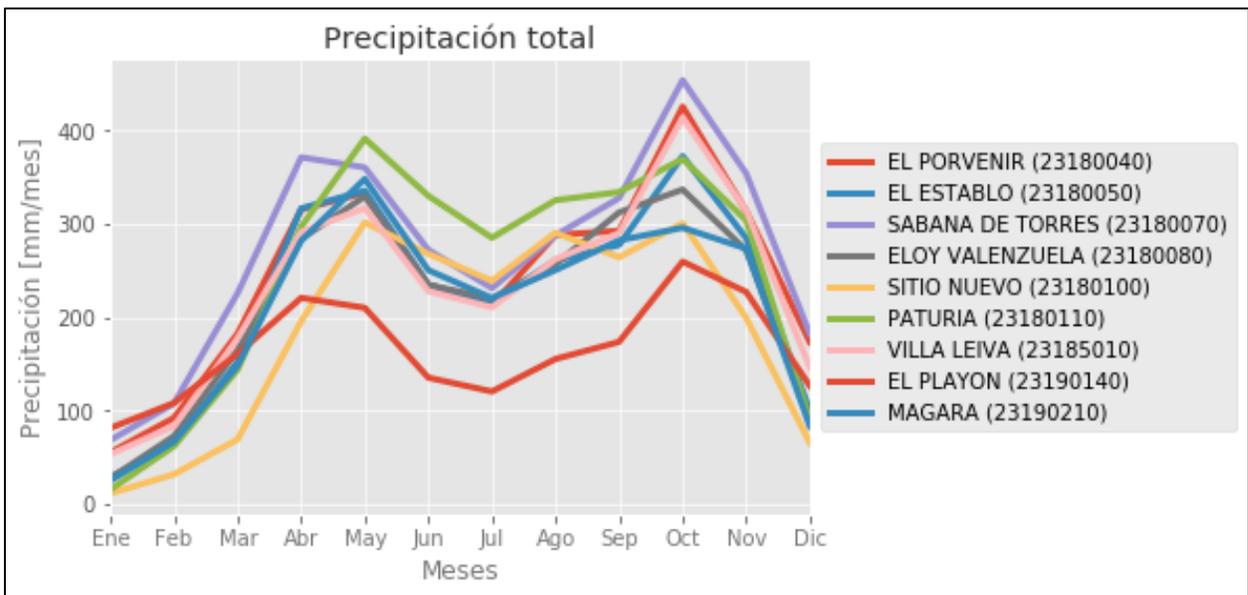


Figura 13 Variación de la precipitación total anual

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

El promedio mensual más bajo es de 11.6 mm/mes y se presenta en el mes de enero para la estación de Sitio Nuevo (23180100). En la Figura 14 se muestra la variación temporal de la precipitación total promedio multianual.

La mayor diferencia entre un mes y el mes anterior se presenta en la estación Paturia (23180110) para el mes de enero, con un valor de 473.6%, mientras que la menor diferencia ocurre en el mes de febrero con un valor de 74.7%.



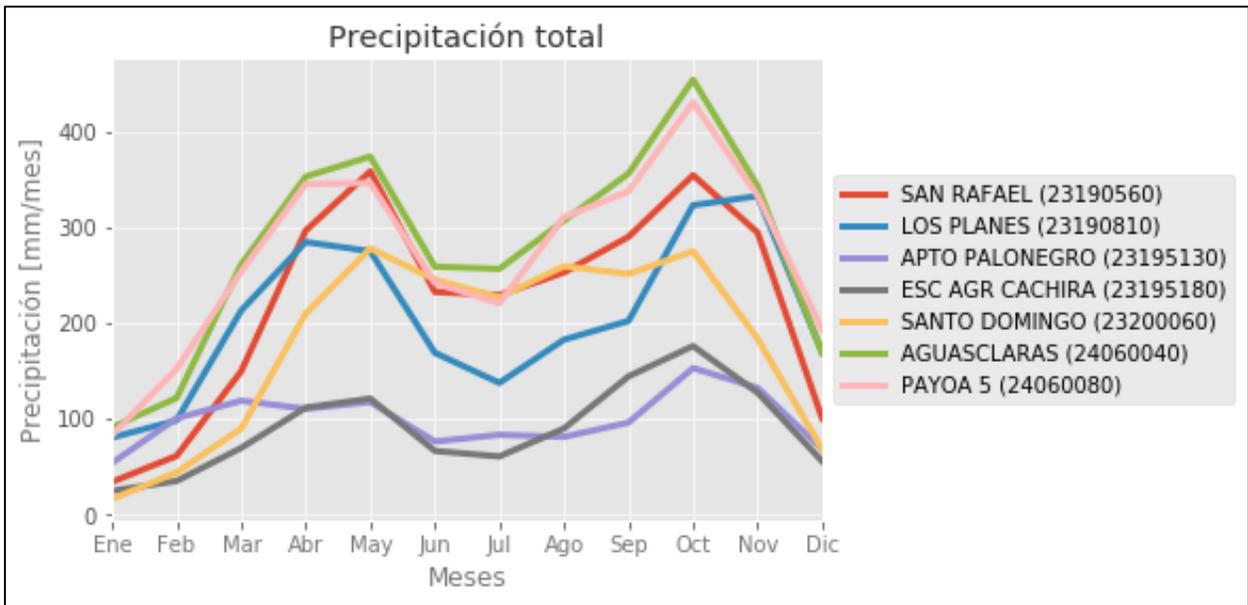


Figura 14 Variación temporal de la precipitación total promedio multianual

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

A partir de lo anterior, se observa en las estaciones de la Cuenca del Río Lebrija Medio que el régimen de lluvias es bimodal, con la ocurrencia de dos períodos lluviosos en abril y mayo, en el primer semestre, y de octubre a noviembre en el segundo, intercalados por dos períodos secos, con mayores precipitaciones en el segundo período húmedo durante el mes de octubre y mínimos en los meses de enero y julio con valores anuales que oscilan entre los 2692 mm en la parte alta a los 110 mm en la parte baja, observándose que en la cuenca baja el segundo período seco del año presenta mayores precipitaciones que el primero.

6.2.4.2. Distribución Espacial

Con base en la información total anual y mensual de precipitación de las estaciones se elaboraron los mapas de isoyetas medias anuales y mensuales, utilizando el método de IDW con una ponderación de 2.

A partir del mapa de isoyetas anuales se establece una gran variabilidad en el comportamiento de la lluvia, con valores de precipitación oscilando entre los 2900 mm en la parte sur de la cuenca, que disminuyen gradualmente en la medida que se desciende hacia parte baja de la cuenca, para luego incrementarse hasta 3300 mm en la unión del río

Lebrija. El promedio anual de precipitación estimado para la Cuenca del Río Lebrija es de 2346,8 mm.

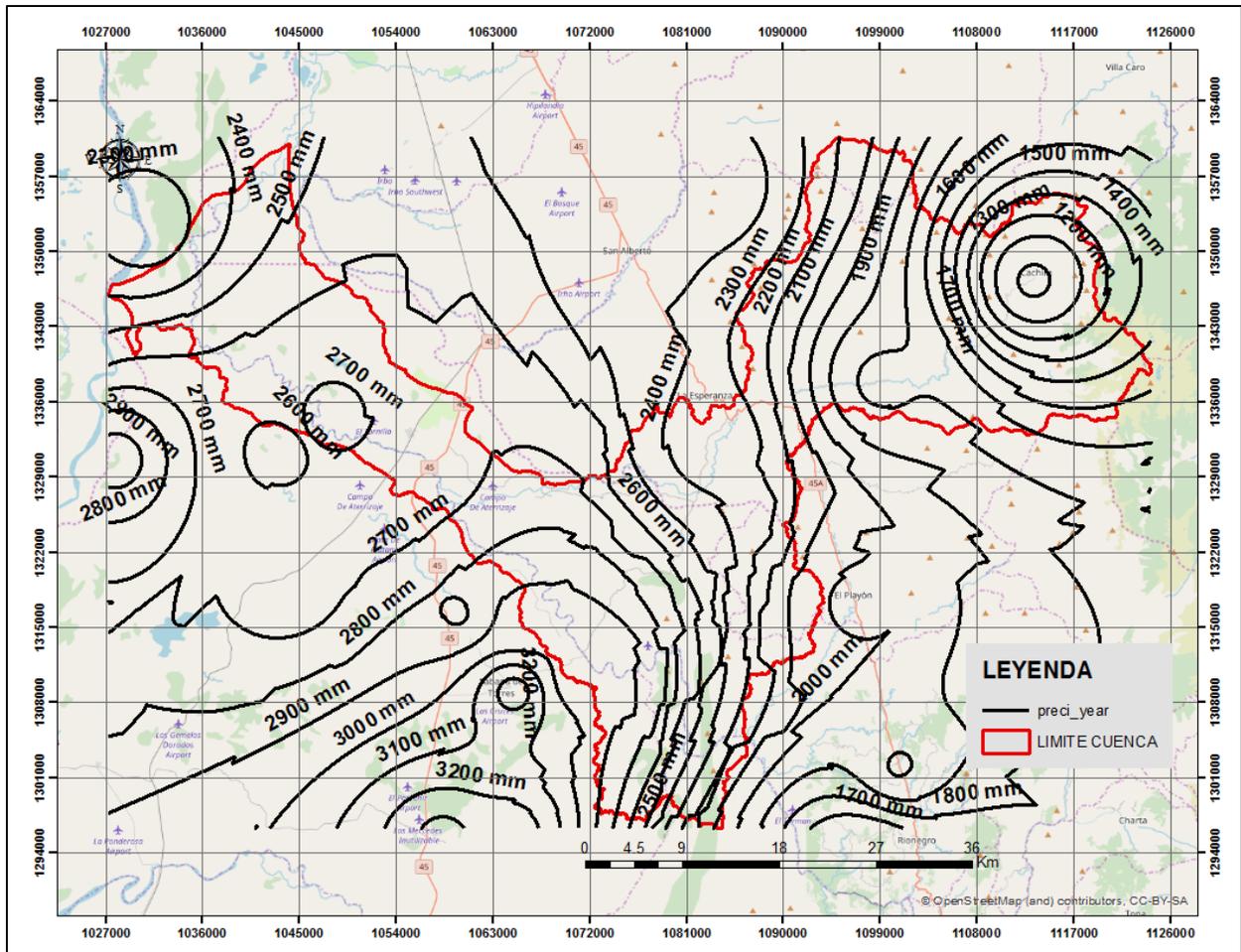


Figura 15. Distribución espacial de precipitación anual (mm).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.4.3. Precipitación Máxima En 24 Horas

La precipitación máxima en 24 horas es útil para comprender los posibles procesos erosivos y la generación de caudales máximos en el área de estudio. La precipitación máxima en 24 horas, que como su nombre lo dice, es la cantidad de lluvia que cae en un solo día para las estaciones disponibles de análisis se presenta en la Tabla 20.

Para el análisis de la información de Precipitación se utilizó un total de 25 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 25 estaciones disponibles es de 74.7 mm, un valor mínimo

de 34.8 mm reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180). El promedio mensual más bajo es de 7.7mm y se presenta en el mes de enero para la estación de Sitio Nuevo (23180100); las menores variaciones se presentan en la estación El Playón (23190140) con un valor de 23.32mm.

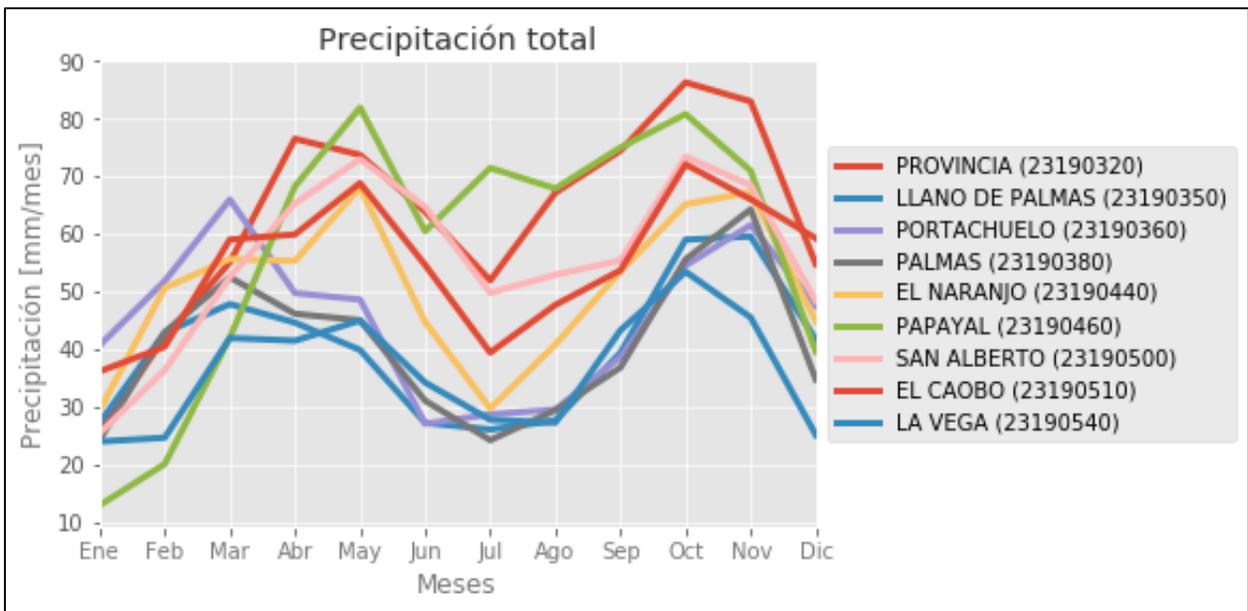
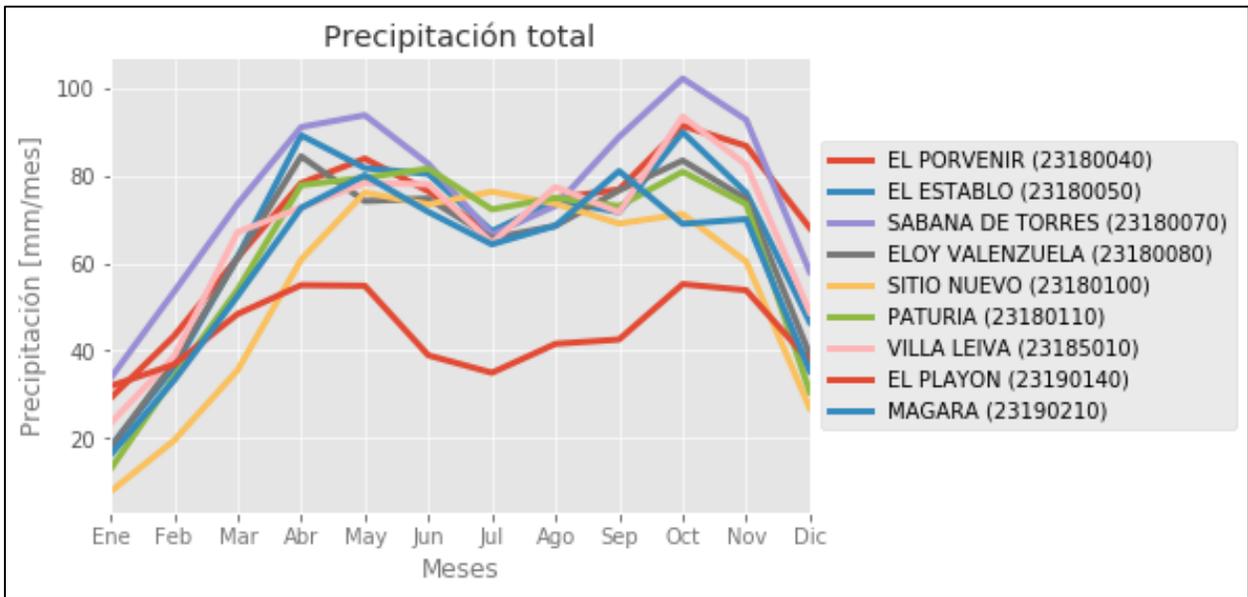
La mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Sitio Nuevo (23180100) en el mes de enero con el mes anterior, con un valor de 248.6%, mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Paturia (23180110) el mes de febrero con un valor de 62.2%.

Tabla 20. Precipitación Máxima en 24 Horas Promedio Multianual [mm/día]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EL PORVENIR (23180040)	29.1	43.3	61.2	78.3	83.9	76.4	66.6	74.8	76.8	91.4	86.8	68.0	91.4
EL ESTABLO (23180050)	17.9	36.1	61.4	89.2	81.7	80.4	67.3	74.3	71.7	89.9	76.1	46.5	89.9
SABANA DE TORRES (23180070)	33.6	53.4	73.5	91.1	93.8	82.7	66.5	73.1	88.8	102.2	92.8	58.0	102.2
ELOY VALENZUELA (23180080)	17.7	37.3	61.1	84.4	74.2	74.8	65.7	68.5	76.6	83.4	74.7	39.0	84.4
SITIO NUEVO (23180100)	7.7	19.4	35.5	60.8	76.1	73.4	76.3	73.6	69.0	71.2	60.3	26.8	76.3
PATURIA (23180110)	12.8	33.9	53.9	77.8	79.5	81.6	72.3	74.9	73.0	80.9	73.5	30.5	81.6
VILLA LEIVA (23185010)	23.3	38.6	67.1	72.7	78.3	78.0	64.6	77.4	71.6	93.5	82.5	48.7	93.5
EL PLAYÓN (23190140)	31.9	36.8	48.3	54.9	54.8	38.9	34.9	41.5	42.5	55.2	53.8	37.5	55.2
MAGARA (23190210)	16.1	33.2	52.5	72.6	80.1	71.7	64.3	68.5	81.0	69.0	70.0	35.3	81.0
PROVINCIA (23190320)	25.6	42.1	55.1	76.5	73.7	63.9	51.9	67.2	74.5	86.3	83.0	54.8	86.3
LLANO DE PALMAS (23190350)	27.2	42.9	47.8	44.6	39.9	27.2	26.1	27.6	39.4	59.0	59.6	41.6	59.6
EL NARANJO (23190440)	29.4	50.6	55.7	55.3	68.1	44.7	29.7	40.8	53.5	65.2	67.3	44.8	68.1
PAPAYAL (23190460)	12.9	20.1	42.0	68.3	81.9	60.5	71.5	67.9	75.0	80.8	71.0	39.6	81.9
SAN ALBERTO (23190500)	25.4	36.4	52.5	65.3	73.0	64.7	49.8	52.9	55.4	73.4	68.4	48.4	73.4
EL CAOBO (23190510)	36.1	40.4	59.0	59.9	68.8	54.6	39.4	47.7	53.7	72.1	66.0	59.2	72.1
LA VEGA (23190540)	24.0	24.6	41.9	41.5	45.0	34.2	27.7	27.2	43.3	53.4	45.5	25.1	53.4
SAN RAFAEL (23190560)	19.7	31.1	50.7	80.2	87.5	67.3	75.9	77.3	79.0	81.9	80.3	41.4	87.5
LOS PLANES (23190810)	29.2	37.2	56.9	70.7	69.1	49.9	39.1	48.3	50.0	63.3	62.8	44.1	70.7
APTO PALONEGRO (23195130)	23.0	40.9	44.5	36.5	33.2	24.5	27.7	25.6	30.0	44.2	47.9	32.2	47.9
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	10.7	14.2	22.0	28.9	34.8	16.7	19.3	20.1	27.1	34.7	29.7	15.0	34.8
SANTO DOMINGO (23200060)	11.2	22.2	31.5	46.9	50.8	52.6	43.8	53.4	54.5	51.6	42.4	20.1	54.5
AGUAS CLARAS (24060040)	40.3	53.2	67.7	83.4	84.5	72.8	80.2	74.9	81.5	97.2	70.6	54.0	97.2
PAYOA 5 (24060080)	39.5	59.7	81.1	94.0	85.9	82.6	67.8	82.9	86.8	91.0	79.8	62.2	94.0

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La Figura 16 muestra la variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas para las estaciones disponibles. Se observa un comportamiento bimodal similar al comportamiento de la precipitación total. Los mayores valores se registran en la estación Villa Leiva mientras que los valores más bajos se encuentran en la estación Cachiri.



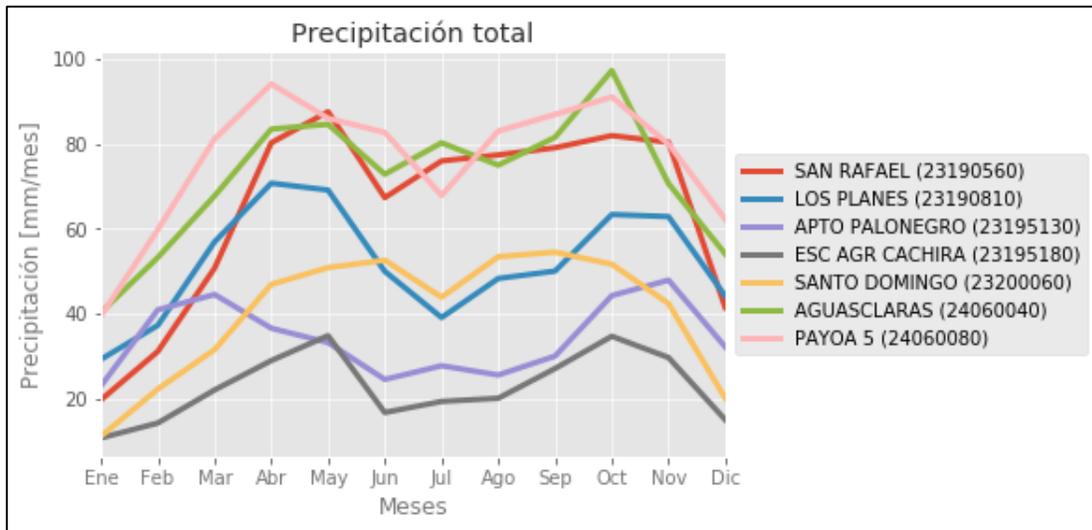


Figura 16. Variación Temporal Precipitación Máxima En 24 Horas

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.4.4. Análisis De Frecuencia Precipitación Máxima En 24 Horas

A partir de las series anuales de precipitación máxima en 24 horas, se realizó un análisis estadístico de las series anuales de precipitación máxima en 24 horas utilizando algunas distribuciones de probabilidad usadas en el campo de la hidrología, como lo son la distribución de EV3, Gumbel, LogNormal, LogPearson, Pearson y Normal y empleando el método de momentos como método de estimación de parámetros para todos los casos.

A manera de ejemplo se presenta el análisis frecuencia de precipitación máxima en 24 horas para la estación El Caobo. La Figura 17 se muestra la serie anual de precipitación máxima en 24 horas.

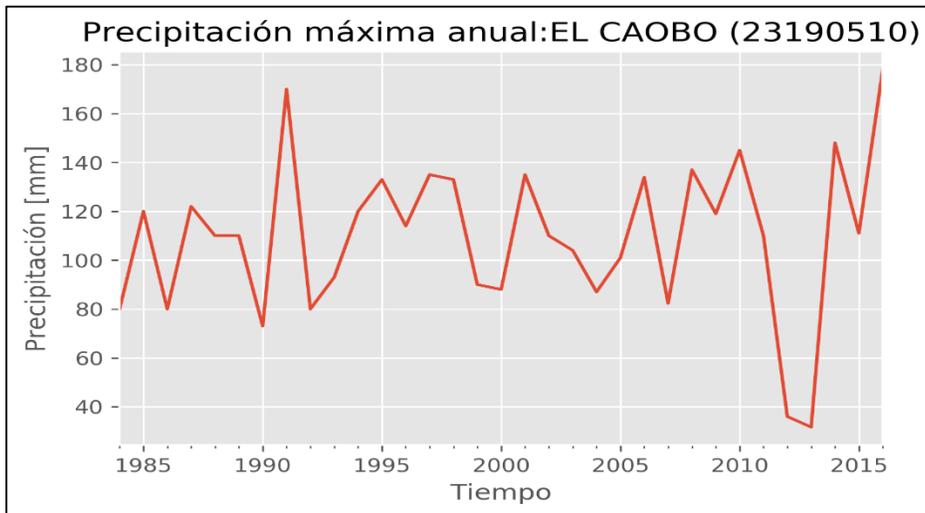


Figura 17. Precipitación Máxima Anual: Estación El Caobo
 Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Se realizó análisis de bondad de ajuste para las distribuciones de probabilidad mencionadas, cuyos resultados para todas las estaciones se presentan en la Figura 18.

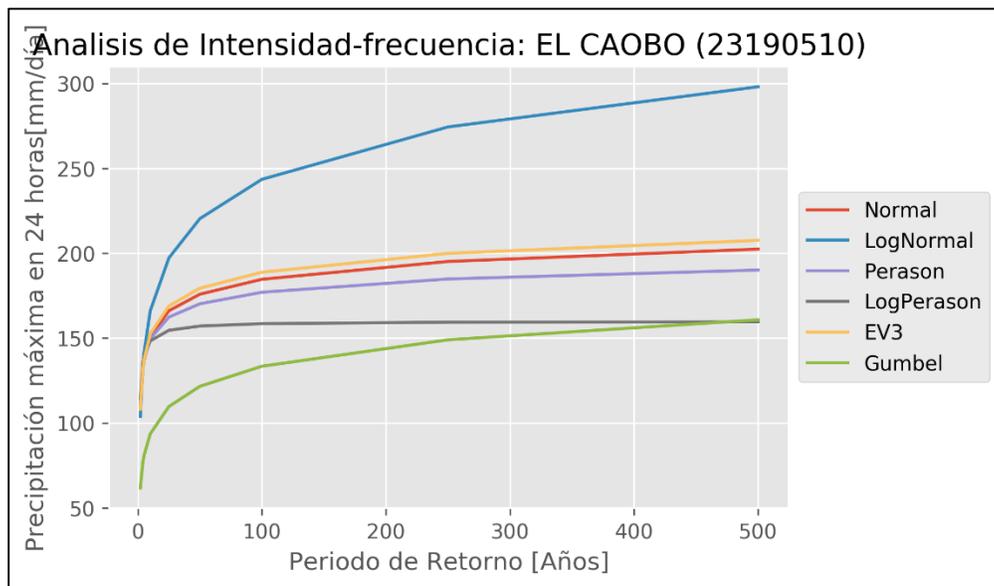


Figura 18. Análisis De Frecuencia De Precipitación Máxima En 24 Horas
 Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La prueba de bondad de ajuste en forma gráfica se muestra en la Figura 19 realizado para la precipitación máxima en 24 horas de la estación El Caobo.

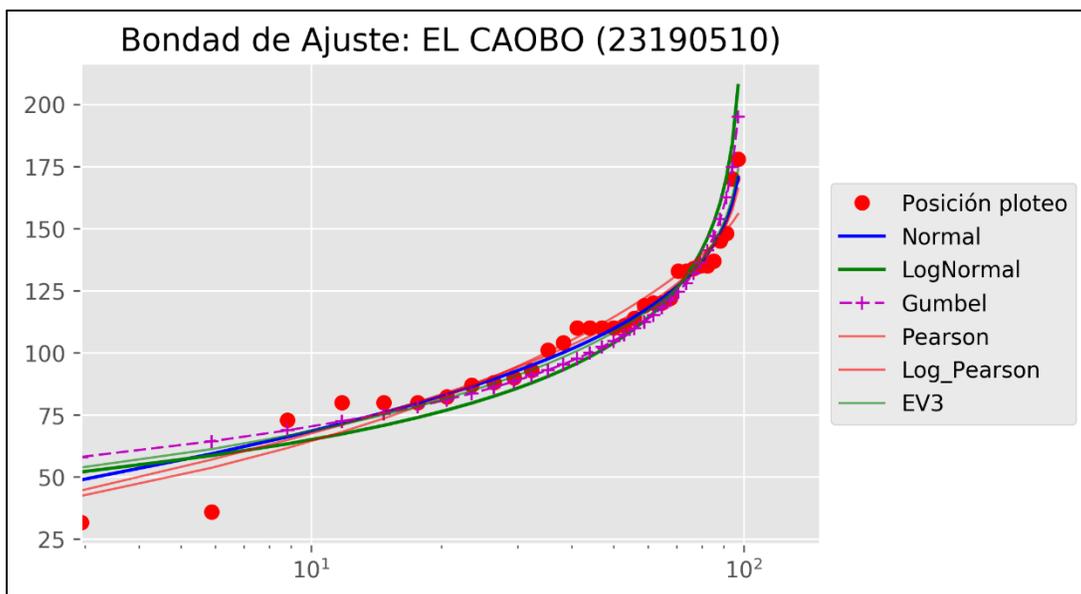


Figura 19 Prueba de bondad de ajuste

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Como consecuencia de lo anterior, en la Tabla 21 se presenta el consolidado de los resultados del análisis de precipitación diaria máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno y la distribución usada.

Tabla 21. Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno [mmm/día]

ESTACIÓN	DISTRIB	2	4	5	10	25	50	100	250	500
EL PORVENIR (23180040)	Perason	127.7	144.1	148.1	158.3	168.8	175.5	181.3	188.2	192.8
SITIO NUEVO (23180100)	Perason	115.8	129.5	132.8	141.1	149.8	155.1	159.9	165.3	169.1
PATURIA (23180110)	LogPerason	118.7	131.0	133.6	139.8	145.3	148.1	150.3	152.3	153.5
VILLA LEIVA (23185010)	LogPerason	126.3	145.2	151.1	169.6	195.5	216.6	239.3	272.2	299.6
EL PLAYÓN (23190140)	LogNormal	86.5	100.2	104.0	114.5	126.9	135.6	143.9	154.5	162.4
PROVINCIA (23190320)	Perason	120.8	139.0	142.5	149.8	155.2	157.5	159.0	160.1	160.6
PAPAYAL (23190460)	Perason	116.4	135.6	139.4	147.6	154.1	157.1	159.2	161.0	161.8
SAN ALBERTO (23190500)	Normal	116.8	136.4	141.2	154.0	167.6	176.4	184.3	193.7	200.3
EL CAOBO (23190510)	Perason	113.4	134.7	139.6	152.0	164.2	171.5	177.7	184.8	189.5
LA VEGA (23190540)	LogPerason	73.0	86.5	89.9	99.0	108.6	114.8	120.4	126.8	131.2
SAN RAFAEL (23190560)	Perason	132.2	146.9	150.5	159.6	169.0	174.9	180.1	186.2	190.4
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	LogPerason	46.6	62.2	67.5	85.4	113.4	138.8	168.9	217.2	261.6

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.4.5. Curvas IDF

Se construyeron curvas de intensidad, frecuencia y duración IDF para cada una de las estaciones analizadas. 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. Mediante la construcción de las curvas IDF es posible calcular la intensidad de las tormentas en diferentes duraciones y en varios periodos de retorno. Para su cálculo se utilizó la precipitación máxima en 24 horas anual promedio multianual. Para la obtención de las curvas IDF se utilizó el método propuesto para Colombia específicamente para la región andina colombiana, los cuales estuvieron basados en los trabajos de Kothyari y Garde y Bell, estableciendo diferentes ecuaciones que se ajustan al comportamiento de las 5 regiones del país. La ecuación utilizada corresponde a la ecuación 22 descrita a continuación:

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

Ecuación
22

Donde:

I = Intensidad

T= tiempo de retorno (años)

t= duración (horas)

M= valor máximo anual de precipitación diaria (mm)

a, b, c, d= coeficientes

Los coeficientes fueron calculados mediante análisis de regresión de las estaciones trabajadas. Estos valores, para el área andina corresponden a:

$$a = 0.94; b = 0.18; c = 0.66; d = 0.83 \quad \text{Ecuación 23}$$

A modo de ejemplo, en la Tabla 22 se presentan los resultados de los valores de intensidades de lluvia para varias duraciones de tormenta y periodo de retorno determinados para la estación de Vivero Surata y en la Figura 20 muestran dichas curvas.

Tabla 22. Resultados de las curvas IDF [mm/hora]: Estación El Caobo

DURACIÓN [MIN]	PERIODO DE RETORNO [AÑOS]										
	2	2.33	4	5	10	25	30	50	100	250	500
10	208.1	213.9	235.7	245.4	278.0	327.8	338.8	371.4	420.7	496.2	562.1
20	131.7	135.4	149.2	155.3	175.9	207.5	214.4	235.0	266.3	314.0	355.8
30	100.8	103.6	114.2	118.8	134.6	158.8	164.1	179.9	203.8	240.3	272.2
40	83.3	85.7	94.4	98.3	111.3	131.3	135.7	148.8	168.5	198.7	225.2
50	71.9	73.9	81.5	84.8	96.1	113.3	117.1	128.4	145.4	171.5	194.3
60	63.8	65.5	72.2	75.2	85.2	100.5	103.8	113.8	129.0	152.1	172.3
70	57.6	59.2	65.3	67.9	77.0	90.8	93.8	102.8	116.5	137.4	155.6
80	52.7	54.2	59.8	62.2	70.5	83.1	85.9	94.1	106.7	125.8	142.5
90	48.8	50.2	55.3	57.5	65.2	76.9	79.5	87.1	98.7	116.4	131.8
100	45.5	46.8	51.6	53.7	60.8	71.7	74.1	81.3	92.1	108.6	123.0
110	42.7	43.9	48.4	50.4	57.1	67.3	69.6	76.3	86.4	101.9	115.5
120	40.4	41.5	45.7	47.6	53.9	63.6	65.7	72.0	81.6	96.2	109.0

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

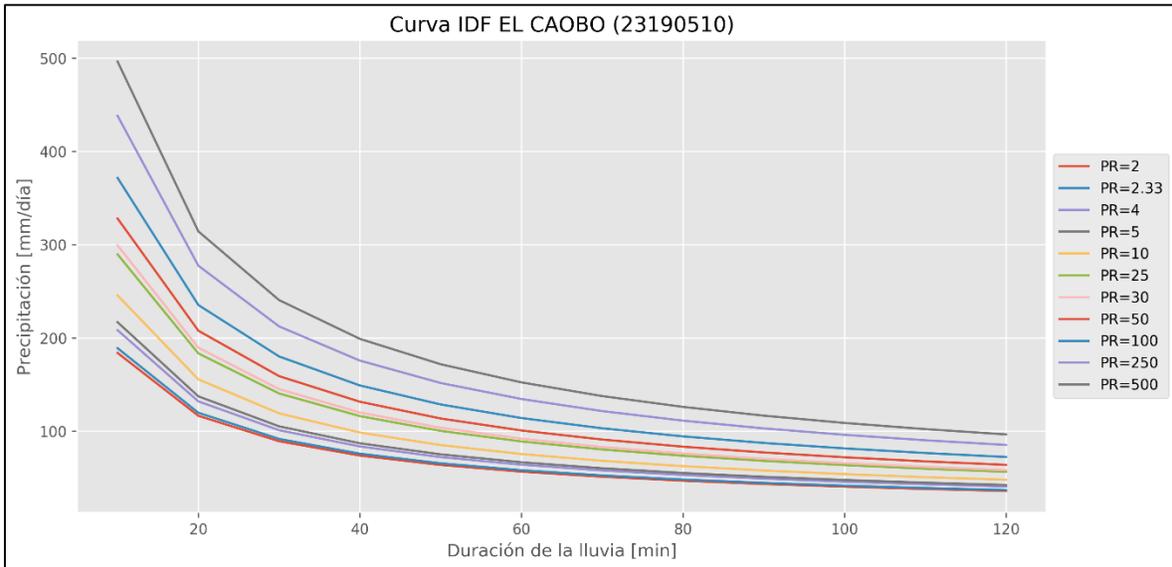


Figura 20. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: Estación El Caobo

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

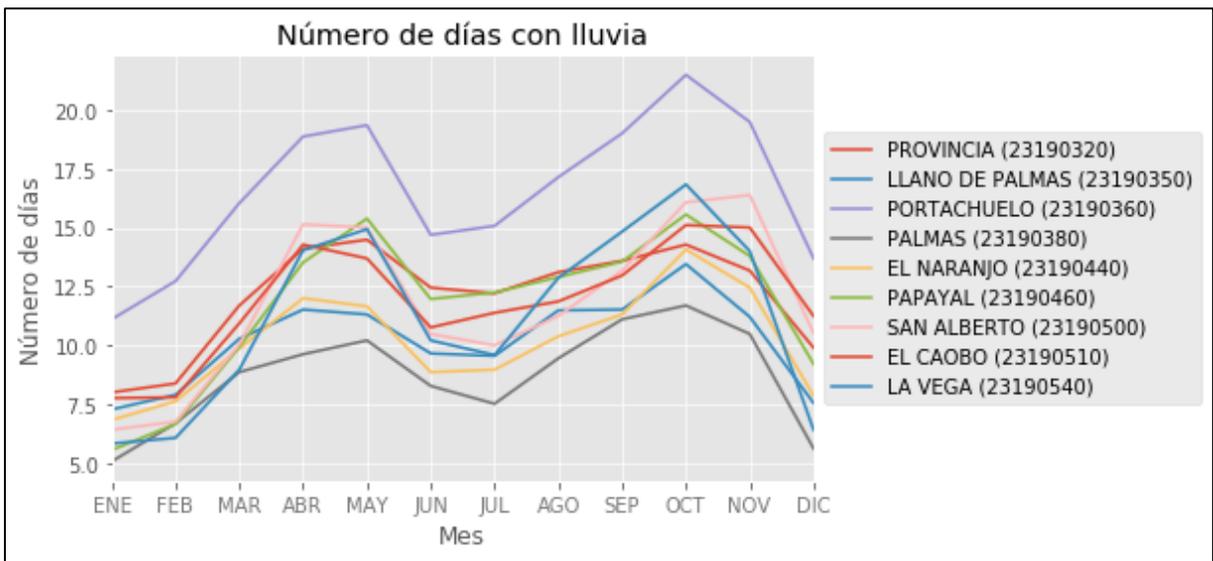
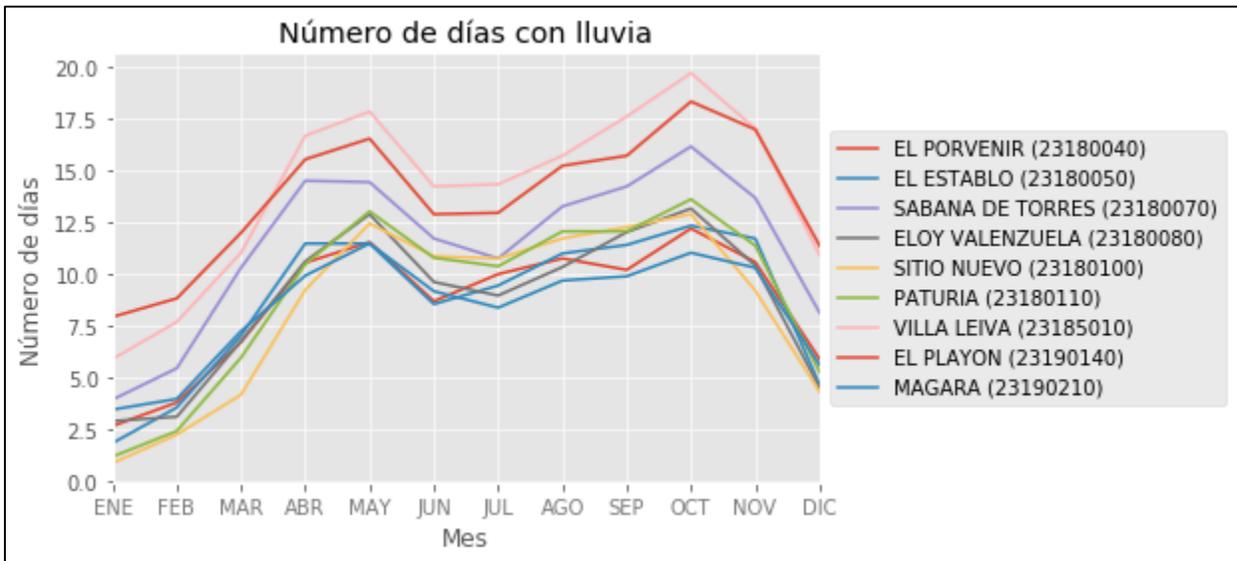
6.2.4.6. Número de días con lluvia

Tomando la información de precipitación diaria de las estaciones disponibles para el periodo de estudio seleccionado, se determinó el número de días con lluvia promedio multianual para cada estación. En la Tabla 23 se presenta el número de días con lluvia promedio a nivel mensual para cada una de las estaciones analizadas y la Figura 21 se muestra la variación temporal del número de días promedio mensual multianual. El número de días con precipitación es proporcional al valor medio mensual de la precipitación, y presentan un régimen de variación bimodal.

Tabla 23. Número De Días Con Lluvia Promedio Multianual [días]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
El Porvenir (23180040)	3	4	7	11	12	9	10	11	10	12	11	6	104
Sitio Nuevo (23180100)	1	2	4	9	12	11	11	12	12	13	9	4	101
Villa Leiva (23185010)	6	8	11	17	18	14	14	16	18	20	17	11	169
El Playón (23190140)	8	9	12	16	17	13	13	15	16	18	17	11	164
Papayal (23190460)	6	7	10	14	15	12	12	13	14	16	14	9	140
San Alberto (23190500)	6	7	10	15	15	10	10	11	13	16	16	11	141
El Caobo (23190510)	8	8	11	14	14	11	11	12	13	15	15	11	143
La Vega (23190540)	6	6	9	14	15	10	10	13	15	17	14	6	135
San Rafael (23190560)	2	4	7	11	13	10	9	11	12	13	11	5	109
Los Planes (23190810)	9	8	13	17	17	14	13	15	16	19	20	14	173
Apto Palonegro (23195130)	8	11	14	17	19	16	18	19	18	18	15	9	183
Es Agr Cáchira (23195180)	7	8	13	17	17	15	15	17	19	22	18	12	179

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



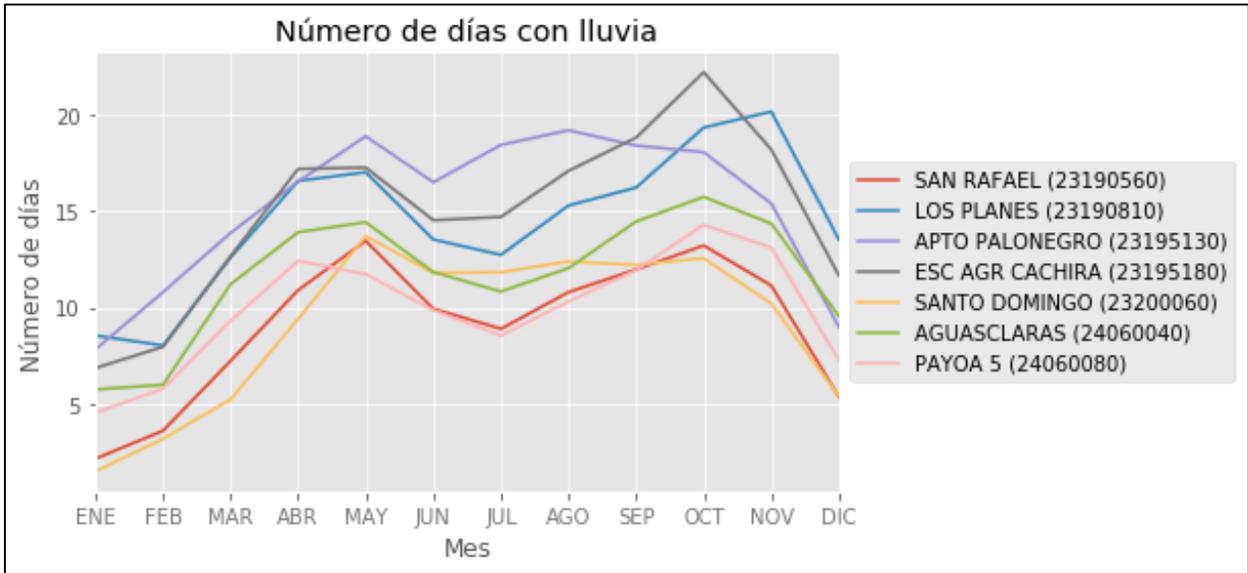


Figura 21 Variación Temporal Del Número De Días Con Lluvia

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.5. Temperatura

6.2.5.1. Temperatura Media

Para el análisis de la información de Temperatura media se utilizó un total de 3 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 21.6 °C, con un valor máximo de 26.2 °C reportado en la estación de Villa Leiva (23185010) y un valor mínimo de 17.2 °C reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 16.6°C y se presenta en el mes de diciembre para la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 27.0°C que se presenta en el mes de marzo en la estación de Villa Leiva (23185010).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 2.25, La mayor diferencia de promedios mensuales se presenta en la estación Villa Leiva (23185010) en el mes de abril, con un valor de 3.6%

mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Villa Leiva (23185010) el mes de enero con un valor de -5.2%.

Tabla 24. Temperatura media mensual promedia multianual [°C]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
VILLA LEIVA (23185010)	26.1	26.9	27.0	26.1	26.0	26.8	26.6	26.4	26.1	25.6	25.6	24.8	26.2
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	16.6	17.0	17.2	17.5	17.7	17.7	17.5	17.3	17.1	17.0	16.9	16.6	17.2

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

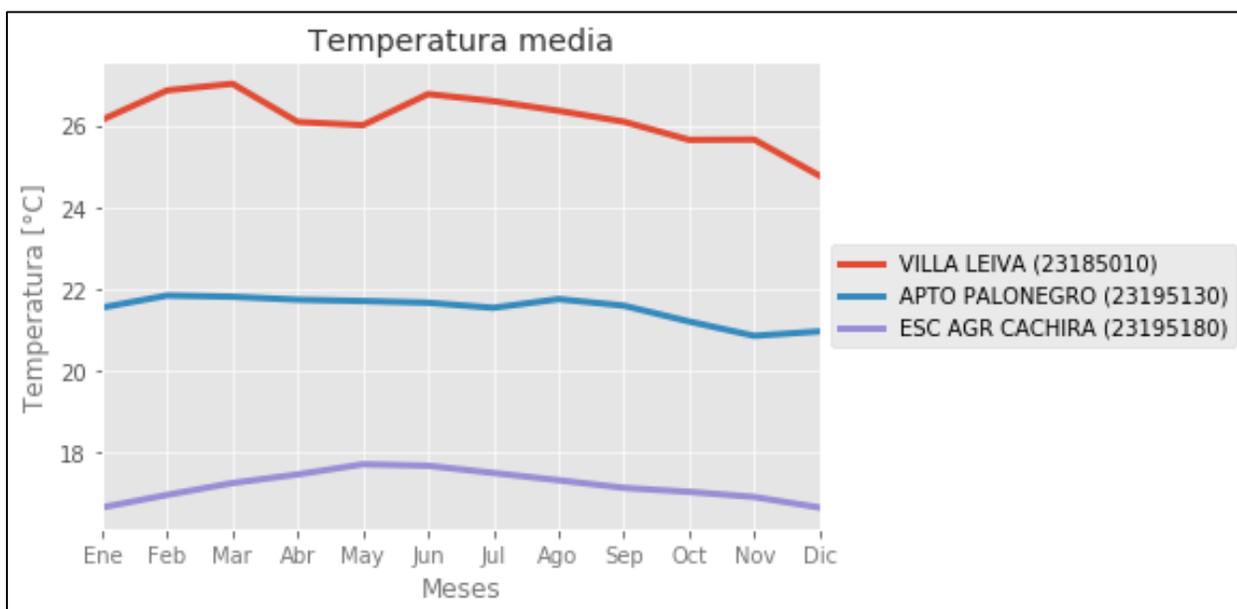


Figura 22. Variación Temporal De La Temperatura

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.5.2. Temperatura Máxima

Para el análisis de la información de Temperatura máxima se utilizó un total de 3 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 30.2 °C, con un valor máximo de 36.3 °C reportado en la estación de Villa Leiva (23185010) y un valor mínimo de 25.5 [°C] reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 23.9°C y se presenta en el mes de noviembre para la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más

alto es de 36.3°C que se presenta en el mes de julio en la estación de Villa Leiva (23185010).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 2.55 °C, mientras que las menores variaciones se presentan en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180) con un valor de 1.59°C.

La mayor diferencia de promedios mensual se presenta en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180) en el mes de octubre con el mes anterior, con un valor de 5.0%, mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Villa Leiva (23185010) el mes de enero con un valor de 3.5%.

Tabla 25. Temperatura máxima mensual promedio multianual [°C]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	YEAR
VILLA LEIVA (23185010)	35.0	35.3	35.8	34.9	35.2	36.0	36.3	35.9	35.6	35.0	34.7	33.8	36.3
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	24.9	25.3	25.4	25.0	25.2	25.4	25.5	25.3	25.1	23.9	23.9	24.4	25.5

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

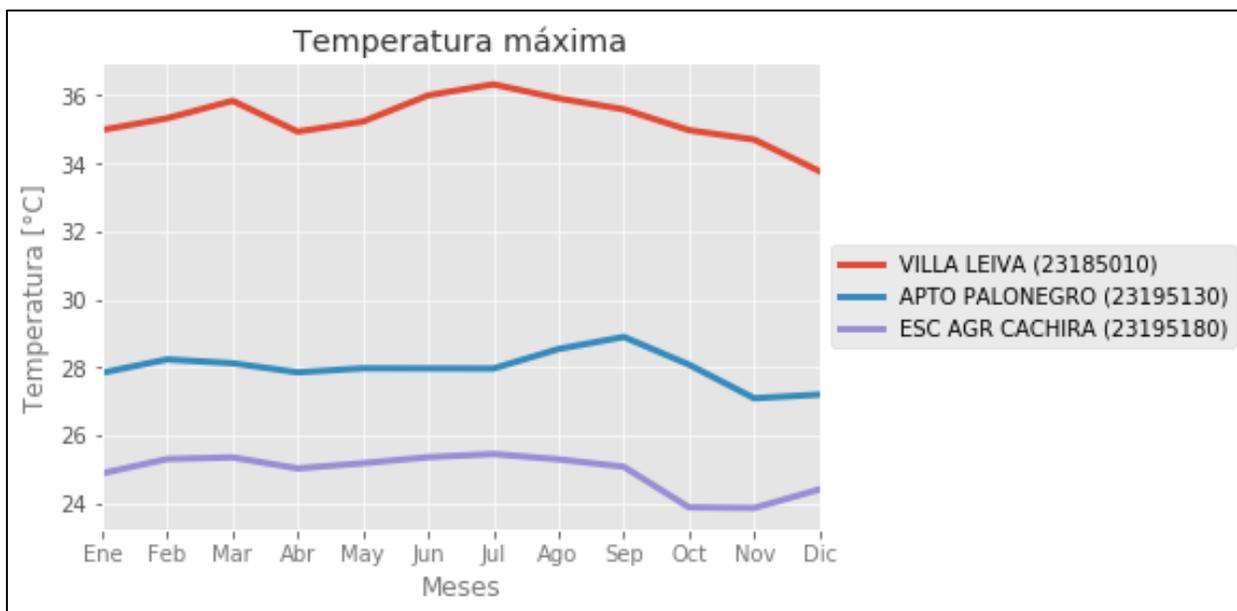


Figura 23 Variación temporal de la temperatura máxima

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.5.3. Temperatura Mínima

Para el análisis de la información de Temperatura mínima se utilizó un total de 32 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 2 estaciones disponibles es de 12.6 °C, con un valor mínimo de 8.1 °C reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 8.1°C y se presenta en el mes de enero para la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 17.4°C que se presenta en el mes de noviembre en la estación de Villa Leiva (23185010).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 4.23 °C, la mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Villa Leiva (23185010) en el mes de diciembre con el mes anterior, con un valor de 24.6%, mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Villa Leiva (23185010) el mes de febrero con un valor de 15.4%.

Tabla 26. Temperatura mínima mensual promedio multianual [°C]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC	YEAR
VILLA LEIVA (23185010)	13.2	15.6	15.9	15.7	16.9	16.0	17.0	16.6	16.7	15.6	17.4	14.0	13.2
ES AGR CÁCHIRA (23195180)	8.1	8.4	9.2	10.4	11.6	10.9	10.8	11.0	11.1	11.1	10.6	8.7	8.1

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

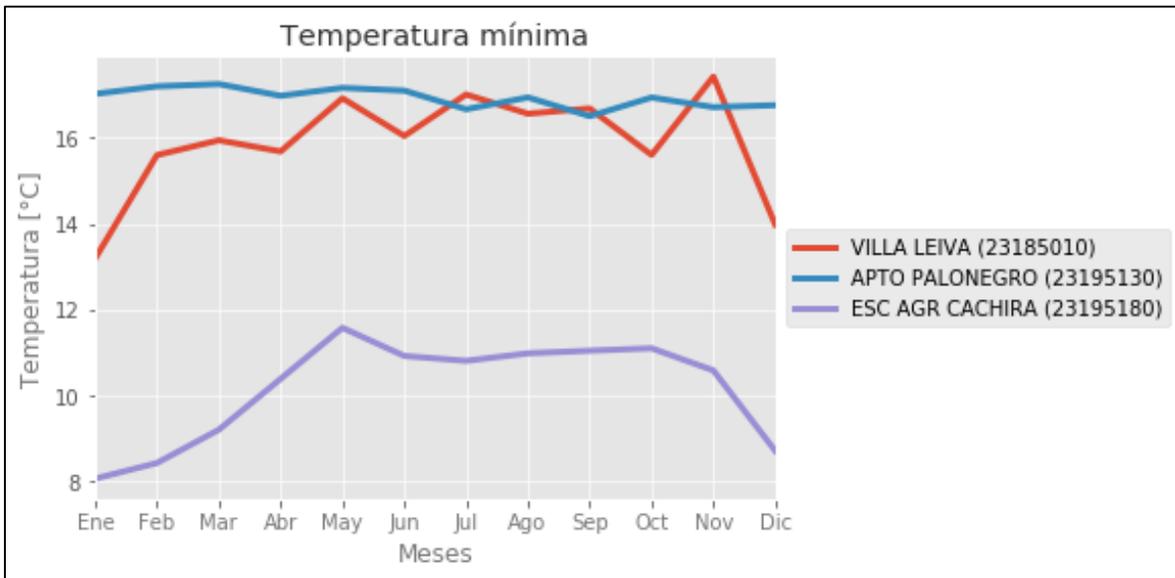


Figura 24 Variación espacial de la Temperatura mínima
 Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.5.4. Relación Altitud Vs Temperatura

Espacialmente, el comportamiento de la temperatura a lo largo de la cuenca está determinada por la relación existente entre la temperatura y la altura sobre el nivel del mar, en donde la temperatura disminuye en la medida que aumenta la altura. Con la información disponible y empleando una técnica de regresión lineal con los valores anuales y mensual se determinó el modelo de representación de la temperatura media, máxima y mínima en función de la elevación. En la Figura 25 se muestran el modelo obtenido para la temperatura media promedia anual con la elevación.

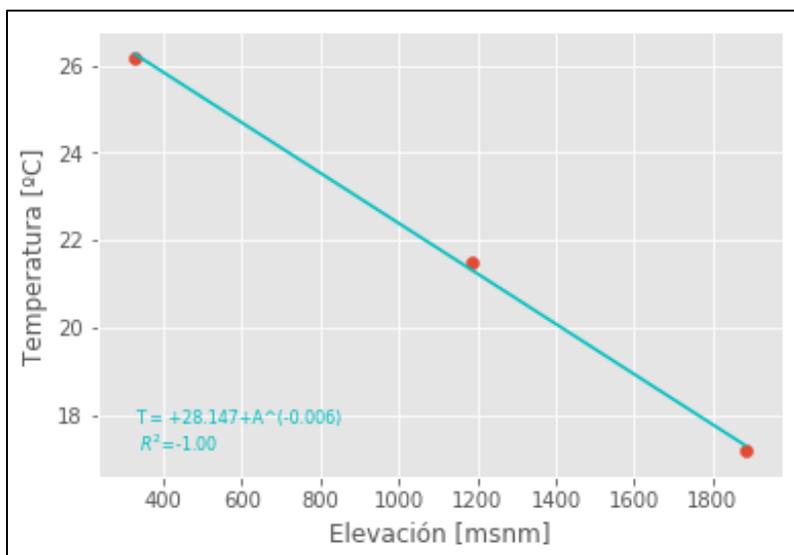


Figura 25 Corelación Altitud Vs Temperatura Media Anual

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De igual forma se realizó este análisis a nivel mensual para las temperaturas medias, máximas y mínimas, cuyos resultados se presentan en las Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 respectivamente.

Tabla 27. Regresión lineal Temperatura media contra elevación

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
YEAR	29.9242	-0.0066	0.0010	-0.9990	0.0002

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 28. Regresión lineal Temperatura máxima contra elevación

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
YEAR	39.60	-0.01	0.00	-1.00	0.00

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 29. Regresión lineal Temperatura mínima contra elevación

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
YEAR	22.917	-0.007	0.012	-0.988	0.0008

Fuente: UT POMCA Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.6. Humedad Relativa

La variación de la humedad relativa en la zona está en relación con el comportamiento temporal y estacional de la temperatura ambiente, obviamente, esta relación es inversa.

Para el análisis de la información de Humedad Relativa se utilizó un total de 3 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 84.4%, con un valor máximo de 85.5 % reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180) y un valor mínimo de 83.3 % reportado en la estación de Villa Leiva (23185010).

El promedio mensual más bajo es de 79.0% y se presenta en el mes de febrero para la estación de Villa Leiva (23185010), mientras que el promedio mensual más alto es de 89.1% que se presenta en el mes de noviembre en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 7.47 %, la mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Aeropuerto Palonegro (23195130) en el mes de enero con el mes anterior, con un valor de 5.1%, mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Villa Leiva (23185010) el mes de abril con un valor de 4.6%.

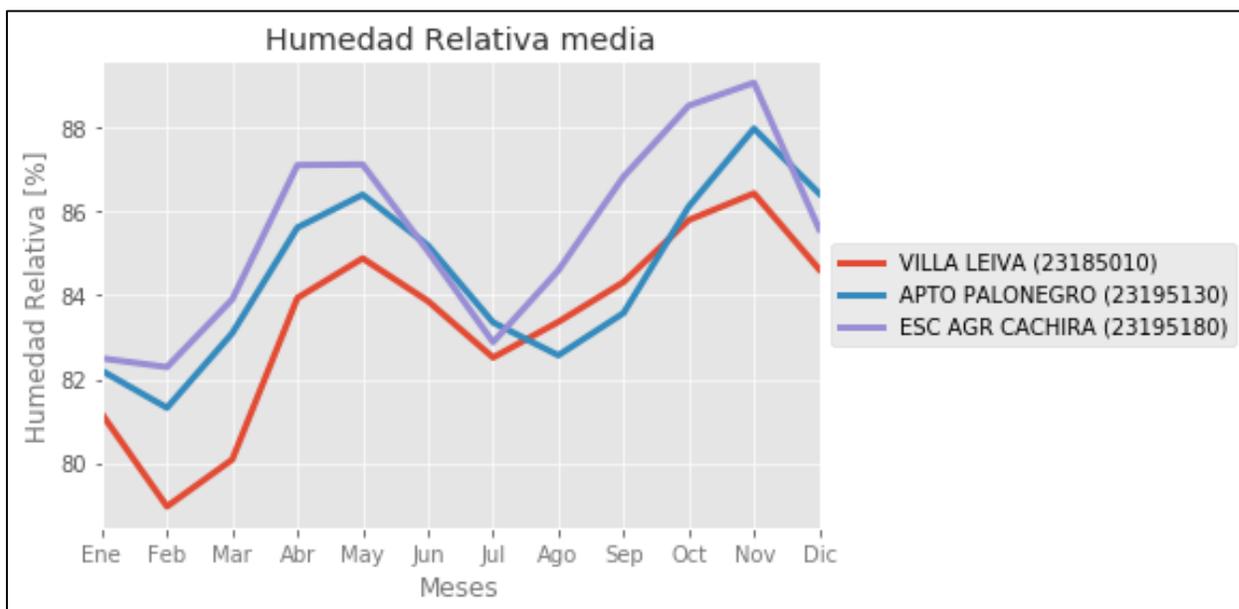


Figura 26 Valores medios mensuales de humedad relativa (%) - Estación Hacienda Las Brisas (2406510)

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.6.1. Distribución Espacial

El comportamiento espacial de la humedad relativa media anual para la Cuenca del Río Lebrija se realizó tomando como referencia las tres estaciones localizadas en la cuenca que cuentan con registros históricos, observándose que los valores medios anuales de humedad relativa sobre el 83%, asociado a mayores condiciones de temperatura y disminución de la calidad del aire, valores que se van incrementando en el nacimiento del río Lebrija, así como en la parte baja de la cuenca con humedades relativas medias anuales sobre 82%. Ver Figura 27.

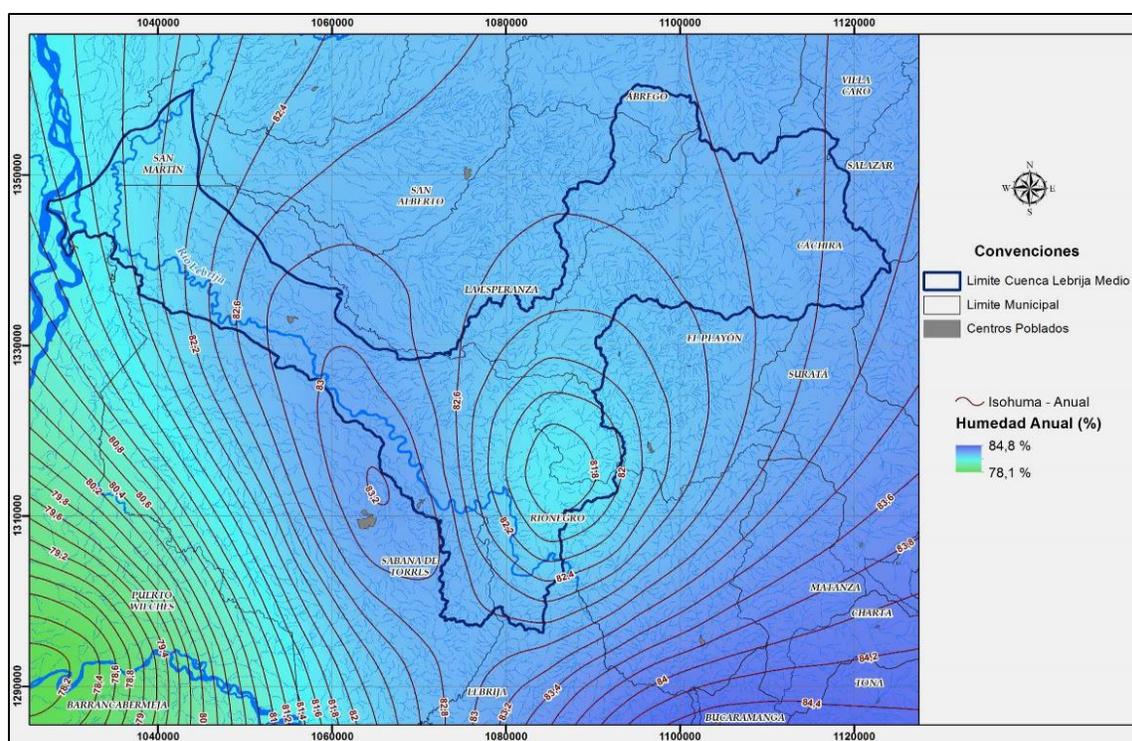


Figura 27 Distribución espacial de la humedad relativa promedio (%) anual.

Fuente: UT POMCA Río Cacha Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.7. Evaporación

La variación de la evaporación en la cuenca está asociado al comportamiento temporal y estacional de la precipitación y la temperatura ambiente. Para el análisis de la información de Evaporación se utilizó un total de 3 estaciones.

A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 1486.6 mm/año, con un valor máximo de 1633.8 mm/año reportado en la estación de Villa Leiva (23185010) y un valor mínimo de 1269.7 [mm] reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 91.8 mm y se presenta en el mes de junio para la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 153.7 mm/mes que se presenta en el mes de marzo en la estación de Villa Leiva (23185010).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 38.29 mm, la mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) en el mes de ABR con el mes anterior, con un valor de 23.2%

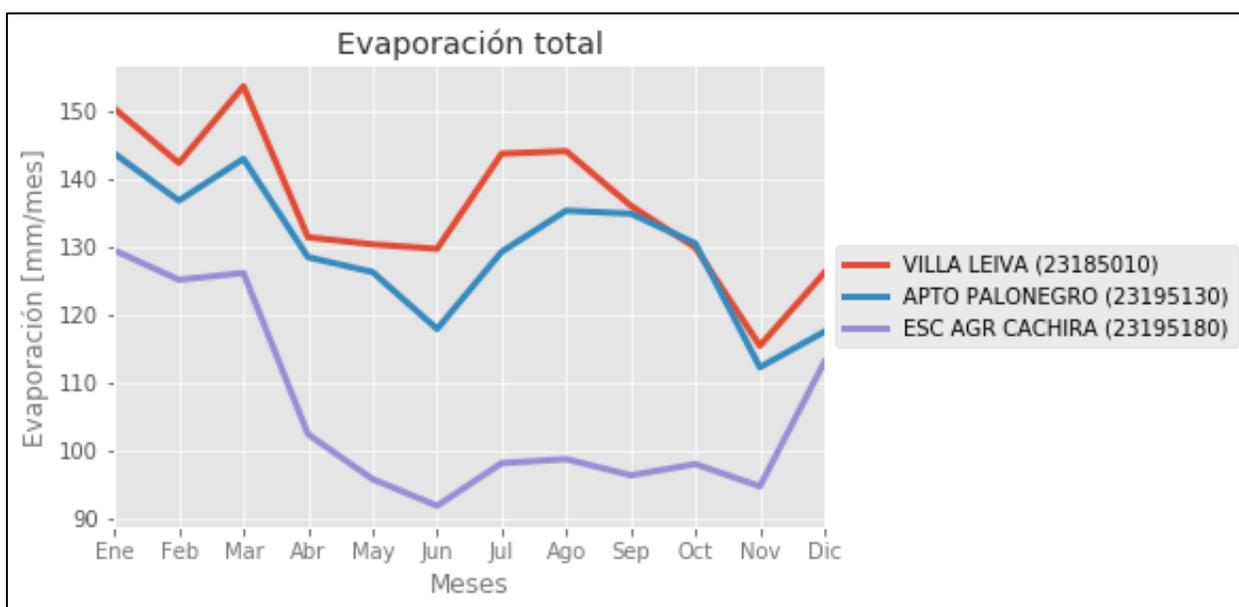


Figura 28 Variación temporal de la evaporación total promedio anual

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.7.1. Distribución Espacial

Espacialmente, las variaciones de la evaporación están claramente relacionadas con el comportamiento de las lluvias y de la temperatura ambiente, observándose un aumento en

los valores de la evaporación en la medida que se desciende en altura en la cuenca y se incrementan las temperaturas.

En la Figura 29 se observa que los mayores valores de evaporación anual se presentan en la parte media de la cuenca sobre los 1450 mm, y mínimos en la parte alta, en la estación y Villa Leiva con valores de 1380 mm; en la parte baja de la cuenca se presentan valores de evaporación sobre los 1240 mm en la estación la Provincia, lo cual indica variaciones cercanas a los 250 mm a lo largo de la cuenca.

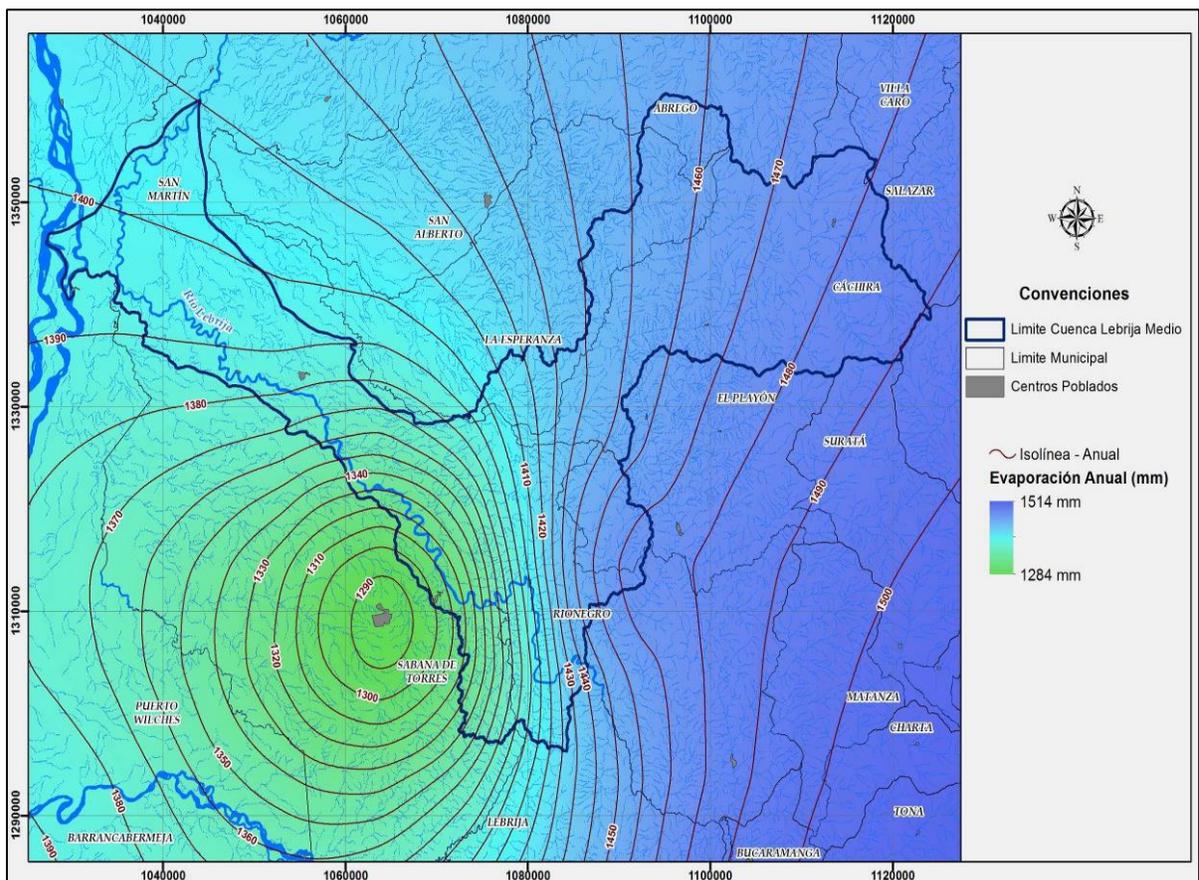


Figura 29 Distribución espacial de la evaporación anual (mm).
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.8. Brillo Solar

El comportamiento del brillo solar en la Cuenca del Río Lebrija Medio está relacionado con las variaciones de la precipitación, la temperatura y la evaporación. De acuerdo a lo registrado en las estaciones climatológicas localizadas en el área de estudio y en plena

concordancia con el comportamiento de la temperatura y la evaporación, se observa a lo largo del año dos períodos de valores de insolación altos y dos de bajos, ajustados a un régimen bimodal, correspondiente a las dos temporadas de lluvias y a las dos de estiaje que se presentan en la zona Andina colombiana; en donde el mes de mayor brillo solar se registra en el segundo período seco del año, es decir, al mes de julio, mientras que las menores insolaciones se presentan en los meses de marzo y abril, correspondiente al primer período de lluvias del año.

Para el análisis de la información de Brillo solar total mensual se utilizó un total de 3 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 1903.4 [horas], con un valor máximo de 2093.3 [horas] reportado en la estación de Villa Leiva (23185010) y un valor mínimo de 1697.9 [horas] reportado en la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180).

El promedio mensual más bajo es de 102.2[horas] y se presenta en el mes de mayo para la estación de Escuela Agrícola Cáchira (23195180), mientras que el promedio mensual más alto es de 228.5[horas] que se presenta en el mes de enero en la estación de Villa Leiva (23185010).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) con un valor de 108.40 horas, mientras que las menores variaciones se presentan en la estación Aeropuerto Palonegro (23195130) con un valor de 74.40 horas.

La mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) en el mes de abril con el mes anterior, con un valor de 32.9% mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) el mes de diciembre con un valor de 25.8%. En la Figura 30 se muestra la variación temporal del brillo solar.

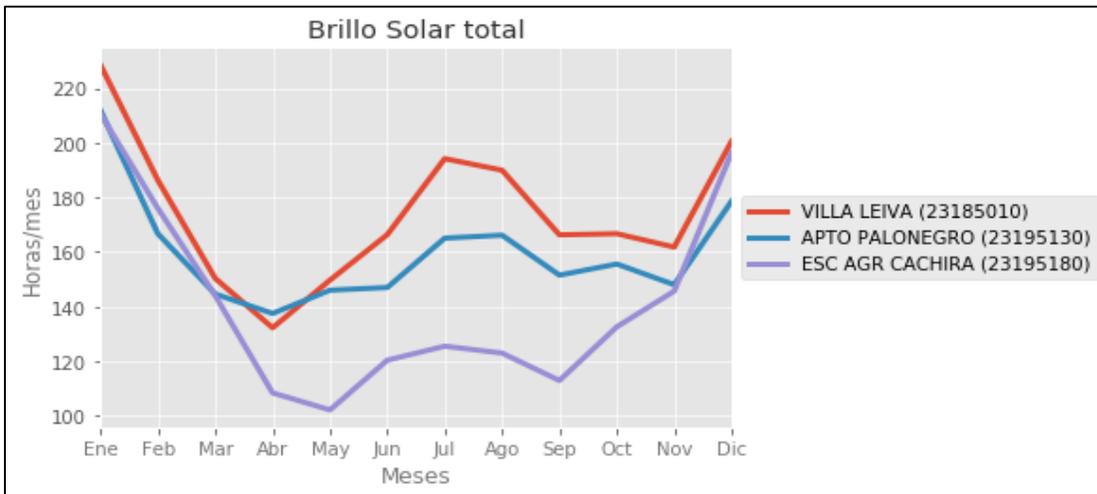


Figura 30. Variación temporal del Brillo Solar total promedio multianual

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tomando como referencia las nueve estaciones climatológicas que cuentan con información de brillo solar se realizaron los mapas de isohelias a nivel mensual y anual, a partir del cual se establece que los menores valores anuales de insolación se presentan en las partes altas de la cuenca, específicamente en el Río Lebrija Medio con valores 1650 hr/año, valores que se van incrementando en la medida que se desciende en la cuenca hasta alcanzar valores de 2100 hr/año; en la parte baja de la cuenca la insolación presenta valores cercanos a los 1900 hr/año. (Figura 31).

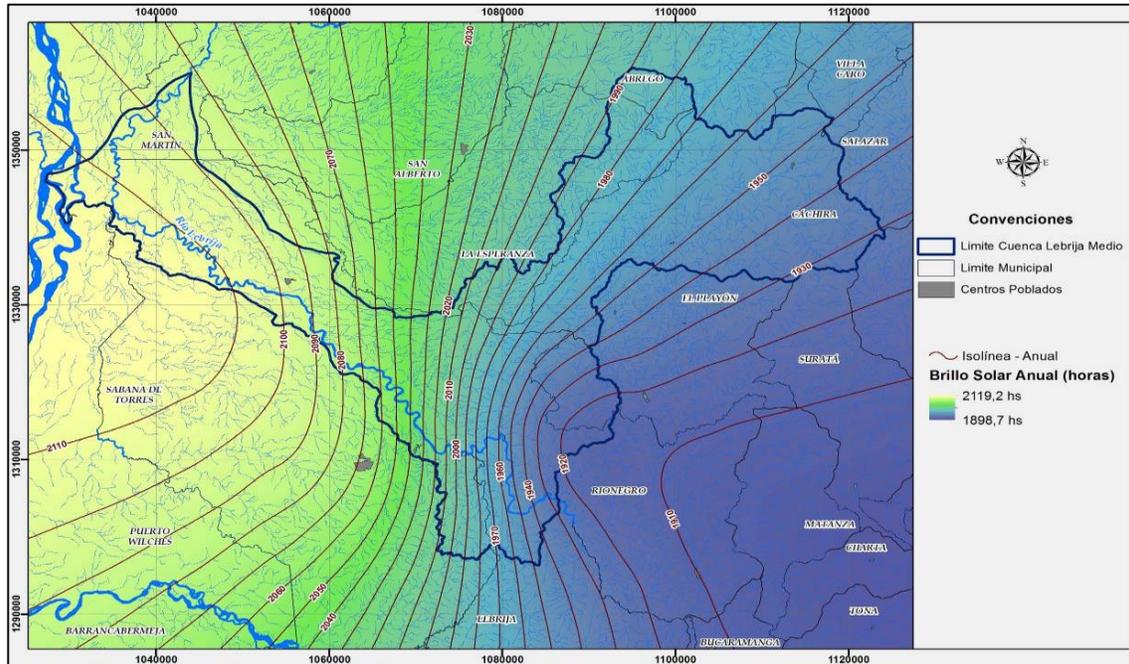


Figura 31. Distribución espacial de brillo medio anual (hrs), Cuenca del Río Lebrija Medio.
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.9. Viento

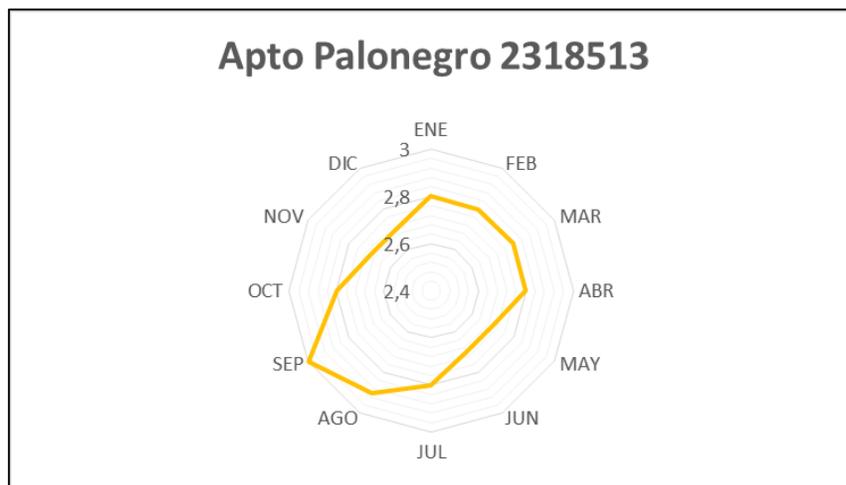
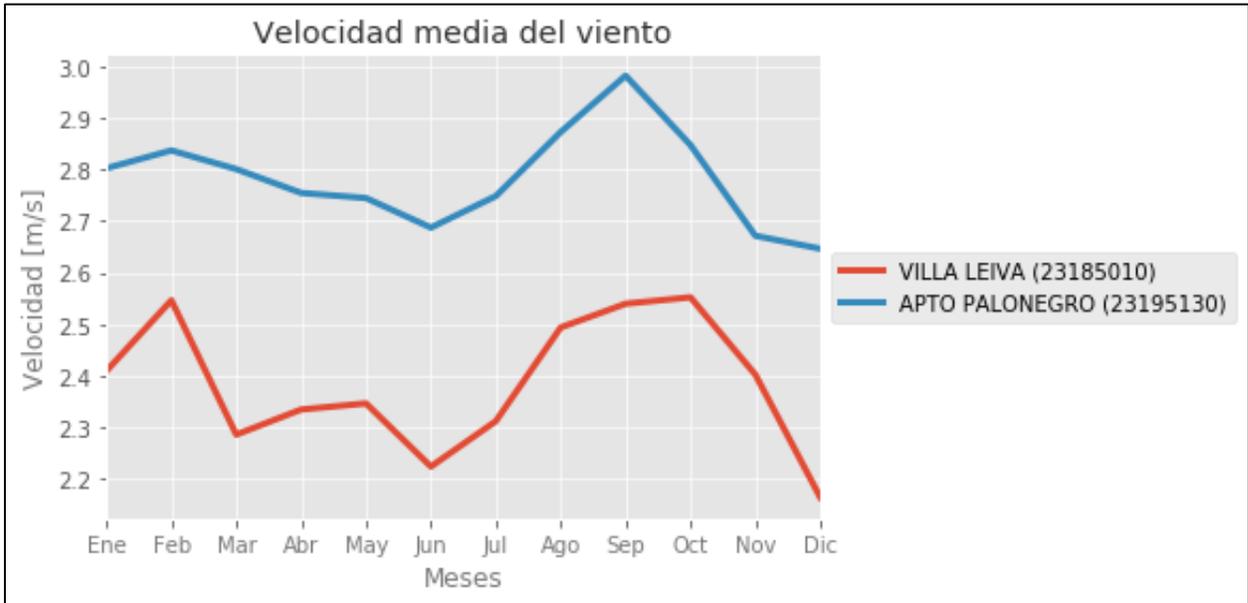
6.2.9.1. Velocidad y Dirección del Viento.

Para el análisis de la información de Velocidad media del viento se utilizó un total de 2 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 2 estaciones disponibles es de 2.6 m/s, con un valor máximo de 2.8 m/s reportado en la estación de Aeropuerto Palonegro (23195130) y un valor mínimo de 2.4 [m/s] reportado en la estación de Villa Leiva (23185010).

El promedio mensual más bajo es de 2.2 m/s y se presenta en el mes de diciembre para la estación de Villa Leiva (23185010), mientras que el promedio mensual más alto es de 3.0 m/s que se presenta en el mes de septiembre en la estación de Aeropuerto Palonegro (23195130).

Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 0.39 [m/s], mientras que las menores variaciones se presentan en la estación Aeropuerto Palonegro (23195130) con un valor de 0.34 m/s.

La mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Villa Leiva (23185010) en el mes de MAR con el mes anterior, con un valor de 11.4% mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Villa Leiva (23185010) el mes de ENE con un valor de -10.2%. La 51 se muestra la variación media del viento.



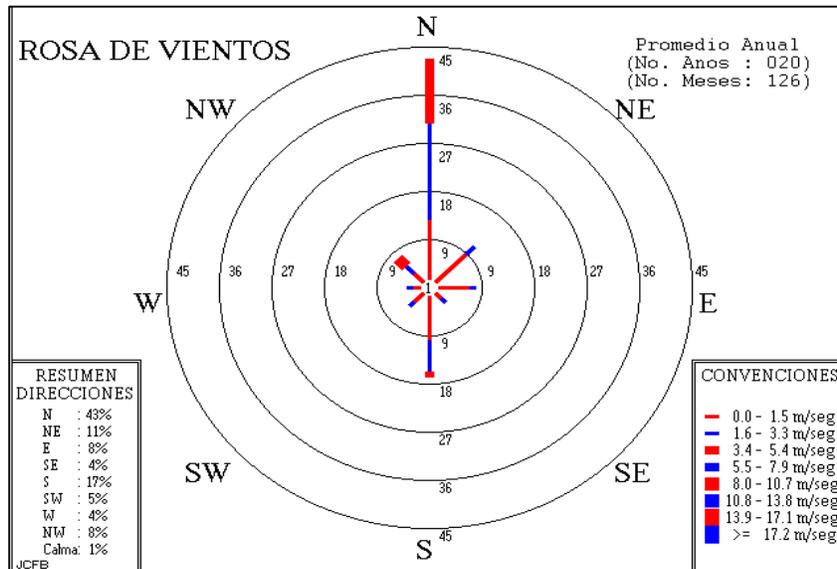


Figura 32. Variación temporal de la velocidad media del viento
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.9.2. Recorrido del viento

Para el análisis de la información de Recorrido del viento se utilizó un total de 3 estaciones. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 33956.2 [km/día], con un valor máximo de 64777.4 [km/día] reportado en la estación de Aeropuerto Palonegro (23195130) y un valor mínimo de 13396.9 [km/día] reportado en la estación de Villa Leiva (23185010).

El promedio mensual más bajo es de 925.9 km/día y se presenta en el mes de noviembre para la estación de Villa Leiva (23185010), mientras que el promedio mensual más alto es de 6001.1 km/día que se presenta en el mes de marzo en la estación de Aeropuerto Palonegro (23195130). Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación Aeropuerto Palonegro (23195130) con un valor de 1178.50 km/día, mientras que las menores variaciones se presentan en la estación Villa Leiva (23185010) con un valor de 444.73 km/día. La mayor diferencia entre meses se presenta en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) en el mes de abril con el mes anterior, con un valor de 27.3% mientras que la menor diferencia ocurre en la estación Escuela Agrícola Cáchira (23195180) el mes de diciembre con un valor de -24.7%.

6.2.10 Evapotranspiración.

6.2.10.1. Evapotranspiración Potencial.

La Evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. En este punto es fundamental tener claro los conceptos de ET potencial (ETP) y real (ETR), la primera se define como la pérdida de agua de un terreno cubierto por una cobertura verde de poca altura, por evaporación y transpiración de las plantas sin limitaciones de agua: mientras que la real o actual (según algunos autores) se refiere a 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 como método de evapotranspiración, dado que es uno de los más ampliamente usados en el país y requiere únicamente como insumo la temperatura media. El método de Thornthwaite se puede aplicar a las estaciones disponibles en la cuenca que cuentan información de temperatura media, mientras que el método de Penman-Monteith se aplicó únicamente a las estaciones que cuentan con informaciones de la temperatura media, la temperatura máxima, temperatura mínima, brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento.

Para el análisis de la evapotranspiración se tuvo en cuenta la metodología descrita por Thornthwaite-Matter (1957), la cual está basada en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura y la precipitación, donde se comprobó científicamente que la evapotranspiración era proporcional a la temperatura promedio la cual está afectada por un coeficiente exponencial y donde como conclusión se desarrolló la siguiente fórmula:

$$E = 16 * \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$$

Ecuación 24

Donde:

E= Evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes)

T= Temperatura media mensual en °C

I= índice de calor anual

$$I = \sum_{j=ENE}^{DIC} i_j, \text{ donde : } i_j = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ecuación 25}$$

a= parámetro que se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$a = 0,00000067 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792I + 0,49239 \quad \text{Ecuación 26}$$

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial por este método se muestran más adelante en el numeral balance hidroclimático para cada estación.

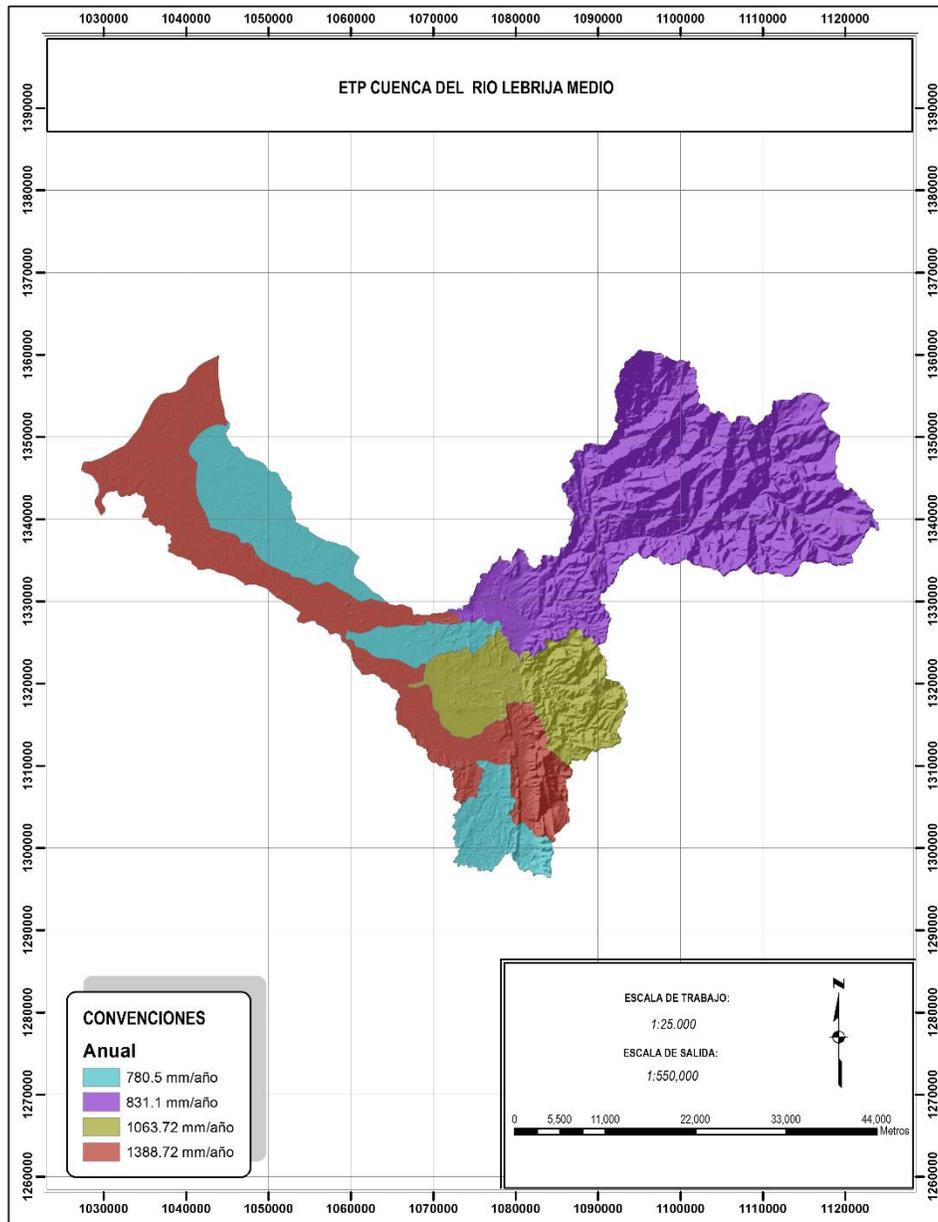


Figura 33 ETP mensual cuenca rio Lebrija Medio.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Los meses del primer semestre del año donde se registran valores de ETP, mayores corresponden a enero y febrero. Los meses del segundo semestre del año donde se registran valores de ETP, mayores corresponden al mes de diciembre.

6.2.10.2. Evapotranspiración Real (ETR)

La evapotranspiración es la pérdida de agua por evaporación directa y transpiración vegetal, se expresa generalmente en mm por unidad de tiempo. 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 el de evapotranspiración real. Este parámetro se calcula según lo expuesto por Turc (1955) como se muestra a continuación:

$$ETR = \frac{P}{\left(0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right)^{0.5}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.005 * T^3 \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real en mm/año

P= Precipitación en mm/año

L= Factor heliotérmico

T= Temperatura media anual en °C

En la demarcación hidrográfica del Cuenca del Rio Lebrija Medio, la Evapotranspiración Real (ETR) total anual está en torno a los 459 mm y 256 mm. El valor máximo de ETR mensual multianual se da en el mes de febrero con un valor de 47 mm y el valor mínimo de 14 mm en el mes de enero. En la Figura 34 se muestra la ETR de la cuenca.

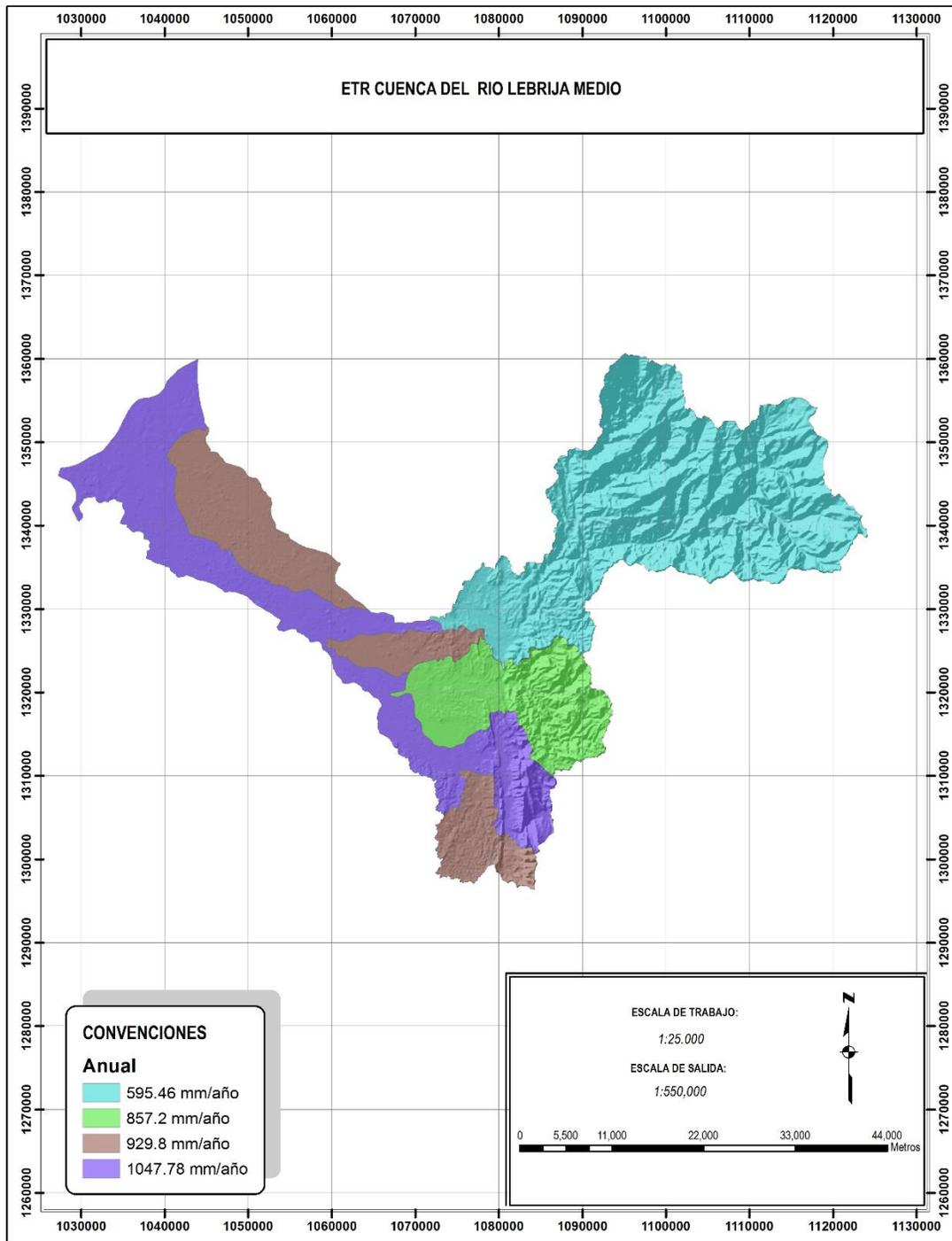


Figura 34 ETR anual Cuenca Río Lebrija medio.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.11. BALANCES HIDROCLIMÁTICOS

6.2.11.1. Balances hidroclimáticos a nivel de subcuenca.

El método de Thornthwaite usa un balance hídrico, que simula el ciclo hidrológico, del cual se derivan parámetros tales como, excesos (EXC) y déficit (DEF). El balance hídrico en el perfil del suelo considera una capacidad máxima de almacenamiento de 100 mm (CHmax) y aplica las siguientes ecuaciones:

$$CH_j = P_j + CH_{j-1} - E_j, \text{ con } 0 \leq CH \leq CH_{max} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$CH_i = \begin{cases} CH_{j-1} + P_j - E_j & \text{si } 0 < (CH_{j-1} + P_j - E_j) < CH_{max} \\ CH_{max} & \text{si } (CH_{j-1} + P_j - E_j) > CH_{max} \\ 0 & \text{si } CH_{j-1} + P_j - E_j < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$EXC_j = CH_j - CH_{max} \text{ si } (CH_{j-1} + P_j - E_j) > CH_{max} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$ER_j = \begin{cases} E_j & \text{si } P > E \\ P_j + \Delta CH & \end{cases} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

CH: Contenido de humedad del suelo [mm]

P: Precipitación [mm]

E: Evapotranspiración [mm]

ER: Evapotranspiración Real [mm]

EXC: Excesos de agua [mm]

DEF: Déficits de agua [mm]

Thornthwaite (1948) comparó la evapotranspiración potencial total anual con la precipitación total anual para obtener el índice de humedad. Con estos dos parámetros se definen los índices de aridez (relación entre el déficit de agua totales anuales en el suelo y evapotranspiración total anual) y el índice de humedad (relación entre los excesos de agua totales anuales en el suelo y la evapotranspiración total anual), de la siguiente manera:

$$Ih = \frac{100 * EXCT}{ETPT} \quad \text{Ecuación 33}$$

$$Ia = \frac{100 * DEFT}{ETPT} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

- Ih: Índice de humedad [Adim]
 Ia: Índice de aridez [Adim]
 EXCT: Exceso total en el año [mm]
 DEFT: Déficit total en el año [mm]
 EVAPT: Evapotranspiración total anual [mm]

Para propósitos de clasificación, Thornthwaite definió el índice de humedad total por la siguiente relación:

$$IHT = Ih - 0.6 * Ia = \frac{100 * EXCT - 60 * DEFT}{EVPT} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

- IHT: Índice de humedad total [Adim]
 Ih: Índice de humedad [Adim]
 Ia: Índice de aridez [Adim]
 ESCT: Exceso total en el año [mm]
 DEFT: Déficit total en el año [mm]
 EVAPT: Evapotranspiración total anual [mm]

Se elaboró el balance hídrico climático aplicando la metodología de Thornthwaite (1942) para las cuatro (4) estaciones que cuentan con temperatura media y precipitación y de igual forma se realizó 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 30, Tabla 31, Tabla 32 y Tabla se presentan los resultados del balance hídrico realizado para cada una de estas estaciones que tienen el parámetro de temperatura. De igual forma en las Figuras 35, Figuras 36, Figura 37 y Figura 38 se muestra la variación temporal de las variables del balance hídrico para cada estación.

Tabla 30. Balance hídrico estación: Villa Leiva

Parametro		set	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	Total
P		270.5	406.5	330.7	127.2	48.3	72.9	206.3	301.4	316.6	245.3	228.0	259.7	270.5	2813.3
ETP corr.		91.7	82.3	79.0	103.0	124.2	109.0	101.4	81.8	89.4	86.1	109.9	93.7	94.9	1151.5
ETR		84.2	78.3	74.5	78.3	45.3	60.0	88.6	76.5	83.3	78.8	96.4	85.5	84.2	929.8
Déficit		7.5	4.0	4.5	24.7	79.0	49.0	12.8	5.3	6.0	7.3	13.5	8.2	10.7	221.8
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	0.0	
Excedentes		178.8	324.2	251.8	24.1	0.0	0.0	104.9	219.6	227.2	159.2	118.0	166.0	175.5	1773.8
ESC		186.2	328.2	256.3	48.8	3.0	12.9	117.7	224.9	233.3	166.4	131.6	174.2	186.2	1883.5

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

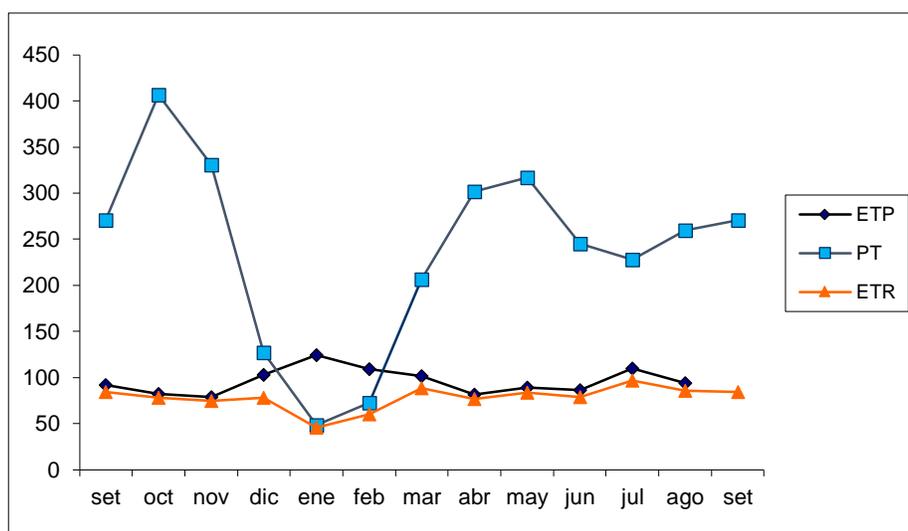


Figura 35. Balance hidroclimático Estación: Villa Leiva

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 31. Balance hídrico estación: Escuela Agrícola Cáchira

Parametro		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	0.0	
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

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

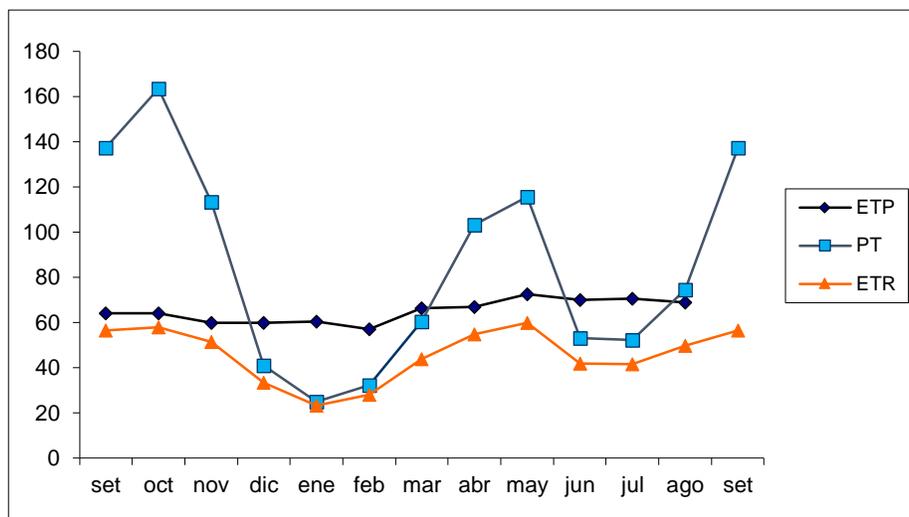


Figura 36 Balance hidroclimático Estación: Escuela Agrícola Cáchira
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 32. Balance hídrico estación: Cachiri

Parametro	set	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	Total
P	145.0	184.8	129.8	42.7	17.3	20.7	68.1	140.4	154.8	72.6	50.0	101.0	145.0	1127.3
ETP corr.	33.1	27.9	32.0	39.2	45.7	43.0	47.4	35.3	34.8	36.9	40.8	36.9	94.9	452.9
ETR	31.3	26.9	30.2	28.3	16.3	18.7	38.0	33.2	32.9	32.0	30.9	33.6	31.3	352.3
Déficit	1.8	1.0	1.9	10.9	29.4	24.3	9.4	2.1	1.9	4.8	9.9	3.3	63.6	100.6
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	
Excedentes		111.9	156.9	97.7	3.5	0.0	0.0	20.8	105.1	120.0	35.7	9.2	64.1	725.0
ESC		113.7	158.0	99.6	14.4	1.0	2.1	30.1	107.2	121.9	40.6	19.1	67.4	775.0

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

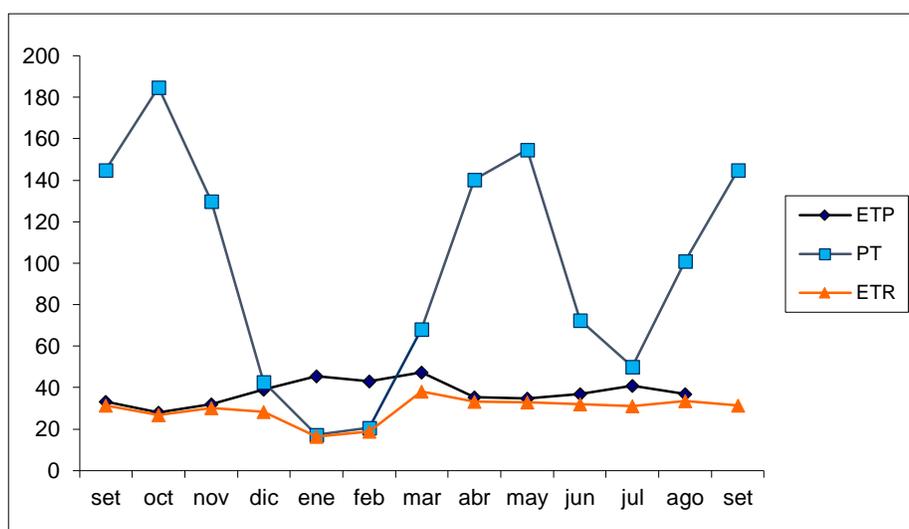


Figura 37 . Balance hidroclimático Estación: Cachiri
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 33. Balance hídrico estación: Col Cooperativo

Parametro	set	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	Total
P	330.0	378.2	286.1	62.3	18.5	49.8	132.2	272.0	341.4	252.1	303.0	335.4	330.0	2761.0
ETP corr.	170.4	161.2	157.4	176.4	189.6	178.3	190.5	174.1	182.7	189.2	193.8	188.6	94.9	2152.3
ETR	147.5	144.2	134.4	59.2	18.5	48.5	107.4	143.2	157.0	148.0	159.4	160.3	147.5	1427.6
Déficit	22.9	17.1	23.0	117.1	171.1	129.8	83.1	30.9	25.7	41.2	34.4	28.3	-52.5	724.7
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	
Excedentes		159.7	217.0	128.7	0.0	0.0	0.0	97.9	158.7	62.9	109.1	146.7	235.1	1080.7
ESC		182.6	234.1	151.6	3.1	0.0	1.3	24.7	128.8	184.4	104.1	143.5	175.0	1333.3

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

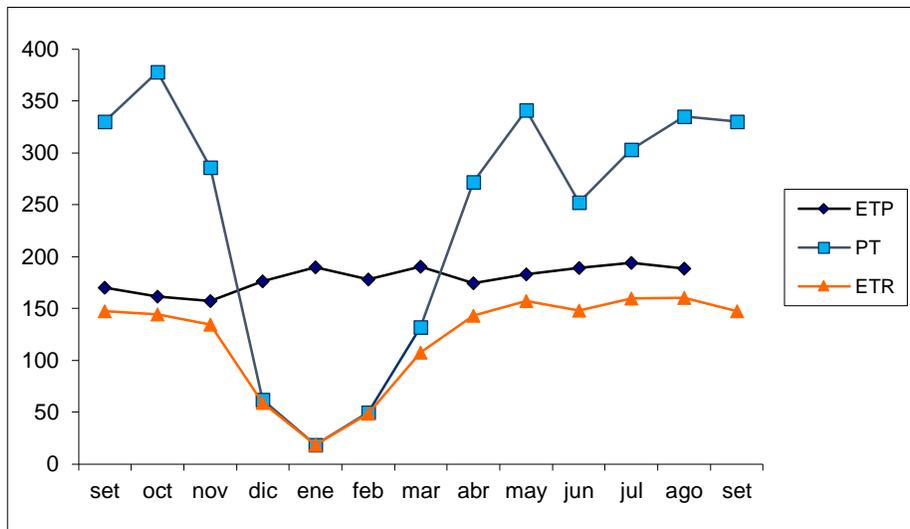


Figura 38 . Balance hidroclimático Estación: Col Cooperativo
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

El mismo procedimiento aplicado para el cálculo del balance hídrico en las estaciones de la cuenca, se aplicó de forma espacio temporal, tomando los mapas de precipitación y temperatura media interpolados sobre la misma.

Tomando los valores medios sobre cada una de las subcuencas para cada parámetro de los resultados del balance a nivel mensual, se determinaron los balances hídricos a nivel de la cuenca Lebrija Medio. En la Tabla 34 se presentan la variación temporal del balance hídrico para toda la cuenca de la Cuenca Lebrija Medio.

Tabla 34. Balance Hídrico A Nivel De Cuenca

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SEP	OCT	NOV	DIC
CH	34.8	32.2	40.7	87.4	99.9	98.7	91.9	95.5	98.6	100.0	100.0	73.7
EXC	0.4	2.7	16.9	49.7	105.3	28.0	11.9	46.3	94.0	179.3	134.0	14.5
DEF	53.7	64.7	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.9
PRECI	53.0	81.2	156.5	245.3	270.6	177.2	160.2	202.9	235.6	313.0	259.7	122.2
TEM_MED	24.6	25.1	25.1	24.8	24.7	24.8	24.7	24.7	24.4	24.1	24.0	24.2
ETP_TW_A	145.2	145.8	162.0	148.9	152.7	150.4	155.1	153.1	138.6	132.2	125.7	134.9
ETR	91.5	81.2	131.1	148.9	152.7	150.4	155.1	153.0	138.6	132.2	125.7	134.0

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

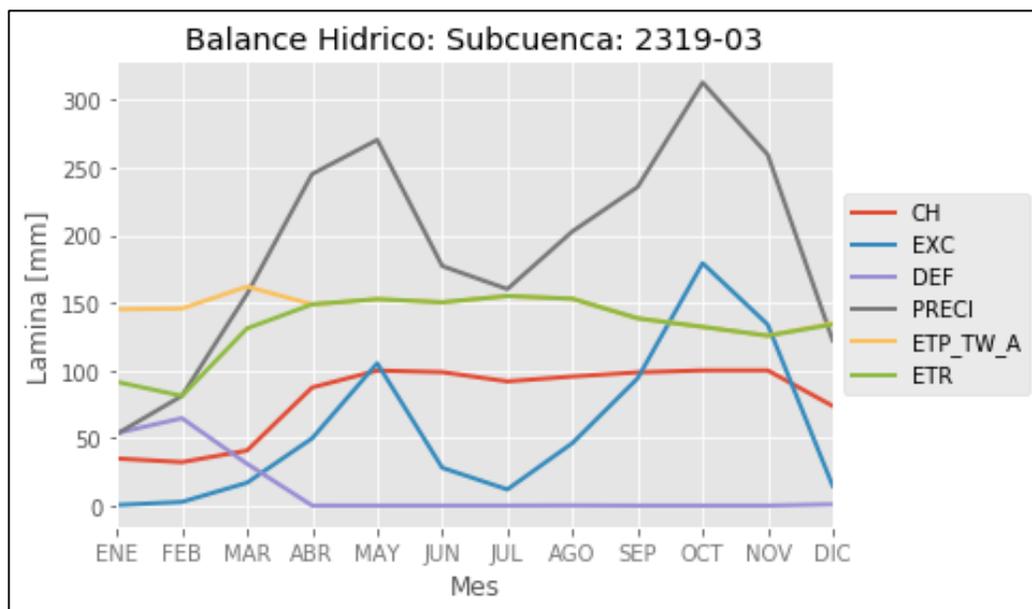


Figura 39. Balance hídrico para la cuenca

Fuente: UT POMCA Río 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 35 se presenta el resumen de los resultados a nivel anual del balance hídrico de cada subcuenca.

Tabla 35. Resultados de Balance hidroclimático a nivel de subcuenca [mm/año]

C_MIC_CUE	CH	EXC	DEF	PRECI	TEM_MED	ETP_TW_A	ETR
2319-03-01	805.6	551.9	322.1	2624.4	350.4	2394.8	2072.6
2319-03-02	1090.5	804.2	12.5	1849.4	230.9	1057.5	1045.0
2319-03-03	963.5	677.4	81.6	2500.9	328.4	1905.1	1823.7
2319-03-04	778.8	552.8	415.8	2643.6	354.4	2506.5	2090.8
2319-03-05	886.7	653.1	92.4	2789.1	345.5	2228.4	2136.0
2319-03-06	848.3	595.8	246.2	2732.0	350.6	2382.4	2136.2
2319-03-07	894.9	518.7	44.8	2340.2	328.0	1866.2	1821.5

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.2.11.2. Balance hídrico de largo plazo

El balance hídrico de largo plazo estima de una forma muy general la respuesta hidrológica (déficit o exceso de agua) de 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; por lo cual no se tiene en cuenta el almacenamiento ni la infiltración, y de este modo estimar el escurrimiento superficial teniendo en cuenta solamente las entradas del sistema (precipitación) y las salidas del sistema (evapotranspiración real), con lo cual la ecuación del cálculo de caudales a partir de balances hídricos de larga duración es la siguiente:

$$S = (P - ETR) \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

S: Escurrimiento [mm/año]

P: Precipitación [mm/año]

ETR: Evapotranspiración potencial [mm/año]

La cuenca del no presenta instrumentación de caudales por lo cual no es posible validar los resultados obtenidos con este balance. Basados en los resultados del balance

hidroclimático espacio temporal del numeral anterior, en la Figura 40 se presenta la espacialización del balance hídrico de largo plazo.

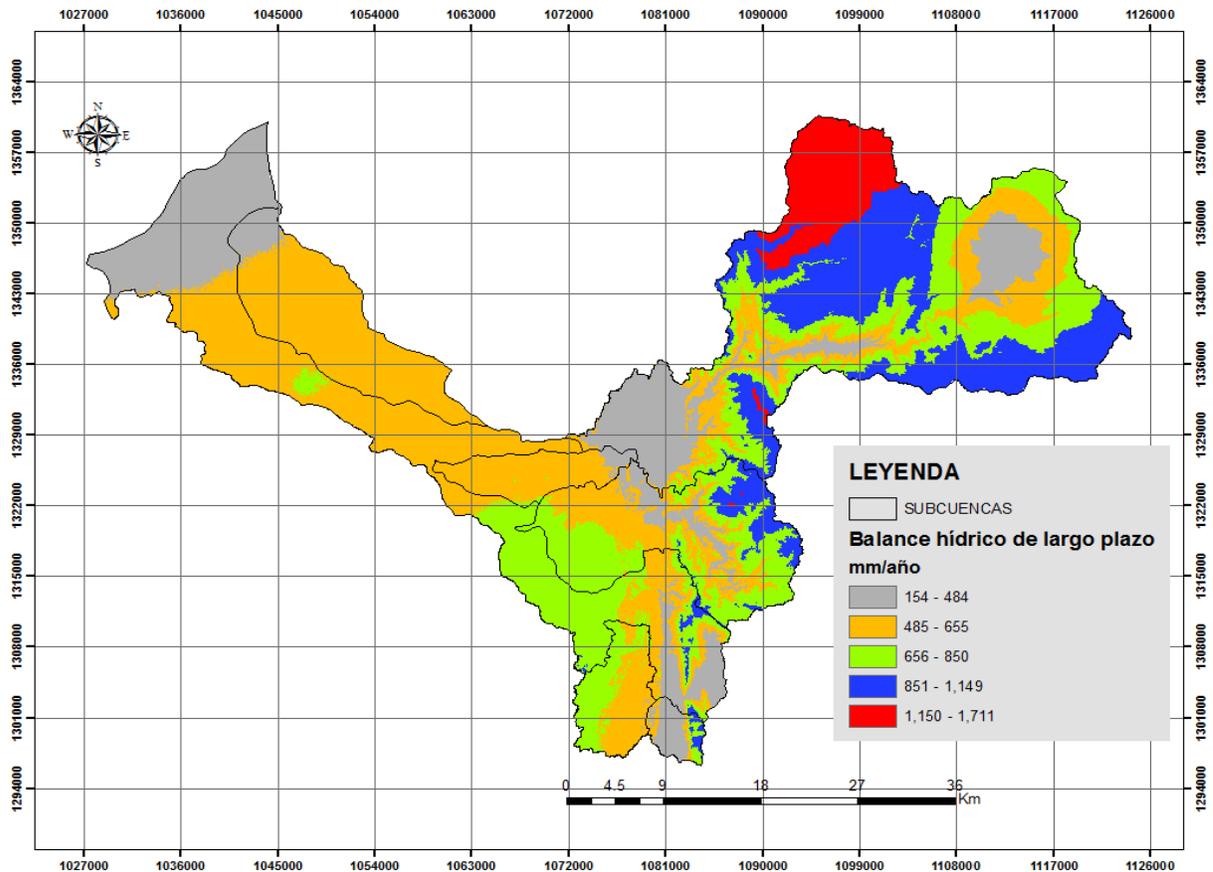


Figura 40. Balance hídrico de largo plazo [mm/año]
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Para estimar el caudal medio, se integra la ecuación anterior sobre toda la cuenca con lo cual se obtiene que:

$$Caudal\ Medio = \int_{\text{Área}} [P(x, y) - E(x, y)] dA \quad \text{Ecuación 37}$$

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). Así, que 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 estima el volumen total de agua que sale del sistema durante el mismo período de tiempo, convirtiendo este valor a m³/s o lps para obtener el caudal medio.

6.2.12. Zonificación Climática.

Las clasificaciones climáticas tienen la función de estructurar conjuntos homogéneos de las condiciones climáticas, con la finalidad de identificar y delimitar áreas como regiones climáticas; para el presente estudio se utilizó la clasificación climática de Caldas – Lang, la cual combina el sistema establecido por el sabio Francisco José de Caldas en 1802, aplicado al trópico americano, basado únicamente en la variación altitudinal de la temperatura y el modelo propuesto por Richard Lang en 1915, el cual estableció su clasificación basado en la relación obtenida al dividir la precipitación anual (mm) por la temperatura media anual (°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 elementos climatológicos principales y que tienen mayores efectos. El sistema unificado de Caldas – Lang define 25 tipos climáticos que se denominan teniendo en cuenta primero el valor de la temperatura media anual (piso térmico según Caldas) y a continuación con el valor de la precipitación media anual se define el factor de Lang (grado de humedad según Lang). En la Tabla 36 Modelo climático de Caldas – Lang, se presenta los rangos y los tipos climáticos de la clasificación climática de Caldas – Lang.

Tabla 36 Modelo climático de Caldas - Lang.

PISO TÉRMICO	SÍMBOLO	RANGO ALTURA	TEMPERATURA (°C)
CÁLIDO	C	0 a 1000	Mayor de 24.0
TEMPLADO	T	1001 a 2000	17.5 a 24.0
FRÍO	F	2001 a 3000	12.0 a 17.5
PÁRAMO BAJO	Pb	3001 a 3700	7.0 a 12.0
PÁRAMO ALTO	Pa	3701 a 4200	Menor de 7.0

Grado de Humedad de Lang		
Factor de Lang (P/T)	Símbolo	Clase de Clima
0 a 20.0	D	Desértico
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

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

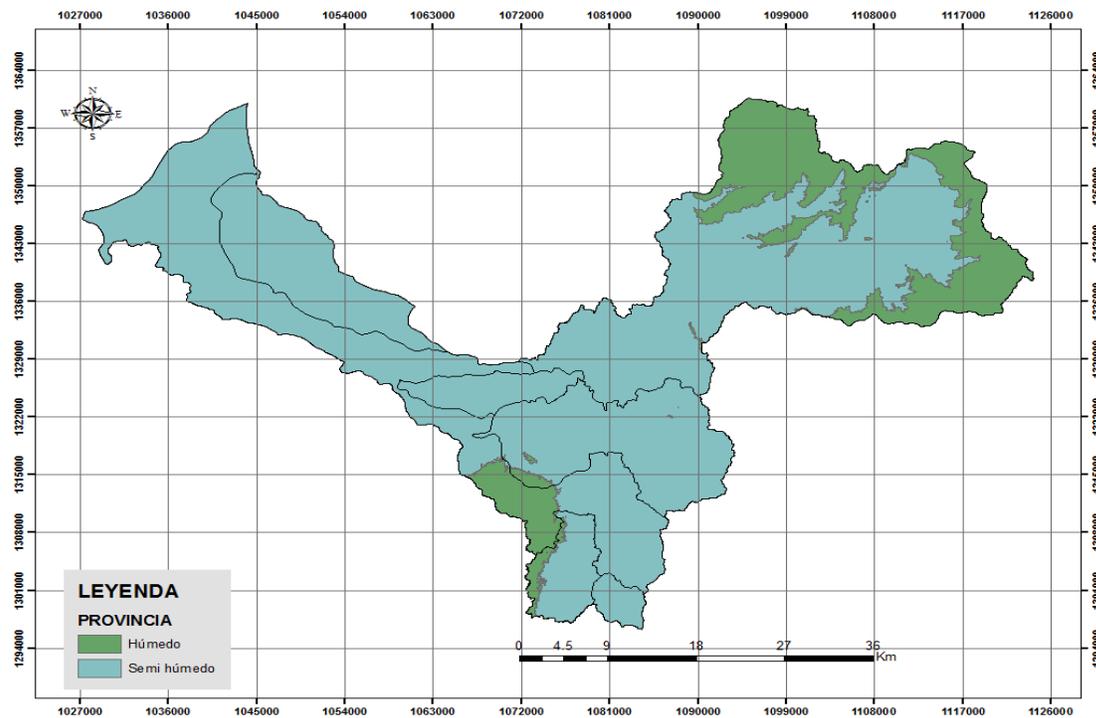


Figura 41. Grados de humedad de la Cuenca del Río Lebrija Medio.
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

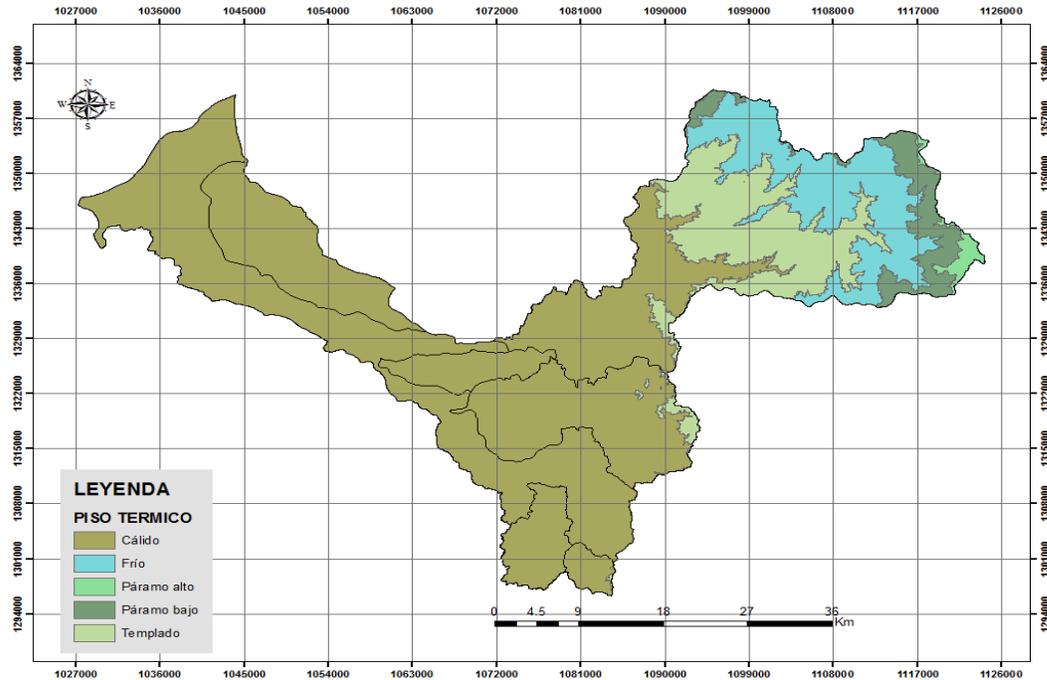


Figura 42. Pisos térmicos de la Cuenca del Río Lebrija Medio.
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De acuerdo con la metodología de clasificación de pisos térmicos establecida por Caldas asociado al factor de humedad de Lang y tomando como referencia las estaciones de lluvia y de temperatura existentes en la cuenca, se estimó el factor de humedad para las 47 estaciones localizadas en la cuenca, valores a partir de los cuales se generó el mapa de humedad de Lang utilizando el método de Kriging para la interpolación de puntos y la generación de un modelo raster con tamaño de celda de 200 m por 200 m utilizando la herramienta del SIG Arc Gis V 10.1. Ver Figura 43.

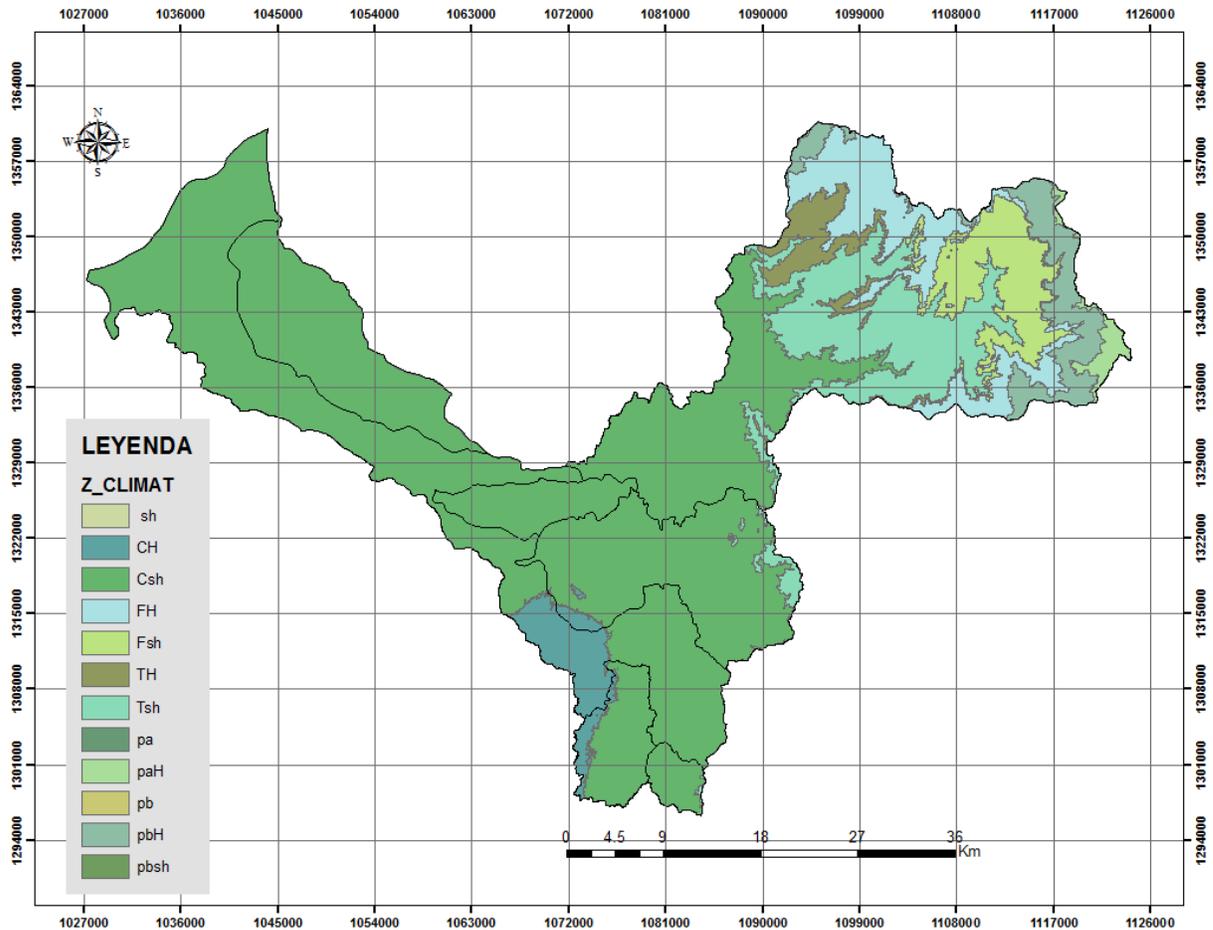


Figura 43. Zonificación climática de Caldas - Lang, Cuenca del Río Lebrija Medio.
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Como resultado del cruce de los pisos térmicos y el Factor de Humedad de Lang se elaboró el mapa de Zonificación Climática para la Cuenca del Río Lebrija Medio, a partir del cual se infiere que la cuenca presenta condiciones de humedad que varían en la medida que se desciende en la cuenca desde el nacimiento del río principal como de sus principales tributarios localizados en la parte alta de la cuenca, con valores que varían de Paramo alto semihúmedo y paramo bajo semihúmedo en la parte alta de la cuenca en los pisos térmicos de Páramo bajo y Frío, a condiciones de templado semihúmedo y calido semihúmedo en el piso térmico cálido.

En términos de distribución porcentual de área en la cuenca predomina el clima Frío Húmedo en un 38.76% del área, seguido de los climas Calido semihúmedo (69,59%) y

Templado húmedo (14,42%); los demás tipos de clima presentan distribuciones ariales menores del trece por ciento. Ver Tabla 37.

Tabla 37. Distribución real del clima en la Cuenca del Río Lebrija Medio.

Etiquetas de fila	PROVINCIA	NOMB_PISO	AREA [KM2]	%
CH	Húmedo	Cálido	65.9	3.4
Csh	Semi húmedo	Cálido	1238.5	64.3
FH	Húmedo	Frío	138.1	7.2
Fsh	Semi húmedo	Frío	108.7	5.6
paH	Húmedo	Páramo alto	17.5	0.9
pbH	Húmedo	Páramo bajo	85.1	4.4
pbsh	Semi húmedo	Páramo bajo	1.2	0.1
TH	Húmedo	Templado	51.0	2.6
Tsh	Semi húmedo	Templado	219.9	11.4
TOTAL			1926.9	100.0

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3. Parámetros Hidrológicos

6.3.1. Estaciones Hidrológicas

La Figura 44 muestra la localización de algunas estaciones identificadas sobre la cuenca, obtenidas después del análisis de la información de todas las estaciones de área del proyecto.

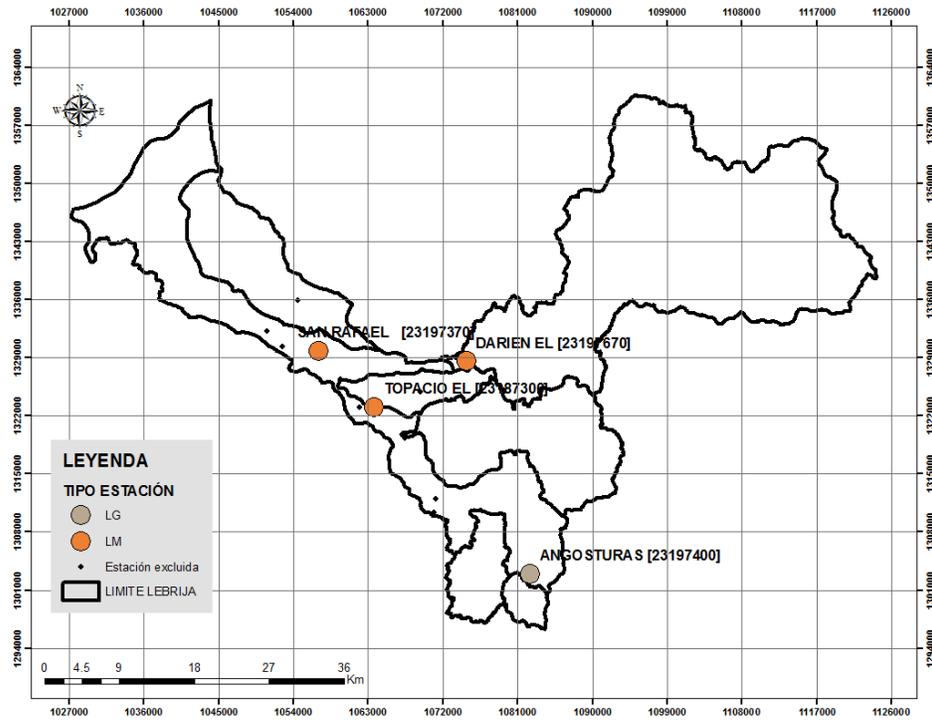


Figura 44 Localización de estaciones hidrológicas identificadas en la cuenca
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De trece (13) estaciones identificadas en el área e estudio solo una se encuentra activa y corresponde a la estación San Rafael ubicada sobre el río Lebrija; sin embargo, hay estaciones con periodos de operación de varios años como las estaciones El Darien [23197670] y Angosturas [23197400], y El Topacio [23187300], las cuales cuentan con registros relativamente recientes, la primera cuenta con registros hasta el año 1995 y la segunda hasta el año 2014. En la Figura 45 se muestra el periodo de operación de las estaciones en la cuenca.

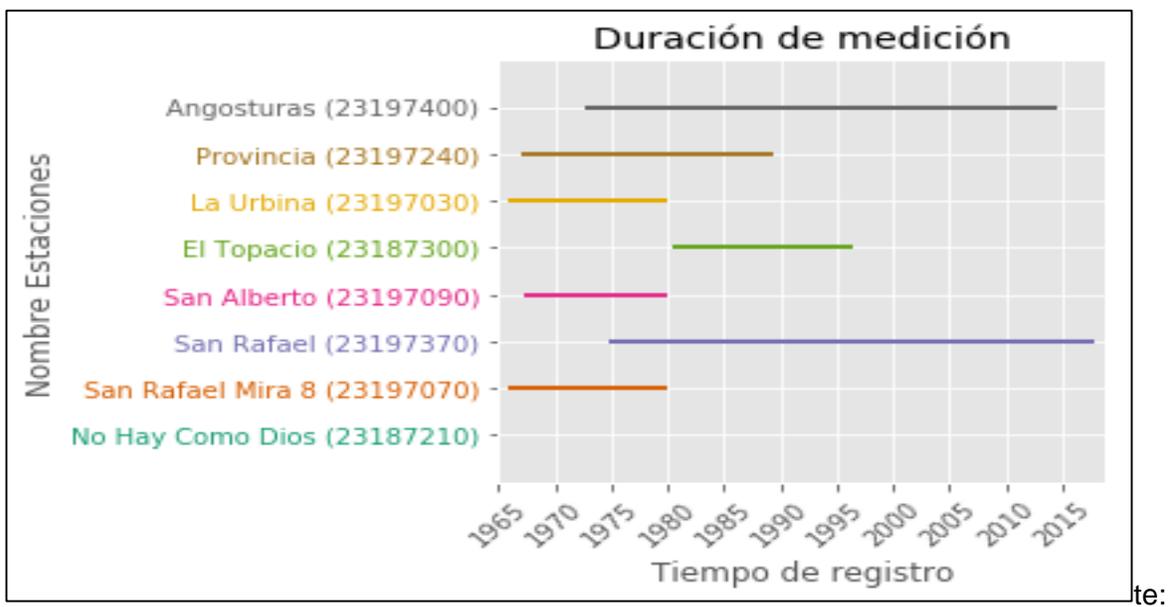


Figura 45. Periodo De Operación De Estaciones

Fuente UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.2. Información Disponible

En la Tabla 38 se muestra la información disponible entregada por el IDEAM para las estaciones antes mencionadas.

Tabla 38.. Información Disponible En Cada Estación

CODIGO	FRECUENCIA	VARIABLE			TOTAL SERIES
		NV	QL	ST	
23187210	MEDIOS	X			1
23187300	MEDIOS	X	X		2
23197030	MEDIOS	X	X		2
23197070	MEDIOS	X			1
23197090	MEDIOS		X		1
23197240	MEDIOS	X			1
23197370	MEDIOS	X	X		2
	TOTAL			X	1
23197400	MEDIOS	X	X		2
Total general		7	5	1	13

NV: Niveles; QL: Caudales Liquidos; ST: Transporte Sedimentos

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.3. Selección del periodo de estudio

En la Figura 46, Figura 47 y Figura 48 se muestran las longitudes de las series de caudales líquidos, niveles y transporte de sedimentos. Se observa en las figuras el porcentaje de datos faltantes de la serie de tiempo de todas las estaciones ubicadas en la cuenca..

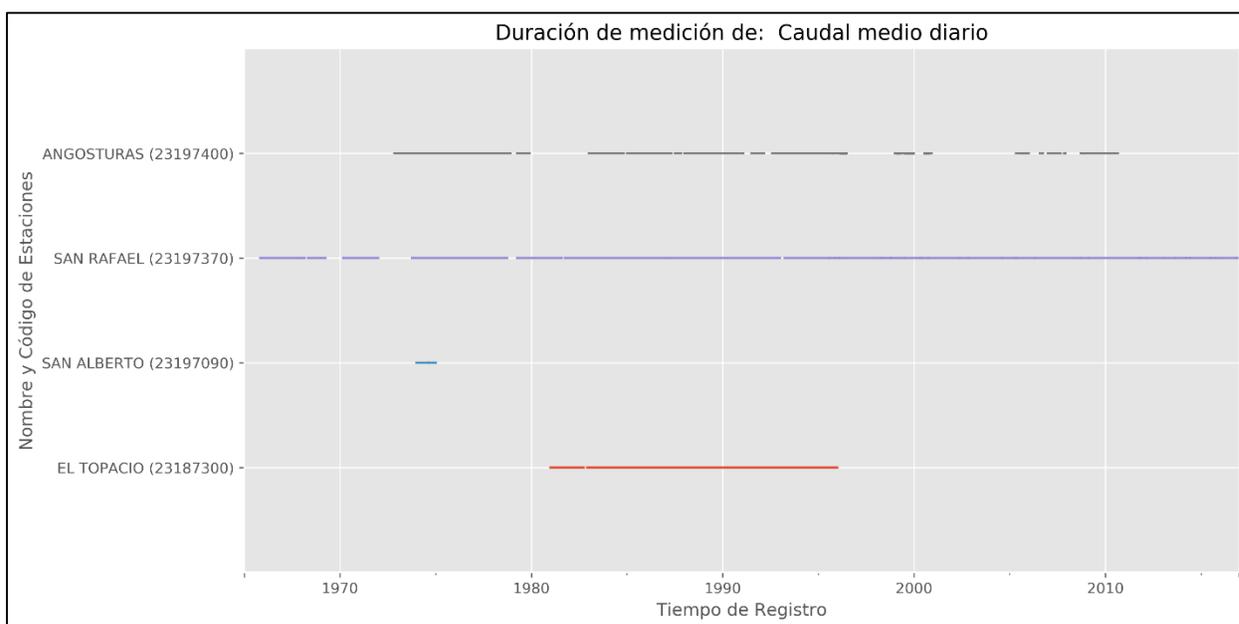


Figura 46. Longitud y valores faltantes en series disponibles de caudales líquidos

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

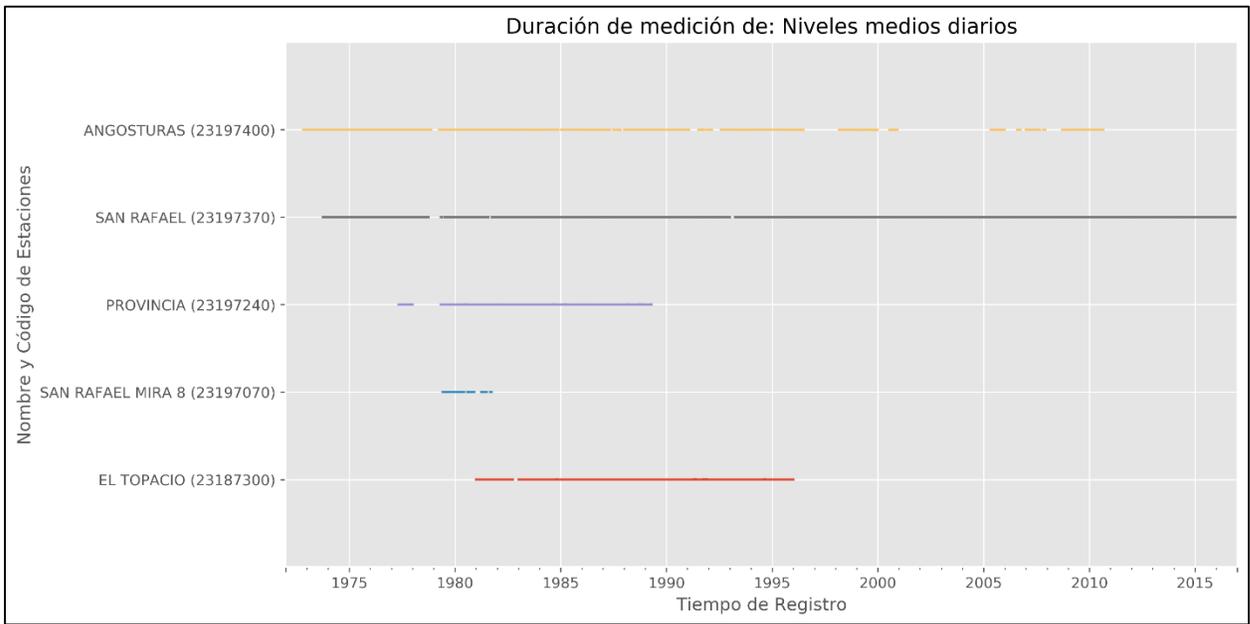


Figura 47. Longitud y valores faltantes en series disponibles en sólidos disueltos
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

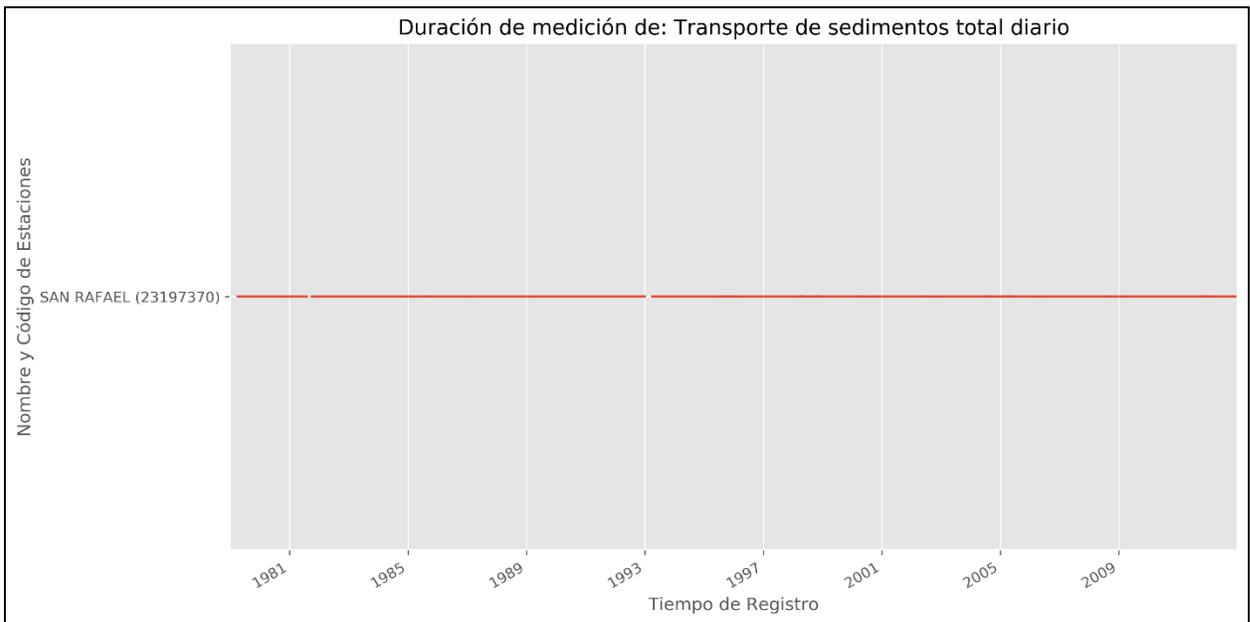


Figura 48. Longitud y valores faltantes en series disponibles de sedimentos
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.4. Análisis visual de las series de datos

La inspección visual de las series de tiempo de caudales y sedimentos, al igual que de variables climáticas, permite rápidamente la detección de datos sospechosos, la identificación de las condiciones promedio y tendencia, además de la comparación de series de estaciones adyacentes puede brindar información acerca de la coherencia entre estaciones. Para la inspección visual, se gráfica los registros ordenados cronológicamente y la serie de tiempo desestacionalizada, la cual es obtenida al centralizar la serie de tiempo con respecto a las medias de largo plazo de la misma.

6.3.5. Análisis de los datos de las estaciones hidrológicas

El análisis de homogeneidad se basa generalmente en comparar parámetros que se obtiene a partir de los estadísticos de las series como la media, varianza, entre otros, con valores críticos teóricos correspondientes a determinadas funciones de distribuciones de probabilidad según la prueba usada. Las pruebas aplicadas a las estaciones de caudal ubicadas en la Cuenca del río Lebrija Medio fueron para cambio en la media prueba T simple (Lettenmaier, 1976b); para cambio en la varianza prueba F simple (Devore, 1982) (Lettenmaier, 1976a); para tendencia de la serie Prueba T (Salas, 1992).

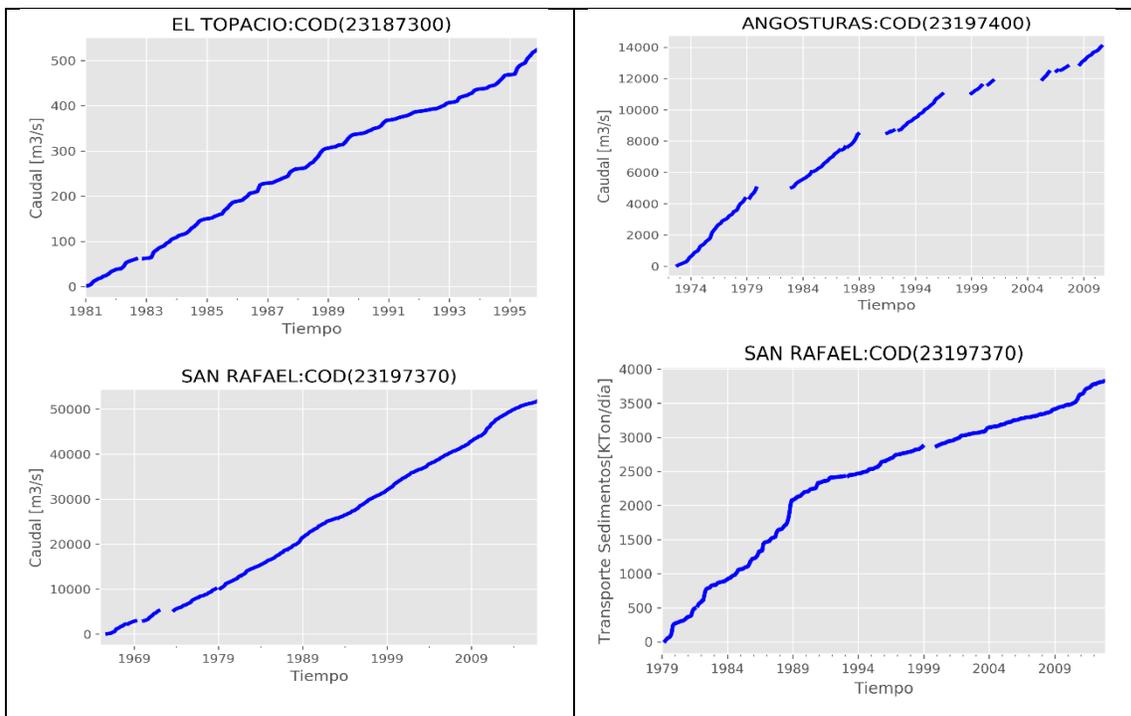


Figura 49 Longitud y valores faltantes en series disponibles de sedimentos

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.6. Distribución temporal.

A partir de las series de caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas representativas se estableció la variación de los mismos a lo largo del año en las cuencas objeto de estudio, a través de histogramas, para el período correspondiente 1970-2015.

De manera general y tal como se citó con anterioridad el comportamiento hidrológico de las corrientes que componen el sistema hídrico de la Cuenca del Río Lebrija Medio y sus Cuencas, están claramente determinados, tanto espacial como temporalmente, por el uso y tipo del suelo, la cobertura vegetal, la morfometría, y básicamente por la ocurrencia de la precipitación, por lo tanto, se infiere que el régimen hidrológico es de tipo bimodal, con la ocurrencia de dos períodos húmedos intercalados por dos períodos secos, definidos por el paso de la ZCIT en la cuenca.

De manera representativa del comportamiento temporal de los caudales mensuales en la cuenca del río Medio Lebrija y de acuerdo a los registros en las estaciones limnigráficas localizadas en la cuenca, se infiere que estos presentan una relación directa con la ocurrencia de la precipitación, observándose dos períodos húmedos, el primero de abril a junio y el segundo de mediados de septiembre a noviembre, con caudales de mayor magnitud en el segundo período, durante el mes de noviembre, intercalados por dos períodos secos, el primero de enero a marzo y el segundo de julio a agosto, siendo el de niveles más bajos el primero, con caudales mínimos durante el mes de marzo.

De acuerdo a los registros históricos de caudales mensuales en la estación limnimétrica de Topacio (2318730), localizada en el municipio de Rionegro, se infiere que estos presentan una relación directa con la ocurrencia de la precipitación, observándose dos períodos húmedos, el primero de mediados de marzo a mayo y el segundo de octubre a mediados de diciembre, con caudales de mayor magnitud en el segundo período, durante el mes de noviembre, intercalados por dos períodos secos, el primero de enero a febrero y el segundo de julio a septiembre, siendo el de niveles más bajos el primero, con caudales mínimos para el mes de enero. El caudal promedio anual registrado en la estación Topacio es de 1.16 m³/seg, con máximos promedio para el mes de octubre de 9.46 m³/seg y mínimos de 0.26 m³/seg registrados en enero. (Ver Figura 50).

Los caudales máximos promedios se registran durante los meses de mayo, octubre y noviembre, alcanzando valores de 9.46 m³/seg en octubre, mientras que los valores medios mínimos se presentan durante los meses de enero, febrero, julio, agosto y diciembre con caudales cercanos a los 0,26 m³/seg en enero. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y orográficas de la cuenca de drenaje del Río Lebrija Medio, con precipitaciones anuales superiores a los 979 mm, vertientes con topografías abruptas en la parte alta, que se suavizan en la parte media y baja, el régimen hidrológico es torrencial, en donde las precipitaciones y la temperatura son de gran influencia en el incremento rápido y acelerado de los niveles y caudales de las corrientes que conforman la zona de estudio.

A nivel interanual, la escorrentía de la cuenca responde básicamente a los cambios cíclicos climáticos globales determinados por la ocurrencia de los fenómenos Niño y Niña, observándose caudales mínimos durante los años 1992 y 2000, correspondientes a fenómenos Niño y caudales máximos durante 1993 y 2010 año correspondiente al fenómeno Niña.

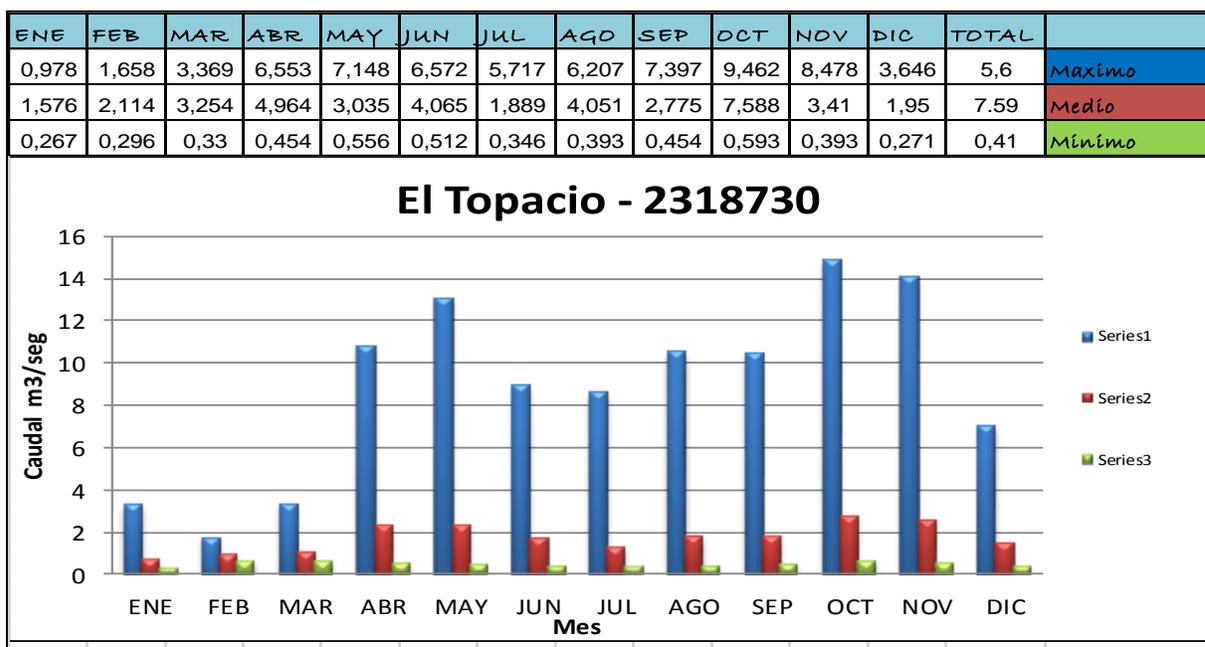


Figura 50. Valores de caudales medios mensuales estación El Topacio (m³/s)

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En cuanto a los registros históricos de caudales mensuales en la estación limnométrica San Rafael (2319737), localizada en el municipio de Sabana de Torres, se observan dos períodos húmedos, el primero de mediados de abril a mayo y el segundo de octubre a

noviembre, con caudales de mayor magnitud en el segundo período, durante el mes de noviembre, intercalados por dos períodos secos, el primero de enero a febrero y el segundo de julio a septiembre, siendo el de niveles más bajos el primero, con caudales mínimos para el mes de enero. El caudal promedio anual registrado en la estación San Rafael es de 91.93 m³/seg, con máximos promedio para el mes de noviembre de 416 m³/seg y mínimos de 36,7 m³/seg registrados en febrero.

Los caudales máximos promedios se registran durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, alcanzando valores de 150,3 m³/seg en noviembre, mientras que los valores medios mínimos se presentan durante los meses de febrero, julio, agosto y septiembre con caudales cercanos a los 50,3 m³/seg en enero

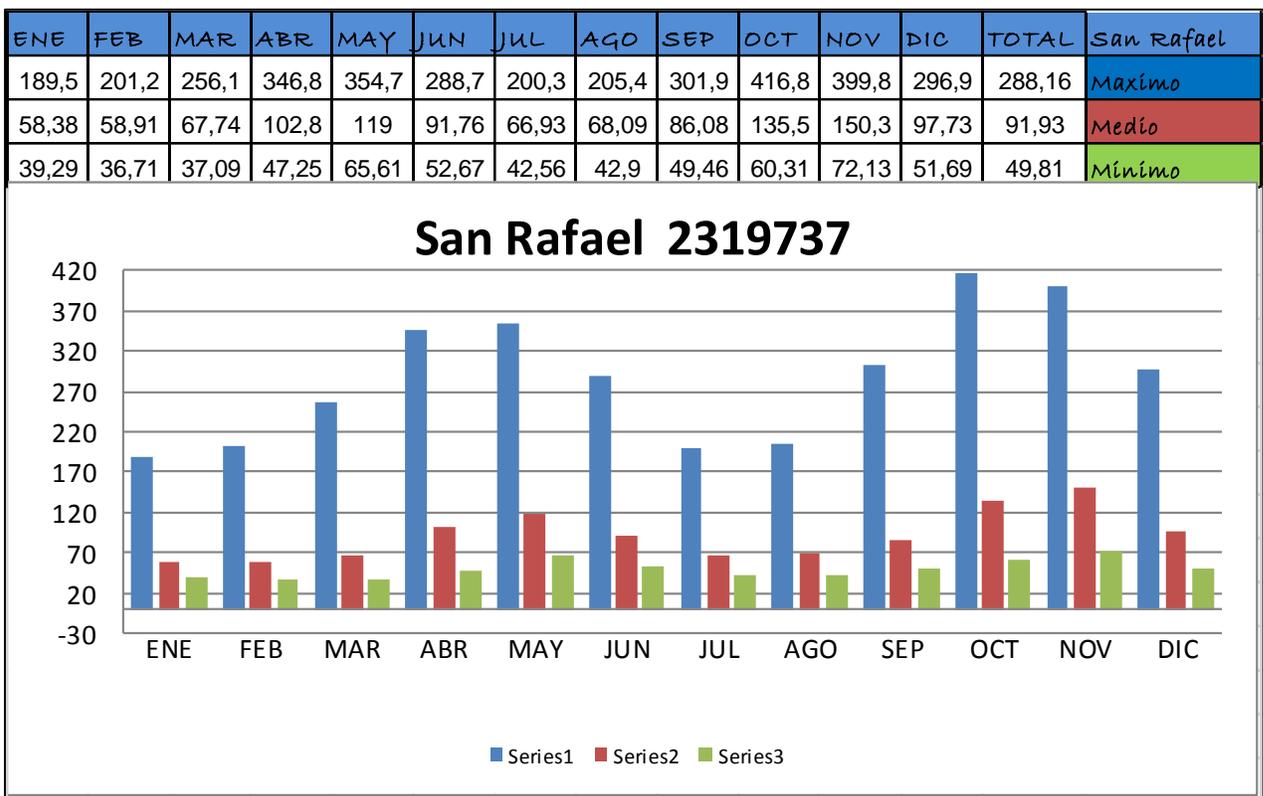


Figura 51. Valores de caudales medios mensuales estación San Rafael (m³/s).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En cuanto a los registros históricos de caudales mensuales en la estación limnimétrica Café Madrid (2319729), localizada el Río Lebrija, se observan dos períodos húmedos, el primero de mediados de abril a mayo y el segundo de octubre a noviembre, con caudales de mayor

magnitud en el segundo período, durante el mes de noviembre, intercalados por dos períodos secos, el primero de enero a febrero y el segundo de julio a septiembre, siendo el de niveles más bajos el primero, con caudales mínimos para el mes de enero. El caudal promedio anual registrado en la estación Café Madrid es de 17,87 m³/seg, con máximos promedio para el mes de noviembre de 91.88 m³/seg y mínimos de 7.84 m³/seg registrados en marzo.

Los caudales máximos promedios se registran durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, alcanzando valores de 25.83 m³/seg en noviembre, mientras que los valores medios mínimos se presentan durante los meses de febrero, julio, agosto y septiembre con caudales cercanos a los 13,03 m³/seg en febrero.

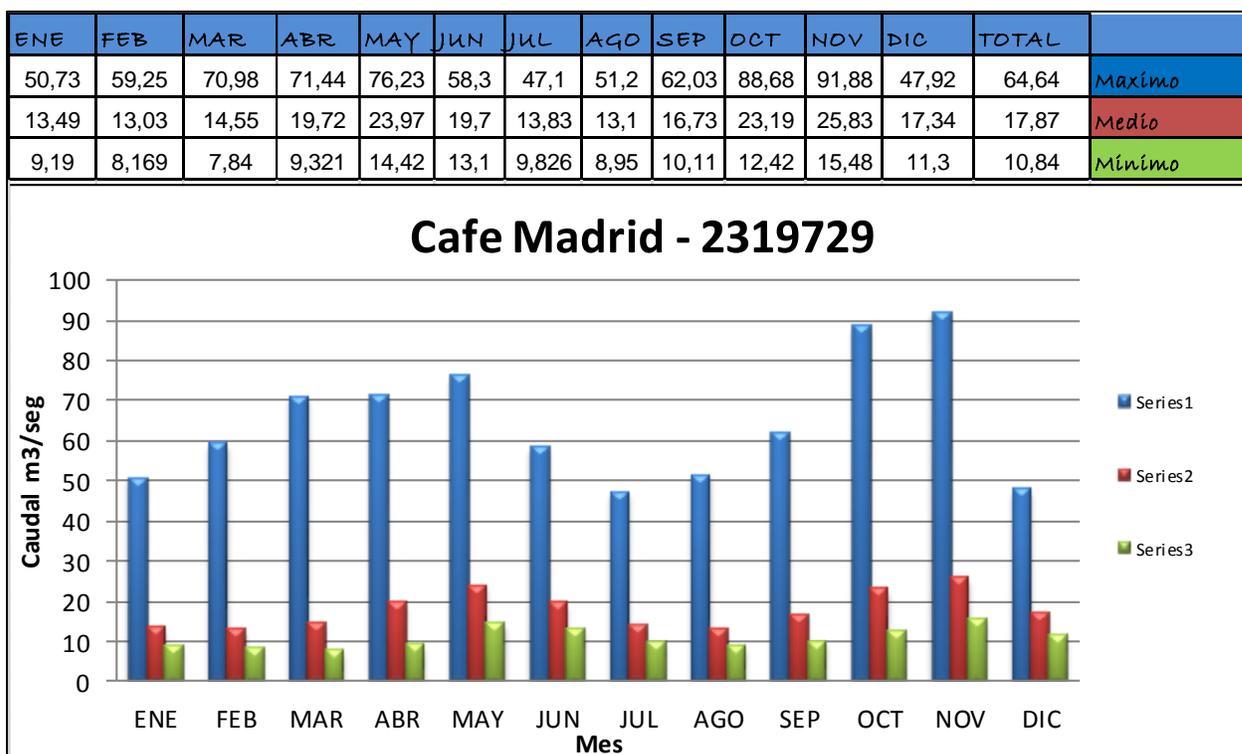


Figura 52. Valores de caudales medios mensuales estación Café Madrid (m³/s).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

En cuanto a los registros históricos de caudales mensuales en la estación limnimétrica Angostura (2319740), localizada sobre el Río Lebrija, se observan dos períodos húmedos, el primero de mediados de abril a mayo y el segundo de octubre a noviembre, con caudales de mayor magnitud en el segundo período, durante el mes de noviembre, intercalados por

dos períodos secos, el primero de enero a febrero y el segundo de julio a septiembre, siendo el de niveles más bajos el primero, con caudales mínimos para el mes de enero. El caudal promedio anual registrado en la estación Angostura es de 58,45 m³/seg, con máximos promedio para el mes de noviembre de 294 m³/seg y mínimos de 23,9 m³/seg registrados en enero.

Los caudales máximos promedios se registran durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, alcanzando valores de 89.87 m³/seg en noviembre, mientras que los valores medios mínimos se presentan durante los meses de febrero, julio, agosto y septiembre con caudales cercanos a los 38,66 m³/seg en enero.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
94,97	144	246,6	255,2	270,2	197,7	104,7	110,4	152,3	275,8	294,9	168,3	192,91	Maximo
38,65	39,58	47,1	69,63	82,18	63,4	42,83	40,49	52,26	79,94	89,87	55,47	58,45	Medio
23,9	24,03	25,79	30,72	39,68	34,62	28,67	26,7	30,09	38,06	45,67	31,48	31,62	Minimo

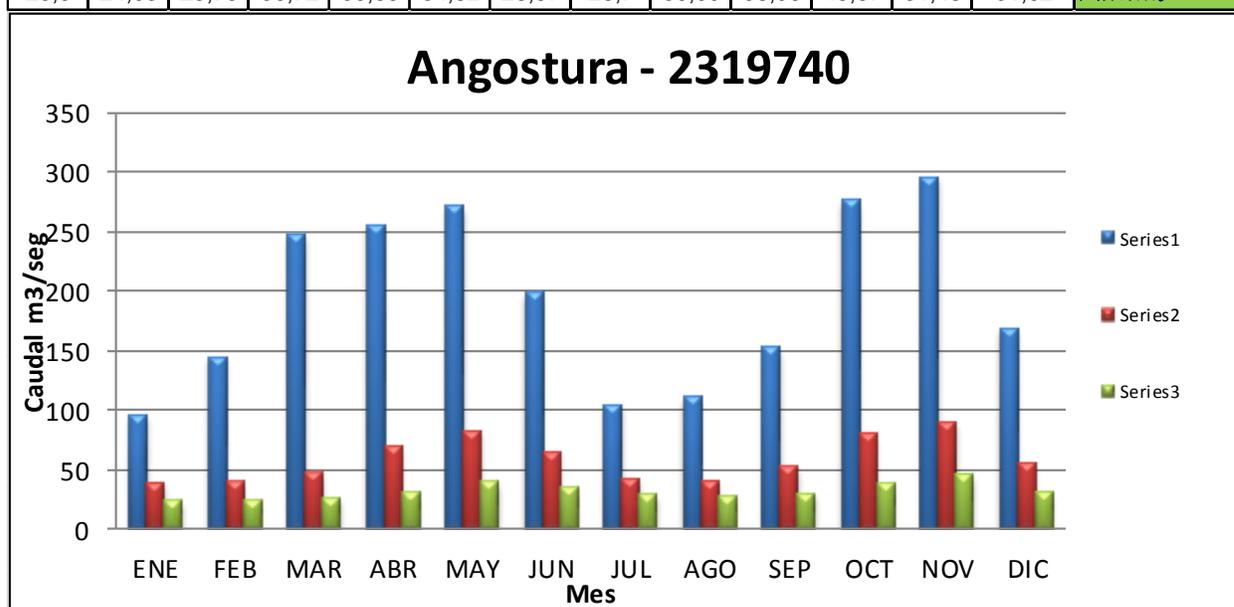


Figura 53. Valores de caudales medios mensuales estación Angostura (m³/s).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.7. Estimación Caudales Característicos

El régimen hidrológico de una corriente puede determinarse a partir del análisis de los caudales medios diarios o mensuales, en lo posible con períodos de registro superior a los 10 años; dicho análisis se obtiene a través de la curva de Duración de Caudales.

La curva de duración de caudales es una curva de frecuencias acumuladas que expresa el porcentaje de tiempo total en porcentaje o en número de días al año durante el cual un caudal determinado es igualado o excedido. En otras palabras, la curva de duración de caudales consiste en un gráfico en donde se relacionan los caudales medios de un río, ordenados por su magnitud, contra la frecuencia de ocurrencia del evento en porcentajes del total.

Los valores característicos utilizados en el presente análisis corresponden al caudal máximo (2.74% del tiempo), es decir el caudal igualado o excedido 10 días por año, caudal mínimo (97.30%) o caudal igualado o excedido durante 345 días del año y caudal medio característico (50.0%) o caudal igualado o excedido durante seis meses del año. Para cada una de las cuena delimitadas se realizó curva de duración de caudales, estimados con datos de las estaciones climatológicas.

Los caudales característicos obtenidos para la Subcuenca de Río Lebrija medio directos para el período de registro, se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39. Caudales característicos de la subcuenca Río Lebrija medio directos.

Subcuenca	Valores característicos (m ³ /seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medio 50%	Caudal mínimo 97,26%
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	20,34	11.50	8,93

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la subcuenca Río Lebrija medio directos presenta características de régimen de río de llanura aluvial, registrándose caudales 20,34 m³/seg, durante el 2,74% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal de 8,93 m³/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 11,40 metros por segundo, lo que indica corrientes de muy alta capacidad de regulación en la parte baja de la cuenca, con muy poca probabilidad de ocurrencia de crecientes en la

zona plana del río en las cercanías de la desembocadura en el Río Lebrija especialmente durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se infiere que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en Rio Lebrija medio directos presentan valores sobre los 13.41 m3/seg.

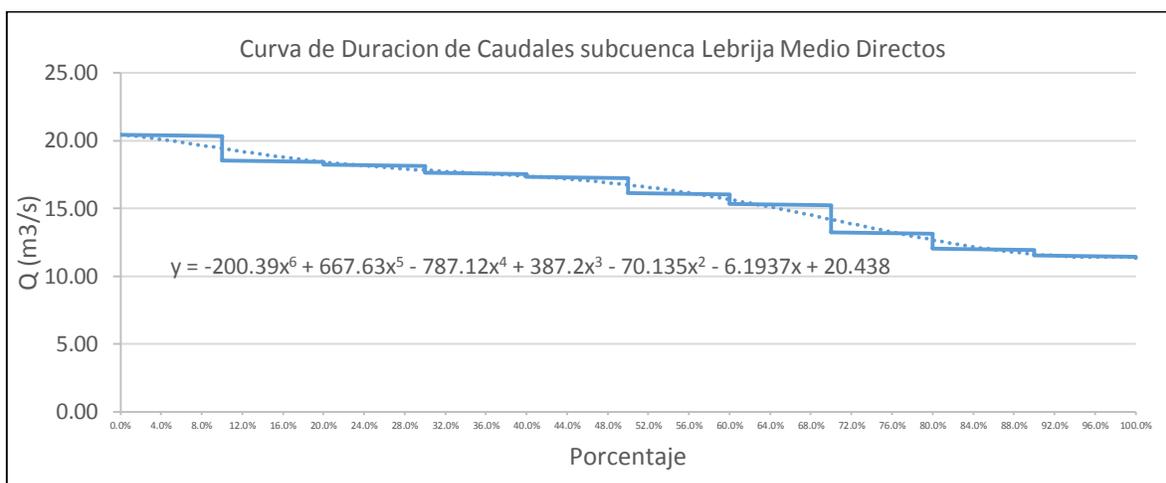


Figura 54. Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca Rio Lebrija medio directos.

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos por métodos indirectos para la subcuenca Quebrada Doradas para el período de registro, se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Caudales característicos de la subcuenca Doradas.

Subcuenca	Valores característicos (m3/seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
QUEBRADA DORADAS	0,61	0,35	0,27

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la subcuenca Quebrada Doradas presenta características de régimen de río de torrencial, registrándose caudales 0.61 m3/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal

de 0.35 m3/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 0,27 metros por segundo, lo que indica corrientes de alta capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, con probabilidad de ocurrencia de crecientes en la zona plana en las cercanías de la desembocadura en el Río Lebrija especialmente durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se infiere que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en la Quebrada Doradas presentan valores sobre los 0,323 m3/seg.

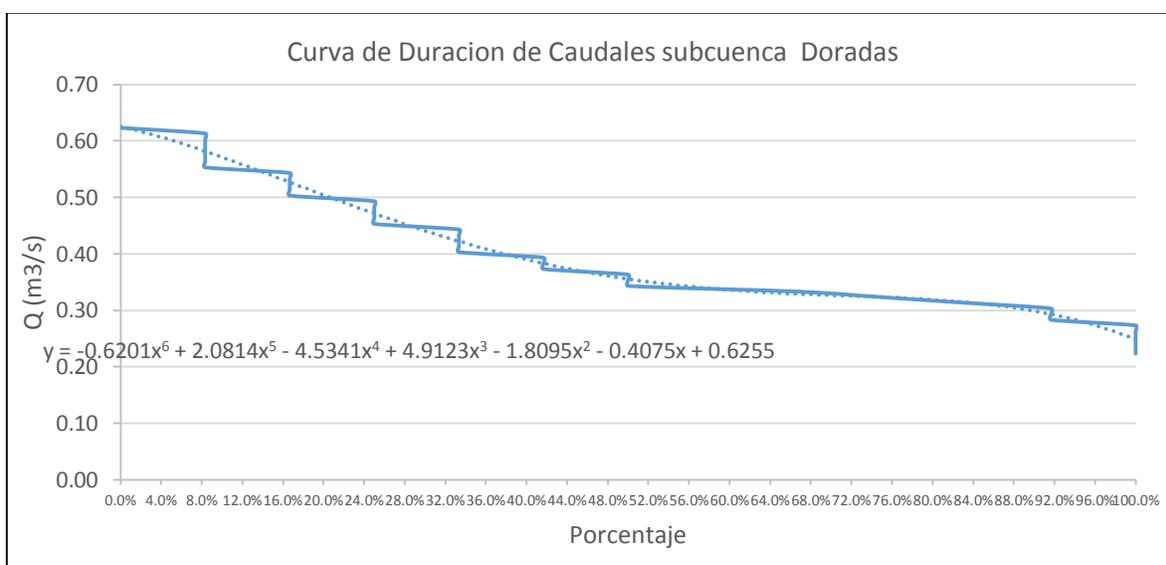


Figura 55. Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca Doradas.

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos para la subcuenca Caño Cuatro para el período de registro.

Tabla 41. Caudales característicos de la Subcuenca Caño Cuatro.

Subcuenca	Valores característicos (m3/seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
CAÑO CUATRO	0,21	0,12	0,09

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la estación Caño Cuatro, registrándose caudales 0,21 m3/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal de 0,12 m3/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 0,09 metros por segundo, lo que indica corrientes de buena capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, con alguna probabilidad de ocurrencia de crecientes en la zona plana especialmente durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se infiere que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en Caño Cuatro presentan valores sobre los 0,114 m3/seg.

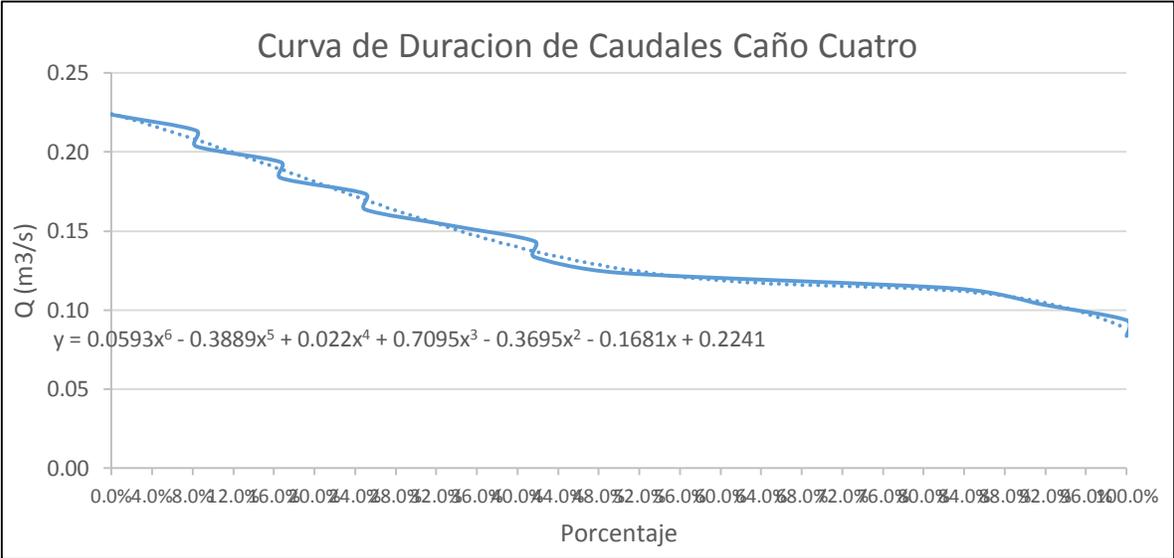


Figura 56. Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Caño Cuatro. FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos para la Subcuenca La Tigra Santo para el período de registro, se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42. Caudales característicos de la Subcuenca Quebrada la Tigra.

Subcuenca	Valores característicos (m ³ /seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
Quebrada la Tigra	0,22	0,13	0,08

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la Subcuenca Quebrada la Tigra presenta características de régimen de río de llanura aluvial, registrándose caudales 0,22 m³/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal de 0.13 m³/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 0,08 metros por segundo, lo que indica corrientes de buena capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se determina que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales de la quebrada la Tigra presentan valores sobre los 0.14 m³/seg.

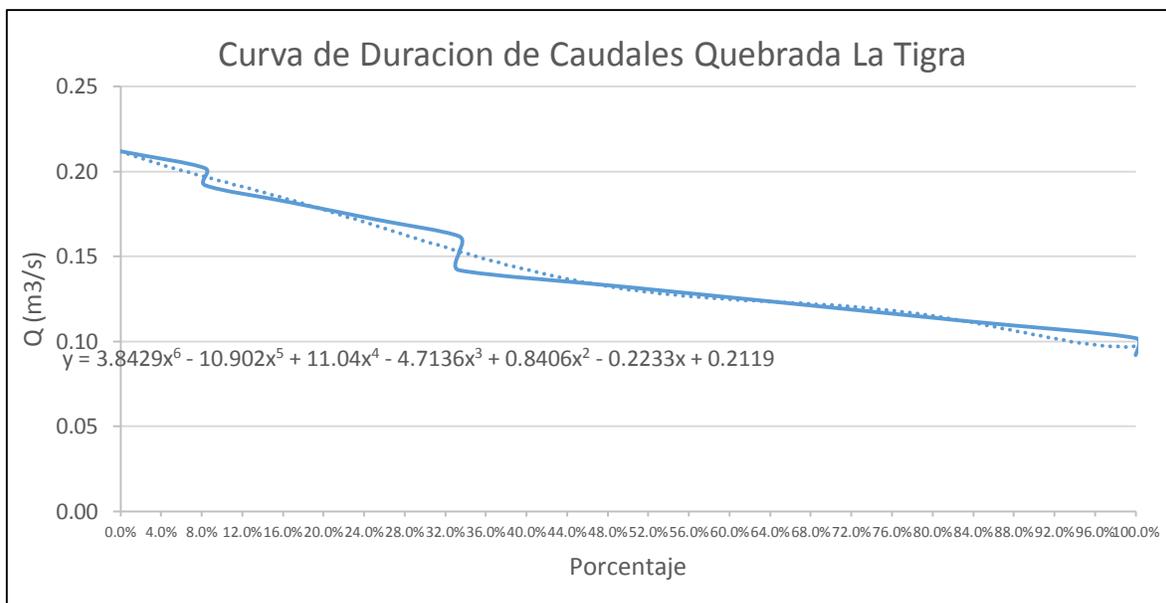


Figura 57. Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Quebrada la Tigra.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos para la Subcuenca Rio Cáchira del Espíritu Santo para el período de registro, se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43. Caudales característicos de la Subcuenca Rio Cáchira del Espíritu Santo.

Subcuenca	Valores característicos (m3/seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	3,12	1,93	1,19

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la Subcuenca Rio Cáchira del Espíritu Santo presenta características de régimen de río de llanura aluvial, registrándose caudales 3,12 m3/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal de 1.93 m3/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 1,19

metros por segundo, lo que indica corrientes de buena capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se determina que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en Río Cáchira del Espíritu Santo presentan valores sobre los 1.584 m3/seg.

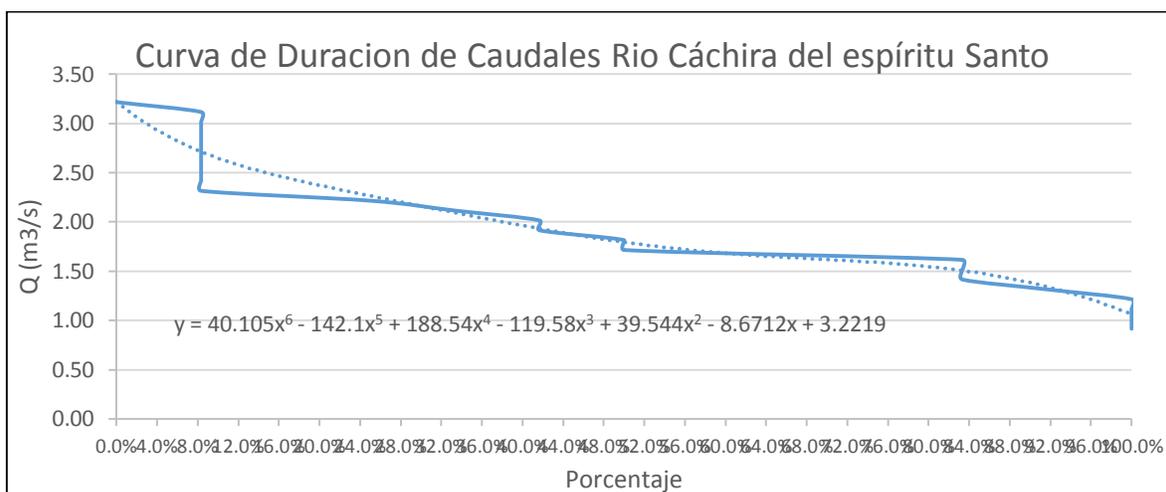


Figura 58. Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Río Cáchira del Espíritu Santo.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos para la Subcuenca La Platanala para el período de registro, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 44. Caudales característicos de la Subcuenca Platanala.

		Valores característicos (m3/seg)		
		Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
QUEBRADA	LA			
PLATANALA		0,55	0,31	0,24

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la estación La Platanala, registrándose caudales 0,55 m3/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva

un caudal de 0,31 m³/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 0,24 metros por segundo, lo que indica corrientes de muy alta capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, con alguna probabilidad de ocurrencia de crecientes en la zona plana especialmente durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se infiere que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en quebrada Platanala presentan valores sobre los 1,112 m³/seg.

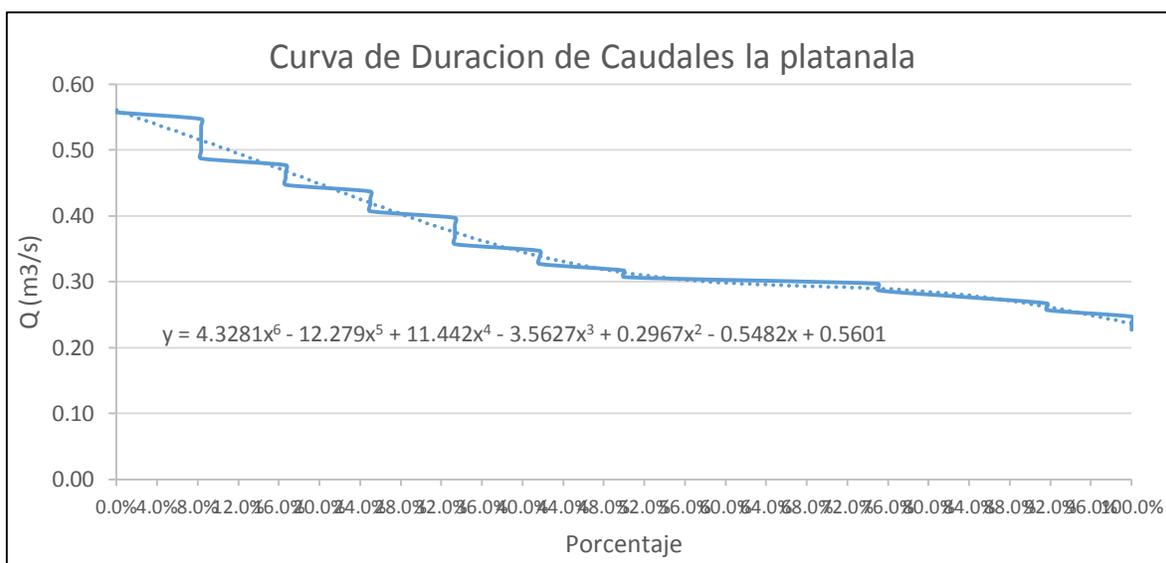


Figura 59. Curva de duración de caudales medios mensuales La Platanala.

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Los caudales característicos obtenidos para la subcuenca La Musanda para el período de registro.

Tabla 45. Caudales característicos de la Subcuenca la Musada.

Estacion	Valores característicos (m ³ /seg)		
	Caudal máximo 2,74%	Caudal medo 50%	Caudal mínimo 97,26%
QUEBRADA LA MUSANDA	1,58	0,89	0,69

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La curva de duración de caudales de la Subcuenca La Musanda, registrándose caudales 1,58 m³/seg, durante el 3% del tiempo, del mismo modo el 50% del tiempo la fuente conserva un caudal de 0,89 m³/seg, con la presencia de caudales constantes a lo largo del año y alta probabilidad de estiaje, ya que durante el 97% del tiempo los caudales corresponden a 0,69 metros por segundo, lo que indica corrientes de muy alta capacidad de regulación en la parte alta de la cuenca, con alguna probabilidad de ocurrencia de crecientes en la zona plana especialmente durante las épocas de invierno.

De otro lado al a partir de la curva de duración, se infiere que durante el 75% del tiempo, correspondiente a los nueve meses, los caudales en la quebrada La Musanda presentan valores sobre los 0.60 m³/seg.

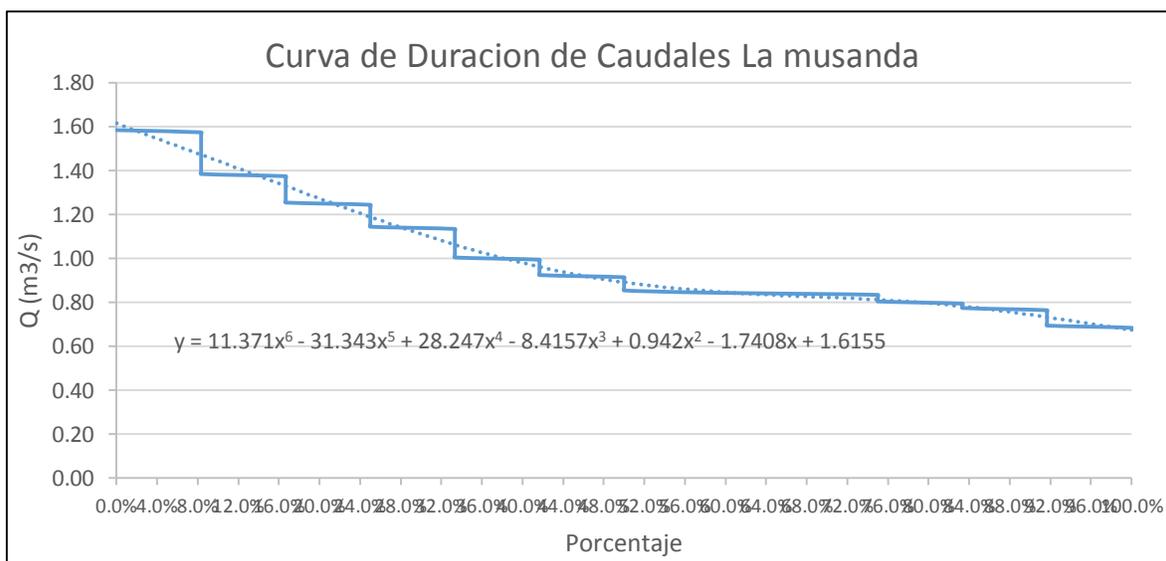


Figura 60. Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca La Musanda
FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Como se mencionó anteriormente, la estimación de los caudales característicos de las cuencas de tercer orden se realizó teniendo en cuenta factores de ajuste por área y precipitación para cada cuenca.

El análisis del comportamiento de los caudales a lo largo de la cuenca del Río Medio Lebrija y las Cuencas del área de estudio, se estableció a que la componen, observándose que los mayores rendimientos hídricos se presentan sobre la parte media de la zona de estudio, en

la cuenca con rendimientos de 6,593 lt/seg/km², considerados medios en comparación con otras corrientes del país y asociados a los valores de precipitación al año.

Los altos rendimientos hídricos, se presentan como consecuencia de precipitaciones anuales más altas, sobre los 900 mm. Para las cuencas de tercer orden que conforman el Río Lebrija, la cual en su totalidad presenta un rendimiento hídrico alto, correspondiente a 6,593 lt/seg/km².

Tabla 46. Caudal medio anual y rendimientos hídricos en la Cuenca del Río Lebrija Medio.

Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	Caudal medio m3/seg	Area (Km2)	Rendimiento Lts/seg/km2
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	36,757	118,09	6,593
		Villa de Leiva		380,97	
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	4,226	70,77	0,996
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,472	24,66	0,347
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	11,332	215,24	2,660
		Cachiri		30,95	
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	13,163	118,26	1,178
		Esc.Agr.Cachiri		722,17	
		Cachiri		3,02	
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	3,769	63,12	0,888
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	78,300	181,77	2,557

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.8. Análisis de valores extremos.

6.3.8.1. Caudales Máximos.

El análisis hidrológico de valores máximos realizado en la Cuenca del Río Lebrija Medio contempló la estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno tomando como base los registros de caudales máximos mensuales registrados en las estaciones hidrológicas localizadas en la cuenca, aplicando diferentes tipos de distribución de frecuencias (Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson, Log Pearson y EV3) para el

correspondiente análisis de caudales máximos. En la Tabla 47 se presentan los caudales máximos estimados por estación hidrológica para diferentes períodos resultantes del análisis de distribución de frecuencias.

Tabla 47. Distribución de frecuencias, caudales máximos mensuales (m³/s).

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO DE DISTRIBUCIÓN	Caudal Máximo (m ³ /seg)					
			Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 20 años	Tr 50 años	Tr 100 años
2319740	Angostura	Log - Normal	153,25	267,56	358,13	455,59	597,30	715,47
2318513	Pte Sardinas	Gumbel	19,69	36,08	46,94	57,35	70,82	80,92
2318720	La Mina	EV3	22,24	38,23	47,63	55,84	65,47	72,10
2318740	La Chococa	Log - Pear	26,23	48,98	60,75	69,20	76,71	80,42
2319729	Café Madrid	Pearson	52,88	94,71	124,99	154,95	194,52	224,59
2317370	San Rafael	Gumbel	263,06	402,00	494,00	582,24	696,45	782,05

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Gráficamente y resultado del análisis de distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales para la estación San Rafael sobre el Río Lebrija se infieren caudales máximos de 696,4 m³/seg y de 782 m³/seg para períodos de retorno de 50 y 100 años, por encima de la capacidad hidráulica del cauce lo que potencialmente generaría avenidas torrenciales en este sector de la cuenca. De manera similar pero en menor magnitud, para la quebrada Santos Gutiérrez, estación la Chococa se estimaron caudales sobre los 76,71 y 80,42 m³/seg para períodos de retorno entre 50 y 100 años respectivamente.

En cuanto a la estación la Mina sobre la Quebrada Santos Gutiérrez tomando como referencia la distribución de frecuencias tipo EV3, la cual presenta el mejor ajuste estadístico, se observan valores sobre los 22,24 m³/seg para condiciones máximas promedio, es decir para períodos de retorno de dos años, caudales que se incrementan sustancialmente hasta alcanzar valores de 62,4 y 72,1 m³/seg para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente, caudales que potencialmente generan inundaciones en las zonas aledañas al cauce principal, especialmente en las zonas planas y procesos de socavación y arrastre de sedimentos de diferentes granulometrías en el lecho del Río Lebrija Medio.

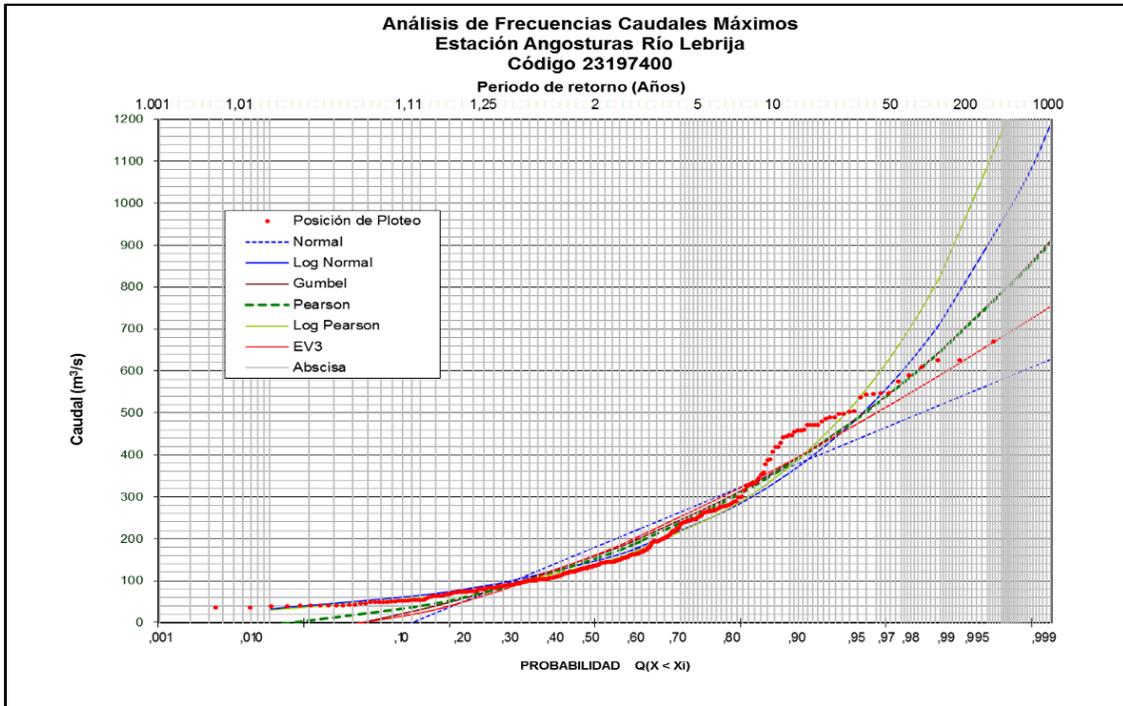


Figura 61. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – Río Lebrija - Angosturas (2319740).

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

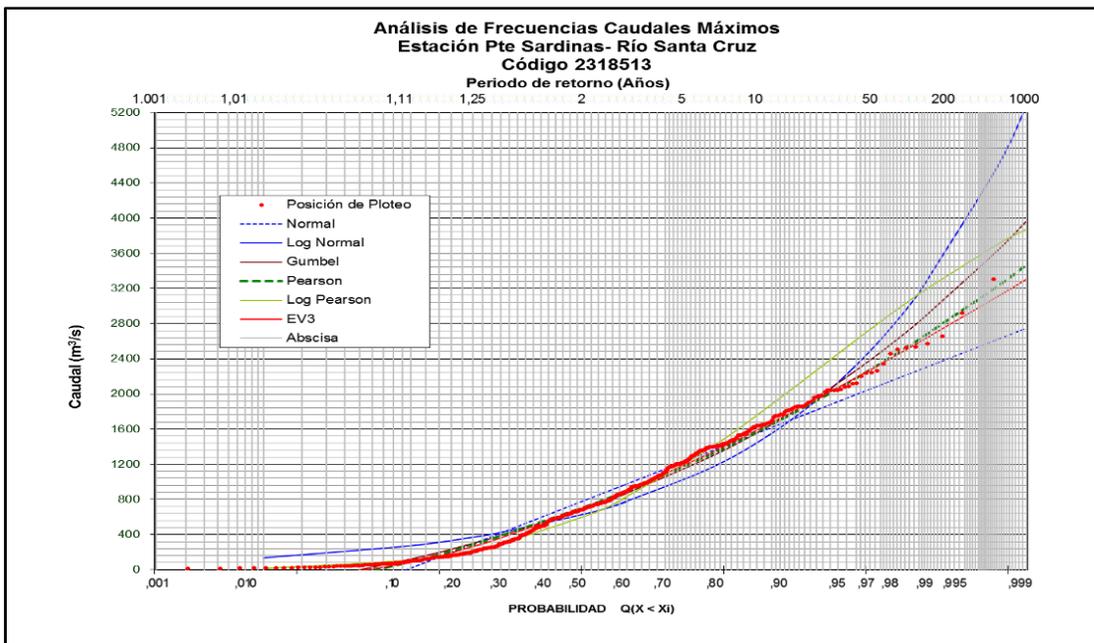


Figura 62. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – R. Santa Cruz – Pte Sardinas (2318513).

FUENTE: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

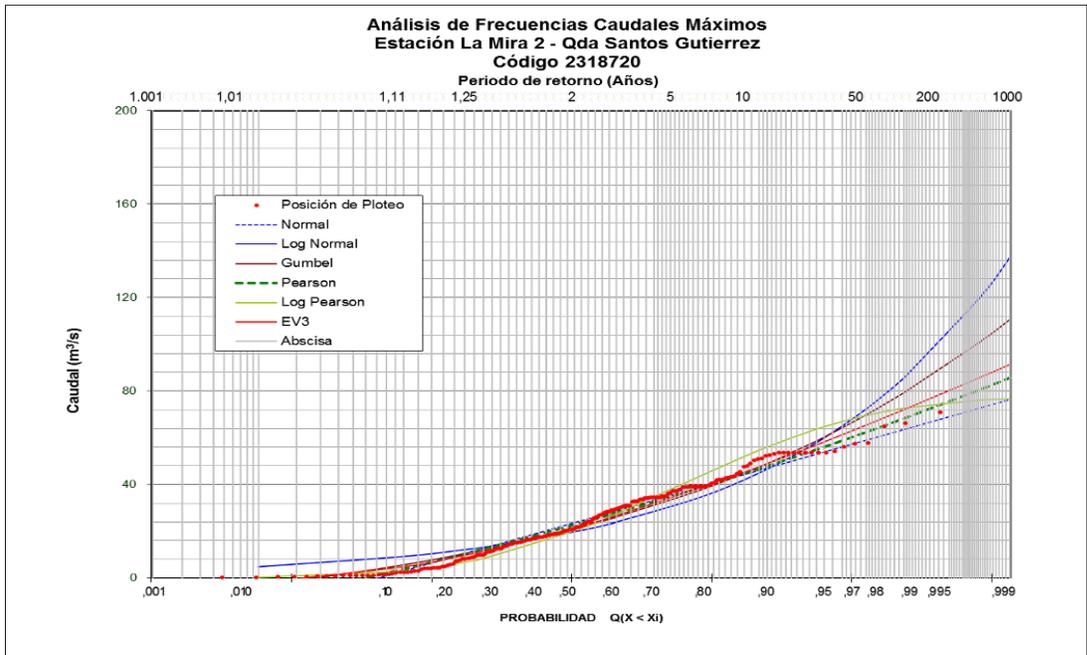


Figura 63. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m³/s) – Q. Stos. Gutierrez – La Mina (2318720).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

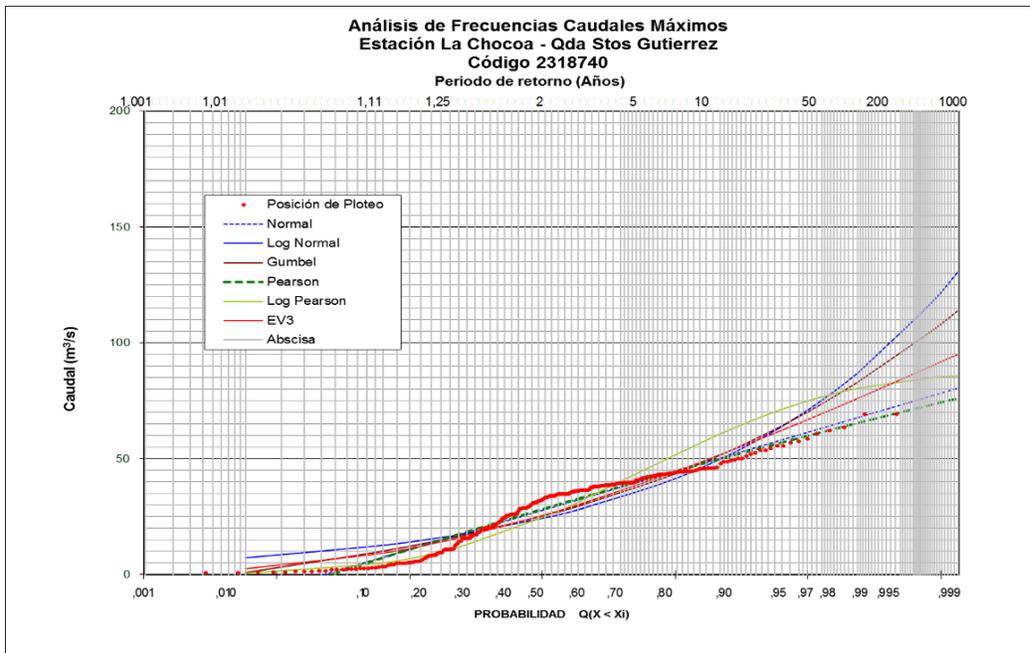


Figura 64. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m³/s) – Q. Stos. Gutierrez – La Chocoa (2318740).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

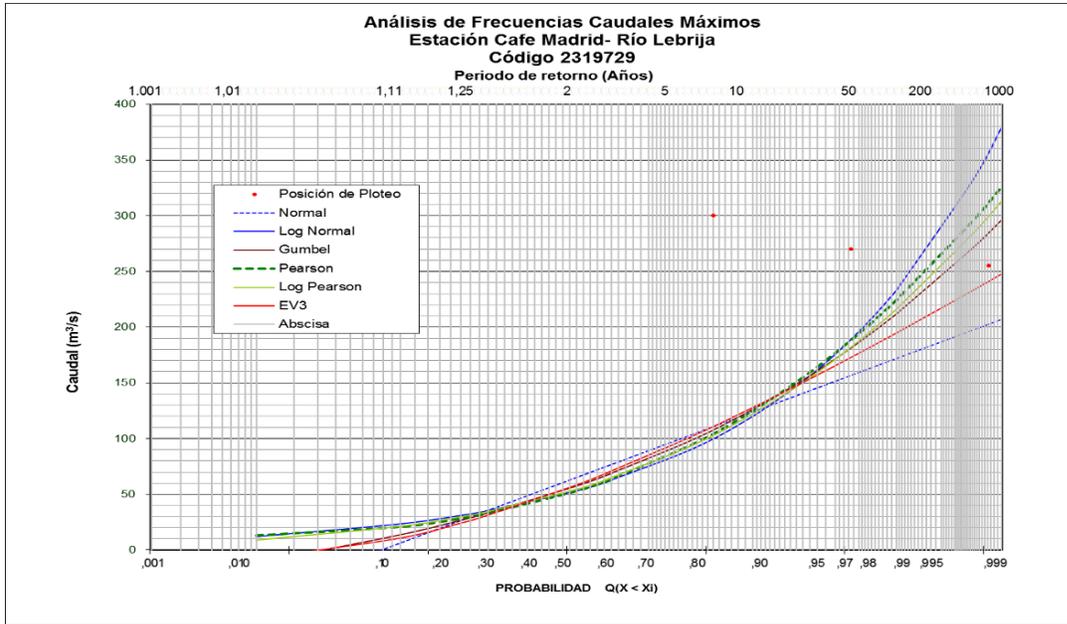


Figura 65. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m³/s) – R. Lebrija, Café Madrid (2319729).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

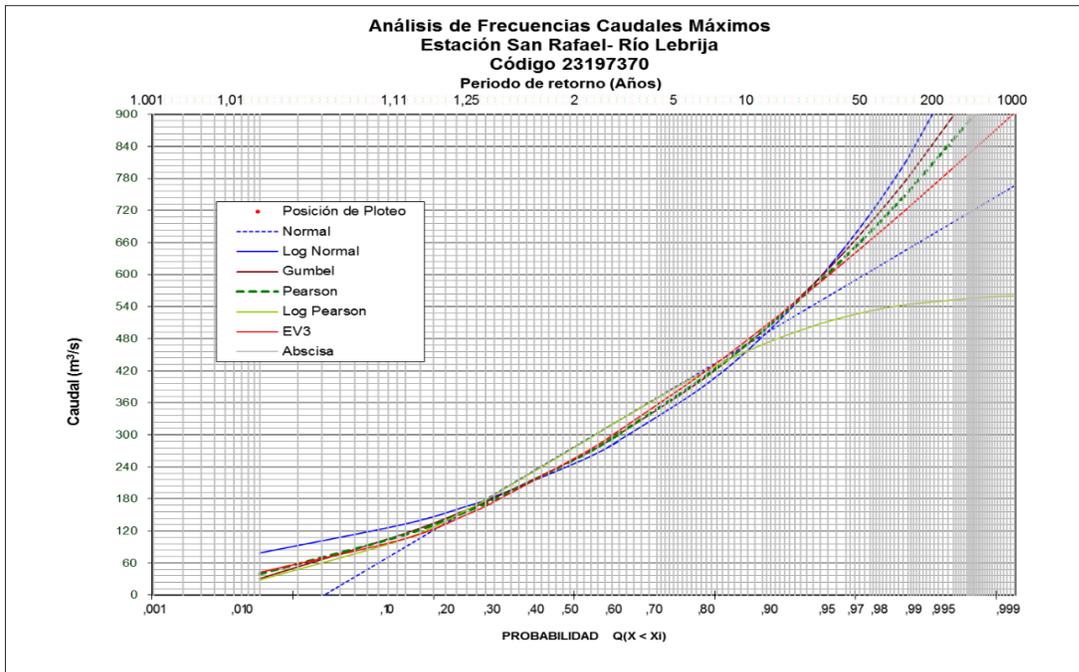


Figura 66. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m³/s) – R. Lebrija, San Rafael.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.8.2. Caudales Mínimos.

La estimación de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno en la Cuenca del Río Lebrija Medio se realizó de igual manera para las seis estaciones hidrológicas de referencia localizadas en la cuenca a partir de las series históricas de caudales mínimos mensuales, aplicando en su análisis diferentes tipos de distribución de frecuencias (Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson, Log Pearson y EV3), seleccionando en cada caso la de mejor ajuste gráfico y estadístico. En la Tabla 48 se presentan los caudales mínimos estimados por estación hidrológica para diferentes períodos resultantes del análisis de distribución de frecuencias.

Tabla 48. Distribución de frecuencias caudales mínimos mensuales (m³/s).

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO DE DISTRIBUCIÓN	Caudal Mínimo (m ³ /seg)					
			Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 20 años	Tr 50 años	Tr 100 años
2319740	Angostura	Pearson	28,99	20,07	17,28	15,48	14,65	14,21
2318513	Pte Sardinas	Log - Normal	2,72	1,75	1,40	1,18	1,00	0,92
2318720	La Mina	Pearson	1,13	0,55	0,40	0,28	0,27	0,26
2318740	La Chocoa	Log - Pear	0,78	0,37	0,26	0,20	0,15	0,13
2319729	Café Madrid	Gumbel	9,85	5,62	3,82	2,50	1,16	0,34
2317370	San Rafael	Log - Pear	46,43	30,35	24,00	19,85	16,32	14,58

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De acuerdo a lo anterior la Quebrada Santos Gutiérrez dadas sus características de área de drenaje presenta las mayores probabilidades de ocurrencia de eventos de sequía estimándose caudales sobre los 0,15 lt/seg y 0,13 lt/seg para períodos de retorno de 50 y 100 años. En contraste para el Río Lebrija Medio a la altura de la estación San Rafael se estiman valores sobre los 46,43 lt/seg para condiciones promedio mínimas, es decir para un período de retorno de dos años, que disminuyen paulatinamente hasta caudales de 16,3 y 14,5 lt/seg para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

Teniendo en cuenta su localización en la parte baja de la Cuenca del Río Lebrija Medio, en la estación Café Madrid y utilizando la distribución de frecuencias tipo Gumbel, por ser esta la de mejor ajuste estadístico y gráfico, se estimaron valores mínimos sobre los 9,85 m³/seg para condiciones mínimas promedio, correspondiente a períodos de retorno de dos años, caudales que disminuyen paulatinamente hasta valores de 1,16 m³/seg y 0,34 m³/seg para

para período de retorno de 50 y 100 años respectivamente, lo cual indica que no hay probabilidades de presentarse condiciones de sequía para condiciones de caudales mínimos.

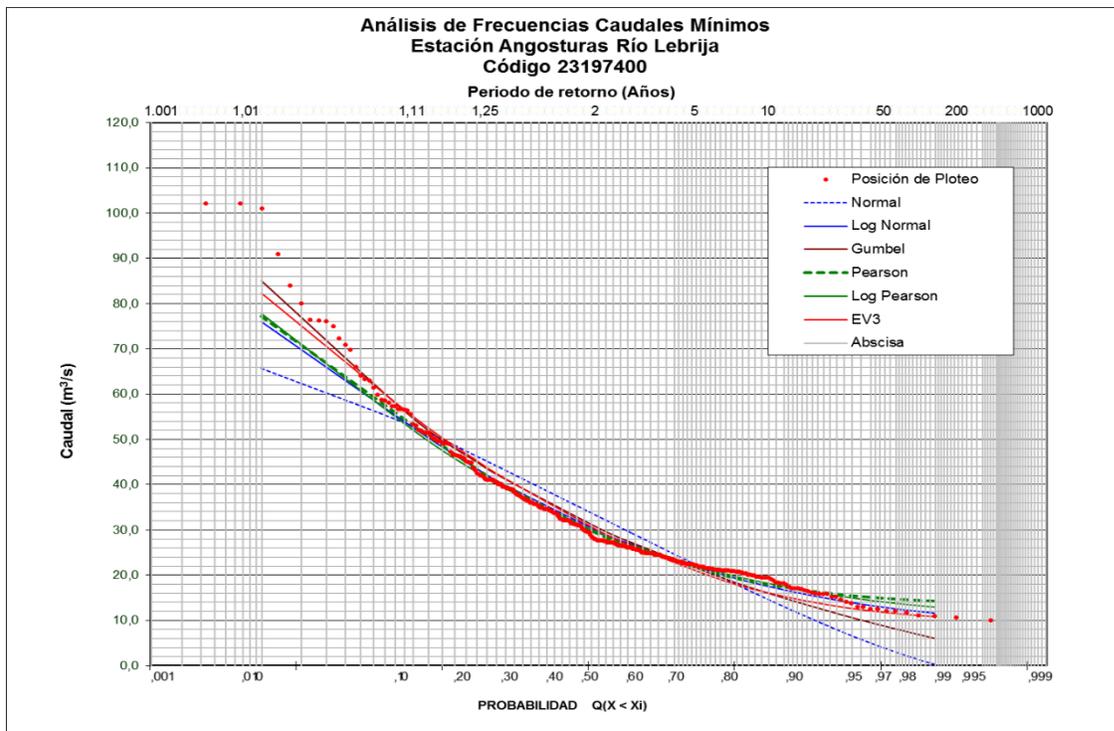


Figura 67. Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m³/s) – R. Lebrija, Angosturas (2319740).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

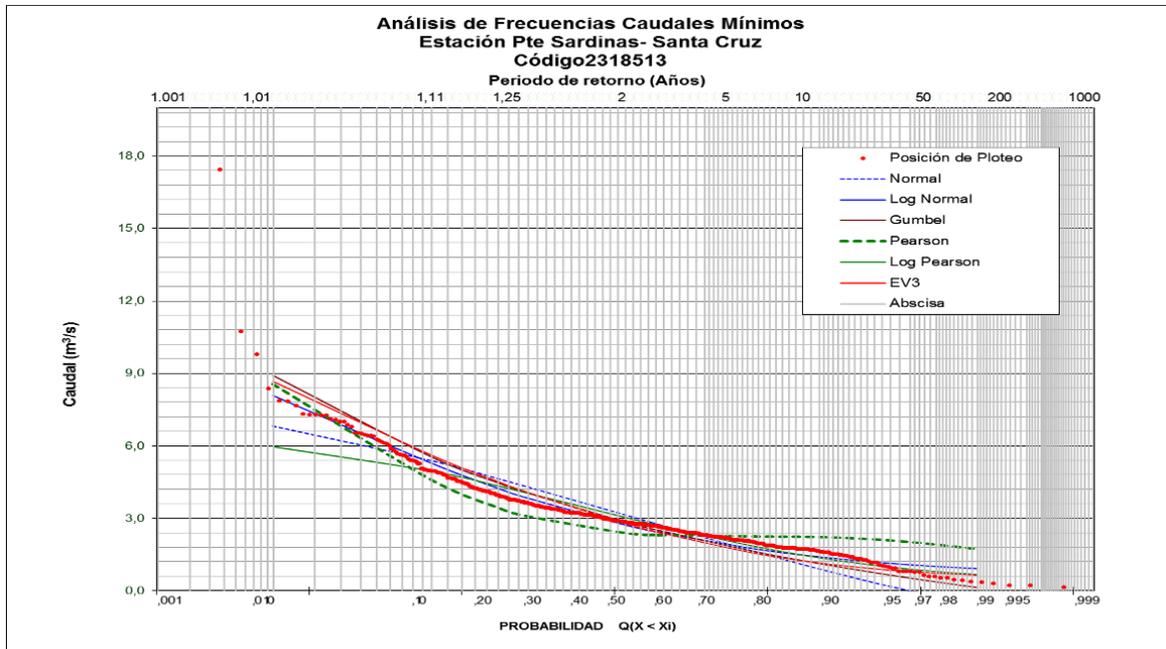


Figura 68. Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – R. Santa Cruz, Pte. Sardinas (2318513).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

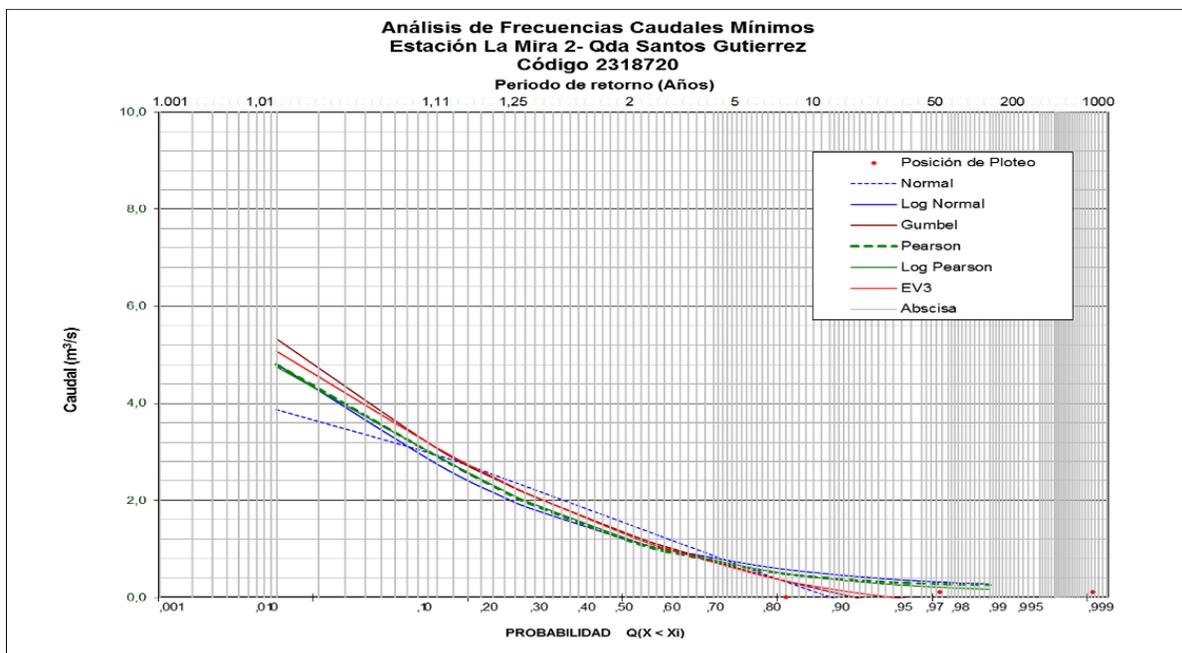


Figura 69. Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – Qda. Stos. Gutierrez – La Mira (2701735).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

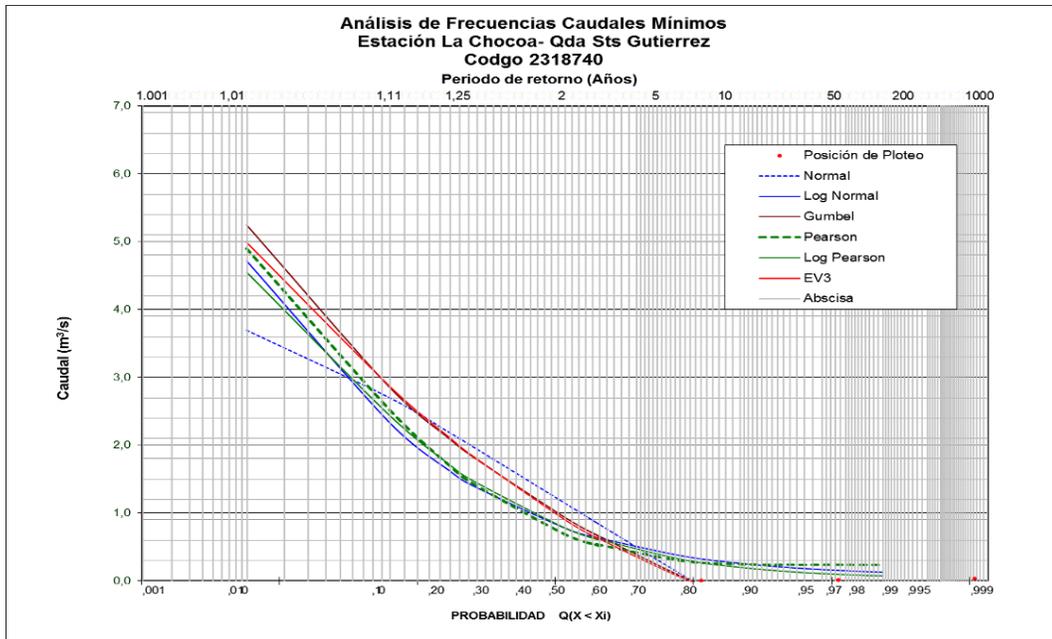


Figura 70. Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m³/s) – Qda. Stos. Gutierrez – La Chocoa (2318740).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

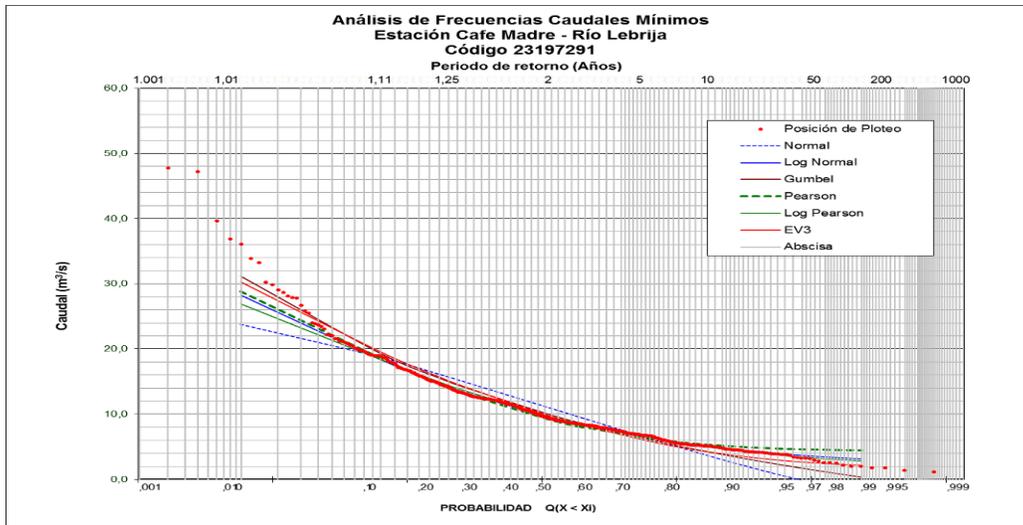


Figura 71. Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m³/s) – R. Lebrija – Café Madrid (2319729).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

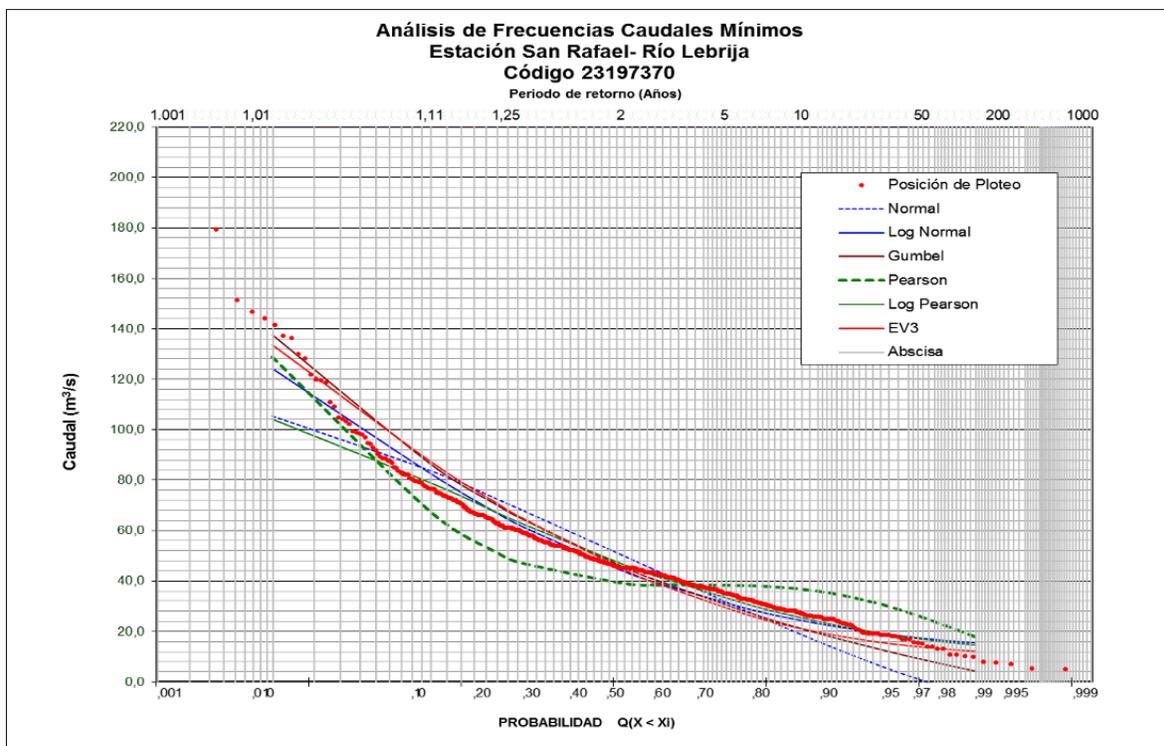


Figura72. Distribución de frecuencias caudales mínimos mensuales (m³/s) – Río Lebrija – San Rafael (2701735).

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.9 Estimación de la Oferta Hídrica

Basado en la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2013) el procedimiento general para la determinación de las características de la oferta se presenta a continuación en la Figura 73:

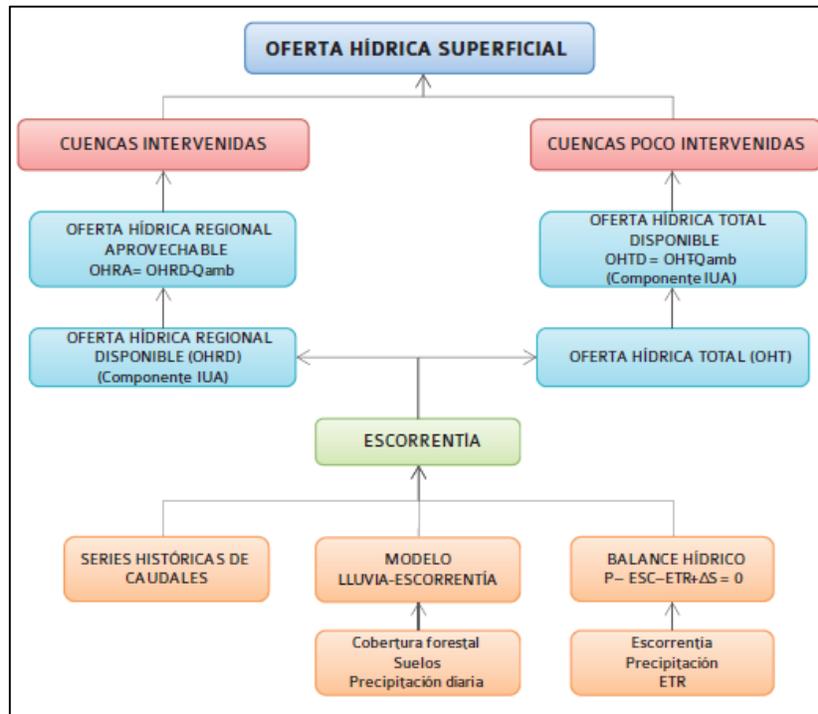


Figura 73 Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones.

Fuente: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua IDEAM

6.3.9.1. Oferta Hídrica Año Hidrológico Normal

La oferta hídrica total se estimó en las estaciones hidrológicas localizadas en el área de estudio, correspondientes al Caudal Medio Mensual multianual para el período 1970 -2015 y trasladadas a los puntos de cierre, valores que se presentan en las Tabla 49.

Tabla 49. Valores de caudales medios mensuales y oferta hídrica total (m3/s) estaciones hidrológicas de referencia.

* El valor del caudal medio mensual multianual corresponde a la Oferta Hídrica Total

Datos generales			Oferta Hídrica Total m3/s (Año Normal)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estación	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	0,897	2,913	6,457	11,546	11,661	6,131	3,850	7,007	10,179	17,206	11,751	2,402	92,001
		Villa de Leiva													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	0,007	0,029	0,264	0,505	0,523	0,374	0,295	0,391	0,418	0,736	0,575	0,110	4,226
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	0,002	0,010	0,092	0,176	0,182	0,130	0,103	0,136	0,146	0,257	0,200	0,038	1,472
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	0,018	0,077	0,706	1,355	1,407	0,998	0,787	1,047	1,125	1,977	1,541	0,293	11,332
		Cachiri													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	0,037	0,091	0,383	1,065	1,212	0,311	0,279	0,581	1,677	2,240	1,346	0,173	9,394
		Esc.Agr.Cachiri													
		Cachiri													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	0,006	0,026	0,236	0,450	0,467	0,333	0,263	0,349	0,373	0,657	0,513	0,098	3,769
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	0,017	0,074	0,678	1,296	1,344	0,959	0,758	1,004	1,073	1,891	1,476	0,282	10,854

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

6.3.9.2. Oferta Hídrica Año Hidrológico Seco.

La definición de año seco es netamente estadística y el valor asociado a cada estación no necesariamente tiene correspondencia temporal entre las diferentes estaciones en cada Cuenca. En este sentido la aplicación de la ecuación de balance no resulta conveniente y la oferta total para año seco corresponde a una representación espacial a través de interpolación de los valores de escorrentía en los sitios con estaciones hidrológicas. En este caso los caudales registrados en las estaciones hidrológicas son convertidos en escorrentía por medio de una relación caudal-área. Los valores puntuales de escorrentía de las estaciones se representan espacialmente mediante la asignación de la escorrentía al polígono del área aferente a la estación y la interpolación de estos valores.

Tabla 50. Valores de caudales mínimos mensuales y oferta hídrica total (m³/s) Cuencas – año seco.

Cuenca	Codigo	Subcuenca	OH año seco m ³ /s
LEBRIJA MEDIO	RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	16,462
	QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	0,996
	CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	0,347
	QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	2,660
	RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	0,290
	QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	0,888
	QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	2,557

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

6.3.9.3. Oferta Hídrica Año Hidrológico Húmedo.

La oferta total para año húmedo se obtuvo a partir la representación espacial de la suma de los valores máximos medios mensuales de las estaciones hidrológicas empleadas.

Tabla 51. Valores de caudales medios mensuales y oferta hídrica total (m³/s) Cuencas – año húmedo.

Cuenca	Codigo	Subcuenca	OH año Humedo m ³ /s
LEBRIJA MEDIO	RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	259,044
	QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	9,975
	CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	3,475
	QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	26,790
	RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	102,314
	QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	8,897
	QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	2,714

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur Y Lebrija Medio 2015.

6.3.10. Balance Hídrico.

El balance hídrico es la base para cuantificar la oferta hídrica en una unidad hidrográfica de análisis. Se basa en la evaluación de las entradas y salidas del sistema por unidad de tiempo con respecto a los diferentes elementos del ciclo hidrológico, como se presenta en la siguiente ecuación.

$$P = ES(total) - ETR \pm \Delta S \pm \Delta er = 0 \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

P: Precipitación (mm).

Esc: Escorrentía total (mm) (flujo superficial + flujo subterráneo).

ETR: Evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración).

ΔS : Almacenamiento

Δer : Término residual de discrepancia.

A continuación, se describen los parámetros utilizados para calcular cada uno de los componentes de la fórmula del balance hídrico superficial.

6.3.10.1. Precipitación (*P*).

Se toma a partir de los resultados obtenidos del capítulo climatológico.

6.3.10.2. Escorrentía (*Esc*).

La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que no se infiltra o se evapora, y que consecuentemente, circula por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos del agua. También se define como la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

6.3.10.3. Evapotranspiración Real (ETR).

La evapotranspiración es la pérdida de agua por evaporación directa y transpiración vegetal, se expresa generalmente en mm por unidad de tiempo. 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 el de evapotranspiración real. Este parámetro se calcula según lo expuesto por Turc (1955) según las ecuaciones 27 y 28

6.3. 11 Estimación del balance a nivel de cuenca y subcuenca.

Para el balance hídrico de la cuenca del río Lebrija Medio se tiene en cuenta todos los parámetros que en ella intervienen y dependen de las condiciones de la información, como los son evapotranspiración, precipitación e infiltración.

Dada la limitada red de medición en la cuenca del Río Lebrija Medio y su persistente discontinuidad en los registros de caudales, se hace difícil desarrollar los dos primeros métodos alternos de cálculo de la escorrentía superficial, pues, por un lado, el desarrollo de curvas área-caudal tendría únicamente tres puntos de control y sin gran representación en toda la cuenca.

El cálculo del valor aproximado de caudal medio anual para cada una de las subcuencas se hace usando la siguiente expresión, considerando que la oferta hídrica es el indicador del caudal medio de una cuenca:

$$Q_c = 3.17 * 10^{-8} * A_c * (P - ETR) \quad \text{Ecuación 39}$$

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).

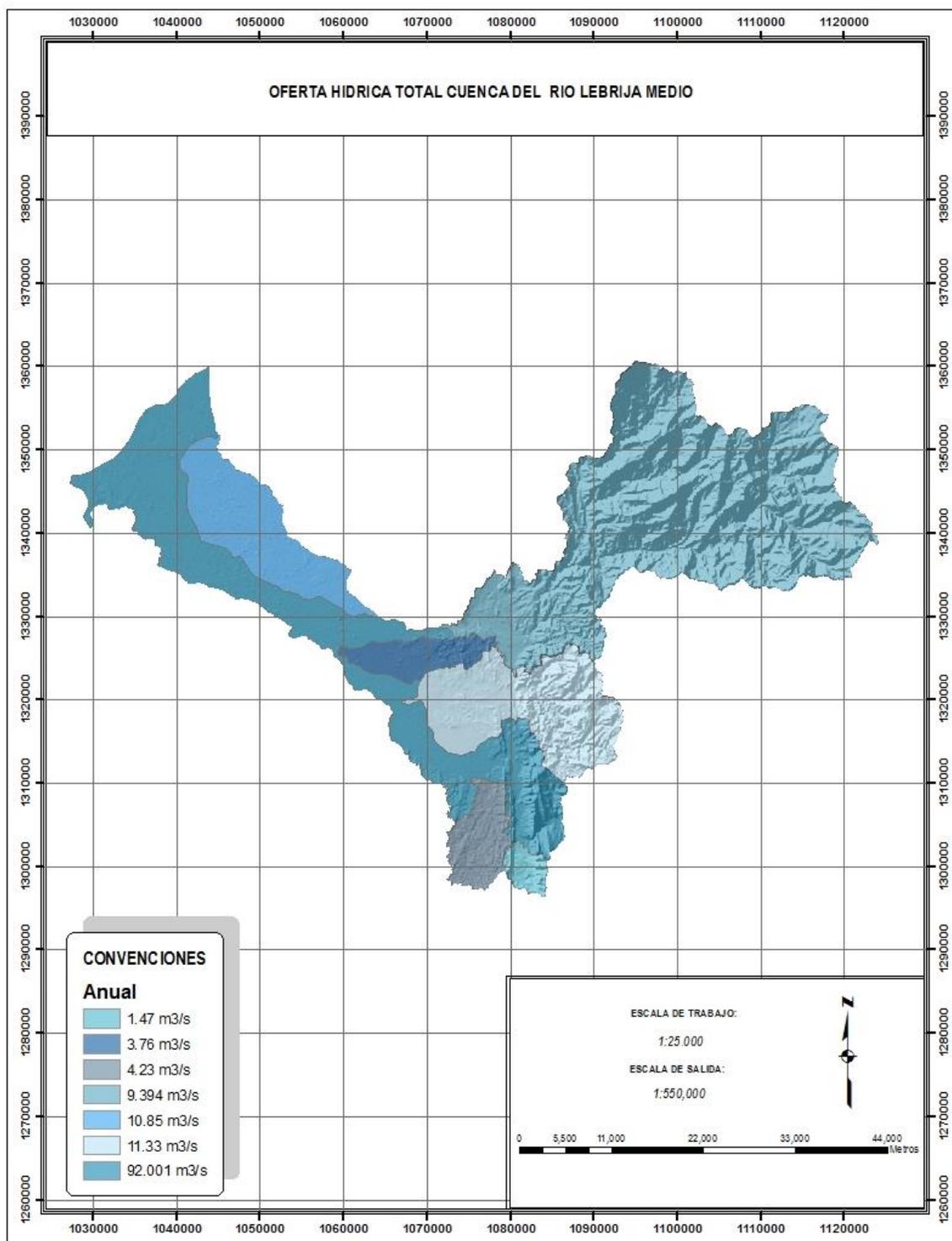
Q_c : Caudal medio anual (m³/s).

La ecuación presentada para el cálculo del caudal medio anual utiliza el área de la cuenca en metros cuadrados, la precipitación y ETP en metros en una escala temporal anual, al llevar estos valores a segundos, encontramos el coeficiente de 3.17, que acompaña a la fórmula. El instituto de hidrología UNESCO en su guía internacional de investigación y métodos, encontró que para un periodo amplio de un año el caudal puede estimarse con la fórmula estimada.

Con los productos obtenidos de precipitación, ETP Y ETR se obtienen los valores de la oferta hídrica para la cuenca de estudio. La escorrentía o también llamada oferta hídrica total disponible (OHTS) hallada a través del balance hídrico se determinó a nivel anual, Figura 74.

Si bien el IDEAM permite el cálculo de la oferta hídrica mediante un balance hidrológico a largo plazo, esta metodología resulta ser en algunos casos superficial, sin embargo, de acuerdo a la cantidad de estaciones presentadas en la cuenca y la calidad de la información registrada en estas, se dificulta la construcción de modelos hidrológicos y calibración de estos, al igual que la construcción de relaciones área vs caudal como alternativas metodológicas principales, concluyendo en el uso del proceso descrito en balance hídrico. En las Tabla 52 y Tabla 53 se presenta la Oferta Hídrica Total y la Oferta Hídrica Disponible respectivamente.

Figura 74. Oferta hídrica Total disponibles Cuenca del Río Lebrija Medio



Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 52. Oferta Hídrica Total año normal, seco y lluvioso Lebrija Medio

Datos generales				Oferta Hídrica Total m3/s (Año Normal)												
Microcuenca	Código Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0,897	2,913	6,457	11,546	11,661	6,131	3,850	7,007	10,179	17,206	11,751	2,402	92,001
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,007	0,029	0,264	0,505	0,523	0,374	0,295	0,391	0,418	0,736	0,575	0,110	4,226
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,002	0,010	0,092	0,176	0,182	0,130	0,103	0,136	0,146	0,257	0,200	0,038	1,472
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,018	0,077	0,706	1,355	1,407	0,998	0,787	1,047	1,125	1,977	1,541	0,293	11,332
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,037	0,091	0,383	1,065	1,212	0,311	0,279	0,581	1,677	2,240	1,346	0,173	9,394
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,006	0,026	0,236	0,450	0,467	0,333	0,263	0,349	0,373	0,657	0,513	0,098	3,769
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,017	0,074	0,678	1,296	1,344	0,959	0,758	1,004	1,073	1,891	1,476	0,282	10,854

Datos generales				Oferta Hídrica Total m3/s (Año Lluvioso)											
Microcuenca	Código Microcuenca	Estacion	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	7,57	15,184	20,617	35,576	30,787	14,038	13,837	17,116	23,168	34,061	30,527	16,554	259,044
		Villa de Leiva													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	0,12	0,313	0,681	1,127	1,050	0,684	0,740	0,579	1,001	1,356	1,483	0,837	9,975
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	0,04	0,109	0,237	0,393	0,366	0,238	0,258	0,202	0,349	0,473	0,517	0,292	3,475
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	0,33	0,838	1,826	3,032	2,829	1,835	1,986	1,560	2,692	3,648	3,973	2,240	26,790
		Cachiri													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	0,05	0,524	1,403	40,044	25,571	0,861	2,620	5,783	3,845	4,313	15,349	1,955	102,314
		Esc.Agr.Cachiri													
		Cachiri													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	0,11	0,279	0,608	1,005	0,937	0,610	0,660	0,517	0,893	1,210	1,323	0,746	8,897
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	0,004	0,019	0,170	0,324	0,336	0,240	0,190	0,251	0,268	0,473	0,369	0,070	2,714

Datos generales				Oferta Hídrica Total m3/s (Año Seco)											
Microcuenca	Código Microcuenca	Estacion	Qene	Qfeb	Qma	Qab	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperati	0,02	0,073	0,200	1,21	2,347	0,829	0,390	1,173	2,273	5,909	2,022	0,015	16,462
		Villa de Leiva													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	0,003	0,000	0,003	0,03	0,251	0,069	0,014	0,150	0,038	0,288	0,146	0,002	0,996
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	0,001	0,000	0,001	0,01	0,088	0,024	0,005	0,052	0,013	0,100	0,051	0,001	0,347
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	0,007	0,000	0,008	0,08	0,669	0,183	0,038	0,399	0,104	0,773	0,388	0,004	2,660
		Cachiri													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	0,001	0,000	0,002	0,014	0,064	0,018	0,006	0,040	0,019	0,083	0,043	0,001	0,290
		Esc.Agr.Cachi													
		Cachiri													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	0,002	0,000	0,003	0,029	0,224	0,061	0,013	0,134	0,034	0,257	0,130	0,001	0,888

Q	2319-03-07-00	Villa de Leiva	0,007	0,000	0,007	0,083	0,645	0,177	0,037	0,385	0,098	0,739	0,375	0,004	2,557
LA MUSANDA															

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 53. Oferta Hídrica Disponible año normal, seco y Lluvioso Lebrija Medio

Datos generales				Oferta Hídrica Disponible m3/s (Año Normal)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0,673	2,184	4,842	8,660	8,746	4,599	2,888	5,255	7,634	12,905	8,814	1,802	69,001
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,005	0,022	0,198	0,378	0,393	0,280	0,221	0,293	0,313	0,552	0,431	0,082	3,169
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,002	0,008	0,069	0,132	0,137	0,098	0,077	0,102	0,109	0,192	0,150	0,029	1,104
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,014	0,058	0,529	1,016	1,055	0,749	0,591	0,786	0,844	1,483	1,155	0,220	8,499
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,028	0,068	0,287	0,798	0,909	0,233	0,209	0,436	1,258	1,680	1,009	0,129	7,045
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,005	0,019	0,177	0,338	0,350	0,250	0,197	0,261	0,280	0,493	0,384	0,073	2,827
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,013	0,056	0,509	0,972	1,008	0,720	0,569	0,753	0,805	1,418	1,107	0,211	8,141
Datos generales				Oferta Hídrica Disponible m3/s (Año Lluvioso)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	5,683	11,388	15,463	26,682	23,090	10,529	10,378	12,837	17,376	25,546	22,895	12,415	194,283
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,092	0,235	0,511	0,845	0,787	0,513	0,555	0,434	0,751	1,017	1,112	0,628	7,481
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,032	0,082	0,178	0,295	0,274	0,179	0,193	0,151	0,261	0,354	0,387	0,219	2,607
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,248	0,629	1,370	2,274	2,122	1,376	1,490	1,170	2,019	2,736	2,980	1,680	20,092
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,035	0,393	1,052	30,033	19,178	0,646	1,965	4,337	2,884	3,235	11,512	1,466	76,736
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,082	0,209	0,456	0,754	0,702	0,458	0,495	0,387	0,669	0,907	0,992	0,560	6,673
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,237	0,603	1,312	2,172	2,023	1,318	1,426	1,116	1,928	2,613	2,857	1,612	19,216
Datos generales				Oferta Hídrica Disponible m3/s (Año Seco)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0,016	0,055	0,150	0,907	1,760	0,622	0,293	0,880	1,705	4,432	1,517	0,011	12,347
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,002	0,000	0,002	0,024	0,188	0,052	0,011	0,112	0,029	0,216	0,110	0,001	0,747
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,001	0,000	0,001	0,008	0,066	0,018	0,004	0,039	0,010	0,075	0,038	0,000	0,260
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,005	0,000	0,006	0,065	0,502	0,137	0,029	0,299	0,078	0,580	0,291	0,003	1,995
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,001	0,000	0,002	0,010	0,048	0,014	0,004	0,030	0,014	0,062	0,032	0,001	0,218
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													

QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,002	0,000	0,002	0,022	0,168	0,046	0,010	0,100	0,025	0,193	0,098	0,001	0,666
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,005	0,000	0,005	0,062	0,484	0,132	0,028	0,289	0,073	0,554	0,281	0,003	1,918

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.12. Rendimiento hídrico

Año normal: en un año con un comportamiento normal, se presente el siguiente análisis estadístico, para cada una de las cuencas el rendimiento, el mes con mayor oferta en un año normal es el mes de mayo, seguido de mes de noviembre. Los meses con menores rendimientos hídricos en la cuenca corresponden a octubre y febrero.

Año seco: La definición de año seco es netamente estadística y el valor asociado a cada estación no necesariamente tiene correspondencia temporal entre las diferentes estaciones en cada Cuenca. La aplicación de la ecuación de balance no resulta conveniente y la oferta total para año seco corresponde a una representación espacial a través de interpolación de los valores de escorrentía en los sitios con estaciones. Los valores puntuales de escorrentía de las estaciones se representan espacialmente mediante la asignación de la escorrentía al polígono del área aferente a la estación y la interpolación de estos valores.

Tabla 54. Rendimiento Hídrico año normal Lebrija medio

Datos generales				Rendimiento Hídrico L/S/Km ² (Año Normal)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	7.162	22.610	43.717	82.246	83.283	36.416	19.509	45.586	76.194	123.394	79.950	16.029	636.096
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,095	0,409	3,731	7,129	7,396	5,278	4,172	5,522	5,906	10,404	8,122	1,550	59,713
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,095	0,409	3,731	7,129	7,396	5,278	4,172	5,522	5,906	10,404	8,122	1,550	59,713
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,087	0,365	3,382	6,660	6,952	4,776	3,723	5,097	5,616	9,725	7,498	1,413	55,295
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,062	0,174	0,971	2,322	2,560	1,053	0,877	1,460	3,028	4,339	2,827	0,422	20,096
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,095	0,409	3,731	7,129	7,396	5,278	4,172	5,522	5,906	10,404	8,122	1,550	59,713
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,095	0,409	3,731	7,129	7,396	5,278	4,172	5,522	5,906	10,404	8,122	1,550	59,713

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 55. Rendimiento Hídrico año Seco y Lluvioso Lebrija medio

Datos generales				Rendimiento Hídrico L/S/Km2 (Año Lluvioso)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	57.998	225.159	149.697	316.717	262.745	94.519392	94.721	135.017	169.761	250.098	222.285	109.099	2087.818
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	1,741	4,424	9,626	15,929	14,837	9,671	10,458	8,184	14,140	19,168	20,954	11,823	140,956
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	1,741	4,424	9,626	15,929	14,837	9,671	10,458	8,184	14,140	19,168	20,954	11,823	140,956
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	1,608	4,048	8,900	15,047	14,160	8,941	9,727	7,807	13,361	18,081	19,294	10,816	131,789
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,271	1,249	3,085	57,350	37,183	2,340	4,871	8,986	7,011	8,258	23,738	4,106	158,450
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	1,741	4,424	9,626	15,929	14,837	9,671	10,458	8,184	14,140	19,168	20,954	11,823	140,956
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	1,741	4,424	9,626	15,929	14,837	9,671	10,458	8,184	14,140	19,168	20,954	11,823	140,956

Datos generales				Rendimiento Hídrico L/S/Km2 (Año Seco)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0.062	0.679	1.532	8.746	8.201	3.525	2.482	2.606	19.298	40.655	9.918	0.054	97.757
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,038	0,000	0,040	0,457	3,549	0,972	0,204	2,118	0,538	4,067	2,063	0,022	14,068
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,038	0,000	0,040	0,457	3,549	0,972	0,204	2,118	0,538	4,067	2,063	0,022	14,068
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,034	0,004	0,036	0,404	3,139	0,850	0,179	1,856	0,567	3,800	1,809	0,019	12,697
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,006	0,001	0,008	0,073	0,505	0,139	0,032	0,303	0,092	0,599	0,301	0,004	2,062
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,038	0,000	0,040	0,457	3,549	0,972	0,204	2,118	0,538	4,067	2,063	0,022	14,068
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,038	0,000	0,040	0,457	3,549	0,972	0,204	2,118	0,538	4,067	2,063	0,022	14,068

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

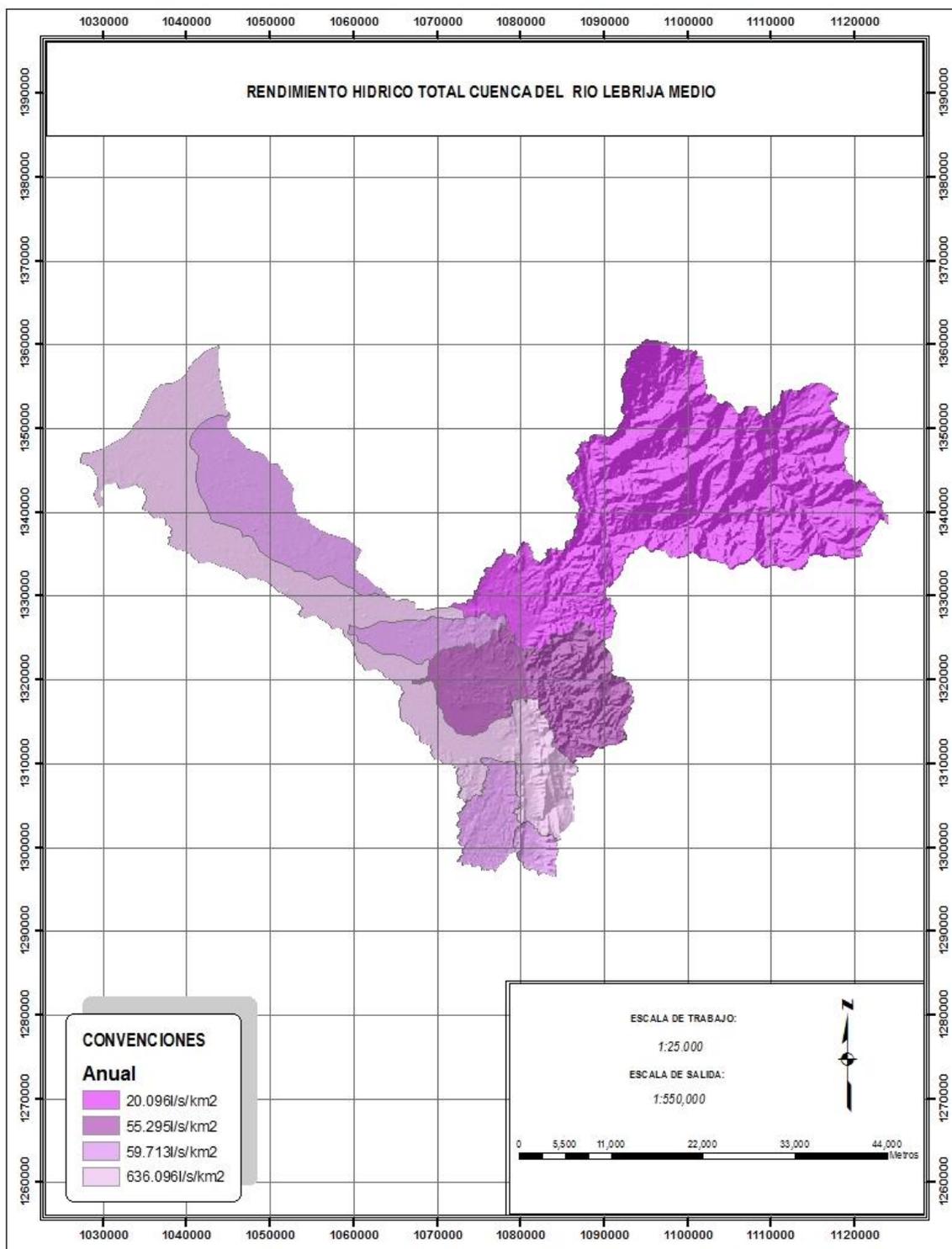


Figura 75. Rendimiento hídrico Anual Cuenca del Río Lebrija medio.
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

6.3.13. Caudal Ambiental.

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, 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 a partir de las características del régimen hidrológico representadas en la curva de frecuencias de caudales diarios (curva de duración de caudales), la cual sintetiza las características del régimen en un punto específico de la unidad hídrica de análisis. No existe un método ideal para determinar el caudal ambiental apropiado para cada caso específico; pero sí existen una serie de métodos para determinar el caudal ambiental de acuerdo con criterios y objetivos, entre los cuales se pueden agrupar una serie de métodos:

Hidrológicos: Se basan en conocimiento del régimen hídrico a partir de información de las series históricas de caudales en sitios de interés.

Hidráulicos: Se considera la conservación del comportamiento y dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río.

Biológico microbiológico: Correspondencia del hábitat (fauna y flora) considerando los caudales necesarios para la supervivencia de las especies en desarrollo.

Aspectos integrales: Identificación de caudales requeridos para las necesidades humanas (calidad del recurso, usos socioeconómicos, investigación, bienes y servicios, etc.).

Como una aproximación inicial, se considera la estimación del caudal ambiental a partir de las características del régimen hidrológico. El procedimiento general para el cálculo del caudal ambiental a partir de las características del régimen hidrológico, el procedimiento para determinar el caudal de sustracción (Q ambiental) a partir de la curva de duración de caudales diarios medidos en las estaciones y la curva de duración de caudales mensuales generados como resultado de los modelos lluvia caudal.

6.3.13.1. Métodos para la Estimación de Caudales Ambientales

6.3.13.1.1. Metodología 1: Resolución 865 de 2004

La primera de ellas es según lo dispuesto en la Resolución 865 de 2004, la cual propone considerar como caudal ambiental el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de los siguientes tres métodos:

Mínimo histórico: corresponde al caudal promedio multianual que permanece el 97.5% del tiempo, obtenido de la curva de duración de la serie de caudales medios diarios, para el periodo de análisis, por medio de la aplicación del percentil 0.975.

Porcentaje de descuento: este representa el 25% del caudal mensual multianual más bajo de la corriente de estudio (IDEAM, 2010).

Reducción por caudal ambiental: esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

6.3.13.1.2. Metodología 2: Método basado en el índice de retención y regulación hídrica

La segunda metodología para la determinación del caudal ambiental, según el Estudio Nacional del Agua -ENA (IDEAM, 2010), corresponde al 85% o 75% según el valor del Índice de Retención Hidráulica –IRH, obtenido de la curva de duración de caudales medios y su intersección con la recta de caudal promedio multianual. Cuando el IRH obtenido sea inferior a 0,7, el caudal ambiental será el 75% del caudal medio diario multianual, pero para valores de IRH superiores a 0,7 el caudal ambiental será el 85% del caudal medio diario multianual.

6.3.13.1.3. Metodología 3: Cálculo de Q95 y 7Q10 para condiciones secas, húmedas y neutrales

Por último, la tercera metodología propone que el caudal ambiental debe ser hallado aplicando los métodos 7Q10 y Q95 (ANLA, 2013). Para la aplicación del 7Q10, propuesto por Chiang y Johnson (1976), es recomendable utilizar las series de caudales mínimos

diarios, pero dado que esta información no se encuentra usualmente disponible, se emplea la serie completa de caudales medios diarios, obtenida para cada caso de estudio, tras la aplicación del modelo SMA, sin discriminar por año o condición hidrológica. La información es promediada por semana para cada año perteneciente al periodo de registro, empleando una ventana móvil en Excel.

Los promedios semanales son ordenados para obtener el valor mínimo semanal de cada año, con lo que se obtiene la serie anual de excedencias. Finalmente, a la serie construida se le realiza un análisis de frecuencias de eventos mínimos que es ajustada a la función de probabilidad empírica. El valor del índice 7Q10 de cada caso será el caudal correspondiente al periodo de retorno de 10 años.

Por su parte, el Q95 es evaluado por condición hidrológica según la clasificación del ONI. En cada uno de los casos se tomó, para los 12 meses de cada año, el caudal medio generado de toda la serie, obteniendo así 36 grupos (tres condiciones hidrológicas por 12 meses). Finalmente, a la serie de cada mes por condición hidrológica se le determinó el percentil 95, resultando 36 valores de Q95 para cada uno de las subcuencas y microcuencas.

Finalmente, el caudal ambiental por el método 7Q10-Q95 es el que se obtiene del valor máximo entre los 12 valores del 7Q10 y los 36 de Q95.

6.3.13.2. Valores de Caudales Ambientales de acuerdo a cada Metodología

Una vez aplicadas las metodologías se obtienen los caudales ambientales para las subcuencas y microcuencas estudiadas, los cuales se pueden observar en la tabla 56 a Tabla 60.

Tabla 56. Caudales ambientales para las subcuencas aplicando las metodologías 1 y 2 (caudal m3/s)

CODIGO	ESTACIÓN	MET 1	MET 2
23187300	TOPACIO EL	0.32	0.59
23197030	URBINA LA	0.05	0.10
23197090	SAN ALBERTO	0.13	0.25
23197240	PROVINCIA	0.06	0.11
23197370	SAN RAFAEL	0.14	0.26
23197400	ANGOSTURAS	0.06	0.12
23197250	NORMA LA	0.06	0.12
23197290	CAFÉ MADRD	0.04	0.08
23187600	VIJAGUAL	0.04	0.07
23187280	SITIO NUEVO	0.03	0.06
23187130	PTE SARDINAS	0.03	0.07
23187200	MIRA N° 2	0.03	0.06
23187400	LA CHOCOA	0.07	0.15
23187140	EL ESTABLO	0.21	0.31
23187220	LA ESTRELLA	0.10	0.14
23187250	PORVENIR	0.08	0.11
23187290	LA RETIRADA	0.09	0.12

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 57. Caudales ambientales para las subcuencas en condición hidrológica el niño, metodología 3

CODIGO	Caudales ambientales para condición hidrológica El Niño, metodología 3 (Caudales en m3/s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
23187300	0.124	0.114	0.107	0.130	0.155	0.152	0.132	0.144	0.149	0.176	0.187	0.159
23197030	0.365	0.310	0.273	0.361	0.495	0.512	0.425	0.465	0.497	0.627	0.679	0.559
23197090	0.061	0.052	0.046	0.060	0.083	0.086	0.071	0.078	0.083	0.105	0.114	0.094
23197240	0.153	0.130	0.115	0.152	0.208	0.215	0.179	0.196	0.209	0.264	0.285	0.235
23197370	0.065	0.055	0.049	0.064	0.088	0.091	0.076	0.083	0.089	0.112	0.121	0.100
23197400	0.159	0.135	0.119	0.157	0.216	0.223	0.185	0.203	0.216	0.273	0.295	0.243
23197250	0.072	0.061	0.054	0.071	0.098	0.101	0.084	0.092	0.098	0.124	0.134	0.110
23197290	0.071	0.060	0.053	0.070	0.096	0.100	0.083	0.090	0.097	0.122	0.132	0.109
23187600	0.050	0.042	0.037	0.049	0.067	0.070	0.058	0.063	0.068	0.085	0.092	0.076
23187280	0.045	0.038	0.034	0.044	0.058	0.058	0.048	0.054	0.055	0.073	0.080	0.065
23187130	0.037	0.032	0.028	0.037	0.049	0.049	0.040	0.045	0.046	0.061	0.067	0.054
23187200	0.041	0.035	0.031	0.041	0.054	0.054	0.045	0.050	0.051	0.068	0.074	0.060
23187400	0.035	0.030	0.026	0.035	0.046	0.046	0.038	0.042	0.044	0.057	0.063	0.051
23187140	0.093	0.079	0.070	0.092	0.122	0.121	0.101	0.113	0.116	0.153	0.167	0.136
23187220	0.199	0.173	0.175	0.227	0.284	0.315	0.259	0.248	0.265	0.296	0.329	0.273
23187250	0.093	0.081	0.082	0.106	0.132	0.146	0.120	0.115	0.123	0.138	0.153	0.127
23187290	0.080	0.074	0.069	0.084	0.100	0.098	0.085	0.093	0.096	0.114	0.121	0.103

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 58. Caudales ambientales para las subcuencas en condición hidrológica la niña, metodología 3

CODIGO	Caudales ambientales para condición hidrológica La Niña, metodología 3 (Caudales en m3/s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
23187300	0.788	0.575	0.692	0.902	1023	1270	0.801	0.807	1016	1093	1108	0.975
23197030	0.132	0.096	0.116	0.151	0.171	0.212	0.134	0.135	0.170	0.183	0.185	0.163
23197090	0.331	0.242	0.291	0.379	0.430	0.534	0.337	0.339	0.427	0.460	0.466	0.410
23197240	0.141	0.103	0.124	0.161	0.182	0.226	0.143	0.144	0.181	0.195	0.198	0.174
23197370	0.343	0.250	0.301	0.393	0.445	0.553	0.349	0.351	0.442	0.476	0.482	0.424
23197400	0.156	0.114	0.137	0.178	0.202	0.250	0.158	0.159	0.201	0.216	0.219	0.192
23197250	0.153	0.112	0.135	0.175	0.199	0.247	0.156	0.157	0.198	0.213	0.215	0.190
23197290	0.107	0.078	0.094	0.123	0.139	0.173	0.109	0.110	0.138	0.149	0.151	0.133
23187600	0.092	0.069	0.080	0.109	0.121	0.151	0.085	0.092	0.118	0.127	0.131	0.112
23187280	0.085	0.064	0.075	0.101	0.112	0.140	0.079	0.085	0.109	0.118	0.121	0.104
23187130	0.072	0.054	0.063	0.085	0.095	0.119	0.067	0.072	0.093	0.100	0.103	0.088
23187200	0.193	0.145	0.168	0.227	0.253	0.316	0.177	0.192	0.247	0.266	0.274	0.235
23187400	0.199	0.173	0.273	0.412	0.442	0.524	0.347	0.338	0.454	0.482	0.468	0.427
23187140	0.093	0.081	0.127	0.192	0.206	0.244	0.161	0.157	0.211	0.224	0.218	0.199
23187220	0.123	0.112	0.122	0.149	0.166	0.176	0.106	0.113	0.148	0.155	0.151	0.143
23187250	0.133	0.121	0.133	0.162	0.180	0.191	0.115	0.123	0.161	0.169	0.164	0.156
23187290	0.190	0.172	0.189	0.230	0.256	0.272	0.163	0.174	0.229	0.240	0.233	0.222

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 59. Valores de caudales ambientales año normal.

Datos generales				Caudal Ambiental m3/s (Año Normal)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0,224	0,728	1,614	2,887	2,915	1,533	0,963	1,752	2,545	4,302	2,938	0,601	23,000
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,002	0,007	0,066	0,126	0,131	0,093	0,074	0,098	0,104	0,184	0,144	0,027	1,056
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,001	0,003	0,023	0,044	0,046	0,033	0,026	0,034	0,036	0,064	0,050	0,010	0,368
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,005	0,019	0,176	0,339	0,352	0,250	0,197	0,262	0,281	0,494	0,385	0,073	2,833
		Cachiri	12,6%													
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,009	0,023	0,096	0,266	0,303	0,078	0,070	0,145	0,419	0,560	0,336	0,043	2,348
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,002	0,006	0,059	0,113	0,117	0,083	0,066	0,087	0,093	0,164	0,128	0,024	0,942
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,004	0,019	0,170	0,324	0,336	0,240	0,190	0,251	0,268	0,473	0,369	0,070	2,714

Tabla 60. Valores de caudales ambientales año seco y lluvioso.

Datos generales				Caudal Ambiental m3/s (Año Lluvioso)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RIO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	1,894	3,796	5,154	8,894	7,697	3,510	3,459	4,279	5,792	8,515	7,632	4,138	64,761
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,031	0,078	0,170	0,282	0,262	0,171	0,185	0,145	0,250	0,339	0,371	0,209	2,494
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,011	0,027	0,059	0,098	0,091	0,060	0,064	0,050	0,087	0,118	0,129	0,073	0,869
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,083	0,210	0,457	0,758	0,707	0,459	0,497	0,390	0,673	0,912	0,993	0,560	6,697
		Cachiri	12,6%													
RIO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,012	0,131	0,351	10,011	6,393	0,215	0,655	1,446	0,961	1,078	3,837	0,489	25,579
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,027	0,070	0,152	0,251	0,234	0,153	0,165	0,129	0,223	0,302	0,331	0,187	2,224
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,079	0,201	0,437	0,724	0,674	0,439	0,475	0,372	0,643	0,871	0,952	0,537	6,405
Datos generales				Caudal Ambiental m3/s (Año Seco)												
Microcuenca	Codigo Microcuenca	Estacion	%	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RIO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Col Cooperativo	24%	0,005	0,018	0,050	0,302	0,587	0,207	0,098	0,293	0,568	1,477	0,506	0,004	4,116
		Villa de Leiva	76%													
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Villa de Leiva	100%	0,001	0,000	0,001	0,008	0,063	0,017	0,004	0,037	0,010	0,072	0,037	0,000	0,249
CANO CUATRO	2319-03-03-00	Villa de Leiva	1,0%	0,000	0,000	0,000	0,003	0,022	0,006	0,001	0,013	0,003	0,025	0,013	0,000	0,087
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Villa de Leiva	87,4%	0,002	0,000	0,002	0,022	0,167	0,046	0,010	0,100	0,026	0,193	0,097	0,001	0,665
		Cachiri	12,6%													
RIO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Villa de Leiva	14,0%	0,000	0,000	0,001	0,003	0,016	0,005	0,001	0,010	0,005	0,021	0,011	0,000	0,073
		Esc.Agr.Cachiri	85,6%													
		Cachiri	0,4%													
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Villa de Leiva	100%	0,001	0,000	0,001	0,007	0,056	0,015	0,003	0,033	0,008	0,064	0,033	0,000	0,222
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Villa de Leiva	100%	0,002	0,000	0,002	0,021	0,161	0,044	0,009	0,096	0,024	0,185	0,094	0,001	0,639

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

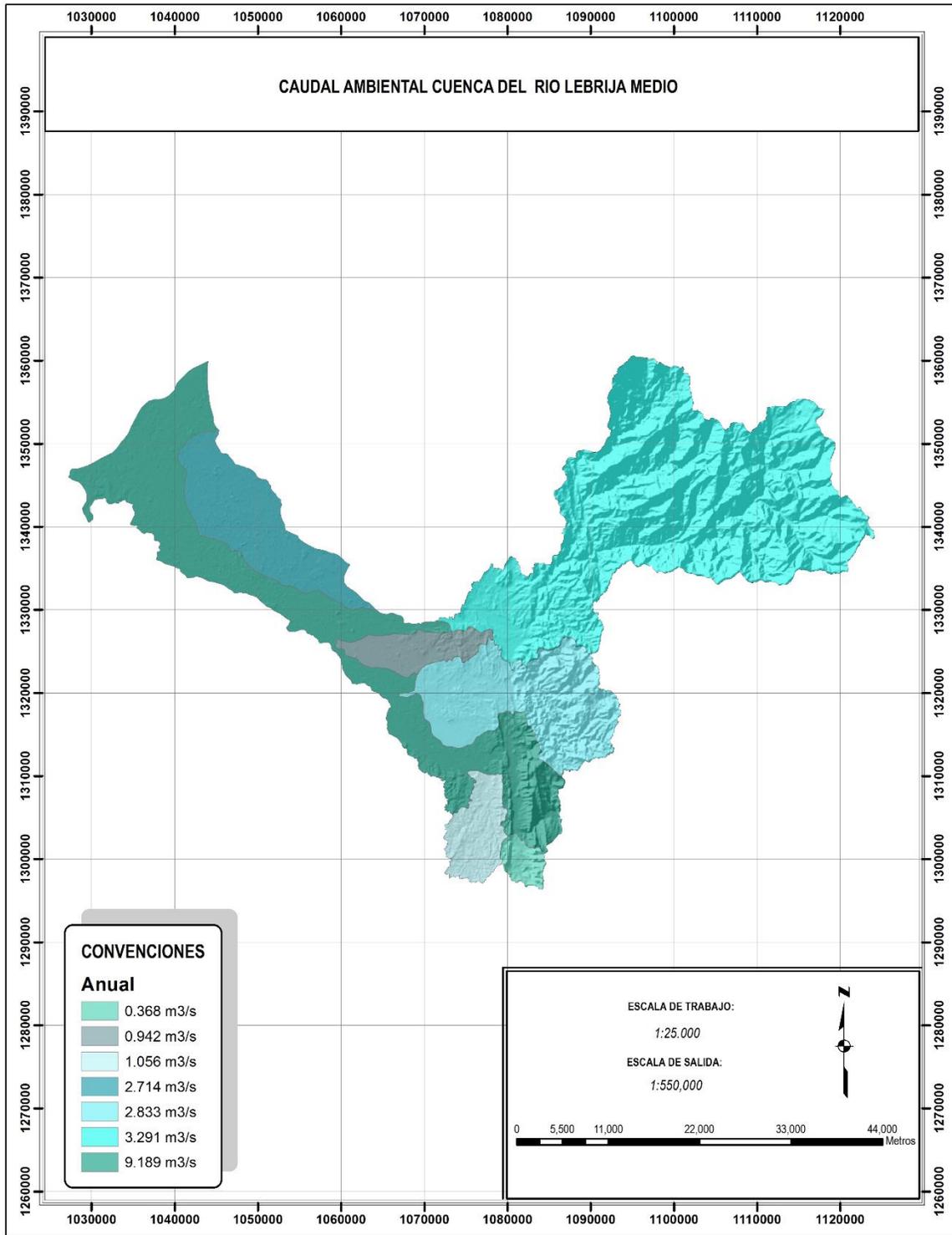


Figura 76. Caudal Ambiental Cuenca del Río Lebrija medio.
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.



SECCIÓN G

CAPITULO 7 INDICADORES

7.1. Demanda hídrica

La demanda hídrica superficial se estimó para las actividades socioeconómicas predominantes en las Cuencas que requieren del recurso hídrico para su desarrollo, los diferentes tipos de demanda contemplados en el análisis corresponde a los principales usos identificados tomando como referencia Censos de usuarios del recurso hídrico, mapa de cobertura de uso del suelo, Censo de Población del DANE y listado de concesiones suministrado por las Corporaciones

Para la valoración de las demandas con destino a suplir las necesidades de consumo humano, agropecuario, industrial y de generación hidroeléctrica se siguieron los lineamientos metodológicos que a continuación se describen para cada uno de los citados grupos.

7.1.1. Demanda Hídrica Concesionada

En primera instancia se tomó la información de concesiones de aguas superficiales otorgadas por las CARs. en cada área de jurisdicción. Para el presente, solo la CDMB suministro el listado de concesiones de agua. El análisis de la demanda comprendió la identificación de usos y usuarios a nivel de Cuenca.

7.1.2. Demandas de agua para consumo humano.

Analizada la información disponible, se estableció que para obtener estimativos confiables de la demanda actual, esta debería establecerse como el consumo de aguas efectivamente registrado por los acueductos de las cabeceras municipales, más la demanda humana de las zonas rurales, esta última estimada como un porcentaje del consumo de la cabecera de cada municipio.

Para establecer la demanda se efectuaron estimativos de la población futura, mediante el empleo de los métodos de extrapolación de crecimiento aritmético, geométrico y logarítmico, basados en los censos de 1973, 1985, 1993 y 2005 extrapolando primero la

población a 2020 para consolidar la demanda actual final de la estimación del consumo futuro. Se tomaron como definitivas las extrapolaciones efectuadas por el método geométrico.

La estimación del consumo actual y futuro se hizo teniendo en cuenta los consumos por persona, según las características de la población, el clima y el número de habitantes en cada municipio, discriminando por cabecera municipal y zonas rurales (resto del municipio).

A continuación, se presentan en forma resumida los métodos de extrapolación empleados en el estudio, ya que fue necesaria su aplicación tanto en la determinación del consumo actual como futuro.

7.1.2.1. Método de extrapolación aritmético.

Este método establece que:

$$P_f = P_i + K (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde

- P_f = Población proyectada
- P_i = Población del último censo
- K = Pendiente de la recta
- T_f = Año de proyección
- T_i = Año del último censo

$$K = \frac{P_i - P_a}{T_i - T_a} \quad \text{Ecuación 41}$$

Con:

- P_a = Población censada antes del último censo utilizado en la estimación futura
- T_a = Año en que se realizó el censo correspondiente a P_a

7.1.2.2. Método geométrico.

En este caso el método está definido como:

$$P_f = P_i (1+r)^n \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

- Pf = Población futura en el año de proyección
- Pi = Población conocida en un año de censo
- r = Tasa de crecimiento anual
- n = Período de años comprendidos entre la población conocida y el año de proyección futura.

7.1.2.3. Método de crecimiento logarítmico.

La aplicación de este método requiere del conocimiento de por lo menos tres censos.

El método establece que:

$$l_n(P_f) = l_n(P_i) + \bar{K}(T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 43}$$

$$\bar{K} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n} \quad \text{Ecuación 44}$$

$$K_n = \frac{l_n P_a - l_n P_b}{T_a - T_b} \quad n= 1,2,3 \dots (\text{mínimo } 3) \quad \text{Ecuación 45}$$

con

- Pa = Población censada en el año a
- Pb = Población censada en el año b
- Ta = Año de censo de Pa
- Tb = Año de censo de Pb

7.1.3. Consumo agropecuario.

Como se estableció en la metodología, la demanda actual “legal” destinada a suplir las necesidades agropecuarias del área de estudio, se estableció tomando como base la información del inventario de las concesiones de agua que para tal fin han sido legalizadas por la CMDDB.

Para los propósitos del estudio, el consumo actual registrado se presenta consolidado por municipios. En él, se incluyen en forma separada el consumo de riego, el consumo en abrevaderos y el total en l/s.

El consolidado de consumo para riego es de 3,66 m³/s y abrevaderos 0,21 m³/s , valores que referidos al consumo real son bajos. Esto por cuanto, como puede observar en el inventario de concesiones, el discriminar consumos de agua según su uso (consumo humano, riego y abrevaderos e industrial) no fue posible en forma estricta, pues algunas concesiones otorgadas por la CMDB no hacen el discriminado en cuanto al destino de la concesión, otorgando caudales para ser aprovechados con fines de riego y consumo industrial, consumo humano, riego y abrevaderos o para los tres fines.

No obstante lo anterior y con el propósito de establecer un estimativo de la magnitud de cada tipo de demanda, se obtuvieron consolidados discriminados, especificando si el valor estimado obtenido incluye o no algunos caudales de concesiones, para ser utilizados en otros usos.

7.1.3.1. Demanda de agua para usos agropecuarios.

La estimación de la demanda actual de agua con fines agropecuarios, se realizó con base en la información de concesiones extractada de los archivos de la CMDB.

Algunas de las razones que se tuvieron en cuenta para aplicar el método antes enunciado fueron: (i) La falta de información confiable referente a las áreas sembradas, su ubicación y si contaban o no con algún sistema de riego; (ii) La imposibilidad de establecer cuantitativamente las extracciones de agua que en forma no legalizada vienen haciendo los dueños de un número no determinado de predios, que se explotan en actividades agropecuarias.

Adicionalmente, los balances hídricos que tuvieron como base la información de áreas sembradas publicadas en las estadísticas agropecuarias y el estudio usos del suelo (cultivos permanentes, transitorios y pastos) dieron resultados de demandas de agua muy altos, que a todas luces no corresponden con la realidad.

Para establecer la demanda de agua futura con fines de consumo agropecuario, se consideraron dos conceptos básicos: El primero referido a los requerimientos de agua de los cultivos que se pueden desarrollar en los suelos, según la aptitud de las tierras, para lo

cual se tuvieron en cuenta las categorías agrológicas, las limitantes medio ambientales y edáficas de los suelos, y el uso recomendado.

El segundo, referido al consumo pecuario potencial en el área de estudio, el cual se estableció como las necesidades de agua para abrevaderos, considerándose para tal efecto una carga máxima promedio de 3 unidades gran ganado por hectáreas, con una dotación bruta de 60 l/s/cabeza.

Los requerimientos de riego (demanda hídrica) se refieren a la cantidad de agua que se debe aplicar a los cultivos, con el objeto de compensar el déficit de humedad durante su período vegetativo.

Los requerimientos de riego se determinaron por medio del balance hídrico, el cual involucra la evapotranspiración del cultivo, el agua que han aportado las precipitaciones, las aguas subterráneas, la acumulación de agua en el suelo debido a precipitaciones anteriores y los aportes de aguas superficiales y subterráneas (nivel freático). La expresión matemática que representa el balance hídrico antes enunciado es la siguiente:

$$DR = ETc (\text{cultivo}) - Pe + Ge + Wb \quad \text{Ecuación 46}$$

donde:

- DR = Necesidad de riego (demanda de agua)
- ET (cultivo) = Evapotranspiración del cultivo
- Pe = Precipitación efectiva
- Ge = Contribución de las aguas subterráneas (se consideraron iguales a "0")
- Wb = Almacenamiento de agua en el suelo al inicio de cada período

Todas las variables son expresadas en unidades de profundidad de agua (mm). A continuación, se describen los pasos seguidos para obtener la ET del cultivo.

Para determinar ET se empleó el método de Blaney - Criddle publicado en el documento "Las Necesidades de Agua de los Cultivos" publicación 24 FAO, la cual establece que este es uno de los métodos más ampliamente utilizados, para los propósitos de estimar las necesidades de agua en los cultivos.

El método emplea la temperatura (t^0) y el porcentaje de horas diurnas de sol (p), como variables climáticas para predecir los efectos del clima en la evapotranspiración de los cultivos.

La expresión matemática es $f=p (t^0+8,13)$ y recibe el nombre de factor de uso consuntivo, siendo “ p ” el porcentaje de horas diurnas anuales durante el período considerado, “ t^0 ” la temperatura medida en °C.

Para obtener la evapotranspiración del cultivo ET se estudió su relación con “ f ” utilizando la información correspondiente a los diferentes cultivos, suelos y climas. La expresión matemática es $ET(\text{cultivo}) = K_c f$ donde K_c es el coeficiente de cultivo que permite tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua. Los valores de K_c dan la relación de la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas.

Para escoger los valores apropiados de K_c , se tuvieron en cuenta las características del cultivo, el momento de la plantación y las fases de desarrollo, así como las condiciones climáticas generales, en especial la temperatura. Estos fueron obtenidos de investigaciones adelantadas por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) y de la publicación 24 de la (FAO).

7.1.3.1.1. Precipitación efectiva (Pe).

Para la determinación de la precipitación efectiva (pe) se empleó el método de USDA que relaciona la evapotranspiración del cultivo con la precipitación ocurrida y permite determinar la lluvia efectiva. Para los propósitos del balance, como precipitación efectiva se considera la porción de lluvia que es aprovechable por la planta, pues parte de la lluvia ocurrida puede perderse debido a su conversión en escorrentía superficial, precolación profunda o evaporación de la precipitación interceptada por las plantas.

7.1.3.1.2. Contribución de las aguas subterráneas (Ge).

Los aportes de las aguas subterráneas al agua aprovechable por las plantas quedan determinados por la profundidad de las aguas subterráneas, las propiedades capilares de

los cultivos, la conductividad del suelo y el contenido de humedad del suelo. Para la determinación de estos aportes se requiere de experimentos detallados que permitan su cuantificación.

Debido a que no se cuenta con la información antes enunciada se optó por considerarla nula, más si se tiene en cuenta que este aporte es de menos de 1 mm/día para suelos con profundidades inferiores a 1,0 m y textura más pesada que suelos francos.

7.1.3.1.3. Almacenamiento de agua en el suelo (Wb).

Es el agua almacenada en el suelo y puede oscilar entre la humedad de un suelo totalmente seco a uno en capacidad de campo, y varía según el tipo de suelo, su profundidad y la profundidad de raíces del cultivo; con lo cual para los efectos del estudio se asumió como máxima 100 mm.

7.1.4. Estimativos de demanda de agua para consumo industrial.

En la estimación de la demanda de agua con fines de consumo industrial se emplearon dos criterios, que permitieron cuantificar adecuadamente este consumo.

El primero, consistió en estimar la demanda con base en la información de concesiones registradas por la CMDDB y realizando una consolidación por Municipios y por Cuencas. El segundo criterio utilizado consistió en la aplicación de índices de porcentaje de participación del consumo industrial, con relación al consumo total de agua en poblaciones del país.

Este último criterio también fue aplicado en la estimación del consumo futuro, ya que, ante la carencia de información confiable sobre estimativo de crecimiento de la industria y sus consumos de agua, tiene la ventaja de que supone un consumo de agua acorde con las características de la población considerada.

7.1.4.1. Consumo industrial.

En este acápite se dan a conocer los criterios que se tuvieron en cuenta para establecer las necesidades de agua para consumo de tipo industrial en el área de estudio. El análisis aquí presentado incluye los estimativos del aprovechamiento actual.

Como punto de partida del análisis se consideró estimar la demanda actual con base en la información de concesiones de agua otorgadas por la CMDDB y que reposan en sus archivos. En forma similar al caso del consumo agropecuario se presentan por municipios los consolidados de demanda actual de agua con fines de uso industrial, obtenido con base en el inventario de concesiones.

Adicionalmente y con el propósito de contar con otro estimativo de la demanda actual de agua con fines de uso industrial, se realizaron análisis que basados en estudios que establecen la participación en porcentaje, del consumo industrial con relación al consumo total de agua en poblaciones colombianas, permitieron hacer este nuevo estimativo.

Es así como en el libro “Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado”, se establece la participación del consumo industrial con el 9,3%, el consumo doméstico con el 78.5% y los servicios públicos en el 12,2%.

El IDEAM en el libro Balance Hídrico y Relación de Oferta y Demanda de Agua en Colombia, determinó la demanda industrial urbana tomando como base los consumos reales del sector industrial, con base en la distribución del Producto Interno Bruto PIB. Para los propósitos de este estudio y como se estableció anteriormente, para contar con otro estimativo de la demanda actual de agua para uso industrial, se consideró determinar dicha demanda en las cabeceras municipales.

Se presentan las demandas actuales discriminadas por municipios

Este consumo es uno de los más difíciles de cuantificar, ya que requiere tener información sobre el consumo de cada una de las industrias. Si se tiene en cuenta que algunas industrias usan aguas subterráneas, volumen actualmente es difícil de cuantificar, el asunto se complica más. Si bien es cierto que las proyecciones de consumo futuro deben tener en cuenta los planes de expansión de la industria, esta información no fue posible de obtener en forma confiable, razón por la cual se consideró retomar el criterio de índice de participación del consumo industrial, con relación al consumo total urbano y considerarlo estable en el tiempo.

Con relación al consumo industrial de la zona rural, éste se consideró incluido en la demanda agropecuaria, pues las industrias allí ubicadas en su gran mayoría pertenecen al sector agropecuario.

7.1.5. Calculo general de la Demanda.

A continuación se presenta los cálculos de la demanda, la cual se basó en la información de las concesiones de aguas de la CDMB. Es importante anotar que no se recibió información de concesiones de las otras CARs.

Tabla 61. Cálculo demanda por uso

Datos generales		Demanda CDMB m3/año				
Subcuenca	Código Subcuenca	DUD	DUP	DUAP	DUA	DUI
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-00	968,521	882,347	5,188,619	10,248,435	6,595,066.92
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	1,320,160	0.00	0.00	425,736	0.00
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	57,393	30,610	35,624	180,270	0.00
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	43,396	24,891	24,087	173,312	65,970.16
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	4,425,998	3,759,012	0.00	2,096,986	231,789.60
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	347,684	5,785,752	0.00	0.00	0.00
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	11,050	455,017	603,021	115,540	0.00
TOTAL		7,174,205	10,937,630	5,851,353	13,240,280	6,892,826.67

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Tabla 62. Demanda Por Unidad Hidrológica De Análisis UHA.

Datos generales		Demanda CDMB m3/año		
Subcuenca	Código Subcuenca	DUD	OTROS USOS	DT
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-00	968,521.02	22,914,469.14	23,882,990.16
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	1,320,160.03	425,736.00	1,745,896.03
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	57,393.94	246,505.87	303,899.82
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	43,396.69	288,261.12	331,657.80
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	4,425,998.76	6,087,788.28	10,513,787.04
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	347,684.40	5,785,752.24	6,133,436.64
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	11,050.21	1,173,579.13	1,184,629.34
TOTAL		7,174,205.06	36,922,091.78	44,096,296.84

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La demanda total anual de las microcuencas Lebrija medio directos, Quebrada Doradas, Caño Cuatro, Cáchira del Espíritu Santo, Quebrada la Platanala y Quebrada la Musanda es

de 44,096,296.84 m³/año siendo la Microcuenca Lebrija medio directos la que tiene mayor demanda 23.882,990 m³/año, seguido de la microcuenca Cáchira del Espíritu Santo con un total de 10.513.787,05 m³/año, la microcuenca con menor demanda es Caño Cuatro cuya demanda es 303,899.82 m³/año.

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:

$$IA = (ETP - ETR) / ETP \quad \text{Ecuación 47}$$

Dónde:

la: índice de aridez (adimensional)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

ETR: evapotranspiración real (mm)

En la Tabla 63 se presentan las categorías y rangos establecidos en el Estudio Nacional del Agua, 2010 para el índice de aridez.

Tabla 63. Categorías del Índice de Aridez

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

FUENTE: IDEAM, 2013

La estimación del índice de aridez para las subcuencas abastecedoras se realizó a partir de los valores de ETP estimados por el método de Turc y de ETR anual estimados por el método de Turc descritos previamente, tal como se presentan en la Tabla 64.

Tabla 64. Valores de índice de Aridez por estación climatológica.

Estación	ETP [mm/mes]	ETR [mm/mes]	IA	CLASIFICACIÓN
VILLA LEIVA	1151.5	929.8	0.17	Excedentes de agua
COL COOPERATIVO	2152.3	1427.6	0.33	Moderado
ESC AGR CÁCHIRA	780.5	541.9	0.31	Moderado
CACHIRI	452.9	352.3	0.20	Entre moderados y excedentes de agua

Tabla 65. Valores de índice de Aridez para cada Subcuenca

Subcuenca	Estacion	Area km2	Porcentaje	IA	Descripcion
Caño Cuatro	Villa Leiva	24.65607	100%	0.17	Excedentes de agua
Q. Doradas	Villa Leiva	70.76642	100%	0.17	Excedentes de agua
Q. La Musanda	Villa Leiva	181.7729	100%	0.17	Excedentes de agua
Q. Platanala	Villa Leiva	63.12132	100%	0.17	Excedentes de agua
Q. La Tigra	Villa Leiva	215.2356	87.43%	0.18	Excedentes de agua
	Cachiri	30.95322	12.57%		
Río Cáchira del Espíritu Santo	Villa Leiva	118.2632	14.00%	0.29	Entre moderados y excedentes de agua
	Esc Agr Cáchira	722.1682	85.60%		
	Cachiri	3.020013	0.40%		
Río Lebrija Medio Directos	Col Cooperativo	118.092	23.70%	0.21	Entre moderados y excedentes de agua
	Villa Leiva	380.9656	76.30%		

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

Espacialmente en la Figura 77 se presenta la variación del índice de aridez en la cuenca de estudio.

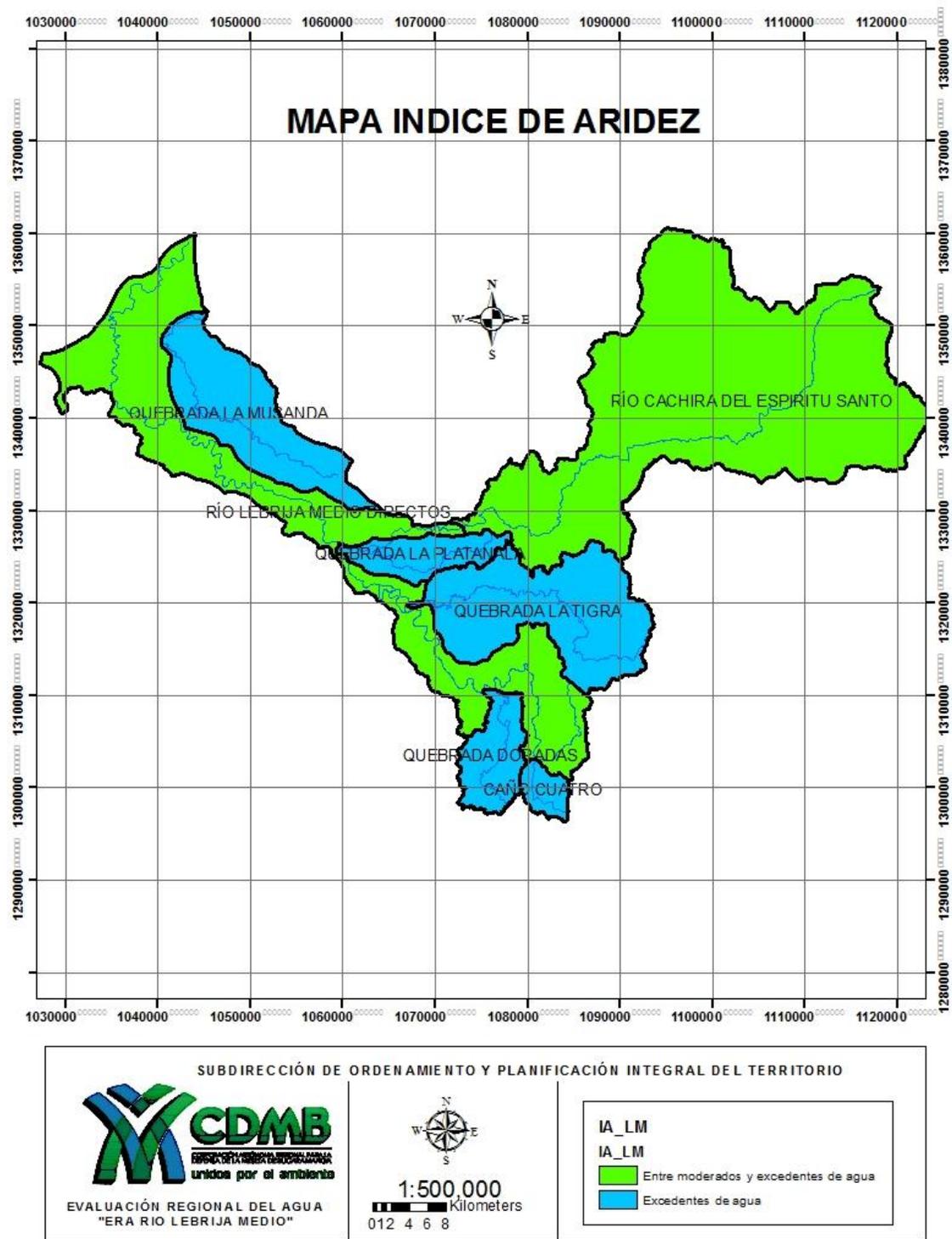


Figura 77. Índice de Aridez - IA Cuenca del Río Lebrija Medio.
Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

7.3. Índice de Retención y Regulación Hídrica - IRH

Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas (curvas de duración) de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación. (IDEAM, 2010a).

$$IRH = V_p/V_t \quad \text{Ecuación 48}$$

Dónde:

- IRH: Índice de retención y regulación hídrica
- V_p : Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios
- V_t : Volumen total representado por el área bajo la a curva de duración de caudales diarios.

Es un indicador dimensional que varía entre 0 y 1. Los valores se agrupan para tener una descripción cualitativa desde muy alta capacidad de retención y regulación de humedad hasta muy baja. En la tabla 66 se presentan los rango de valores y categorías que puede tomar el índice de retención y regulación hídrica – IRH.

Tabla 66. Categorías del índice de retención y regulación hídrica - IRH.

RANGO VALORES IRH	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
>0.85	Muy Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0.75 – 0.85	Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0.65 – 0.75	Medio	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0.50 – 0.65	Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0.50	Muy Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja

FUENTE: IDEAM, 2013

Para las Cuencas que hacen parte de la cuenca Lebrija Medio, se estimó el IRH a partir de la curva de duración de caudales mensuales de las estaciones localizadas más cerca de la salida de cada cuenca, o en su defecto estimando el valor a la salida o al cierre de cada cuenca mediante el ya citado método de transposición de caudales de cuencas homogéneas, estimando para las estaciones de referencia el volumen total bajo la curva de duración (V_t), el volumen bajo la línea que marca el caudal medio de la serie (V_p) y luego calculando el IRH con la relación entre los dos volúmenes (V_p/V_t).

La condición predominante para las cuencas abastecedoras con relación al índice de retención y regulación hídrica es de muy baja. De acuerdo a lo anterior, se esperaría condiciones de retención o regulación hídrica baja, ya que existen numerosas corrientes que al no estar reguladas y al realizar sus aportes al tributario principal aguas abajo no permiten establecer condiciones de mayor regulación en las cuencas objeto de estudio. En este mismo sentido, el IRH para las Cuencas indica condiciones de baja regulación. A continuación se presentan los resultados obtenidos del IRH para las Cuencas existentes en el área de estudio.

Tabla 67. Índice de Retención y Regulación Hídrica.

Subcuenca	Codigo Subcuenca	Vp	Vt	IRH	
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	15.19	15.983	0.95	Muy Alto
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	0.336	0.398	0.84	Alto
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	0.120	0.142	0.84	Alto
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	0.123	0.142	0.87	Muy Alto
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	1.664	1.927	0.86	Muy Alto
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	0.298	0.354	0.84	Alto
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	0.610	1.005	0.61	Bajo

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

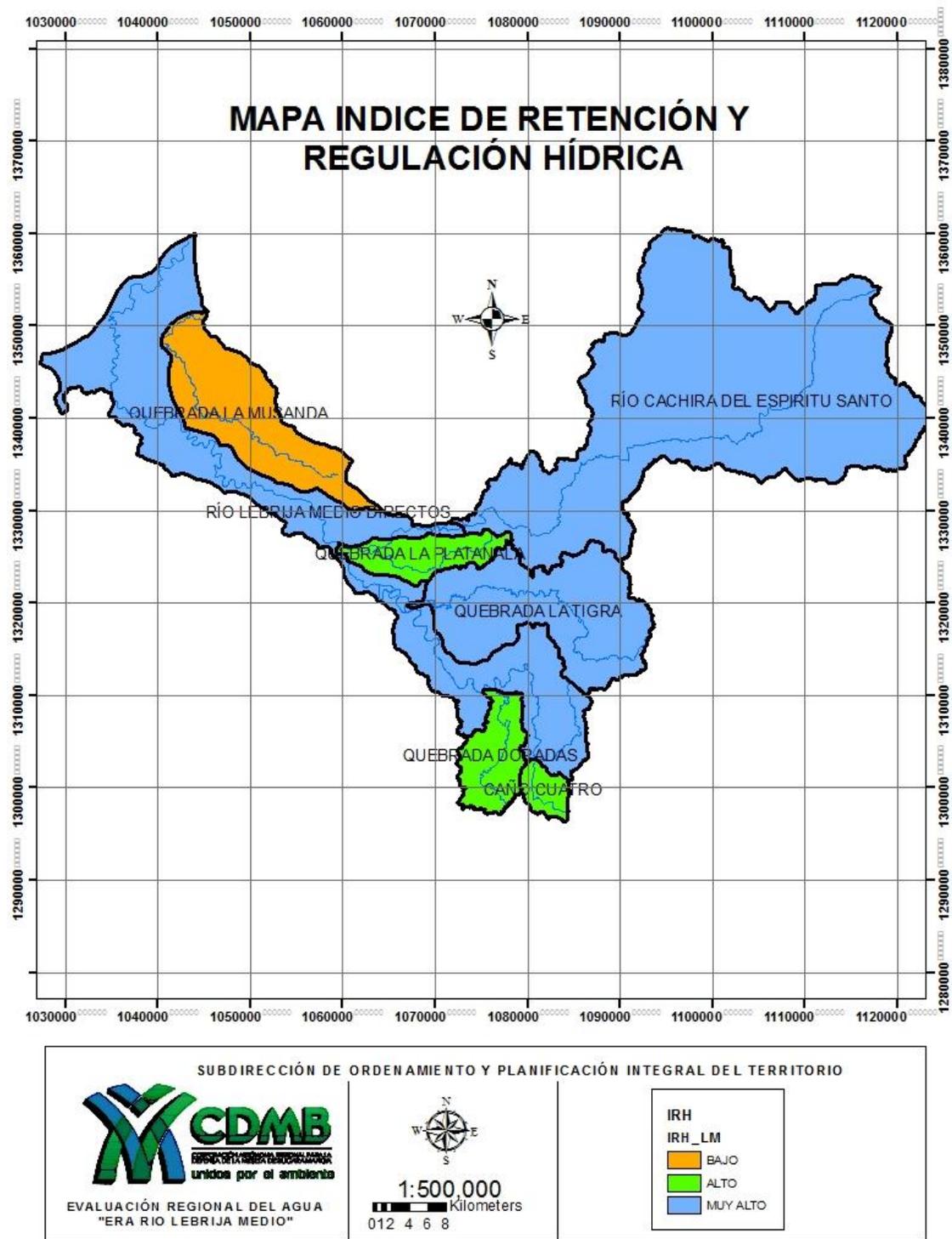


Figura 78. Índice de Retención y Regulación Hídrica.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

7.4. Índice de 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, estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$IUA = (Dh/OHRD) * 100 \quad \text{Ecuación 49}$$

Dónde:

- IUA: Índice de uso del agua
- Dh: (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado)
- OHRD: oferta hídrica superficial regional disponible.

Las categorías de condición de presión de la demanda sobre la oferta hídrica presentan los siguientes rangos y categorías.

Tabla 68. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua - IUA.

RANGO IUA	CATEGORÍA IUA	SIGNIFICADO
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

FUENTE: IDEAM, 2013

Para el presente análisis se calculó el índice de uso del agua a nivel de Cuenca a nivel anual a partir de las estimaciones de demanda hídrica y oferta hídrica disponible para condiciones promedio y para condiciones seca.

La estimación del índice de uso del agua – IUA a nivel anual se realizó para condiciones de oferta hídrica disponible promedio y demanda; los resultados obtenidos para condiciones promedio se presentan en la Tabla 69.

Tabla 69. Índice de uso del agua condiciones promedio.

Datos generales		oferta hídrica superficial disponible.m3/s	Demanda Hidrica m3/s	Indice de Uso de Agua	Significado
Subcuenca	Código Subcuenca	OH	Dh	IUA	IUA
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-01-01-01	69.001	0.757	1.10	Bajo
QUEBRADA DORADAS	2319-01-01-02	3.169	0.055	1.75	Bajo
CAÑO CUATRO	2319-01-01-03	1.104	0.010	0.87	Muy Bajo
QUEBRADA LA TIGRA	2319-01-01-04	8.499	0.011	0.12	Muy Bajo
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-01-01-05	7.045	0.333	4.73	Bajo
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-01-02-01	2.827	0.194	6.88	Bajo
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-01-02-02	8.141	0.038	0.46	Muy Bajo

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

De acuerdo a los resultados de la Tabla 68, se observa que para las cuencas abastecedoras en condiciones de oferta hídrica disponible promedio predominan los IUA con condiciones de moderado, así condiciones de IUA alto se presentan en las cuencas Lebrija medios directos, en la cual se evidencia una fuerte presión antrópica del recurso hídrico derivado de las actividades socioeconómicas que en ellas se desarrollan.

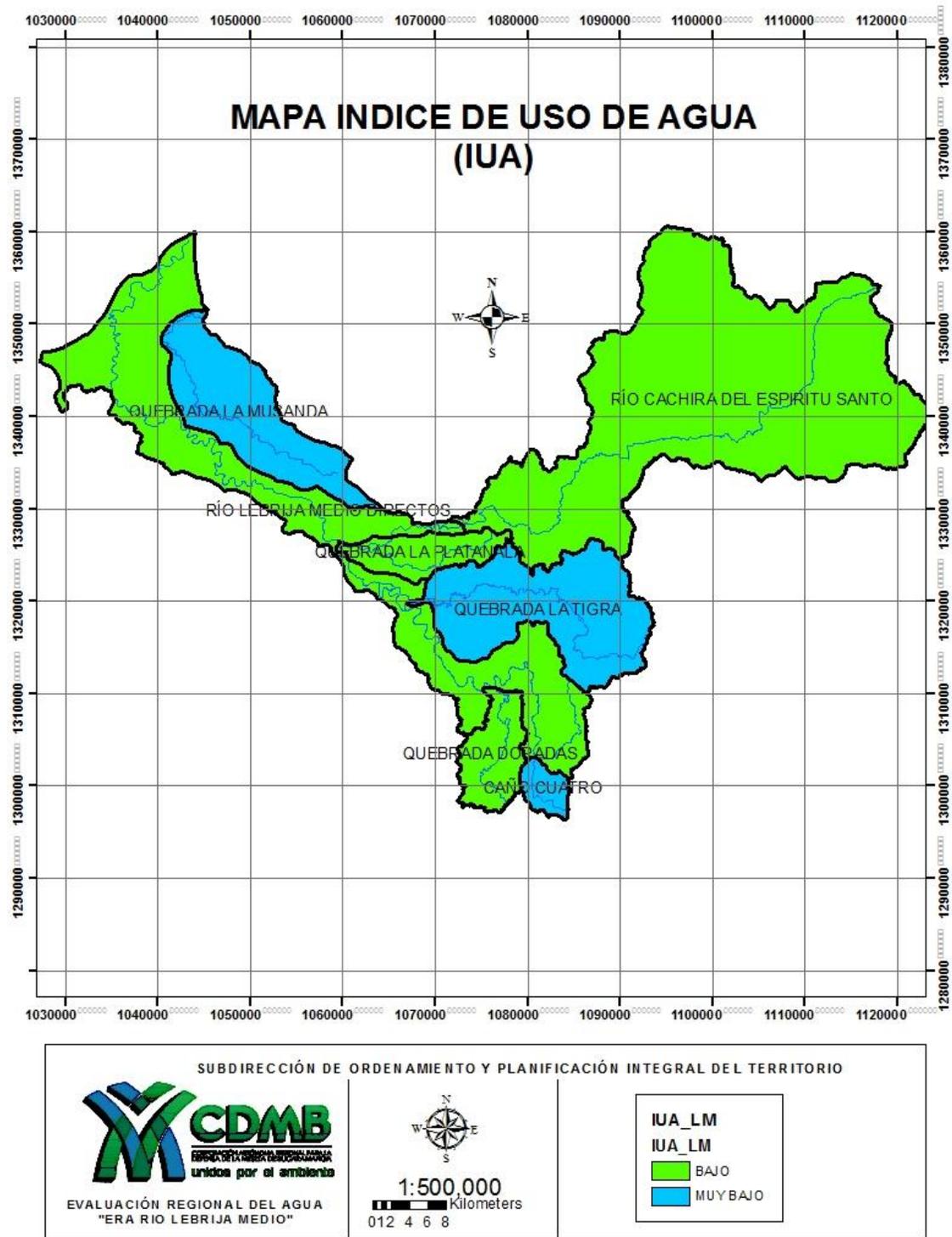


Figura 79. Índice de Uso del Agua condiciones promedio.
 Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

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

Este indicador mide 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)– podría generar riesgos de desabastecimiento. (IDEAM, 2010a). El IVH 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). Las categorías de este índice se presentan en la Tabla 70.

Tabla 70. Rangos de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hidrico.

Vulnerabilidad del recurso hídrico relación IRH – IUA					
IUA Extremo = porcentaje (Oferta/demanda)		Índice de regulación			
Rango	Categoría	Alta	Moderado	Baja	Muy baja
<1	Muy bajo	Muy baja	Baja	Media	Media
1 - 10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10 - 20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20 -50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
50 - 100	Muy alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
> 100	Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

FUENTE: IDEAM

Tabla 71. Índice Vulnerabilidad Por Desabastecimiento Hídrico (IVH)

Datos generales		Índice de Uso de Agua	Índice de Regulación Hídrica	Significado
Subcuenca	Código Subcuenca	IUA	IRH	IVH
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	Bajo	Muy Alto	Baja
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	Bajo	Alto	Baja
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	Muy Bajo	Alto	Muy Baja
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	Muy Bajo	Muy Alto	Muy Baja
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	Bajo	Muy Alto	Baja
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	Bajo	Muy Alto	Baja
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	Muy Bajo	Bajo	Medio

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

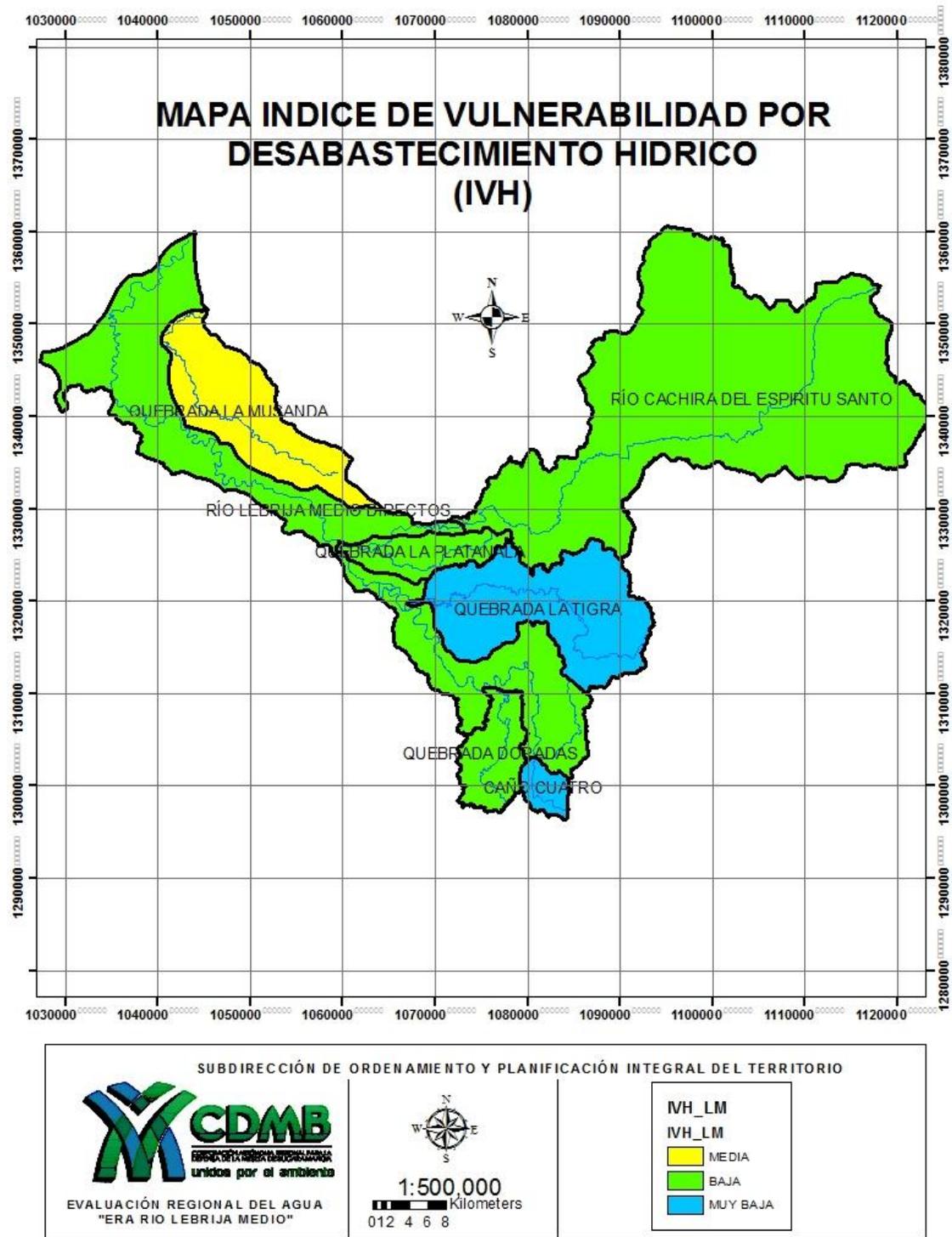


Figura 80. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico.

Fuente: UT POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

7.6. Índice de susceptibilidad 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 dicha cuenca (IDEAM, 2013), este 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.

Por lo tanto, la morfometría de la cuenca está definida por el índice Morfométrico de Torrencialidad, que relaciona los parámetros 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 de dicho índice es necesario calcular el coeficiente de compacidad, 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 72.

Tabla 72. Relaciones para categorizar el Índice Morfométrico para cada cuenca de segundo nivel

INDICE MORFOMÉTRICO	ESCALA	ÁREA (KM2)	CATEGORIAS				
			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		

Fuente. Rivas y Soto (2009)

Teniendo esta clasificación, se obtiene el coeficiente de forma el cual relaciona la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca (%) y el coeficiente de compacidad, para categorizar el índice morfométrico de torrencialidad en Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja. Ver Tabla 73.

Tabla 73. Categorías Índices Morfométrico de Torrencialidad

		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	

Fuente. IDEAM, 2013

En el área de estudio el índice correspondiente a toda la cuenca es de categoría media, esto debido a las condiciones naturales de la cuenca tal y como se muestra en la Figura 81.

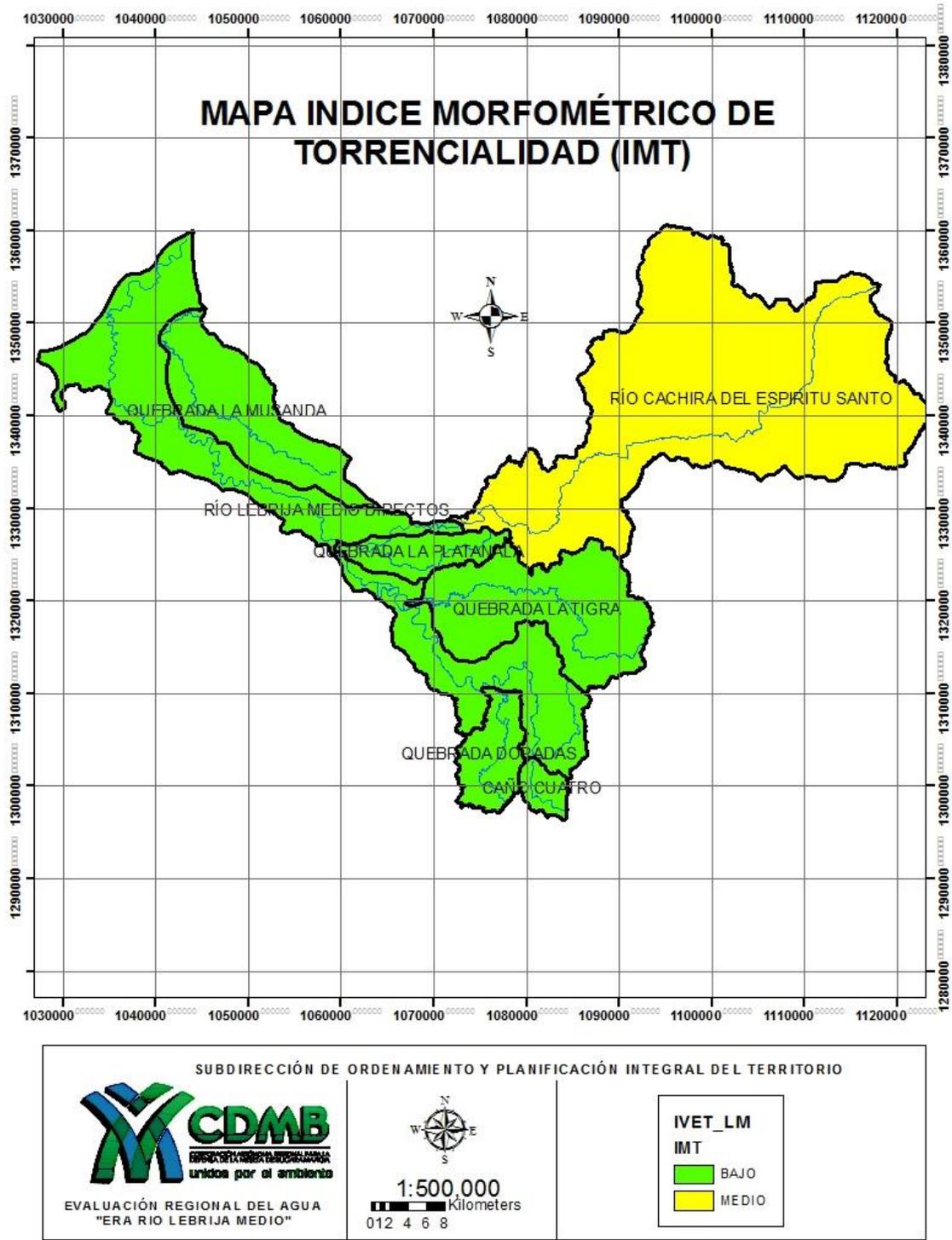


Figura 81. Índice morfométrico para la cuenca hidrográfica Lebrija medio
Fuente: U.T. POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio, 2015

7.6.2. Índice de Variabilidad de Caudales (IVQ)

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 que se presentan, y los valores máximos (IDEAM, 2013). El índice de variabilidad se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$IVQ = \sqrt{\frac{\sum(\text{Log } Q_i - \text{Log } Q_{Prom})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde

Q_i = caudales tomados

Q_{Prom} = Caudal promedio

n = número de datos tratados

Este índice se categoriza a partir de la matriz de calificación propuesta por el IDEAM y se espacializa en la Figura 82.

Tabla 74. Categorización del Índice de Variabilidad de Caudales

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	IVQ
< 10	Muy Baja
10 – 37	Baja
37 – 47	Media
47 – 55	Alta
> 55	Muy Alta

Fuente. IDEAM, 2013

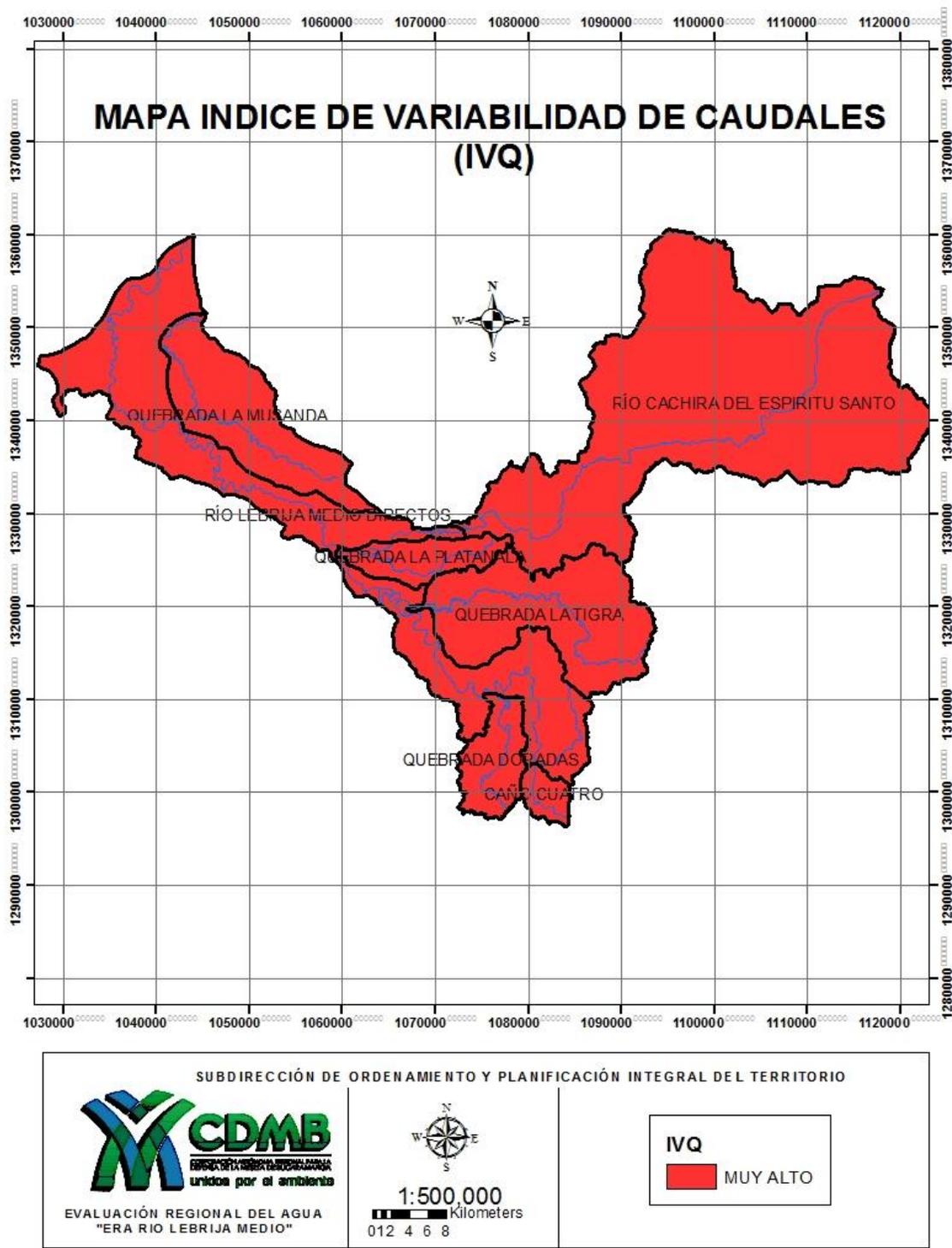


Figura 82.. Índice de Variabilidad de Caudales
Fuente: U.T. POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio, 2015

7.6.3. Índice de Vulnerabilidad a 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 dicha cuenca (IDEAM, 2013), este 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.

Tabla 75. Categorías. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales IVET

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

Fuente. IDEAM, 2013

Este índice fue desarrollado a una escala 1:25.000 y teniendo en cuenta los parámetros anteriormente explicados para así aplicar la matriz de evaluación establecida por el IDEAM. Se definieron 5 rangos que van desde muy bajo a muy alto, el índice que prevalece en la cuenca es el alto, se distribuye por toda la cuenca puesto que se encuentra variabilidad de drenajes y parámetros morfométricas que condicionan los aspectos para susceptibilidad por avenidas torrenciales. Ver Figura 83.

Esta relación permite una definición clara del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales, los cuales se clasifican a partir del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, donde se establece que toda la cuenca se encuentra con categoría alta, lo cual representa el IVET para el área de la cuenca hidrográfica Lebrija Medio.

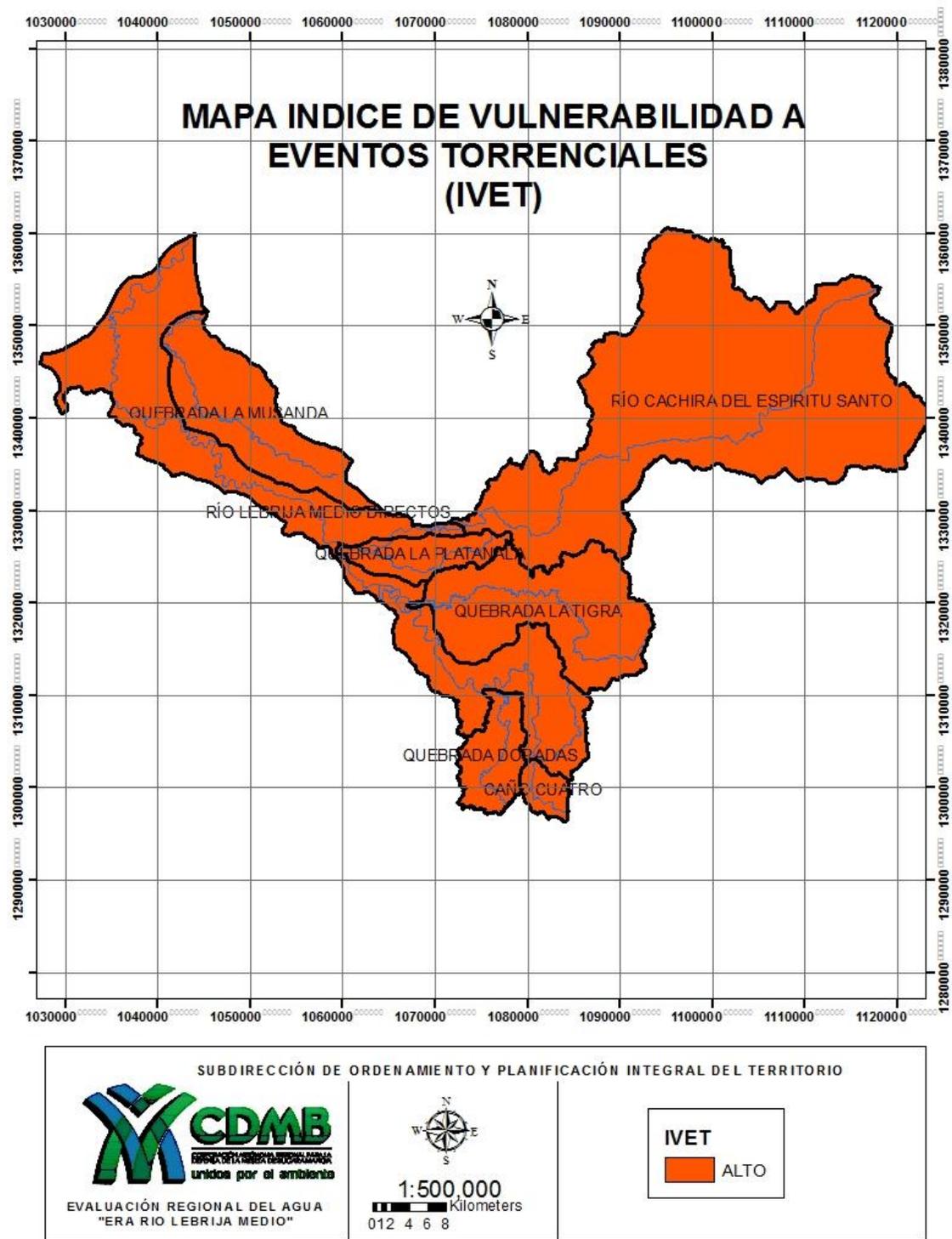


Figura 83. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)

Fuente: U.T. POMCA Río Cáchira Sur y Lebrija Medio, 2015

7.7. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)

El índice de alteración potencial de la calidad del agua es un reflejo de la vulnerabilidad a la contaminación a que puede estar sometida una subzona hidrográfica.

Numéricamente corresponde al promedio de las categorías de clasificación asignadas a los cocientes que surgen de dividir las cargas estimadas de cada una de las cinco variables fisicoquímicas básicas seleccionadas por la oferta hídrica superficial. La carga de contaminante se estima espacialmente para las subzonas hidrográficas definidas en el país para un período de un año. El recurso hídrico es vulnerable en cuanto a la afectación de su calidad, la cual se ve altamente influenciada por la variabilidad climática, dicha 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, y de los vertimientos que dicha 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), que 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 por cuenta de las diferentes autoridades. Los valores del indicador pueden ser especializados en mapas, asociándolos al polígono que identifica la ubicación de las subzonas hidrográficas.

Las fórmulas de cálculo del indicador son las siguientes (una para año medio y una para año seco):

Para año medio:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n Catiacal_{ijt-añomed}}{n} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

IACAL_{jt-año}med : Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t, evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio.

CATIACAL_{ijt-año}med: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

Para año seco:

$$IACAL_{jt-año}sec = \frac{\sum_{i=1}^n Catiacal_{ijt-año}sec}{n} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

IACAL_{jt-año}sec: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t, evaluado para una oferta hídrica propia de un año seco.

CATIACAL_{ijt-año}sec: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año seco.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5

Los valores obtenidos en cada una de las 5 estimaciones, tanto para año medio como para año seco, se comparan con los rangos establecidos en tablas de referencia construidas para cada uno de los variables. Producto de la comparación, cada valor estimado queda

clasificado en una categoría de 1 a 5, que representa un nivel de presión (de menor a mayor, respectivamente).

El valor del indicador surge de promediar el valor de las categorías de clasificación obtenidas para cada una de las variables. En la Tabla 76 se registran los rangos de los valores alternativos que puede tomar el IACAL, la categoría de clasificación que se le asigna a cada uno de ellos, la calificación del nivel de presión al que corresponde y el color que la representa de acuerdo a los criterios establecidos por el IDEAM

Tabla 76. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL

RANGOS IACAL	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$1,0 \leq \text{IACAL} \leq 1,5$	1	Baja
$1,5 < \text{IACAL} \leq 2,5$	2	Moderada
$2,5 < \text{IACAL} \leq 3,5$	3	Media Alta
$3,5 < \text{IACAL} \leq 4,5$	4	Alta
$4,5 < \text{IACAL} \leq 5$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM

Recordando que el IACAL es la suma de los CATIACALES de los siguientes parámetros:

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Nitrógeno Total (NT)

Fosforo Total (PT)

Para el cálculo se tienen en cuenta los caudales de oferta hídrica en época seca y normal los cuales se muestran a continuación:

Tabla 77. Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Seca

Datos generales		Oferta Hídrica Total m3/s (Año Seco)												
Subcuenca	Código Subcuenca	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	0.021	0.073	0.200	1.210	2.347	0.829	0.390	1.173	2.273	5.909	2.022	0.015	16.462
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	0.003	0.000	0.003	0.032	0.251	0.069	0.014	0.150	0.038	0.288	0.146	0.002	0.996
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	0.001	0.000	0.001	0.011	0.088	0.024	0.005	0.052	0.013	0.100	0.051	0.001	0.347
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	0.007	0.000	0.008	0.086	0.669	0.183	0.038	0.399	0.104	0.773	0.388	0.004	2.660
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	0.001	0.000	0.002	0.014	0.064	0.018	0.006	0.040	0.019	0.083	0.043	0.001	0.290
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	0.002	0.000	0.003	0.029	0.224	0.061	0.013	0.134	0.034	0.257	0.130	0.001	0.888
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	0.007	0.000	0.007	0.083	0.645	0.177	0.037	0.385	0.098	0.739	0.375	0.004	2.557

Fuente: componente de hidrología

Tabla 78. Oferta Hídrica Total en Condición Hidrológica normal

Datos generales		Oferta Hídrica Total m3/s (Año Normal)												
Subcuenca	Código Subcuenca	Qener	Qfeb	Qmar	Qabr	Qmay	Qjun	Qjul	Qago	Qsep	Qoct	Qnon	Qdic	Total
RÍO LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2319-03-01-02	0.897	2.913	6.457	11.546	11.661	6.131	3.850	7.007	10.179	17.206	11.751	2.402	92.001
QUEBRADA DORADAS	2319-03-02-00	0.007	0.029	0.264	0.505	0.523	0.374	0.295	0.391	0.418	0.736	0.575	0.110	4.226
CAÑO CUATRO	2319-03-03-00	0.002	0.010	0.092	0.176	0.182	0.130	0.103	0.136	0.146	0.257	0.200	0.038	1.472
QUEBRADA LA TIGRA	2319-03-04-00	0.018	0.077	0.706	1.355	1.407	0.998	0.787	1.047	1.125	1.977	1.541	0.293	11.332
RÍO CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2319-03-05-00	0.037	0.091	0.383	1.065	1.212	0.311	0.279	0.581	1.677	2.240	1.346	0.173	9.394
QUEBRADA LA PLATANALA	2319-03-06-00	0.006	0.026	0.236	0.450	0.467	0.333	0.263	0.349	0.373	0.657	0.513	0.098	3.769
QUEBRADA LA MUSANDA	2319-03-07-00	0.017	0.074	0.678	1.296	1.344	0.959	0.758	1.004	1.073	1.891	1.476	0.282	10.854

Fuente: componente de hidrología

Para el cálculo del CATIACAL se tomará la concentración del parámetro y se dividirá en el caudal

Tabla 79. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL DBO

RANGOS IACAL DBO	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$IACALDBO < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq IACALDBO < 0,40$	2	Moderada
$0,40 \leq IACALDBO < 1,21$	3	Media Alta
$1,21 \leq IACALDBO < 4,86$	4	Alta
$IACALDBO \geq 4,86$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM

Tabla 80. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL DQO-DBO

RANGOS IACAL DQO	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$IACALDQO < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq IACALDQO < 0,36$	2	Moderada
$0,36 \leq IACALDQO < 1,17$	3	Media Alta
$1,17 \leq IACALDQO < 6,78$	4	Alta
$IACALDQO \geq 6,78$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM

Tabla 81. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL SST

RANGOS IACAL SST	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$IACALSST < 0,4$	1	Baja
$0,4 \leq IACALSST < 0,8$	2	Moderada
$0,8 \leq IACALSST < 1,9$	3	Media Alta
$1,9 \leq IACALSST < 7,7$	4	Alta
$IACALSST \geq 7,7$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM

Tabla 82. Rangos de valores que puede tomar el IACAL NT

RANGOS IACAL NT	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$IACALNT < 0,03$	1	Baja
$0,03 \leq IACALNT < 0,06$	2	Moderada
$0,06 \leq IACALNT < 1,14$	3	Media Alta
$1,14 \leq IACALNT < 1,56$	4	Alta
$IACALNT \geq 1,56$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM

Tabla 83. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL PT

RANGOS IACAL PT	CATEGORÍA CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE LA PRESIÓN
$IACALPT < 0,005$	1	Baja
$0,005 \leq IACALPT < 0,014$	2	Moderada
$0,014 \leq IACALPT < 0,036$	3	Media Alta
$0,036 \leq IACALPT < 0,135$	4	Alta
$IACALPT \geq 0,135$	5	Muy alta

(Fuente: ideam .)

7.7.1. Calculo IACAL para Año Hidrológico Medio.

Para la determinación del IACAL se realizaron los siguientes cálculos, los cuales se resumen en las tablas siguientes:

Tabla 84. Cálculo del IACALDBO

SUBCUENCA	IACAL DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.43	3	MEDIA-ALTA
Quebrada Doradas	10.12	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	1.96	4	ALTA
Quebrada La Tigra	1.34	4	ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	0.08	1	BAJA
Quebrada La Platanala	4.85	4	ALTA
Quebrada La Musanda	0.40	3	MEDIA-ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 85. Cálculo del IACAL DQO-DBO

SUBCUENCA	IACAL DQO-DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.43	3	MEDIA-ALTA
Quebrada Doradas	10.12	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	2.00	4	ALTA
Quebrada La Tigra	1.40	4	ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	0.08	1	BAJA
Quebrada La Platanala	4.87	4	ALTA
Quebrada La Musanda	0.51	3	MEDIA-ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 86. Cálculo del IACAL SST

SUBCUENCA	SST (TON/HM3)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	2.28	4	ALTA
Quebrada Doradas	18.22	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	3.27	4	ALTA
Quebrada La Tigra	2.21	4	ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	0.14	1	BAJA
Quebrada La Platanala	8.66	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	0.37	1	BAJA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 87. Cálculo del IACAL NT

SUBCUENCA	N TON/HM3)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.15	3	MEDIA ALTA
Quebrada Doradas	1.04	3	MEDIA ALTA
Caño Cuatro	0.23	3	MEDIA ALTA
Quebrada La Tigra	0.31	3	MEDIA ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	0.48	3	MEDIA ALTA
Quebrada La Platanala	0.65	3	MEDIA ALTA
Quebrada La Musanda	0.43	3	MEDIA ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 88. Cálculo IACAL PT

SUBCUENCA	P ton/hm3)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.01	2	MODERADA
Quebrada Doradas	0.17	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	0.04	4	ALTA
Quebrada La Tigra	0.04	4	ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	0.06	4	ALTA
Quebrada La Platanala	0.10	4	ALTA
Quebrada La Musanda	0.05	4	ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 89. Cálculo del IACAL Para la época media

SUBCUENCA	PONDERACIÓN TOTAL	CLASIFICACIÓN
Río Lebrija Medio Directos	3.2	MEDIA ALTA
Quebrada Doradas	4.6	MUY ALTA
Caño Cuatro	3.8	ALTA
Quebrada La Tigra	3.8	ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	2	MODERADA
Quebrada La Platanala	4	ALTA
Quebrada La Musanda	2.8	MEDIA ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

En la Figura 84 se observa el IACAL para el periodo medio normal

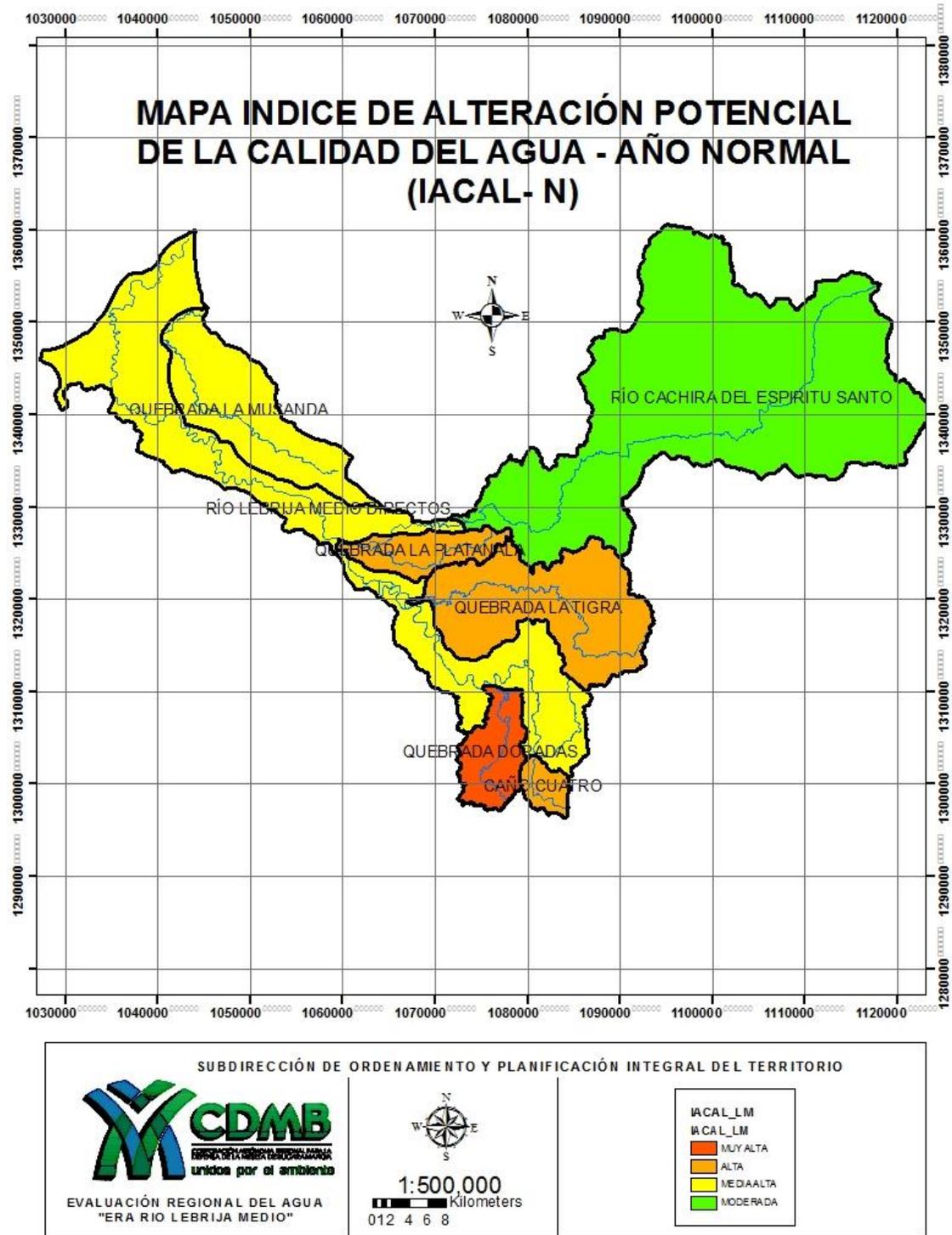


Figura 84. IACAL de la cuenca Lebrija medio- período medio normal (Fuente: UT POMCAS Ríos Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

7.7.2. Cálculo IACAL para Año Hidrológico Seco.

Así mismo se calculó el IACAL para período seco arrojando como resultados lo siguiente:

Tabla 90. Cálculo del IACAL DBO

SUBCUENCA	IACAL DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	2.43	4	ALTA
Quebrada Doradas	42.97	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	8.30	5	MUY ALTA
Quebrada La Tigra	5.71	5	MUY ALTA
Río Cáchira del Espíritu Santo	2.51	4	ALTA
Quebrada La Platanala	20.58	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	1.71	4	ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 91. Cálculo del IACAL DQO-DBO

SUBCUENCA	IACAL DQO-DBO		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	2.40	4	ALTA
Quebrada Doradas	42.95	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	8.48	5	MUY ALTA
Quebrada La Tigra	5.97	4	ALTA
Río Cáchira del Espíritu Santo	2.48	4	ALTA
Quebrada La Platanala	20.65	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	2.16	4	ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 92. Cálculo del IACAL SST

SUBCUENCA	SST (TON/HM3)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	12.77	5	MUY ALTA
Quebrada Doradas	77.34	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	13.87	5	MUY ALTA
Quebrada La Tigra	9.40	5	MUY ALTA
Río Cáchira del Espíritu Santo	4.38	4	ALTA
Quebrada La Platanala	36.77	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	1.57	3	MEDIA-ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 93. Cálculo del IACAL Nt

SUBCUENCA	N TON/HM3)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.85	3	MEDIA ALTA
Quebrada Doradas	4.41	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	0.98	3	MEDIA ALTA
Quebrada La Tigra	1.30	4	ALTA
Río Cáchira del Espíritu Santo	15.44	5	MUY ALTA
Quebrada La Platanala	2.77	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	1.83	5	MUY ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 94. Cálculo IACAL PT

SUBCUENCA	P ton/hm ³)		
	IACAL	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN DE PRESIÓN
Río Lebrija Medio Directos	0.06	4	ALTA
Quebrada Doradas	0.70	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	0.17	5	MUY ALTA
Quebrada La Tigra	0.19	5	MUY ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	1.86	5	MUY ALTA
Quebrada La Platanala	0.42	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	0.21	5	MUY ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

Tabla 95. Cálculo del IACAL Para la época seca

SUBCUENCA	PONDERACIÓN TOTAL	CLASIFICACIÓN
Río Lebrija Medio Directos	4	ALTA
Quebrada Doradas	5	MUY ALTA
Caño Cuatro	4.6	MUY ALTA
Quebrada La Tigra	4.6	MUY ALTA
Río Cáchira Del Espíritu Santo	4.4	ALTA
Quebrada La Platanala	5	MUY ALTA
Quebrada La Musanda	4.2	ALTA

(Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

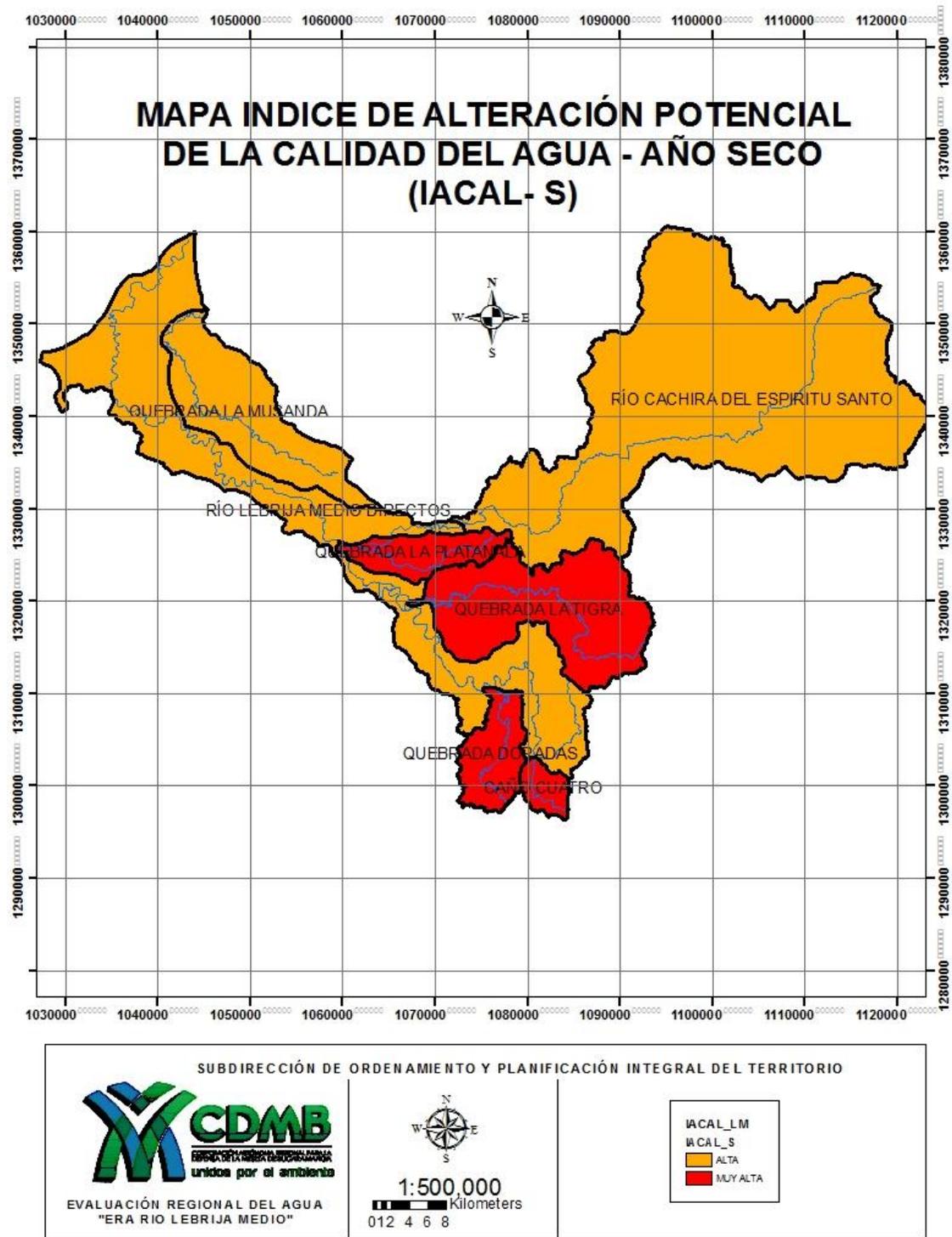


Figura 85. IACAL de la cuenca Lebrija medio- período seco
(Fuente: UT POMCAS Ríos Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.)

7.8. Índice de calidad del agua (ICA)

7.8.1. Generalidades

Existen distintas interpretaciones para las condiciones de calidad. Desde un punto de vista funcional, se pueden entender como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella; o desde un punto de vista ambiental, como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla unos determinados objetivos de calidad.

La acción antrópica, genera impactos tanto en términos de cantidad del agua como en las condiciones de calidad y en su variación espacio-temporal. La intensidad y extensión de esos cambios está determinado por las características propias de estas dinámicas en el marco de los procesos del ciclo hidrológico. El crecimiento de la población y el desarrollo económico están asociados al incremento de la producción de residuos, los cuales se constituyen en fuentes potenciales de contaminación del aire, del agua y el suelo. Las condiciones de calidad, se relacionan con las características físico-químicas, biológicas, ecológicas, hidráulicas y de cantidad de los cuerpos de agua, las cuales a su vez se vinculan con la aptitud para diferentes usos, con el establecimiento de objetivos de calidad del recurso y con el índice de calidad del agua (ICA).

7.8.2. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

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 de siete (7) 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. En la Tabla 96 se muestran las siete (7) variables contenidas en el indicador, incluyendo el parámetro microbiológico, y en la Tabla 97 se muestran los descriptores de las variables simplificadas en el ICA.

Tabla 96. Variables Involucradas en el cálculo del ICA

VARIABLE	EXPRESADO COMO	PESO DE IMPORTANCIA
Oxígeno Disuelto (OD)	% Saturación	0.15
Sólidos en Suspensión	mg/L	0.14
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	0.14
Conductividad Eléctrica	μS/cm	0.14
Relación N total/P total	(mg/L) (mg/L)	0.14
pH	Unidades de pH	0.14
Coliformes Fecales	NMP/100ml	0.15

Fuente IDEAM

Tabla 97. Descriptores de la Calidad del ICA

CATEGORÍAS DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL INDICADOR	CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	SEÑAL DE ALERTA
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente IDEAM

El ICA toma valores entre 0 y 1, 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. (IDEAM, 2010)

7.8.3. Metodología de cálculo ICA

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de 7 variables que determinan, en gran parte, la calidad del agua en corrientes superficiales.

La fórmula del cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \quad \text{Ecuación 53}$$

ICAnjt = Es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en variables.

likjt = Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

Wi = Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

n = Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el período de tiempo t y además, el ICA promedio de ese período.

Para cada una de las variables se construye una “relación funcional” o “curva funcional” (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada grafico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante.

Las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por Ramírez y Viña para Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Conductividad Eléctrica (CE), la propuesta por la Universidad Politécnica de Catalunya (2006) para Demanda Química de Oxígeno (DQO), la propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (Estados Unidos) para pH y la propuesta por Rueda (2008) para la relación Nitrógeno/Fósforo (N/P).

Para el cálculo del valor de cada variable, el procedimiento general consiste en ingresar el valor que, en una determinada medición haya registrado la variable de calidad i, en la curva funcional correspondiente y estimar el valor likjt.

Cada curva indica en la ordenada la calidad del agua en una escala de 0 a 1; en la abscisa se definen varios niveles de la variable en particular. Cuando se toman como referencia las curvas desarrolladas por Ramírez y Viña respecto al concepto de contaminación, para traducirlo a términos de calidad el subíndice se toma como la diferencia entre uno (1) y el índice de contaminación respectivo de la magnitud de la variable.

7.8.3.1. Oxígeno Disuelto (OD)

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas. Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PSOD:

$$PSOD = \frac{O_x * 100}{C_p} \quad \text{Ecuación 54}$$

Dónde:

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

Cp: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

$$IOD = 1 - (1 - 0.01 * PSOD) \quad \text{Ecuación 55}$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:

$$IOD = 1 - (0.01 * PSOD - 1) \quad \text{Ecuación 56}$$

7.8.3.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$ISST = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST) \quad \text{Ecuación 57}$$

Si $SST \leq 4.5$, entonces $ISST = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $ISTT = 0$

7.8.3.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas en condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Mediante adaptación de la propuesta por la Universidad Politécnica de Catalunya, se calcula con la fórmula:

Si $DQO \leq 20$, entonces $IDQO = 0.91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $IDQO = 0.71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $IDQO = 0.51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $IDQO = 0.26$

Si $DQO > 80$, entonces $IDQO = 0.125$

7.8.3.4. Conductividad Eléctrica (CE)

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

$$I.C.E. = 1 - 10(-3.26 + 1.34 \log 10 C.E.) \text{ Ecuación 58}$$

Cuando $I.C.E. < 0$, entonces $I.C.E. = 0$.

7.8.3.5. Potencial de Hidrogeno (PH)

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si $pH < 4$, entonces $IpH = 0.1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $IpH = 0.02628419 * e^{(pH * 0.520025)}$

Si $7 \leq \text{pH} \leq 8$, entonces $\text{IpH} = 1$

Si $8 \leq \text{pH} \leq 11$, entonces $\text{IpH} = 1 * e^{[(\text{pH}-8) - 0.5187742]}$

Si $\text{pH} > 11$, entonces $\text{IpH} = 0.1$

7.8.3.6. Relación Nitrógeno/Fosforo Total

Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lenticos (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales.

La fórmula para calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:

Si $15 \leq \text{NT/PT} \leq 20$, entonces $\text{INT/PT} = 0.8$

Si $10 \leq \text{NT/PT} \leq 15$, entonces $\text{INT/PT} = 0.6$

Si $5 \leq \text{NT/PT} \leq 10$, entonces $\text{INT/PT} = 0.35$

Si $\text{NT/PT} \leq 5$, ó $\text{NT/PT} > 20$, entonces $\text{INT/PT} = 0.15$

7.8.3.7. E. Coli

Representa la contaminación por materia orgánica procedente de actividades antrópicas.

Si $\text{E. coli} < 50$, entonces $\text{IE. coli} = 0.98$

Si $50 \leq \text{E.coli} < 1600$, entonces $\text{IE. coli} = 0.98 * e^{(\text{E. coli} - 50)*(-0.0009917754)}$

Si $\text{E. coli} \geq 1600$, entonces $\text{IE. coli} = 0.1$

7.8.4. Resultados del índice de calidad del agua (ICA)

7.8.4.1. A Nivel Nacional

A nivel nacional se tiene registros para los años 2005 y 2008; los cual se observan en la Tabla 98.

Tabla 98. Resultados del ICA desde punto de vista nacional

Fecha de muestreo	% saturación de oxígeno	índice de % de saturación de oxígeno	C.E. (us/cm)	índice C.E.	pH	índice PH	SST	índice de SST	DQO	Índice de DQO	ICA	Descripción
26/OCT/2005	84,49	0,84	94,1	0,76	6,94	0,97	1800	0	62	0,26	0,57	MEDIO
26/NOV/2008	85,96	0,86	117,6	0,67	7,33	1	3000	0	81	0,125	0,53	MEDIO

Fuente: (IDEAM- 2014)

Los datos reportados por el IDEAM, muestran que el índice de calidad de agua es constante para el período registrado

7.8.4.2. A Nivel Regional

A nivel regional la estación (Vanegas RL-08) reporta los siguientes datos

Tabla 99. Resultados del ICA desde punto de vista regional

AÑO	ICA	CLASIFICACIÓN
2006	35	Inadecuada
2007	45	Dudosa
2008	45	Dudosa
2009	45	Dudosa
2010	53	Buena
2011	33.7	Inadecuada
2012	41.3	Dudosa
2013	36.6	Inadecuada
2014	45.1	Dudosa
2015	69.2	Buena

.Fuente: CDMB-2015

En la figura siguiente se muestra el comportamiento del punto a través de los años

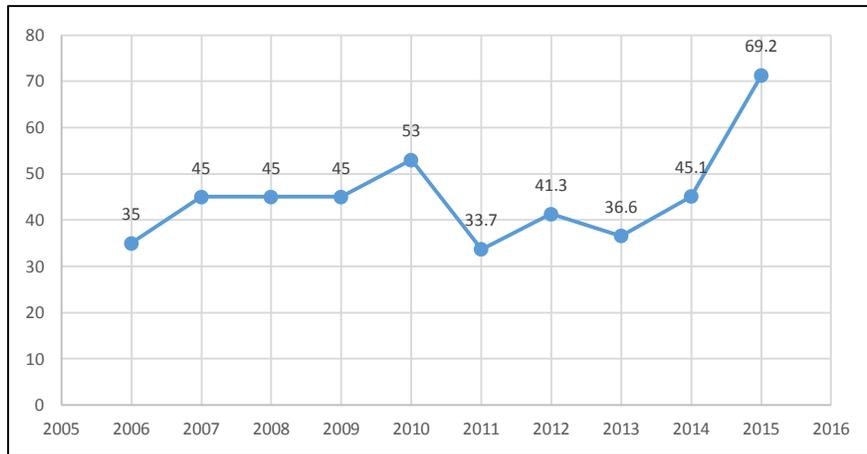


Figura 86. Gráfica del índice de calidad de la estación Vanegas del río Lebrija medio (Fuente; CDMB 2015)

Los datos muestran que el ICA en el punto de control el río Lebrija presenta un promedio de 45, valor que indica agua calidad dudosa pese a que en el año 2015 se presenta un cambio sustancial en la calidad de agua. No obstante, en el seguimiento realizado al río en el año 2017 período crítico (verano), se tiene que el comportamiento del río en este sector su calidad sigue siendo dudosa o regular, como se verá más adelante

7.8.4.3. Datos Monitoreo de calidad para condición de Año Hidrológico Seco

Teniendo en cuenta y como se explicó anteriormente la cuenca media del río Lebrija no presenta registros de calidad de agua a través de los años, se establecidos 20 puntos de seguimiento los cuales presentan características de la calidad para el periodo seco, que fueron resumidas en las Tabla 100 y Tabla 101, con estos datos y de acuerdo a esta metodología establecida se tienen los siguientes resultados.

Tabla 100. Datos base de calidad para el cálculo de subíndices (ICA) época de verano

ID	PUNTO DE MONITOREO	E. coli (NMP/100 ml)	Conductividad (µs/cm)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	N-Total (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	saturación de oxígeno (%)	pH	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1	Río Carcasí (Quebrada Las Piñas)	1400	360.2	3.6	<10.3	0.19	1.4	7.22	97.5	7.47	<6
2	Río Carcasí (Quebrada Las Piñas)	>16000	93.33	3.1	<10.3	0.14	1.4	7.78	98.6	7.82	31.2
3	Río Cáchira del Espíritu Santo	>16000	104.9	2.8	<10.3	0.1	1.52	6.54	92	7.76	22
4	Río Cáchira del Espíritu Santo	>16000	115.2	1.4	<10.3	0.09	1.45	7.23	95.2	7.6	16.6
5	Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	240	75.2	1.1	<10.3	0.07	1.4	7.12	94.3	7.56	<6
6	Río Cáchira del Espíritu Santo	1600	110.7	1.1	<10.3	0.07	1.4	6.62	93.2	7.9	7.2
7	Río Cáchira del Espíritu Santo	9400	106.9	6.9	12	0.24	1.77	7.8	98.3	7.58	153.2
8	Qda vereda laguna oriente	98	84.92	5.5	<10.3	0.07	1.4	7.29	93.4	7.15	<6
9	Caño Dulce	240	116.6	4.4	<10.3	0.07	1.67	7.42	96.3	7.54	<6
10	Quebrada La Tigra	240	55.66	2.2	<10.3	0.07	1.4	6.64	88.4	6.93	<6
11	Río Lebrija	>16000	254.5	4.8	10.3	0.88	3.35	7.27	97.7	7.58	15
12	Río Lebrija	>16000	222.3	2.3	<10.3	0.65	2.23	6.88	95.2	7.03	24
13	Quebrada Doradas	490	252.2	1.9	<10.3	0.07	1.45	6.79	90.2	6.92	<6
14	Río Lebrija	490	253.3	2.8	<10.3	0.52	1.45	5.88	83.9	7.23	32.5
15	Quebrada La Tigra	930	129.2	2.3	<10.3	0.15	2.15	5.64	79.8	6.71	26.6
16	Caño Orejeras	140	105.9	3.3	<10.3	0.13	1.95	7.02	94.4	7.59	53.6
17	Río Lebrija	240	226.6	2.8	<10.3	0.51	2.88	6.25	89.6	7.51	63.6
18	Río Lebrija	240	196	2.3	<10.3	0.42	2.17	5.1	71	7.42	12.18
19	Quebrada Payande	24000	138.9	10.8	<10.3	0.09	1.4	5.25	67.7	6.65	57.6
20	Río Lebrija	240	196.9	5.6	<10.3	0.42	2.2	6.04	90.3	7.64	55.2

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

Tabla 101. Calculo de subíndices de calidad

ID	NOMBRE ESTACION	ISOD	ICF	ISST	IDBO	IDQO	conductividad		IpH	Relacion Nitrogeno Fosforo	
							Variabl e decisió n	ICON		N:P	
1	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.975	0.257	0.000	0.661	0.125	-0.465	0.000	1.000	7.368	0.350
2	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.986	0.100	0.926	0.706	0.125	0.760	0.760	1.000	10.00 0	0.350
3	Río Cáchira del Espíritu Santo	0.920	0.100	0.954	0.737	0.125	0.720	0.720	1.000	15.20 0	0.800
4	Río Cáchira del Espíritu Santo	0.952	0.100	0.970	1.000	0.125	0.682	0.682	1.000	16.11 1	0.800
5	Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	0.943	0.812	0.000	1.000	0.125	0.820	0.820	1.000	20.00 0	0.800
6	Río Cáchira del Espíritu Santo	0.932	0.100	0.998	1.000	0.125	0.699	0.699	1.000	20.00 0	0.800
7	Río Cáchira del Espíritu Santo	0.983	0.100	0.560	0.463	0.910	0.712	0.712	1.000	7.375	0.350
8	Qda vereda laguna oriente	0.934	0.934	0.000	0.532	0.125	0.789	0.789	1.000	20.00 0	0.800
9	Caño Dulce	0.963	0.812	0.000	0.600	0.125	0.677	0.677	1.000	23.85 7	0.800
10	Quebrada La Tigra	0.884	0.812	0.000	0.810	0.125	0.880	0.880	0.966	20.00 0	0.800
11	Río Lebrija	0.977	0.100	0.975	0.573	0.910	0.080	0.080	1.000	3.807	0.150
12	Río Lebrija	0.952	0.100	0.948	0.797	0.125	0.233	0.233	1.000	3.431	0.150
13	Quebrada Doradas	0.902	0.633	0.000	1.000	0.125	0.091	0.091	0.961	20.71 4	0.800
14	Río Lebrija	0.839	0.633	0.923	0.737	0.125	0.086	0.086	1.000	2.788	0.150
15	Quebrada La Tigra	0.798	0.409	0.940	0.797	0.125	0.629	0.629	0.861	14.33 3	0.600
16	Caño Orejeras	0.944	0.896	0.859	0.687	0.125	0.716	0.716	1.000	15.00 0	0.800
17	Río Lebrija	0.896	0.812	0.829	0.737	0.125	0.213	0.213	1.000	5.647	0.350
18	Río Lebrija	0.710	0.812	0.983	0.797	0.125	0.352	0.352	1.000	5.167	0.350
19	Quebrada Payande	0.677	0.100	0.847	0.327	0.125	0.591	0.591	0.835	15.55 6	0.800
20	Río Lebrija	0.903	0.812	0.854	0.526	0.125	0.348	0.348	1.000	5.238	0.350

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

En la Tabla 102 se muestra ponderación de calidad para cada una de las fuentes definidas en el estudio de manera puntual y para la época de verano.(ver anexo 7. Calculo del ICA)

Tabla 102. Índice de calidad de agua – ICA. Época de seca

ID	NOMBRE ESTACION	PONDERACION ICA	
		VALOR	DESCRIPCION
1	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.48	MALO
2	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.70	REGULAR
3	Rio Cáchira del Espíritu Santo	0.76	ACEPTABLE
4	Rio Cáchira del Espíritu Santo	0.80	ACEPTABLE
5	Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	0.79	ACEPTABLE
6	Rio Cáchira del Espíritu Santo	0.80	ACEPTABLE
7	Rio Cáchira del Espíritu Santo	0.72	ACEPTABLE
8	Qda vereda laguna oriente	0.73	ACEPTABLE
9	Caño Dulce	0.71	ACEPTABLE
10	Quebrada La Tigra	0.76	ACEPTABLE
11	Rio Lebrija	0.68	REGULAR
12	Rio Lebrija	0.61	REGULAR
13	Quebrada Doradas	0.65	REGULAR
14	Rio Lebrija	0.64	REGULAR
15	Quebrada La Tigra	0.73	ACEPTABLE
16	Caño Orejeras	0.86	ACEPTABLE
17	Rio Lebrija	0.71	ACEPTABLE
18	Rio Lebrija	0.73	ACEPTABLE
19	Quebrada Payande	0.61	REGULAR
20	Rio Lebrija	0.71	ACEPTABLE

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

En la tabla se puede observar que la cuenca presenta un índice calidad aceptable, pese a las actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca, a la carga contaminante que viene de la cuenca alta del río Lebrija y a factores naturales que ayudan a mejorar calidad de agua.

7.8.4.3.1. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Cáchira del Espíritu Santo

En la Tabla 98, Figura 87 y Figura 88, se observa el comportamiento del ICA en los puntos de control a lo largo del cauce principal de la subcuenca

Tabla 103. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca del río Cáchira del Espíritu Santo

PUNTO 5	PUNTO 4	PUNTO 3	PUNTO 7
0.79	0.80	0.76	0.72
ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017



Figura 87. Gráfica del índice de calidad de la Subcuenca Cáchira del Espíritu Santo
Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

En la figura siguiente se muestra el esquema de los puntos de monitoreo definidos

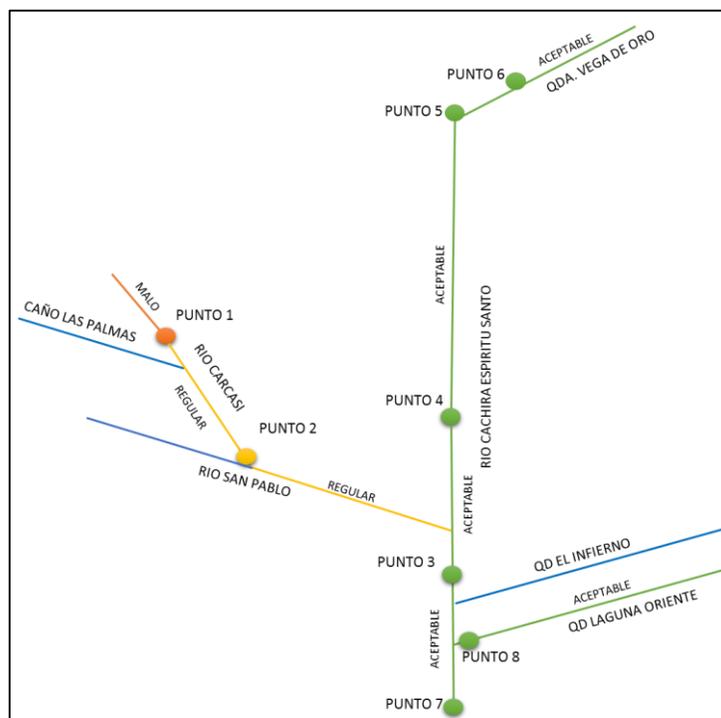


Figura 88. Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Cáchira del Espíritu Santo
 Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

La Subcuenca de Cáchira del Espíritu Santo muestra un ICA Aceptable, obstante el sector del río Caracas afluente del río San Pablo se presenta un sector una ICA Malo, posteriormente se observa un tramo regular hasta desembocar al río San Pablo y siguiendo esta tendencia, no obstante el tramo no presenta afectación sobre el río Cáchira del Espíritu Santo, la cual mantiene un calidad de agua aceptable en su cauce principal.

7.8.4.3.2. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Lebrija Medio y Directos

El comportamiento del ICA en el río Lebrija medio se resumen en la Tabla 104, Figura 89 y Figura 90.

Tabla 104. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca del río Lebrija Medio y Directos

Punto 11	Punto 12	Punto 14	Punto 17	Punto 18	Punto 20
0.68	0.61	0.64	0.71	0.73	0.71
REGULAR	REGULAR	REGULAR	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

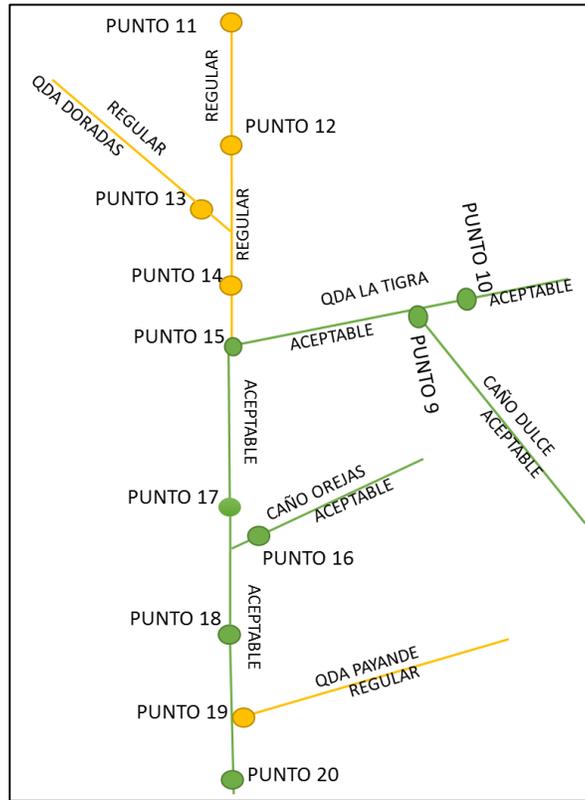


Figura 89. Esquema de los puntos de monitoreo definidos
 Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

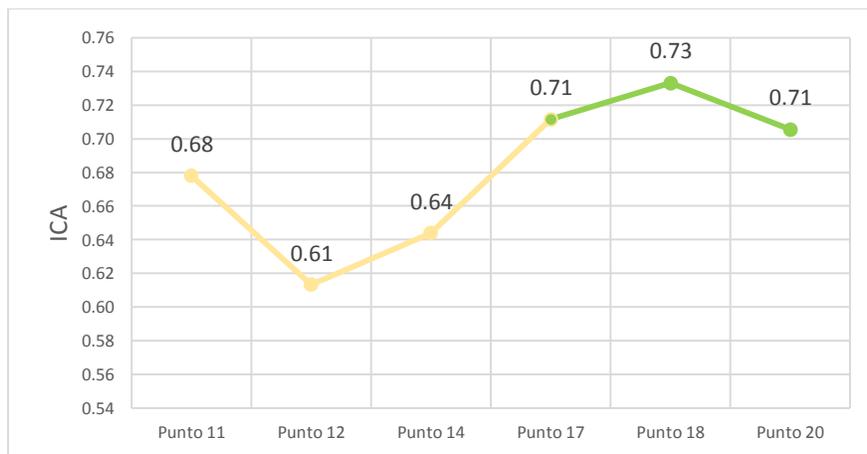


Figura 90. Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Lebrija Medio y Directos
 Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

La subcuenca presenta una tendencia de calidad regular aceptable en su recorrido, mejorando la calidad en los últimos tramos.

Dentro de la subcuenca se encuentra el punto 19 ubicado en la desembocadura de la Quebrada Payande, el cual no se relaciona dentro de la gráfica ya que solo se establecen los puntos sobre el cauce principal para ver su comportamiento. La calidad del agua de este punto es regular la cual no genera alteración sobre el tramo 18-20

7.8.4.3.3. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II la tigre

Tabla 105. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca quebrada la tigre

PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 15
0.71	0.76	0.73
ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

La subcuenca La Tigra muestra comportamiento estable a lo largo de su recorrido. A esta subcuenca le descarga el Caño Dulce que presenta la misma calidad de agua,

En la Figura 91 se muestra el esquema de los puntos de monitoreo definidos

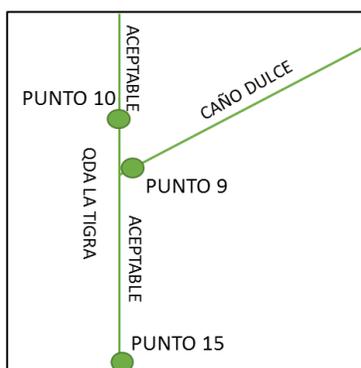


Figura 91. Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Subcuenca La Tigra

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

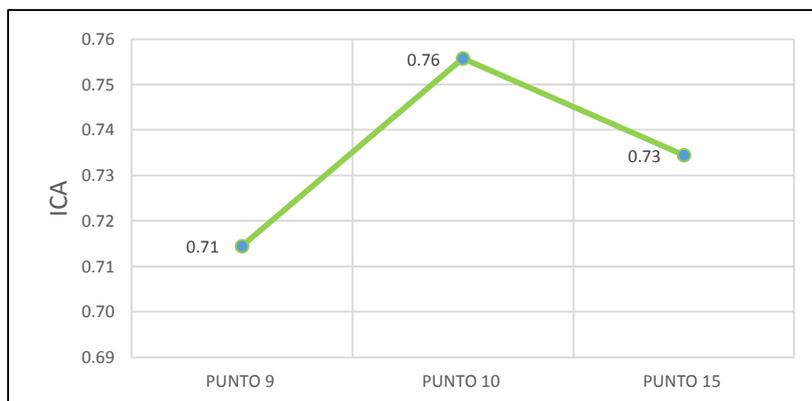


Figura 92. Gráfica del índice de calidad de la subcuenca quebrada La Tigra
Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

7.8.4.3.4. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II Quebrada Doradas

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene un solo punto de control de calidad de agua transitorio ubicado cerca a la desembocadura de esta al Lebrija medio y otros directos, lo que permite establecer que la fuente presenta un índice de calidad en ese punto regular (0.61)

7.8.4.3.5. ICA Unidades Hidrológicas Nivel II La Platanala

En lo referente al a subcuenca La Platanala se tienen que índice de calidad es Aceptable (0.86) en el punto determinado, el cual se encuentra metros arriba de la desembocadura de esta al río Lebrija

7.8.4.3.6. ICA Otras Unidades Hidrológicas Nivel II

Las Subcuencas de las quebradas Musanda y Caño Cuatro no presentan reporte de datos de calidad, que permitan establecer la calidad de estas; antes de tributar a río Lebrija medio.

A continuación, se presenta la salida gráfica del índice de calidad de la cuenca Lebrija medio

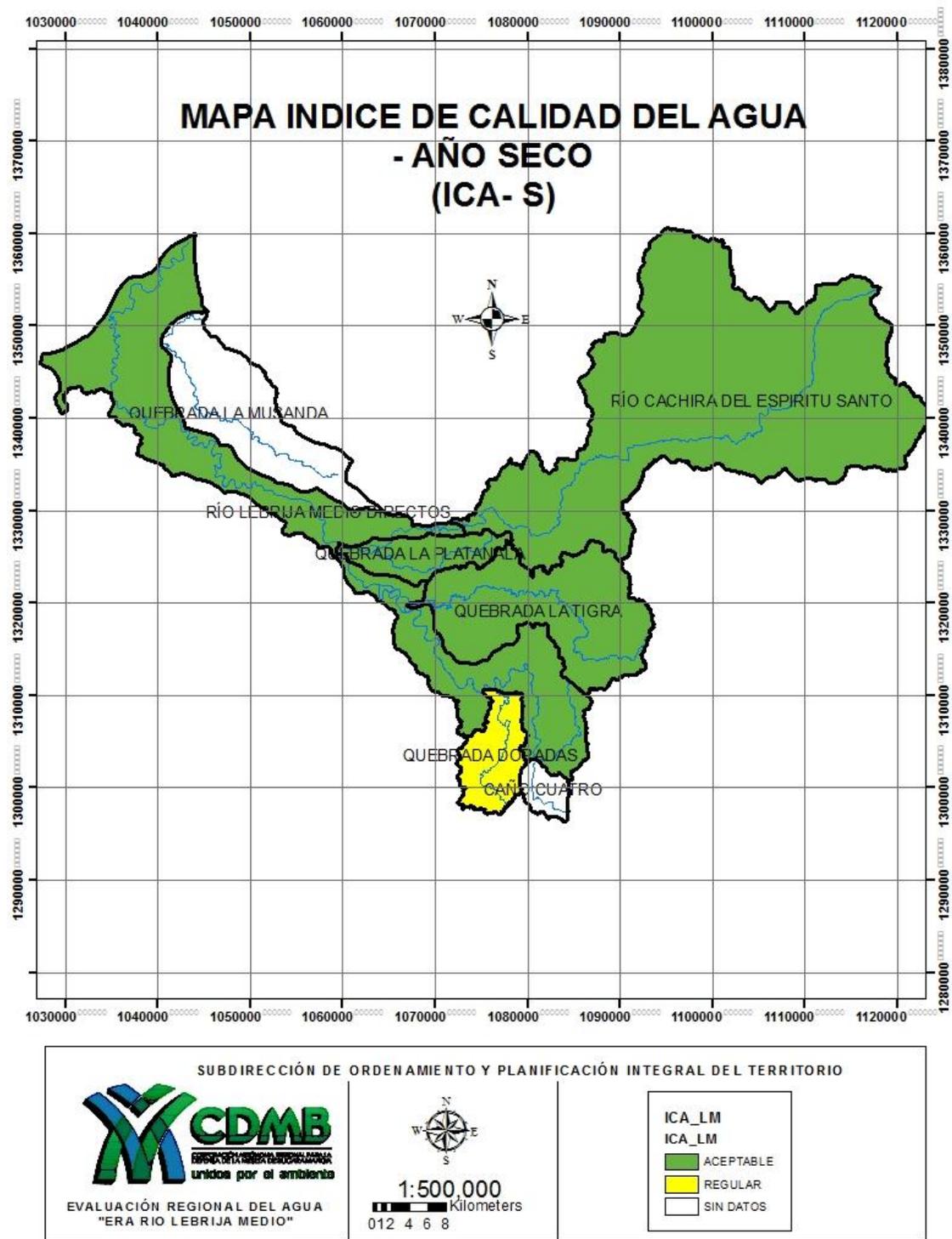


Figura 93. Índice de Calidad de la cuenca Lebrija Medio Condición Hidrológica Seca
Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

7.8.4.4. Datos Monitoreo de calidad para condición de Año Hidrológico Época húmeda

Teniendo en cuenta y como se explicó anteriormente la cuenca media del río Lebrija no presenta registros de calidad de agua a través de los años, se establecidos 20 puntos de seguimiento los cuales presentan características de la calidad para el periodo húmedo, que fueron resumidas en la Tabla 101, con estos datos y de acuerdo a esta metodología establecida se tienen los siguientes resultados

Tabla 106. Datos base para el cálculo de subíndices

ID	PUNTO DE MONITOREO	E. coli (NMP/100 ml)	Conductividad (µs/cm)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	N-Total (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	saturación de oxígeno (%)	pH	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	430	64.8	4.2	<15	0.1	1.4	7.94	96.8	7.22	6
2	Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	>16000	72.84	7.6	<15	0.25	1.4	8.12	97.3	7.07	54.8
3	Río Cáchira del Espíritu Santo	>16000	93.76	3.9	<15	0.21	1.54	8.12	91.1	7.18	24
4	Río Cáchira del Espíritu Santo	>16000	105.5	1.8	<15	0.1	1.6	7.96	97.1	7.26	18
5	Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	1600	79.78	1.5	<15	0.07	1.4	8.68	98.2	7.61	<6
6	Río Cáchira del Espíritu Santo	1600	98.52	1.6	<15	0.09	1.5	8.44	95.4	7.38	7.7
7	Río Cáchira del Espíritu Santo	>16000	126.6	7.2	15	0.26	1.96	7.92	99.3	7.2	161
8	Qda vereda laguna oriente	140	82.56	4.8	<15	0.07	1.4	7.18	90.6	7.18	<6.0
9	Caño Dulce	750	107.8	5	<15	0.09	1.97	6.66	87.4	7.21	<6.0
10	Quebrada La Tigra	240	53.23	2.4	<15	0.07	1.4	7.25	92.4	6.75	<6.0
11	Río Lebrija	>16000	280.1	6.1	16	0.91	4.22	5.92	73.2	7.16	17
12	Río Lebrija	>16000	240.8	3.7	<15	0.67	2.2	5.81	71.6	7.3	27
13	Quebrada Doradas	>16000	364	7.5	16	0.17	1.72	4.4	68.3	6.9	6.5
14	Río Lebrija	930	238.4	3.4	<15	0.67	1.9	6.28	86.3	7.28	37.4
15	Quebrada La Tigra	750	173.4	2.7	<15	0.21	2.04	5.81	83.2	7.26	29.4
16	Caño Orejeras	240	180	5.2	<15	0.1	1.88	5.67	78.6	7.23	54.8

17	Rio Lebrija	430	178.8	3.5	<15	0.49	2.2	5.4	71.9	7.34	67
18	Rio Lebrija	430	204.3	3.7	<15	0.47	2.25	5.51	76.9	6.9	37.4
19	Quebrada Payande	<24000	146.03	12	23.5	0.11	1.8	2.45	32.8	6.12	58.4
20	Rio Lebrija	450	179.2	6.3	<15	0.38	2.22	6.79	89.2	7.03	58

Fuente: Consultoría POMCA Lebrija Medio 2015-2017

Tabla 107. Calculo de subíndices de calidad

NOMBRE ESTACION	subíndices									
	ISOD	ICF	ISST	IDBO	IDQO	conductividad		IpH	Relacion Nitrogeno Fosforo	
						Variable decisión	ICON		N:P	
Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.968	0.672	1.002	0.614	0.125	0.853	0.853	1.000	14.000	0.600
Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.973	0.100	0.856	0.433	0.125	0.828	0.828	1.000	5.600	0.350
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.911	0.100	0.948	0.636	0.125	0.759	0.759	1.000	7.333	0.350
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.971	0.100	0.966	1.000	0.125	0.717	0.717	1.000	16.000	0.800
Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	0.982	0.100	0.000	1.000	0.125	0.806	0.806	1.000	20.000	0.800
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.954	0.100	0.997	1.000	0.125	0.742	0.742	1.000	16.667	0.800
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.993	0.100	0.537	0.450	0.910	0.639	0.639	1.000	7.538	0.350
Qda vereda laguna oriente	0.906	0.896	0.000	0.573	0.125	0.797	0.797	1.000	20.000	0.800
Caño Dulce	0.874	0.489	0.000	0.561	0.125	0.709	0.709	1.000	21.889	0.800
Quebrada La Tigra	0.924	0.812	0.000	0.784	0.125	0.887	0.887	0.879	20.000	0.800
Río Lebrija	0.732	0.100	0.969	0.500	0.910	-0.046	0.000	1.000	4.637	0.150
Río Lebrija	0.716	0.100	0.939	0.652	0.125	0.146	0.146	1.000	3.284	0.150
Quebrada Doradas	0.683	0.100	1.001	0.437	0.910	-0.486	0.000	0.951	10.118	0.600
Río Lebrija	0.863	0.409	0.908	0.678	0.125	0.157	0.157	1.000	2.836	0.150
Quebrada La Tigra	0.832	0.489	0.932	0.748	0.125	0.450	0.450	1.000	9.714	0.350
Caño Orejeras	0.786	0.812	0.856	0.549	0.125	0.422	0.422	1.000	18.800	0.800
Río Lebrija	0.719	0.672	0.819	0.669	0.125	0.427	0.427	1.000	4.490	0.150
Río Lebrija	0.769	0.672	0.908	0.652	0.125	0.315	0.315	0.951	4.787	0.150
Quebrada Payande	0.328	0.100	0.845	0.295	0.710	0.563	0.563	0.634	16.364	0.800
Río Lebrija	0.892	0.659	0.846	0.490	0.125	0.425	0.425	1.000	5.842	0.350

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

En la Tabla 108 se muestra ponderación de calidad para cada una de las fuentes definidas en el estudio de manera puntual y para la época húmeda. (ver anexo 7. Calculo del ICA-húmeda)

Tabla 108. Índice de Calidad de Agua – ICA. Condición Hidrológica Húmeda

NOMBRE ESTACION	PONDERACION ICA	
	VALOR	DESCRIPCION
Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.83	ACEPTABLE
Río Carcasi (Quebrada Las Piñas)	0.66	REGULAR
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.69	REGULAR
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.81	ACEPTABLE
Quebrada NN (Informe Qda vega de oro)	0.68	REGULAR
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.81	ACEPTABLE
Río Cáchira del Espíritu Santo	0.71	ACEPTABLE
Qda vereda laguna oriente	0.73	ACEPTABLE
Caño Dulce	0.65	REGULAR
Quebrada La Tigra	0.75	ACEPTABLE
Río Lebrija	0.62	REGULAR
Río Lebrija	0.54	REGULAR
Quebrada Doradas	0.66	REGULAR
Río Lebrija	0.61	REGULAR
Quebrada La Tigra	0.70	ACEPTABLE
Caño Orejeras	0.76	ACEPTABLE
Río Lebrija	0.66	REGULAR
Río Lebrija	0.65	REGULAR
Quebrada Payande	0.60	REGULAR
Río Lebrija	0.69	REGULAR

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

En la Tabla 108 se puede observar que la cuenca presenta un índice calidad regular lo cual puede obedecer a las actividades agrícola, pecuaria, minera, y doméstica, así como a procesos naturales presentes en la zona principalmente a procesos de torrencialidad que puedan presentarse en época húmeda o de invierno sobre todo en las partes altas de la cuenca que por pérdida de cobertura vegetal, pendiente y otros componentes físicos se generan arrastre de sedimentos, nutrientes y otros componente contaminantes hacia la fuente hídrica

7.8.4.4.1. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Cáchira del Espíritu Santo

En la Tabla 109 se observa el comportamiento del ICA en los puntos de control a lo largo del cauce principal de la subcuenca

Tabla 109. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca del río Cáchira del Espíritu Santo

PUNTO 5	PUNTO 4	PUNTO 3	PUNTO 7
0.68	0.81	0.69	0.71
REGULAR	ACEPTABLE	REGULAR	REGULAR

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

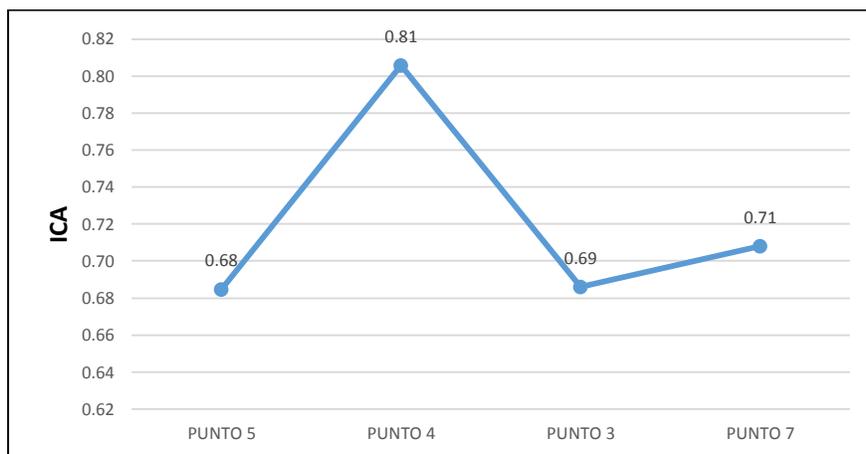


Figura 94. Gráfica del índice de calidad de la subcuenca Cáchira del Espíritu Santo .Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

La gráfica muestra un comportamiento en la mayoría de los puntos estable con un índice de calidad regular, a excepción de punto 4 que presenta un índice aceptable lo que indica que la fuente presenta asimilación de contaminantes entre el tramo 5 y 4.

7.8.4.4.2. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Lebrija Medio y Directos

El comportamiento del ICA en el río Lebrija medio se resume en la Tabla 105 y Figura 95.

Tabla 110. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca del río Lebrija Medio y Directos

Punto 11	Punto 12	Punto 14	Punto 17	Punto 18	Punto 19	Punto 20
0.62	0.54	0.61	0.66	0.65	0.60	0.69
REGULAR						

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

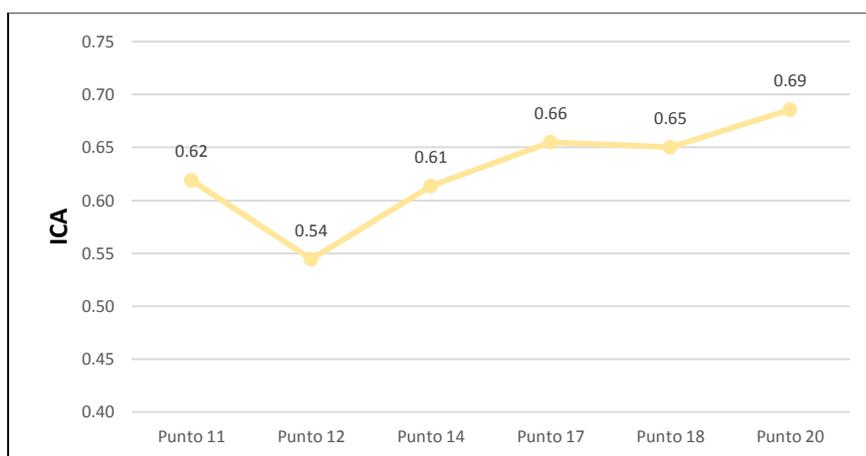


Figura 95. Gráfica del índice de calidad de la subcuenca de Lebrija Medio y Directos

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

La subcuenca presenta una tendencia de calidad regular a lo largo de su recorrido, lo cual es ratificado por los datos de calidad a nivel nacional en la estación San Rafael, lo que permite deducir que la calidad del agua se ha mantenido en el transcurrir del tiempo generándose una tendencia de calidad regular.

7.8.4.4.3. ICA Unidades Hidrológica Nivel II La Tigra

Tabla 111. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca Quebrada La Tigra

PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 15
0.65	0.75	0.70
REGULAR	ACEPTABLE	REGULAR

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015.

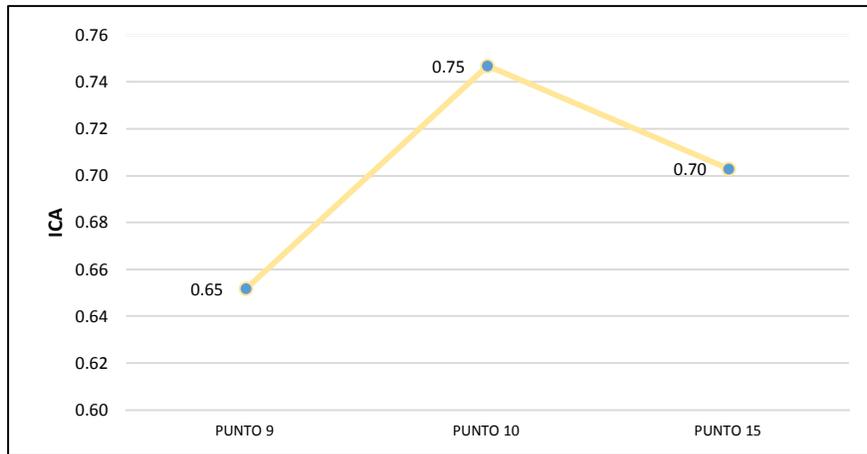


Figura 96. Gráfica del índice de calidad de la Subcuenca Quebrada La Tigra
Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015

La subcuenca La Tigra muestra un comportamiento en sus tres puntos de control similar con un índice de calidad ambiental regular, el cual comparado con el periodo seco no presenta variación alguna para estos dos estadios de tiempo, lo que indica que la fuente presenta una grada de asimilación.

7.8.4.4.4. ICA Unidades Hidrológica Nivel II Quebrada Doradas

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene un solo punto de control de calidad de agua transitorio ubicado cerca a la desembocadura de esta al Lebrija medio y otros directos, lo que permite establecer que la fuente presenta un índice de calidad en época húmeda de 0.54.

7.8.4.4.5. ICA Unidades Hidrológica Nivel II La Platanala

En lo referente a la Subcuenca La Platanala se tienen que índice de calidad es aceptable (0.76) en el punto determinado, el cual se encuentra metros arriba de la desembocadura de esta al río Lebrija.

7.8.4.4.6. ICA Otras Unidades Hidrológica Nivel II

Las subcuencas de las quebradas La Musanda y Caño Cuatro no presentan reporte de datos de calidad, que permitan establecer el estado de calidad de estas; antes de tributar a río Lebrija medio. Esto obedece a que dentro de la red de monitoreo definida para esta consultoría no se contemplaron puntos sobre estas dos subcuencas. A continuación, se presenta la salida gráfica del índice de calidad de la cuenca Lebrija medio

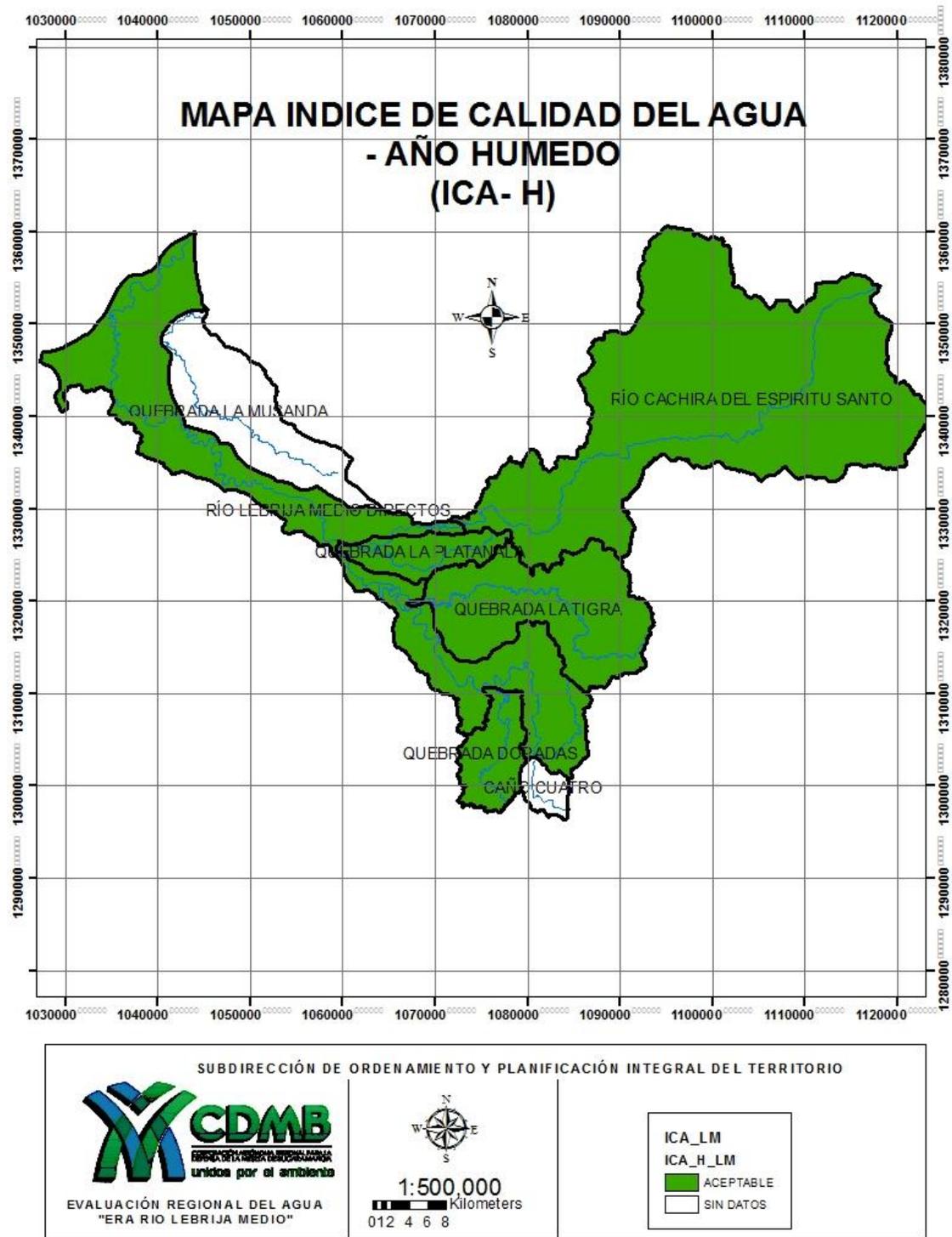


Figura 97. Índice de calidad del Agua en la cuenca Lebrija Medio Condición Hidrológica Húmeda

Fuente: UT POMCAS Rios Cáchira Sur y Lebrija Medio 2015



SECCIÓN H

CAPITULO 8. ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CUENCA LEBRIJA MEDIO

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 presentan a continuación en la Tabla 1112

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 112. Categoría de criticidad integral
Fuente CAR

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

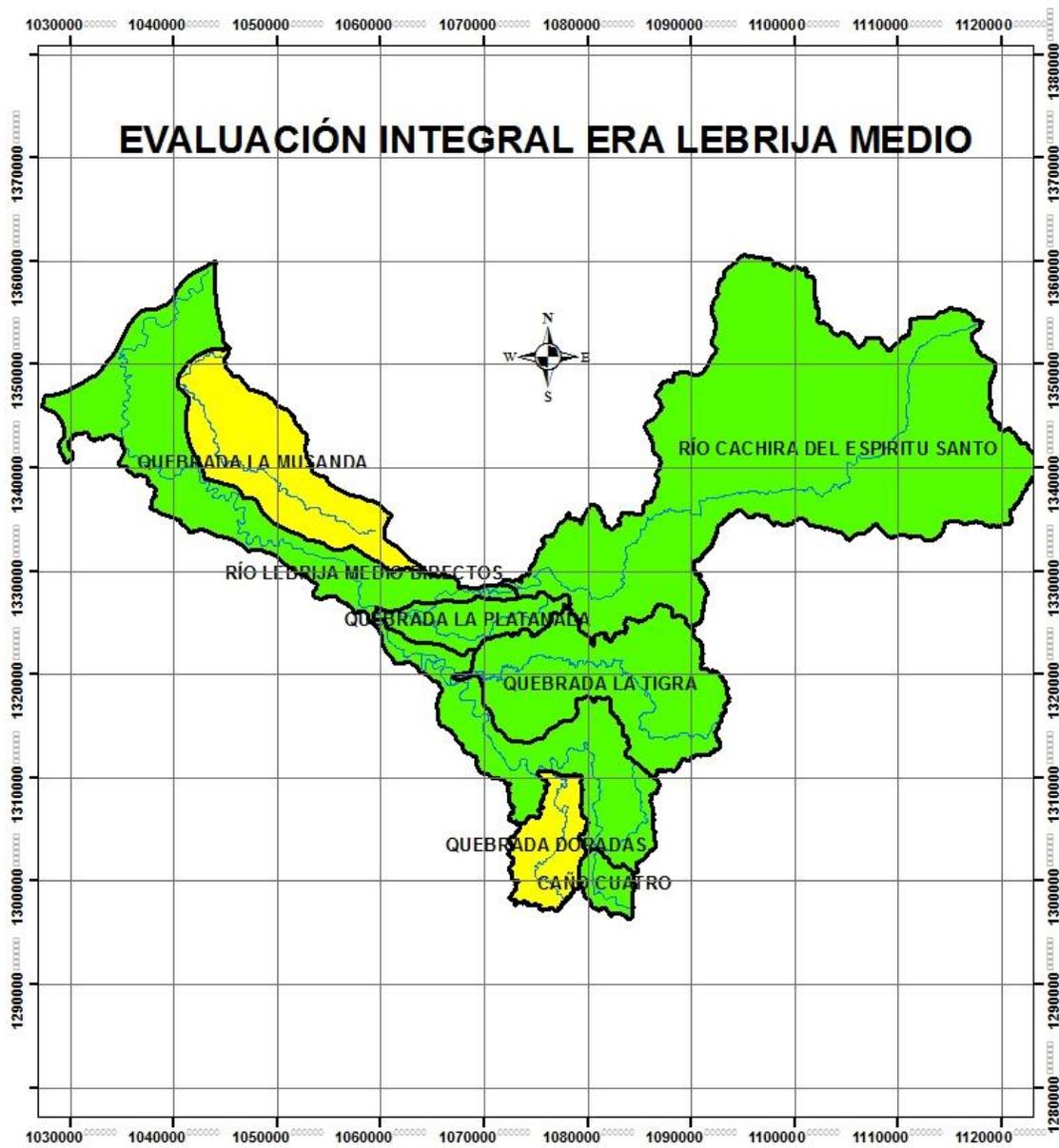
Hídrico (IVH), Índice de Calidad del Agua (ICA), Índice de Alteración Potencial de la calidad del Agua (IACAL) y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

Un resumen de los indicadores por microcuenca y la valoración de la criticidad son presentados en la Tabla 113.

Tabla 113 Evaluación integral de la Cuenca Lebrija Medio

CODIGO	MICROCUENCA	IA	IRH	IUA	IVH	ICA	IACAL	IVET	TOTAL	PROMEDIO	CALIFICACION
2319-03-01-00	LEBRIJA MEDIO DIRECTOS	2	1	2	2	2	3	4	16	2.29	BAJO
2319-03-02-00	QUEBRADA DORADAS	1	2	2	2	2	5	4	18	2.57	MEDIO
2319-03-03-00	CAÑO CUATRO	1	2	1	1		4	4	13	2.17	BAJO
2319-03-04-00	QUEBRADA LA TIGRA	1	1	1	1	2	4	4	14	2.00	BAJO
2319-03-05-00	CÁCHIRA DEL ESPÍRITU SANTO	2	1	2	2	2	2	4	15	2.14	BAJO
2319-03-06-00	QUEBRADA LA PLATANALA	1	2	2	2	1	4	4	16	2.29	BAJO
2319-03-07-00	QUEBRADA LA MUSANDA	1	4	1	3		3	4	16	2.67	MEDIO

Fuente CDMB



SUBDIRECCIÓN DE ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO		
 <p>CDMB CORPORACIÓN DE ACUEDUCTOS DE BOGOTÁ unidos por el ambiente</p> <p>EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA "ERA RÍO LEBRIJA MEDIO"</p>	 <p>1:500,000 Kilometers 0 2 4 6 8</p>	<p>EVAL_INTERG_LM</p> <p>EVAL_INTEG</p> <p> BAJO</p> <p> MEDIO</p>

Figura 98. Evaluación integral ERA cuenca Lebrija Medio



SECCIÓN I

CAPITULO 9. CONCLUSIONES

1. El Índice de Aridez (Ia) de la cuenca Lebrija Medio fluctúa entre 0.17 y 0.29. En las subcuencas Cáchira del Espíritu Santo y Lebrija Medio Directos se encuentran unidades Entre moderados y excedentes de agua. En el resto de las subcuencas se presente Excedentes de agua. En conclusión no existe riesgo de aridez en la cuenca
2. Para el cálculo de los caudales característicos de las cuencas hidrológicas nivel II, se utilizó el método conceptual de relación lluvia – escorrentía, ante la falta de estaciones hidrológicas en todas las subcuencas y las existentes sin grandes series de caudales. Igualmente, se consideró que la subcuenca con la mejor serie de caudales es diferente hidrológica y morfológicamente a las otras subcuencas, por lo que no se trabajó con el método de trasposición de cuencas. El Índice de Retención Hídrica (IRH) dio como resultado que las cuencas tiene entre Alta y Muy Alta Retención y Regulación hídrica. Se exceptúa la subcuenca Quebrada La Musanda que presenta una baja Retención y Regulación hídrica.
3. El Índice de Uso de Agua (IUA) presenta para el comportamiento hidrológico normal, niveles entre Baja y Muy Baja de presión de la demanda con respecto a la oferta disponible lo cual se explica en el hecho que la Oferta Hídrica Superficial Disponible es muy alta debido a la cuenca Lebrija Medio corresponde a la parte baja de la cuenca Rio Lebrija y por lo tanto recibe los aportes de las subcuencas Alto Lebrija y Cáchira Sur. Igualmente es importante aclarar que este Indicador en la variable de Demanda fue calculado solo con los datos de concesiones reportadas por la CDMB.
4. El Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento hídrico (IVH) nos está indicando que, para las condiciones de año hidrológico normal y seco los niveles de criticidad se encuentra en valores de Baja a Muy baja, exceptuando la subcuenca de Quebrada La Musanda que tiene un registro de media criticidad.
5. 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 nivel medio para la subcuenca Cachira del Espíritu Santo y para el resto de la cuenca la calificación es baja. La subcuenca

Cáchira del Espíritu Santo es la que tiene la mayor área de aporte (862.2 Km²) y una pendiente media de la cuenca del 46%, con un coeficiente de compacidad alto (2.17), calificándola como rectangular oblonga, lo cual lo hace que el IMT sea de categoría medio.

6. El Índice de variabilidad de Caudales (IVQ) que muestra la deferencia de los caudales mínimos y máximos, indica un nivel Muy Alto para los caudales generados en cada una de las Subcuencas Nivel II.
7. Por lo anterior, el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) presenta valores Altos para todas las unidades hidrológicas Nivel II de la cuenca Lebrija Medio.
8. El Índice de Alteración Potencial de Calidad del Agua (IACAL) calculado para condición hidrológica de año normal muestra un comportamiento potencial para la DBO muy alto para la subcuenca Quebrada La Dorada y las subcuencas Caño Cuatro, Quebrada La Tigra y La Platanala presenta una probabilidad de presión alta lo que obedece principalmente a la presencia la actividad pecuaria y la población dispersa asentada en ellas.
9. 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 la disminución de los caudales de dilución.
10. Con respecto a los índices de nutrientes, como por ejemplo el Fosforo Total, en condición de año hidrológico normal, se observa una alteración potencial Muy Alta en la subcuenca Quebrada La Dorada y Alta en las demás subcuencas, lo que significa que esta variable está pasando de ser un nutriente y convertirse en un contaminante, situación que no favorece las fuentes superficiales. La subcuenca Rio Lebrija Medio Directos tiene una calificación de Moderada. En condición de año hidrológico seco el Fosforo Total presenta deterioro en su calificación para todas las subcuencas.
11. Con respecto al Nitrógeno Total, para condición hidrológica normal, todas las subcuencas presentan calificación de Media Alta. En condición hidrológica seca las subcuencas Quebrada Doradas, Río Cachira del Espíritu Santo, La Platanala y

Quebrada La Musanda tienen calificación de 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 menos pluviosidad, además de una mayor incidencia de procesos de eutrofización y mayor proliferación de algas tóxicas

12. En general el IACAL para condición hidrológica año normal, en la Subcuenca Doradas presentan Muy Alta presión potencial sobre el recurso especialmente por las cargas contaminantes generadas por la actividad agrícola y pecuaria en la zona; En las Subcuencas La Tigra, La Platanala y Caño Cuatro presentan un potencial presión Alta, generada por la actividad agrícola y a la baja oferta hídrica en estas. En la Subcuenca Lebrija Medio Directos, aunque en ella se encuentra el mayor número de asentamientos humanos y actividades de orden productivo, agrícola y pecuario la presión potencial que se ejerce sobre la cuenca es Media Alta. Mientras que la Subcuenca del Espíritu Santo presenta una presión Moderada debido a su buena oferta hídrica en este periodo o estadio de tiempo.
13. Para Condición hidrológica de año seco, en las Subcuencas La Platanal, La Tigra, Caño Cuatro, Doradas presenta un índice de presión Muy Alto, obedeciendo principalmente a la acción de actividades de orden agrícola y pecuario, a la demanda del recurso hídrico y oferta de la Subcuenca. Para las cuencas de orden II Cáchira del Espíritu Santo, La Musanda y Lebrija Medio Directos presentan un índice de Presión Alto, generándose por las acciones antrópicas de la cuenca Alto Lebrija que llega a esta subcuenca.
14. Con relación al Índice de calidad del Agua (ICA) para condición hidrológica seca, en el cierre de cada una de las subcuencas presentan calidad Aceptable, exceptuando la subcuenca Quebrada Doradas que tiene una categoría de Regular. Para las subcuencas Caño Cuatro y Quebrada La Musanda no se presenta calificación toda vez que no se realizó campaña de monitoreo.
15. Para año hidrológico húmedo, el Índice de Calidad del Agua (ICA) para todas las subcuencas en donde se realizaron campañas de monitoreo tiene una calificación de Aceptable.

16. Las evaluaciones integrales del recurso hídrico superficial reportan valores de Media criticidad para las Subcuencas Quebrada Doradas y La Musanda.
17. La calificación de Baja criticidad se presenta para las subcuencas Lebrija Medio Directos, Caño Cuatro, Quebrada La Tigra, Cachira del Espíritu Santo y La Platanala..

9.1 Acciones

18. Con el fin de tener un cálculo más idóneo del Índice de Regulación y Retención Hídrica se requiere la instalación de estaciones hidrológicas en la cuenca.
19. 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.
20. Las CARs que tienen jurisdicción sobre la cuenca, como entidades responsables de la protección de los recursos naturales, les corresponden 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 teniendo en cuenta las subcuencas Hidrogeológicas.

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 Lebrija Medio.

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.

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

LISTADO DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Indicadores hídricos, ENA 2010	21
Tabla 2 Área y porcentaje de incidencia por Corporación Regional	28
Tabla 3. División hidrológica Lebrija Medio	29
Tabla 4. Rangos y descripción de pendientes.	31
Tabla 5. Inventario de Estaciones Climatológicas	32
Tabla 6. Área cubierta dentro de las Subcuencas por las Estaciones Climatológicas	33
Tabla 7. Inventario de estaciones Hidrológicas en la cuenca del Lebrija medio	34
Tabla 8. Categorías Índices de Aridez	48
Tabla 9. Categorías del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)	49
Tabla 10. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua (IUA).	50
Tabla 11. Categorías del Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento	51
Tabla 12. Caracterización morfométrica y fisiográfica de las subcuencas Nivel II	58
Tabla13. Estaciones Disponibles para el Estudio	59
Tabla14. Estaciones climatológicas Cuenca del Río Lebrija.	60
Tabla15. Información de estaciones climatológicas, Cuenca del Río Lebrija	62
Tabla 16. Periodo de Estudio Homogéneo Seleccionado	64
Tabla 17. Datos faltantes series brillo solar	64
Tabla 18. Información disponible	65
Tabla 19, Precipitación Total Mensual Promedio Multianual [mm/mes]	67
Tabla 20. Precipitación Máxima en 24 Horas Promedio Multianual [mm/día]	71
Tabla 21. Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno [mmm/día]	75
Tabla 22. Resultados de las curvas IDF [mm/hora]: Estación El Caobo	77
Tabla 23. Número De Días Con Lluvia Promedio Multianual [días]	78
Tabla 24. Temperatura media mensual promedia multianual [°C]	81
Tabla 25. Temperatura máxima mensual promedia multianual [°C]	82
Tabla 26. Temperatura mínima mensual promedia multianual [°C]	83
Tabla 27. Regresión lineal Temperatura media contra elevación	85
Tabla 28. Regresión lineal Temperatura máxima contra elevación	86
Tabla 29. Regresión lineal Temperatura mínima contra elevación	86
Tabla 30. Balance hídrico estación: Villa Leiva	103
Tabla 31. Balance hídrico estación: Escuela Agrícola Cáchira	103
Tabla 32. Balance hídrico estación: Cachiri	104
Tabla 33. Balance hídrico estación: Col Cooperativo	105
Tabla 34. Balance Hídrico A Nivel De Cuenca	106
Tabla 35. Resultados de Balance hidroclimático a nivel de subcuenca [mm/año]	107
Tabla 36 Modelo climático de Caldas - Lang	109
Tabla 37. Distribución real del clima en la Cuenca del Río Lebrija Medio	113
Tabla 38.. Información Disponible En Cada Estación	115
Tabla 39. Caudales característicos de la subcuenca Rio Lebrija medio directos	124
Tabla 40. Caudales característicos de la subcuenca Doradas	125
Tabla 41. Caudales característicos de la Subcuenca Caño Cuatro	126
Tabla 42. Caudales característicos de la Subcuenca Quebrada la Tigra.	128
Tabla 43. Caudales característicos de la Subcuenca Rio Cáchira del Espíritu Santo	129

Tabla 44. Caudales característicos de la Subcuenca Platanala	130
Tabla 45. Caudales característicos de la Subcuenca la Musada	131
Tabla 46. Caudal medio anual y rendimientos hídricos en la Cuenca del Río Lebrija Medio	133
Tabla 47. Distribución de frecuencias, caudales máximos mensuales (m ³ /s).	134
Tabla 48. Distribución de frecuencias caudales mínimos mensuales (m ³ /s)	138
Tabla 49. Valores de caudales medios mensuales y oferta hídrica total (m ³ /s) estaciones hidrológicas de referencia.	144
Tabla 50. Valores de caudales mínimos mensuales y oferta hídrica total (m ³ /s) Cuencas – año seco	145
Tabla 51. Valores de caudales medios mensuales y oferta hídrica total (m ³ /s) Cuencas – año húmedo	145
Tabla 52. Oferta Hídrica Total año normal, seco y lluvioso Lebrija Medio	150
Tabla 53. Oferta Hídrica Disponible año normal, seco y Lluvioso Lebrija Medio	151
Tabla 54. Rendimiento Hídrico año normal Lebrija medio	152
Tabla 55. Rendimiento Hídrico año Seco y Lluvioso Lebrija medio	153
Tabla 56. Caudales ambientales para las subcuencas aplicando las metodologías 1 y 2 (caudal m ³ /s	158
Tabla 57. Caudales ambientales para las subcuencas en condición hidrológica el niño, metodología 3	158
Tabla 58. Caudales ambientales para las subcuencas en condición hidrológica la niña, metodología 3	159
Tabla 59. Valores de caudales ambientales año normal	159
Tabla 60. Valores de caudales ambientales año seco y lluvioso.	160
Tabla 61. Cálculo demanda por uso	171
Tabla 62. Demanda Por Unidad Hidrológica De Análisis UHA	171
Tabla 63. Categorías del Índice de Aridez	172
Tabla 64. Valores de índice de Aridez por estación climatológica	173
Tabla 65. Valores de índice de Aridez para cada Subcuenca	173
Tabla 66. Categorías del índice de retención y regulación hídrica - IRH	175
Tabla 67. Índice de Retención y Regulación Hídrica	176
Tabla 68. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua - IUA.	178
Tabla 69. Índice de uso del agua condiciones promedio.	179
Tabla 70. Rangos de Vulneabilidad por Desabastecimiento Hidrico	181
Tabla 71. Índice Vulnerabilidad Por Desabastecimiento Hídrico (IVH)	182
Tabla 72. Relaciones para categorizar el Índice Morfométrico para cada cuenca de segundo nivel	185
Tabla 73. Categorías Índices Morfométrico de Torrencialidad	186
Tabla 74. Categorización del Índice de Variabilidad de Caudales	188
Tabla 75. Categorías. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales IVET	190
Tabla 76. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL	194
Tabla 77. Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Seca	195
Tabla 78. Oferta Hídrica Total en Condición Hidrológica normal	195
Tabla 79. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL DBO	196
Tabla 80. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL DQO-DBO	196
Tabla 81. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL SST	196
Tabla 82. Rangos de valores que puede tomar el IACAL NT	197
Tabla 83. Rangos de Valores que puede tomar el IACAL PT	197
Tabla 84. Cálculo del IACAL DBO	197

Tabla 85. Cálculo del IACAL DQO-DBO	198
Tabla 86. Cálculo del IACAL SST	198
Tabla 87. Cálculo del IACAL NT	199
Tabla 88. Cálculo IACAL PT	199
Tabla 89. Cálculo del IACAL Para la época media	200
Tabla 90. Cálculo del IACAL DBO	202
Tabla 91. Cálculo del IACAL DQO-DBO	202
Tabla 92. Cálculo del IACAL SST	203
Tabla 93. Cálculo del IACAL NT	203
Tabla 94. Cálculo IACAL PT	204
Tabla 95. Cálculo del IACAL Para la época seca	204
Tabla 96. Variables Involucradas en el cálculo del ICA	207
Tabla 97. Descriptores de la Calidad del ICA	207
Tabla 98. Resultados del ICA desde punto de vista nacional	212
Tabla 99. Resultados del ICA desde punto de vista regional	212
Tabla 100. Datos base de calidad para el cálculo de subíndices (ICA) época de verano	214
Tabla 101. Calculo de subíndices de calidad	215
Tabla 102. Índice de calidad de agua – ICA. Época de seca	216
Tabla 103. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca del río Cáchira del Espíritu Santo	217
Tabla 104. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca del río Lebrija Medio y Directos	218
Tabla 105. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca quebrada La Tigra	220
Tabla 106. Datos base para el cálculo de subíndices	223
Tabla 107. Calculo de subíndices de calidad	224
Tabla 108. Índice de Calidad de Agua – ICA. Condición Hidrológica Húmeda	225
Tabla 109. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca del río Cáchira del Espíritu Santo	226
Tabla 110. Índice de calidad de agua – ICA para la subcuenca del río Lebrija Medio y Directos	227
Tabla 111. Índice de calidad de agua – ICA para la Subcuenca Quebrada La Tigra	227
Tabla 112. Categoría de criticidad integral	232
Tabla 113 Evaluación integral de la Cuenca Lebrija Medio	233

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Niveles de planificación hidrográfica nacional MADVT, 2010	15
Figura 2. Ciclo Hidrológico- Unesco 2006	19
Figura 3. Sistema de indicadores Hídricos Regionales. ERA-2013	22
Figura 4. Marco metodológico para la evaluación del agua ERA.	24
Figura 5. Área Corporaciones, POMCA del Río Lebrija Medio	28
Figura 6. Cuencas hidrográficas Río Lebrija Medio.	30
Figura 7. Áreas representativas de las estaciones	33
Figura 8. Bosquejo del balance hídrico	40
Figura 9. Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones. ERA 2013.	54
Figura 10 Localización de Estaciones climáticas utilizadas en el análisis	60
Figura 11 Periodo de operación de estaciones a usar en el estudio	61
Figura 12. Periodo de registro de Brillo Total Diario.	63
Figura 13 Variación de la precipitación total anual	67
Figura 14 Variación temporal de la precipitación total promedia multianual	68
Figura 15. Distribución espacial de precipitación anual (mm).	70
Figura 16. Variación Temporal Precipitación Máxima En 24 Horas	72
Figura 17. Precipitación Máxima Anual: Estación El Caobo	74
Figura 18. Análisis De Frecuencia De Precipitación Máxima En 24 Horas	74
Figura 19 Prueba de bondad de ajuste	75
Figura 20. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: Estación El Caobo	77
Figura 21 Variación Temporal Del Número De Días Con Lluvia	79
Figura 22. Variación Temporal De La Temperatura	81
Figura 23 Variación temporal de la temperatura máxima	82
Figura 24 Variación espacial de la Temperatura mínima	84
Figura 25 Correlación Altitud Vs Temperatura Media Anual	85
Figura 26 Valores medios mensuales de humedad relativa (%) - Estación Hacienda Las Brisas (2406510)	87
Figura 27 Distribución espacial de la humedad relativa promedio (%) anual.	88
Figura 28 Variación temporal de la evaporación total promedio anual	89
Figura 29 Distribución espacial de la evaporación anual (mm).	90
Figura 30. Variación temporal del Brillo Solar total promedio multianual	92
Figura 31 Distribución espacial de brillo medio anual (hrs), Cuenca del Río Lebrija Medio.	93
Figura 32 Variación temporal de la velocidad media del viento	94
Figura 33 ETP mensual cuenca rio Lebrija Medio.	98
Figura 34 ETR anual Cuenca Rio Lebrija medio.	100
Figura 35 Balance hidroclimático Estación: Villa Leiva	103
Figura 36 Balance hidroclimático Estación: Escuela Agrícola Cáchira	104
Figura 37 Balance hidroclimático Estación: Cachiri	104
Figura 38 Balance hidroclimático Estación: Col Cooperativo	105
Figura 39 Balance hídrico para la cuenca	106
Figura 40. Balance hídrico de largo plazo [mm/año]	108
Figura 41 Grados de humedad de la Cuenca del Río Lebrija Medio.	110
Figura 42 Pisos térmicos de la Cuenca del Río Lebrija Medio	111

Figura 43 Zonificación climática de Caldas - Lang, Cuenca del Río Lebrija Medio.	112
Figura 44 Localización de estaciones hidrológicas identificadas en la cuenca	114
Figura 45 Periodo De Operación De Estaciones	115
Figura 46 Longitud y valores faltantes en series disponibles de caudales líquidos	116
Figura 47 Longitud y valores faltantes en series disponibles en sólidos disueltos	117
Figura 48 Longitud y valores faltantes en series disponibles de sedimentos	117
Figura 49 Longitud y valores faltantes en series disponibles de sedimentos	118
Figura 50 Valores de caudales medios mensuales estación El Topacio (m3/s)	120
Figura 51 Valores de caudales medios mensuales estación San Rafael (m3/s).	121
Figura 52 Valores de caudales medios mensuales estación Café Madrid (m3/s)	122
Figura 53 Valores de caudales medios mensuales estación Angostura (m3/s).	123
Figura 54 Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca Rio Lebrija medio directos	125
Figura 55 Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca Doradas.	126
Figura 56 Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Caño Cuatro	127
Figura 57 Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Quebrada la Tigra.	129
Figura 58 Curva de duración de caudales medios mensuales Subcuenca Rio Cáchira del Espíritu Santo	130
Figura 59 Curva de duración de caudales medios mensuales La Platanala.	131
Figura 60 Curva de duración de caudales medios mensuales subcuenca La Musanda	132
Figura 61 Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – Río Lebrija - Angosturas (2319740).	135
Figura 62. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – R. Santa Cruz – Pte Sardinias (2318513).	135
Figura 63 Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – Q. Stos. Gutiérrez – La Mina (2318720).	136
Figura 64 Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – Q. Stos. Gutiérrez – La Chocóa (2318740).	136
Figura 65. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – R. Lebrija, Café Madrid (2319729).	137
Figura 66. Distribución de frecuencias de caudales máximos mensuales (m3/s) – R. Lebrija, San Rafael.	137
Figura 67 Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – R. Lebrija, Angosturas (2319740).	139
Figura 68 Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – R. Santa Cruz, Pte. Sardinias (2318513).	140
Figura 69 Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – Qda. Stos. Gutiérrez – La Mira (2701735).	140
Figura 70 Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – Qda. Stos. Gutiérrez – La Chocóa (2318740).	141
Figura 71 Distribución de frecuencias de caudales mínimos mensuales (m3/s) – R. Lebrija – Café Madrid (2319729).	141
Figura72 Distribución de frecuencias caudales mínimos mensuales (m3/s) – Río Lebrija – San Rafael (2701735).	142
Figura 73 Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones.	143
Figura 74 Oferta hídrica Total disponibles Cuenca del Rio Lebrija Medio	149
Figura 75 Rendimiento hídrico Anual Cuenca del Rio Lebrija medio.	154
Figura 76 Caudal Ambiental Cuenca del Rio Lebrija medio.	161
Figura 77 Índice de Aridez - IA Cuenca del Río Lebrija Medio.	174
Figura 78 Índice de Retención y Regulación Hídrica.	177
Figura 79 Índice de Uso del Agua condiciones promedio.	180

Figura 80 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico	183
Figura 81 Índice morfométrico para la cuenca hidrográfica Lebrija medio	187
Figura 82 Índice de Variabilidad de Caudales	189
Figura 83 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)	191
Figura 84 IACAL de la cuenca Lebrija medio- período medio normal	201
Figura 85 IACAL de la cuenca Lebrija medio- período seco	205
Figura 86 Gráfica del índice de calidad de la estación Vanegas del río Lebrija medio	213
Figura 87 Gráfica del índice de calidad de la Subcuenca Cáchira del Espíritu Santo	217
Figura 88 Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Cáchira del Espíritu Santo	218
Figura 89 Esquema de los puntos de monitoreo definidos	219
Figura 90 Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Lebrija Medio y Directos	219
Figura 91. Esquema de distribución de puntos de monitoreo e índice de calidad Subcuenca La Tigra	220
Figura 92 Gráfica del índice de calidad de la subcuenca quebrada La Tigra	221
Figura 93 Índice de Calidad de la cuenca Lebrija Medio Condición Hidrológica Seca	222
Figura 94 Gráfica del índice de calidad de la subcuenca Cáchira del Espíritu Santo	226
Figura 95 Gráfica del índice de calidad de la subcuenca de Lebrija Medio y Directos	227
Figura 96 Gráfica del índice de calidad de la Subcuenca Quebrada La Tigra	228
Figura 97 Índice de calidad del Agua en la cuenca Lebrija Medio Condición Hidrológica Húmeda	230
Figura 98 Evaluación integral ERA cuenca Lebrija Medio	234