

**GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN MICROCUENCAS SIN MEDICIONES.
CASO DE ESTUDIO: MICROCUENCA QUEBRADA SAN JOSÉ, MUNICIPIO
JÁUREGUI, ESTADO TÁCHIRA**

Por

Daniela Cristina Rey Romero

Trabajo para optar por el grado de Magister Scientiae en Desarrollo de los Recursos Aguas
y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos
Hidráulicos

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E
INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

MÉRIDA, JULIO 2017

DEDICATORIA

A mis padres, Coromoto Romero y Horacio Rey, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión, sin los cuales no habría podido alcanzar esta meta.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, por abrirme las puertas en el proceso de crecimiento profesional y personal que significó este trabajo. A todo el equipo de trabajo CIDIAT, especialmente a la profesora Ángela Henao por haber creído en mí desde el principio y haber guiado el desarrollo de esta investigación; al profesor José A. Pérez Roas por su valiosa asesoría y orientación desde el inicio de este trabajo; al profesor Roberto Duque por su gentil colaboración y asesoría en el manejo del modelo SIHIM y orientaciones en cuanto a la estimación de la oferta hídrica; al profesor José G. Rosales, por sus valiosos aportes en cuanto al cálculo de las demandas de agua para riego.

A los profesores de la Universidad Nacional Experimental del Táchira que contribuyeron con la consecución de este trabajo. Muy especialmente a la profesora Betty Ramírez, por haber prestado su valiosa y desinteresada colaboración durante todo el desarrollo de la investigación. Igualmente a los profesores del Departamento de Ingeniería Ambiental: Lisbeth Urribarri y Maicol Castillo y al decano de extensión José Andrés Molina, quienes aportaron sus conocimientos para fortalecer este estudio.

Al equipo de trabajo del Departamento de Gestión de Aguas del MINEA-Táchira, en especial a los ingenieros Omar Altuve y Mireles por su iniciativa en realizar la contabilidad del agua en la microcuenca y al Lic. Ramón Ostos por su valioso apoyo y entusiasmo en el trabajo de campo realizado.

Al Sr. Ernesto Duque Márquez, por su importante participación en el trabajo de campo y su visión de lograr una gestión integral del agua en la microcuenca; a las señoras Ramona de Duque, Celina Duque y Rosmary de Morales, por su amable hospitalidad durante las visitas de campo y a toda la comunidad de la quebrada San José, por su receptividad y colaboración.

A mis compañeros de estudio y amigos, los ingenieros Jhoseani León, Walter Rivas y Lionel Fernández, por haberme brindado su amistad e importantes recomendaciones para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
LISTA DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS	xxi
RESUMEN	xxv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Justificación e Importancia	4
1.4 Alcance	7
1.5 Limitaciones	8
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	9
2.1 Antecedentes	9
2.1.1 Ámbito internacional	9
2.1.2 Ámbito nacional	11
2.1.3 Ámbito local	12
2.2 Bases Teóricas	13
2.2.1 Gestión integral de recursos hídricos	13
2.2.1.1 Principios para la GIRH	13
2.2.1 Seguridad hídrica	15
2.2.2.1 Agua virtual y huella hídrica	15
2.2.3 Disponibilidad de agua	16
2.2.4 Cuencas sin mediciones	16
2.2.5 Modelo de simulación hidrológica mensual	18

2.2.6 Demandas de agua	19
2.2.6.1 Demanda doméstica	19
2.2.6.2 Demanda agrícola	20
2.2.6.3 Demanda por servicios ambientales	20
2.2.7 CROPWAT	21
2.2.8 Cuenta del agua	21
2.2.8.1 Definiciones importantes para la cuenta del agua	21
2.2.8.2 Indicadores para la cuenta del agua	23
2.2.9 Conflictos por el uso del agua	24
2.3 Bases legales	25
2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)	25
2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente (2006)	27
2.3.3 Ley de Aguas (2007)	27
2.3.4 Ley Penal del Ambiente (2012)	27
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO	29
3.1 Ubicación	29
3.2 Morfometría de la Microcuenca	29
3.3 Geología	33
3.4 Geomorfología y Suelos	33
3.5 Usos de la Tierra	33
3.6 Población	36
3.7 Sistemas de Riego	38
3.8 Tomas de Agua en la Microcuenca	39
CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO	45
4.1 Naturaleza de la Investigación	45
4.2 Procedimiento	45
4.2.1 Recopilación y sistematización de información básica existente	45
4.2.2 Delimitación espacial y temporal del dominio	47
4.2.3 Cuantificación de la disponibilidad hídrica en la microcuenca	47
4.2.3.1 Calibración del modelo SIHIM	49
4.2.3.2 Simulación de escorrentía para la cuenca del Río Grita	55
4.2.3.3 Transposición de escorrentía a la microcuenca Quebrada San José	55
4.2.3.4 Ajuste de los datos a una distribución de probabilidad	56
4.2.3.5 Generación de curva de variación estacional	58
4.2.4 Estimación y descripción de las demandas del recurso	58
4.2.4.1 Demanda doméstica	58
4.2.4.2 Demanda para riego	59

4.2.4.3	Uso del programa CROPWAT 8.0	67
4.2.4.4	Cálculo de la huella hídrica azul de los cultivos	72
4.2.4.4	Demanda por servicios ambientales	72
4.2.5	Planteamiento de escenarios	73
4.2.6	Balance hídrico	73
4.2.7	Formulación de propuestas para la gestión integral del agua	74
CAPÍTULO 5:	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
5.1	Disponibilidad de agua en la microcuenca	75
5.1.1	Calibración del modelo SIHIM	75
5.1.2	Simulación de escorrentía para la cuenca del Río Grita	78
5.1.3	Transposición de escorrentía a la microcuenca Quebrada San José	78
5.1.4	Ajuste de los datos a una distribución de probabilidad	84
5.1.5	Curva de variación estacional	86
5.2	Demandas de agua en la microcuenca	88
5.2.1	Demanda doméstica	88
5.2.2	Demanda para riego	89
5.2.2.1	Cultivos principales	89
5.2.2.2	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)	92
5.2.2.3	Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c)	93
5.2.2.4	Precipitación efectiva (P_{ef})	95
5.2.2.5	Necesidades de riego de los cultivos (N_r)	96
5.2.2.6	Módulos de riego ($Modr$)	96
5.2.2.7	Demanda de riego actual y potencial	97
5.2.2.8	Huella hídrica azul de los cultivos	98
5.2.3	Demanda por servicios ambientales	99
5.3	Escenarios planteados	100
5.4	Balance hídrico	101
5.4.1	Escenario actual	102
5.4.2	Escenario proyectado A	105
5.4.3	Escenario proyectado B	108
5.4.4	Escenario proyectado C	110
5.5	Propuestas para contribuir con la gestión integral del agua en la microcuenca Quebrada San José	112
5.5.1	Manejo de la demanda	113
5.5.1.1	Modificación de la superficie cultivada	113
5.5.1.2	Optimización de los sistemas de riego	115
5.5.1.3	Mejoras en la infraestructura de los acueductos rurales	115
5.5.2	Manejo de la oferta	116
5.5.2.1	Conservación de la cuenca	116

5.5.2.2 Monitoreo de la disponibilidad real	116
5.5.2.3 Aumento de la capacidad de almacenamiento	118
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6.1 Conclusiones	119
6.2 Recomendaciones	122
REFERENCIAS	125
APÉNDICES	135
A. Datos de precipitación de estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Grita	137
B. Datos de evaporación de estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Grita	151
C. Comparación de caudales de la quebrada San José obtenidos por transposición con factores de corrección (Tc) calculados con precipitación mensual y anual	153
D. Ajuste gráfico para las series mensuales de caudales seudohistóricos de la quebrada San José	160
E. Procedimiento para el cálculo de ETo por el método FAO Penman-Monteith utilizando cuadros meteorológicos presentados en el Anexo 2 del informe de Allan et al. (2006)	184
F. Datos meteorológicos registrados por la estación La Grita (Serial 3109)	186
G. Resultados de la calibración con el modelo SIHIM: Río Grita hasta estación Panamericana	188
H. Mapas de isoyetas mensuales de la cuenca del río Grita. Período 1968-1997	189
I. Requerimientos de riego de los principales cultivos en la microcuenca	201
ANEXOS	
I. Coberturas generadas para la microcuenca y la cuenca patrón	
II. Datos de precipitación mensual de estaciones en el área de influencia del río Grita	
III. Resultados de entrevistas realizadas a productores locales	
IV. Archivos de entrada y salida del SIHIM para la calibración	
V. Archivos de entrada y salida del SIHIM para la simulación	
VI. Coberturas generadas para mapas de isoyetas	
VII. Archivos de entrada y salida para el programa AJUSTEV3	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
2.1 Problemas típicos en las cuencas altas tropicales	26
3.1 Aspectos de morfometría de la microcuenca Quebrada San José	31
3.2 Usos de la tierra en la microcuenca Quebrada San José	34
3.3 Datos de la población de la microcuenca Quebrada San José	36
3.4 Sistemas de riego en la microcuenca	38
3.5 Características de las tomas de agua en la microcuenca	39
4.1 Registros de caudal medio del Río Grita en la estación Panamericana (m^3/s)	50
4.2 Estaciones climatológicas en la cuenca del Río Grita	50
4.3 Registros de precipitación mensual para las estaciones seleccionadas	52
4.4 Evaporación media mensual en la estación La Grita, Serial 3083 (mm)	54
4.5 Precipitación media mensual para el período 1968 a 1997 (mm)	56
4.6 Datos meteorológicos medios registrados por la estación La Grita (Serial 3109), período 1967 – 1973	64
5.1 Área de influencia de las estaciones de precipitación sobre la cuenca del río Grita	75
5.2. Parámetros y variables obtenidos en la calibración del modelo SIHIM para la cuenca del río Grita	77
5.3 Caudales seudohistóricos para la cuenca del río Grita en la estación Panamericana (m^3/s)	79
5.4 Precipitación media mensual sobre las cuencas para el período 1968-1997 (mm)	80
5.5 Factores de corrección de caudales (T_c)	80
5.6. Caudales seudohistóricos para la microcuenca Quebrada San José hasta su confluencia con Río Grita (m^3/s)	81
5.7. Resultados de aforos puntuales de la Quebrada San José antes de su confluencia con el Río Grita (período 2010-2012)	82
5.8. Caudales seudohistóricos para la microcuenca Quebrada San José hasta su confluencia con la quebrada Aguas Calientes (m^3/s)	83
5.9 Coeficientes de asimetría y distribución teórica seleccionada para las series caudales medios mensuales.	86
5.10 Caudales mensuales de la quebrada San José para distintas probabilidades de excedencia (L/s)	87
5.11 Demanda doméstica en la microcuenca	88
5.12 Rubros cultivados en la microcuenca	89

5.13 Porcentaje del área aprovechada por los cultivos principales	91
5.14 Evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada con datos de la estación La Grita (Serial 3109)	92
5.15 Duración de las etapas de crecimiento de los cultivos (días)	93
5.16 Datos de entrada al CROPWAT 8.0 para el cálculo de ET_c	94
5.17 Patrón de cultivos	94
5.18. Precipitación total y efectiva sobre la microcuenca Quebrada San José (mm)	95
5.19 Necesidades de riego de los cultivos	96
5.20 Módulos de riego	97
5.21 Demanda para riego (L/s)	98
5.22 Huella hídrica azul de los cultivos	99
5.23 Caudal medio mensual y caudal ecológico de la microcuenca (L/s)	100
5.24 Escenarios planteados	100
5.25 Cuenta de agua para el escenario actual	103
5.26 Cuenta de agua para el escenario proyectado A	107
5.27 Cuenta de agua para el escenario proyectado B	109
5.28 Cuenta de agua para el escenario proyectado C	111
5.29 Disponibilidad de agua para riego	113
5.30 Especies arbóreas sugeridas para reforestación	117

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.1 Árbol de problemas	5
1.2 Árbol de objetivos	6
2.1 Marco general para la GIRH	14
2.2 Esquema de la cuenta de agua en cantidad	23
3.1 Ubicación relativa de la microcuenca Quebrada San José	30
3.2 Hidrografía de la microcuenca Quebrada San José	32
3.3 Vista de la vertiente izquierda de la microcuenca a la altura del sector El Alto	34
3.4 Ganadería de altura en el sector Montegrande	35
3.5 Arado con yunta de bueyes en el sector Las Piedras	35
3.6 Caseríos de la microcuenca Quebrada San José	37
3.7 Sitios de toma en la microcuenca	40
3.8 Aforo de la quebrada en sitio de toma 1 (16 de agosto de 2016)	41
3.9 Canal artesanal “La Toma”	42
3.10 Aforo de la quebrada en sitio de toma 4 (16 de agosto de 2016)	42
3.11 Tanque australiano en el sector Loma del Trigo	43
4.1 Diagrama de flujo del procedimiento propuesto	46
4.2 Metodología para estimar la oferta de agua en una microcuenca sin información	48
4.3 Cuenca del Río Grita hasta la estación Panamericana	51
4.4 Procedimiento para calcular ET_c por el enfoque de K_c único a nivel de planificación	65
4.5 Ejemplo de una curva del coeficiente del cultivo	66
4.6 Ventana de inicio de CROPWAT 8.0	67
4.7 Módulo de Clima/ ET_0 en CROPWAT 8.0	68
4.8 Menú de opciones para el Módulo Clima/ ET_0 en CROPWAT 8.0	68
4.9 Módulo de Precipitación en CROPWAT 8.0	69
4.10 Menú de opciones para el Módulo Precipitación en CROPWAT 8.0	69
4.11 Módulo de Cultivo en CROPWAT 8.0	70
4.12 Módulo de cálculo del requerimiento de agua del cultivo (RAC) en CROPWAT 8.0	71
4.13 Módulo de Patrón de cultivos en CROPWAT 8.0	71
5.1 Mapa de isoyetas anuales (1968 – 1997) de la cuenca del Río Grita hasta la estación Panamericana	76
5.2 Caudales observados y simulados y precipitación media en la cuenca patrón	

durante el período 1969 a 1974	78
5.3 Caudales de abril (l/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal	85
5.4 Caudales de abril (l/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal	85
5.5 Curvas de variación estacional del caudal de la quebrada San José para diferentes probabilidades de excedencia	87
5.6 Porcentaje de productores que siembran los principales cultivos	90
5.7 Porcentaje del área total sembrada con los principales cultivos	91
5.8 Evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada con datos de la estación La Grita (Serial 3109)	92
5.9 Precipitación total y efectiva sobre la microcuenca Quebrada San José	95
5.10 Módulos de riego mensuales	97
5.11 Esquema de la cuenta de agua para la microcuenca	101
5.12 Confrontación oferta-demanda para el escenario actual	102
5.13 Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado A	106
5.14 Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado B	108
5.15 Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado C	110
5.16 Disponibilidad de agua para riego	114
5.17 Laderas deforestadas en el sector El Alto	116
5.18 Mira instalada en nacimiento de la quebrada San José, sector Páramo La Tigra	117

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación	Pág.
2.1 Fracción de agotamiento bruto	23
2.2 Fracción de agotamiento neto	24
2.3 Fracción de agotamiento en procesos bruto	24
2.4 Fracción de agotamiento en procesos neto	24
2.5 Fracción de agotamiento en procesos disponible	24
2.6 Fracción de agotamiento en procesos agotado	24
2.7 Indicador de utilización benéfica bruto	24
2.8 Indicador de utilización benéfica neto	24
2.9 Indicador de utilización benéfica disponible	24
2.10 Indicador de utilización benéfica agotado	24
4.1 Dato faltante de precipitación	52
4.2 Precipitación del mes i	53
4.3 Precipitación mensual sin considerar el dato englobado	53
4.4 Método de proporción normal para cálculo de datos faltantes	53
4.5 Precipitación media sobre la cuenca	54
4.6 Factor de transposición de caudales	55
4.7 Caudal de la cuenca en estudio por método de transposición	55
4.8 Ecuación de Weibull para probabilidad empírica	57
4.9 Demanda doméstica	58
4.10 Método geométrico para proyectar población	59
4.11 Demanda para riego	60
4.12 Módulo de riego mensual	60
4.13 Necesidades de riego de los cultivos	61
4.14 Evapotranspiración del cultivo	62
4.15 Método de FAO-Penman-Monteith	62
4.16 Precipitación efectiva para ($P_t \leq 250$ mm) – Método USDA SCS	66
4.17 Precipitación efectiva para ($P_t > 250$ mm) – Método USDA SCS	66
4.18 Huella hídrica azul	72
4.19 Consumo de agua superficial para la producción del cultivo	72
4.20 Caudal ecológico	73
4.21 Fracción de agotamiento benéfico bruto	74
4.22 Fracción de agotamiento benéfico agotado	74
4.23 Fracción de agotamiento benéfico no comprometido	74

LISTA DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

A_{est}	Área de la microcuenca en estudio (ha; km ²)
A_i	Precipitación mensual sin considerar el dato englobado (mm)
A_{ij}	Área entre isoyetas (ha; km ²)
A_{pat}	Área de la cuenca patrón (ha; km ²)
A_r	Área bajo riego (ha)
A_T	Área total de la cuenca (km ²)
AIAS	Almacenamiento inicial del agua subterránea (mm)
AIHS	Almacenamiento inicial de humedad del suelo (mm)
AISUP	Almacenamiento inicial superficial (mm)
C_c	Coefficiente de circularidad de Miller
CINF	Capacidad de infiltración (mm)
CT	Coefficiente para convertir evaporación de tina a evapotranspiración del cultivo de referencia
CWU_{azul}	Consumo de agua superficial para la producción del cultivo (m ³ /ha)
D_d	Demanda doméstica (l/s)
Dot	Dotación (l.hab ⁻¹ .d ⁻¹)
D_r	Demanda para riego (l/s)
e_a	Presión real de vapor (kPa)
e_s	Presión de vapor de saturación (kPa)
$e_s - e_a$	Déficit de presión de vapor (kPa)
ET_{azul}	Déficit de precipitación que debe suministrarse con el riego para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo (mm)
ET_c	Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (mm.d ⁻¹)
ET_0	Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.d ⁻¹)
FA	Fracción de agotamiento
FA_{bruto}	Flujo agotado con respecto al flujo bruto entrante
FA_{neto}	Flujo agotado con respecto al flujo neto entrante
FP	Fracción de agotamiento en procesos
$FP_{agotado}$	Flujo agotado en procesos con respecto al flujo agotado
FP_{bruto}	Flujo agotado en procesos con respecto al flujo bruto entrante
$FP_{disponible}$	Flujo agotado en procesos con respecto al flujo de agua disponible
FP_{neto}	Flujo agotado en procesos con respecto al flujo neto entrante
G	Flujo de calor del suelo (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)
HSN	Capacidad nominal del almacenamiento de humedad del suelo (mm)

K_c	Coeficiente del cultivo
$K_{c\text{ inic}}$	Coeficiente del cultivo durante la etapa inicial de crecimiento
$K_{c\text{ med}}$	Coeficiente del cultivo durante la etapa de mediados de temporada
$K_{c\text{ fin}}$	Coeficiente del cultivo al finalizar la etapa final de crecimiento
KC	Coeficiente de compacidad
m	Posición de un valor en una lista ordenada por magnitud ascendente
Mod_r	Módulo de riego ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)
n	Número total de valores
N_a	Precipitación media anual (mm)
N_i	Precipitación media del mes i (mm)
N_n	Precipitación media anual de la estación vecina (mm)
N_x	Precipitación media anual de la estación en estudio (mm)
N_{ri}	Necesidad de riego del cultivo i (mm.d^{-1})
\bar{P}	Precipitación media sobre la cuenca (mm)
P_a	Precipitación total del año (mm)
P_{acum}	Precipitación acumulada o englobada (mm)
P_{ef}	Precipitación efectiva para el período considerado (mm)
P_{est}	Precipitación media mensual de la microcuenca en estudio (mm)
P_i	Precipitación del mes i (mm)
P_{ij}	Precipitación media caída entre isoyetas (mm)
P_n	Precipitación de la estación vecina durante el mismo período que el dato faltante (mm)
P_{pat}	Precipitación media mensual de la cuenca patrón (mm)
P_t	Precipitación total para el período considerado (mm)
P_x	Dato faltante de precipitación (mm)
$P_{X < x}$	Probabilidad de que X sea menor al valor x
PQB	Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como caudal base
PESC	Fracción del almacenamiento mensual que se convierte en escurrimiento mensual
PFSE	Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente
Pob	Población (hab)
Pob_F	Población futura o proyectada (hab)
Pob_{UC}	Población del último censo (hab)
\bar{Q}	Caudal medio mensual (l/s)
Q_{eco}	Caudal ecológico o demanda por servicios ambientales (l/s)
Q_{est}	Caudal medio mensual para la microcuenca en estudio (m^3/s)
Q_{pat}	Caudal medio mensual para la cuenca patrón (m^3/s)
r	Tasa de crecimiento anual

R_n	Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)
R_{nl}	Radiación neta de onda larga ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
R_{ns}	Radiación solar neta o radiación neta de onda corta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
R_f	Factor de forma de Horton
RAC	Requerimiento del agua del cultivo
SIHIM	Modelo de simulación hidrológica mensual
T_c	Factor de corrección de la microfrecuencia en estudio
T	Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)
T_{\max}	Temperatura máxima del aire ($^{\circ}\text{C}$)
T_{\min}	Temperatura mínima del aire ($^{\circ}\text{C}$)
t_F	Año de la proyección
t_{UC}	Año del último censo
u_2	Velocidad del viento a 2 m de altura ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
UB	Indicador de utilización benéfica
UB_{agotado}	Agua utilizada benéficamente con respecto al flujo agotado
UB_{bruto}	Agua utilizada benéficamente con respecto al flujo bruto entrante
$UB_{\text{disponible}}$	Agua utilizada benéficamente con respecto al flujo de agua disponible
UB_{neto}	Agua utilizada benéficamente con respecto al flujo neto entrante
UB_{NC}	Agua utilizada benéficamente con respecto al flujo no comprometido
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
WF_{azul}	Huella hídrica azul (l/kg)
Y	Rendimiento promedio del cultivo (kg/ha)
z	Altitud (msnm)
γ	Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor a saturación ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
ΣP_j	Precipitación anual sin contar el mes con el dato faltante (mm)
$\%A_{ri}$	Porcentaje del área regada sembrada con el cultivo i (%)

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E
INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras.
Mención: “Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos”

GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN MICROCUENCAS SIN MEDICIONES.
CASO DE ESTUDIO: MICROCUENCA QUEBRADA SAN JOSÉ, MUNICIPIO
JÁUREGUI, ESTADO TÁCHIRA

Autor: Daniela C. Rey Romero

Tutor: Dra. Ángela M. Henao O.

Co-Tutor: MSc. José A. Pérez R.

RESUMEN

Las fuentes de agua superficial en la microcuenca Quebrada San José, del municipio Jáuregui, estado Táchira, están sometidas a fuertes presiones, debido a los crecientes requerimientos agrícolas y a que las autoridades competentes en la administración del recurso carecen de información sobre variables hidrológicas a escalas espaciales y temporales apropiadas, por lo que no poseen criterios para tomar decisiones objetivas sobre la asignación del agua a los usuarios. Por esta razón, se estimó la oferta hídrica aplicando simulación hidrológica y transposición de caudales, encontrando que la disponibilidad mínima se tiene en los meses de enero a marzo, con un caudal de aproximadamente 50 l/s, para un 95% del tiempo. Se evaluaron las principales demandas de agua (doméstica, agrícola y ambiental), siendo la demanda para riego la más significativa, resultando 520 l/s para el mes más crítico (marzo), bajo la situación de manejo actual. Esta información permitió realizar balances hídricos, para distintos escenarios de gestión del recurso y, a partir de estos, obtener indicadores de utilización benéfica, de acuerdo a la metodología de la Cuenta del Agua. El análisis de los indicadores reflejó que para los meses secos las demandas no quedan satisfechas debido a que la disponibilidad está muy restringida; que existen importantes pérdidas de agua por ineficiencia del riego y que los usos actuales están comprometiendo el caudal aguas abajo de la quebrada. Por último, se formularon estrategias para contribuir a una gestión integral del agua, dirigidas a aumentar la disponibilidad y a reducir las demandas de los usuarios.

Palabras clave: disponibilidad, simulación, transposición, demandas, riego, indicadores, microcuenca.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se explican los motivos que impulsaron el desarrollo de esta investigación, sus objetivos, justificación, importancia, alcance y limitaciones.

1.1 Planteamiento del Problema

El agua es probablemente el recurso natural que más ha impulsado el desarrollo de las civilizaciones desde sus inicios. Se considera un recurso multifuncional, debido a que es fuente de vida, medio de transporte y producción, sirve como hábitat y constituye un producto de primera necesidad para el ser humano. No obstante, en las últimas décadas se ha hecho evidente que los recursos mundiales de agua fresca se encuentran bajo presiones crecientes; situación que se atribuye al modelo de desarrollo adoptado por la mayoría de los países, al crecimiento poblacional y al incremento de las actividades económicas.

Datos de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, 2000) indican que durante el siglo XX la población mundial creció por un factor aproximado de tres, mientras que el uso del agua se incrementó por un factor aproximado de siete. Esta disparidad explica que para inicios del siglo XXI un tercio de la población mundial vivía en países que experimentaban tensiones medianas a elevadas vinculadas al recurso hídrico. Actualmente, más de una década después se estima que ese factor ha seguido creciendo, lo cual es reflejado por datos de las Naciones Unidas (ONU, 2017), en los que se señala que más del 40% de la población mundial se encuentra en situación de escasez de agua y aproximadamente 1700 millones de personas viven en cuencas fluviales, en las cuales el consumo de agua es superior a la recarga.

Además de la escasez generalizada de los recursos de agua dulce, Sadoff y Muller (2010) expresan que la destrucción gradual de las fuentes hídricas, su creciente contaminación y la implantación progresiva de actividades incompatibles en muchas regiones del mundo, son realidades que exigen la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos. La ONU (2017) puntualiza los principales síntomas que se padecen actualmente a nivel mundial por la falta de coordinación en la gestión de los recursos hídricos, destacándose el alto índice de enfermedades de origen hídrico en la población infantil, las descargas de aguas residuales sin previo tratamiento a cuerpos de agua, el elevado consumo de agua para riego, la carencia de servicios básicos de saneamiento de un gran número de personas, entre otros.

En consecuencia a lo anteriormente expuesto, desde hace más de 25 años, se ha venido manejando a nivel mundial el concepto de gestión integral de los recursos hídricos (Shah, 2016). Como ejemplo de ello, conviene citar a Dourojeanni, quien para el año 1993 expresaba que la gestión integral del agua se fundamenta en reconocer los actores que

actúan sobre la cuenca, precisar sus necesidades y criterios, realizar diagnósticos, inventarios y evaluaciones, con el fin de identificar los obstáculos y posibles soluciones que puedan llevarse a cabo a través de diferentes estrategias y programas. Debe destacarse la importancia de la regularización de los usuarios, con indicación de volúmenes de agua, calidad, lugar, régimen y otros, como estrategia clave para la gestión integral de las aguas.

Según Shah (2016) este concepto aparentemente sencillo, no ha sido nada fácil de implementar en la práctica. Este autor, a su vez, plantea que tradicionalmente la gestión de los recursos hídricos ha estado dominada por la infraestructura hídrica y por soluciones encaminadas a aumentar la oferta, debido a que en general las fuentes de agua eran abundantes y resultaba sencillo llegar a acuerdos para compartirlas. En contraste a ello, la gestión actual de los recursos hídricos está enfocándose en el medio ambiente, el manejo de la demanda y la participación de los actores; reconociendo que el manejo sabio de los recursos hídricos es fundamental para el desarrollo económico y social de una nación.

La crisis del recurso agua también se ha venido manifestando en Venezuela, país con inmensas riquezas hídricas que hoy día se ven bastante comprometidas, debido a la creciente competencia por el uso de las mismas. Se debe resaltar que esta competencia ya no es únicamente por disponibilidad en cuanto a cantidad, sino también por la calidad del recurso y su oportunidad de aprovechamiento. La legislación venezolana, a través de la Ley de Aguas (2007), establece las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, lo cual es de carácter estratégico e interés de Estado.

No obstante, en el país ha prevalecido el enfoque sectorial en la gestión del recurso agua, generando un manejo y desarrollo fragmentado y descoordinado del mismo. El Banco Mundial (1994) explica que la gestión fragmentada del agua en un país se hace evidente cuando el Estado organiza sus actividades de manera tal que cada uso del agua es administrado por una institución distinta (por ejemplo: abastecimiento humano, riego, transporte, hidroelectricidad), cada una de las cuales se hace responsable de sus propias operaciones y no depende de las demás. Así mismo, los asuntos relacionados con cantidad y calidad del agua, los aspectos sanitarios y ambientales, o aquellos relacionados con aguas superficiales y subterráneas, todos se abordan de forma aislada, sin interacción entre las instituciones competentes (Banco Mundial, 1994).

Un ejemplo de esta realidad nacional se presenta en la microcuenca Quebrada San José, localizada en el municipio Jáuregui del estado Táchira. En la actualidad, esta cuenca se encuentra altamente intervenida, principalmente por actividades agrícolas. Según conversaciones sostenidas con productores locales, se estima que en dicha área se cultiva alrededor del 70% de los rubros agrícolas del municipio. Si bien la naturaleza ha privilegiado a este sector por la abundancia de fuentes de agua superficial, actualmente son

evidentes serios conflictos entre los usuarios, originados por los crecientes requerimientos para fines agrícolas.

La falta de planificación para la gestión integral del agua en la microcuenca se evidencia en el hecho de que no existe información respecto a la disponibilidad del recurso, se desconocen cuáles son los usos actuales del agua y quiénes son los usuarios, de manera que no se han contabilizado las demandas hídricas que éstos ejercen. Ello ha resultado en que los actores involucrados en la gestión del agua (usuarios, autoridades, funcionarios públicos, y planificadores) carezcan de criterios para tomar decisiones objetivas en cuanto al aprovechamiento del recurso.

En consecuencia, se vienen manifestando situaciones problemáticas en torno al agua, entre las cuales se puede mencionar que actualmente el uso doméstico se surte de las mismas fuentes de las cuales los productores agrícolas captan el agua para cubrir sus demandas. Esta circunstancia se ha venido tornando un inconveniente, especialmente en temporada seca, pues se han evidenciado fallas en el suministro de agua para consumo humano.

Adicionalmente, la falta de una apropiada organización entre los productores ha llevado a que el riego de los cultivos no se realice en función a los requerimientos hídricos de éstos, sino de acuerdo a asignaciones arbitrarias que deciden los comités de riego en función al número de usuarios. Por otra parte, se ha detectado de forma generalizada que las actividades agrícolas son realizadas sin incluir prácticas conservacionistas, resultando esto en un detrimento de la calidad de los recursos suelo y agua. Con base en estos planteamientos, puede esperarse que disminuya la productividad de las tierras agrícolas, con las consecuentes pérdidas económicas que ello implica.

Por lo anteriormente expuesto, es probable que los usos actuales del agua estén comprometiendo el caudal ecológico en la microcuenca, el cual debe preservarse para el mantenimiento de servicios ambientales, tales como: conservación de la biodiversidad en el cauce, dilución de efluentes, derechos de usuarios aguas abajo, entre otros (Mora, 2013). La reducción de este caudal puede agravar el detrimento de los recursos agua y suelo, lo cual, a su vez, repercute negativamente en las actividades agrícolas.

En síntesis, resulta evidente que la gestión actual que se le da al recurso hídrico está muy lejos de ser integral, debido a que para ello, tal como lo expone Velazco (2005), el primer requisito consiste en poseer un conocimiento de la cantidad, calidad y usos actuales y futuros del agua en la cuenca. Así mismo, puede afirmarse que la situación actual está comprometiendo el bienestar social de los habitantes del sector. En otras palabras, la gestión actual lleva a cuestionar que pueda alcanzarse la seguridad hídrica en la microcuenca, entendiéndose ésta como “la disponibilidad de una cantidad y calidad aceptable de agua para la salud, los medios de vida, los ecosistemas y la producción,

aunado a un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua a las personas, los ambientes y las economías” (Grey y Sadoff, 2007).

Por estas razones surge la necesidad de realizar esta investigación, la cual busca responder a la interrogante de ¿cómo se puede abordar la gestión de los recursos hídricos en una microcuenca sin información básica? Con base en los argumentos presentados, se elaboraron los esquemas que se presentan en las Figuras 1.1 y 1.2, los cuales exponen, respectivamente, los problemas identificados en la cuenca y los objetivos formulados para resolverlos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer una metodología para la gestión de recursos hídricos en microcuencas sin mediciones, aplicada al caso de la microcuenca Quebrada San José, municipio Jáuregui, estado Táchira.

1.2.2 Objetivos específicos

1.2.2.1 Determinar la cantidad de agua superficial disponible en la microcuenca.

1.2.2.2 Estimar las demandas existentes y proyectadas del recurso agua en la microcuenca.

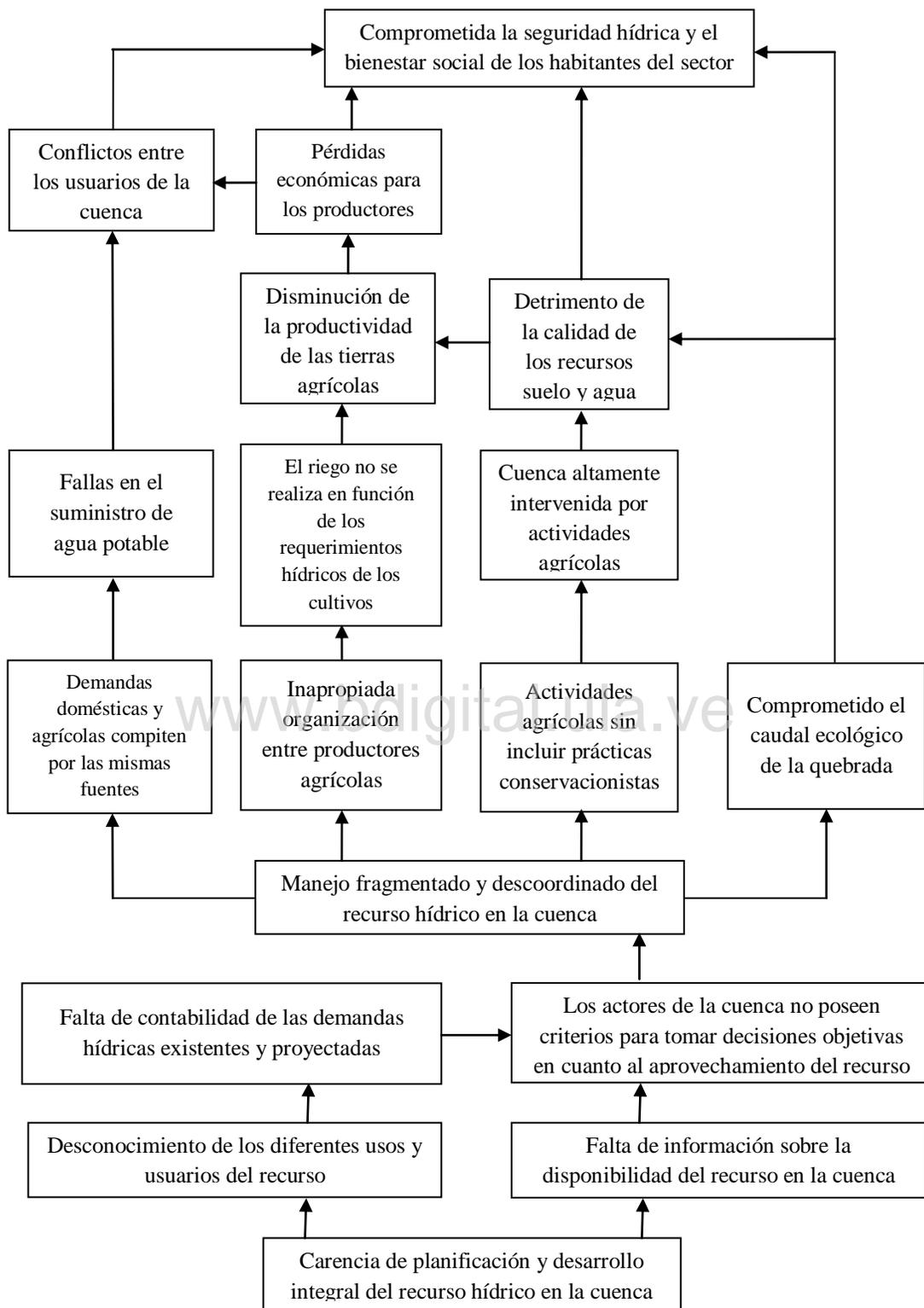
1.2.2.3 Analizar los conflictos actuales y/o potenciales asociados a los diferentes usos del agua, bajo diferentes escenarios de gestión.

1.2.2.4 Proponer medidas de gestión orientadas al aprovechamiento integral del agua en la microcuenca.

1.3 Justificación e Importancia

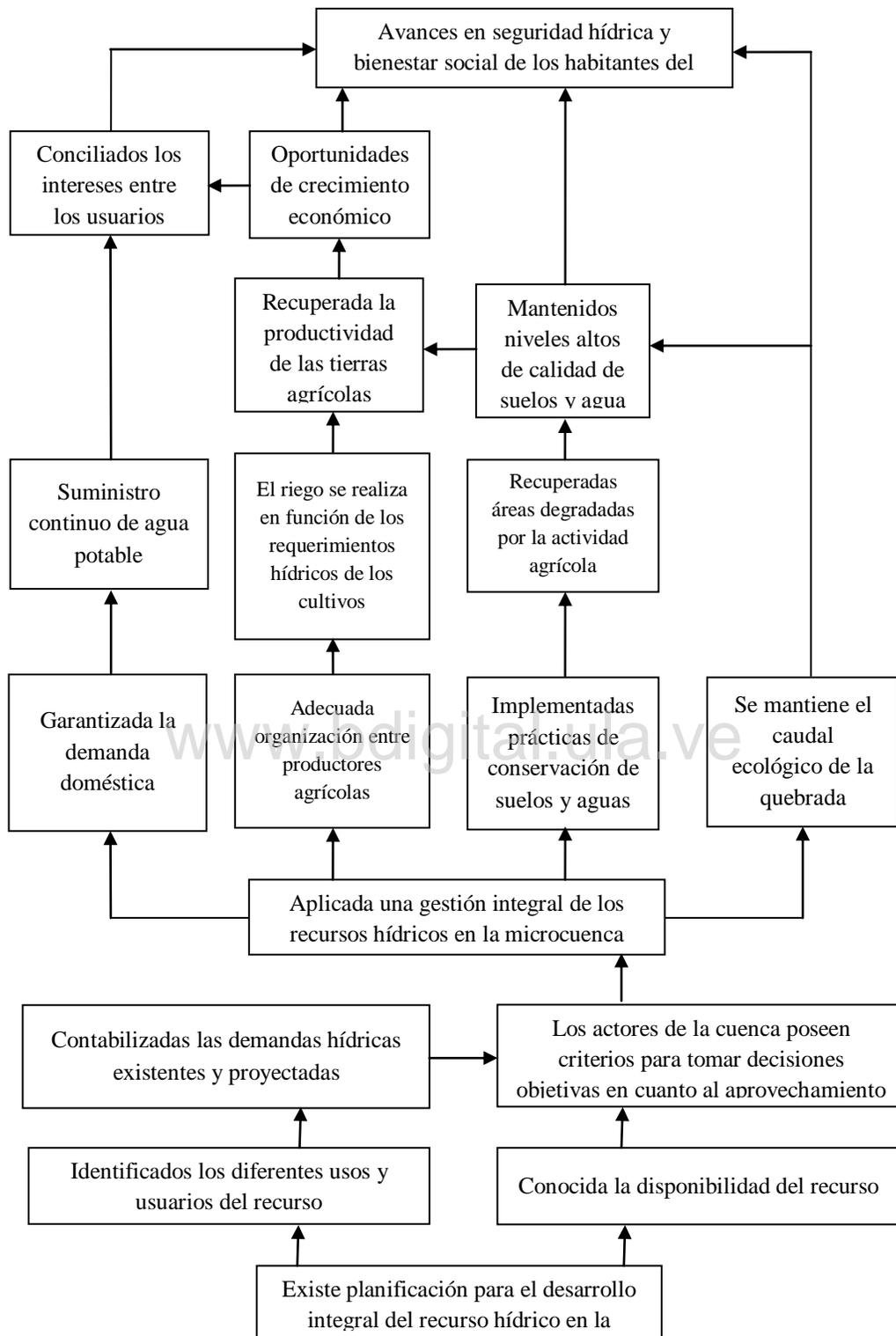
Esta investigación representa un estudio de línea base que servirá como punto de partida para la implementación de una gestión integral del agua en la microcuenca objeto de estudio. En lo referente a la oferta hídrica, en el contexto venezolano, un problema recurrente es la falta de información básica, sobre todo en cuanto a caudales, situación que se deriva de la poca información hidrometeorológica existente. La microcuenca en estudio no escapa a esta realidad, por lo cual resultó fundamental implementar una metodología que permitiera estimar, su disponibilidad de agua superficial.

Adicionalmente, el presente trabajo deja un precedente en cuanto a la estimación de las demandas hídricas en el sector. Por lo tanto, los resultados de esta investigación brindarán un aporte práctico, ya que permitirán a las autoridades competentes (específicamente al Departamento de Gestión de Aguas del Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.1. Árbol de problemas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.2. Árbol de objetivos.

y Aguas, MINEA, sede Táchira) la toma objetiva de decisiones en lo concerniente a la tramitación de autorizaciones y aprobaciones de concesiones, asignaciones y licencias de aprovechamiento de recursos hídricos en la microcuenca Quebrada San José.

Por otra parte, esta investigación representa un avance en la búsqueda de la seguridad hídrica de la región, lo cual llevará que se beneficie la comunidad de la microcuenca, Así mismo, este estudio tiene un aporte metodológico, ya que los métodos planteados y utilizados para contribuir con la gestión integral del agua en el área de estudio, podrán adaptarse a otras microcuencas rurales del estado Táchira, e incluso a nivel nacional e internacional.

Finalmente, cabe resaltar que esta investigación servirá como un aporte a otros planificadores del recurso o a instituciones como el Instituto para la Conservación y Control de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), el cual actualmente está emprendiendo diferentes proyectos conducentes a la gestión integral del agua en la cuenca del Río Grita, a la cual pertenece esta microcuenca. A su vez, también se verán beneficiadas otras instituciones, tales como el Instituto Nacional de Desarrollo Rural (INDER), la Corporación de Los Andes (CORPOANDES) y el Instituto Autónomo de Producción Rural del estado Táchira (IAPRET), por ser estos responsables de brindar apoyo técnico y/o financiamiento a los productores agrícolas en proyectos vinculados al uso del agua para riego.

1.4 Alcance

A través de esta investigación se propone una metodología para abordar la gestión del agua en microcuencas sin mediciones, la cual se aplicó al caso de la microcuenca Quebrada San José. Como parte del estudio, no se contempló la validación de dicha metodología, debido a que para ello, la misma se debe aplicar en otras microcuencas.

En relación al alcance temporal, se realizó la contabilidad del agua superficial en función de la situación actual y una situación futura, proyectando las variaciones en las diferentes demandas del vital líquido en la microcuenca. El escenario actual correspondió al año 2016 y se consideró un horizonte de planificación de 20 años, es decir hasta el 2036. En relación a la situación futura no se consideró el cambio climático.

En cuanto a la delimitación espacial del estudio, se consideró el área de drenaje de la quebrada San José desde su nacimiento en el páramo La Tigra hasta un punto aguas arriba de la confluencia con la quebrada Aguas Calientes; debido a que no se contaba con información básica respecto al inventario de los sistemas de riego que se han instalado en este tributario.

Finalmente, conviene aclarar que dentro del alcance de esta investigación no se contempló la implementación de las alternativas propuestas para la gestión del recurso hídrico. Se recomienda, por tanto, que dichas líneas de acción sean discutidas y puestas en práctica por los actores de la cuenca.

1.5 Limitaciones

Con respecto a la calidad del agua, la misma es un factor determinante de los posibles usos del recurso, de manera que es fundamental considerarla en el proceso de planificación. Sin embargo, no fue posible abarcar estudios de calidad del agua, debido a que no se han realizado suficientes estudios en la cuenca, y únicamente se contaba con información puntual obtenida por el ICLAM para el período 2010-2012. Así mismo, no se planteó evaluar condiciones actuales de calidad, debido a las dificultades que se presentan actualmente, a nivel nacional, para adquirir reactivos químicos, equipos e insumos necesarios para realizar los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se mencionan los estudios internacionales, nacionales y locales que sirvieron como antecedentes para abordar los diferentes objetivos de esta investigación. Así mismo, se presentan los fundamentos teóricos y definiciones que soportan los análisis y resultados presentados y las bases legales relacionadas con la investigación.

2.1 Antecedentes

A continuación se reseñan los antecedentes más resaltantes en el ámbito internacional, nacional y local, relacionados con la gestión de recursos hídricos, los cuales fueron de utilidad para el desarrollo de este estudio.

2.1.1 Ámbito internacional

En el campo de la planificación y gestión de los recursos hídricos, es esencial contar con suficientes y adecuadas mediciones de caudal, lo cual permite definir la disponibilidad de agua en una cuenca. Sin embargo, en muchas regiones del mundo existen numerosos ríos que carecen de mediciones o que poseen períodos de registros muy cortos, lo cual representa un obstáculo en la toma de decisiones respecto al aprovechamiento del recurso para diferentes fines (Swain y Patra, 2015). Para tratar de superar esta situación, Sivapalan y otros (2003) explican que, a nivel mundial, los hidrólogos han venido implementando diferentes estrategias que permiten estimar la disponibilidad en una cuenca a través de métodos indirectos. Entre estos pueden referirse: métodos empíricos, método racional, hidrogramas unitarios, modelos de simulación paramétrica, entre otros (Sivapalan y otros, 2003; Blöschl, 2016).

Para ilustrar algunos de los métodos empíricos, conviene citar el estudio impulsado por el Instituto de Hidrología de España y la UNESCO, en el cual autores como Skolov, Chapman y Heras (1981) plantean que el caudal medio de un río sin estaciones de aforo, puede determinarse a través de mapas de isolíneas de escorrentía, técnica que en su momento, fue muy utilizada por la Unión Soviética. En este caso, el cálculo del caudal medio en la cuenca se realiza de forma análoga a como se determina la precipitación media por el método de isoyetas.

A su vez, Skolov (ob. cit) plantean la transposición de caudales desde una cuenca con datos a una cuenca sin información, mediante un factor que relaciona las precipitaciones medias anuales de cada una de las cuencas. En este caso, las cuencas deben ser afines, tomando como criterios para la semejanza: sus características fisiográficas, hidrográficas, morfológicas, entre otras. De acuerdo a Goodwing y Young (2007) esta técnica ha sido

utilizada ampliamente por investigadores ingleses, quienes para el cálculo del factor de transposición, además de la precipitación, consideran el área de drenaje de cada cuenca, debido a que de esta forma han encontrado mejores aproximaciones.

Adicionalmente, Skolov y otros (1981), explican que en regiones sin información hidrométrica, se puede hacer una evaluación aproximada del caudal medio de ríos medianos y grandes mediante la ecuación del balance hídrico para un largo período de tiempo. En este sentido, el caudal medio se considera la diferencia entre la precipitación y la evaporación media sobre una cuenca.

Aunque las técnicas referidas anteriormente son relativamente sencillas, no han llevado a resultados satisfactorios para algunas aplicaciones en la gestión de los recursos hídricos. Por esta razón, Sivapalan y otros (2003) señalan que se han desarrollado modelos de simulación que se basan en representaciones más realísticas y rigurosas de los procesos ambientales que tienen lugar dentro de una cuenca y que permiten predecir el comportamiento de la escorrentía en un cauce aun cuando no se tengan registros históricos. Estos autores también mencionan que actualmente hay una gran cantidad de modelos de simulación hidrológica que permiten obtener caudales seudohistóricos de un río a partir de datos de precipitación, evaporación, características geomorfológicas de la cuenca, entre otros. Algunos de estos modelos se explican en los trabajos de Gumindoga y otros (2016), Swain y Patra (2015), De Hamer y otros (2007) y Rojas-Serna y otros (2006).

En otro orden de ideas, se hizo una revisión de investigaciones orientadas a la estimación de las demandas hídricas. En relación al estudio de las demandas de agua para riego, se obtuvieron aportes del trabajo presentado por Morábito y otros (2002), quienes determinaron las necesidades de riego de los principales cultivos en el área de influencia del río Mendoza, Argentina. Para ello hicieron uso del software CROPWAT 8.0, desarrollado por Swennenhuis (2009), el cual les permitió modelar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) a partir de datos meteorológicos obtenidos por diferentes estaciones ubicadas en el área de estudio. De igual forma, mediante el software antes mencionado se determinó la evapotranspiración máxima mensual (ET_c) para los cultivos más representativos en la región.

Así mismo, es oportuno mencionar el trabajo de Díez (2005), quien estableció bases metodológicas para la determinación del caudal ecológico en el contexto colombiano. Según este autor, lo más apropiado es utilizar métodos ecohidráulicos, los cuales utilizan una combinación de datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos para evaluar cómo inciden los cambios de caudal en la estructura del cauce, la calidad del agua, la temperatura y la diversidad biológica que se desarrolla en un río. No obstante, ante la falta de esta información, el autor menciona que, para obtener una primera aproximación de este caudal,

es posible utilizar la metodología expuesta por la legislación francesa, la cual recomienda utilizar el 10% del caudal medio anual de la corriente en estudio.

2.1.2 Ámbito nacional

En el contexto nacional, Rázuri y otros (2008), estimaron las diferentes demandas de agua en la zona de Santa Rosa, en la ciudad de Mérida, como punto de partida para la planificación de los recursos hidráulicos. El trabajo de estos autores brindó aportes en lo concerniente al cálculo de las demandas hídricas poblacionales actuales y futuras. Adicionalmente permitió ilustrar el procedimiento para el cálculo de los requerimientos agrícolas, mediante el uso del software CROPWAT 8.0 (Swennenhuis, 2009).

En relación a la determinación de la disponibilidad del recurso agua, resultó valioso el trabajo de Naranjo y Duque (2004), quienes estimaron la oferta de agua superficial en la cuenca alta del río Chama, en Mérida, Venezuela, a partir de valores anuales de precipitación y de caudales medios mensuales registrados en la cuenca. En dicho trabajo se utilizó el método de transposición de caudales para calcular un valor aproximado de oferta hídrica en diferentes unidades hidrológicas o subcuencas, definidas por los sitios de toma. Adicionalmente, los autores analizaron los conflictos de uso del agua con base en los resultados del balance hídrico, condiciones ecológicas del agua, usos de la tierra y otros aspectos socioeconómicos que influyen en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Por otra parte, Peña (2006) evaluó los indicadores de uso y valor económico del agua en la microcuenca Quebrada Timiache, tributaria del río Carache, el cual a su vez es parte de la cuenca del Río Motatán del estado Trujillo. Dicho estudio brindó un importante aporte a esta investigación, debido a que presenta una metodología para la determinación de la oferta hídrica en la microcuenca de interés, la cual carece de registros históricos de escorrentía. Para el logro de este propósito, la autora planteó el uso del modelo de Simulación Hidrológica Mensual (SIHIM), el cual fue calibrado para la subcuenca del Río Carache, considerada cuenca piloto o patrón, la cual sí poseía mediciones históricas de caudal.

Posteriormente, se emplearon los parámetros de calibración obtenidos para generar la información de caudales promedio mensuales para la quebrada Timiache para un período de 25 años, lo cual permitió construir la curva de variación estacional, para caudales asociados a probabilidades del 95 y 80%. Por su parte, las diferentes demandas hídricas fueron obtenidas directamente en campo, resaltando la demanda para abastecimiento humano, seguida de la demanda industrial, y en una mínima relevancia el uso de agua para riego. Estos resultados, a través de un balance, permitieron determinar indicadores de la cuenta del agua; los cuales reflejaron que, en líneas generales, la oferta supera la demanda en la microcuenca Quebrada Timiache.

Con respecto al análisis de la situación de los recursos hídricos en la cuenca, es preciso citar a Jerez (2014), quien realizó una investigación orientada a determinar el potencial que tiene la cuenta del agua como herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca media-baja del río Santo Domingo del estado Barinas. La cuenta del agua es un proceso desarrollado por Molden (citado por Jerez, 2014) el cual “permite analizar los usos, el agotamiento y la productividad del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica”. Por lo tanto, se considera como una metodología útil para evaluar “impactos en campo a nivel de intervenciones agrícolas, los desempeños de la agricultura regada y la asignación de agua entre los usuarios dentro de una cuenca.” Este trabajo permitió concluir que a través de la cuenta del agua se puede discriminar hacia dónde va el agua e identificar la problemática existente, a partir de lo cual es posible establecer estrategias de gestión de los recursos hídricos en el área de estudio.

2.1.3 Ámbito local

Finalmente, es oportuno referir investigaciones que se han realizado en el contexto local de la microcuenca y que fueron de utilidad para este estudio. Entre estos cabe destacar el trabajo desarrollado Pacheco y otros (2006), como parte del proyecto de gestión ambiental de la cuenca alta del Río Grita promovido por la Dirección Estatal Ambiental Táchira.

El propósito general del estudio de Pacheco y otros (2006) fue evaluar la influencia que para entonces ejercían las actividades antrópicas sobre la tierra debido a que en los últimos años se ha hecho evidente el avance agrícola, pecuario y urbano en la zona, conduciendo a generar conflictos de uso por el recurso hídrico. Como resultado se generó un mapa de usos de la tierra a escala 1:25000 en el cual se representan las 12 categorías principales de ocupación del espacio que para el momento se tenían en las microcuencas que componen la cuenca alta del Río Grita, entre ellas, la microcuenca Quebrada San José. Este trabajo presentó un aporte a esta investigación, en cuanto a la caracterización ambiental de la microcuenca.

Otro trabajo cuyos aportes fueron relevantes para esta investigación, fue la evaluación del impacto de la calidad de agua en la salud de los habitantes de la cuenca del Río Grita, realizada por el ICLAM en el 2013. Entre los objetivos que se persiguieron con dicho proyecto se abordó la medición de caudales en el río Grita y sus afluentes. Las mediciones y análisis realizados comprendieron el período 2010-2012, durante épocas de lluvia y estiaje. Se obtuvieron así, resultados para la quebrada San José en dos puntos de muestreo: aguas arriba, en la naciente ubicada en el Páramo La Tigra; y aguas abajo, antes de su confluencia con el río Grita. Aunque en la presente investigación no se abordó la calidad del agua, este antecedente fue importante para comparar los caudales medidos con los resultados de caudales seudohistóricos obtenidos.

Por último, es conveniente referir la investigación realizada por Parra en el año 2010, en la microcuenca Quebrada San José. Tal estudio consistió en la elaboración de un modelo de susceptibilidad para la zonificación de movimientos en masa a través de un sistema de información geográfica. Básicamente el aporte de este trabajo está relacionado a la caracterización ambiental de la microcuenca presentada por el autor.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Gestión integral de recursos hídricos

Según GWP (2000), la gestión integral de recursos hídricos (GIRH) es un proceso que impulsa el aprovechamiento y desarrollo coordinado del agua y los recursos relacionados con el objeto de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa, favoreciendo la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Pochat (2008) resalta que esta definición no sólo implica la gestión de recursos físicos, sino que debe involucrar además, la reforma de los sistemas sociales lo que permitirá preparar a la población para que los beneficios obtenidos por el aprovechamiento se reviertan equitativamente en ella.

GWP (2000) plantea, a su vez, la necesidad de considerar condiciones sociales, económicas y naturales al momento de tomar decisiones respecto a la GIRH. Para ello propone los siguientes criterios:

- Eficiencia económica en el uso del agua: reconociendo el incremento en la escasez de recursos financieros y de agua y la creciente demanda para diversos usos, se concluye que el agua debe aprovecharse con la máxima eficiencia posible.
- Equidad: el acceso de la gente al agua de adecuada cantidad y calidad con el fin de asegurar el bienestar humano, es un derecho universalmente reconocido.
- Sustentabilidad ecológica y medioambiental: el uso del agua actual debe ser tal que no comprometa el uso del recurso por futuras generaciones.

Para lograr resultados satisfactorios, la GIRH debe desarrollarse bajo un enfoque que involucre y fortalezca tres elementos básicos que son: el ambiente propicio (referido al marco de políticas, legislaciones y la información del manejo del recurso para los interesados), los roles institucionales, definiendo las funciones de los administradores y usuarios y los instrumentos de manejo (incluyendo instrumentos prácticos para la regulación de usos, el monitoreo y cumplimiento que permita a los administradores seleccionar las mejores alternativas de acción) (GWP, 2000). La conjugación de estos elementos constituye el marco general para la GIRH, el cual se presenta en la Figura 2.1.

2.2.1.1 Principios para la GIRH

En Venezuela, los principios que rigen la gestión integral de las aguas, establecidos en el artículo 6 de la Ley de Aguas (2007), son los siguientes:



Fuente: GWP (2000).

Figura 2.1. Marco general para la GIRH.

- El acceso al agua es un derecho humano fundamental.
- El agua es insustituible para la vida, el bienestar humano, el desarrollo social y económico, constituyendo un recurso fundamental para la erradicación de la pobreza y debe ser manejada respetando la unidad del ciclo hidrológico.
 - El agua es un bien social. El Estado garantizará el acceso al agua a todas las comunidades urbanas, rurales e indígenas, según sus requerimientos.
 - La gestión integral del agua tiene como unidad territorial básica la cuenca hidrográfica.
 - La gestión integral del agua debe efectuarse en forma participativa.
 - El uso y aprovechamiento de las aguas debe ser eficiente, equitativo, óptimo y sostenible.
 - Los usuarios o usuarias de las aguas contribuirán solidariamente con la conservación de la cuenca, para garantizar en el tiempo la cantidad y calidad de las aguas.
 - Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar la conservación de las fuentes de aguas, tanto superficiales como subterráneas.
 - En garantía de la soberanía y la seguridad nacional no podrá otorgarse el aprovechamiento del agua en ningún momento ni lugar, en cualquiera de sus fuentes, a empresas extranjeras que no tengan domicilio legal en el país.

- Las aguas por ser bienes del dominio público no podrán formar parte del dominio privado de ninguna persona natural o jurídica.
- La conservación del agua, en cualquiera de sus fuentes y estados físicos, prevalecerá sobre cualquier otro interés de carácter económico o social.
- Las aguas, por ser parte del patrimonio natural y soberanía de los pueblos, representan un instrumento para la paz entre las naciones.

2.2.2 Seguridad hídrica

La seguridad hídrica es un concepto que recientemente se viene manejando a nivel mundial. Para autores como Van Beek y Lincklaen (2014), es un término que hace referencia al objetivo principal que persigue la gestión integral del agua. De acuerdo con ellos, un entorno con seguridad hídrica es aquel en donde cada persona tiene acceso a agua suficiente, segura y con una calidad apta para una vida saludable y productiva, donde las comunidades están protegidas de inundaciones, sequías y enfermedades de transmisión hídrica, y donde se promueve la conservación ambiental y la justicia social al solucionar los conflictos que surgen en torno a recursos hídricos compartidos.

Según Sadoff y Muller (2010) “un mundo con seguridad hídrica necesitará inversiones en las tres “I”: información mejor y más accesible, instituciones más fuertes y adaptables, e infraestructura natural y artificial para el almacenamiento, transporte y tratamiento del agua”. Por su parte, Van Beek y Lincklaen (2014) señalan que no es posible manejar un recurso que no se ha cuantificado, por lo cual para avanzar hacia la seguridad hídrica es esencial contar con información confiable respecto a la disponibilidad y usos del recurso.

2.2.2.1 Agua virtual y huella hídrica

Es frecuente que cuando una región logra aumentar su seguridad hídrica lo hace a expensas de la seguridad hídrica de otra región. Estos casos pueden reconocerse mediante el análisis de herramientas como el “agua virtual” y la “huella hídrica”. Según Hoekstra y Hung (2002), el agua que se utiliza en la elaboración de un producto agrícola o industrial se denomina agua virtual contenida en dicho producto. De acuerdo con estos autores, un país o región con escasez hídrica buscará importar productos que requieran cantidades abundantes de agua para su elaboración y exportará productos o servicios que requieran poca agua. Estas acciones implican que se puede importar “agua virtual”, lo cual alivia las presiones sobre los recursos hídricos de dicho territorio.

Van Beek y Lincklaen (2014) exponen que la importación de agua virtual de un país a otro, puede comprometer la seguridad hídrica del país exportador. Partiendo del concepto de seguridad hídrica, es esencial que dichas importaciones no provengan de países o cuencas que poseen problemas de escasez de agua. La cuantificación del agua virtual es, por lo

tanto, una herramienta que permitiría tomar decisiones más éticas y responsables respecto a qué se debe producir y de cuáles países se deben importar determinados productos.

Por otra parte, la huella hídrica se entiende como la cantidad total de agua que ha sido utilizada en la producción de bienes y servicios (Hoekstra y Hung, 2002). Esta terminología a su vez, se ha venido asociando a la fuente de donde se toma el agua para dicha producción. Van Beek y Lincklaen (2014) explican que las huellas hídricas pueden ser “verdes” cuando se refieren a agua de lluvia, “azules” indican agua subterránea o superficial, y, “grises” cuando toman en cuenta la polución de las aguas por efluentes domésticos, industriales o agrícolas. Esta última categoría se refiere al volumen de agua fresca que sería necesario para diluir los contaminantes del agua residual a niveles aceptables.

La importancia de esta herramienta es que permite mostrar el uso del agua en relación al consumo; en contraste con los balances hídricos tradicionales que confrontan oferta en función de demanda (Van Beek y Lincklaen, 2014). Por ello, este indicador también permite valorar la dinámica de las seguridades hídricas de diferentes regiones o cuencas que comercialicen determinados productos entre sí.

2.2.3 Disponibilidad de agua

En el contexto de la planificación de los recursos hídricos es fundamental partir de inventarios que determinen la cantidad de agua que drena un cauce fluvial, que se almacena en lagos o embalses, y la que se encuentra en el subsuelo, de un territorio determinado. Azpurua y Gabaldón (1976) señalan que además de cuantificar los volúmenes de agua disponibles en una cuenca hidrográfica, resulta imprescindible analizar su probabilidad de ocurrencia, es decir los patrones de variabilidad con que estos volúmenes escurren en el tiempo. Así mismo, estos autores recalcan la importancia de evaluar la calidad del agua debido a que ésta condiciona la fracción aprovechable del recurso para un fin determinado.

Para poder conocer dichos patrones de variación tanto de cantidad como de calidad del recurso, es de suma importancia contar con sistemas de medición y monitoreo que recojan información confiable respecto a los volúmenes de agua disponibles, variables climáticas, características del suelo, usos de la tierra, entre otros (GWP, 2000). Es por ello que el éxito de los proyectos de aprovechamientos hidráulicos y la optimización de recursos para su ejecución están muy ligados a la calidad de la información disponible.

2.2.4 Cuencas sin mediciones

Según Sivapalan y otros (2003), una cuenca sin mediciones es aquella que posee registros insuficientes de varias observaciones hidrológicas (tanto en términos de cantidad como de calidad), lo cual imposibilita el análisis de las variables hidrológicas a escalas espaciales y

temporales apropiadas. En otras palabras, los registros existentes son inadecuados (o simplemente no existen) y por lo tanto, no se puede lograr un nivel de precisión aceptable para alguna aplicación práctica.

En los casos en los que no existan, por ejemplo, suficientes o adecuadas mediciones de la variable de interés (escorrentía, flujo de agua subterránea, sedimentos, concentración de nutrientes, entre otras) en una cuenca, Sivapalan y otros (2003) explican que se pueden aplicar técnicas para predecir la respuesta hidrológica, y su incertidumbre asociada, partiendo de datos del clima, suelos, vegetación, geología, topografía y/o usos de la tierra.

Al abordar el proceso de planificación de recursos hídricos en Venezuela, uno de los principales obstáculos que se presenta, precisamente, es la falta de información sobre caudales, lo cual impide conocer la disponibilidad de agua en muchas cuencas del país. No obstante, este inconveniente se ha venido superando con el uso de modelos de simulación que permiten reproducir, de forma aceptable, el comportamiento de fenómenos hidrológicos en un determinado sector, ante diferentes funciones de entrada (Duque y Barrios, 1988).

En la planificación de recursos hídricos, la simulación de caudales posee gran importancia, puesto que entre sus potencialidades destacan la generación de información similar a la que se obtendría con una estación hidrométrica, y la capacidad de predecir el comportamiento futuro de la cuenca (Linsley, Kohler y Paulus, 1977). Sivapalan y otros (2003) explican que en el contexto hidrológico, predecir significa poder estimar la probabilidad de ocurrencia, en el futuro, de eventos con una determinada magnitud. Estos autores, a su vez, puntualizan los tres componentes que debe poseer un sistema de predicción hidrológica:

- Un modelo o método de predicción: el cual representa los diferentes procesos a través de los cuales se puede deducir la cantidad de la variable de interés, a las escalas de tiempo y espacio requeridas.
- Datos de entrada: generalmente son datos meteorológicos que definen la respuesta de la cuenca.
- Parámetros: son valores que representan las características ambientales que inciden en la respuesta de la cuenca ante la variable de interés.

Por su parte, Rojas-Serna y otros (2006) argumentan que prácticamente todos los problemas relacionados con la hidrología, requieren, para su solución, la representación del sistema natural a través de un modelo. No obstante, para aplicar un modelo de simulación hidrológica a una cuenca particular, éste debe someterse a una calibración, proceso en el cual se fijan los valores de los parámetros que definen los procesos del ciclo hidrológico para la cuenca en cuestión.

Para la estimación de algunos parámetros, Linsley y otros (1977) explican que puede ser necesario recurrir a tanteos, en los cuales se comparan iterativamente los caudales observados y simulados hasta lograr un ajuste adecuado. El resultado de la calibración implica que el modelo ya está listo para responder apropiadamente a los datos de entrada y generar volúmenes de escorrentía con una alta aproximación a los reales. Sin embargo, en el caso de cuencas sin mediciones, se debe tener presente que el hecho de que no existan series históricas de observaciones de la variable, implica que no será posible realizar una calibración directa de la cuenca en estudio, tal como señalan Sivapalan y otros (2003). Por ello los resultados estarán asociados a cierto nivel de incertidumbre.

2.2.5 Modelo de simulación hidrológica mensual

El modelo de simulación hidrológica mensual (SIHIM), desarrollado por Duque y Barrios (1988), permite obtener información sobre caudales medios y volúmenes mensuales en el sitio de interés, datos similares a los recogidos en una estación hidrométrica. Este modelo se basa en el concepto del ciclo hidrológico, por lo que es necesario seleccionar y evaluar los procesos de entrada, almacenamiento y salida de un sistema hidrológico. El mismo se seleccionó para esta investigación debido a que ha sido probado y verificado en muchos estudios realizados en el país, en los cuales se han obtenido resultados satisfactorios.

Según los planteamientos de Duque y Barrios (1988) el modelo SIHIM se desarrolló para áreas relativamente pequeñas e intervalos de tiempo grandes (meses). Por ello se consideran sólo procesos hidrológicos de larga duración como evapotranspiración, infiltración, percolación, escurrimiento y flujo base; y se excluyen procesos de corta duración como el flujo subsuperficial y los almacenamientos de intercepción y en depresiones de terreno. Así mismo, en este modelo, la cuenca en estudio se divide en subcuencas, suponiendo que existe homogeneidad en las condiciones que afectan los procesos hidrológicos en ellas. Los diferentes procesos de almacenamiento y transferencia hídrica que considera el modelo son formulados matemáticamente y representados a través de los siguientes parámetros:

- Capacidad de infiltración (CINF)
- Capacidad nominal del almacenamiento de humedad del suelo (HSN)
- Coeficiente para convertir evaporación de tina a evapotranspiración del cultivo de referencia (CT)
- Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como caudal base (PQB)
- Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente (PFSE)
- Fracción del almacenamiento mensual que se convierte en escurrimiento mensual (PESC)

Duque y Barrios (1988) plantean que antes de aplicar el modelo SIHIM a una cuenca particular, conviene realizar la calibración de los parámetros del modelo. Este es un proceso iterativo de ensayo y error que consiste en asignar valores a los distintos parámetros del modelo, hasta que los caudales o volúmenes simulados reproduzcan, lo más satisfactoriamente posible, el registro histórico que de ellos se tiene. Una vez calibrada la cuenca en estudio y obtenidos los parámetros del modelo, el proceso de simulación requiere que se ingresen datos sobre precipitación media mensual y evaporación media mensual para el período de tiempo estudiado, además del área de influencia para cada estación climatológica considerada.

2.2.6 Demandas de agua

Se entiende por demandas hídricas aquellos volúmenes de agua que son requeridos por los usuarios de una cuenca para satisfacer determinados fines. Azpurúa y Gabaldón (1976) afirman que cada uso del agua condicionará su cantidad, patrón de escurrimiento y/o calidad, razón por la cual es conveniente clasificar las demandas según los diversos fines a los cuales se destina, para poder compararlas a efectos de los balances hídricos. En el ámbito de la planificación, es fundamental reconocer que las demandas de agua siempre tienden a ser mayores en el tiempo, por lo que el planteamiento de escenarios futuros debe considerar que se incrementarán las presiones ejercidas sobre el recurso.

Por su parte, Naranjo (2002) reconoce dos tipos de usos del agua: directos e indirectos. Dentro de los primeros, la autora menciona el abastecimiento doméstico, usos industriales, riego, dilución de contaminantes, trasvase entre cuencas, explotación de especies acuáticas, producción de energía, navegación, esparcimiento y recreación, entre otros. A su vez, el segundo tipo corresponde a servicios ambientales, los cuales están ligados al mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas, proceso que requiere abundantes cantidades de agua, a la preservación de la biodiversidad, protección de bellezas escénicas, entre otros.

2.2.6.1 Demanda doméstica

La demanda doméstica se refiere al agua potable que necesita cada persona para sus usos personales y domésticos, tales como: beber, saneamiento, lavado de sus ropas, preparación de alimentos, y aseo personal. Mora y Dubois (2015) señalan que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que los Estados deben garantizarles a sus ciudadanos una cantidad mínima de 20 litros diarios por persona para consumo de agua, y de 50 litros diarios por persona si se considera el saneamiento.

No obstante, los autores antes mencionados aclaran que es una obligación del Estado suministrar cantidades superiores a los ciudadanos, en casos en que fueran requeridas por motivos de salud, condiciones climáticas, ubicación geográfica o tipo de trabajo. En

Venezuela generalmente se manejan valores superiores para dotación de agua potable (Normas Sanitarias para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones, 1988) los cuales están alrededor de los 250 litros diarios por persona.

2.2.6.2 Demanda agrícola

Esta componente de las demandas se refiere a los volúmenes de agua que se deben aplicar a los cultivos de forma artificial para que éstos logren un óptimo desarrollo (Azpurua y Gabaldón, 1976). De acuerdo al planteamiento de estos autores, la cantidad de agua que se debería consumir para riego corresponde a la diferencia entre aquella que necesitan los cultivos para sus procesos fisiológicos y la precipitación que cae sobre el suelo.

Con respecto al agua requerida por los cultivos, Allen y otros (2006) explican que la misma está estrechamente ligada al proceso de evapotranspiración, el cual se refiere tanto al agua que se pierde a través de la superficie del suelo (evaporación), como aquella que es transpirada directamente por la planta. Dichos procesos están influenciados por variables climáticas tales como radiación solar, temperatura, velocidad del viento y humedad atmosférica, y por características propias de la planta y del suelo. Estos mismos autores señalan que la evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo, de forma análoga a como se expresa la precipitación.

En el ámbito agrícola, las necesidades de agua de los cultivos que no pueden satisfacerse por la precipitación, deben ser suplidas mediante sistemas de riego. Según Azpurua y Gabaldón (1976), la magnitud de las demandas de riego depende de factores como el clima, las características del suelo, el calendario y programación de cultivos, y la eficiencia en el uso del agua. Es importante mencionar que en el contexto de la planificación, las demandas de riego deben multiplicarse por las superficies que se prevé serán regadas dentro de los horizontes y umbrales del plan, lo cual permitirá estimar el volumen de agua que será demandado por usuarios agrícolas dentro de un territorio.

2.2.6.3 Demanda por servicios ambientales

En esta categoría se hace referencia al caudal mínimo ambiental, también conocido como caudal ecológico. Mora (2013) indica que es el “caudal mínimo necesario para la supervivencia de un sistema acuático establecido”. Dentro de esta demanda pueden incluirse usos no consuntivos del agua, tales como el mantenimiento de caudales permanentes en los cauces fluviales, que permitan el control de la concentración de sales, autodepuración, dilución de contaminantes, navegación, mantenimiento de paisajes y bellezas escénicas, entre otros. Azpurua y Gabaldón (1976) afirman que si bien estos usos no representan un consumo del recurso hídrico, tampoco pueden ser utilizados para otros propósitos en la cuenca, por lo cual esta demanda es un factor que afectará la disponibilidad y debe considerarse para efectos del balance.

2.2.7 CROPWAT

El software CROPWAT es un programa de computación desarrollado por Smith en 1992 para la División de Desarrollo de Recursos Aguas y Tierras de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). De acuerdo con Smith (1992) el programa permite calcular la evapotranspiración de referencia, requerimientos hídricos de un cultivo particular, necesidades de riego de una parcela agrícola y esquemas de suministro de agua bajo diferentes condiciones de manejo. La versión más reciente, CROPWAT 8.0, fue desarrollada por Swennenhuis en el año 2009. Esta herramienta se considera de gran importancia en el manejo integral del agua debido a que permite representar diferentes escenarios que condicionan las demandas de agua en cuencas con requerimientos agrícolas.

2.2.8 Cuenta del agua

La cuenta del agua es un proceso que consiste en clasificar los componentes de un balance hídrico de acuerdo a categorías e indicadores que reflejen las consecuencias de la intervención antrópica en el ciclo hidrológico (Molden, 1997). Este proceso constituye una metodología que ofrece conceptos y definiciones que pueden aplicarse para evaluar el uso, agotamiento y la productividad del recurso hídrico en diferentes niveles de análisis: macro (a nivel de cuenca o subcuenca, incluyendo usos múltiples y servicios que se surtan de una fuente común), meso (a nivel de servicio dentro de una cuenca, por ejemplo: riego, abastecimiento de agua potable o servicios ambientales) y micro (a nivel de usuario, tal como una parcela agrícola, una vivienda o un proceso industrial).

2.2.8.1 Definiciones importantes para la cuenta del agua

Entre las definiciones expuestas por Molden (1997) que se consideran de utilidad para el desarrollo del presente trabajo, se encuentran:

- **Dominio:** área de interés en la cual se realizará la cuenta del agua; debe estar limitada temporal y espacialmente.
- **Flujo bruto entrante:** cantidad total de agua que fluye por el dominio, proveniente de fuentes superficiales, subterráneas y precipitación.
- **Flujo neto entrante:** corresponde al flujo bruto entrante, más o menos cualquier cambio en el almacenamiento. Si se remueve agua desde el almacenamiento, para el periodo de interés, el flujo neto es mayor que el flujo bruto.
- **Agotamiento del agua:** se refiere al uso o remoción de agua desde un nivel particular que hace a ésta indisponible o inapropiada para otros usos. Conviene distinguir entre agotamiento del agua y agua derivada a un servicio o uso, debido a que no toda el agua derivada a un servicio o uso es necesariamente agotada. El agua puede agotarse en procesos tales como: evaporación; flujo hacia el mar, agua subterránea salina u otros

destinos en los que se vuelve antieconómico su reúso; contaminación e incorporación en un producto.

- Agotamiento en procesos: cantidad de agua derivada y consumida con la intención de producir algún producto. En agricultura corresponde al agua consumida por los cultivos, la cual parte se transpira y parte se almacena en los tejidos de las plantas.

- Agotamiento en no-procesos: ocurre cuando el agua es consumida pero no para el destino al cual se derivó. Este es el caso del agua derivada para riego de la cual una parte es transpirada (procesos) y otra se evapora desde el suelo o la superficie de un cuerpo de agua (no-procesos).

- Agotamiento benéfico: ocurre cuando el agua se utiliza como insumo para producir un bien tal como productos agrícolas; o proveer una necesidad como beber, bañarse, o usos ambientales.

- Agotamiento no benéfico: este caso se presenta cuando no hay beneficios o cuando se deriva un costo a partir del agotamiento del agua. Esto puede ocurrir en eventos como: evaporación desde tierras en barbechos, descargas superiores a los requerimientos ambientales, percolación profunda en acuíferos salinos, o evaporación desde zonas aguachinadas.

- Agua saliente comprometida: es aquella fracción del flujo saliente que está destinada a otros usos. Entre algunos ejemplos de esta categoría se tienen: derechos de usuarios aguas abajo para satisfacer sus necesidades, caudal ecológico, flujos salientes al mar para el mantenimiento de actividades pesqueras, entre otros.

- Agua saliente no comprometida: corresponde al agua que no es agotada ni está destinada a otros usos y por lo tanto es susceptible de ser aprovechada dentro de la cuenca o exportada a otra cuenca, pero que por falta de infraestructura de almacenamiento, fluye fuera del dominio. Las aguas dentro de esta categoría pueden ser utilizables cuando, al mejorarse la operación de la infraestructura existente, puedan ser usadas para obtener beneficios. Por otra parte, pueden ser no utilizables ante la carencia de suficiente infraestructura existente que no permita capturar los flujos, como es el caso de las aguas potenciales de inundación.

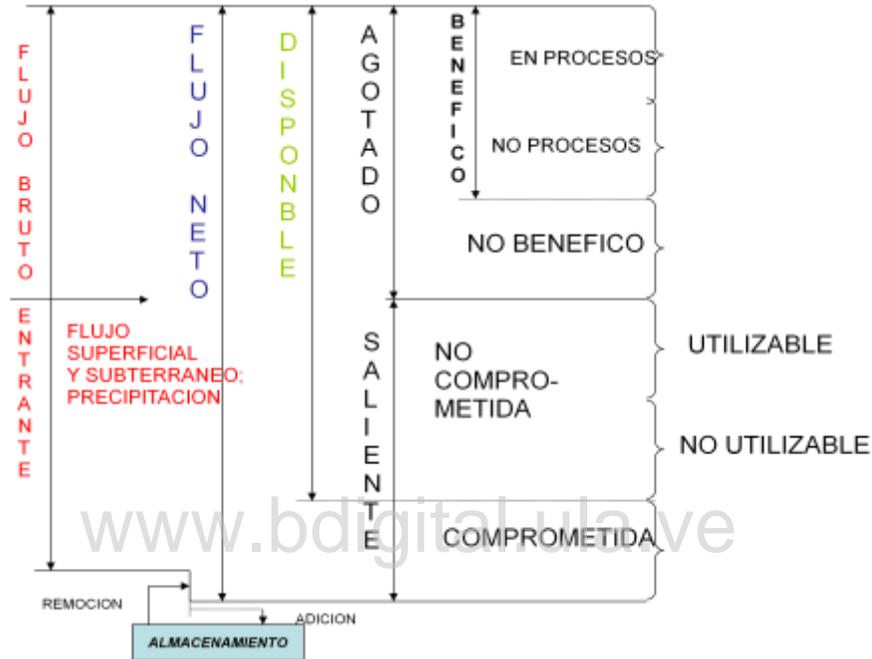
- Agua disponible: corresponde al flujo entrante neto menos el agua comprometida y representa la cantidad de agua disponible para aprovechar dentro del dominio.

- Cuenca cerrada: es aquella que se encuentra totalmente comprometida, es decir, no hay agua saliente utilizable no comprometida. En estos casos, todas las aguas que ingresan a la cuenca se asigna a varios usos. Para desarrollos futuros deberán hacerse reasignaciones entre usos o reducir los agotamientos de agua no benéficos o de no-procesos.

- Cuenca abierta: aquella en la que existen flujos salientes utilizables no comprometidos.

- Usos de agua no agotables: son aquellos en los cuales se obtienen beneficios sin agotar el recurso. Generalmente el agua utilizada para generación hidroeléctrica puede entrar en esta categoría. De igual forma puede considerarse el agua para recreación y turismo. Por otro lado, una mayor parte del caudal ecológico puede ser no agotable cuando el agua saliente es usada aguas abajo.

La Figura 2.2 que se muestra a continuación indica un esquema de las definiciones expuestas.



Fuente: Jerez (2014).

Figura 2.2. Esquema de la cuenta de agua en cantidad.

2.2.8.2 Indicadores para la cuenta del agua

La metodología propuesta por Molden (1997) sugiere el uso de los siguientes indicadores que permiten describir el desempeño de una cuenca en materia de usos y productividad del recurso hídrico. Jerez (2014), por su parte, resalta que los mismos permiten conocer las rutas de flujo del agua en un sistema, sin embargo, no proveen información respecto a la eficiencia del mismo.

- Fracción de agotamiento (FA): permite expresar la cantidad de agua que está siendo agotada (tanto en procesos como en no-procesos) con respecto al flujo entrante. Las Ecuaciones 2.1 y 2.2, indican el cálculo de esta fracción con respecto al flujo entrante bruto y neto, respectivamente.

$$FA_{\text{bruto}} = \frac{\text{Flujo agotado}}{\text{Flujo bruto entrante}} \quad (2.1)$$

$$FA_{\text{neto}} = \frac{\text{Flujo agotado}}{\text{Flujo neto entrante}} \quad (2.2)$$

• Fracción de agotamiento en procesos (FP): provee información respecto al porcentaje de agua utilizada en procesos de determinados usos. Se puede expresar en función del flujo entrante bruto, neto, el flujo de agua disponible o el total del agua agotada. Las Ecuaciones 2.3 a 2.6 indican los posibles cálculos para este indicador.

$$FP_{\text{bruto}} = \frac{\text{Flujo agotado en procesos}}{\text{Flujo bruto entrante}} \quad (2.3)$$

$$FP_{\text{neto}} = \frac{\text{Flujo agotado en procesos}}{\text{Flujo neto entrante}} \quad (2.4)$$

$$FP_{\text{disponible}} = \frac{\text{Flujo agotado en procesos}}{\text{Flujo de agua disponible}} \quad (2.5)$$

$$FP_{\text{agotado}} = \frac{\text{Flujo agotado en procesos}}{\text{Flujo agotado}} \quad (2.6)$$

• Indicador de utilización benéfica (UB): corresponde al porcentaje del agua disponible, entrante, o agotada que esté siendo utilizada en la cuenca para obtener algún beneficio. Las Ecuaciones 2.7 a 2.10 indican el cálculo de este indicador en función de los diferentes flujos.

$$UB_{\text{bruto}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo bruto entrante}} \quad (2.7)$$

$$UB_{\text{neto}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo neto entrante}} \quad (2.8)$$

$$UB_{\text{disponible}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo de agua disponible}} \quad (2.9)$$

$$UB_{\text{agotado}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo agotado}} \quad (2.10)$$

2.2.9 Conflictos por el uso del agua

En líneas generales, puede precisarse que ocurren conflictos por el uso del agua cuando la demanda excede a la oferta o cuando existe competencia entre usuarios por el aprovechamiento de determinada fuente. Naranjo y Duque (2004) plantean los distintos escenarios que pueden suscitarse de un balance hídrico, catalogándolos como: a) superávit hídrico, correspondiente a cuencas en que la oferta excede la demanda durante todo el año; b) déficit hídrico estacional, situación que incide en conflictos de uso en los meses secos; y c) déficit hídrico permanente, casos en los cuales puede esperarse que los caudales sean nulos en épocas de sequía, y que las demandas queden insatisfechas durante todo el año.

Ante una realidad como esta última, acontece que se ve comprometido el bienestar social de la población debido a que existe imposibilidad de satisfacer usos como: dilución de efluentes de aguas residuales, turismo y recreación, funciones ambientales, entre otros. Adicionalmente debe considerarse la calidad del agua en torno a la identificación de conflictos por el uso. Naranjo y Duque (2004) comentan que a pesar de que todas las demandas se vean satisfechas por la oferta, exista suficiente aporte de caudal aguas abajo y se tenga la posibilidad de satisfacer demandas futuras, igualmente pueden presentarse conflictos atribuidos a la condición ecológica del agua, es decir su calidad, la cual determinará cuánto volumen es realmente aprovechable para un fin específico.

Por otra parte, Barrios (2004) plantea una serie de situaciones problema típicas en cuencas altas de América Latina, las cuales obedecen a aspectos de índole físico-natural-antrópico, socio-económicos, socio-culturales, político-institucionales y financieros. Si bien estos escenarios no son debidos exclusivamente al uso del recurso agua, sí tienen incidencia en la magnitud de los conflictos que pueden presentarse en torno a su aprovechamiento. Algunas de estas realidades son sentidas actualmente en la cuenca en estudio, por lo que se mencionan en la Tabla 2.1.

García (1993) explica que para poder alcanzar un manejo integral de los recursos naturales en una cuenca, es fundamental realizar una oportuna definición de los problemas que se presentan en la cuenca, tomando en cuenta las perspectivas de los diferentes actores involucrados. Por su parte, GWP (2000) recalca que para resolver conflictos por el uso del agua en la cuenca se requieren estimaciones confiables acerca de “la disponibilidad del recurso hídrico en el tiempo tomando en cuenta los flujos de retorno y los efectos de desarrollos en zonas de captación sobre pérdidas por evaporación y flujos”.

2.3 Bases legales

En lo referente al ámbito legal e institucional que rige el aprovechamiento de los recursos hídricos en Venezuela, destacan los instrumentos legales que se presentan a continuación.

2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

En su capítulo IX, de los Derechos Ambientales, se hace referencia en el artículo 127 que: “Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley”.

Así mismo, el artículo 129 se establece que las personas naturales o jurídicas a quienes se les otorguen permisos que impliquen la afectación de recursos naturales, tendrán “la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la

transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultare alterado, en los términos que fije la ley”.

Tabla 2.1. Problemas típicos en las cuencas altas tropicales

Ámbito	Situación problema
Físico – Natural	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pendientes elevadas y relieves abruptos en las zonas montañosas 2. Formaciones geológicas de elevada fragilidad 3. Lluvias de elevada intensidad.
Físico – Antrópico	<ol style="list-style-type: none"> 4. Construcción de obras e infraestructuras sin considerar medidas para la conservación de los recursos naturales (carreteras, canales de riego y drenaje, entre otros). 5. Deforestación acelerada de las vertientes: tala y quema para ampliar la frontera agrícola. 6. Reducción del período de descanso de terrenos en vertientes. 7. Cultivos agrícolas en pendiente sin considerar prácticas de conservación de suelos. 8. Aplicación excesiva de agroquímicos. 9. Descarga de aguas residuales y desechos en forma directa a los cauces.
Socio – Económicos	<ol style="list-style-type: none"> 10. Pobreza del medio rural y crecimiento poblacional que incrementa la demanda para satisfacer necesidades básicas y el fraccionamiento de la propiedad rural. 11. Reducidas oportunidades para diversificar las fuentes de ingresos en el medio rural.
Socio – Culturales	<ol style="list-style-type: none"> 12. Métodos de cultivo tradicionales en el sentido de la pendiente. 13. Ineficientes métodos de organización de las comunidades rurales dispersas. 14. Bajos niveles de educación, lo que dificulta los procedimientos de capacitación y enseñanza.
Político – Institucionales	<ol style="list-style-type: none"> 15. Ocupación desordenada de las vertientes y del territorio en general. 16. No se han aplicado políticas para el ordenamiento planificado del territorio. 17. Creciente sectorización de las instituciones para el desarrollo, cada una presionando por su lado para el aprovechamiento de los recursos naturales, pero sin la debida coordinación para la actuación en beneficio de la conservación ambiental.
Financieros	<ol style="list-style-type: none"> 18. Serias limitaciones de recursos financieros para invertir en proyectos de desarrollo, sacrificándose el presupuesto destinado a la conservación de los recursos naturales.

Fuente: Barrios (2004)

Por otra parte, la Constitución, expone en su artículo 304 que “Todas las aguas son bienes de dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo. La ley establecerá las disposiciones necesarias a fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio”.

2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente (2006)

Esta ley tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad.

2.3.3 Ley de Aguas (2007)

Su objetivo es establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado. En el artículo 11 de esta ley se contempla, como uno de los criterios para garantizar la disponibilidad hídrica en cuanto a cantidad, la realización de extracciones ajustadas al balance de disponibilidades y demandas de la fuente correspondiente. Adicionalmente, en el artículo 60 se establece que el uso de las aguas se adecuará a la disponibilidad del recurso, a las necesidades reales de la actividad a la que se pretende destinar, al interés público y a lo que prevean los planes de gestión integral de las aguas.

En cuanto a los diferentes usos del agua, la ley establece en sus artículos 61 y 62 que los usos de abastecimiento a poblaciones, agrícolas, industriales, comerciales y de generación hidroeléctrica estarán sujetos a la tramitación de concesiones, asignaciones y licencias ante el ministerio que ejerza la Autoridad Nacional de las Aguas. Por otra parte, se señala en el artículo 63 que dicha institución podrá reservar ciertos caudales para fines específicos o para ulterior asignación o concesión a entes públicos.

Al respecto de las fuentes para el financiamiento del sistema económico financiero para la gestión integral de las aguas, la ley contempla en su artículo 91, que las mismas serán provenientes de: los aportes presupuestarios del Gobierno Nacional, Estatal y Municipal; los aportes de los usuarios o las usuarias de las aguas, provenientes de la contraprestación por el aprovechamiento previsto en esta Ley; y por último las donaciones.

2.3.4 Ley Penal del Ambiente (2012)

Tiene como objetivo tipificar como delitos aquellos hechos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece las sanciones

penales correspondientes. Así mismo, determina las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se presenta una reseña sobre la microcuenca Quebrada San José. Los aspectos que se describen a continuación tienen que ver con su ubicación, morfometría, geología, geomorfología y suelos, usos de la tierra, aspectos demográficos, sistemas de riego existentes y algunas características de las principales tomas de agua.

3.1 Ubicación

La microcuenca Quebrada San José se ubica en la Cordillera de los Andes venezolanos, al oeste de Venezuela, perteneciendo a la jurisdicción del municipio Jáuregui del estado Táchira, entre las coordenadas 887100 y 899460 m Norte y 832000 y 827310 m Oeste. Hidrográficamente forma parte de la cuenca alta del Río Grita, uno de los principales afluentes del río Zulia, por lo que se encuentra dentro de la región hidrográfica del Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela, ocupando un área aproximada de 42,33 km². La Figura 3.1 presenta la ubicación relativa de la microcuenca en estudio.

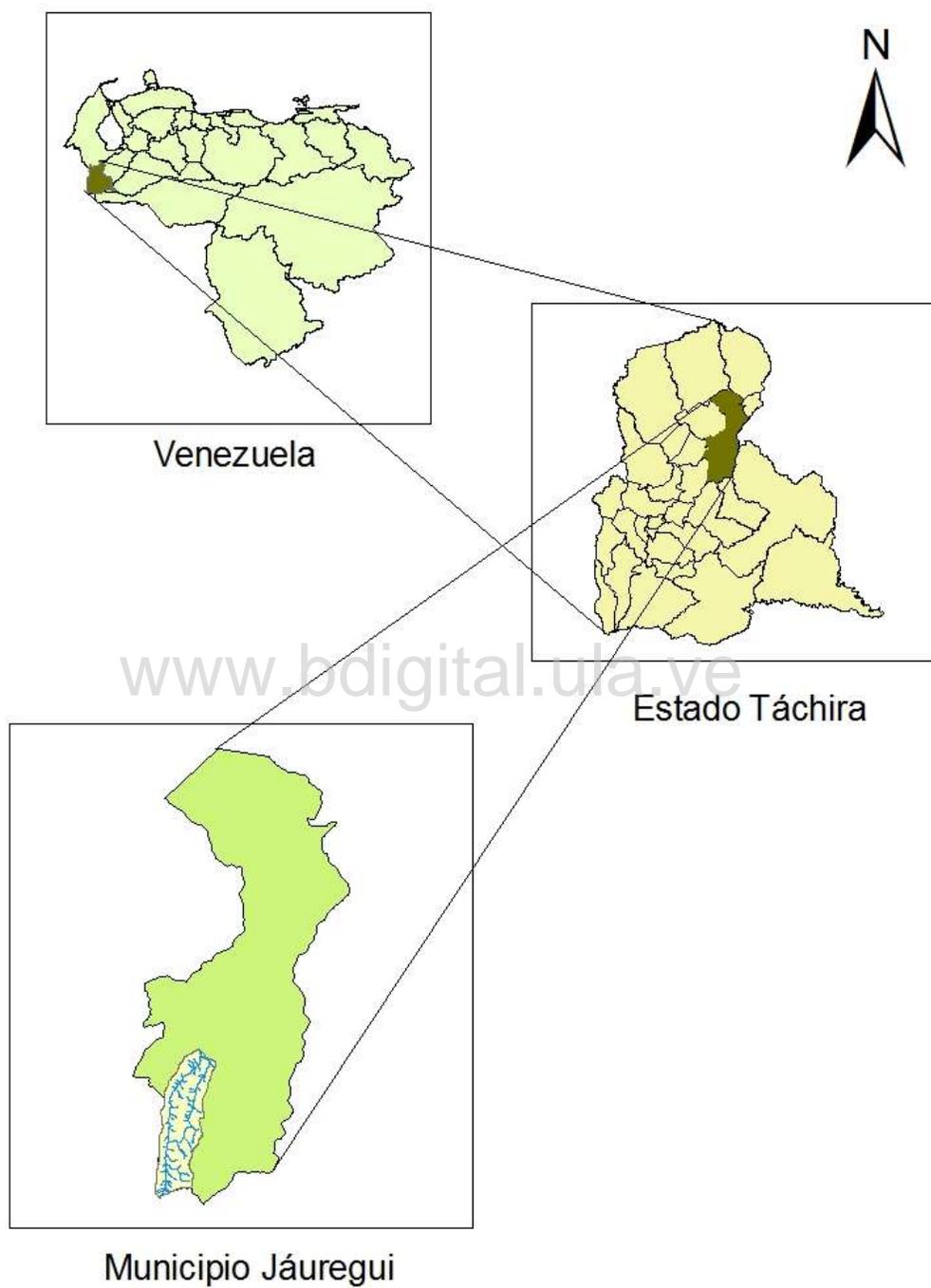
3.2 Morfometría de la Microcuenca

Como se dijo anteriormente, la quebrada San José es uno de los principales tributarios del río Grita. El cauce principal posee una longitud de aproximadamente 15,73 km desde el páramo La Tigra, donde se encuentran las principales nacientes de esta quebrada, hasta su desembocadura en el mencionado río. Así mismo, cuenta con una serie de afluentes, en su mayoría de régimen permanente, destacando, por su magnitud, la quebrada Aguas Calientes, con una longitud estimada de 11,12 km.

A propósito de conocer, en líneas generales, el comportamiento hidrológico de la microcuenca, se estimaron ciertos parámetros que definen su morfometría, mediante el uso del software ArcMap 9.3 de ESRI (Environmental Systems Research Institute) (2008). Estos aspectos se resumen en la Tabla 3.1. Haciendo referencia a la delimitación espacial de este estudio, conviene resaltar que, de la superficie total de la cuenca, se excluyó el área de drenaje de la quebrada Aguas Calientes, la cual se estimó en 14,03 km², aproximadamente. Por lo tanto, se manejó un área de drenaje de 28,30 km². La Figura 3.2 indica la hidrografía de la microcuenca y el área considerada en esta investigación.

Con respecto a la forma de la microcuenca, se considera muy alargada, en función a los índices estimados: factor de forma de Horton (Rf) de 0,16; coeficiente de circularidad de Miller (Cc) de 0,31 y coeficiente de compacidad (KC) de 1,79. Esta condición de la cuenca influye en el comportamiento de la escorrentía, debido a que el tiempo de viaje del agua será más largo, que en cuencas de forma ensanchada, lo cual contribuye a reducir la

magnitud de los picos de crecidas en caso de lluvias concentradas o tormentas, tal como lo afirman Delgadillo y Moreno (2012a).



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.1. Ubicación relativa de la microcuenca Quebrada San José.

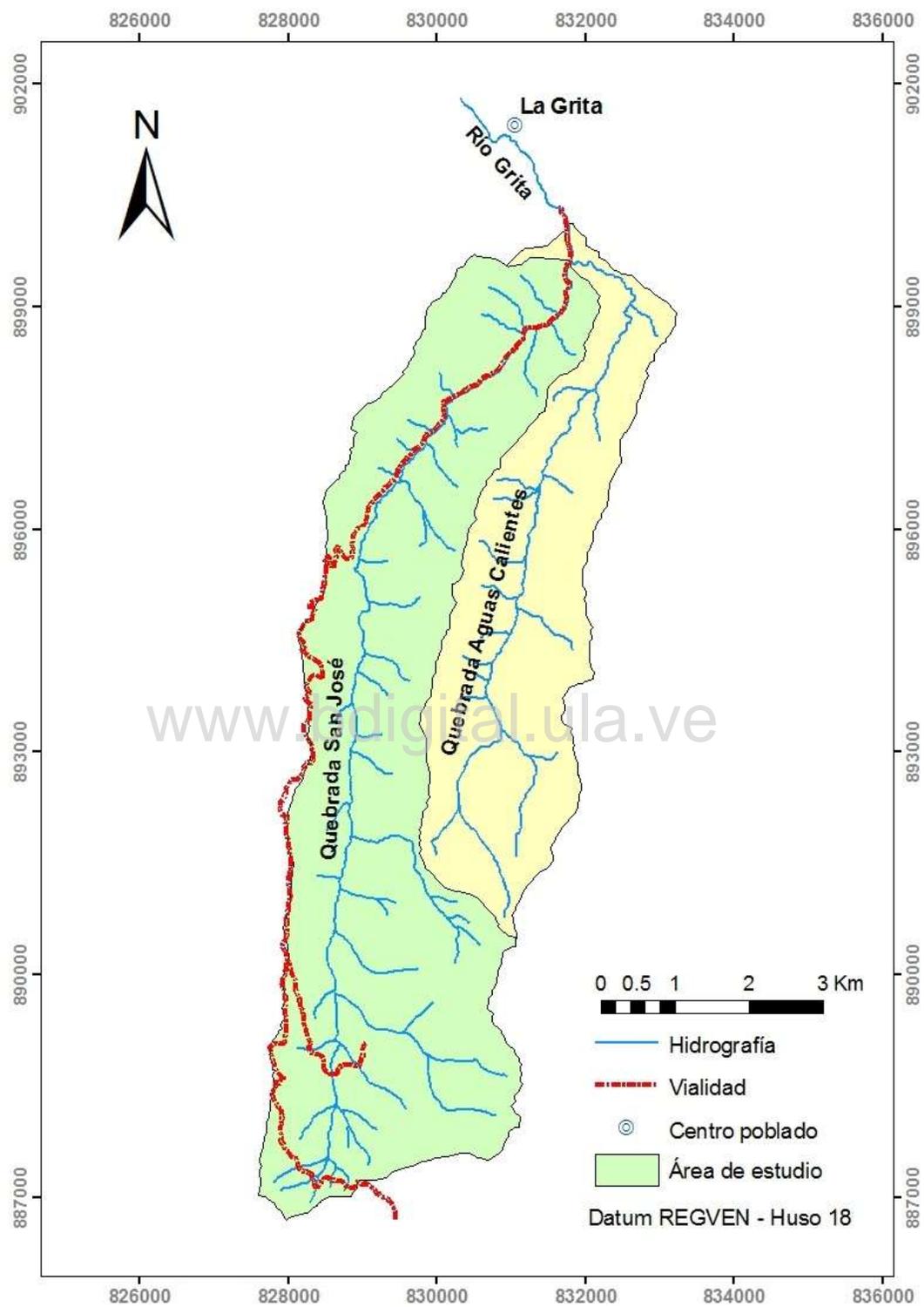
Tabla 3.1. Aspectos de morfometría de la microcuenca Quebrada San José

	Parámetro morfométrico*	Valor
Forma de la cuenca	Área de la cuenca (km ²)	28,30
	Perímetro (km)	34,04
	Longitud axial (km)	13,28
	Ancho promedio (km)	2,13
	Factor de forma de Horton, Rf	0,16
	Coefficiente de circularidad de Miller, Cc	0,31
	Coefficiente de compacidad, KC	1,79
Relieve	Cota máxima (m)	3620
	Cota mínima (m)	1380
	Pendiente media de la cuenca (%)	57,93
	Pendiente media del cauce principal (%)	1,33
Red de drenaje	Orden de la quebrada San José hasta sitio de aforo	3
	N° de drenajes de orden 1	44
	N° de drenajes de orden 2	8
	N° de drenajes de orden 3	1
	Longitud cauce principal (km)	14,31
	Longitud total de la red (km)	48,44
	Relación de bifurcación	6,75
	Longitud promedio de los cauces de orden 1 (km)	0,63
	Longitud promedio de los cauces de orden 2 (km)	0,79
Longitud promedio de los cauces de orden 3 (km)	14,31	
	Densidad de drenaje (km/km ²)	1,71

Fuente: elaboración propia.

* Estimados excluyendo el área de drenaje de la quebrada Aguas Calientes

Por otra parte, se determinaron las variables que definen el relieve, como son la pendiente media del cauce principal y la pendiente media de la cuenca. Mediante el estudio realizado se obtuvo un valor de 1,33% para la primera, definiéndose como una pendiente suave que contribuye a reducir la velocidad de la escorrentía y, por lo tanto, permite que las crecidas sean graduales ante eventos extremos de precipitación. No obstante, en cuanto a la segunda variable, se obtuvo un valor de 57,93%, indicando que el terreno del área de estudio se considera muy escarpado, con base en los criterios de Pérez (citado por Delgadillo y Moreno, 2012a). La elevada pendiente media de la cuenca incide en el arrastre de sedimentos, lo cual agrava los procesos erosivos que son resultado de la deforestación progresiva de las partes más altas de la microcuenca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.2. Hidrografía de la microcuenca Quebrada San José.

En relación a la red de drenaje, la cual se aprecia en la Figura 3.2, se determinó la relación de bifurcación promedio (R_b) para el área de estudio, obteniéndose un valor de 6,75. Según Strahler (citado por Delgadillo y Moreno, 2012a) este número permite interpretar que la microcuenca está mal drenada, lo cual supone retrasos en la concentración de la escorrentía ante una crecida en casos de tormentas.

Con respecto al orden de jerarquía del cauce principal, se estimó que es de orden 3 hasta el sitio de aforo o punto de cierre del área de estudio. Adicionalmente se calculó la densidad de drenaje, obteniéndose un valor de $1,71 \text{ km/km}^2$. Delgadillo y Páez (citado por Delgadillo y Moreno, 2012a) sugieren que densidades de drenaje entre 1 a 2 km/km^2 se clasifican como moderadas. De lo anterior se desprende que el área de estudio se considera una cuenca pobremente drenada que favorece las respuestas hidrológicas lentas (Linsley et al, 1977), por lo tanto la escorrentía superficial tiene grandes posibilidades de infiltrar y percolarse a nivel subterráneo.

3.3 Geología

MARNR (citado en Parra, 2010) describe que la microcuenca en sus partes alta y media está representada por el Grupo Iglesias, el cual corresponde al precámbrico tardío, compuesto esencialmente de esquistos y gneises, graníticos, esquistos anfibolíticos, y cuarzo feldespático micáceos. Hacia la parte baja, se tiene la Formación Sabaneta, perteneciente al paleozoico – carbonífero – pérmico, cuya litología consiste en areniscas gruesas a guijarrosas y limolitas.

3.4 Geomorfología y Suelos

Geomorfológicamente, el sector en estudio se encuentra enmarcado en una zona de alta montaña tropical, caracterizada por un sistema de vertientes cóncavas convexas con relieves abruptos y por ende de fuertes pendientes. Según informes de campo facilitados por la Dirección General de Cuencas Hidrográficas del MINEA, sede Táchira (s.f.), la microcuenca se puede catalogar como una unidad de vertiente rectilínea, con relieve quebrado y pendientes que varían entre 50 y 65 %. Así mismo, en éstos se reporta que los suelos predominantes se caracterizan por poseer textura gruesa (franco arenosos), permeabilidad variable entre moderadamente baja a moderadamente alta, bien drenados, ligeramente pedregosos y ligeramente rocosos, capacidad de intercambio catiónico moderada, bajo contenido de materia orgánica y fertilidad natural muy baja.

3.5 Usos de la Tierra

Con respecto a la ocupación del territorio en la microcuenca puede apreciarse, de manera generalizada, el uso rural asociado a parcelas agrícolas generalmente distribuidas a lo largo de las vías. Pacheco y otros (2006) destacan los principales usos de la tierra en el sector, los

cuales se presentan en la Tabla 3.2. A través de la observación en campo, pudo comprobarse que éstos continúan siendo los más representativos en la cuenca, tal como se evidencia en las Figuras 3.3 a 3.5.

En cuanto a la agricultura, en la microcuenca predomina el cultivo de hortalizas, destacándose cultivos como: papa, cebolla, zanahoria, lechuga, cilantro, remolacha, apio, maíz, caraotas, entre otros. Es común encontrar pequeñas parcelas dedicadas a la siembra de estos rubros, en muchos casos con superficies menores a una hectárea. Las prácticas agrícolas incluyen el riego por aspersión, el uso de fertilizantes y biocidas y el arado con bueyes; ésta última debido a la existencia de pendientes moderadas y altas que impiden la incorporación de maquinaria.

Tabla 3.2. Usos de la tierra en la microcuenca Quebrada San José

Uso de la tierra	Área ocupada (%)
Área urbanizada	0,4
Horticultura	1,3
Horticultura con pastos naturales no mejorados	26,7
Horticultura con pastos naturales no mejorados y poblamiento concentrado	0,4
Pastos naturales no mejorados	5,1
Pastos no mejorados con horticultura	26,5
Vegetación arbórea/arbustiva alta	25,9
Vegetación arbórea/arbustiva media	7,8
Vegetación arbórea/arbustiva baja	2,3
Vegetación de páramo	3,6

Fuente: Pacheco y otros (2006)



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.3. Vista de la vertiente izquierda de la microcuenca a la altura del sector El Alto.



www.bdigital.ula.ve Fuente: elaboración propia.
Figura 3.4. Ganadería de altura en el sector Montegrande.



Fuente: elaboración propia.
Figura 3.5. Arado con yunta de bueyes en el sector Las Piedras.

Hacia la parte baja de la microcuenca, se hallan, de manera muy localizada, el cultivo de café bajo sombra de guama y el cultivo de caña de azúcar. No obstante, mediante la observación de campo y conversaciones con los productores locales, se encontró que este

último rubro ha ido desapareciendo, evidenciándose el abandono de numerosos trapiches. Por otra parte, pese al intenso avance de la frontera agrícola, en las partes media-alta de la microcuenca en ambas vertientes existen remanentes de vegetación arbórea-arbustiva alta, donde los árboles alcanzan alturas mayores a 15 m representando un bosque de buen desarrollo y alta densidad (Pacheco y otros 2006).

3.6 Población

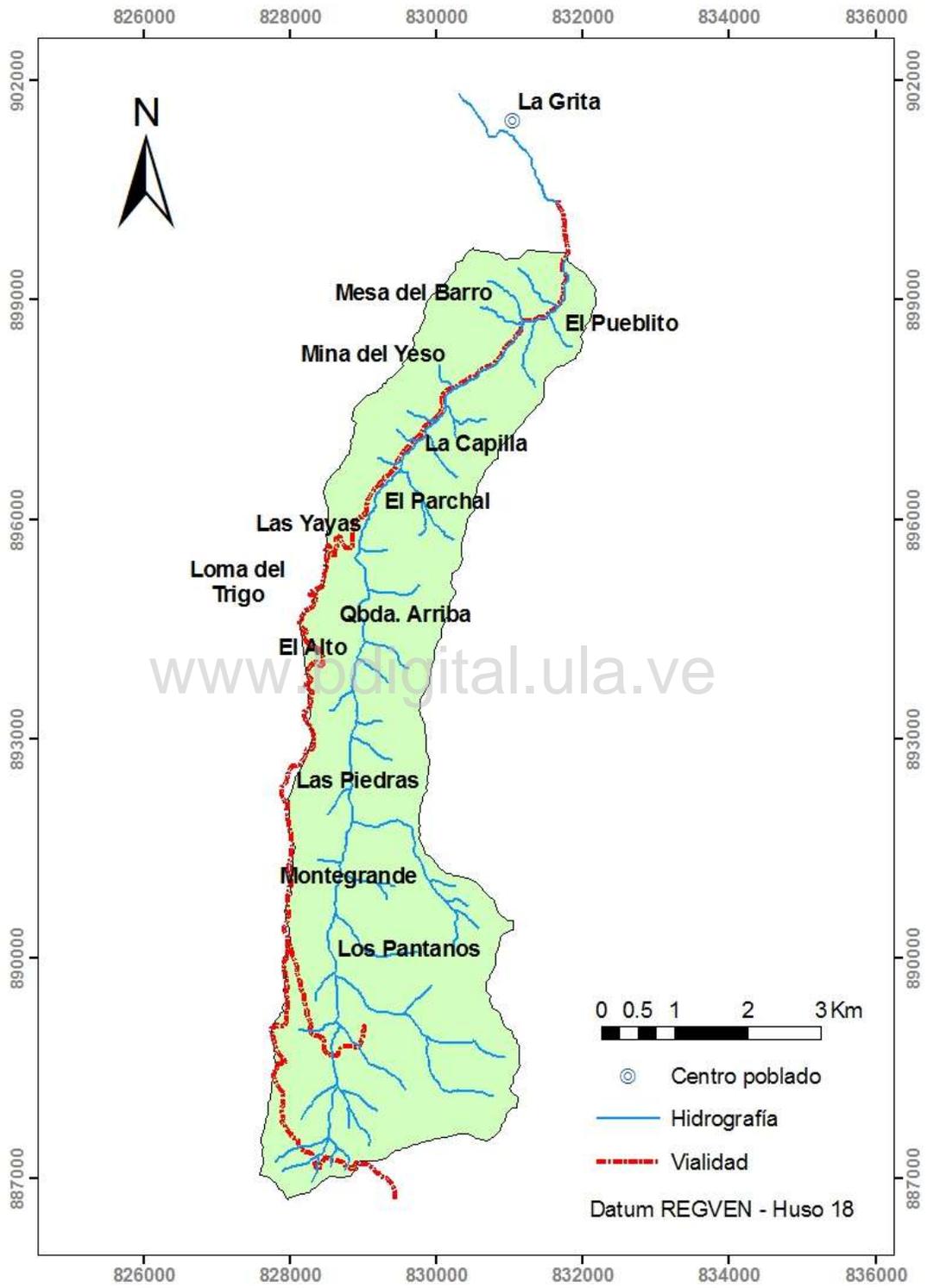
Con el fin de comprender mejor la organización que existe entre los habitantes de la microcuenca, se presenta la Figura 3.6, en la cual se aprecian los distintos caseríos o sectores que la conforman. Este mapa se realizó con base en información recopilada en diarios de campo suministrados por la Dirección General de Cuencas Hidrográficas del MINEA e información obtenida por la investigadora a través de visitas de campo. Se debe resaltar que el caserío “Loma del Trigo” que aparece en dicho mapa, geográficamente no pertenece a la microcuenca en estudio, pero tiene un rol importantes en cuanto al consumo de sus recursos hídricos se refiere.

La población actual de la microcuenca se obtuvo a partir del último censo sanitario, el cual es realizado anualmente por las enfermeras de los dos ambulatorios rurales existentes en la comunidad: “Quebrada de San José” y “Páramo de Los Pantanos”. En la Tabla 3.3 se indica el número de viviendas y habitantes para cada caserío de la microcuenca para el año 2016, totalizando 530 viviendas y 1817 habitantes.

Tabla 3.3. Datos de la población de la microcuenca Quebrada San José

Caserío	N° de viviendas	N° de habitantes
El Parchal	112	405
Quebrada arriba	38	125
La Capilla	69	266
Mesa del Barro	49	147
Mina de Yeso	60	186
El Pueblito	57	178
El Alto (Los Chacones)	29	115
Las Yayas	16	34
La Cuchilla	14	49
Las Piedras	31	114
Monte grande	27	96
Los Pantanos	28	102
Total	530	1817

Fuente: Corporación de Salud Táchira (2016)



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.6. Caseríos de la microcuenca Quebrada San José

3.7 Sistemas de Riego

Como se ha venido mencionando, la principal actividad económica en la cuenca es agrícola, por lo que era fundamental identificar a los usuarios que demandan agua para riego. Para ello, se revisó el inventario preliminar de sistemas de riego en la microcuenca, elaborado por el Departamento de Ingeniería Municipal de la Alcaldía de Jáuregui en el año 2003, el cual consiste en un croquis donde se registra la ubicación de algunas tomas directas en la quebrada y sus tributarios.

No obstante, a través de las inspecciones en campo, y de información suministrada por el Instituto Nacional de Desarrollo Rural (INDER Táchira) (2016), se pudo concluir que varias de las tomas inventariadas ya no existen y otras están ubicadas en puntos muy cercanos entre sí, por lo cual se agruparon en 6 sitios de toma principales, que surten a los diferentes sistemas de riego. Esta información se complementó con datos de las superficies regadas actualmente y potencialmente regables, suministrados por los responsables de cada sistema de riego y por el INDER Táchira (2006), los cuales se exponen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Sistemas de riego en la microcuenca

Sistema de riego	Fuente de captación	Número de usuarios	Superficie (ha)		
			Regada	Regable	Total
El Pueblito	Cauce principal	36	50	70	80
Mina de Yeso – El Parchal – La Capilla – Mesa del Barro	Cauce principal	95	141	150	160
La Toma	Cauce principal	160	640	700	720
Las Piedras	Callejón Las Brujas	25	50	50	70
Alto de Las Piedras – Loma del Trigo	Callejón La Tigra	34	80	90	100
Los Pantanos y Montegrande	Callejón La Tigra	37	170	180	200
	Total	387	1131	1240	1330

Fuente: adaptado de información suministrada por productores locales y por INDER Táchira (2016).

Es importante mencionar que existe un comité de riego para cada uno de estos sistemas, los cuales están registrados ante el INDER. No obstante, hasta el momento ningún comité ha tramitado su licencia de aprovechamiento del recurso hídrico ante el MINEA.

3.8 Tomas de Agua en la Microcuenca

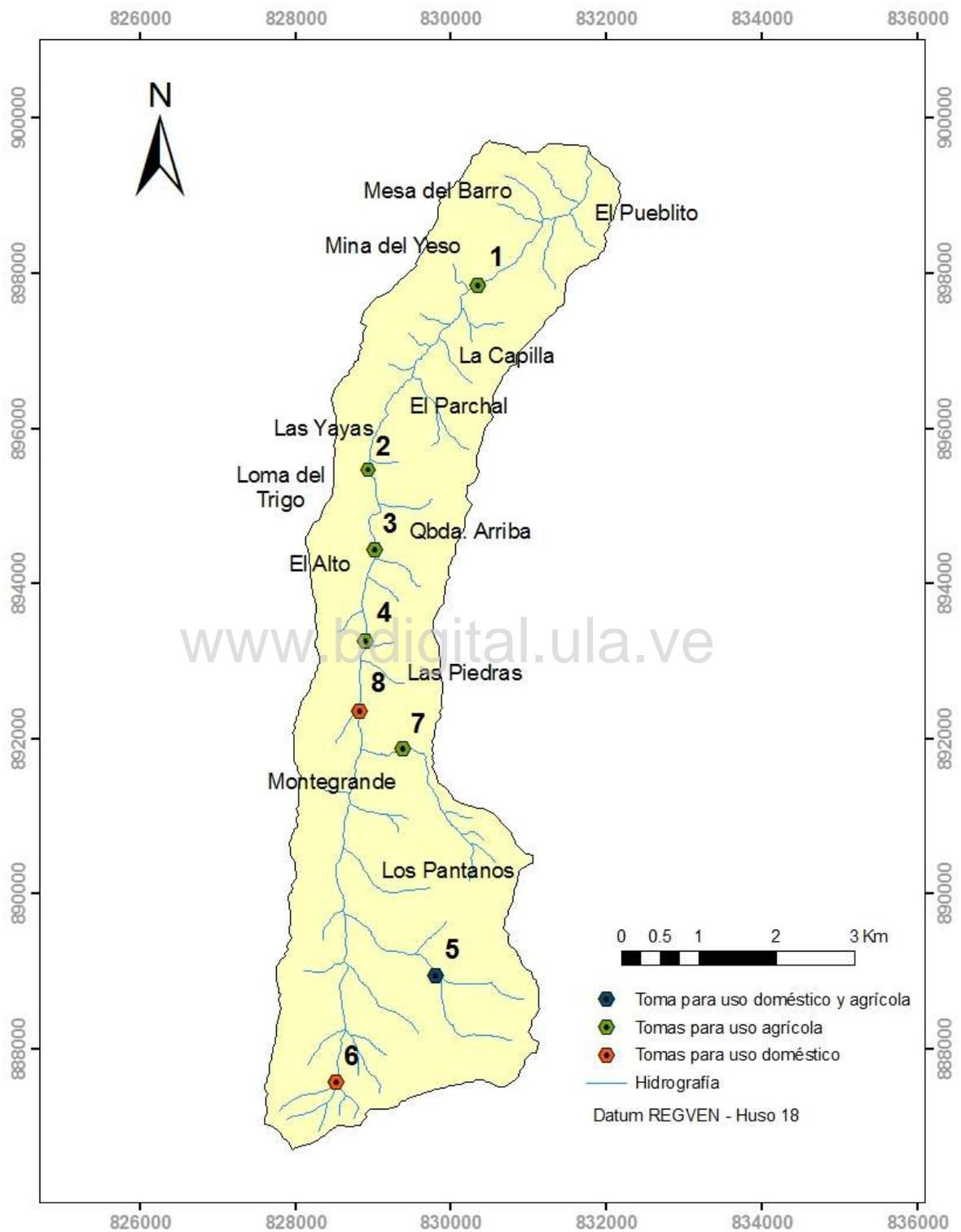
A través del trabajo de campo se identificaron ocho (8) sitios de toma en los cuales se capta el agua para los usos doméstico y/o agrícola en la microcuenca. Todas las tomas se realizan directamente en el cauce mediante diques artesanales, es decir que no existen obras de regulación (embalses). En la Tabla 3.5 se exponen algunas características relevantes de estas, tales como su ubicación, fuente de captación, tipo de uso y sistema abastecido. Así mismo, se presenta la Figura 3.7 en la que se ubican estas captaciones; los números corresponden a la identificación de cada toma que se presenta en la Tabla 3.5. Cada una de estas tomas abastece sistemas de conducción por gravedad, por lo que los beneficiarios de las mismas se ubican aguas abajo de las captaciones.

Tabla 3.5. Características de las tomas de agua en la microcuenca

Toma	Coordenadas UTM*		Altitud (msnm)	Fuente de captación	Tipo de uso	Sistema de riego o acueducto abastecido
	Norte	Este				
1	897852	830354	1559	Cauce principal	Agrícola	El Pueblito
2	895464	828933	1738	Cauce principal	Agrícola	Mina de Yeso – El Parchal – La Capilla – Mesa del Barro
3	894441	829035	1832	Cauce principal	Agrícola	El Pueblito
4	893264	828904	1931	Cauce principal	Agrícola	Mina de Yeso – El Parchal – La Capilla – Mesa del Barro
5	888955	829820	2721	Callejón La Tigra	Agrícola/Doméstico	La Toma
6	887585	828529	2852	Callejón del Páramo	Doméstico	Loma del Trigo
7	891872	829382	2420	Callejón Las Brujas	Agrícola	Alto de Las Piedras Los Pantanos y Montegrande
8	892378	828831	2021	Cauce principal	Doméstico	Acueducto rural de Montegrande, Los Pantanos y Las Piedras

Fuente: elaboración propia.

* Datum REGVEN. Huso 18N.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.7. Sitios de toma en la microcuenca.

Con el fin de obtener una idea de la magnitud de la oferta de agua en la microcuenca, se realizaron algunos aforos puntuales, durante las visitas de campo. Uno de estos se efectuó durante el mes de agosto de 2016, en el punto donde se ubica el sitio de toma 1 (ver Figura 3.7), resultando un caudal de 54 l/s. Dicho aforo se realizó por el método de área-velocidad, utilizando un correntómetro, con la colaboración del personal del MINEA, como se aprecia en la Figura 3.8.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.8. Aforo de la quebrada en sitio de toma 1.

Como se mencionó antes, todas las tomas de agua en la cuenca se realizan directamente en el cauce de la quebrada y las conducciones se realizan por medio de tuberías, a excepción de la toma identificada con el número 4, que se aprecia en la Figura 3.7. Ésta se realiza por medio de un canal artesanal construido hace más de 80 años por los habitantes del sector (ver Figura 3.9), quienes lo denominan “La Toma”, el cual abastece a 160 usuarios (ver Tabla 3.4).

Durante el mes de agosto de 2016 también se realizó un aforo de dicho canal, en el sitio de derivación de agua, obteniéndose un caudal de 36 l/s. Adicionalmente, en ese momento, se midió el caudal de la quebrada en un punto antes de la derivación del canal (ver Figura 3.10), obteniéndose un caudal de 65 l/s. Estos aforos se realizaron por el método de área-velocidad, utilizando un flotador.

Finalmente es importante mencionar que durante las visitas de campo se observó que algunos productores poseen tanques australianos, como el que se observa en la Figura 3.11. Estos tanques les permiten compensar sus demandas de agua para riego en los meses secos.



www.bdigital.ula.ve Fuente: elaboración propia.
Figura 3.9. Canal artesanal “La Toma”.



Fuente: elaboración propia.
Figura 3.10. Aforo de la quebrada en sitio de toma 4.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.11. Tanque australiano en el sector Loma del Trigo.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 4

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describe la metodología que se siguió para abordar cada uno de los objetivos planteados, conducentes a contribuir con la gestión integral del agua en la microcuenca.

4.1 Naturaleza de la Investigación

La presente investigación se enmarca en un nivel proyectivo, con base en los planteamientos de Hurtado (2000), debido a que su propósito general contempla una propuesta para contribuir a la solución de una situación determinada; en este caso, los conflictos por el uso del recurso hídrico en el sector. En lo referente al diseño, se realizó el análisis de las variables que definen el balance hídrico en la microcuenca tal y como se presentan en su contexto real. En consecuencia, la investigación se considera no experimental. Así mismo, por la naturaleza de este estudio, los datos de interés fueron recopilados por una parte, directamente de la realidad; y por otra, a partir de estudios censales o muestrales obtenidos en investigaciones previas.

A partir del planteamiento anterior y según la definición presentada por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2011), el presente trabajo puede considerarse como una investigación no experimental con diseño de campo y documental. Con respecto a los datos obtenidos, los mismos se analizaron bajo el enfoque cuantitativo. Ello debido a que se realizó un balance hídrico en el área de estudio, para lo cual se requirió el uso de modelos matemáticos-estadísticos que permitieran contrastar la oferta y la demanda del vital líquido, permitiendo plantear posibles escenarios de conflictos. A partir de los resultados numéricos obtenidos, tales como indicadores de uso del recurso, se plantearon las correspondientes medidas para el manejo del agua en la cuenca.

4.2 Procedimiento

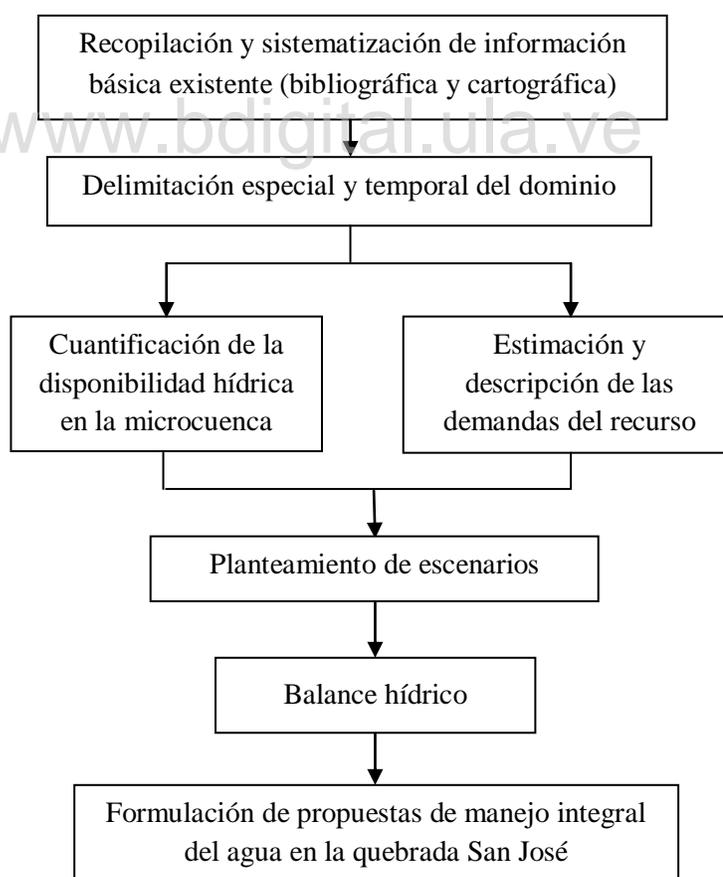
Para el logro de los objetivos planteados se estructuró la metodología de acuerdo a las fases de trabajo que se esquematizan en la Figura 4.1. A continuación se describe en qué consistió cada una de las fases propuestas.

4.2.1 Recopilación y sistematización de información básica existente

Durante esta fase se procedió a la indagación de trabajos realizados en el área de estudio por parte de instituciones públicas tales como universidades, Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA), Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB), Instituto

Nacional de Desarrollo Rural (INDER), entre otras. La información documental recopilada permitió conocer las condiciones naturales de la cuenca, usos de la tierra, caracterización de cursos de agua en cuanto a su cantidad y demandas, entre otros. Con respecto a la cartografía, se digitalizaron las hojas cartográficas a escala 1:25000 producidas por la Dirección de Cartografía Nacional (1970), con indicación de curvas de nivel, hidrografía, vialidad y centros poblados. Para la delimitación de la microcuenca Quebrada San José se utilizó como fuente las hojas: 5739-I-NE, 5740-II-NE, 5740-II-SE y 5840-III-NO.

Como se explicará más adelante en este capítulo, fue necesaria la digitalización de la hidrografía y la divisoria de la cuenca del Río Grita hasta la estación hidrométrica Panamericana, razón por la cual, adicionalmente se digitalizaron las siguientes hojas a escala 1:25000: 5739-I-NO, 5739-I-SO, 5739-IV-NE, 5739-IV-SE, 5740-I-SE, 5740-I-SO, 5740-II-NO, 5740-II-SO, 5740-III-NE, 5740-III-SE, 5740-IV-SE, 5840-III-SO y 5840-IV-SO. Las coberturas utilizadas en este estudio se generaron a través del software ArcMap 9.3 (ESRI, 2008) y se proyectaron en coordenadas UTM, datum REGVEN y huso 18. En el Anexo I se presentan los archivos con esta información.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.1. Diagrama de flujo del procedimiento propuesto.

4.2.2 Delimitación espacial y temporal del dominio

En esta fase se definió el alcance de la investigación. Tal como se expresó en los capítulos anteriores, la microcuenca se estudió excluyendo el área de drenaje de la quebrada Aguas Calientes. Para tal propósito, se empleó la herramienta sobre hidrología (Hidrology) de ArcMap 9.3, la cual permite delimitar cuencas a partir de un modelo de elevación digital del terreno (generado a partir de las curvas de nivel digitalizadas) y un punto de cierre.

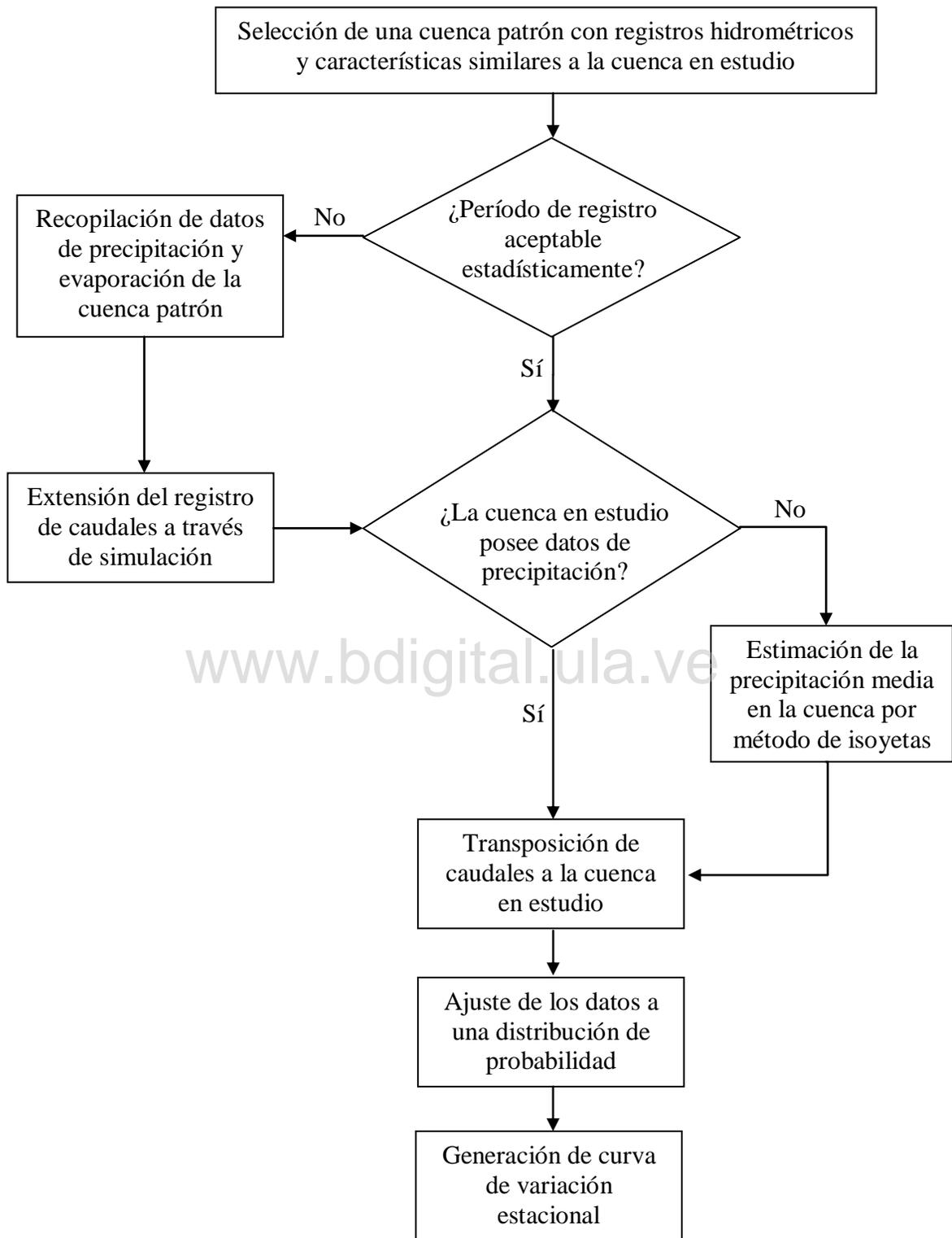
Mediante visitas de campo guiadas por la comunidad del sector, y haciendo uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) portátil, se identificaron las coordenadas para cada uno de los sitios de aprovechamiento del recurso hídrico. En cuanto a la delimitación temporal, se consideró un horizonte de planificación de 20 años a partir del año 2016.

4.2.3 Cuantificación de la disponibilidad hídrica en la microcuenca

En lo referente a la determinación de la oferta o disponibilidad hídrica, la microcuenca Quebrada San José no cuenta con suficientes registros de caudales, existiendo únicamente algunos valores puntuales medidos por el ICLAM durante el período 2010-2012 justo antes de la confluencia de la quebrada San José con el río Grita en las coordenadas $8^{\circ}04'50,8''$ N y $71^{\circ}59'23,2''$ O. Debido a que este lapso de tiempo no es aceptable estadísticamente para evaluar el comportamiento del caudal medio de la quebrada, fue necesario recurrir a un procedimiento indirecto que permitiera obtener la información deseada. La metodología propuesta se adaptó de los trabajos realizados por Goodwin y Young (2007), Peña (2006) y Naranjo y Duque (2004), para la determinación de la oferta hídrica en cuencas sin información. En la Figura 4.2 se presenta un esquema del procedimiento seguido, el cual puede adaptarse a casos de estudio similares.

El primer paso consistió en seleccionar una cuenca patrón que tuviera características similares a la microcuenca y contara con registros históricos de caudales medios. Para este estudio, se consideró a la cuenca del Río Grita como cuenca patrón, debido a que la microcuenca Quebrada San José es parte de ésta y además existen mediciones de caudal del río Grita en la estación hidrométrica Panamericana (serial 0213). Dicha estación registró aforos diarios y mensuales durante un lapso de tiempo comprendido entre abril de 1968 a junio de 1976. No obstante, se procedió a extender este período mediante simulación hidrológica, debido a que se contaba con datos de precipitación para un período más largo, los cuales podían ser aprovechados para lograr un mejor análisis estadístico de los caudales.

En este orden de ideas, se procedió a calibrar un modelo de simulación hidrológica (en este caso el modelo SIHIM) para la cuenca patrón. Posteriormente, se extendió el registro de caudales medidos obteniendo caudales seudohistóricos para el río Grita en la estación Panamericana.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.2. Metodología para estimar la oferta de agua en una microcuenca sin mediciones.

Finalmente se hizo la transposición de dichos caudales, a la microcuenca de estudio, mediante un factor que relaciona el área y la precipitación media de cada cuenca, según el planteamiento de Goodwin y Young (2007). Debido a que no existen estaciones climatológicas dentro de la microcuenca, no se contaba con datos de precipitación, por lo cual fue necesario aplicar el método de isoyetas para obtener esta información. A continuación se describe cada uno de los pasos que se siguieron para el logro de este objetivo.

4.2.3.1 Calibración del modelo SIHIM

En primer lugar, es importante aclarar que en la microcuenca de estudio no existen obras de regulación de caudales y las principales tomas de agua se realizan directamente en el cauce, por lo cual sería más apropiado trabajar con datos diarios de caudal para estimar la oferta hídrica. Si bien se disponía de aforos diarios del río Grita (cuenca patrón), para los años 1969 a 1974, registrados por la estación Panamericana, se decidió trabajar con un modelo mensual debido a que la calidad de los datos de precipitación diaria registrada por las estaciones existentes en el área de influencia era muy pobre (existe una considerable cantidad de datos faltantes), lo cual dificultaba obtener una calibración aceptable.

Como se explicó en el Capítulo 2, antes de aplicar algún modelo de simulación hidrológica a una cuenca particular, es necesario efectuar su calibración, proceso que busca reproducir el comportamiento de la escorrentía observada a partir de algunas variables de entrada, con el fin de obtener ciertos parámetros que definen el ciclo hidrológico regional. En el caso del modelo SIHIM, las variables de entrada requeridas para la calibración son: datos de caudales medios mensuales, datos de precipitación y evaporación mensual para las estaciones ubicadas en el área de influencia de la cuenca, porcentaje del área de influencia abarcada por cada estación, precipitación media anual en la cuenca y características generales del suelo, tales como profundidad y textura predominante (Duque y Barrios, 1988).

La Tabla 4.1 indica el registro histórico de caudales medios mensuales del río Grita hasta la estación Panamericana, abarcando un área de drenaje de 683,59 km². Para el ingreso de datos al modelo SIHIM, no se consideraron los años 1968 y 1976, por estar incompletos; así como tampoco el año 1975, debido a que se presentaban inconsistencias en los valores para algunos meses, al contrastar éstos con la data de precipitación de las estaciones de influencia para ese mismo año, condiciones que impedían lograr una adecuada calibración del modelo. De esta forma, se trabajó con 6 años de registro (1969 a 1974), teniendo un total de 72 datos de caudal de la cuenca patrón.

Para la selección de las estaciones de precipitación con influencia sobre la cuenca del Río Grita, se identificaron, en principio, las estaciones cuya ubicación geográfica estuviera comprendida entre las latitudes 7°30' y 8°30' N y las longitudes 71°45' y 72°30' O, con el

fin de abarcar aquellas que pudiesen tener influencia sobre la cuenca. Dichas coordenadas corresponden a las hojas cartográficas 5738, 5739, 5740, 5840, 5841. La larga lista de estaciones se depuró seleccionando aquellas que funcionaron durante el período 1968 a 1997, correspondiente al período más extenso encontrado en cuanto a data de precipitación. De esta manera se pudo generar la mayor serie de caudales posible.

Tabla 4.1. Registros de caudal medio del río Grita en la estación Panamericana (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1968	-	-	-	19,0	21,9	28,6	17,8	12,7	11,4	15,5	13,6	11,6
1969	12,8	13,6	6,8	21,6	13,9	11,9	8,5	10,1	7,3	22,4	21,1	15,8
1970	10,7	13,0	10,5	5,6	9,5	7,2	6,6	7,5	8,3	13,9	17,3	15,9
1971	23,9	24,9	16,7	19,9	38,5	27,5	21,6	26,7	34,1	38,4	30,8	33,5
1972	37,0	31,5	24,4	59,1	71,0	42,2	37,0	32,0	32,1	33,7	47,4	27,6
1973	5,1	4,8	4,3	10,4	5,6	8,9	8,7	9,7	34,3	34,4	71,3	37,0
1974	18,1	15,8	23,2	22,0	27,5	9,2	9,2	9,9	13,9	19,8	19,3	8,1
1975	5,2	4,3	4,8	5,1	12,6	6,7	10,9	9,0	15,6	8,6	21,2	89,2
1976	23,6	54,1	51,9	37,9	20,3	11,7	-	-	-	-	-	-

Fuente: MARN (2010)

La Tabla 4.2 presenta las estaciones climatológicas seleccionadas y en la Figura 4.3 se aprecia la ubicación de éstas y de la estación hidrométrica con respecto a la cuenca patrón y a la cuenca de estudio. Los datos de precipitación se presentan en el Apéndice A y en el Anexo II, los cuales se tomaron de la base de datos del antiguo Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2010).

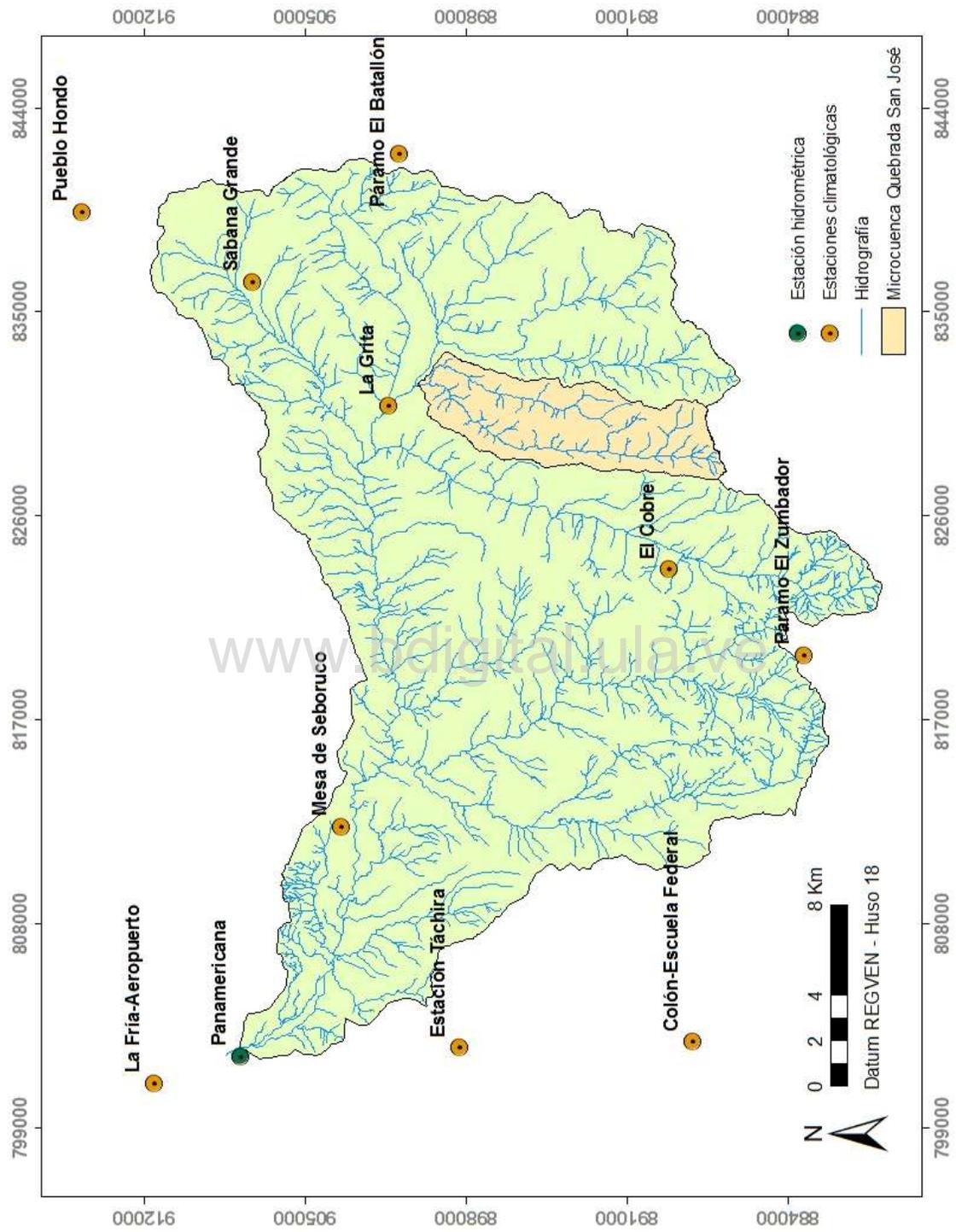
Tabla 4.2. Estaciones climatológicas en la cuenca del Río Grita

Estación	Serial	Hoja Cartográfica	Coordenadas UTM*	
			Norte	Este
Paramo El Zumbador	4072	5739	883348	819964
Colón - Escuela Federal	3091	5740	888181	802890
El Cobre	3094	5740	889187	823754
Estación Táchira	3081	5740	898325	802638
Paramo El Batallón	8066	5840	900916	842056
Mesa de Seboruco	3082	5740	903466	812406
Sabana Grande	3073	5840	907331	836399
La Fría - Aeropuerto	3061	5740	911566	801077
Pueblo Hondo	3074	5840	914736	839498
La Grita**	3083	5840	901421	830976

Fuente: MARN (2010)

* Datum REGVEN – Huso 18N

** Estación utilizada únicamente para estimar la evaporación media en la cuenca



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.3. Cuenca del Río Grita hasta la estación Panamericana.

Si bien se disponía de datos de precipitación de nueve (9) estaciones para el período 1968 a 1997, al explorar la calidad de los datos se encontró que varias estaciones poseían sus registros incompletos, existiendo meses con datos englobados y faltantes, por lo que fue necesario estimar dichos valores. La Tabla 4.3 presenta las estaciones de precipitación seleccionadas indicando los años con datos mensuales faltantes y englobados para el período de simulación seleccionado.

Tabla 4.3. Registros de precipitación mensual para las estaciones seleccionadas

Estación	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Páramo El Zumbador	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Colón - Escuela Federal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
El Cobre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Estación Táchira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Páramo El Batallón	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mesa de Seboruco	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sabana Grande	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
La Fría - Aeropuerto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pueblo Hondo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Años sin datos faltantes ni englobados ■ Años con datos faltantes
■ Años con datos englobados ■ Años sin datos
■ Años con datos faltantes y englobados

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que aunque el registro histórico de precipitación mensual de la estación El Cobre (Serial 3094) llega hasta el año 1992, ésta fue considerada en el estudio por ser la más cercana a la microcuenca Quebrada San José. Los datos de precipitación mensual correspondientes a los 5 años restantes (1993 a 1997) para esta estación se completaron por medio del método de la proporción normal entre estaciones vecinas, sugerido por Linsley y otros (1977). En este orden de ideas, cada uno de los datos faltantes se estimó aplicando la Ecuación 4.1 que se indica a continuación.

$$P_x = \frac{1}{n} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_n} P_n \right) \quad (4.1)$$

Donde:

P_x : dato faltante de precipitación (mm)

N_x : precipitación media anual de la estación en estudio (mm)

N_A , N_B y N_n : precipitación media anual de las estaciones vecinas (mm)

P_A , P_B y P_n : precipitación en las estaciones vecinas durante el mismo período del dato faltante (mm)

n : número de estaciones vecinas consideradas

De igual forma, es preciso aclarar que para las demás estaciones, fue necesario desenglobar datos aplicando las Ecuaciones 4.2 y 4.3 sugeridas por Delgadillo y Moreno (2012b).

$$P_i = \frac{P_{\text{acum}}}{\sum A_i} \times A_i \quad (4.2)$$

$$A_i = \left(\frac{P_a}{N_a} \right) \times N_i \quad (4.3)$$

Donde:

P_i : precipitación del mes i (mm)

P_{acum} : precipitación acumulada o englobada (mm)

A_i : precipitación mensual sin considerar el dato englobado (mm)

P_a : precipitación total del año (mm)

N_a : precipitación media anual (mm)

N_i : precipitación media del mes i (mm)

En el caso de los datos faltantes, se estimaron por medio del método de la proporción normal para una estación determinada, mediante la Ecuación 4.4 referida por Delgadillo y Moreno (2012b).

$$\frac{P_i}{N_i} = \frac{P_i + \sum P_j}{N_a} \quad (4.4)$$

Donde:

$\sum P_j$: precipitación anual sin contar el mes con el dato faltante (mm)

Los demás términos se definieron para las ecuaciones anteriores.

Por otra parte, los datos de la estación Páramo El Zumbador (Serial 4072) durante el período 1968-1977 se obtuvieron a través de una correlación con la antigua estación Páramo El Zumbador (Serial 4004), ubicada aproximadamente a 2 km de aquella, la cual funcionó desde 1952 a 1978. Para ello, se realizó una regresión lineal simple entre los datos de ambas estaciones para el año 1978, siendo este el año en común en cuanto a registros para las dos estaciones.

En relación al área de influencia, sobre la cuenca del río Grita, de cada una de las estaciones de precipitación, la misma se obtuvo mediante polígonos de Thiessen. Linsley y otros (1977) explican que este método consiste en ubicar las estaciones sobre un mapa y dibujar líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices de estas líneas, al intersectarse, forman polígonos alrededor de cada estación. El área efectiva o área de influencia de cada estación corresponde al área delimitada por los lados de cada polígono. Esta operación se realizó a través del software ArcMap 9.3.

Adicionalmente, se aplicó el método de las isoyetas, referido por Linsley y otros (1977) para conocer la precipitación media anual sobre la cuenca del río Grita y la microcuenca

Quebrada San José. Este método se basa en graficar la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia en un mapa, sobre el cual se dibujan líneas de igual precipitación (conocidas como isoyetas). La precipitación media sobre la cuenca se calcula aplicando la Ecuación 4.5. Este cálculo también se realizó mediante el software ArcMap 9.3.

$$\bar{P} = \frac{\sum(P_{ij} \times A_{ij})}{A_T} \quad (4.5)$$

Donde:

\bar{P} : precipitación media sobre la cuenca (mm)

P_{ij} : precipitación media caída entre isoyetas (mm)

A_{ij} : área entre isoyetas (km²)

A_T : área total de la cuenca (km²)

En cuanto a la evaporación mensual sobre la cuenca patrón, se contaba con cuatro estaciones en el área de influencia que poseían registros de esta variable: La Fría-Aeropuerto (Serial 3061), Páramo El Zumbador (Serial 4072), Angostura-El Cobre (Serial 8044) y La Grita (Serial 3083). En vista de que los años de registro de todas las estaciones no coincidían, se decidió trabajar únicamente con la estación La Grita (Serial 3083) la cual se consideró representativa de la cuenca por su ubicación y porque posee un registro con una extensión aceptable, comprendido por el periodo 1963 a 1983.

Sin embargo, en vista de que dicho lapso de tiempo no coincidía con los registros de precipitación, se utilizaron únicamente los valores promedio mensuales de evaporación para la calibración del modelo y posterior simulación. Estos valores se presentan en la Tabla 4.4. Según Peña (2006) este supuesto es aceptable debido a que permite manejar un valor representativo de la evaporación en la cuenca ante la carencia de datos en los años seleccionados para la simulación. Es importante aclarar que en vista de que existían datos faltantes, fue necesario estimarlos mediante el método de la proporción normal señalado en la Ecuación 4.1, utilizando como referencia los datos de la estación La Fría-Aeropuerto (Serial 3061). Los valores registrados por estas estaciones se presentan en el Apéndice B, los cuales fueron suministrados por MARN (2010).

Tabla 4.4. Evaporación media mensual en la estación La Grita, Serial 3083 (mm)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio 1963 a 1983	128,7	122,4	138,9	123,1	130,3	120,0	127,8	134,6	135,9	131,3	116,9	123,3

Fuente: MARN (2010)

Adicionalmente, para definir ciertos parámetros que requieren ser ingresados al modelo SIHIM, los cuales describen los procesos de infiltración, percolación, escurrimiento y flujo

base, en la cuenca patrón; fue necesario revisar los resultados de estudios de suelos realizados en este sector por parte del Laboratorio Bioambiental UNET, desde 2013 a 2015. A partir de tales estudios se pudo concluir que en promedio, en la cuenca predominan los suelos de texturas gruesas, principalmente Franco arenosos.

4.2.3.2 Simulación de escorrentía para la cuenca del Río Grita

Una vez calibrado el modelo de simulación, se definieron los parámetros que describen el comportamiento hidrológico de la cuenca patrón; y a partir de éstos y de la información recopilada sobre precipitación y evaporación en el área de estudio, se procedió a extender el registro de caudales medios del río Grita para un período de 29 años (1969 a 1997) el cual se definió a partir de la data de precipitación que se tenía disponible.

4.2.3.3 Transposición de escorrentía a la microcuenca Quebrada San José

Con el fin de estimar la producción hídrica en la microcuenca, se aplicó un factor de corrección o transferencia, T_c , a los caudales generados para la cuenca patrón, obteniendo así, la escorrentía de la quebrada San José en el punto de confluencia con el río Grita para el período 1969 a 1997. Esta corrección se realizó con base en la metodología utilizada por Goodwin y Young (2007), Peña (2006) y Naranjo y Duque (2004), a través de las Ecuaciones 4.6 y 4.7.

$$T_c = \left(\frac{A_{est}}{A_{pat}} \right) \left(\frac{P_{est}}{P_{pat}} \right) \quad (4.6)$$

$$Q_{est} = Q_{pat} \times T_c \quad (4.7)$$

Donde:

T_c : factor de corrección de la microcuenca en estudio

A_{est} : área de la microcuenca en estudio (km^2)

A_{pat} : área de la cuenca patrón (km^2)

P_{est} : precipitación media mensual de la microcuenca en estudio (mm)

P_{pat} : precipitación media mensual de la cuenca patrón (mm)

Q_{est} : caudal medio mensual para la microcuenca en estudio (m^3/s)

Q_{pat} : caudal medio mensual para la cuenca patrón (m^3/s)

En este punto es importante aclarar que la transposición se hizo, en primer lugar, para toda la microcuenca, debido a que se buscaba comparar los caudales obtenidos con aquellos que midió el ICLAM durante el período 2010-2012. Sin embargo, para efectos del balance hídrico se realizó otra transposición considerando la superficie seleccionada para este estudio (excluyendo el área de drenaje de la quebrada Aguas Calientes).

De igual forma, es importante mencionar que la metodología original para transposición de caudales, recomienda utilizar la precipitación media anual para el cálculo del factor de corrección. Sin embargo, debido a que se trabajó con un fenómeno periódico, se optó por corregir los caudales mensuales con factores que consideraran la precipitación mensual correspondiente, es decir que para cada mes se calculó un valor de T_c . Este procedimiento se consideró más apropiado, debido a que los caudales obtenidos para los meses secos presentaban diferencias apreciables con respecto a los que se obtuvieron utilizando el factor anual. La comparación de estos resultados se expone en el Apéndice C.

Consecuentemente, se aplicó el método isoyético, descrito anteriormente, con el fin de estimar la precipitación media mensual para la cuenca patrón y para la microcuenca en estudio. A través del software ArcMap 9.3, se realizaron mapas de isoyetas mensuales y se calculó el valor medio sobre cada cuenca. Para ello, se partió de la precipitación promedio mensual para el período 1968 a 1997, de cada una de las estaciones ubicadas en el área de influencia de la cuenca del Río Grita. Estos valores se observan en la Tabla 4.5. El área de cada cuenca se calculó mediante ArcMap 9.3, a partir de los polígonos que representan las divisorias.

Tabla 4.5. Precipitación media mensual para el período 1968 a 1997 (mm).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Páramo El Zumbador	29,6	33,6	48,5	117,3	90,5	90,2	109,2	98,9	100,4	125,5	109,9	56,2
Colon-Esc. Federal	85,7	84,8	99,7	159,5	116,6	72,1	75,9	81,1	125,2	202,4	191,5	134,3
El Cobre	20,4	32,7	38,5	121,0	93,8	53,6	58,3	61,1	88,6	122,0	105,5	58,5
Estación-Táchira	150,4	156,3	195,8	243,3	229,6	211,6	227,2	242,7	239,9	323,8	278,4	170,2
Páramo El Batallón	27,7	35,2	60,8	116,6	111,4	104,3	118,5	107,6	98,3	120,1	92,0	46,9
Mesa de Seboruco	154,7	154,3	170,1	294,6	227,1	136,6	116,2	137,4	224,1	281,3	267,6	172,9
Sabana Grande	26,4	34,3	59,2	115,8	90,1	48,5	41,5	49,0	76,8	117,7	99,6	51,6
La Fría-Aeropuerto	150,9	155,4	199,4	319,2	240,1	114,3	142,8	180,8	240,5	279,5	295,0	195,9
Pueblo Hondo	28,3	34,1	57,0	113,4	94,0	48,7	45,9	52,2	78,3	114,6	93,4	43,0

Fuente: MARN (2010).

4.2.3.4 Ajuste de los datos a una distribución de probabilidad

En el ámbito de la planificación de recursos hídricos, generalmente es conveniente seleccionar un modelo probabilístico que represente satisfactoriamente el comportamiento de alguna variable hidrometeorológica. Chow, Maidment y Mays (1994) explican que “una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria” (p. 374). Tal como lo señala Villón (2006), el ajuste de los datos permite predecir con una probabilidad establecida, la ocurrencia de una determinada magnitud de la variable estudiada.

En este estudio, se realizó el ajuste de los datos de caudal medio mensual de la quebrada San José, con el propósito de condensar, en una función de probabilidad, la gran cantidad de información que existe en la muestra de datos. Específicamente, el ajuste a una distribución teórica permitió estimar el caudal disponible en la cuenca para una probabilidad específica, para un cierto nivel de confiabilidad.

Según autores como Linsley y otros (1977), Chow y otros (1994) y Villón (2006), las distribuciones teóricas Normal y Log-Normal comúnmente se emplean en hidrología para valores medios mensuales o anuales. Por su parte, Villón (2006) argumenta que para utilizar estos modelos probabilísticos se deben calcular sus parámetros y realizar alguna prueba de bondad de ajuste, la cual consiste en comprobar gráfica y estadísticamente, si la probabilidad empírica de la serie analizada se ajusta a alguna función teórica seleccionada.

En este sentido, se realizaron 12 ajustes, es decir uno para cada serie mensual, a partir de los caudales seudohistóricos de la quebrada San José. Para ello, en primer lugar se procedió a graficar los datos de cada serie mensual en función de sus probabilidades empíricas, utilizando papeles de probabilidad Normal y probabilidad Log-Normal. Estas distribuciones se seleccionaron con base en el planteamiento explicado en el párrafo anterior. La probabilidad empírica se calculó a partir de la ecuación de Weibull (citado por Linsley y otros, 1977), por ser la más frecuentemente utilizada en hidrología. Ésta se presenta en la Ecuación 4.8. Los resultados de las probabilidades empíricas para cada serie y las gráficas realizadas se presentan en el Apéndice D.

$$P_{X < x} = \frac{m}{n + 1} \quad (4.8)$$

Donde:

$P_{X < x}$: probabilidad de que X sea menor al valor x

n: número total de valores

m: posición de un valor en una lista ordenada por magnitud ascendente

Los puntos graficados correspondientes a la probabilidad empírica se compararon con las distribuciones teóricas, las cuales corresponden a líneas rectas en el papel de probabilidad correspondiente. Ello permitió definir, con cierta certeza, si los datos se ajustaban o no a la distribución de probabilidad. Sin embargo, este ajuste es subjetivo, por lo cual fue necesario verificarlo a través de una prueba de bondad de ajuste para cada serie. Este procedimiento se realizó mediante la prueba de Smirnov-Kolmogorov a través del software AJUSTEV3, desarrollado por Duque (2006).

4.2.3.5 Generación de curva de variación estacional

Una vez seleccionada la distribución de probabilidad que se ajusta mejor a los datos de escorrentía, se procedió a determinar los caudales mensuales asociados a distintas probabilidades de excedencia. Estos cálculos también se realizaron con el software AJUSTEV3, el cual determina la función teórica de probabilidad. Conociendo los valores de caudal para distintas probabilidades de ocurrencia, se realizó una curva de variación estacional, en la cual éstos se representan en función de los meses del año. Ello con el fin de conocer la variabilidad temporal de los caudales en la quebrada y poder definir la disponibilidad del recurso en cantidad.

4.2.4 Estimación y descripción de las demandas del recurso

Para efectos de esta investigación se consideraron los usos doméstico, agrícola y ambiental, debido a que son los más representativos en la microcuenca. A continuación se describe la metodología seguida para determinar cada una de las demandas asociadas a estos usos.

4.2.4.1 Demanda doméstica

La demanda de agua para consumo humano se estimó mediante el producto de la dotación promedio y el número de habitantes. A pesar de tratarse de una población rural, se consideró una dotación de $200 \text{ l.hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, debido a que se evidenció que los habitantes no son ahorrativos en el uso del agua, empleándola, en actividades como: aseo personal, preparación de alimentos, riego de jardines que poseen las viviendas, entre otras. Adicionalmente esta dotación se fijó considerando las pérdidas en la red de distribución debidas a roturas en tuberías, conexiones inadecuadas y otras fallas, las cuales se hicieron evidentes durante los recorridos de campo que se llevaron a cabo. Por lo tanto, la demanda doméstica se calculó a partir de la Ecuación 4.9:

$$D_d = \text{Dot} \times \text{Pob} \times (1/86400) \quad (4.9)$$

Donde:

D_d : demanda doméstica (l/s)

Dot: dotación ($\text{l.hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)

Pob: población (hab)

Como se indicó en el capítulo anterior (apartado 3.6), la población actual de la microcuenca se consultó en el informe del último censo sanitario, que anualmente realizan las enfermeras locales. En la Tabla 2.4 se indica el número de habitantes para cada caserío, totalizando 1817 habitantes para el año 2016.

Adicionalmente fue necesario estimar la población del caserío Loma del Trigo (ver Figura 3.6), que si bien geográficamente no pertenece a la microcuenca, sus habitantes sí se

consideran usuarios de ésta, demandando agua tanto para consumo humano como para riego. En dicho caserío existen aproximadamente 45 viviendas, lo cual permite suponer que habitan alrededor de 180 personas, considerando un promedio de 4 habitantes por vivienda. A partir de esta estimación y de los resultados del censo sanitario, puede totalizarse una población actual de 1997 habitantes, quienes representan a los usuarios del recurso hídrico para fines domésticos.

Por otra parte, la población futura se proyectó a partir del método geométrico, de forma similar a la metodología propuesta por Rázuri y otros (2008). Es importante referir que no se optó por trabajar con el método aritmético o lineal, el cual es utilizado con frecuencia para poblaciones rurales, debido a que, como argumenta Ospina (1981) éste no se recomienda para periodos mayores a 5 años, ya que “el error de estimación es directamente proporcional a la cantidad de tiempo (p.80)”. Este mismo autor también explica que el método geométrico puede aplicarse si se asume un porcentaje constante de cambio por unidad de tiempo, lo cual es razonable en localidades con baja densidad de población, espacialmente en poblaciones rurales. El cálculo se realizó a partir de la Ecuación 4.10 que se indica a continuación.

$$Pob_F = Pob_{UC} (1 + r)^{t_F - t_{UC}} \quad (4.10)$$

Donde:

Pob_F : población futura o proyectada

Pob_{UC} : población del último censo

r: tasa de crecimiento anual

t_F : año de la proyección

t_{UC} : año del último censo

Para estimar la población futura, se consideró la tasa de crecimiento poblacional del municipio Jáuregui determinada a partir de los resultados de los dos últimos Censos Nacionales de Población y Vivienda realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Dicha entidad territorial está constituida en su mayoría por aldeas rurales por lo cual se asumió que la tasa de crecimiento anual en la microcuenca será similar a la de todo el municipio. Consecuentemente, el término “r” de la Ecuación 4.10 se calculó aplicando logaritmo en ambos lados de la igualdad y sustituyendo los valores de la población total del municipio Jáuregui para los años 2001 y 2011, siendo estos 36660 y 41000 habitantes, respectivamente (INE, 2014). Así, resultó una tasa de crecimiento anual de 1,125%.

4.2.4.2 Demanda para riego

La determinación de las demandas mensuales de agua para riego se realizó estimando los módulos de riego mensuales para una hectárea hipotética que fuera representativa de los cultivos que se manejan en la microcuenca. Un módulo de riego se define como el caudal

de agua por unidad de superficie cultivada, que se debe aplicar al suelo para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Por lo tanto, para obtener la demanda agrícola de una superficie cultivada se debe multiplicar el módulo por el área bajo riego, tal como lo indica la Ecuación 4.11.

$$D_r = \text{Mod}_r \times A_r \quad (4.11)$$

Donde:

D_r : demanda para riego (l/s)

Mod_r : módulo de riego ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)

A_r : área bajo riego (ha)

Para calcular los módulos de riego, en primer lugar se definió una hectárea hipotética en la cual se siembran los rubros más representativos de la cuenca. Para cada rubro se definió el porcentaje del área total ocupada por éste y finalmente se elaboró un patrón de cultivos o calendario de riego, en el cual se establecieron las fechas de siembra y cosecha a lo largo de un año. Es importante aclarar que los módulos de riego no son constantes en el tiempo, debido a que las necesidades hídricas de los cultivos varían a lo largo de su ciclo de vida. La Ecuación 4.12 corresponde al cálculo de estos módulos a nivel mensual.

$$\text{Mod}_r = \sum (N_{ri} \times \%A_{ri}) \times \frac{1 \text{ l/m}^2}{1 \text{ mm}} \times (1/86400) \times (10^4/1) \quad (4.12)$$

Donde:

Mod_r : módulo de riego mensual ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)

N_{ri} : necesidad de riego del cultivo i (mm.d^{-1})

$\%A_{ri}$: porcentaje del área regada sembrada con el cultivo i (%)

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, se seleccionaron los rubros más representativos que manejan los agricultores locales, partiendo de criterios como el número de productores que lo cultivan y el porcentaje del área total sembrada con estos. Para ello, fue necesario realizar una indagación de campo que permitiera identificar los cultivos con mayor importancia en el sector.

A través de observación directa y de conversaciones sostenidas con miembros de la comunidad durante las visitas de campo, se concluyó que en general en toda la cuenca se mantiene una homogeneidad en cuanto a las actividades agrícolas que allí se desarrollan, destacándose los cultivos de ciclo corto, con énfasis en la horticultura, y en menor medida, la ganadería de altura con orientación a la producción de leche para consumo familiar.

En esta etapa de la investigación, se aplicaron entrevistas no estructuradas a los productores de los diferentes caseríos de la microcuenca. Como se indicó en el capítulo anterior (Tabla

3.4), existen aproximadamente 387 beneficiarios de los sistemas de riego, los cuales constituyen la población de estudio en cuanto a usuarios agrícolas se refiere. Se trabajó con una muestra de 42 productores (los cuales representan 11% del total). De esta manera se obtuvo, para cada finca o unidad de producción, información relativa a:

- Cultivos principales
- Método de riego empleado
- Superficie total
- Superficie regada
- Fecha de siembra
- Frecuencia de riego
- Horas de riego diarias
- Capacidad de almacenamiento
- Desarrollo de actividades ganaderas

La información recopilada durante las entrevistas se presenta en el Anexo III. Es importante mencionar que el tamaño de la muestra y la selección de las personas entrevistadas fue intencional, con base en el planteamiento de Arias (2006), quien señala que en algunos estudios la selección del tamaño de la muestra no tiene que ser un proceso netamente estadístico, sino que puede fijarse a juicio del investigador. En este caso, la muestra se definió obedeciendo a criterios como: seguridad personal de la investigadora, facilidad de acceso a la finca y disposición del entrevistado a responder. Este último representó un obstáculo en varias oportunidades, debido a que los productores de la microcuenca, en general, sienten desconfianza y recelo para dar información detallada sobre sus propiedades, especialmente en lo que respecta al uso del agua.

Es preciso mencionar que para el logro de esta etapa fue decisivamente importante el apoyo brindado por el Sr. Ernesto Duque Márquez, miembro de la comunidad, quien trabajó como comisario rural de la aldea por más de 30 años y permitió establecer el vínculo con los productores y otros miembros de la sociedad.

Retomando la Ecuación 4.12, en ella se hace referencia a las necesidades de riego de los cultivos. Esta variable se estimó partiendo de que cada cultivo crece en condiciones ideales o estándar; es decir, que el cultivo “se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes”, tal como explican Allen y otros (2006). El cálculo se efectuó a través de la Ecuación 4.13, siguiendo la metodología utilizada por Rázuri y otros (2008).

$$N_r = ET_c - P_{ef} \quad (4.13)$$

Donde:

N_r : necesidades de riego de los cultivos (mm.d^{-1})

ET_c : evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (mm.d^{-1})

P_{ef} : precipitación efectiva (mm.d^{-1})

La evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar puede calcularse a partir de la Ecuación 4.14, propuesta por Allen y otros (2006):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (4.14)$$

Donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo (mm.d^{-1})

ET_0 : evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.d^{-1})

K_c : coeficiente del cultivo

La precipitación efectiva, en el contexto de la agronomía, se entiende como la porción de la precipitación caída sobre la cuenca, que se infiltra en el suelo, es decir, que está disponible para que el cultivo la aproveche. A continuación se explica el procedimiento que se siguió para la estimación de cada una de estas variables.

- Estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0):

La evapotranspiración de referencia se define como la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar, correspondiente a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, en condiciones óptimas de humedad (Allen y otros, 2006). Este valor representa la demanda de evapotranspiración de la atmósfera y es independiente del tipo de cultivo, de la etapa de crecimiento de éste y de las prácticas de manejo. Su estimación se realizó a través del método de FAO Penman-Monteith (Ecuación 4.15), el cual es recomendado como método estándar a nivel mundial. Para su aplicación, es necesario contar con datos mensuales de radiación solar, temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa media y velocidad media del viento.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (4.15)$$

Donde:

ET_0 : evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.d^{-1})

R_n : radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

G : flujo de calor del suelo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

T : temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

γ : constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

u_2 : velocidad del viento a 2 m de altura (m.s^{-1})

e_s : presión de vapor de saturación (kPa)

e_a : presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$: déficit de presión de vapor (kPa)

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor a saturación (kPa °C⁻¹)

El cálculo de ET_o se puede realizar manualmente o mediante programas de computación diseñados para este fin. En el caso de esta investigación, se utilizó el software CROPWAT 8.0 siguiendo el procedimiento que se describe más adelante en este capítulo. Allen y otros (2006) explican que el cálculo manual se lleva a cabo a través de los siguientes pasos (los cuales se presentan de forma detallada en el Apéndice E):

- Derivar algunos parámetros climáticos de las temperaturas máximas y mínimas (T_{max} y T_{min}), de la altitud (z) y de la velocidad media del viento (u_2).
- Calcular el déficit de la presión de vapor ($e_s - e_a$). La presión de saturación de vapor (e_s) se deriva de T_{max} y T_{min} , mientras que la presión real del vapor (e_a) se puede derivar de la temperatura del punto de rocío o de la humedad relativa.
- Determinar la radiación neta (R_n) como la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}).
- La ET_o se obtiene combinando los resultados de los pasos anteriores.

Como se ha mencionado antes, muchas regiones de Venezuela carecen de información meteorológica representativa, lo cual es un obstáculo para la aplicación del método citado. Trezza (2008) sugiere que en Venezuela puede aplicarse la ecuación de Hargreaves como método alternativo al propuesto por la FAO, debido a que los resultados obtenidos con éste, para diferentes casos estudiados en el país, han presentado poca desviación con respecto a aquél y, para su aplicación, solo se requieren datos de temperatura máxima y mínima del aire, información disponible en la mayoría de estaciones climatológicas del país. No obstante, como en la microcuenca no se han instalado estaciones de medición, no se cuenta, inclusive, con estos registros básicos.

Con base en lo anteriormente expuesto, se decidió utilizar los datos registrados por alguna estación ubicada fuera de la microcuenca. Se seleccionó la estación La Grita (Serial 3109), por estar localizada muy cerca del área de interés en las coordenadas UTM 899935 N y 834095 E, y a una altitud similar a la microcuenca (1440 msnm). Esta estación registró valores medios mensuales de temperatura máxima media, temperatura mínima media, humedad relativa media, velocidad media del viento e insolación media, durante el período 1967 a 1973.

Para efectos de estimar la ET_o media mensual en la microcuenca, se trabajó con el promedio de los datos registrados a nivel mensual, los cuales se indican en la Tabla 4.6. Los datos originales se tomaron de MARN (2010) y se presentan en el Apéndice F. Conviene resaltar que dicha estación funcionó a menos de 4 km de la homónima estación La Grita (Serial 3083), cuyos registros de evaporación (período 1963 a 1983) se consideraron en la estimación de la oferta hídrica (ver Figura 4.3).

Tabla 4.6. Datos meteorológicos medios registrados por la estación La Grita (Serial 3109), período 1967 – 1973

Mes	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura mínima media (°C)	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (km/h)	Insolación media (h/día)
Ene	22,2	14,0	82	6,2	6,1
Feb	22,4	14,1	82	5,1	6,8
Mar	22,9	14,9	82	5,0	6,4
Abr	23,3	15,6	83	4,5	4,8
May	24,2	16,2	83	4,5	5,9
Jun	23,6	15,9	83	4,3	5,0
Jul	23,5	15,5	82	4,0	4,7
Ago	23,4	15,3	81	3,9	5,6
Sep	24,5	15,4	81	4,7	5,9
Oct	23,7	15,3	83	4,0	5,8
Nov	22,7	14,8	84	3,9	5,7
Dic	22,2	14,2	83	4,6	6,1

Fuente: MARN (2010)

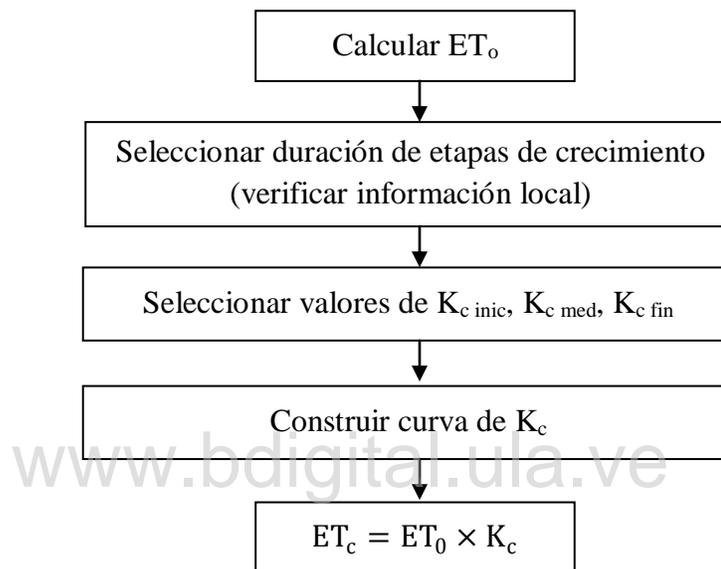
- Estimación de la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c):

Una vez seleccionados los principales rubros que inciden en el consumo de agua en la cuenca, se procedió a calcular la evapotranspiración en condiciones de referencia para cada uno de ellos, siguiendo la metodología que expone la FAO en el estudio de riego y drenaje presentado por Allen y otros (2006). En este orden de ideas, la evapotranspiración del cultivo se calculó multiplicando ET_o por K_c , como se señaló en la Ecuación 4.14. El coeficiente K_c expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia.

Según Allen (ob. cit) existen dos enfoques para calcular dicha diferencia: el primero de ellos consiste en definir un coeficiente único o integrado del cultivo, el cual incorpora características del cultivo y efectos generales de la evaporación en el suelo. El segundo enfoque, en cambio, utiliza dos factores que describen, respectivamente, las diferencias en evaporación y transpiración entre las dos superficies. En esta investigación se trabajó con el enfoque del coeficiente único del cultivo. Según los autores mencionados, dicho método es apropiado para propósitos de manejo y planificación de recursos hídricos. La Figura 4.4 presenta un esquema de este procedimiento.

Como se indica en la Figura 4.4, una vez determinado ET_o , lo siguiente fue precisar la duración de las etapas de crecimiento del cultivo. Para ello se tomaron valores de referencia tabulados en el trabajo de Allen (ob. cit), algunos de los cuales fueron adaptados a las realidades locales, con base en información suministrada por productores del sector.

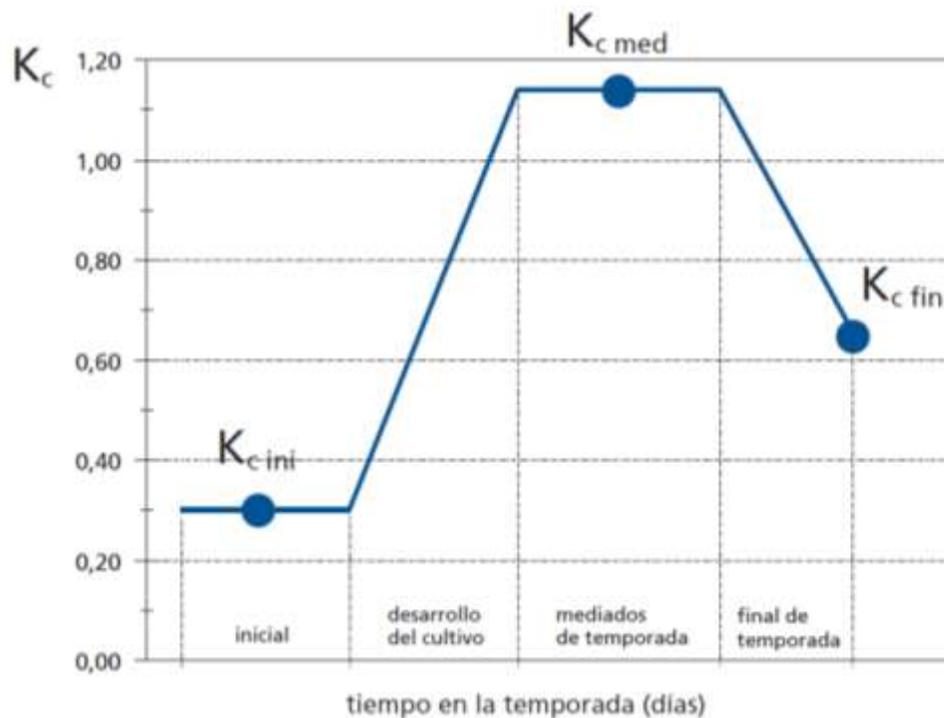
El coeficiente K_c presenta variaciones a lo largo del período de crecimiento del cultivo, debido a que ocurren cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Allen y otros (2006) expresan que la curva del coeficiente del cultivo permite representar esta variación, tal como indica la Figura 4.5. Para graficarla únicamente se necesitan tres valores de K_c , los cuales corresponden a la etapa inicial ($K_{c\text{ inic}}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\text{ med}}$) y la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$). Para efectos de esta investigación se consideraron valores de K_c tabulados por la FAO, debido a que no se han realizado investigaciones previas para determinar estos valores en el ámbito local.



Fuente: adaptado de Allen y otros (2006).

Figura 4.4. Procedimiento para calcular ET_c por el enfoque de K_c único a nivel de planificación.

Como puede verse en el ejemplo de la Figura 4.5, para realizar la curva del coeficiente del cultivo se debe dividir el período de crecimiento entre la duración de las cuatro etapas que describen el desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, media y final). Conociendo los valores de K_c para cada etapa, referidos en el párrafo anterior, se deben trazar líneas horizontales a través de $K_{c\text{ inic}}$ en la etapa inicial y a través de $K_{c\text{ med}}$ en la etapa de mediados de temporada. Así mismo, se deben trazar líneas diagonales desde $K_{c\text{ inic}}$ hasta $K_{c\text{ med}}$ durante la etapa de desarrollo, y desde $K_{c\text{ med}}$ a $K_{c\text{ fin}}$ durante la etapa final (Allen y otros, 2006). Una vez construida la curva, el valor de K_c para un determinado momento de crecimiento del cultivo se puede determinar gráficamente o numéricamente, definiendo las funciones de cada segmento de recta. Finalmente, como se presenta en la Figura 4.4, se realizó el cálculo de ET_c .



Fuente: Allen y otros (2006).

Figura 4.5. Ejemplo de una curva del coeficiente del cultivo.

- Estimación de la precipitación efectiva (P_{ef}):

En el contexto de la agricultura de regadío, la precipitación efectiva se define como la fracción de la precipitación total que puede ser utilizada para satisfacer las necesidades de agua de un cultivo. Es decir, se excluyen las fracciones de infiltración profunda, escorrentía superficial y evaporación de la superficie del suelo, tal como refiere Dastane (1978). Este parámetro se estimó utilizando el método del USDA SCS (Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Autores como Martínez, Garrido y López (2010) argumentan que este método es ampliamente utilizado en el manejo de agua para riego y consiste en aplicar las Ecuaciones 4.16 y 4.17 que se indican a continuación.

$$P_{ef} = \frac{P_t}{125} \times (125 - 0,2 \times P_t) \quad \text{para } P_t \leq 250 \text{ mm} \quad (4.16)$$

$$P_{ef} = (125 + 0,1 \times P_t) \quad \text{para } P_t > 250 \text{ mm} \quad (4.17)$$

Donde:

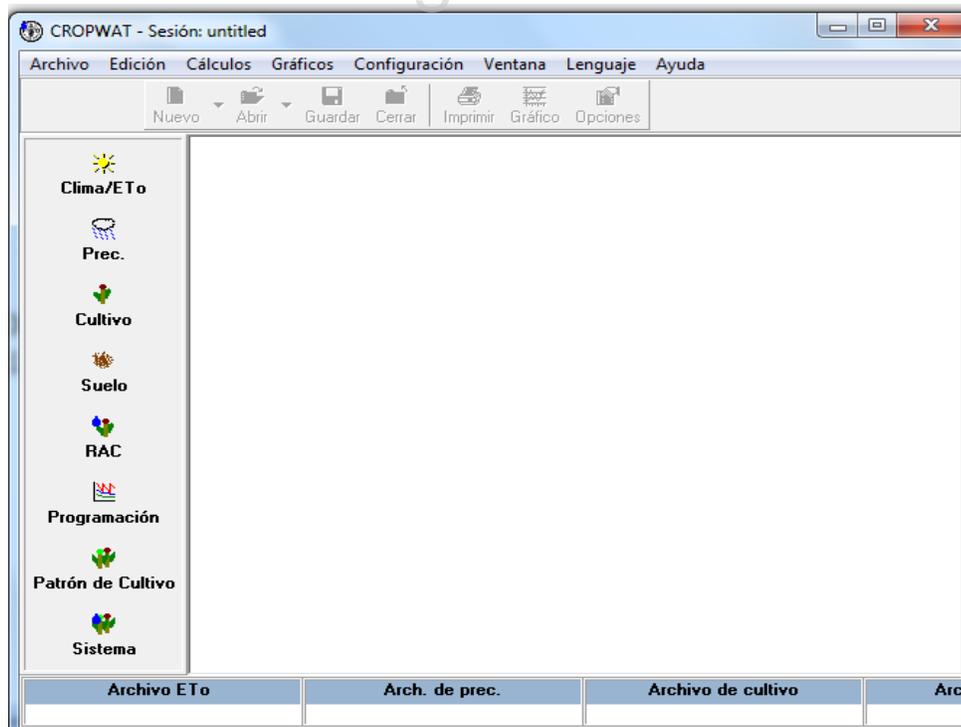
P_{ef} : precipitación efectiva para el período considerado (mm)

P_t : precipitación total para el período considerado (mm)

4.2.4.3 Uso del programa CROPWAT 8.0

Los cálculos necesarios para obtener la demanda de riego que se explican en el apartado anterior se efectuaron de forma automática a través del programa CROPWAT 8.0. Al iniciar el programa se presenta una ventana como la que se aprecia en la Figura 4.6. En la parte izquierda de ésta se ubican los íconos correspondientes a cada módulo de datos (clima/ ET_o , precipitación, cultivo, suelo, patrón de cultivo) y módulos de cálculo (requerimiento del agua del cultivo, programación de riego, y aprovisionamiento del sistema). A continuación se detallan los pasos que se siguieron para obtener la demanda de riego a través de este software.

- Guardar sesión de trabajo en: Archivo > Guardar sesión.
- Acceder al módulo de Clima/ ET_o (ver Figura 4.7). En esta ventana se ingresó la información sobre la estación climatológica de la cual se tomaron los datos para el cálculo de ET_o . Adicionalmente se completó la tabla con los valores medios de los datos meteorológicos que se indicaron en la Tabla 4.6. Las columnas que aparecen resaltadas en amarillo son calculadas por el programa. Las unidades de cada variable se pueden modificar en el menú Opciones, como se observa en la Figura 4.8.
- Guardar el archivo con la información sobre el clima y la ET_o .



Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.6. Ventana de inicio de CROPWAT 8.0.

ETo Penman-Monteith Mensual - untitled

País Estación

Altitud m. Latitud °N Longitud °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero							
Febrero							
Marzo							
Abril							
Mayo							
Junio							
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							
Promedio							

Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.7. Módulo de Clima/ET_o en CROPWAT 8.0.

Opciones de CROPWAT

Clima/ETo

Configuración de datos

ETo Penman-Monteith

Temperatura

Cambios a esta config. afectan solo a datos NUEVOS

Unidades

Humedad

Vel. de viento

Insolación

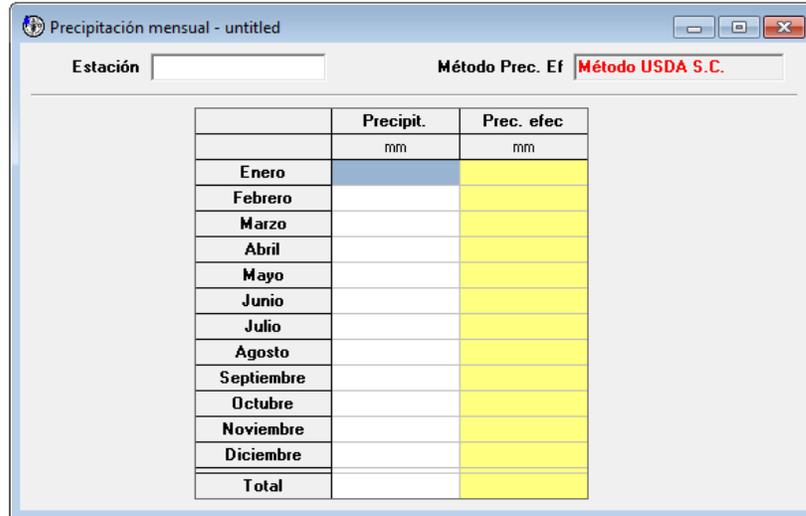
ETo

Guardar como por defecto Volver a conf. FAO por defecto OK Cancelar Ayuda

Fuente: Swennenhuis (2009).

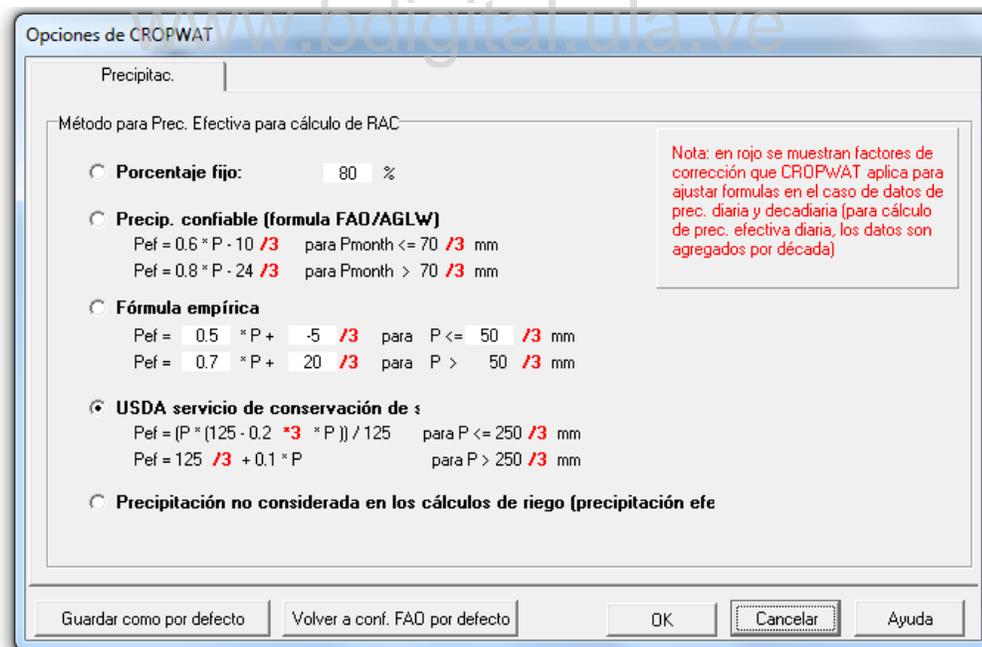
Figura 4.8. Menú de opciones para el Módulo Clima/ET_o en CROPWAT 8.0.

- Acceder al módulo de Precipitación (ver Figura 4.9). Se seleccionó el método de USDA SCS para el cálculo de la precipitación efectiva en el menú Opciones, como se indica en la Figura 4.10.



Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.9. Módulo de Precipitación en CROPWAT 8.0.



Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.10. Menú de opciones para el Módulo Precipitación en CROPWAT 8.0.

- En la columna de “Precipitación” que se observa en la Figura 4.9, se ingresaron los valores de precipitación media mensual sobre la microcuenca, obtenidos a través del procedimiento que se explicó en el apartado 4.2.3.3.
- Guardar el archivo con la información sobre la precipitación.
- Acceder al módulo de Cultivo (ver Figura 4.11). En esta ventana se ingresó, para cada cultivo, la información sobre: fecha de siembra, duración de cada etapa de crecimiento y coeficiente del cultivo para cada etapa de crecimiento, de acuerdo al procedimiento que se explicó en el apartado anterior.
- El programa CROPWAT puede corregir el valor de ET_c previendo que el cultivo se encuentre bajo condiciones de estrés hídrico, por lo cual adicionalmente se ingresaron datos sobre profundidad máxima efectiva de las raíces, fracción de agotamiento de la humedad en el suelo y coeficientes estacionales de respuesta a la productividad, de cada uno de los cultivos seleccionados para este estudio. Por tratarse de un estudio de demandas hídricas a nivel de planificación, y debido a que no se han realizado investigaciones para determinar estos valores en campo, se optó por considerar los valores tabulados por la FAO en el estudio de Allen y otros (2006).
- Guardar un archivo de cultivo para cada rubro considerado en el estudio.
- Abrir el módulo de cálculo RAC (requerimiento de agua del cultivo). En este se presentan los resultados del cálculo que realiza el programa para cada cultivo por separado, como se aprecia en el ejemplo de la Figura 4.12.

Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.11. Módulo de Cultivo en CROPWAT 8.0.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0.70	2.09	20.9	11.0	9.9
Ene	2	Des	0.81	2.44	24.4	7.3	17.0
Ene	3	Med	1.00	3.12	34.4	8.9	25.5
Feb	1	Med	1.05	3.39	33.9	11.1	22.8
Feb	2	Med	1.05	3.50	35.0	12.1	22.9
Feb	3	Med	1.05	3.55	28.4	13.1	15.3
Mar	1	Med	1.05	3.60	36.0	12.8	23.3
Mar	2	Med	1.05	3.66	36.6	13.1	23.4
Mar	3	Fin	1.00	3.39	37.3	20.1	17.2
Abr	1	Fin	0.89	2.95	29.5	30.0	0.0
Abr	2	Fin	0.80	2.54	25.4	37.3	0.0
					341.6	176.8	177.2

Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.12. Módulo de cálculo del Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) en CROPWAT 8.0.

- Para obtener los módulos de riego que se mencionaron en el apartado anterior, se utilizó el módulo Patrón de cultivo (ver Figura 4.13). En este módulo se seleccionaron los archivos de cultivo guardados previamente y se indicaron las fechas de siembra para cada cosecha considerada en el calendario de riego. Adicionalmente se ingresó información sobre el porcentaje del área cultivada con cada cultivo (considerando una hectárea hipotética) y se procedió a guardar este archivo.

No.	Archivo de cultivo	Nombre del cult.	Siembra fecha	Cosecha fecha	Área %
1.	...Tesis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\Papa.CRO	Papa	01/01	26/04	27
2.	...Tesis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\Papa.CRO	Papa	26/05	18/09	27
3.	...sis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\Cebolla.CRO	Cebolla	01/01	20/04	21
4.	...sis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\Cebolla.CRO	Cebolla	20/05	06/09	21
5.	...Tesis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\maiz.CRO	Maíz	01/01	30/04	12
6.	...Tesis\DEMANDAS\Sesion Cropwat\maiz.CRO	Maíz	30/05	26/09	12
7.	...s\DEMANDAS\Sesion Cropwat\zanahoria.CRO	Zanahoria	01/01	20/04	11
8.	...s\DEMANDAS\Sesion Cropwat\zanahoria.CRO	Zanahoria	20/05	06/09	11
9.	...is\DEMANDAS\Sesion Cropwat\Caraota.CRO	Caraota	01/01	20/04	7

Fuente: Swennenhuis (2009).

Figura 4.13. Módulo de Patrón de cultivos en CROPWAT 8.0.

- Finalmente se utilizó el módulo Aprovechamiento del sistema, a través del cual se obtienen, para cada mes del año, los módulos de riego en litros por segundo por cada hectárea bajo riego ($l.s^{-1}.ha^{-1}$), partiendo del patrón de cultivos elaborado.

4.2.4.4 Cálculo de la huella hídrica azul de los cultivos

Como se explicó en el Capítulo 2, la huella hídrica es un indicador que relaciona el volumen de agua consumido durante la elaboración de un producto. Para efectos de esta investigación, se calculó la huella hídrica azul de los cultivos más representativos de la cuenca, con el fin de poder discernir cuáles poseen una mayor demanda del recurso (las fuentes de agua superficial, en este caso) y poder tomar decisiones en cuanto a planificación. Para este propósito se siguió la metodología implementada a nivel internacional, sugerida por Hoekstra y otros (2011), mediante las Ecuaciones 4.18 y 4.19 que se presentan a continuación.

$$WF_{\text{azul}} = \frac{CWU_{\text{azul}}}{Y} \times 1000 \quad (4.18)$$

$$CWU_{\text{azul}} = 10 \times \sum_{d=1}^{\text{lgp}} ET_{\text{azul}} \quad (4.19)$$

Donde:

WF_{azul} : huella hídrica azul (l/kg)

CWU_{azul} : consumo de agua superficial para la producción del cultivo (m^3/ha)

Y : rendimiento promedio del cultivo (kg/ha)

ET_{azul} : déficit de precipitación que debe suministrarse con el riego para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo (mm)

En la Ecuación 4.19, la sumatoria abarca la evapotranspiración diaria acumulada desde el día de la siembra ($d=1$) hasta el día de cosecha (el término “lgp” se refiere a la duración del período de crecimiento, por sus siglas en inglés). El valor de ET_{azul} corresponde al término N_r (necesidad de riego del cultivo) que se indicó anteriormente en la Ecuación 4.13. El mismo se estimó para cada cultivo a través del programa CROPWAT 8.0, siguiendo la metodología que se explicó en el apartado anterior.

4.2.4.5 Demanda por servicios ambientales

Además de las demandas hídricas descritas anteriormente, es necesario considerar un gasto mínimo en la quebrada que debe preservarse para suplir ciertos requerimientos ambientales tales como: derechos de usuarios aguas abajo, dilución de efluentes, mantenimiento de la biodiversidad en el cauce, mantenimiento de la capacidad de transporte de sedimentos,

razones sociales y culturales, entre otros (Mora, 2013). Para esta investigación, el cálculo de este gasto, conocido como caudal ecológico o ambiental, se realizó a partir de uno de los métodos hidrológicos recomendados por la legislación francesa, el cual sugiere utilizar un 10% del caudal medio anual de la corriente en estudio (Díez, 2005).

Sin embargo, diferentes autores, tales como Castro, Carvajal y Monsalve (2006) e Izquierdo y Madroñero (2013), explican que la variabilidad hidrológica a lo largo del año juega un papel importante en el mantenimiento del hábitat que se desarrolla en torno al cauce, debido a que esta variación condiciona la estructura de la biodiversidad acuática, define llanuras de inundación, humedales, entre otros. Por lo tanto, se decidió tomar en cuenta la variación estacional de la quebrada para el cálculo del caudal ecológico, a través de la Ecuación 4.20.

$$Q_{eco} = 0,10 \times \bar{Q} \quad (4.20)$$

Donde:

Q_{eco} : caudal ecológico o demanda por servicios ambientales (l/s)

\bar{Q} : caudal medio mensual (l/s)

4.2.5 Planteamiento de escenarios

Antes de realizar el balance hídrico, fue necesario definir el escenario actual y algunos posibles escenarios futuros, recordando que, para este estudio, se consideró un horizonte de planificación de 20 años (2016 a 2036). En lo referente a la oferta hídrica, se supuso que el patrón de caudales mensuales de la quebrada no variará a lo largo de estos 20 años. Es decir, que se efectuó el análisis sin considerar el cambio climático.

En el caso de la demanda doméstica, para los escenarios actual y proyectados, la misma está en función de la población actual y futura, respectivamente, tal como se mencionó en el apartado 4.2.4.1. En el caso de la demanda agrícola, los cálculos del escenario actual se hicieron con base en la superficie regada al presente. Por otra parte, para estimar la demanda proyectada para riego, se analizó un primer escenario en el cual se sigan sembrando los mismos cultivos en función de las superficies potencialmente regables; y otros escenarios en los cuales se disminuya el porcentaje del área bajo riego que se tiene actualmente en la cuenca.

4.2.6 Balance hídrico

En esta fase de la investigación, se procedió a contrastar la oferta y las demandas de agua con el fin de conocer la situación general de los recursos hídricos en la microcuenca. Para ello, en primer lugar se contrastó la curva de variación estacional del caudal de la quebrada San José, con las demandas mensuales actuales y proyectadas en función de los diferentes

escenarios. Este análisis permitió conocer si la microcuenca se encuentra bajo una situación de déficit hídrico estacional, déficit hídrico permanente o superávit hídrico.

Así mismo, se realizó un balance hídrico con el fin de obtener algunos indicadores de la cuenta del agua, los cuales permitieron definir si los usos actuales y potenciales garantizan la sostenibilidad del caudal comprometido aguas abajo. Los indicadores utilizados se seleccionaron con base los planteamientos expuestos por Molden (1997), que se detallaron en el Capítulo 2. En este orden de ideas, se decidió trabajar con la fracción de utilización benéfica, la cual se calculó por medio de las Ecuaciones 4.21 y 4.22 formuladas por el mencionado autor, y mediante la Ecuación 4.23 sugerida por Jerez (2014).

$$UB_{\text{bruto}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo bruto entrante}} \quad (4.21)$$

$$UB_{\text{agotado}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo agotado}} \quad (4.22)$$

$$UB_{\text{NC}} = \frac{\text{Agua agotada benéficamente}}{\text{Flujo saliente no comprometido}} \quad (4.23)$$

Donde:

UB_{bruto} : fracción de agotamiento benéfico en función del flujo bruto entrante

UB_{agotado} : fracción de agotamiento benéfico en función del flujo agotado

UB_{NC} : fracción de agotamiento benéfico en función del flujo saliente no comprometido

4.2.7 Formulación de propuestas para contribuir con la gestión integral del agua

Una vez diagnosticada la situación del recurso hídrico, se plantearon las estrategias orientadas tanto al manejo de la oferta y de la demanda, con miras hacia la gestión integral del agua en la microcuenca. Con respecto a las primeras, son aquellas que se implementan a largo plazo, debido a que están orientadas principalmente a la conservación de la cuenca: reforestación, uso de prácticas agrícolas de conservación de suelos, preservación de nacientes, entre otros. Sin embargo, el manejo de la oferta también puede aplicarse mediante obras de infraestructura que mejoren las condiciones de almacenamiento del agua en la cuenca.

En cuanto al manejo de la demanda, se consideraron estrategias que pueden implementarse a corto plazo, puesto que están orientadas a controlar los consumos del recurso hídrico por parte de los usuarios. Éstas esencialmente están enfocadas a cambios de uso, como en el caso del agua demandada para riego que puede reducirse con el manejo de cultivos con menores exigencias hídricas, planteamiento de calendarios de riego más eficientes y mejoramiento de los sistemas de riego para incrementar las eficiencias de éstos, entre otros.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados concernientes a la oferta de agua estimada, la descripción y cuantificación de las demandas hídricas actuales y potenciales, el análisis de las situaciones de conflicto a través de la confrontación oferta-demanda y de los indicadores de la cuenta del agua y por último, las estrategias que se proponen para contribuir con la gestión integral del agua en la microcuenca.

5.1 Disponibilidad de agua en la microcuenca

5.1.1 Calibración del modelo SIHIM

Como se explicó en el capítulo anterior, el modelo de simulación SIHIM requiere el área de influencia de las diferentes estaciones de precipitación consideradas. Estos valores se obtuvieron mediante polígonos de Thiessen y se indican en la Tabla 5.1. Por otra parte, fue necesario estimar la precipitación media anual sobre la cuenca del Río Grita (lo cual se llevó a cabo mediante el método de isoyetas), obteniendo un valor de 1368,7 mm. En la Figura 5.1 se observa la distribución de la precipitación media anual en la cuenca del río Grita, a través del mapa de isoyetas. Puede apreciarse el incremento gradual de este parámetro, desde la región de páramos en la cuenca alta con valores de 900 mm, hasta las planicies en la cuenca baja en las que se tienen hasta 2700 mm anuales. En el caso de la microcuenca Quebrada San José, se estimó un valor medio de 989,4 mm.

Tabla 5.1 Área de influencia de las estaciones de precipitación sobre la cuenca del río Grita

Estación	Serial	Área (km ²)	%
Paramo El Zumbador	4072	72,21	10,6
Colón - Escuela Federal	3091	11,30	1,7
El Cobre	3094	220,99	32,3
Estación Táchira	3081	25,32	3,7
Paramo El Batallón	8066	83,99	12,3
Mesa de Seboruco	3082	135,05	19,8
Sabana Grande	3073	126,66	18,5
La Fría - Aeropuerto	3061	6,04	0,9
Pueblo Hondo	3074	2,03	0,3
Total		683,59	100,0

Fuente: elaboración propia.

Con base en esta información y en los datos de precipitación, evaporación y escurriente observada que se indicaron en el capítulo anterior, se preparó el archivo de entrada para la calibración, el cual se presenta en el Anexo IV.

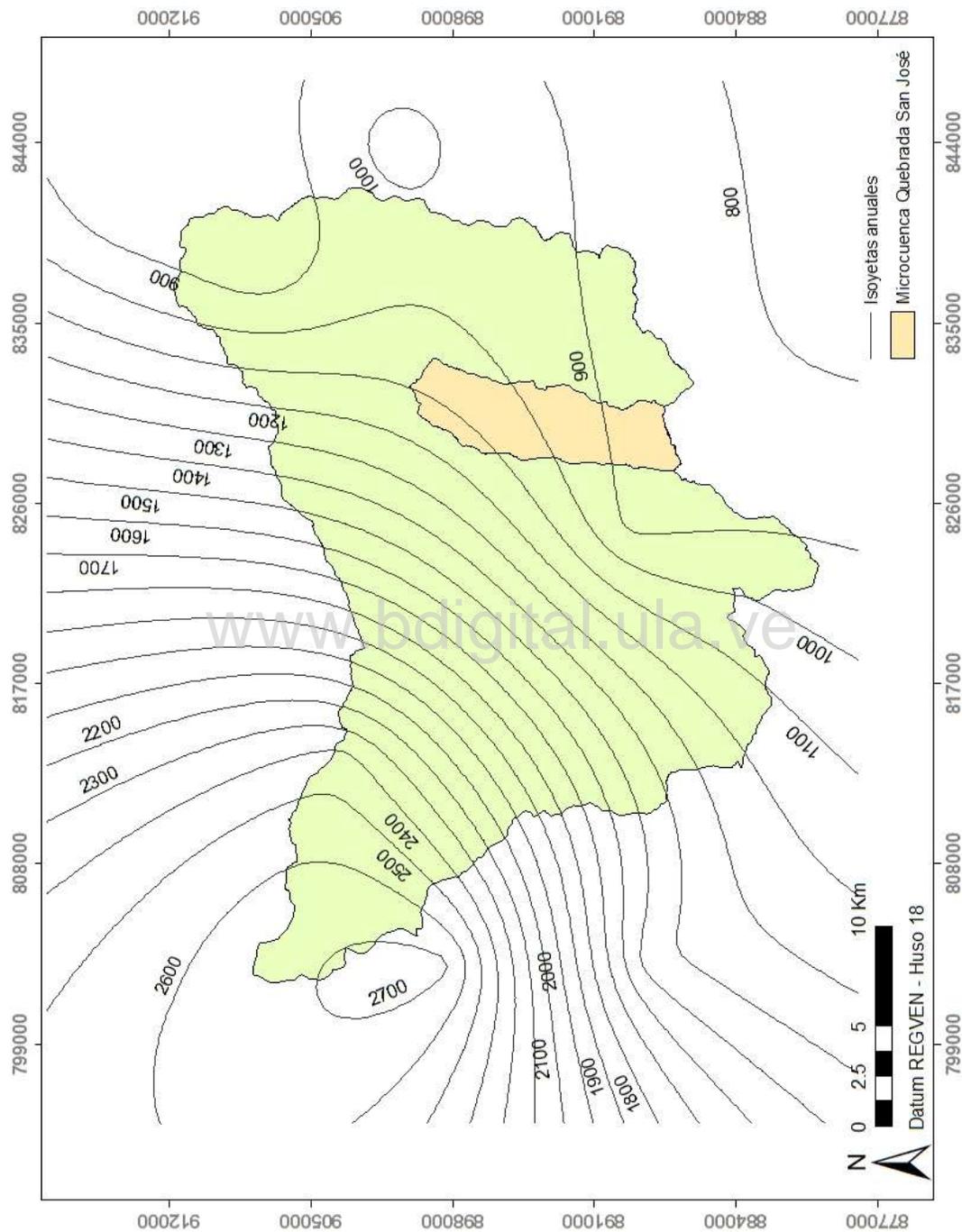


Figura 5.1. Mapa de isoyetas anuales (1968 – 1997) de la cuenca del Río Grita hasta la estación Panamericana.
 Fuente: elaboración propia.

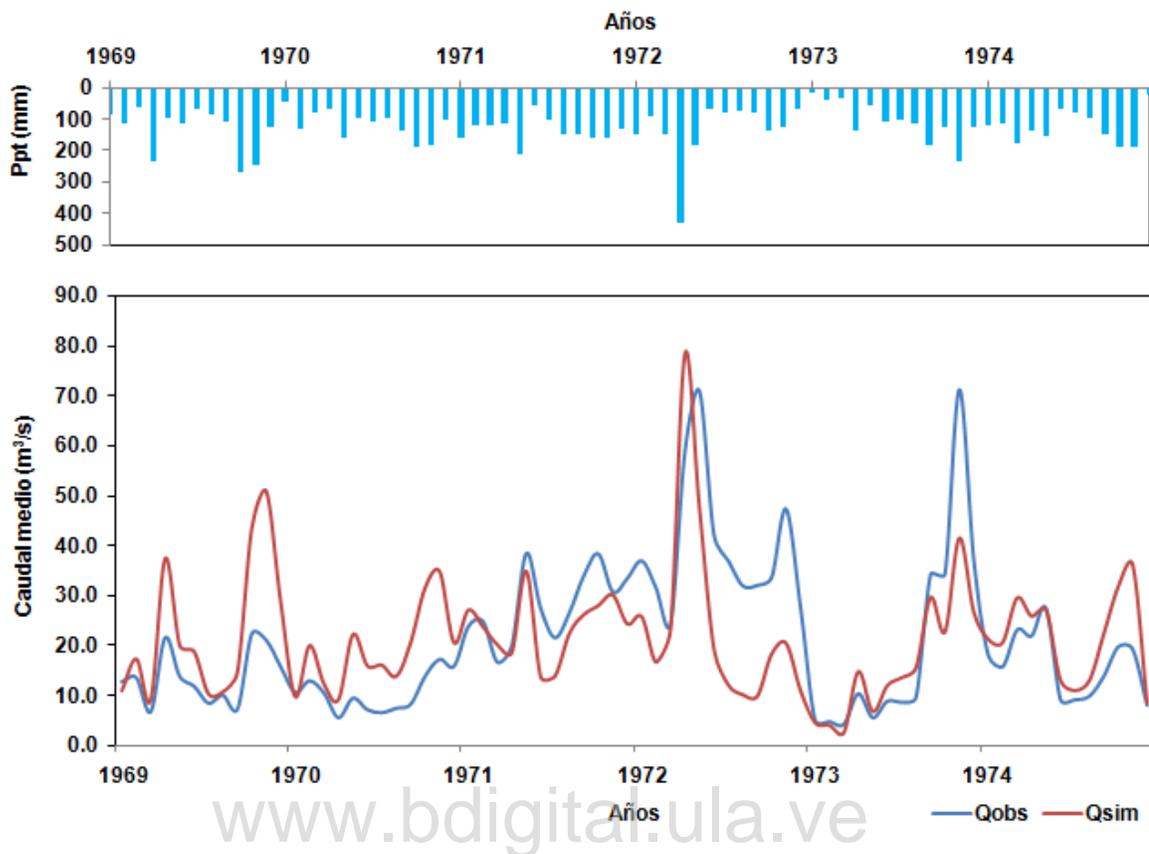
A partir de tales datos, se logró calibrar el modelo de simulación SIHIM para la cuenca del río Grita, la cual corresponde a la cuenca patrón de este estudio. El período considerado fue de 1969 a 1974. De esta manera, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0,616 y una diferencia de 0,22% entre la escorrentía simulada y observada. En el Anexo IV se incluye el archivo de salida de la calibración. Los valores de los parámetros y variables obtenidos con la calibración se indican en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros y variables obtenidos en la calibración del modelo SIHIM para la cuenca del río Grita

Parámetro/Variable	Valor
Capacidad de infiltración, CINF (mm)	75,00
Capacidad nominal del almacenamiento de humedad del suelo, HSN (mm)	50,00
Coefficiente para convertir la evaporación de tina a evapotranspiración del cultivo de referencia, CT	0,79
Fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como caudal base, PQB	0,30
Fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente, PFSE	0,10
Fracción del almacenamiento superficial que se convierte en escurrimiento mensual, PESC	0,70
Almacenamiento inicial de humedad del suelo, AIHS (mm)	30,00
Almacenamiento inicial del agua subterránea, AIAS (mm)	100,00
Almacenamiento inicial superficial, AISUP (mm)	0,00

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 5.2 se presenta el comportamiento de los caudales observados y simulados y de la precipitación media para el período considerado; y en el Apéndice G se tabulan estos resultados. Gráficamente puede apreciarse que los caudales simulados mantienen, hasta cierto punto, la tendencia de los caudales observados. No obstante, se tiene que en los primeros dos años los valores simulados están por encima de los valores reales y en los cuatro años restantes ocurre lo contrario. Esta situación origina incertidumbre en los resultados que se manejarán de disponibilidad hídrica y puede atribuirse a la baja calidad de los datos hidroclimáticos utilizados; sin embargo los parámetros obtenidos son coherentes para la cuenca y fueron los resultados más aceptables que se pudieron obtener después de numerosos intentos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.2. Caudales observados y simulados y precipitación media en la cuenca patrón durante el período 1969 a 1974.

5.1.2 Simulación de escorrentía para la cuenca del Río Grita

A partir de los parámetros obtenidos con la calibración del modelo, se procedió a extender el registro de caudales del río Grita a través de la simulación para el período 1969 a 1997. Estos resultados se presentan en la Tabla 5.3, reflejando un valor medio de $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$. El promedio histórico, por su parte corresponde a $21,0 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual fue calculado a partir de la información que se presentó en la Tabla 4.1. Los archivos de entrada y salida para la simulación de caudales con el modelo SIHIM se incluyen en el Anexo V.

5.1.3 Transposición de escorrentía a la microcuenca Quebrada San José

Como se explicó antes, los caudales seudohistóricos del río Grita, se corrigieron para la quebrada San José, mediante un factor que relaciona las precipitaciones medias y el área de cada cuenca, tal como se indicó en las Ecuaciones 4.6 y 4.7. Los valores de precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca de estudio, calculados mediante el método de isoyetas, se presentan en la Tabla 5.4. En el Apéndice H se incluyen los mapas de

isoyetas elaborados para cada mes, y el Anexo VI contiene los archivos generados para este propósito, a través el software ArcMap 9.3.

En relación a las superficies de cada cuenca, las mismas también se estimaron mediante ArcMap 9.3, obteniendo los valores de 683,59 km² para la cuenca del río Grita hasta la estación Panamericana; de 42,33 km² para la microcuenca Quebrada San José hasta su confluencia con el río Grita, y de 28,30 km² para el área de estudio (área de la microcuenca excluyendo el área de drenaje de la quebrada Aguas Calientes).

Tabla 5.3. Caudales pseudohistóricos del río Grita en la estación Panamericana (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	11,06	17,46	9,26	37,51	20,18	18,97	10,45	10,88	14,79	43,58	50,94	28,77
1970	9,94	20,11	12,41	9,30	22,33	16,08	16,20	13,97	20,72	31,64	34,97	20,70
1971	27,22	23,89	20,30	18,67	34,98	13,87	14,03	22,63	26,33	28,10	30,22	24,45
1972	25,89	16,79	23,45	78,52	47,67	19,41	12,24	10,29	9,99	18,46	20,58	11,08
1973	4,71	4,17	2,72	14,89	6,90	12,11	13,70	15,70	29,72	22,86	41,63	26,72
1974	21,35	20,75	29,64	25,96	27,23	13,09	11,13	13,10	22,43	31,90	36,26	8,69
1975	5,29	4,25	3,52	18,33	17,63	11,40	16,04	12,58	22,01	30,16	42,72	68,45
1976	26,23	37,55	38,62	30,10	19,20	10,65	11,99	11,61	15,16	46,68	32,26	9,55
1977	5,06	3,51	7,13	12,30	10,77	14,87	8,35	6,89	16,32	26,14	17,49	5,68
1978	3,47	4,00	10,52	47,30	23,12	15,21	11,25	11,76	18,65	33,69	14,91	13,71
1979	7,65	5,94	14,39	20,17	32,71	28,00	18,38	18,08	25,90	38,17	42,61	30,89
1980	9,87	9,78	4,47	16,26	17,38	13,07	11,66	18,01	22,97	18,06	11,71	7,31
1981	4,96	5,78	6,08	65,90	61,76	35,69	13,67	8,27	14,26	18,27	25,94	15,71
1982	13,06	22,72	13,50	68,31	41,95	17,47	12,07	8,91	20,62	18,82	15,72	8,31
1983	5,64	3,57	2,37	34,67	31,70	11,60	12,34	7,85	8,79	21,24	8,10	8,73
1984	5,74	3,86	2,59	6,16	10,45	6,69	9,21	17,93	20,67	26,00	31,21	17,38
1985	6,79	4,55	11,01	20,94	23,04	14,82	9,92	13,15	21,62	36,98	47,65	28,56
1986	10,58	12,24	8,69	19,74	27,21	23,17	12,95	10,36	20,33	42,64	36,77	11,05
1987	6,54	4,09	5,71	12,76	26,81	13,47	13,96	11,91	13,25	35,00	27,83	7,25
1988	4,49	4,83	3,40	7,10	6,11	16,13	16,09	31,28	44,33	45,45	52,41	35,83
1989	15,41	7,52	19,34	14,28	21,96	13,32	16,46	15,70	24,84	23,94	22,97	12,12
1990	7,20	20,69	12,83	25,38	28,62	11,16	9,13	13,73	9,16	28,58	18,99	21,32
1991	5,72	4,19	12,78	12,89	8,90	6,91	7,70	9,59	19,97	15,84	24,06	11,47
1992	4,92	5,66	2,57	2,58	8,49	5,13	15,42	8,30	13,84	8,15	21,53	9,49
1993	7,93	5,25	4,06	12,86	18,47	13,61	10,79	7,64	14,37	7,73	23,36	5,90
1994	7,05	7,21	10,68	34,68	15,77	7,92	7,98	11,68	22,52	49,55	36,41	11,80
1995	5,26	6,10	20,37	31,10	18,67	8,84	9,52	32,29	15,19	22,41	16,79	15,17
1996	26,29	10,13	7,90	7,17	10,11	15,57	19,71	10,51	14,47	28,83	22,87	15,40
1997	11,43	6,89	6,78	5,75	5,61	9,48	7,97	6,05	15,50	22,20	12,51	4,86

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.4. Precipitación media mensual sobre las cuencas para el período 1968-1997 (mm)

Mes	Cuenca		
	Río Grita hasta estación Panamericana	Quebrada San José hasta confluencia con río Grita	Quebrada San José hasta confluencia con quebrada Aguas Calientes*
Ene	62,8	29,4	28,4
Feb	69,3	39,4	38,6
Mar	85,9	51,4	49,8
Abr	166,6	129,2	128,1
May	132,8	103,4	102,2
Jun	89,1	67,3	66,3
Jul	89,0	70,2	69,7
Ago	95,0	71,5	70,9
Sep	128,7	96,0	95,4
Oct	171,1	128,7	127,8
Nov	152,7	110,1	109,5
Dic	90,6	60,8	60,4

Fuente: elaboración propia.

*Área de estudio

Como se explicó en el capítulo anterior, la transposición de caudales se realizó tanto para la microcuenca completa (hasta su confluencia con el río Grita), como para el área de estudio (excluyendo la superficie de drenaje de la quebrada Aguas Calientes). Los factores de corrección, T_c , utilizados para este propósito, se indican en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Factores de corrección de caudales (T_c)

Mes	Cuenca	
	Quebrada San José hasta confluencia con río Grita	Quebrada San José hasta confluencia con quebrada Aguas Calientes*
Ene	0,0290	0,0187
Feb	0,0352	0,0231
Mar	0,0371	0,0240
Abr	0,0480	0,0318
May	0,0482	0,0319
Jun	0,0468	0,0308
Jul	0,0488	0,0324
Ago	0,0466	0,0309
Sep	0,0462	0,0307
Oct	0,0466	0,0309
Nov	0,0446	0,0297
Dic	0,0416	0,0276

*Área de estudio

Fuente: elaboración propia.

La serie de caudales medios mensuales obtenida para la microcuenca completa se presentan en la Tabla 5.6, los cuales arrojaron un valor medio de 0,79 m³/s. Tal como se indicó en apartados anteriores, no se tienen suficientes registros históricos del caudal medio mensual de la quebrada San José, los cuales permitirían juzgar si la serie obtenida se aproxima al comportamiento real promedio de la esorrentía en este curso de agua.

Tabla 5.6. Caudales pseudohistóricos de la quebrada San José hasta su confluencia con río Grita (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	0,32	0,61	0,34	1,80	0,97	0,89	0,51	0,51	0,68	2,03	2,27	1,20
1970	0,29	0,71	0,46	0,45	1,08	0,75	0,79	0,65	0,96	1,47	1,56	0,86
1971	0,79	0,84	0,75	0,90	1,69	0,65	0,69	1,05	1,22	1,31	1,35	1,02
1972	0,75	0,59	0,87	3,77	2,30	0,91	0,60	0,48	0,46	0,86	0,92	0,46
1973	0,14	0,15	0,10	0,72	0,33	0,57	0,67	0,73	1,37	1,06	1,86	1,11
1974	0,62	0,73	1,10	1,25	1,31	0,61	0,54	0,61	1,04	1,49	1,62	0,36
1975	0,15	0,15	0,13	0,88	0,85	0,53	0,78	0,59	1,02	1,40	1,91	2,84
1976	0,76	1,32	1,43	1,45	0,93	0,50	0,59	0,54	0,70	2,17	1,44	0,40
1977	0,15	0,12	0,26	0,59	0,52	0,70	0,41	0,32	0,75	1,22	0,78	0,24
1978	0,10	0,14	0,39	2,27	1,11	0,71	0,55	0,55	0,86	1,57	0,67	0,57
1979	0,22	0,21	0,53	0,97	1,58	1,31	0,90	0,84	1,20	1,78	1,90	1,28
1980	0,29	0,34	0,17	0,78	0,84	0,61	0,57	0,84	1,06	0,84	0,52	0,30
1981	0,14	0,20	0,23	3,16	2,98	1,67	0,67	0,39	0,66	0,85	1,16	0,65
1982	0,38	0,80	0,50	3,28	2,02	0,82	0,59	0,42	0,95	0,88	0,70	0,35
1983	0,16	0,13	0,09	1,66	1,53	0,54	0,60	0,37	0,41	0,99	0,36	0,36
1984	0,17	0,14	0,10	0,30	0,50	0,31	0,45	0,84	0,95	1,21	1,39	0,72
1985	0,20	0,16	0,41	1,01	1,11	0,69	0,48	0,61	1,00	1,72	2,13	1,19
1986	0,31	0,43	0,32	0,95	1,31	1,08	0,63	0,48	0,94	1,99	1,64	0,46
1987	0,19	0,14	0,21	0,61	1,29	0,63	0,68	0,56	0,61	1,63	1,24	0,30
1988	0,13	0,17	0,13	0,34	0,29	0,75	0,79	1,46	2,05	2,12	2,34	1,49
1989	0,45	0,26	0,72	0,69	1,06	0,62	0,80	0,73	1,15	1,12	1,03	0,50
1990	0,21	0,73	0,48	1,22	1,38	0,52	0,45	0,64	0,42	1,33	0,85	0,89
1991	0,17	0,15	0,47	0,62	0,43	0,32	0,38	0,45	0,92	0,74	1,07	0,48
1992	0,14	0,20	0,10	0,12	0,41	0,24	0,75	0,39	0,64	0,38	0,96	0,39
1993	0,23	0,18	0,15	0,62	0,89	0,64	0,53	0,36	0,66	0,36	1,04	0,25
1994	0,20	0,25	0,40	1,67	0,76	0,37	0,39	0,54	1,04	2,31	1,63	0,49
1995	0,15	0,21	0,75	1,49	0,90	0,41	0,46	1,50	0,70	1,04	0,75	0,63
1996	0,76	0,36	0,29	0,34	0,49	0,73	0,96	0,49	0,67	1,34	1,02	0,64
1997	0,33	0,24	0,25	0,28	0,27	0,44	0,39	0,28	0,72	1,03	0,56	0,20

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, en el estudio realizado por el ICLAM (2013), se obtuvieron datos del caudal de la quebrada San José en un sitio cercano a la confluencia con el río Grita, a partir de una serie de mediciones puntuales en épocas de lluvia y estiaje durante los años 2010 a 2012. Estos valores se presentan en la Tabla 5.7. El promedio de dichos aforos resultó en 1,05 m³/s, número mayor al que se obtuvo a partir de la serie de caudales seudohistóricos. Este aumento se explica al observar el valor máximo de los caudales registrados por el ICLAM, correspondiente a 4,31 m³/s para el mes de abril de 2011, lo cual tiene sentido debido a que en la microcuenca existe un régimen bimodal de precipitaciones y uno de los picos máximos ocurre en dicho mes (ver Tabla 5.4).

Si bien el promedio que reportó el ICLAM no es representativo estadísticamente, debido a que se obtuvo con muy pocos datos, el mismo permite comparar el promedio obtenido con la transposición (0,79 m³/s), concluyendo que éste es un valor lógico para la quebrada San José. Así mismo, al observar los aforos puntuales, se puede inferir que en general se mantienen dentro del orden de magnitud de los caudales seudohistóricos.

Tabla 5.7. Resultados de aforos puntuales de la quebrada San José antes de su confluencia con el río Grita (período 2010-2012)

Fecha (dd/mm/aaaa)	Caudal (m³/s)
18/10/2010	1,03
19/10/2010	0,72
20/10/2010	0,79
11/04/2011	4,31
12/04/2011	0,83
13/04/2011	0,96
24/10/2011	0,55
25/10/2011	0,79
26/10/2011	0,77
12/03/2012	0,52
13/03/2012	0,69
14/03/2012	0,67
Promedio	1,05

Fuente: ICLAM (2013)

Como se explicó antes, la transposición se realizó en principio para toda la microcuenca con el propósito de comparar los resultados con los aforos mencionados y obtener una idea de la magnitud real de los caudales de la quebrada. No obstante, para efectos de la investigación se buscaba conocer la disponibilidad hídrica excluyendo a la quebrada Aguas Calientes, por lo cual se realizó nuevamente la transposición de caudales seudohistóricos

del río Grita, resultando los valores que se observan en la Tabla 5.8. Para esta serie, se obtuvo un promedio de 0,52 m³/s.

Tabla 5.8. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José hasta su confluencia con la quebrada Aguas Calientes (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	0,21	0,40	0,22	1,19	0,64	0,58	0,34	0,34	0,45	1,35	1,51	0,79
1970	0,19	0,46	0,30	0,30	0,71	0,50	0,53	0,43	0,64	0,98	1,04	0,57
1971	0,51	0,55	0,49	0,59	1,11	0,43	0,45	0,70	0,81	0,87	0,90	0,67
1972	0,48	0,39	0,56	2,50	1,52	0,60	0,40	0,32	0,31	0,57	0,61	0,31
1973	0,09	0,10	0,07	0,47	0,22	0,37	0,44	0,49	0,91	0,71	1,24	0,74
1974	0,40	0,48	0,71	0,83	0,87	0,40	0,36	0,40	0,69	0,99	1,08	0,24
1975	0,10	0,10	0,08	0,58	0,56	0,35	0,52	0,39	0,68	0,93	1,27	1,89
1976	0,49	0,87	0,93	0,96	0,61	0,33	0,39	0,36	0,47	1,44	0,96	0,26
1977	0,09	0,08	0,17	0,39	0,34	0,46	0,27	0,21	0,50	0,81	0,52	0,16
1978	0,06	0,09	0,25	1,51	0,74	0,47	0,36	0,36	0,57	1,04	0,44	0,38
1979	0,14	0,14	0,35	0,64	1,04	0,86	0,60	0,56	0,79	1,18	1,26	0,85
1980	0,18	0,23	0,11	0,52	0,55	0,40	0,38	0,56	0,70	0,56	0,35	0,20
1981	0,09	0,13	0,15	2,10	1,97	1,10	0,44	0,26	0,44	0,56	0,77	0,43
1982	0,24	0,52	0,32	2,17	1,34	0,54	0,39	0,28	0,63	0,58	0,47	0,23
1983	0,11	0,08	0,06	1,10	1,01	0,36	0,40	0,24	0,27	0,66	0,24	0,24
1984	0,11	0,09	0,06	0,20	0,33	0,21	0,30	0,55	0,63	0,80	0,93	0,48
1985	0,13	0,10	0,26	0,67	0,73	0,46	0,32	0,41	0,66	1,14	1,41	0,79
1986	0,20	0,28	0,21	0,63	0,87	0,71	0,42	0,32	0,62	1,32	1,09	0,30
1987	0,12	0,09	0,14	0,41	0,85	0,41	0,45	0,37	0,41	1,08	0,83	0,20
1988	0,08	0,11	0,08	0,23	0,19	0,50	0,52	0,97	1,36	1,41	1,56	0,99
1989	0,29	0,17	0,46	0,45	0,70	0,41	0,53	0,49	0,76	0,74	0,68	0,33
1990	0,13	0,48	0,31	0,81	0,91	0,34	0,30	0,42	0,28	0,88	0,56	0,59
1991	0,11	0,10	0,31	0,41	0,28	0,21	0,25	0,30	0,61	0,49	0,71	0,32
1992	0,09	0,13	0,06	0,08	0,27	0,16	0,50	0,26	0,42	0,25	0,64	0,26
1993	0,15	0,12	0,10	0,41	0,59	0,42	0,35	0,24	0,44	0,24	0,69	0,16
1994	0,13	0,17	0,26	1,10	0,50	0,24	0,26	0,36	0,69	1,53	1,08	0,33
1995	0,10	0,14	0,49	0,99	0,59	0,27	0,31	1,00	0,47	0,69	0,50	0,42
1996	0,49	0,23	0,19	0,23	0,32	0,48	0,64	0,32	0,44	0,89	0,68	0,43
1997	0,21	0,16	0,16	0,18	0,18	0,29	0,26	0,19	0,48	0,69	0,37	0,13

Fuente: elaboración propia.

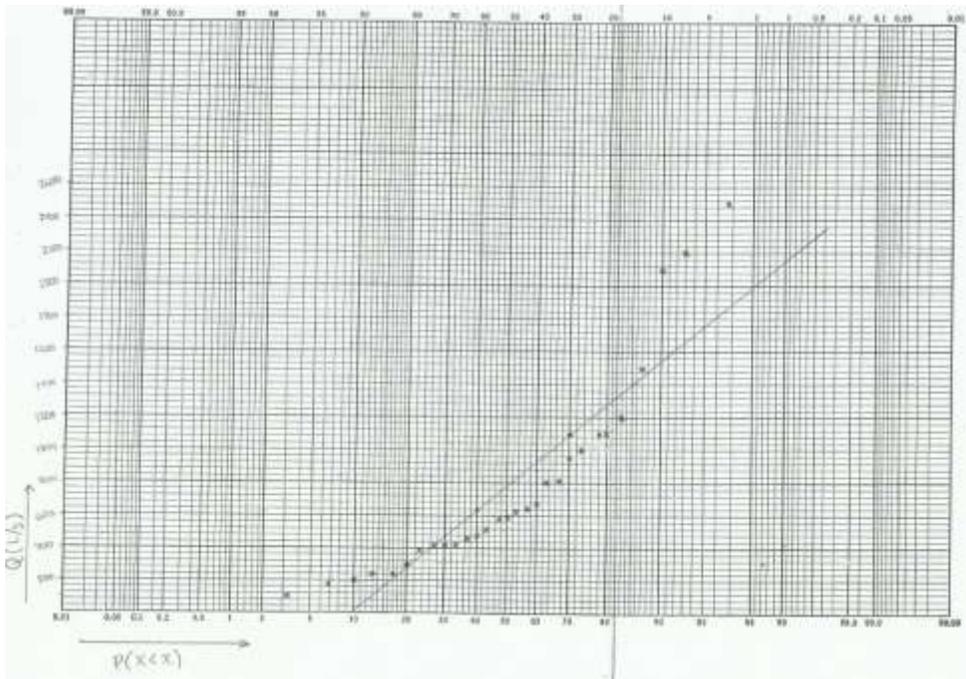
5.1.4 Ajuste de los datos a una distribución de probabilidad

A través de un análisis estadístico, se evaluaron las distribuciones de probabilidad Normal y Log-Normal para definir aquella que mejor representa los datos de caudal medio mensual de la quebrada San José (ver Tabla 5.8). Como se explicó en el capítulo anterior, este análisis se realizó para las 12 series de caudales mensuales. En principio, se verificó gráficamente si existía un ajuste de los datos a las distribuciones teóricas, a través de las gráficas que se presentan en el Apéndice D y adicionalmente se realizó la prueba de Smirnov-Kolmogorov para un nivel de significancia del 5%, mediante el software AJUSTEV3. A partir de lo anterior se pudo concluir que todas las series mensuales se ajustan a ambas distribuciones. Los archivos de entrada y salida del programa se presentan en el Anexo VII.

Para seleccionar cuál distribución presentó el mejor ajuste a cada serie, se evaluaron las gráficas realizadas en papeles de probabilidades Normal y Log-Normal, identificando en cuál de los dos, los puntos graficados tienen mayor tendencia a agruparse sobre una línea recta. Para esta investigación, los puntos que más interesaba que coincidieran con la probabilidad teórica eran aquellos correspondientes a $P(X < x)$ menor a 20%. Esto debido a que, para definir la disponibilidad de agua en la cuenca, se debía predecir el caudal mínimo que se tendría en la cuenca por al menos un 80% del tiempo. Como ejemplo de esta selección, se presentan las Figuras 5.3 y 5.4., en las cuales se pueden comparar las gráficas obtenidas en los dos papeles de probabilidad, para la serie de abril. Puede observarse que, en este caso, se seleccionó la distribución Log-Normal porque los puntos de probabilidad empírica tenían mayor tendencia a agruparse en torno a una línea recta.

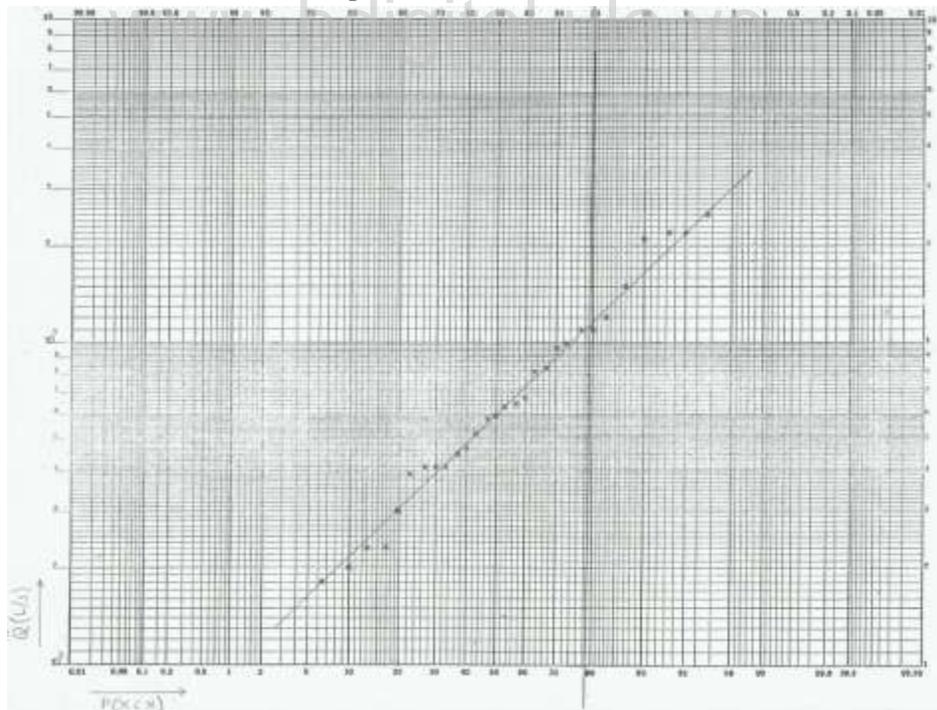
Al observar cada gráfica presentada en el Apéndice D, se pudo comprobar que para los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre, la distribución Normal arroja valores negativos de caudal para probabilidades menores a 20%, por lo cual quedó descartada para dichos meses. Así mismo, para cada serie mensual se determinó el coeficiente de asimetría de los valores de caudal y de los logaritmos del caudal, obteniendo los resultados que se indican en la Tabla 5.9. Si los datos se distribuyen normalmente, el coeficiente de asimetría es cero. Por lo tanto, estos coeficientes también se utilizaron como criterio para la selección de la distribución que mejor se ajusta a las series.

Con base en lo anterior, se seleccionó la distribución de probabilidad Log-Normal para cada mes, exceptuando septiembre, octubre y noviembre, cuyas series se ajustaron mejor a la distribución teórica Normal. En el caso de septiembre, a pesar de que el coeficiente de asimetría de los logaritmos del caudal resultó 0,00; se decidió trabajar con la distribución Normal debido a que en el papel de probabilidad Normal se obtuvo un mejor ajuste gráfico para $P(X < x)$ menores a 20%, al compararlo con el ajuste gráfico obtenido en papel de probabilidad Log-Normal (ver Tabla 5.9 y Apéndice D).



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.3. Caudales de abril (l/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.4. Caudales de abril (l/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla 5.9. Coeficientes de asimetría y distribución teórica seleccionada para las series de caudales medios mensuales.

Mes	Coeficiente de asimetría		Distribución teórica seleccionada
	\bar{Q}	$\text{Ln}(\bar{Q})$	
Ene	1,39	0,71	Log-Normal
Feb	1,55	0,65	Log-Normal
Mar	1,49	-0,05	Log-Normal
Abr	1,49	-0,26	Log-Normal
May	1,16	-0,31	Log-Normal
Jun	1,60	0,00	Log-Normal
Jul	0,44	-0,03	Log-Normal
Ago	1,76	0,65	Log-Normal
Sep	1,46	0,00	Normal
Oct	0,17	-1,04	Normal
Nov	0,36	-0,49	Normal
Dic	2,42	0,49	Log-Normal

Fuente: elaboración propia.

5.1.5 Curva de variación estacional

Finalmente, para definir la disponibilidad de agua en cantidad en la microcuenca, se estimaron los caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de ocurrencia, a través de la distribución de probabilidad teórica. El cálculo se realizó a través del software AJUSTEV3 (ver Anexo VII). Con estos resultados, indicados en la Tabla 5.10, se elaboró la curva de variación estacional que se presenta en la Figura 5.5. Esta curva aporta una idea del comportamiento estacional de la oferta hídrica en la microcuenca. En otras palabras, dicha curva presenta los caudales mínimos mensuales que se tendrían en la cuenca para un porcentaje de tiempo dado.

En la Figura 5.5 puede apreciarse que el período más seco ocurre en los meses de enero a marzo, alcanzando un valor mínimo cercano a los 50 l/s para una probabilidad de 95%. En general para todas las probabilidades consideradas, se aprecia que existen dos períodos húmedos, el primero ocurre entre abril a junio, y el segundo entre septiembre a noviembre, presentándose los mayores caudales en el mes de octubre.

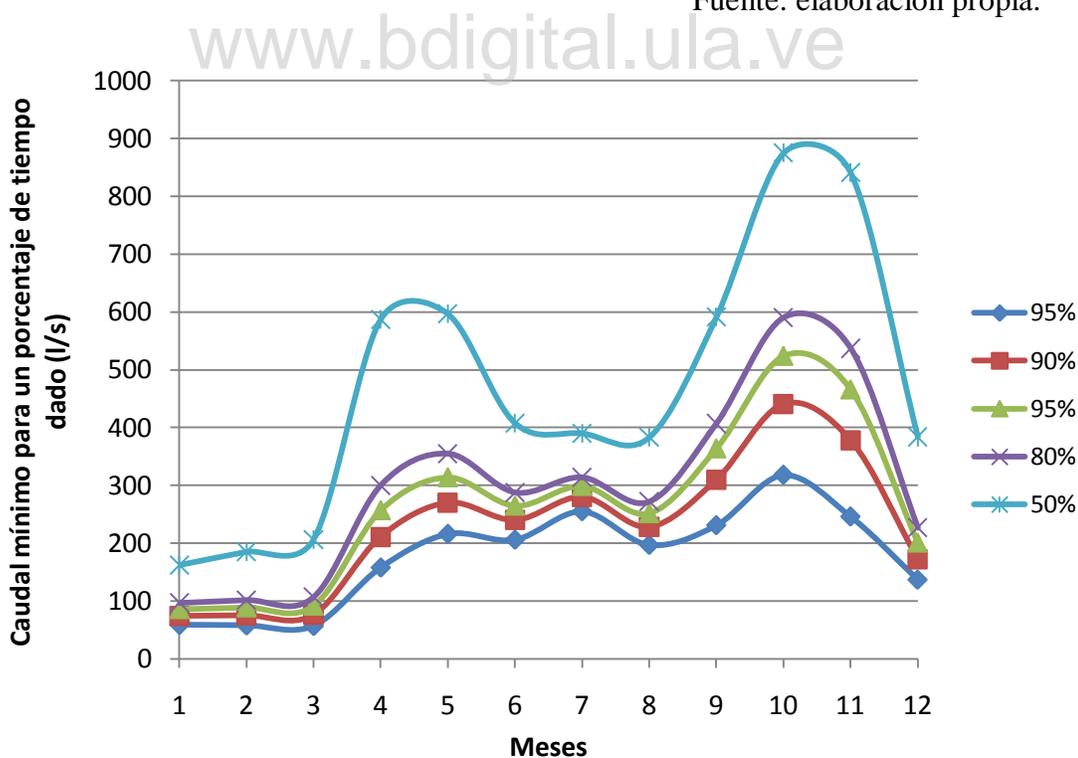
Al evaluar la probabilidad de 95% se observa poca variación entre los caudales desde abril hasta agosto. Es importante recordar que esta curva sugiere una idea de valores medios mensuales asociados a una determinada probabilidad, lo cual es útil para contrastar la oferta con las demandas en el tiempo, en el marco de la planificación de recursos hídricos. Sin

embargo, hay que resaltar que es prácticamente imposible que en todos los meses de un año se presenten los caudales medios asociados a una misma probabilidad de ocurrencia.

Tabla 5.10. Caudales mensuales de la quebrada San José para distintas probabilidades de excedencia (l/s)

Mes	Probabilidad de excedencia				
	95%	90%	85%	80%	50%
Ene	59	74	86	97	162
Feb	58	75	89	102	185
Mar	57	76	92	107	206
Abr	158	211	257	300	587
May	216	270	314	355	597
Jun	206	240	265	288	408
Jul	255	280	299	314	390
Ago	197	228	252	272	383
Sep	231	310	364	407	591
Oct	318	441	524	590	875
Nov	246	378	466	537	841
Dic	137	172	201	227	384

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.5. Curvas de variación estacional del caudal de la quebrada San José para diferentes probabilidades de excedencia.

5.2 Demandas de agua en la microcuenca

En el Capítulo 3 se identificaron y describieron las principales tomas de agua que actualmente existen en la microcuenca (ver Figura 3.7). Dichas tomas captan agua para satisfacer usos domésticos y/o agrícolas, por lo cual este estudio se enfocó en la determinación de las demandas asociadas a estos usos. No obstante, debido a que esta investigación busca contribuir con la gestión integral del agua en la microcuenca, adicionalmente se consideró la demanda por servicios ambientales. Como se ha explicado antes, esta demanda tiene que ver con el caudal mínimo que debe tener la quebrada para mantener el ecosistema fluvial, asegurar la autodepuración del agua, preservar el hábitat y el paisaje y garantizar derechos de usuarios aguas abajo.

5.2.1 Demanda doméstica

Como se apreció en la Tabla 3.5 y en la Figura 3.7 (Capítulo 3), existen tres sitios de toma destinados parcial o totalmente a captar agua para abastecimiento doméstico. Uno de estos se encuentra en una naciente de la quebrada, conocida como “Callejón La Tigra”, del cual se surte el acueducto del caserío Loma del Trigo. A su vez, el afluente conocido como “Callejón del Páramo”, abastece a los caseríos Montegrande, Los Pantanos y Las Piedras.

Estos dos acueductos son bastante precarios, consistiendo básicamente en una aducción directa por un dique toma, un tanque de 1 m³ de capacidad ubicado a pocos metros de la toma, una tubería principal de aducción y tuberías secundarias que conducen el agua a las viviendas. Adicionalmente, existe otro sistema de abastecimiento, ubicado sobre el cauce principal, denominado por los pobladores como “Acueducto del INOS”, el cual posee mayor infraestructura que los otros, ya que en éste se tienen instalados, adicionalmente, dos desarenadores, y dos tanques de almacenamiento. Dicho sistema abastece a todos los caseríos que se encuentran aguas abajo en la microcuenca (ver Figura 3.7).

Para cada uno de estos sitios de toma, se estimó la demanda doméstica, considerando la población del año 2016 (ver Tabla 3.3) y una población proyectada para el año 2036. La dotación considerada fue de 200 l.hab⁻¹.d⁻¹, como se explicó en el capítulo anterior. Estos resultados se indican en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Demanda doméstica en la microcuenca

Sitio de toma	Acueducto rural	Población		Demanda (l/s)	
		2016	2036	2016	2036
5	La Tigra	180	225	0,42	0,52
6	El Páramo	312	390	0,72	0,90
8	Acueducto del INOS	1505	1882	3,48	4,36
Total		1997	2498	4,62	5,78

Fuente: elaboración propia.

5.2.2 Demanda para riego

5.2.2.1 Cultivos principales

Con el fin de planificar un aprovechamiento eficiente y equitativo del agua, resulta esencial conocer la demanda para riego de los cultivos más importantes en la cuenca (Morábito y otros, 2002). Es por ello que se seleccionaron los rubros más representativos, tomando como criterios el número de productores que lo cultivan y el porcentaje del área cultivada, información que se obtuvo a través de las entrevistas realizadas a los agricultores. De acuerdo a la información obtenida a través de las entrevistas, aplicadas a una muestra de 42 productores, se determinó que se tienen por lo menos 26 cultivos diferentes en la microcuenca, los cuales en su mayoría son hortícolas (ver Anexo III). La Tabla 5.12 presenta estos resultados, detallando el número de agricultores que maneja cada cultivo y el área cultivada con cada uno de estos.

Tabla 5.12. Rubros cultivados en la microcuenca

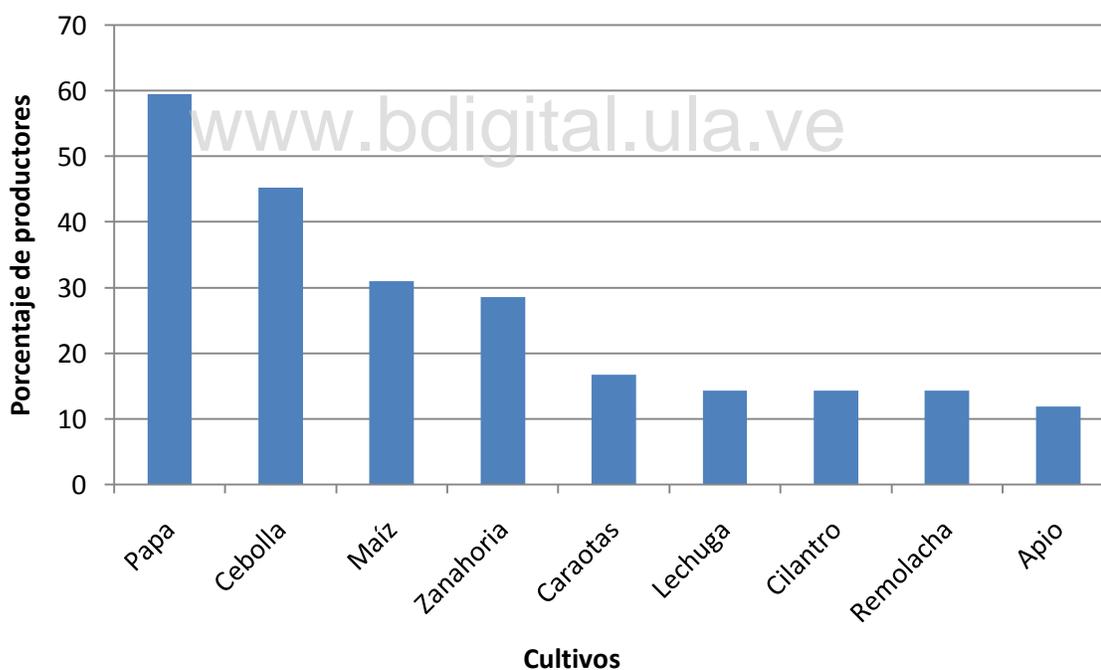
Cultivo	Productores que lo cultivan		Área cultivada	
	No.	%	ha	%
Papa	25	60	28,5	19,5
Cebolla	19	45	21,3	14,6
Maíz	13	31	13,1	9,0
Zanahoria	12	29	11,2	7,6
Caraotas	7	17	8,0	5,5
Lechuga	6	14	5,7	3,9
Cilantro	6	14	6,4	4,4
Remolacha	6	14	4,6	3,1
Apio	5	12	9,0	6,1
Repollo	4	10	3,5	2,4
Ajoporro	4	10	2,7	1,9
Arveja	3	7	2,2	1,5
Calabacín	3	7	2,1	1,4
Pimentón	2	5	2,8	1,9
Avas	2	5	2,7	1,8
Ocumo	2	5	2,7	1,9
Trigo	2	5	4,1	2,8
Espinaca	2	5	0,9	0,6
Coliflor	2	5	1,7	1,1
Brócoli	2	5	1,7	1,1
Rosas	2	5	1,8	1,2
Fresa	1	2	1,0	0,7
Frijol	1	2	3,1	2,1
Manzanilla	1	2	0,6	0,4
Zapallo	1	2	3,1	2,1
Ruda	1	2	1,5	1,0
		Total	146,0	100,0

Fuente: elaboración propia.

Como puede verse en la Tabla 5.12, en la microcuenca se maneja una amplia diversidad de cultivos. En este sentido, se eligieron como representativos aquellos productos que son sembrados por más del 10% de los agricultores y que ocupan un área mayor al 3% de la superficie total sembrada. Este criterio se tomó a juicio de la investigadora.

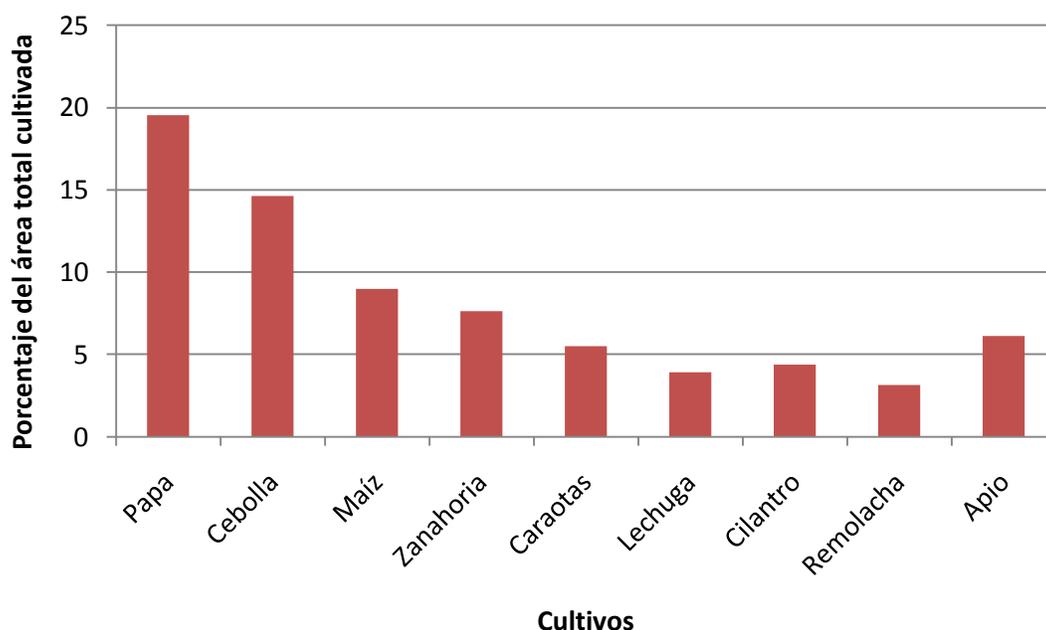
Estos rubros principales corresponden a: papa, cebolla, maíz, zanahoria, caraotas, lechuga, cilantro, remolacha y apio. Por su parte, entre los cultivos de menor importancia en la cuenca se tienen: repollo, ajoporro, arveja, calabacín, pimentón, avas, ocumo, trigo, espinaca, coliflor, brócoli, fresas, frijol, manzanilla, zapallo, ruda, pastos y rosas.

Las Figuras 5.6 y 5.7 exponen, respectivamente, el porcentaje de productores que siembran los principales cultivos y el porcentaje del área total sembrada con éstos. Se puede apreciar que para los dos criterios considerados, coincidieron los 9 rubros antes mencionados, destacándose la papa y la cebolla, cultivadas por aproximadamente 60% y 45% de los agricultores, y ocupando una superficie de 20% y 15%, respectivamente. A partir de esto, puede concluirse que, en total, estos cultivos principales representan aproximadamente el 74% del área utilizada para fines agrícolas en la cuenca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.6. Porcentaje de productores que siembran los principales cultivos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.7. Porcentaje del área total sembrada con los principales cultivos.

Consecuentemente, se determinó el porcentaje del área aprovechada, que abarcaría cada uno de los 9 cultivos principales, suponiendo que son los únicos rubros que se manejan en la cuenca. Planteando este supuesto, se estimaron porcentajes hipotéticos del área aprovechada por cultivo, manteniendo la misma proporción que existe entre ellos. La Tabla 5.13 presenta estos resultados. Dichas áreas hipotéticas son las que se utilizaron para efectos de cálculo de las demandas de riego.

Tabla 5.13. Porcentaje del área aprovechada por los cultivos principales

Cultivo	Área cultivada real (%)	Área cultivada hipotética (%)
Papa	20	27
Cebolla	15	21
Maíz	9	12
Zanahoria	8	11
Caraotas	5	7
Lechuga	4	5
Cilantro	4	5
Remolacha	3	4
Apio	6	8
Total	74	100

Fuente: elaboración propia.

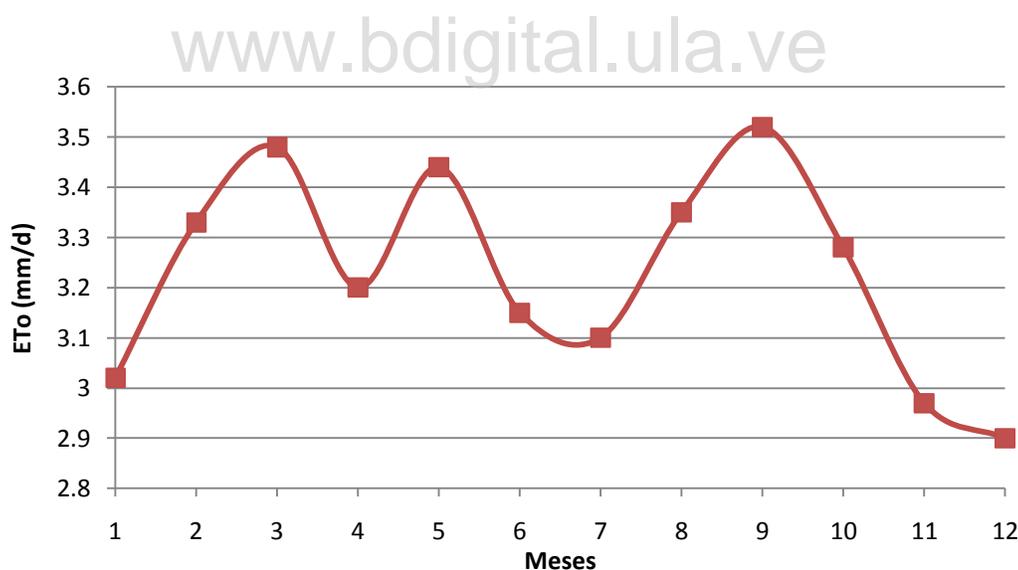
5.2.2.2 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0)

Para la determinación de los requerimientos de agua de los principales cultivos en la microcuenca, fue necesario, en principio, estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0), la cual se define como la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar, correspondiente a un cultivo hipotético de pasto con ciertas características, en condiciones óptimas de humedad (Allen y otros, 2006). Como se explicó antes, el cálculo se realizó mediante el software CROPWAT 8.0 (Swennenhuis, 2009) que aplica la ecuación de FAO-Penman-Monteith. Los datos considerados correspondieron a los valores medios mensuales registrados por la estación La Grita (Serial 3109) durante el período 1967-1973, los cuales se indicaron en la Tabla 4.6. En este orden de ideas, se presentan la Tabla 5.14 y la Figura 5.8, en las cuales se exponen los resultados obtenidos de evapotranspiración de referencia a nivel mensual para el área en estudio.

Tabla 5.14. Evapotranspiración de referencia (ET_0) estimada con datos de la estación La Grita (Serial 3109).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET_0 (mm/d)	3,0	3,3	3,5	3,2	3,4	3,2	3,1	3,4	3,5	3,3	3,0	2,9

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.8. Evapotranspiración de referencia (ET_0) estimada con datos de la estación La Grita (Serial 3109).

En la Figura 5.8 puede apreciarse que a nivel medio mensual, la evapotranspiración de la atmósfera en el área de interés varía entre 2,9 mm a 3,5 mm, teniéndose un promedio de 3,2 mm. Los meses en que pudiera esperarse mayores pérdidas son marzo, mayo y septiembre. Si bien estos resultados son estimaciones gruesas y fueron calculadas con datos para un

período de tan solo 7 años, los mismos permiten tener una idea del comportamiento de esta variable climática y su influencia sobre las demandas hídricas en la microcuenca.

Los valores de ET_0 obtenidos, a su vez, se dividieron entre los valores medios de evaporación registrados por la estación La Grita (Serial 3083) que se indicaron en la Tabla 4.4, obteniendo un cociente promedio de 0,77; el cual es congruente con los valores teóricos que propone la FAO para los factores que permiten estimar la evapotranspiración de referencia a partir de la evaporación de tina (Allen y otros, 2006). Por lo tanto se concluye que los resultados de ET_0 derivados a partir de los datos meteorológicos disponibles, son valores lógicos y aceptables para efectos de esta investigación.

5.2.2.3 Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c)

Como se explicó con anterioridad, este cálculo se realizó para cada uno de los 9 cultivos más importantes, utilizando el software CROPWAT 8.0. En primer lugar, fue necesario precisar la duración de las etapas de crecimiento de cada rubro. Esto se realizó tomando como referencia los valores tabulados por la FAO en el estudio Allen y otros (2006) y valores estimados por los productores locales. La Tabla 5.15 presenta esta información.

Tabla 5.15. Duración de las etapas de crecimiento de los cultivos (días)

Cultivo	Duración de las etapas de crecimiento				Total
	Inicio	Desarrollo	Medio	Final	
Papa	21	25	35	35	116
Cebolla	10	18	52	30	110
Maíz	22	34	38	26	120
Zanahoria	20	30	40	20	110
Caraotas	20	30	40	20	110
Lechuga	25	35	30	10	100
Cilantro	14	22	18	6	60
Remolacha	33	40	33	14	120
Apio	66	79	110	110	365

Fuente: adaptado de Allen y otros (2006) y de testimonios de productores locales.

Adicionalmente, se determinaron otras variables que influyen en el consumo de agua de los cultivos, y que debían ser ingresadas al programa, tales como el coeficiente del cultivo para cada etapa de crecimiento (K_c), profundidad radicular máxima efectiva de las raíces, fracción de agotamiento de la humedad en el suelo y coeficientes estacionales de respuesta de la productividad. Esta información se detalla en la Tabla 5.16, la cual también se recopiló del estudio Allen y otros (2006) con adaptaciones según información suministrada por los productores del área.

En relación a las fechas de siembra, a través de los testimonios de los agricultores se pudo concluir que la mayoría de ellos obtiene dos cosechas anuales de la misma parcela. Se pudo evidenciar, durante las visitas de campo, que varios agricultores practican el barbecho entre cosechas, por períodos de un mes aproximadamente.

Tabla 5.16. Datos de entrada al CROPWAT 8.0 para el cálculo de ET_c

Cultivo	Coeficiente del cultivo			Profundidad radicular máxima (m)	Fracción de agotamiento	Respuesta a rendimiento (k_y)
	k_c inicial	k_c medio	k_c final			
Papa	0,50	1,15	0,75	0,50	0,35	1,10
Cebolla	0,70	1,05	0,75	0,45	0,30	1,10
Maíz	0,30	1,20	0,35	0,60	0,55	1,25
Zanahoria	0,70	1,05	0,95	0,75	0,35	1,00
Caraotas	0,40	1,15	0,35	0,60	0,45	1,15
Lechuga	0,70	1,00	0,95	0,40	0,30	1,00
Cilantro	0,70	1,05	0,95	0,40	0,20	1,00
Remolacha	0,50	1,05	0,95	0,80	0,50	1,00
Apio	0,50	1,10	0,95	0,50	0,35	1,10

Fuente: adaptado de Allen y otros (2006) y de testimonios de productores locales.

En este sentido, se formuló un calendario o patrón de cultivos hipotético, el cual se indica en la Tabla 5.17. Se plantearon dos cosechas anuales para la mayoría de los rubros, exceptuando el apio cuyo ciclo es anual, y la lechuga y cilantro, cuyos ciclos permitirían tres y cuatro cosechas anuales, respectivamente. Estas fechas de siembra se consideraron para definir la situación actual del riego en toda la microcuenca. Los resultados detallados de ET_c para cada cultivo a lo largo de su ciclo de vida se presentan en el Apéndice I.

Tabla 5.17. Patrón de cultivos

Cultivo	Fecha de siembra (dd/mm)	Fecha de cosecha (dd/mm)
Papa	01/01	26/04
	26/05	18/09
Cebolla	01/01	20/04
	20/05	06/09
Maíz	01/01	30/04
	30/05	26/09
Zanahoria	01/01	20/04
	20/05	06/09
Caraota	01/01	20/04
	20/05	06/09
Lechuga	01/01	10/04
	10/05	17/08
	17/09	25/12
Cilantro	01/01	01/03
	01/04	30/05
	30/06	28/08
	28/09	26/11
Remolacha	01/01	30/04
	30/05	26/09
Apio	01/01	31/12

Fuente: elaboración propia.

5.2.2.4 Precipitación efectiva (P_{ef})

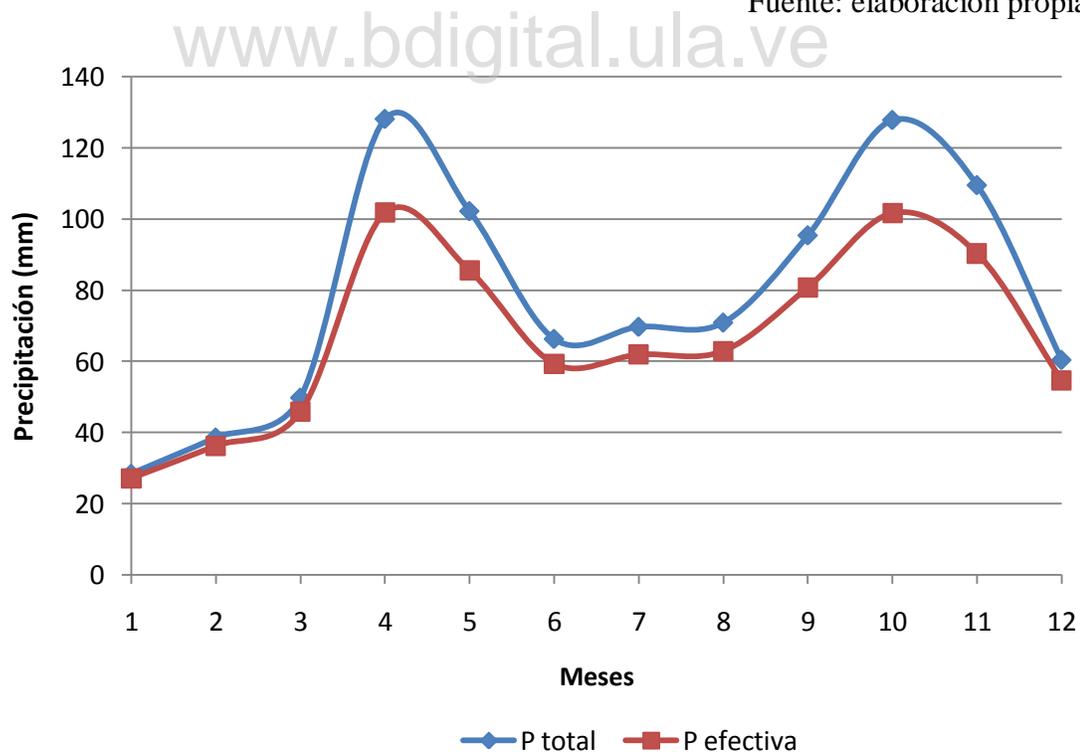
La precipitación total sobre la microcuenca corresponde a los valores medios que se indicaron anteriormente en la Tabla 5.14, determinados a través del método de isoyetas. Como se explicó en el capítulo anterior, de acuerdo a Dastane (1978), la precipitación efectiva para riego es aquella porción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo, excluyendo aquella que se infiltra profundamente, que se evapora de la superficie del suelo o que se transforma en escorrentía superficial.

La Tabla 5.18 y la Figura 5.9 presentan los valores de precipitación total y precipitación efectiva para la microcuenca en estudio. En la gráfica puede apreciarse el régimen bimodal existente con sus dos picos máximos en los meses de abril y octubre. A su vez, se observa que para los meses más secos, casi la totalidad de la precipitación se vuelve efectiva.

Tabla 5.18. Precipitación total y efectiva sobre la microcuenca Quebrada San José (mm).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P_{total}	28,4	38,6	49,8	128,1	102,2	66,3	69,7	70,9	95,4	127,8	109,5	60,4
P_{ef}	27,1	36,2	45,8	101,8	85,5	59,3	61,9	62,9	80,8	101,7	90,3	54,6

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.9. Precipitación total y efectiva sobre la microcuenca Quebrada San José.

5.2.2.5 Necesidades de riego de los cultivos (N_r)

Con base en los resultados obtenidos de precipitación efectiva y ET_c de cada cultivo a lo largo de su ciclo de vida, se aplicó la Ecuación 3.13 para conocer los requerimientos de riego mensuales. Estos valores se estimaron a través del programa CROPWAT 8.0, considerando el patrón o calendario de cultivos que se indicó en la Tabla 5.17. A continuación se presenta la Tabla 5.19 en la cual se aprecian estos resultados. Para cada cultivo, se indican los requerimientos o necesidades de riego (N_r) durante cada cosecha planificada a lo largo de un año.

Tabla 5.19. Necesidades de riego de los cultivos

Cultivo	Cosecha	Necesidad de riego mensual (mm)												Total
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Papa	1	24,4	61,4	74,6	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	162,8
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	46,3	50,1	6,0	0,0	0,0	0,0	107,5
Cebolla	1	52,4	61,0	63,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	177,3
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	33,2	40,2	35,6	3,6	0,0	0,0	0,0	115,1
Maíz	1	6,8	48,9	81,7	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,7
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	32,1	61,2	10,4	0,0	0,0	0,0	105,7
Zanahoria	1	41,2	54,5	65,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	165,1
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	16,7	39,2	43,9	7,5	0,0	0,0	0,0	109,7
Caraota	1	15,7	56,3	76,4	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,8
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	7,2	47,8	45,4	0,5	0,0	0,0	0,0	102,3
Lechuga	1	39,4	44,9	60,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	146,7
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	17,6	34,6	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	69,2
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	24,9	27,5
Cilantro	1	46,4	59,6	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	109,3
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	14,8	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	50,5
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	0,0	4,2	0,0	11,4
Remolacha	1	20,0	26,2	61,4	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	112,2
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	9,8	43,7	26,0	0,0	0,0	0,0	82,8
Apio	1	20,0	10,0	15,0	0,0	22,0	45,6	45,1	50,9	32,8	5,9	2,5	33,2	283,0

Fuente: elaboración propia.

5.2.2.6 Módulos de riego (Mod_r)

Como se explicó en el capítulo anterior, para calcular la demanda de agua para riego se definió una hectárea hipotética sembrada con los 9 cultivos principales en las proporciones de área que se indicaron en la Tabla 5.13. Partiendo de este supuesto, se ponderaron las

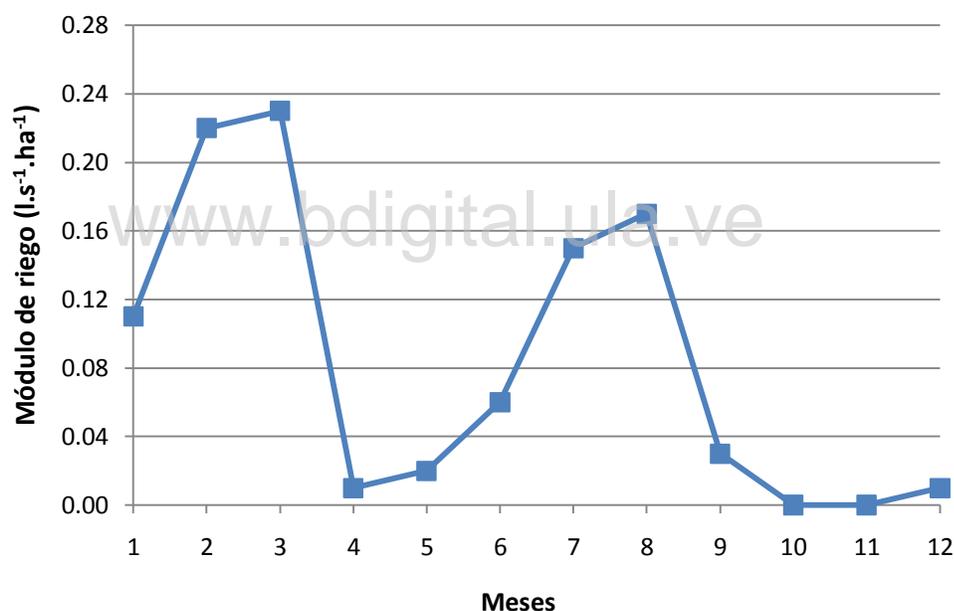
necesidades de riego de cada cultivo con respecto al área cultivada, tal como lo señala la Ecuación 4.12, obteniendo los módulos de riego que se observan en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Módulos de riego

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
mm/mes	30,7	52,3	62,8	2,4	4,1	15,3	38,9	44,6	8,5	0,5	0,5	3,9
mm/día	1,0	1,9	2,0	0,1	0,1	0,5	1,3	1,4	0,3	0,0	0,0	0,1
l.s ⁻¹ .ha ⁻¹	0,11	0,22	0,23	0,01	0,02	0,06	0,15	0,17	0,03	0,00	0,00	0,01

Fuente: elaboración propia.

La Figura 5.10 permite apreciar la variación de las demandas de riego para los diferentes meses del año. Los meses con mayores demandas agrícolas corresponden a febrero y marzo, este último obteniendo un módulo de riego de 0,23 l.s⁻¹.ha⁻¹, en contraste con el mes de diciembre, en el cual se obtuvo un módulo de 0,01 l.s⁻¹.ha⁻¹.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.10. Módulos de riego mensuales.

5.2.2.7 Demanda de riego actual y potencial

Finalmente, a partir de los módulos de riego obtenidos y de las superficies bajo riego en la cuenca, se estimaron las demandas de riego mensuales, aplicando la Ecuación 4.11. Las superficies totales regadas actualmente y potencialmente regables, en la cuenca, se indicaron en la Tabla 3.4. De allí se obtuvieron las demandas actuales y las demandas

potenciales. Esta última se refiere a aquella que se tendría en la cuenca si se aprovecha toda el área potencialmente regable.

Teniendo en cuenta que el riego en la microcuenca se realiza con aspersores, y considerando datos obtenidos por productores locales a través de mediciones en campo, se supuso un valor de 50% de eficiencia en el riego. Si bien, en teoría, el riego por aspersión puede tener eficiencias más altas que esta, se trabajó con un valor conservador debido a que los sistemas en la microcuenca son precarios y se evidencia un gran número de fugas de agua en las conducciones. Esta consideración permitió diferenciar una demanda neta y una demanda bruta. La primera se calculó con base en los módulos de riego que se presentaron en la Tabla 5.20, mientras que la segunda se obtuvo dividiendo la demanda neta entre la eficiencia del riego. La Tabla 5.21 presenta estos resultados.

Tabla 5.21. Demanda para riego (l/s)

Mes	Demanda neta		Demanda bruta*	
	Actual	Potencial	Actual	Potencial
Ene	124,41	136,40	248,82	272,80
Feb	248,82	272,80	497,64	545,60
Mar	260,13	285,20	520,26	570,40
Abr	11,31	12,40	22,62	24,80
May	22,62	24,80	45,24	49,60
Jun	67,86	74,40	135,72	148,80
Jul	169,65	186,00	339,30	372,00
Ago	192,27	210,80	384,54	421,60
Sep	33,93	37,20	67,86	74,40
Oct	0,00	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00	0,00
Dic	11,31	12,40	22,62	24,80

Fuente: elaboración propia.

*Considerando una eficiencia de 50% en el riego

5.2.2.8 Huella hídrica azul de los cultivos

Adicionalmente a la determinación de las demandas para riego, se calcularon las huellas hídricas azules de los 9 cultivos más representativos en la cuenca. Este indicador representa el volumen de agua superficial que se consume durante la producción de cada rubro y es de utilidad en el proceso de planificación debido a que permite comparar cultivos y sugerir cuáles son más factibles de cultivar en la cuenca, en función del consumo de agua que cada cual implica.

En la Tabla 5.22 se aprecian los rendimientos promedios de los cultivos, los cuales corresponden a valores medios estimados durante el año 2016, para el municipio Jáuregui (Dirección General de Estadística y Observatorio Agrícola, 2016). A su vez, en la tabla se presentan el requerimiento de agua mediante riego, estimado mediante el modelo CROPWAT 8.0, para el ciclo de cultivo más desfavorable en cuanto a precipitación efectiva (ver Tabla 5.19) y, finalmente, la huella hídrica azul de cada cultivo.

Tabla 5.22. Huella hídrica azul de los cultivos

Cultivo	CWU _{azul} * (mm)	Y** (kg/ha)	WF _{azul} (l/kg)
Papa	162,8	17571	93
Cebolla	177,3	21204	84
Maíz	144,7	11456	126
Zanahoria	165,1	26149	63
Caraotas	150,8	1127	1338
Lechuga	146,7	24610	60
Cilantro	109,3	10752	102
Remolacha	112,2	22753	49
Apio	283,0	11761	241

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Estadística y Observatorio Agrícola (2016).

*Consumo de agua superficial para la producción del cultivo

** Rendimiento promedio del cultivo

Al observar las distintas huellas hídricas azules, puede apreciarse un amplio rango de valores, destacándose la caraota con una huella de 1338 l/kg y, seguidamente, el apio que consume 241 l/kg. Los valores más bajos los obtuvieron la remolacha, la lechuga y la zanahoria, con huellas hídricas azules de 49, 60 y 63 l/kg, respectivamente. Este indicador permite comparar el consumo de diferentes cultivos y definir cuáles podrían ser más factiblemente cultivados en la cuenca. No obstante, como explican Álvarez, Morábito y Schilardi (2016), se debe tener presente que la cantidad de agua evapotranspirada puede variar en función de la fecha de siembra, condiciones del suelo y prácticas de manejo; de manera que es recomendable analizar distintos escenarios de siembra, a través del cálculo de las huellas hídricas, con el fin de definir cuál es el más apropiado para una gestión integral del agua.

5.2.3 Demanda por servicios ambientales

A partir de los caudales medios mensuales obtenidos de las series pseudohistóricas de la quebrada San José, se determinaron los caudales ecológicos para cada mes, siguiendo los criterios que se expusieron en el capítulo anterior. La Tabla 5.23 presenta estos resultados. Es conveniente recordar que se decidió no suponer un valor fijo para todo el año, debido a

que la variación estacional del caudal de la quebrada tiene un rol importante en el equilibrio del ecosistema que se desarrolla en el cauce (Castro y otros, 2006, Izquierdo y Madroñero, 2013).

Tabla 5.23 Caudal medio mensual y caudal ecológico de la microcuenca (l/s)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
\bar{Q}	200	240	270	780	710	440	400	420	590	880	840	470
Q_{eco}	20	24	27	78	71	44	40	42	59	88	84	47

Fuente: elaboración propia.

5.3 Escenarios planteados

Para efectos de realizar un diagnóstico de la situación actual del agua en la microcuenca y de posibles esquemas de aprovechamiento del recurso en el futuro, se definieron distintos escenarios en relación a las demandas, los cuales se resumen en la Tabla 5.24. Es importante recordar que dentro del alcance de esta investigación no se consideró el cambio climático, por lo tanto se partió de que la disponibilidad de agua en la cuenca no se verá afectada para los escenarios proyectados. En este sentido, las demandas por servicios ambientales (caudal ecológico) también serán constantes para los distintos escenarios analizados.

Por otra parte, se debe reconocer que las demandas agrícolas se estimaron con base en los requerimientos hídricos de los cultivos, de acuerdo al calendario de riego formulado (ver Tabla 5.17), por lo cual el resultado obtenido es tan solo uno de las tantas posibilidades que pueden darse en la microcuenca. En este sentido, si bien las fechas de siembra son variables en el sector, debido a que obedecen a las dinámicas del mercado, el patrón de cultivos propuesto generó un módulo de riego mensual que permitió llegar a conclusiones importantes respecto al uso del recurso en la cuenca.

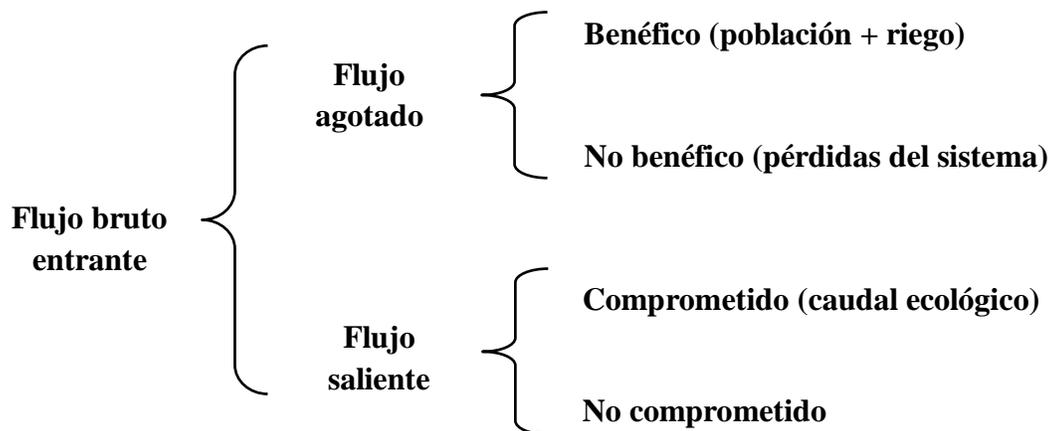
Tabla 5.24. Escenarios planteados

Demanda	Escenario actual	Escenarios proyectados		
		A	B	C
Doméstica	Definida para la población actual (2016)	Definida para la población futura (2036)		
Riego	Considerando el área regada actualmente y 50% de eficiencia en el riego	Considerando el 100% del área regable y 50% de eficiencia en el riego	Considerando el 75% del área regable y 75% de eficiencia en el riego	Considerando el 50% del área regable y 75% de eficiencia en el riego

Fuente: elaboración propia.

5.4 Balance hídrico

Para efectuar el balance hídrico se partió por identificar los flujos de agua en la microcuenca, de acuerdo a la metodología de la cuenta del agua, propuesta por Molden (1997). Debido a las limitaciones en cuanto a información disponible sobre otros flujos de agua en la cuenca (disponibilidad de agua subterránea, pérdidas por evaporación sobre terrenos en barbecho, evapotranspiración de zonas boscosas, entre otros), se simplificó el esquema de los flujos hídricos en la cuenca, tal como lo indica la Figura 5.11.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.11. Esquema de la cuenta de agua para la microcuenca.

Con respecto a la oferta de agua en la microcuenca, se supuso que el flujo bruto entrante mensual corresponde al caudal mínimo que se tendría disponible en un 95% del tiempo. Ello con el fin de prever una situación muy desfavorable en la cuenca y considerando que entre las demandas se está manejando el consumo doméstico. Así mismo, es importante recordar que según las definiciones de la cuenta del agua, el flujo neto entrante es igual al flujo bruto entrante, más o menos cualquier cambio en almacenamiento. A nivel macro, en la microcuenca, no existe almacenamiento de agua (como embalses, por ejemplo), por lo cual el flujo neto entrante se consideró igual al flujo bruto entrante.

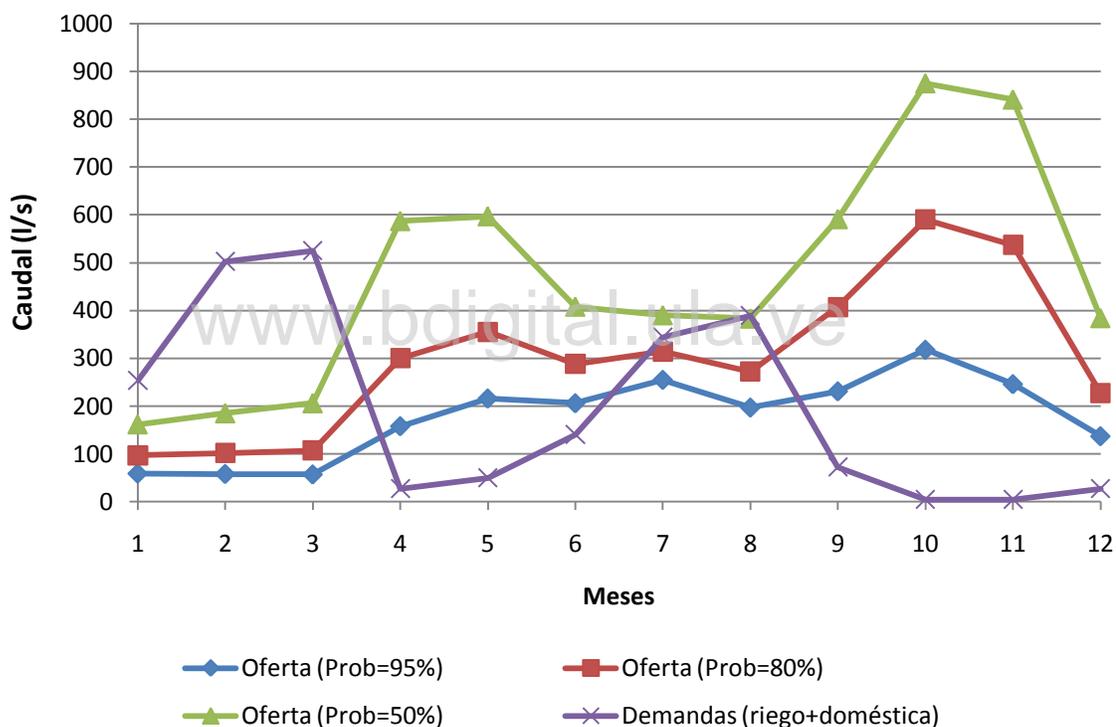
El flujo agotado benéfico lo abarca la demanda de la población y los requerimientos netos de riego. El agotamiento no benéfico, por su parte, se consideró como el flujo de agua que se pierde en el riego, debido a la ineficiencia del sistema. Así mismo, el flujo saliente comprometido se definió por el caudal ecológico. Por último el flujo saliente no comprometido correspondió a la diferencia entre el flujo bruto entrante y los otros tres.

En este orden de ideas, se determinaron indicadores de la cuenta del agua, los cuales permitieron conocer la cantidad de agua que está siendo utilizada benéficamente con respecto a distintos flujos hídricos. Adicionalmente, para diagnosticar la situación del

recurso a nivel macro en la microcuenca, se representó gráficamente la variación mensual de la oferta y las demandas de agua. Con respecto a la disponibilidad hídrica, en las gráficas realizadas se consideraron los caudales mínimos mensuales asociados a probabilidades de 50, 80 y 95%, con el fin de poder concluir sobre el porcentaje del tiempo durante el cual las demandas de los usuarios podrían quedar, o no, satisfechas. A continuación se presenta el análisis de cada uno de los escenarios que se definieron en el apartado anterior.

5.4.1 Escenario actual

Para el análisis de la situación actual en la microcuenca se presenta la Tabla 5.25, en la cual se señalan los flujos evaluados y los indicadores calculados; y la Figura 5.12 en la cual se representa la confrontación de la oferta y las demandas de agua.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.12. Confrontación oferta-demanda para el escenario actual.

En relación a la Figura 5.12, se puede apreciar que existe una situación de déficit hídrico estacional en la microcuenca. Los meses más críticos corresponden a enero, febrero y marzo, debido a que en éstos se presentan los valores más bajos de precipitación media sobre la cuenca y debido a que para ese momento toda el área cultivada se encuentra bajo riego, según el calendario formulado (ver Figuras 5.7, 5.8 y Tabla 5.17).

Tabla 5.25. Cuenta de agua para el escenario actual

Mes	Flujo bruto entrante* (l/s)	Flujo agotado (l/s)				Flujo saliente (l/s)			Indicadores (%)		
		Benéfico		No benéfico		Flujo total agotado	Comprometido		UB bruto	UB agotado	UBnc
		Demanda doméstica	Requerimientos netos de riego**	Flujo total benéfico	Pérdidas por ineficiencia del riego***		Caudal ecológico	No comprometido			
Ene	59,00	4,62	124,41	129,03	124,41	253,44	20,00	-214,44	219	51	-60
Feb	58,00	4,62	248,82	253,44	248,82	502,26	24,00	-468,26	437	50	-54
Mar	57,00	4,62	260,13	264,75	260,13	524,88	27,00	-494,88	464	50	-53
Abr	158,00	4,62	11,31	15,93	11,31	27,24	78,00	52,76	10	58	30
May	216,00	4,62	22,62	27,24	22,62	49,86	71,00	95,14	13	55	29
Jun	206,00	4,62	67,86	72,48	67,86	140,34	44,00	21,66	35	52	335
Jul	255,00	4,62	169,65	174,27	169,65	343,92	40,00	-128,92	68	51	-135
Ago	197,00	4,62	192,27	196,89	192,27	389,16	42,00	-234,16	100	51	-84
Sep	231,00	4,62	33,93	38,55	33,93	72,48	59,00	99,52	17	53	39
Oct	318,00	4,62	0,00	4,62	0,00	4,62	88,00	225,38	1	100	2
Nov	246,00	4,62	0,00	4,62	0,00	4,62	84,00	157,38	2	100	3
Dic	137,00	4,62	11,31	15,93	11,31	27,24	47,00	62,76	12	58	25

Fuente: elaboración propia.

*Caudal mínimo para un 95% del tiempo

**Aprovechando el 100% del área regada actualmente

***Suponiendo una eficiencia de 50% en el riego

Por otra parte, se presentan problemas de escasez del recurso durante julio y agosto, debido a que las demandas son superiores al caudal mínimo que se tiene disponible, al menos durante el 50% del tiempo. No obstante, este déficit no es tan marcado como el de los primeros meses del año.

En contraste, se tiene una situación de superávit hídrico entre los meses de abril a junio. Ello debido a que este período corresponde a la primera temporada de lluvias en la microcuenca, por lo cual los módulos de riego son bajos, a pesar de tener un alto porcentaje del área sembrada bajo riego para estos meses.

En el caso de septiembre a diciembre, puede observarse que las demandas disminuyen drásticamente, llegando a ser casi nulas durante octubre y noviembre. Esto se debe a que, por una parte, durante estos meses se presentan abundantes precipitaciones sobre la cuenca, y por otra, debido a que según el calendario de riego formulado, para estos meses no se estaría cultivando algunos rubros (ver Tabla 5.17).

La situación descrita también se refleja al observar el flujo no comprometido que se indica en la Tabla 5.26. Puede apreciarse que bajo las condiciones actuales, las demandas quedan insatisfechas durante los meses de enero a marzo, julio y agosto. De acuerdo a estos valores, el déficit máximo se espera para el mes de marzo, con un valor de aproximadamente 495 l/s. Estos resultados son congruentes con la realidad que actualmente están viviendo los habitantes del sector, y que pudo conocerse a través de las entrevistas realizadas a los miembros de la comunidad.

En el caso del agua utilizada para consumo doméstico, los habitantes manifestaron que durante los meses secos se presentan fallas en el suministro, generando malestar en la población. En cuanto a las demandas agrícolas, dada su excedencia frente a la oferta para dichos meses, puede concluirse que actualmente los cultivos no reciben el agua que teóricamente necesitan de acuerdo a sus fases de crecimiento.

En la práctica esto se evidencia por el hecho de que los productores aplican riego en función a turnos asignados por los comités, los cuales son arbitrarios y no obedecen a criterios técnicos. En este sentido, se pudo conocer que cada usuario tiene derecho a regar cada tres o cuatro días, durante el día, por espacio de una o dos horas (ver Anexo III). Este control se realiza gracias a los fiscales del comité de riego, quienes están encargados de monitorear los consumos y, en función de éstos, abren o cierran llaves para controlar el agua que deriva cada usuario.

En otro orden de ideas, al revisar los indicadores de utilización benéfica del agua, presentados en la Tabla 5.25, en primer lugar se tiene que el UB_{bruto} , el cual relaciona el flujo agotado benéficamente con el flujo bruto entrante, se excede del 100% durante los

meses de enero a marzo, llegando a alcanzar un 464% para el mes de marzo. Esto corrobora la afirmación hecha anteriormente, sobre el exceso de demanda frente a la oferta, que se viene presentando en la cuenca. Durante los meses de junio, julio y agosto, el índice es de 35, 68 y 100%, estos dos últimos valores indican un alto consumo hídrico en la cuenca, con respecto al flujo bruto entrante. El resto de los meses es cercano al 10% lo cual sugiere la posibilidad de aprovechar el agua en estos meses para otros usos.

En cuanto al $UB_{agotado}$ se observa que éste se encuentra cerca del 50% para la mayoría de los meses. Debido a que el uso agrícola es mucho mayor al uso doméstico en la cuenca, este indicador está directamente relacionado con la eficiencia del riego, la cual, como se recordará, se consideró en un 50%, con base en los criterios de productores locales. Esto significa que la mitad del agua derivada para riego no es aprovechada por los cultivos. Por tratarse de una cuenca alta de montaña, una pérdida tan significativa de agua en el riego conlleva a que se puedan estar acelerando procesos de erosión hídrica en la cuenca (Delgado, 2004). En el caso de octubre y noviembre, debido a que la demanda de riego es nula, el 100% del agua agotada es aprovechada para fines benéficos, específicamente para abastecimiento de la población.

Finalmente se analizó el flujo de utilización benéfica con respecto al flujo no comprometido, a través del indicador UB_{nc} , encontrándose valores negativos para los meses de enero a marzo, julio y agosto. Esto significa que, en dichos meses, los usuarios de la cuenca, no podrán hacer uso del recurso para satisfacer sus demandas, debido a que la disponibilidad está muy restringida. Adicionalmente esto supone una presión para los usuarios aguas abajo. Para los meses restantes, se obtuvieron valores positivos del indicador, lo cual sugiere que existe un remanente de agua que podría ser aprovechada en la microcuenca si se contara con infraestructura de almacenamiento.

5.4.2 Escenario proyectado A

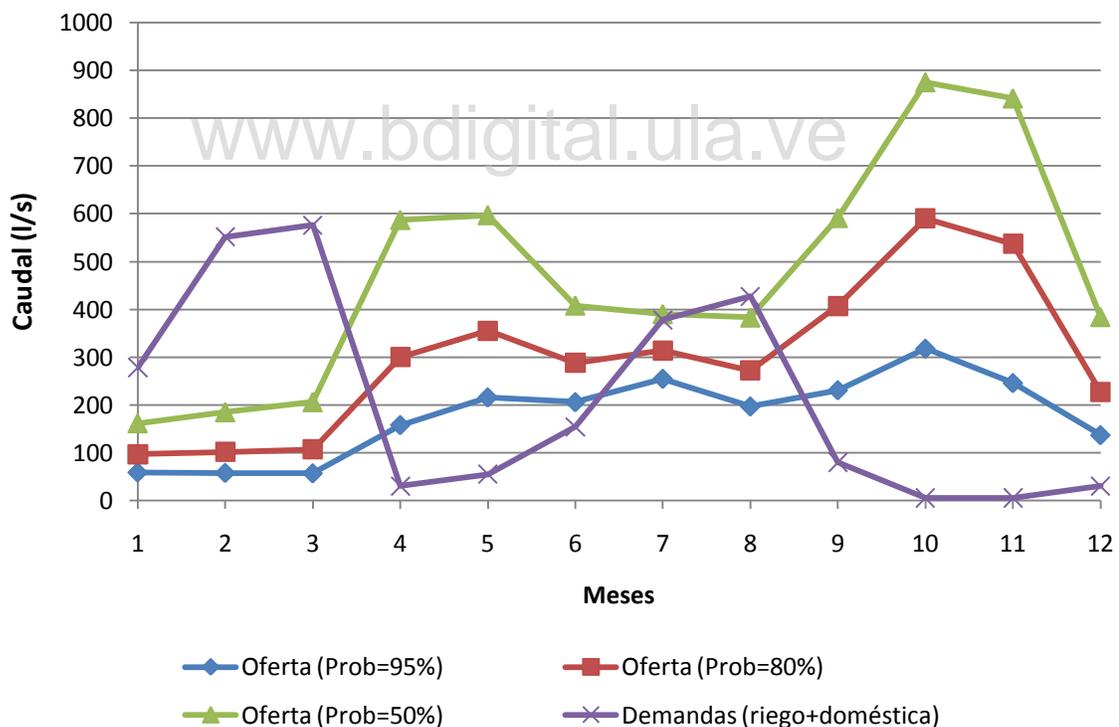
Como se explicó antes, se evaluaron tres escenarios proyectados en los que se varió la situación de la demanda de riego. El escenario A corresponde a aquel que se tendría en la cuenca si se cultivara el 100% del área aprovechable (ver Tabla 3.4) y no se realizaran mejoras en la infraestructura de los sistemas de riego, es decir, se mantiene la eficiencia actual de 50%. Esto corresponde a la demanda potencial para riego que se presenta en la Tabla 5.21. En el caso de la demanda doméstica, corresponde a la que ejercerá la población proyectada para el año 2036.

En este sentido, se evaluaron los flujos hídricos en la cuenca y se realizó la confrontación de la oferta frente a la demanda, resultados que se exponen en la Tabla 5.26 y en la Figura 5.13, respectivamente. Puede observarse que, en líneas generales, los flujos mantienen la tendencia de la situación actual, incrementándose un poco el flujo agotado a razón del

incremento en el área cultivada. Esta poca variación obedece a que no se prevé un incremento poblacional significativo, por lo que la demanda doméstica sigue siendo baja; y a que actualmente la superficie bajo riego es aproximadamente el 90% del área potencialmente regable (ver Tabla 3.4)

En cuanto a los indicadores de utilización benéfica, señalados en la Tabla 5.26, se aprecia que el UB_{bruto} sobrepasa el 100% para los meses de enero a marzo, julio y agosto; situación que indica que la oferta de agua actual no permite satisfacer las demandas de los usuarios en la cuenca. En relación al $UB_{agotado}$, se mantiene la tendencia hacia el 50%, debido a que no se prevén mejoras en la eficiencia del riego.

Por otra parte, los valores obtenidos de UB_{nc} reflejan el mismo comportamiento que se presenta en la situación actual, es decir para ciertos meses, los consumos de agua están muy restringidos y no se podrían compensar las demandas de los usuarios. En el caso de los meses en los que el UB_{nc} arrojó valores positivos, se podría aprovechar el agua para otros usos, debido a que las demandas, incluyendo el caudal ecológico, quedan suplidas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.13. Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado A.

Tabla 5.26 Cuenta de agua para el escenario proyectado A

Mes	Flujo bruto entrante* (l/s)	Flujo agotado (l/s)				Flujo saliente (l/s)			Indicadores (%)		
		Benéfico		No benéfico		Flujo total agotado	Comprometido		UB bruto	UB agotado	UBnc
		Demanda doméstica	Requerimientos netos de riego**	Flujo total benéfico	Pérdidas por ineficiencia del riego***		Caudal ecológico	No comprometido			
Ene	59,00	5,78	136,40	142,18	136,40	278,58	20,00	-239,58	241	51	-59
Feb	58,00	5,78	272,80	278,58	272,80	551,38	24,00	-517,38	480	51	-54
Mar	57,00	5,78	285,20	290,98	285,20	576,18	27,00	-546,18	510	51	-53
Abr	158,00	5,78	12,40	18,18	12,40	30,58	78,00	49,42	12	59	37
May	216,00	5,78	24,80	30,58	24,80	55,38	71,00	89,62	14	55	34
Jun	206,00	5,78	74,40	80,18	74,40	154,58	44,00	7,42	39	52	1081
Jul	255,00	5,78	186,00	191,78	186,00	377,78	40,00	-162,78	75	51	-118
Ago	197,00	5,78	210,80	216,58	210,80	427,38	42,00	-272,38	110	51	-80
Sep	231,00	5,78	37,20	42,98	37,20	80,18	59,00	91,82	19	54	47
Oct	318,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	88,00	224,22	2	100	3
Nov	246,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	84,00	156,22	2	100	4
Dic	137,00	5,78	12,40	18,18	12,40	30,58	47,00	59,42	13	59	31

Fuente: elaboración propia.

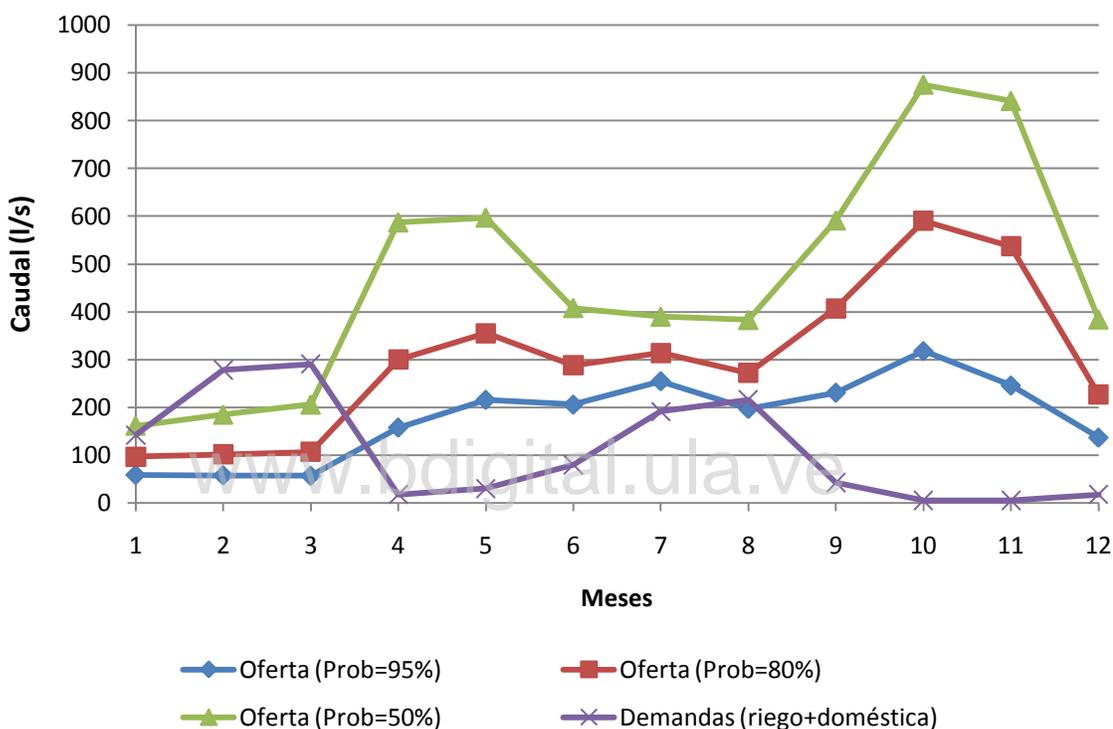
*Caudal mínimo para un 95% del tiempo

**Aprovechando el 100% del área potencialmente regable

***Suponiendo una eficiencia de 50% en el riego

5.4.3 Escenario proyectado B

Este escenario se formuló partiendo de que se disminuya la superficie cultivada en la cuenca, abarcando un 75% del área potencialmente regable, y realizando mejoras en la infraestructura de los sistemas de riego, de manera tal que la eficiencia llegara a un 75%. La demanda doméstica es definida por la población proyectada para el año 2036. La Figura 5.14 y la Tabla 5.27 presentan la confrontación oferta-demanda y los flujos hídricos e indicadores evaluados, respectivamente.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.14. Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado B.

En la Figura 5.14 se observa que, bajo estas condiciones, a pesar de que se llega a presentar un déficit hídrico durante los meses de enero a marzo, las demandas doméstica y de riego quedarían satisfechas para el resto de los meses, considerando que éstas son inferiores al caudal mínimo que se tendría disponible al menos durante el 80% del tiempo. Por otra parte, en la Tabla 5.27 se señala que el flujo no comprometido (considerando el caudal mínimo disponible el 95% del tiempo) presenta valores negativos para enero, febrero, marzo y agosto; confirmando que a pesar de haber reducido el área bajo riego e incrementado la eficiencia de los sistemas, las demandas no quedan satisfechas para dichos meses y se estaría comprometiendo el caudal ecológico, lo cual atenta contra la seguridad hídrica del sector y de las poblaciones aguas abajo.

Tabla 5.27. Cuenta de agua para el escenario proyectado B

Mes	Flujo bruto entrante* (l/s)	Flujo agotado (l/s)				Flujo saliente (l/s)			Indicadores (%)		
		Benéfico		No benéfico		Flujo total agotado	Comprometido		UB bruto	UB agotado	UBnc
		Demanda doméstica	Requerimientos netos de riego**	Flujo total benéfico	Pérdidas por ineficiencia del riego***		Caudal ecológico	No comprometido			
Ene	59,00	5,78	102,30	108,08	34,10	142,18	20,00	-103,18	183	76	-105
Feb	58,00	5,78	204,60	210,38	68,20	278,58	24,00	-244,58	363	76	-86
Mar	57,00	5,78	213,90	219,68	71,30	290,98	27,00	-260,98	385	75	-84
Abr	158,00	5,78	9,30	15,08	3,10	18,18	78,00	61,82	10	83	24
May	216,00	5,78	18,60	24,38	6,20	30,58	71,00	114,42	11	80	21
Jun	206,00	5,78	55,80	61,58	18,60	80,18	44,00	81,82	30	77	75
Jul	255,00	5,78	139,50	145,28	46,50	191,78	40,00	23,22	57	76	626
Ago	197,00	5,78	158,10	163,88	52,70	216,58	42,00	-61,58	83	76	-266
Sep	231,00	5,78	27,90	33,68	9,30	42,98	59,00	192,02	15	78	26
Oct	318,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	88,00	224,22	2	100	3
Nov	246,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	84,00	156,22	2	100	4
Dic	137,00	5,78	9,30	15,08	3,10	18,18	47,00	71,82	11	83	21

Fuente: elaboración propia.

*Caudal mínimo para un 95% del tiempo

**Aprovechando el 75% del área potencialmente regable

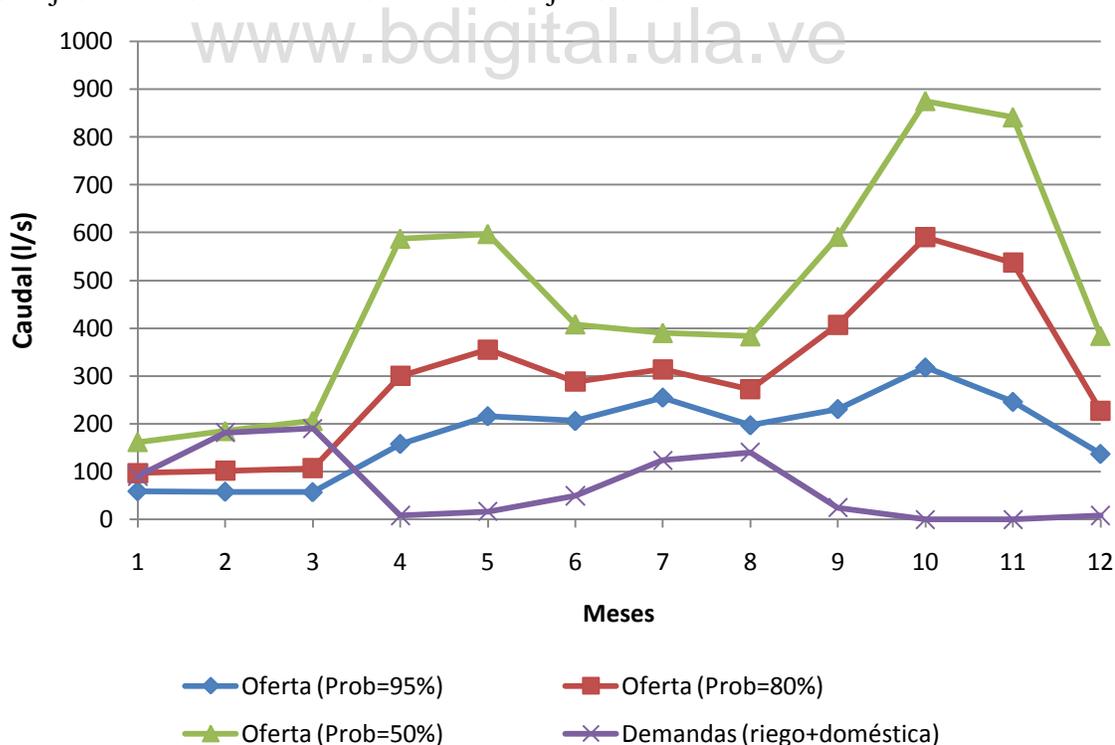
***Suponiendo una eficiencia de 75% en el riego

Así mismo, se calcularon los indicadores de utilización benéfica, obteniendo como resultado que el UB_{bruto} sigue manteniendo la tendencia actual, es decir, supera el 100% para los meses de enero a marzo, debido al exceso de la oferta en relación a la demanda. En el caso del $UB_{agotado}$, los valores se ubican alrededor del 80%, lo cual sugiere que al aumentar la eficiencia del riego, la cantidad de agua que se aprovecharía para fines benéficos es significativamente mayor que para la situación actual.

No obstante, para algunos meses del año se siguen obteniendo valores negativos del índice de utilización benéfica con respecto al flujo no comprometido, lo cual significa que la gestión del agua en la cuenca no se está realizando de forma integral. Para esos meses, las demandas siguen quedando insatisfechas y no se puede garantizar el caudal ecológico en la quebrada.

5.4.4 Escenario proyectado C

Bajo este escenario se supone que el área bajo riego sea solamente el 50% de la superficie potencialmente regable, y que la eficiencia del riego se incremente hasta 75%. La demanda doméstica sigue siendo aquella calculada para la población proyectada para el año 2036. La Figura 5.15 presenta la confrontación de la oferta y las demandas, y la Tabla 5.28 contiene los flujos hídricos e indicadores evaluados bajo este escenario.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.15. Confrontación oferta-demanda para el escenario proyectado C.

Tabla 5.28. Cuenta de agua para el escenario proyectado C

Mes	Flujo bruto entrante* (l/s)	Flujo agotado (l/s)				Flujo saliente (l/s)			Indicadores (%)		
		Demanda doméstica	Benéfico		No benéfico		Flujo total agotado	Comprometido		UB bruto	UB agotado
Requerimientos netos de riego**	Flujo total benéfico		Pérdidas por ineficiencia del riego***	Caudal ecológico	No comprometido						
Ene	59,00	5,78	68,20	73,98	22,73	96,71	20,00	-57,71	125	76	-128
Feb	58,00	5,78	136,40	142,18	45,47	187,64	24,00	-153,65	245	76	-93
Mar	57,00	5,78	142,60	148,38	47,53	195,91	27,00	-165,91	260	76	-89
Abr	158,00	5,78	6,20	11,98	2,07	14,04	78,00	65,95	8	85	18
May	216,00	5,78	12,40	18,18	4,13	22,31	71,00	122,69	8	81	15
Jun	206,00	5,78	37,20	42,98	12,40	55,38	44,00	106,62	21	78	40
Jul	255,00	5,78	93,00	98,78	31,00	129,78	40,00	85,22	39	76	116
Ago	197,00	5,78	105,40	111,18	35,13	146,31	42,00	8,69	56	76	1280
Sep	231,00	5,78	18,60	24,38	6,20	30,58	59,00	141,42	11	80	17
Oct	318,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	88,00	224,22	2	100	3
Nov	246,00	5,78	0,00	5,78	0,00	5,78	84,00	156,22	2	100	4
Dic	137,00	5,78	6,20	11,98	2,07	14,04	47,00	75,95	9	85	16

Fuente: elaboración propia.

*Caudal mínimo para un 95% del tiempo

**Aprovechando el 50% del área potencialmente regable

***Suponiendo una eficiencia de 75% en el riego

Al observar la Figura 5.15, se aprecia que al reducir considerablemente al área bajo riego, disminuyen las presiones ejercidas sobre el recurso hídrico en la microcuenca. Sin embargo, se siguen manteniendo períodos con déficit hídrico (desde enero hasta marzo). En cuanto a los valores mensuales del flujo no comprometido, señalados en la Tabla 5.28, resulta preocupante ver que siguen existiendo problemas de escasez hídrica en los meses secos, lo cual imposibilitaría que se satisfagan las demandas de los usuarios y que se respete el caudal ecológico en la quebrada. Esta situación también la refleja el indicador UB_{bruto} , el cual se excede del 100% para dichos meses.

El indicador $UB_{agotado}$ en este caso, se comporta de forma similar a los resultados obtenidos para el escenario proyectado B, debido a que se mantiene la eficiencia de riego (75%) y como se explicó antes, este indicador se ve afectado por la cantidad de agua que se pierde en el riego. En la medida en que este indicador esté más cercano al 100% se puede concluir que el uso del agua en la cuenca se acerca más al modelo de gestión integral. Bajo esta premisa, es indispensable que en la cuenca se mejore la eficiencia de los sistemas de riego, lo cual se traduciría en un aumento del índice de utilización benéfica con respecto al flujo agotado.

Finalmente se analizó el indicador UB_{nc} encontrándose valores negativos para los meses de enero a marzo. Estos números resultan preocupantes en el sentido de que aún reduciendo el área cultivada hasta un 50% del área potencial, no es posible que los usuarios de la cuenca puedan satisfacer sus demandas hídricas a plenitud. Así mismo, las funciones ecológicas de la quebrada, la biodiversidad, los procesos de autopurificación del cauce y los derechos de usuarios aguas abajo, están altamente comprometidos en consecuencia del manejo que actualmente se le está dando al agua en la cuenca, de donde se reafirma la necesidad de que se implementen prácticas orientadas a la gestión integral del agua en la cuenca.

5.5 Propuestas para contribuir con la gestión integral del agua en la microcuenca Quebrada San José

A partir de los resultados obtenidos en cada etapa de la investigación, se pudo conocer la situación general de los recursos hídricos en la microcuenca Quebrada San José, evidenciándose que las fuentes de agua superficial en ésta se encuentran sometidas a presiones significativas en torno a las demandas para riego. Para aliviar esta situación que está comprometiendo el bienestar de los habitantes, debido a que la principal actividad económica en la cuenca es de tradición hortícola, se proponen las siguientes medidas de gestión orientadas a optimizar el uso del agua por parte de los actores de la cuenca y maximizar la disponibilidad del recurso en cuanto a cantidad se refiere.

5.5.1 Manejo de la demanda

5.5.1.1 Modificación de la superficie cultivada

Una alternativa analizada que puede disminuir el estrés hídrico en la cuenca, es la de modificar la superficie cultivada en función a los módulos de riego obtenidos en la evaluación de la demanda agrícola, que se indicaron en la Tabla 5.20. En ésta se identifican un módulo de riego neto mínimo, medio y máximo de 0,01; 0,08 y 0,23 l.s⁻¹.ha⁻¹, respectivamente. Por otra parte, con base en los resultados obtenidos en el balance hídrico para el escenario proyectado A (situación tendencial), se pudo calcular, la oferta de agua para riego que estaría disponible actualmente, respetando la demanda poblacional y el caudal ecológico. Esta disponibilidad mensual de agua para riego se señala en la Tabla 5.29 y en la Figura 5.16.

Tabla 5.29. Disponibilidad de agua para riego

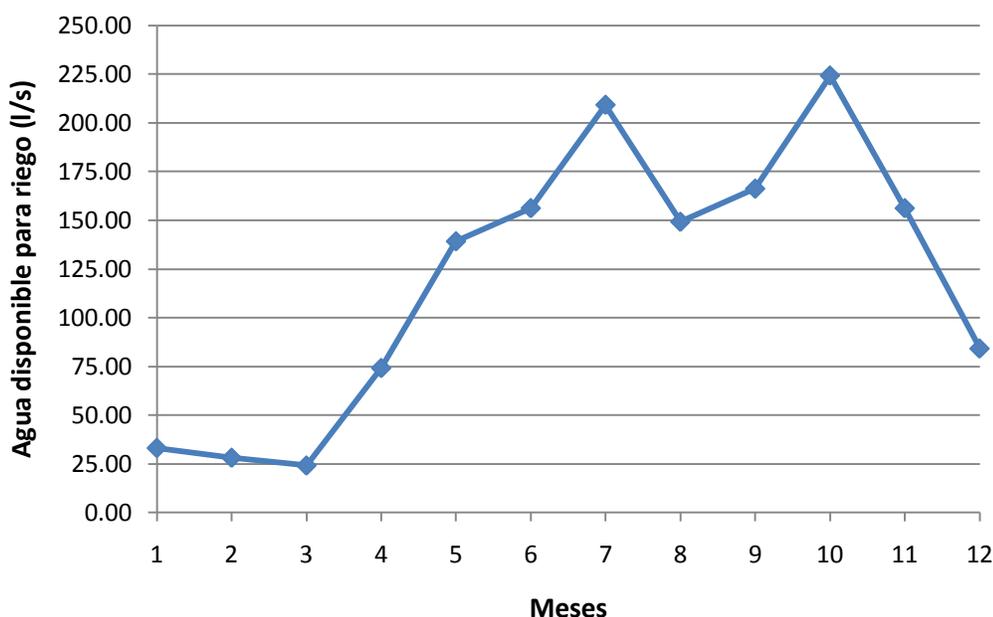
Mes	Oferta*	Demanda doméstica**	Caudal ecológico	Agua disponible para riego
	(l/s)			
Ene	59,00	5,78	20,00	33,22
Feb	58,00	5,78	24,00	28,22
Mar	57,00	5,78	27,00	24,22
Abr	158,00	5,78	78,00	74,22
May	216,00	5,78	71,00	139,22
Jun	206,00	5,78	44,00	156,22
Jul	255,00	5,78	40,00	209,22
Ago	197,00	5,78	42,00	149,22
Sep	231,00	5,78	59,00	166,22
Oct	318,00	5,78	88,00	224,22
Nov	246,00	5,78	84,00	156,22
Dic	137,00	5,78	47,00	84,22

Fuente: elaboración propia.

*Caudal mínimo para un 95% del tiempo

**Proyectada para el año 2036

Se puede apreciar que la disponibilidad mínima estaría en el mes de marzo, con aproximadamente 24,22 l/s para uso agrícola. Relacionando este valor con los módulos de riego mínimo, medio y máximo que se indican en el párrafo anterior, y con la eficiencia del riego actual (50%), se obtuvieron las superficies que serían cultivables bajo tres condiciones. En el caso de usar el módulo mínimo para todos los meses del año, se podrían aprovechar 1211 ha; con el módulo medio, se aprovecharían 144 ha, y con el módulo máximo a penas 53 ha. Estos valores representan, respectivamente 107%, 13% y 5% del área cultivada actualmente en la cuenca (ver Tabla 2.5).



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.16. Disponibilidad de agua para riego.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que la selección de un módulo de riego fijo permitiría aumentar o disminuir el área cultivada. No obstante, debe recordarse que al fijar un módulo mínimo o medio, los cultivos no recibirían el agua suficiente para sus funciones vitales, durante ciertos meses del año, lo cual incidiría en pérdidas de productividad, tal como lo explican Morábito y otros (2002). A su vez, trabajar con un módulo máximo sería demasiado optimista, debido a que tan sólo podría cultivarse un porcentaje de 5% del área cultivada actual, escenario que no es factible considerando que las actividades económicas en la cuenca, en su mayoría, son agrícolas.

Es conveniente resaltar que estos números se obtuvieron partiendo de una situación hipotética en la cual todos los productores siembran los mismos rubros, en proporciones definidas, y en un calendario único. Si bien esa no es la situación real que se presenta en la cuenca, la misma sugiere la magnitud del consumo de agua para riego que se tiene en ella. Por otra parte, la metodología de análisis aquí aplicada puede servir como ejemplo para que los productores, con apoyo de las instituciones del Estado, consideren distintos escenarios y encuentren el que mejor responda a sus necesidades económicas y a los requerimientos hídricos poblacionales y ambientales.

5.5.1.2 Optimización de los sistemas de riego

A través de la indagación de campo se pudo conocer que a pesar de que los productores están organizados en comités de riego, actualmente no realizan una planificación de sus

calendarios de riego, de manera que no hay coordinación entre usuarios respecto a la fecha de siembra de los cultivos, sino que ésta es decidida en función de las dinámicas del mercado y la disponibilidad de insumos que se tenga. Por ello, se propone que se formulen calendarios de riego en función a la disponibilidad de agua a lo largo del año, lo cual evitaría que un gran número de productores coincidan con las fechas de siembra, situación que se torna insostenible en los meses secos.

Así mismo, se puede considerar el cambio de cultivos por rubros con menores exigencias hídricas, para lo cual se recomienda que se analicen las huellas hídricas de los cultivos que se manejan en la cuenca. En este orden de ideas, se recomienda que la programación del riego y la evaluación de cultivos alternativos, se realice con apoyo de las instituciones encargadas de prestar asesoría técnica a los comités de riego (tales como INDER e IAPRET, así como universidades a través de programas de extensión). Estos estudios pueden llevarse a cabo haciendo uso de herramientas como el CROPWAT 8.0, que facilita la formulación de escenarios de riego, bajo distintas condiciones de manejo.

Adicionalmente, la demanda agrícola se puede reducir mediante el incremento en la eficiencia de los sistemas de riego. Por medio de las visitas de campo realizadas y los resultados que algunos productores locales han obtenido, las eficiencias del riego por aspersión en la cuenca están por el orden de 50%. Esto implica que volúmenes significativos del agua derivada para este uso, no se están aprovechando y podrían estar contribuyendo al deterioro del recurso suelo, por procesos erosivos. Con base en estos planteamientos, se recomienda la rehabilitación de los sistemas de riego, en cuanto al mantenimiento de tuberías, válvulas y otros accesorios en la red de conducción del agua, cuyo estado de deterioro está incidiendo en eficiencias muy bajas. Así mismo puede considerarse el cambio del tipo de riego, a métodos más eficientes como el riego por goteo.

5.4.1.3 Mejoras en la infraestructura de los acueductos rurales

Si bien en la microcuenca las demandas poblacionales no son significativas en comparación con las demandas para riego, es importante que se mejore la infraestructura de los sistemas de abastecimiento de agua, debido a que el poco mantenimiento que se le realiza a las tuberías de conducción, genera pérdidas y disminuye la disponibilidad del recurso. Así mismo debe solventarse la carencia de suficientes tanques de almacenamiento que permitan mantener una dotación constante en períodos de escasez hídrica.

5.4.2 Manejo de la oferta

5.4.2.1 Conservación de la cuenca

Esta propuesta consiste en la aplicación de prácticas forestales para la protección de la cuenca alta, debido a que es evidente el avance de la frontera agrícola, el cual ha aumentado

la vulnerabilidad de tierras frágiles, como las nacientes de la quebrada. En la Figura 5.17 se presenta una fotografía de la microcuenca en la que se aprecia esta realidad. Con la reforestación de las laderas, se prevé que mejoren las condiciones del suelo, aumentando la capacidad de infiltración y reduciendo el arrastre de sedimentos, por lo que aumentará la calidad y disponibilidad del agua en la quebrada. Para ello es fundamental la selección de especies vegetales que estén acordes con las condiciones ambientales de la microcuenca. La Tabla 5.30 indica algunas especies arbóreas sugeridas para este propósito, las cuales se identificaron en los recorridos de campo realizados.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.17. Laderas deforestadas en el sector El Alto.

Tabla 5.30. Especies arbóreas sugeridas para reforestación

Nombre común	Nombre científico
Cínaro	<i>Psidium caudatum</i>
Yátago	<i>Tirchanthera gigantea</i>
Bucare ceibo	<i>Erythrina poeppigiana</i>
Tampaco	<i>Clusia major</i>
Pino Laso	<i>Decussocarpus rospigiosii</i>
Sangredrigo	<i>Croton gossypifolius</i>
Guamo machete	<i>Inga spectabilis</i>
Guamo bobo	<i>Inga vera</i>

Fuente: elaboración propia.

5.4.2.2 Monitoreo de la disponibilidad real

Uno de los principales obstáculos que se tiene al abordar la planificación del recurso agua en la microcuenca, es la falta de información real sobre la oferta hídrica. Si bien en este estudio se llegó a una estimación de la disponibilidad, la misma está sujeta a mucha incertidumbre debido a que se trabajó con modelos de simulación a partir de datos históricos de una cuenca patrón y se aplicó el método de transposición.

Por esta razón, resulta fundamental implementar un programa de monitoreo de caudales en varios sitios de la quebrada. Es importante comentar que el ICLAM, en el año 2012 instaló una mira en una de las nacientes de la quebrada, ubicada en el Páramo La Tigra, la cual se aprecia en la Figura 5.18. Sin embargo hasta la fecha no se han realizado mediciones periódicas del caudal en ese sitio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.18. Mira instalada en nacimiento de la quebrada San José, sector Páramo La Tigra.

En este sentido, se sugiere la instalación de otras miras en el punto de cierre de la microcuenca (en la confluencia de la quebrada San José con el río Grita) y en el sitio de derivación de la quebrada al canal del sistema de riego “La toma”, considerando que éste representa la mayor demanda agrícola. Para que el monitoreo de la disponibilidad pueda efectuarse es fundamental involucrar a la comunidad, por lo que se sugiere que uno o varios miembros de la misma estén encargados de hacer las mediciones diarias y tomar los registros correspondientes.

5.4.2.3 Aumento de la capacidad de almacenamiento

Otro de los problemas encontrados en la microcuenca tiene que ver con la poca capacidad de almacenamiento de agua que se tiene. Ello debido a que no todos los productores poseen tanques y a que la morfometría de la cuenca favorece el drenaje del agua y dificulta su acumulación. Para ello se puede considerar la instalación de más tanques Australianos y el uso de prácticas culturales y medidas estructurales orientadas a aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo. En relación a dichas prácticas culturales, Hidalgo (2007) señala que algunas técnicas agroecológicas aplicables al suelo, están fundamentadas en la reducción de la escorrentía y la evaporación, el aumento de la infiltración y de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, lo cual puede reducir, en gran medida, las necesidades de riego de los cultivos.

Entre estas prácticas es oportuno mencionar la siembra en contornos o en curvas de nivel, contrariamente a lo que se pudo evidenciar en muchas parcelas agrícolas de la microcuenca, en donde se siembra en sentido de la pendiente. Delgado (2004) enfatiza que para promover la conservación de suelos de ladera, todas las operaciones, labores y prácticas agrícolas que requieran alguna remoción del suelo, deben efectuarse en contorno. La ejecución de labores en dirección de la pendiente, en contraste, contribuye a acelerar los procesos de escorrentía y erosión hídrica.

Así mismo, es conveniente la incorporación de materia orgánica al suelo, debido a que ésta ayuda a retener mayor humedad al actuar como una esponja (Hidalgo, 2007). Con esta práctica adicionalmente se obtienen otros beneficios, entre los que cabe mencionar la mejora de la estructura del suelo, debido a que la presencia de materia orgánica en el suelo promueve la formación de agregados, haciéndolo más resistente a la erosión, y la incorporación de macro y micronutrientes, lo cual contribuye al aumento de su fertilidad (Casanova, 2005).

Entre las medidas estructurales, se hace referencia a aquellas orientadas a captar los escurrimientos en laderas. Gras (2010) explica que este tipo de medidas permite modificar el movimiento del agua desde que toca la superficie del suelo dentro de un terreno, con el objetivo de evitar que gran parte de ésta se drene en forma de escurrimiento superficial y favorecer su aprovechamiento en el terreno. Por su parte, Delgado (2004) describe algunas prácticas que pueden servir para este propósito en la microcuenca, entre las cuales se puede nombrar: canales de desviación, acequias de ladera, zanjas de absorción, terrazas de bordo, entre otras.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones centrales de esta investigación y las recomendaciones para futuros trabajos en relación a la gestión integral del agua en la microcuenca Quebrada San José.

6.1 Conclusiones

6.1.1 La presente investigación constituye un estudio de línea base que contribuirá con la gestión integral del agua en la microcuenca Quebrada San José, del municipio Jáuregui en el estado Táchira. Ello debido a que se estimó tanto la oferta de agua superficial como las principales demandas del recurso, se analizaron los problemas actuales y potenciales derivados de los usos y se establecieron propuestas para iniciar la gestión integral del agua.

6.1.2 La cantidad de agua superficial disponible en la microcuenca se determinó mediante simulación de escorrentía de la cuenca del Río Grita, considerada cuenca patrón, y la posterior transposición de caudales a la quebrada San José. Se utilizó el modelo SIHIM, cuya calibración arrojó un coeficiente de correlación lineal de 0,616 y una diferencia de 0,22% entre la escorrentía total simulada y observada. De esta forma, se generó la serie caudales seudohistóricos mensuales del río Grita para el período 1969-1977, cuyo valor medio resultó en 17,7 m³/s.

6.1.3 Los caudales seudohistóricos de la quebrada San José hasta su confluencia con la quebrada Aguas Calientes, se estimaron mediante transposición, obteniendo un caudal medio anual de 520 l/s. Para el cálculo del factor de transposición, se utilizaron las precipitaciones medias mensuales, debido a que al utilizar la precipitación anual, se sobreestimaba la oferta hídrica durante los meses secos.

6.1.4 Las series mensuales de caudales seudohistóricos de la quebrada San José se ajustaron a las distribuciones de probabilidad Normal y Log-Normal, lo cual permitió conocer que la disponibilidad hídrica mínima en la quebrada, para un 95% del tiempo, ocurre en los meses de enero a marzo, con un caudal cercano a los 50 l/s. En contraste, para el mes de octubre y un 95% del tiempo, se presentan los mayores caudales, estando alrededor de 300 l/s.

6.1.5 Se evaluaron las demandas de agua actuales y potenciales en la microcuenca, encontrándose la demanda poblacional (consumo doméstico), la demanda agrícola, y la demanda por servicios ambientales, conocida como caudal ecológico. Debido al avance que ha tenido la frontera agrícola, un gran porcentaje de la superficie de la cuenca se ocupa por actividades agrícolas, específicamente por horticultura, de tal forma que la demanda de agua para riego es la más significativa.

6.1.6 La cantidad de agua requerida para consumo humano se definió para una dotación de 200 litros diarios por persona, tomando en cuenta que los sistemas de abastecimiento son acueductos rurales cuya infraestructura es rudimentaria y poseen pérdidas de agua debido a fugas en las tuberías de conducción. De esta manera, la demanda doméstica resultó en 4,62 l/s para el año 2016 y 5,78 l/s para el año 2036.

6.1.7 Se identificaron los principales cultivos en la microcuenca, siendo estos: papa, cebolla, maíz, caraota, zanahoria, lechuga, cilantro, remolacha y apio. Así mismo, se obtuvo el porcentaje del área ocupada por cada rubro, lo cual permitió definir un patrón de cultivos, suponiendo fechas de siembra hipotéticas. A partir de esto, se calcularon las demandas para riego en la microcuenca, encontrando que para el mes de marzo se espera la máxima demanda bruta, la cual resultó en aproximadamente 520 l/s para el área bajo riego actual, y en 570 l/s, para el área bajo riego potencial.

6.1.8 Se calculó la huella hídrica azul de los principales cultivos que se cosechan en la cuenca, la cual cuantifica el volumen de agua superficial consumido durante el crecimiento del cultivo, por unidad másica de producto cosechado. En el caso de estudio, el cultivo con mayor exigencia hídrica, bajo las condiciones actuales de manejo, es la caraota con una huella hídrica azul de 1338 l/kg. En contraste, la remolacha obtuvo la menor huella hídrica azul, resultando 49 l/kg. Partiendo de esto se concluye que los productores en la microcuenca deben cuestionar el cultivo de la caraota y reemplazar este rubro por otros que posean menores huellas hídricas, dada la situación de déficit hídrico que se presenta en la cuenca.

6.1.9 El caudal ecológico (correspondiente a aquel que debe mantenerse en el cauce para garantizar las funciones ecológicas de la quebrada) se calculó como el 10% del caudal medio mensual, considerando la variación hidrológica a lo largo del año, la cual incide en el equilibrio del ecosistema que se desarrolla en torno al cauce. Con ello, se definió la demanda ambiental, cuyos valores mínimo y máximo se estimaron en 20 l/s y 88 l/s, y corresponden a los meses de enero y octubre, respectivamente.

6.1.10 Se formularon distintos escenarios de gestión del recurso en la microcuenca, con el fin de confrontar la oferta y las demandas de agua y analizar posibles conflictos que se presenten en torno al aprovechamiento del agua. En principio se evaluó el escenario actual, el cual se definió por la demanda doméstica ejercida por la población del año 2016; la demanda para riego de las superficies aprovechadas en la actualidad, y el caudal ecológico. Adicionalmente, se planteó un escenario proyectado tendencial en el cual se esté cultivando el 100% del área potencialmente regable; y otros dos escenarios proyectados en los cuales se disminuya el porcentaje del área cultivada y se incremente la eficiencia del riego.

6.1.11 A través del balance hídrico se calcularon indicadores de utilización benéfica del agua, con base en la metodología de la cuenta del agua. En todos los escenarios, para los meses secos, se obtuvieron valores mayores del 100% para el índice de utilización benéfica con respecto al flujo bruto entrante, lo cual significa que las demandas no quedan satisfechas debido a que la disponibilidad está muy restringida.

6.1.12 Por otra parte, para todos los escenarios, durante los meses secos, se obtuvieron valores negativos del indicador de utilización benéfica con respecto al flujo no comprometido. Esto se debe a que las demandas de agua en la cuenca son tan altas, que están comprometiendo el caudal aguas abajo de la quebrada. Así mismo esto significa que los usuarios no pueden satisfacer a plenitud sus demandas, generando conflictos, malestar social y pérdidas económicas para los productores agrícolas.

6.1.13 En el caso del índice de utilización benéfica con respecto al flujo agotado, se pudo concluir que el incremento en la eficiencia del riego se traduce en un aumento de este indicador. Actualmente, en la cuenca se evidencian pérdidas significativas del agua derivada para riego, debido a que los sistemas son rudimentarios y el mantenimiento es muy limitado, por lo cual este indicador resultó en aproximadamente 50%. En virtud de orientar la gestión del agua en la cuenca hacia un modelo integral, es indispensable que se aumente la eficiencia del riego por aspersión o que se migre hacia sistemas más eficientes como el riego por goteo.

6.1.14 Se formularon medidas orientadas a la gestión integral del recurso, las cuales están enfocadas tanto al manejo de la oferta como al manejo de la demanda. Entre las primeras cabe mencionar la modificación de las superficies cultivadas con base en la disponibilidad de agua para riego que habría si se respeta la demanda poblacional y el caudal ecológico.

6.1.15 De igual forma se plantea la optimización de los sistemas de riego, abarcando medidas como la formulación de calendarios de riego, el cambio hacia cultivos con menos exigencias hídricas y la rehabilitación de los sistemas de conducción del agua. Adicionalmente se recomienda realizar mejoras en la infraestructura de los acueductos rurales, con el fin de evitar pérdidas significativas de agua.

6.1.16 En lo referente al manejo de la oferta en la microcuenca, se plantearon medidas dirigidas a la reforestación con fines protectores en la cuenca alta; al establecimiento de un sistema de medición y registro de caudales diarios en distintos puntos de la quebrada; y al aumento de la capacidad de almacenamiento de agua de los usuarios agrícolas mediante prácticas culturales y/o medidas estructurales en las parcelas que modifiquen los patrones de flujo del agua, evitando su drenaje superficial y favoreciendo su infiltración en el suelo y aprovechamiento en períodos secos.

6.1.17 Los resultados de este estudio servirán como base para la toma de decisiones en cuanto a la asignación de concesiones, asignaciones y licencias por parte del MINEA y para establecer criterios de manejo a nivel de usuarios agrícolas que permitan optimizar el uso del agua en la microcuenca.

6.2 Recomendaciones

6.2.1 Es importante afinar el valor del flujo saliente comprometido de la microcuenca. En este estudio para definir dicho flujo sólo se consideró una aproximación al caudal ecológico, debido a las limitaciones en cuanto a la información. Sin embargo, es necesario dar seguimiento a la implementación de los caudales ecológicos propuestos, evaluando el impacto causado por éstos en los ecosistemas acuáticos de la quebrada, e ir ajustándolos en caso de ser necesario.

Por otra parte, para definir el flujo saliente comprometido también se debe indagar sobre las demandas de usuarios agrícolas aguas abajo que se abastecen del río Grita. Estos estudios deben ser promovidos por instituciones como el ICLAM y el MINEA, los cuales han venido desarrollando proyectos conducentes a la gestión integral del agua en la cuenca del río Grita.

6.2.2 Debido al carácter dinámico de las actividades antrópicas, es fundamental estudiar la evolución de diferentes parámetros de calidad del recurso hídrico, especialmente de aquellos que condicionan los usos de abastecimiento de agua a poblaciones y de agua para riego. En este sentido, se recomienda darle continuidad al estudio de calidad del agua en la microcuenca realizado por el ICLAM en el año 2013.

6.2.3 Se recomienda que los usuarios agrícolas pidan su licencia para aprovechamiento de los recursos hídricos ante el MINEA, lo cual permitirá la regularización y el control del uso del agua por parte de esta institución y dará pie a un manejo coordinado de este recurso, en consonancia con lo estipulado en la legislación ambiental venezolana.

6.2.4 Es importante que para futuros estudios se profundice en la determinación de la huella hídrica de los cultivos que se manejan en la microcuenca. La información obtenida a través de estos indicadores puede servir para sensibilizar a la comunidad respecto al uso actual del agua, para fomentar la toma de conciencia de los productores en relación al uso del recurso hídrico, a la selección de los rubros a cultivar e inclusive a la valoración económica de sus productos.

6.2.5 Es necesario que se realicen diagnósticos de los acueductos rurales que abastecen a la población de la microcuenca, debido a que a través de los recorridos de campo se pudo observar que éstos carecen de los requisitos mínimos de tratamiento que exige la

legislación ambiental venezolana. Así mismo, la infraestructura de éstos se apreció bastante precaria y su mantenimiento, se presume que sea muy esporádico. Por lo tanto se recomienda realizar estudios conducentes a la mejora de estos sistemas de abastecimiento de agua en aras de lograr una gestión integral del recurso.

6.2.6 Con el fin de incentivar la conservación del agua y disminuir el consumo, es importante que el ministerio que ejerce la Autoridad Nacional de las Aguas (actualmente el MINEA) establezca tarifas a los usuarios agrícolas que aprovechan el agua en la microcuenca. El aporte financiero para contribuir con la conservación del recurso, por parte de los usuarios, está estipulado en la Ley de Aguas (2007). Para la fijación de las tarifas, se recomienda tomar como criterios: la cantidad de agua extraída de la fuente, sobre la base del número de hectáreas regadas, y las huellas hídricas de los cultivos sembrados.

6.2.7 Por último debe tomarse en cuenta que el éxito de las medidas propuestas en esta investigación y de cualquier estrategia de gestión que se aborde, dependerá en gran medida del trabajo coordinado entre los actores de la cuenca, es decir usuarios del recurso, instituciones del Estado, investigadores y planificadores del recurso. Para ello, es importante promover la cultura de la conservación de los recursos naturales entre los habitantes de la microcuenca.

Para este propósito pueden aprovecharse los conceptos de agua virtual y huella hídrica, cuya reciente difusión entre comunidades rurales, por medio de talleres y actividades de integración, ha producido resultados satisfactorios en comunidades rurales de Colombia en el ámbito del manejo integral de recursos hídricos (Delgado, Trujillo y Torres, 2013). Adicionalmente, es conveniente fortalecer la participación de los comités ambientales conformados por usuarios de los sistemas de riego, los cuales con apoyo del INDER y del MINEA han comenzado a implementar programas de conservación ambiental en las cuencas rurales del estado Táchira, específicamente mediante proyectos de reforestación.

Así mismo, las universidades y otras instituciones del Estado, desde su rol extensionista, deben prestar apoyo en el tema de la sensibilización y capacitación de los productores y demás usuarios de la cuenca, en la gestión integral del agua. Al respecto, autores como Castillo, Rodríguez y López (2015), señalan que para impulsar el desarrollo rural sustentable en el país, las instituciones públicas, relacionadas de manera directa e indirecta con el sector agrícola y ambiental, deben promover la investigación, el desarrollo tecnológico, los servicios de extensión y asistencia técnica, en el marco de la producción agrícola sostenible y la participación social.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS

- Alcaldía de Jáuregui. (2003). *Inventario preliminar de sistemas de riego en la Aldea Quebrada San José*. La Grita: Departamento de Ingeniería Municipal. Datos no publicados.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO de Riego y Drenaje. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación, Roma.
- Álvarez, A., Morábito, J. y Schilardi, C. (2016). Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista FCA UNCUYO*, 48(1), 161-177.
- Azpuruá, P. y Gabaldón, A. (1976). *Recursos hidráulicos y desarrollo*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Quinta edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Banco Mundial. (1994). *La Ordenación de los Recursos Hídricos*. Documento de política del Banco Mundial. Washington, D.C., EE.UU.
- Barrios, A. (2004). *Introducción a la planificación y formulación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas*. Material didáctico. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Blöschl, G. (2016). The spatial dimensions of water management – Redistribution of benefits and risks. Predictions in ungauged basins – where do we stand? *Proc. IAHS*. 373, 57–60.
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela.
- Castillo, M., Rodríguez C. y López, R. (2015). Contexto institucional e impactos socioeconómicos y ecológicos de la agricultura orgánica en la caficultura tradicional, municipio Andrés Bello, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(2), 163-183.
- Castro, L. Carvajal, Y. y Monsalve, E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería y Universidad*. 10(2), 179-195.

- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999). *Gaceta Oficial Extraordinaria*, 5.453. Marzo, 24. 2000.
- Corporación de Salud Táchira. (2016). *Censo Sanitario 2016 – Aldea Quebrada San José*. Distrito Sanitario No. 5. La Grita, Táchira.
- Dastane, N. (1978). *Effective rainfall in irrigated agriculture* [Libro en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/x5560e/x5560e00.htm#Contents> [Consulta: 2017, Abril 24].
- De Hamer, W., Love, D., Booij, M y Hoekstra, A. (2007). *A rainfall-runoff model for two small ungauged catchment using the water balance of a reservoir for calibration*. Disponible: <http://www.researchgate.net> [Consulta: 2017, Abril 5].
- Delgadillo, A. y Moreno, A. (2012a). *Morfometría de cuencas: guía de estudio*. Disponible: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf> [Consulta: 2016, Octubre 26].
- Delgadillo, A. y Moreno, A. (2012b). *Datos hidrometeorológicos*. Material de enseñanza de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Delgado, F. (2004). *Agricultura sostenible y mejoramiento de suelos de ladera*. Segunda edición. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Delgado, S., Trujillo, J. y Torres, M. (2013). La huella hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio. *Luna Azul* [Revista en línea], 70-77. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321728584006> [Consulta: 2017, marzo 18].
- Díez, J. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y competitividad*. 7(2), 11-18.
- Dirección General de Cuencas Hidrográficas. (s.f.). *Informes de campo de la cuenca del río Grita para levantamiento de estudio de suelos*. San Cristóbal: Ministerio de Ecosocialismo y Aguas Táchira. Datos no publicados.

- Dirección General de Estadística y Observatorio Agrícola. (2016). *Informe de rendimiento de cultivos para el municipio Jáuregui durante el año 2016*. San Cristóbal: Ministerio de Agricultura y Tierras Táchira. Datos no publicados.
- Dourojeanni, A. (1993). *Evolución de la gestión integral de cuencas en América Latina y el Caribe*. Informe del seminario-taller interamericano sobre manejo integrado de cuencas hidrográficas del Programa Interamericano OEA-CIDIAT. Valparaíso, Chile.
- Duque, R. (2006). *Software AJUSTEV3*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Duque, R. y Barrios, A. (1988). *Modelo de simulación hidrológica a escala mensual. Desarrollo del modelo y programa de computación para la autorregulación de parámetros*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Duque, R. y Barrios, A. (1988). *Modelo SIHIM*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2008). *ArcGIS 9 – ArcMap Versión 9.3*. www.bdigital.ula.ve
- García, M. (1993). *El enfoque por problemas de los programas de conservación y manejo de cuencas hidrográficas. Caso: la experiencia venezolana*. Informe del seminario-taller interamericano sobre manejo integrado de cuencas hidrográficas del Programa Interamericano OEA-CIDIAT. Valparaíso, Chile.
- Goodwin, T., y Young, A. (2007). *Reducing uncertainty for the estimation of hydropower potential: The use of local data* [Documento en línea]. Artículo presentado en la British Hydropower Association Conference, Birnam, Australia. Disponible: <http://www.british-hydro.org>. [Consulta: 2017, Abril 15].
- Gras, E. (2010). *Cosecha de Agua y Tierra. Diseño con permacultura y Keyline*. México: COAS Ediciones.
- Grey, D. y Sadoff, C. (2007). “Sink or Swim? Water security for growth and development.” *Water Policy*. 9(6). 545-571.
- Global Water Partnership (GWP). (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. GWP-TEC Background Papers No. 4. Estocolmo, Suecia.

- Gumindoga, W., Makurira, H., Phiri, M. y Nhapi, I. (2016). Estimating runoff from ungauged catchments for reservoir water balance in the Lower Middle Zambezi Basin. *Water SA*. 42(4), 641-649.
- Hidalgo, C. (2007). *Técnicas agroedológicas para el semiárido*. Barquisimeto: Fondo Editorial de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London: Earthscan.
- Hoekstra, A. y Hung, P. (2002). *Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Research Report Series No.11. IHE Delft. The Netherlands.
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Sypal.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-I-NE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-II-NE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-II-SE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5840-III-NO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-I-NO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-I-SO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-IV-NE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5739-I-SE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-I-SE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-I-SO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.

- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-II-NO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-II-SO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-III-NE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-III-SE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5740-IV-SE [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5840-III-SO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). 5840-IV-SO [Mapa]. Caracas: Dirección de Cartografía Nacional.
- Instituto Nacional de Desarrollo Rural Táchira (INDER Táchira). (2016). *Registro de comités de riego conformados en el estado Táchira*. Base de datos del INDER. San Cristóbal, Táchira. Datos no publicados.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2014). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda – Año 2011*. Gerencia General de Estadísticas Demográficas. Gerencia de Censo de Población y Vivienda. Venezuela.
- Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM). (2013). *Evaluación de la calidad del agua en la salud de los habitantes de la cuenca del Río Grita. Informe final IC-2013-04-080*. Gerencia de Investigación Ambiental. División de Calidad de Agua, Maracaibo.
- Izquierdo, M. y Madroño, S. (2013). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 23 (2), 77-94.
- Jerez, M. (2014). *Uso de la cuenta de agua para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca media-baja del río Santo Domingo del estado Barinas*. Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.

- Laboratorio Bioambiental UNET. (s.f). *Resultados de análisis de suelos*. Coordinación de extensión agraria, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal.
- Ley de Aguas. (2007). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 38.595, Enero 2, 2007.
- Ley Orgánica del Ambiente. (2006). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5.833. Diciembre, 22. 2006.
- Ley Penal del Ambiente. (2012). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela* 39.913. Mayo 3, 2012.
- Linsley, R., Kohler, M. y Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2010). *Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica*. San Cristóbal: Dirección General de Cuencas Hidrográficas.
- Martínez, L., Garrido, A. y López, E. (2010). *Re-thinking water and food security*. Florida, USA: CRC Press.
- Mora, J. y Dubois, V. (2015). *Implementación del derecho humano al agua en América Latina*. CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. VII Foro Mundial del Agua. República de Corea.
- Mora, L. (2013). *Aproximaciones al caudal mínimo ambiental: caudal ecológico*. Material de enseñanza de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Morábito, J., Martínez, J., Salatino, S. y Mirábito, C. (2002). *Necesidades de riego en el área de influencia del río Mendoza*. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino y Fca – UNCuyo. Argentina.
- Molden, D. (1997). *Accounting for water use and productivity*. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute.
- Naranjo, M. (2002). *Valoración económica del agua en cuencas altas aplicando el Método Delphi. Estudio de caso: Cuenca alta del río Chama, estado Mérida, Venezuela*. Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Naranjo, M. y Duque, R. (2004). Estimación de la oferta de agua superficial y conflictos de uso en la cuenca alta del río Chama, Mérida, Venezuela. *Interciencia* [Revista en

línea], 130-137. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33909004> [Consulta: 2015, junio 11]

Normas Sanitarias para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones. (1988). *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 4044. Septiembre, 8. 1988.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2017). *Datos y cifras sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Disponible: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> [Consulta: 2017, Marzo 18].

Ospina, D. (1981). Modelos matemáticos elementales en proyecciones de población. *Revista Colombiana de Estadística* [Revista en línea], 3. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/15205/1/9803-17385-1-PB.pdf> [Consulta: 2017, Enero 18]

Pacheco, C., Osorio, R., Méndez, A., Flores, E. y López, Y. (2006). *Determinación del uso de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen ETM+ de LANDSAT. Cuenca alta del Río Grita 2006*. Estado Táchira, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 21(2) No. 40, 85-106.

Parra, J. (2010). *Elaboración de un modelo de susceptibilidad para la zonificación de movimientos en masa de la microcuenca Quebrada de San José a través de un Sistema de Información Geográfica SIG*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal.

Peña, C. (2006). *Indicadores de uso y valor económico del agua en la microcuenca Quebrada Timiache, subcuenca río Carache, cuenca río Motatán, estado Trujillo, Venezuela*. Trabajo de grado de maestría. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida.

Pochat, V. (2008). *Principios de gestión integrada de los recursos hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.gwp.org/> [Consulta: 2015, Marzo 16]

Rázuri, L., Rosales, J., Juárez, L., Hernández, J., Romero, E. (2008). Estimación de las demandas hídricas en la zona de Santa Rosa-Mérida, con fines de planificación del uso de los recursos hidráulicos. *Agricultura Andina*. 14(1), 7-21.

Rojas-Serna, C., Michel, C., Cperrin, C. y Andreassian, V. (2006). Ungauged catchments: how to make the most of a few streamflow measurements? *Large Sample Basin*

Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment–MOPEX. IAHS Publ. 307, 230-236.

- Sadoff, C. y Muller, M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales*. GWP-TEC Background Papers No. 14. Estocolmo, Suecia.
- Shah, T. (2016). *Aumentando la seguridad hídrica: la clave para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. GWP-TEC Background Papers No. 22. Estocolmo, Suecia.
- Sivapalan, M., Takeuchi, K., Franks, S., Gupta, V., Karambiri, H., Lakshmi, V., Liang, X., McDonnell, J., Mendiondo, E., O'Connell, P., Oki, T., Pomeroy, J., Schertzer, D., Uhlenbrook, S. Y Zehe, E. (2003). IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 48(6), 857-880.
- Smith, M. (1992). *CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management*. División de Desarrollo de Aguas y Tierras de la FAO. Roma, Italia.
- Sokolov, A., Chapman, T. y Heras, R. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de investigación y métodos*. Instituto de Hidrología de España y UNESCO.
- Swain, J., y Patra, K. (2015). Stream flow prediction in a typical ungauged catchment using GIUH approach. *Aquatic Procedia* 4. 993-1000.
- Swennenhuis, J. (2009). *Software CROPWAT 8.0*. Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO. Roma, Italia.
- Trezza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar?. *Bioagro* [Revista en línea], 20(2), 89-95. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85720202> [Consulta: 2016, Diciembre 28]
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). (2011). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Cuarta edición. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Van Beek, E. y Lincklaen, W. (2014). *Water Security: Putting the concept into practice*. GWP-TEC Background Papers No. 20. Stockholm, Sweden.
- Velazco, C. (2005). *Evaluación de la disponibilidad de aguas superficiales en cantidad y calidad en la Cuenca del Río Uribante Estados Táchira y Mérida, Venezuela*.

Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.

Villón, M. (2006). *Hidrología estadística*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

APÉNDICE A

Datos de precipitación de estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Grita

Tabla A1. Datos de precipitación de la estación Páramo El Zumbador (Serial 4004)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1952	34,0	4,0	8,2	220,6	88,7	152,8	148,3	94,2	91,5	71,0	104,8	68,8	1086,9
1953	22,3	11,1	97,5	50,9	114,0	105,7	130,5	156,9	77,2	189,2	69,4	26,1	1050,8
1954	51,4	26,5	3,3	133,2	119,4	147,5	*	262,5	95,6	241,0	221,4	121,2	1423,0
1955	14,0	54,7	84,3	94,2	79,1	183,6	136,9	100,0	168,7	219,1	147,7	59,7	1342,0
1956	126,4	50,8	73,6	35,0	116,2	140,1	160,7	118,4	147,9	209,4	103,5	174,9	1456,9
1957	3,2	37,9	11,8	68,6	240,6	106,5	112,6	141,8	100,5	71,5	149,2	27,2	1071,4
1958	1,3	10,5	23,2	98,0	75,4	65,1	161,3	138,9	67,8	73,9	96,7	6,6	818,7
1959	13,8	0,0	35,2	31,2	221,9	108,0	97,5	70,0	70,5	109,5	89,3	42,8	889,7
1960	10,7	17,7	23,7	71,2	73,4	76,3	52,0	117,5	73,1	52,5	24,2	167,0	759,3
1961	12,8	5,0	13,5	34,6	28,7	106,6	91,5	99,2	109,8	128,8	138,0	13,7	782,2
1962	6,0	7,6	57,8	46,4	166,1	145,6	111,8	117,4	83,2	123,3	88,4	27,2	980,8
1963	8,2	30,4	20,7	154,4	276,7	86,7	98,7	101,0	61,3	108,2	121,1	3,0	1070,4
1964	0,0	1,9	0,2	84,0	127,2	142,3	93,9	63,8	79,7	55,6	42,1	20,0	710,7
1965	22,9	39,2	5,5	99,9	139,3	73,6	146,1	180,1	77,7	78,9	145,8	28,1	1037,1
1966	0,2	11,4	50,3	43,8	81,2	172,5	112,0	147,0	86,7	171,0	191,6	159,2	1226,9
1967	21,5	24,4	37,7	129,0	115,9	114,3	176,5	132,2	116,7	86,2	76,6	21,3	1052,3
1968	21,8	23,1	2,3	253,5	122,2	161,8	172,1	84,3	60,7	46,4	70,4	24,2	1042,8
1969	98,3	55,3	4,4	203,9	44,7	79,0	58,0	92,9	42,3	208,7	139,0	81,3	1107,8
1970	14,4	45,2	30,3	24,2	113,4	89,1	83,9	72,0	83,2	196,2	98,3	27,6	877,8
1971	71,0	56,1	67,9	76,8	124,0	34,9	118,1	128,9	132,0	41,7	128,4	45,2	1025,0
1972	111,7	22,2	39,8	272,4	58,5	78,0	97,0	67,5	59,3	89,1	136,1	25,6	1057,2
1973	5,1	4,3	23,5	104,4	55,4	90,2	115,0	89,1	164,4	78,9	129,2	78,4	937,9
1974	28,6	50,9	130,2	51,6	45,9	41,9	74,2	88,8	110,9	177,7	98,1	10,4	909,2
1975	7,6	19,1	14,8	101,3	73,8	80,9	83,8	79,5	113,7	161,6	122,5	229,5	1088,1
1976	24,9	114,7	133,3	122,3	63,5	79,7	113,7	101,0	50,8	140,3	128,4	5,7	1078,3
1977	0,1	0,0	26,9	94,7	67,1	113,7	79,7	73,1	88,9	70,9	108,5	10,2	733,8
1978	0,0	35,9	45,5	166,4	52,7	73,0	97,0	98,4	87,6	88,1	40,2	71,6	856,4

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados

² Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora

Fuente: MARN (2010)

Tabla A2. Datos de precipitación de la estación Páramo El Zumbador (Serial 4072)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	27,2	28,4	8,7	246,6	122,3	159,8	169,5	86,4	64,0	50,5	73,2	29,4	1065,9
1969	99,6	58,9	10,7	199,6	48,9	81,3	61,5	94,5	46,6	204,2	138,2	83,5	1127,5
1970	20,2	49,3	35,2	29,4	113,9	90,9	86,0	74,7	85,3	192,3	99,6	32,7	909,7
1971	73,8	59,7	70,8	79,3	124,0	39,6	118,4	128,6	131,5	46,0	128,1	49,3	1049,1
1972	112,3	27,6	44,2	264,5	61,9	80,4	98,4	70,5	62,7	90,9	135,4	30,8	1079,6
1973	11,4	10,6	28,8	105,4	59,0	92,0	115,4	90,9	162,2	81,3	128,9	80,8	966,6
1974	33,6	54,7	129,8	55,4	50,0	46,2	76,8	90,6	111,6	174,8	99,4	16,4	939,4
1975	13,7	24,6	20,5	102,5	76,4	83,1	85,9	81,8	114,2	159,6	122,5	223,9	1108,8
1976	30,1	115,2	132,8	122,4	66,7	82,0	114,2	102,2	54,6	139,4	128,1	11,9	1099,6
1977	6,6	6,5	32,0	96,2	70,1	114,2	82,0	75,8	90,7	73,7	109,3	16,2	773,3
1978	2,6	38,2	53,4	161,0	52,6	75,6	76,0	90,0	121,8	101,4	42,0	74,8	889,4
1979	24,2	7,0	84,2	85,8	101,4	184,2	70,4	73,2	83,2	126,2	197,9	71,2	1108,9
1980	8,8	28,9	1,0	80,0	79,2	94,8	90,8	165,6	163,4	98,0	65,2	21,2	896,9
1981	6,4	42,6	23,0	286,6	264,4	87,6	84,8	94,2	110,0	71,4	149,2	58,2	1278,4
1982	34,0	21,8	26,1	252,5	135,8	78,4	157,8	83,8	157,0	81,8	96,8	19,6	1145,4
1983	15,8	31,0	32,4	198,4	118,2	65,2	150,2	96,6	85,0	137,0	23,2	55,2	1008,2
1984	20,0	23,4	15,6	60,0	98,0	78,8	83,0	126,2	146,0	54,4	139,0	37,4	881,8
1985	19,0	2,4	68,0	166,0	151,0	98,0	77,8	131,8	134,8	224,6	235,2	158,6	1467,2
1986	11,2	100,4	36,6	58,6	138,8	132,0	129,4	87,6	81,8	189,2	114,6	27,8	1108,0
1987	44,4	20,2	56,0	27,6	146,4	82,2	110,6	77,8	75,8	189,6	68,4	51,4	950,4
1988	12,2	36,6	26,0	55,2	30,1	158,0	126,2	123,2	196,8	194,2	269,6	97,8	1325,9
1989	8,6	14,8	111,8	27,0	98,4	67,2	165,6	84,6	104,8	137,2	99,2	42,0	961,2
1990	18,2	60,2	68,0	128,2	76,0	36,8	97,4	98,0	94,2	160,0	31,2	117,8	986,0
1991	16,0	16,2	93,2	112,2	36,0	92,8	95,0	143,4	72,8	90,6	100,4	38,4	907,0
1992	3,2	6,8	1,8	38,8	40,0	91,6	171,8	57,0	100,8	43,2	73,2	34,6	662,8
1993	25,8	22,6	14,2	59,8	101,2	121,5	101,2	58,4	49,6	25,6	115,1	4,8	699,8
1994	48,4	28,2	83,0	180,6	64,6	76,2	134,8	98,0	134,2	276,0	89,4	13,4	1226,8
1995	3,6	16,4	82,0	152,6	52,4	43,2	84,4	222,4	30,8	85,8	50,4	86,8	910,8
1996	52,2	35,2	22,4	60,0	96,8	69,0	146,4	65,2	100,8	165,8	114,2	78,6	1006,6
1997	86,2	19,6	42,0	27,4	40,6	103,6	113,8	93,0	45,0	101,4	60,2	20,4	753,2
1998	2,0	104,4	35,4	70,8	88,8	-	-	-	47,1	178,4	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	124,2	104,6	60,4	85,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	81,8	150,4	108,0	126,2	86,2	122,2	132,0	22,2	14,6	-
2003	13,4	3,0	42,0	141,0	58,8	108,4	110,6	76,2	93,8	194,0	110,0	89,0	1040,2
2004	28,6	7,4	27,4	186,9	170,2	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	126,2	132,6	29,8	127,8	269,6	130,4	85,4	62,2	-	-	-	-	-

¹ Valores en color rojo fueron obtenidos mediante correlación lineal con la estación Páramo El Zumbador (Serial 4004).

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A3. Datos de precipitación de la estación Colón-Escuela Federal (Serial 3091)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1949	112,4	81,9	45,5	71,9	-	-	-	-	96,0	266,0	382,0	170,5	-
1950	251,0	291,9	90,0	76,5	368,7	145,0	-	-	35,0	-	-	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	-	-	-	-	-	-	-	38,0	125,3	101,9	178,6	143,4	-
1953	93,8	91,9	34,8	65,6	60,6	86,2	18,3	109,5	125,1	285,7	146,9	103,9	1222,3
1954	128,5	48,7	20,2	95,0	102,8	106,8	66,8	151,0	39,3	*	590,5	341,6	1691,2
1955	83,2	18,7	323,4	63,7	114,5	170,1	96,4	77,7	171,5	167,0	233,6	120,0	1639,8
1956	222,9	144,1	133,7	47,4	157,6	148,2	65,8	27,4	99,5	221,4	71,6	0,0	1339,6
1957	2,3	0,0	0,0	-	-	76,2	23,1	64,0	113,5	55,7	76,7	60,9	-
1958	31,7	1,9	0,0	37,7	83,6	111,2	43,4	154,5	65,5	50,4	186,4	103,1	869,4
1959	272,0	0,0	0,0	-	-	26,4	29,2	102,8	157,0	173,0	227,4	95,3	-
1960	82,1	89,1	36,7	67,8	190,9	27,5	133,3	388,0	201,3	166,3	121,1	356,8	1860,9
1961	27,4	10,4	101,7	112,0	31,2	106,5	78,5	40,6	142,1	200,4	460,5	108,0	1419,3
1962	11,2	72,4	168,1	130,2	154,6	224,1	75,4	55,1	138,5	128,1	290,1	41,2	1489,0
1963	21,6	117,6	14,5	419,4	262,2	33,9	90,5	46,0	54,6	76,6	159,8	6,9	1303,6
1964	0,4	32,7	16,5	154,3	159,5	136,8	128,8	121,0	48,5	263,9	174,6	369,9	1606,9
1965	127,9	125,0	12,8	104,8	115,0	46,3	17,3	163,6	46,5	204,9	181,9	103,4	1249,4
1966	12,2	191,3	53,6	55,5	108,2	107,5	58,6	96,5	122,2	394,3	322,3	514,5	2036,7
1967	73,0	94,0	112,6	327,6	84,0	101,1	94,1	53,4	154,3	123,5	145,6	73,4	1436,6
1968	92,5	97,0	11,3	289,6	157,6	357,8	162,0	77,9	171,5	186,8	202,9	77,5	1884,4
1969	140,5	115,3	21,8	235,9	52,6	22,3	17,2	63,8	80,6	292,6	343,7	229,2	1615,5
1970	75,3	147,2	151,5	133,0	115,7	71,4	137,4	106,2	97,0	282,7	420,8	135,2	1873,4
1971	133,4	229,2	123,4	102,4	229,9	43,4	66,1	166,6	150,0	206,6	190,3	141,0	1782,3
1972	186,3	86,1	178,7	303,3	97,5	39,3	24,0	40,4	43,1	167,5	134,0	108,4	1408,6
1973	23,7	76,8	10,3	79,6	71,1	74,5	137,6	117,5	160,4	119,1	392,0	178,5	1441,1
1974	227,1	85,5	231,3	121,4	130,0	47,0	32,9	43,3	233,3	153,6	159,2	115,0	1579,5
1975	69,4	6,9	19,3	142,6	148,4	47,3	143,5	70,3	217,1	265,9	286,7	499,7	1917,1
1976	161,2	219,3	176,3	236,7	107,8	28,4	8,4	79,6	76,3	485,4	95,6	114,6	1789,6
1977	82,0	9,9	84,3	80,0	41,9	48,1	47,1	37,7	63,5	271,1	173,4	61,1	1000,1
1978	34,8	61,6	103,5	494,9	151,2	28,7	151,6	62,8	141,6	184,5	106,8	144,7	1666,7
1979	62,8	37,4	123,7	180,1	153,4	137,3	140,0	86,3	152,6	205,0	137,7	197,3	1613,6
1980	35,0	104,0	48,0	72,6	38,0	54,4	9,8	90,3	158,6	95,4	131,8	42,2	880,1
1981	67,0	49,0	60,6	326,2	213,4	62,0	96,2	49,1	57,4	71,6	105,5	92,8	1250,8
1982	60,3	247,1	84,4	365,0	132,8	17,9	42,0	6,2	114,6	202,8	184,3	61,1	1518,5
1983	63,3	6,8	46,3	228,1	116,5	112,7	63,3	23,5	62,1	220,4	165,1	106,0	1214,1
1984	77,8	16,2	97,7	173,7	151,0	73,2	70,9	172,9	90,4	151,8	174,6	126,2	1376,4
1985	25,4	6,5	65,6	111,4	137,7	32,7	69,6	154,1	143,1	305,9	328,9	250,2	1631,1
1986	36,8	199,1	137,7	142,9	140,3	123,3	42,1	56,3	168,7	283,0	135,4	91,9	1557,5
1987	91,4	1,0	97,7	16,9	130,0	33,9	46,5	75,0	121,4	173,6	186,6	31,9	1005,9

Tabla A3. Datos de precipitación de la estación Colón-Escuela Federal (Serial 3091).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1988	18,8	59,1	18,9	129,4	105,8	244,1	112,3	191,5	166,2	270,8	396,6	229,4	1942,9
1989	99,0	87,9	280,8	26,4	148,3	72,3	69,7	87,7	192,3	171,8	178,6	121,5	1536,3
1990	75,9	153,6	57,9	114,7	83,3	4,5	56,1	66,9	34,5	225,0	97,1	70,2	1039,7
1991	14,6	44,8	92,5	73,2	111,1	44,6	109,3	28,2	213,7	78,8	122,9	55,1	988,8
1992	24,8	32,5	35,4	106,7	52,9	43,0	84,2	27,6	127,3	81,5	136,0	205,6	957,5
1993	84,0	116,0	22,8	55,1	121,1	25,7	61,4	11,7	89,6	65,6	193,4	23,8	870,2
1994	74,2	29,7	39,3	66,8	41,6	26,8	47,4	102,0	179,3	348,5	102,7	74,1	1132,4
1995	45,9	64,9	298,7	143,3	125,2	41,5	127,7	195,0	91,0	129,3	182,0	137,0	1581,5
1996	173,9	84,0	62,1	95,5	145,9	118,7	86,4	94,3	38,9	194,3	196,3	289,0	1579,3
1997	214,4	70,3	210,3	137,9	47,3	84,7	13,8	47,9	119,5	181,9	85,3	19,0	1232,3
1998	20,0	58,7	19,0	89,4	168,1	-	-	-	70,6	282,0	184,9	115,8	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	282,8	120,5	*	*	164,3	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	211,1	288,8	90,8	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A4. Datos de precipitación de la estación El Cobre (Serial 3094)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1944	-	-	-	-	274,0	127,0	20,0	-	-	128,0	150,0	60,0	-
1945	0,0	0,0	0,0	272,0	156,0	122,0	41,0	98,0	37,0	44,0	29,0	-	-
1946	2,0	31,0	35,0	178,0	65,0	24,0	35,0	56,0	12,0	78,0	108,0	37,0	661,0
1947	17,0	33,0	0,0	38,0	77,0	55,0	85,0	100,0	75,0	206,0	18,0	27,0	731,0
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	-	-	-	-	-	84,0	70,0	24,0	101,0	21,0	37,0	14,0	-
1953	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	60,0	32,5	2,3	150,4	91,4	128,5	35,5	97,0	59,3	316,8	196,6	118,0	1288,3
1955	27,2	77,7	129,7	111,6	122,0	111,2	114,3	101,9	130,3	-	-	145,0	-

Tabla A4. Datos de precipitación de la estación El Cobre (Serial 3094). Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1956	176,9	41,4	69,2	42,9	290,8	207,9	204,2	43,7	121,3	267,0	*	466,4	1931,7
1957	55,0	*	47,4	114,9	242,5	94,7	40,2	28,7	50,4	93,7	-	51,6	-
1958	11,6	0,0	0,0	88,8	53,5	68,7	48,0	46,2	42,6	63,4	100,1	13,0	535,9
1959	7,7	0,0	39,5	90,4	168,5	91,1	66,7	21,7	26,5	146,1	127,9	0,0	786,1
1960	18,2	32,7	28,5	42,1	33,9	36,3	96,1	31,4	31,2	72,7	33,8	128,7	585,6
1961	0,0	0,0	10,6	41,1	1,2	21,9	43,1	2,7	52,3	63,6	95,7	0,0	332,2
1962	37,8	0,0	78,1	53,0	109,1	64,0	44,3	5,3	37,1	7,0	113,0	0,0	548,7
1963	21,9	11,0	*	151,3	65,6	1,1	3,7	3,2	50,0	5,6	43,6	0,0	357,0
1964	0,0	0,0	0,0	77,7	104,1	119,2	78,1	22,8	*	120,1	45,6	19,7	587,3
1965	21,4	38,6	0,0	65,4	126,4	42,0	21,9	52,0	35,7	63,0	88,5	10,0	564,9
1966	0,0	0,0	3,5	52,3	131,3	136,5	39,2	84,0	48,3	106,6	208,3	163,7	973,7
1967	43,4	1,6	93,3	92,9	81,2	59,6	82,3	51,6	59,3	76,7	83,8	7,2	732,9
1968	34,0	70,8	0,0	203,2	85,4	177,7	92,5	42,0	85,9	85,2	90,3	21,2	988,2
1969	55,7	60,6	6,2	148,3	43,1	43,0	24,0	44,1	85,3	211,9	198,9	91,6	1012,7
1970	6,5	48,7	34,3	49,3	126,3	95,4	42,1	46,4	99,0	107,9	107,5	38,5	801,9
1971	81,6	47,3	72,2	66,3	172,1	36,4	78,3	122,2	118,1	107,9	158,6	86,1	1147,1
1972	76,6	47,3	63,4	410,0	117,8	31,6	51,8	37,3	13,4	70,0	89,5	45,7	1054,4
1973	11,7	2,3	16,4	93,2	10,1	54,1	98,5	43,1	163,5	75,8	101,0	58,0	727,7
1974	24,8	37,7	116,4	72,2	39,2	27,0	10,6	60,1	133,4	100,1	164,1	0,0	785,6
1975	2,9	0,5	0,0	130,6	47,3	6,4	101,8	46,4	109,6	123,7	104,5	222,5	896,2
1976	30,5	130,0	128,2	108,7	41,8	54,2	66,3	61,7	46,4	292,9	101,4	15,9	1078,0
1977	0,0	0,0	38,2	48,6	58,0	50,4	29,2	33,9	70,1	120,9	98,5	0,0	547,8
1978	0,0	16,0	38,6	220,0	83,7	59,6	34,0	25,9	84,0	155,0	52,7	74,3	843,8
1979	7,0	7,8	30,0	105,9	188,1	89,3	43,3	58,6	85,9	190,0	104,9	125,1	1035,9
1980	32,3	35,0	0,0	133,2	96,4	69,0	22,4	84,8	72,8	48,2	54,6	70,5	719,2
1981	0,0	27,3	17,9	257,2	271,8	55,8	54,1	56,4	112,2	75,0	128,6	72,3	1128,6
1982	32,8	47,5	50,3	312,0	111,7	8,3	41,3	15,5	137,8	69,0	60,4	3,2	889,8
1983	30,5	3,0	0,0	154,2	164,2	45,6	54,4	33,7	24,2	94,9	4,0	56,8	665,5
1984	1,9	0,0	0,0	0,0	95,3	35,0	62,0	179,1	116,3	110,4	97,7	95,8	793,5
1985	0,0	26,7	20,2	11,4	166,0	84,7	66,8	73,8	91,4	108,8	247,3	55,7	952,8
1986	4,7	16,6	0,0	76,1	99,1	83,4	64,2	53,5	78,2	158,6	76,5	10,2	721,1
1987	4,7	3,0	22,5	96,2	138,1	22,9	61,2	46,1	58,7	155,2	65,6	18,0	692,2
1988	7,6	25,2	15,2	72,3	38,5	115,9	75,1	154,1	140,2	164,1	222,1	101,5	1131,8
1989	23,0	31,4	106,6	18,3	74,9	27,6	77,6	56,2	102,3	112,0	83,3	32,6	745,8
1990	30,8	91,0	58,2	150,9	44,2	32,6	60,7	75,1	42,6	215,8	38,3	112,5	952,7
1991	10,1	20,7	126,5	57,5	15,7	17,3	46,5	71,1	76,9	82,1	101,8	24,5	650,6
1992	0,0	19,9	0,0	28,5	16,6	17,9	99,5	5,8	66,2	14,6	84,9	29,4	383,3
1993	36,6	21,6	26,6	79,9	97,5	61,8	53,7	36,8	56,4	33,2	112,4	8,5	624,9
1994	24,9	34,7	68,5	126,9	38,5	28,1	51,5	51,6	85,8	214,8	83,2	16,6	825,1

Tabla A4. Datos de precipitación de la estación El Cobre (Serial 3094). Continuación.

1995	9,2	25,2	96,7	80,8	56,8	25,6	56,1	143,1	35,0	86,2	57,2	67,1	738,9
1996	42,3	31,0	26,2	34,5	63,8	63,5	94,4	47,5	46,2	150,0	102,2	77,1	778,7
1997	64,5	27,7	66,9	42,3	43,4	70,2	49,0	45,9	54,4	88,2	63,3	18,3	634,2

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

Fuente: MARN (2010)

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Tabla A5. Datos de precipitación de la estación Estación Táchira (Serial 3081)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1951	68,0	290,0	-	-	-	-	140,0	151,0	138,0	178,0	-	-	-
1952	-	30,0	194,0	259,0	236,0	166,0	205,0	266,0	177,0	177,0	216,0	268,0	-
1953	160,0	-	179,0	68,0	139,0	235,0	249,0	169,0	113,0	159,0	217,0	123,0	-
1954	123,0	233,0	116,0	164,0	221,0	206,0	380,0	333,0	210,0	278,0	526,0	433,0	3223,0
1955	194,0	392,0	401,0	221,0	-	247,0	321,0	271,0	137,0	122,0	-	-	-
1956	-	241,0	*	411,0	353,0	*	666,0	*	542,0	*	*	*	-
1957	1189,0	123,0	72,0	153,0	*	*	943,0	266,0	218,0	207,0	269,0	116,0	-
1958	185,0	187,0	42,0	56,0	244,0	332,0	287,0	259,0	89,0	125,0	320,0	174,0	2300,0
1959	135,0	7,0	50,0	134,0	139,0	344,0	92,0	329,0	146,0	178,0	*	351,0	1905,0
1960	12,3	79,5	125,1	148,2	237,9	291,5	267,3	228,0	-	390,0	143,1	540,4	-
1961	40,7	17,4	150,3	231,7	16,2	96,4	279,2	189,2	272,2	248,2	258,0	226,0	2025,5
1962	126,5	81,7	183,2	146,7	272,2	216,1	203,3	215,6	291,2	221,7	288,4	139,0	2385,6
1963	224,7	244,4	28,5	591,1	471,3	308,5	248,6	182,7	187,8	140,4	214,6	50,4	2893,0
1964	21,8	263,5	145,5	418,8	196,5	187,9	280,4	316,2	172,2	171,1	152,5	557,1	2883,5
1965	345,5	83,3	3,5	243,1	314,5	215,1	178,0	328,9	402,1	395,5	401,0	*	-
1966	211,7	178,0	239,5	117,3	264,0	217,5	250,3	*	496,7	631,1	606,3	670,8	-
1967	56,1	185,0	*	729,2	389,0	343,3	204,8	171,5	288,5	266,6	387,4	216,7	3238,1
1968	191,4	123,6	79,5	400,8	254,8	315,4	216,4	147,2	114,1	187,5	199,7	121,4	2351,8
1969	176,5	195,3	92,9	343,3	134,4	254,6	227,8	239,4	161,9	380,1	364,4	201,1	2771,7
1970	102,3	443,0	197,5	129,8	255,4	130,9	177,3	424,9	275,3	467,1	463,3	340,8	3407,7
1971	468,8	297,9	261,5	192,8	454,8	107,4	138,7	240,8	266,9	387,0	172,1	195,2	3183,9
1972	365,4	187,5	286,3	662,7	341,7	163,5	217,6	202,1	96,3	279,0	267,6	96,6	3166,3
1973	1,2	128,3	13,7	277,7	291,7	232,7	251,3	323,0	190,1	345,5	553,7	306,1	2915,0
1974	275,2	359,6	391,8	197,8	254,1	159,1	358,7	337,2	314,3	316,2	363,8	100,3	3428,1
1975	89,2	15,8	95,4	110,4	289,8	277,0	289,1	198,6	335,1	419,6	500,4	630,7	3251,1
1976	195,7	384,3	234,2	250,0	203,4	158,4	215,2	294,1	296,0	457,3	208,4	152,5	3049,5
1977	119,9	81,8	206,3	238,0	84,0	274,2	224,8	196,3	172,0	428,6	186,3	55,9	2268,1
1978	57,0	100,1	300,5	512,6	170,7	306,8	327,8	181,4	234,6	377,4	120,3	78,4	2767,6
1979	231,6	169,0	318,5	219,9	302,3	404,4	308,3	253,6	246,4	218,4	351,5	219,1	3243,0
1980	73,5	152,1	48,7	157,1	149,9	251,6	219,8	234,8	319,9	317,8	117,7	81,6	2124,5
1981	232,4	145,3	192,3	562,3	330,9	234,4	112,6	144,3	192,9	280,6	467,8	171,4	3067,2

Tabla A5. Datos de precipitación de la estación Estación Táchira (Serial 3081). Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1982	300,7	380,9	129,9	621,9	298,4	146,4	144,4	133,2	283,5	240,0	215,8	126,1	3021,2
1983	62,1	19,6	291,6	299,4	88,8	162,3	105,4	170,1	188,2	324,5	178,7	124,7	2015,4
1984	222,8	78,6	175,4	175,1	180,3	139,1	213,0	324,3	176,1	225,2	223,4	164,4	2297,7
1985	131,6	36,6	341,8	224,5	240,2	101,4	182,8	309,2	291,2	372,4	369,4	271,7	2872,8
1986	76,8	132,2	292,4	263,7	271,6	249,2	193,3	166,1	250,1	633,7	292,4	109,6	2931,1
1987	129,9	25,1	382,0	108,1	301,9	179,2	275,7	207,4	186,0	334,5	375,5	22,2	2527,5
1988	100,0	62,2	130,4	74,1	135,6	252,9	282,1	472,1	553,5	627,0	314,7	292,0	3296,6
1989	101,7	109,1	402,3	67,5	277,0	494,9	263,3	238,3	239,0	182,9	357,7	273,3	3007,0
1990	93,8	316,4	151,2	110,1	271,5	111,1	222,3	150,4	173,7	315,8	160,5	175,1	2251,9
1991	9,2	119,7	163,0	212,2	186,3	200,0	148,7	138,2	216,5	123,7	179,4	180,8	1877,7
1992	63,5	108,4	52,3	94,7	221,0	102,4	284,6	235,2	346,1	70,9	197,1	111,8	1888,0
1993	148,8	195,1	41,2	85,4	154,4	221,2	171,2	141,0	250,0	90,1	350,1	36,5	1885,0
1994	175,2	63,9	151,9	148,3	152,7	157,0	246,4	502,4	284,1	408,8	175,2	128,9	2594,8
1995	85,3	79,4	277,7	382,0	275,1	219,9	230,7	431,1	105,2	311,8	259,7	228,8	2886,7
1996	159,1	98,8	128,9	93,8	219,3	249,2	515,8	201,0	189,2	263,5	147,1	108,2	2373,9
1997	72,7	78,8	43,2	84,3	96,9	92,0	49,9	42,8	249,0	328,3	219,1	1,8	1358,9
1998	40,9	117,0	158,0	278,8	287,8	-	-	-	228,8	340,3	349,7	524,0	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	600,1	353,8	295,4	167,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	401,4	529,3	221,7	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A6. Datos de precipitación de la estación Páramo El Batallón (Serial 8066)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	31,1	23,9	8,5	229,3	120,3	261,3	141,6	132,4	121,6	56,6	56,2	16,2	1199,0
1969	40,6	52,8	15,2	182,3	110,3	103,6	115,9	93,8	73,0	278,2	164,5	57,0	1287,2
1970	51,1	84,9	27,4	60,7	157,2	167,5	107,0	141,7	114,2	122,8	85,5	33,6	1153,6
1971	41,0	83,0	105,4	65,4	108,1	101,6	159,4	185,8	174,2	84,5	106,5	83,4	1298,3
1972	114,5	35,9	87,6	223,0	215,1	111,3	153,6	113,6	83,6	85,3	83,9	38,8	1346,2

Tabla A6. Datos de precipitación de la estación Páramo El Batallón (Serial 8066).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1973	9,5	5,8	44,5	85,4	92,7	87,2	142,2	150,4	165,8	61,7	152,6	61,0	1058,8
1974	46,5	50,6	123,5	62,0	83,5	79,9	121,8	115,4	111,3	137,1	48,4	29,6	1009,6
1975	9,5	48,7	45,0	111,8	110,7	111,0	105,0	144,6	128,6	166,7	87,2	200,5	1269,3
1976	39,6	89,9	218,2	83,6	90,8	54,9	146,6	137,1	88,3	208,6	90,4	7,4	1255,4
1977	0,9	5,4	74,7	90,8	84,1	138,8	96,4	90,1	155,6	132,3	80,5	4,4	954,0
1978	2,8	18,4	65,8	217,3	119,3	147,8	91,8	119,2	125,2	80,9	65,5	66,7	1120,7
1979	35,1	10,2	61,7	83,1	117,2	179,3	84,6	107,9	91,7	164,1	138,6	128,5	1202,0
1980	14,1	49,7	13,7	128,2	114,8	76,3	81,9	163,6	151,0	57,5	77,0	4,5	932,3
1981	4,2	34,2	21,4	303,3	170,9	144,9	52,1	40,7	65,3	96,6	93,6	51,4	1078,6
1982	49,8	65,0	23,4	274,7	164,1	108,0	153,1	86,9	97,1	55,5	82,0	29,9	1189,5
1983	17,9	24,0	24,7	227,8	128,2	52,8	103,1	68,4	108,3	91,9	0,0	0,2	847,3
1984	14,1	18,4	30,9	59,3	49,4	83,0	92,8	86,8	126,4	72,5	111,2	23,9	768,8
1985	6,5	3,6	74,5	142,9	155,9	90,3	40,4	92,5	85,0	204,8	155,8	118,4	1170,6
1986	21,9	83,5	41,5	66,8	127,9	147,5	133,8	80,0	88,8	179,1	93,4	22,7	1086,9
1987	25,5	2,1	23,9	39,6	154,8	45,6	95,7	71,8	65,9	160,8	42,9	5,7	734,3
1988	4,0	58,7	23,3	56,2	54,2	132,3	148,0	123,4	113,3	133,2	83,7	37,0	967,3
1989	10,7	16,5	168,9	18,4	108,6	86,6	149,7	71,5	78,4	110,4	84,0	59,5	963,2
1990	20,8	27,1	61,2	122,0	195,6	96,3	107,7	100,5	70,8	73,2	64,1	105,2	1044,5
1991	8,7	8,9	124,4	79,9	77,1	65,2	170,2	158,4	74,2	87,3	115,2	35,9	1005,4
1992	15,3	7,3	5,0	66,8	44,0	83,0	241,5	119,2	64,8	47,6	134,9	38,3	867,7
1993	74,3	11,0	32,8	108,8	113,4	136,6	107,0	100,0	103,3	42,3	167,0	5,9	1002,4
1994	16,5	49,5	75,9	145,5	40,5	16,0	24,9	11,1	61,2	232,3	72,2	16,1	761,7
1995	19,7	35,5	106,8	99,8	70,2	41,5	56,1	159,6	39,1	60,9	70,9	58,0	818,1
1996	27,9	22,8	28,4	27,1	65,0	107,6	213,0	74,1	68,0	215,3	100,1	51,9	1001,2
1997	58,0	30,1	64,8	35,2	98,7	70,3	116,9	87,4	54,9	101,6	50,8	16,4	785,1
1998	4,7	27,0	35,8	78,4	-	-	-	-	103,1	140,8	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	68,4	128,8	*	*	149,4	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A7. Datos de precipitación de la estación Mesa de Seboruco (Serial 3082)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1942	0,0	32,3	150,8	394,9	267,9	99,5	104,6	104,8	218,3	353,7	513,5	151,3	2391,6
1943	214,8	264,3	197,8	322,0	177,7	258,5	86,2	71,6	106,8	531,2	376,5	285,6	2893,0
1946	128,5	161,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	114,0	97,5	195,3	215,5	252,0	265,8	-	-	-	-	-	-	-
1952	-	-	-	321,7	204,0	212,8	261,6	212,1	137,2	132,5	142,2	226,8	-
1953	152,8	150,0	133,6	-	271,2	163,4	*	403,4	178,0	152,6	165,2	258,0	-
1954	*	325,6	115,2	303,0	236,4	200,8	121,0	106,2	126,4	*	814,9	656,0	3005,5
1955	85,8	322,4	412,4	333,1	168,6	181,5	189,9	126,7	226,3	265,6	353,2	318,7	2984,2
1956	450,8	275,3	*	*	736,3	90,0	*	186,5	*	*	*	*	-
1957	1126,3	73,6	172,7	154,1	209,6	57,9	75,9	103,1	199,1	195,2	167,9	215,5	-
1958	134,8	150,9	103,3	114,9	203,4	237,5	109,3	76,3	66,3	192,5	196,9	71,7	1657,8
1959	*	121,8	52,7	59,5	353,3	156,4	72,1	176,3	366,1	*	*	*	-
1960	1040,3	126,6	96,1	426,6	288,1	160,8	112,5	336,4	*	216,2	166,6	411,2	-
1961	36,2	25,2	175,8	153,8	73,1	55,9	104,2	93,8	279,7	264,4	352,7	*	-
1962	320,3	39,0	177,2	329,6	435,2	108,0	90,6	232,7	193,9	213,0	337,4	229,5	-
1963	135,8	201,7	60,7	675,2	389,3	122,2	82,0	134,6	153,0	268,4	204,1	21,2	2448,2
1964	37,6	263,9	49,0	348,8	123,1	269,1	144,5	150,6	128,7	262,9	205,9	437,5	2421,6
1965	324,7	101,6	5,1	394,1	276,1	47,0	55,1	188,5	265,0	365,8	348,7	86,3	2458,0
1966	7,4	176,5	234,2	162,0	469,3	224,2	83,7	298,6	226,9	513,3	639,9	434,6	3470,6
1967	56,9	219,1	286,4	*	911,2	126,1	55,1	182,9	119,0	374,4	399,5	229,7	2960,3
1968	198,8	103,1	72,6	242,3	253,9	307,2	120,2	49,5	123,2	195,5	202,2	134,9	2003,4
1969	146,2	283,2	174,7	316,7	177,5	279,6	98,0	137,9	177,2	354,5	414,4	207,5	2767,4
1970	89,8	312,0	136,3	99,4	245,8	78,3	259,6	117,5	157,7	257,7	351,2	269,1	2374,4
1971	384,8	250,4	196,7	232,5	301,1	91,0	126,2	162,5	191,3	288,0	225,7	260,5	2710,7
1972	269,9	197,3	363,7	560,8	365,7	91,9	54,7	128,9	201,3	280,0	198,6	156,4	2869,2
1973	23,0	149,3	60,2	266,5	66,8	211,7	77,4	186,5	233,5	268,3	450,5	299,3	2293,0
1974	372,3	283,8	298,2	324,8	402,7	139,5	146,2	150,8	149,6	400,9	390,8	28,7	3088,3
1975	95,6	100,0	133,2	278,7	224,2	142,9	175,7	118,2	214,1	215,1	536,4	677,9	2912,0
1976	195,0	420,0	307,4	286,2	214,3	69,8	105,0	48,1	246,2	368,9	239,3	98,4	2598,6
1977	84,0	31,1	209,9	213,7	161,0	204,8	63,4	62,7	264,1	323,7	90,2	78,7	1787,3
1978	49,3	140,8	248,1	561,7	130,9	93,0	123,0	194,8	226,9	423,5	96,7	197,9	2486,6
1979	122,9	129,2	356,2	247,3	372,5	153,3	226,5	248,3	365,6	304,9	393,2	241,1	3161,0
1980	103,9	158,5	64,5	230,2	170,9	128,3	214,5	169,0	181,1	259,1	101,5	84,5	1866,0
1981	118,7	126,8	195,1	691,9	400,9	301,8	93,4	0,7	122,9	220,1	214,6	143,2	2630,1
1982	225,2	374,3	195,4	645,2	293,9	151,2	60,5	154,0	154,2	221,3	154,1	165,3	2794,6
1983	100,0	4,4	53,6	467,8	280,6	74,3	133,1	74,0	91,9	318,9	119,0	191,8	1909,4
1984	123,8	80,2	52,0	196,0	81,1	45,1	132,5	86,2	181,9	384,3	363,5	144,6	1871,2
1985	102,5	52,3	292,4	305,7	80,5	66,4	108,6	139,9	215,0	322,5	314,4	223,1	2223,3
1986	158,1	160,2	171,1	310,1	310,2	188,3	31,6	106,8	286,8	398,9	388,8	112,3	2623,2

Tabla A7. Datos de precipitación de la estación Mesa de Seboruco (Serial 3082).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1987	94,1	20,1	193,3	262,0	289,4	173,0	169,0	167,7	193,1	314,5	317,6	33,1	2226,9
1988	90,7	88,2	94,2	89,3	120,3	108,0	123,3	310,9	491,3	319,6	411,5	349,5	2596,8
1989	210,0	44,6	184,1	333,6	268,4	104,6	141,4	232,3	327,3	187,2	182,5	142,3	2358,3
1990	100,9	369,0	140,3	200,3	379,1	79,3	56,0	204,0	58,6	155,8	222,4	173,3	2138,9
1991	15,1	39,8	67,5	122,2	130,4	79,1	48,7	46,3	328,1	167,4	246,0	143,1	1433,7
1992	49,7	209,1	41,7	45,9	318,8	61,9	84,2	114,9	200,6	145,8	324,6	91,9	1689,1
1993	124,9	57,4	72,0	211,3	175,4	102,8	116,7	85,6	247,3	105,0	273,5	52,3	1624,2
1994	206,4	126,2	157,6	454,6	191,7	81,2	75,9	171,9	305,4	424,7	394,3	143,7	2733,6
1995	59,5	173,0	342,5	445,1	173,7	98,3	131,7	332,3	196,0	329,0	203,8	171,8	2656,7
1996	619,7	78,6	171,8	132,9	156,1	259,2	103,0	76,7	260,2	214,8	148,0	151,3	2372,3
1997	107,3	67,5	57,5	63,3	76,0	133,3	86,8	43,9	330,3	270,0	58,6	19,4	1313,9
1998	34,4	44,9	44,7	382,6	314,7	-	-	-	200,0	326,1	199,2	93,4	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	161,1	299,7	*	*	404,3	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A8. Datos de precipitación de la estación Sabana Grande (Serial 3073)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1952	-	-	18,8	103,5	82,0	105,7	80,3	16,8	59,1	52,5	67,3	48,8	-
1953	20,0	8,6	47,2	26,5	129,9	41,0	0,0	10,3	37,1	168,2	119,2	8,3	616,3
1954	*	45,2	6,3	91,2	65,3	65,8	76,5	*	193,5	333,1	166,2	162,9	1206,0
1955	19,4	42,5	117,4	51,7	42,8	132,0	56,9	12,9	274,2	106,2	104,1	144,4	1104,5
1956	149,1	56,6	72,8	55,7	99,0	36,0	64,4	8,7	106,5	147,1	126,6	93,2	1015,7
1957	2,0	4,3	10,8	46,6	218,5	17,7	13,7	19,4	7,2	133,4	73,0	0,0	546,6
1958	2,3	4,3	28,3	44,5	0,5	29,3	*	*	167,8	65,3	84,1	0,0	426,4
1959	0,0	0,0	0,0	0,0	*	*	*	*	428,2	176,9	90,6	12,0	707,7
1960	0,0	0,0	0,0	0,0	*	*	45,5	73,2	2,0	31,3	28,6	165,5	346,1
1961	2,9	0,0	0,0	72,3	5,3	20,9	33,4	13,4	59,0	83,5	87,3	25,1	403,1
1962	24,3	4,0	37,4	33,6	66,5	52,6	8,3	56,4	19,4	76,0	96,5	21,8	496,8
1963	5,3	25,9	46,2	158,8	185,3	26,3	29,6	31,7	24,8	80,5	106,6	2,3	723,3
1964	0,0	0,7	0,7	76,1	81,5	110,8	56,2	37,4	48,2	90,4	63,6	26,7	592,3
1965	27,7	36,6	2,6	84,3	116,9	19,6	*	88,1	33,9	114,4	159,3	7,8	691,2
1966	0,7	13,0	20,6	38,9	112,6	111,7	24,0	65,6	66,8	*	*	426,9	880,8

Tabla A8. Datos de precipitación de la estación Sabana Grande (Serial 3073).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1967	29,5	13,7	43,8	179,1	85,4	66,9	*	99,0	42,2	74,6	84,0	32,7	750,9
1968	32,1	20,9	3,5	256,9	117,2	172,1	58,5	51,9	60,9	63,8	163,6	33,1	1034,5
1969	34,3	39,6	66,0	262,1	93,8	38,2	30,2	33,2	90,4	198,5	174,8	92,1	1153,2
1970	36,5	63,2	105,2	47,3	96,5	42,6	39,0	39,8	147,4	185,4	102,9	37,7	943,5
1971	90,4	84,8	108,6	62,4	183,2	24,1	33,6	107,1	92,1	127,7	103,8	99,8	1117,6
1972	101,8	69,0	94,6	393,5	78,5	39,2	42,0	19,3	22,4	82,2	65,6	30,5	1038,6
1973	6,6	2,6	24,3	75,0	24,3	57,1	53,5	76,4	121,5	55,9	184,8	50,5	732,5
1974	37,7	63,2	129,1	82,5	133,5	28,3	35,7	30,6	118,7	82,3	66,4	22,0	830,0
1975	29,6	20,9	27,0	79,3	91,9	53,1	45,7	45,3	79,0	154,9	126,5	272,0	1025,2
1976	25,6	92,1	183,6	31,1	74,1	32,3	36,1	69,8	53,1	171,3	104,4	2,3	875,8
1977	11,4	14,7	67,6	40,8	62,6	36,1	28,1	27,8	55,9	49,5	58,6	0,8	453,9
1978	0,1	39,3	65,2	100,7	70,9	54,0	35,2	36,0	49,5	101,4	42,9	26,9	622,1
1979	19,0	5,2	35,3	52,6	74,2	88,4	41,0	39,2	67,2	192,1	182,2	92,3	888,7
1980	0,0	47,8	4,7	75,9	84,6	40,3	12,3	71,1	109,4	28,6	38,4	10,5	523,6
1981	5,4	31,5	24,8	335,7	203,8	83,2	12,7	75,3	91,5	103,3	81,5	69,2	1117,9
1982	38,1	62,8	62,3	277,8	86,1	26,6	46,9	6,9	115,6	82,4	61,5	20,9	887,9
1983	11,8	3,1	5,1	140,5	93,2	22,6	69,1	23,4	76,8	57,1	12,5	23,7	538,9
1984	22,5	13,9	29,2	78,9	111,9	50,2	38,1	70,8	50,8	62,8	94,1	63,3	686,5
1985	14,3	1,9	62,9	136,3	115,2	84,4	14,1	27,7	125,9	195,4	122,4	64,5	965,0
1986	32,7	79,8	33,9	108,2	108,6	62,6	44,4	34,7	92,4	189,0	123,3	12,5	922,1
1987	28,9	9,3	14,8	42,7	107,0	32,0	52,2	34,0	44,9	211,3	82,3	8,8	668,2
1988	4,4	57,8	13,8	102,2	30,0	103,7	73,6	126,4	107,8	176,1	143,8	93,7	1033,3
1989	48,5	24,9	90,5	11,7	129,9	31,9	57,6	31,2	61,4	98,4	110,6	23,9	720,5
1990	26,6	41,6	58,3	160,6	115,4	15,5	15,8	42,7	44,5	217,2	97,0	121,1	956,3
1991	11,3	2,9	167,8	77,9	75,7	24,3	36,2	47,0	76,8	61,9	138,6	55,2	775,6
1992	8,1	12,2	1,6	24,0	30,8	25,2	88,9	19,7	53,7	34,6	95,1	47,8	441,7
1993	31,8	5,8	57,7	108,5	133,4	37,4	26,4	17,3	55,7	38,7	84,9	11,1	608,7
1994	12,7	55,8	82,3	170,2	31,9	28,5	47,9	62,4	102,3	212,8	100,5	7,7	915,0
1995	0,4	18,4	64,6	63,2	79,8	19,0	32,0	135,9	28,5	78,4	35,9	71,3	627,4
1996	17,9	23,2	27,2	21,2	32,4	34,3	67,5	36,6	37,7	129,8	100,7	53,0	581,5
1997	52,2	21,1	64,4	52,8	31,7	66,6	29,6	30,6	70,2	88,4	89,7	28,9	626,2
1998	8,6	56,4	22,8	*	203,6	-	-	-	85,6	137,1	*	171,6	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	64,5	39,8	51,8	52,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67,9	125,6	53,3	-

Tabla A8. Datos de precipitación de la estación Sabana Grande (Serial 3073).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A9. Datos de precipitación de la estación La Fría-Aeropuerto (Serial 3061)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1951	* 731,0		* 304,2		*	*	*	655,6	44,1	* 287,0	132,9		2154,8
1952	79,4	32,5	156,8	206,8	153,6	90,5	142,1	209,2	259,5	343,8	392,0	326,9	2393,1
1953	117,8	-	62,0	388,5	329,6	221,2	117,0	118,8	201,6	168,0	233,8	*	-
1954	552,8	126,0	163,4	291,4	164,7	46,7	290,3	132,0	145,6	730,4	440,9	724,1	-
1955	186,0	340,6	380,2	192,5	253,5	332,5	167,0	175,2	143,3	293,8	483,9	186,9	3135,4
1956	497,6	329,2	262,2	182,9	216,9	168,8	188,0	109,4	172,3	645,9	303,8	*	-
1957	577,2	0,0	116,4	260,7	*	377,4	102,5	110,9	399,7	262,7	126,0	92,6	-
1958	192,8	126,8	131,8	*	* 527,5	191,9	*	* 409,0	351,9	170,1			2101,8
1959	101,6	10,4	42,1	135,8	355,8	160,7	69,4	313,8	118,4	244,4	345,1	*	-
1960	260,0	103,4	157,9	355,4	197,7	81,0	275,0	161,6	84,8	230,7	101,8	595,7	-
1961	310,7	23,9	66,6	256,5	138,2	73,5	110,6	121,8	244,2	261,2	358,9	149,6	2115,7
1962	127,5	66,1	248,3	160,5	430,1	192,2	154,2	278,9	183,4	259,4	218,1	206,3	2525,0
1963	310,6	151,1	29,2	523,4	367,2	173,8	161,8	204,2	214,6	306,2	312,2	49,9	2804,2
1964	26,0	47,9	61,0	307,7	278,2	226,3	133,8	115,3	144,7	301,3	230,2	537,9	2410,3
1965	469,8	92,9	19,9	492,3	394,2	55,5	148,1	275,2	168,1	426,4	275,3	195,5	3013,2
1966	68,1	163,7	68,2	182,4	351,3	117,5	162,7	160,4	181,7	541,1	396,4	376,5	2770,0
1967	160,5	224,8	277,3	*	653,2	109,6	104,7	45,1	128,1	* 780,0	310,1		2793,4
1968	193,1	156,4	282,5	606,6	268,4	202,8	167,4	86,4	213,0	190,7	159,6	126,7	2653,6
1969	255,8	243,5	97,3	453,7	215,0	164,0	71,1	225,1	226,0	311,4	383,7	300,5	2947,1
1970	238,6	287,8	351,0	105,3	78,4	39,3	193,5	227,3	288,8	178,0	441,3	423,7	2853,0
1971	330,4	228,0	167,9	239,8	386,8	58,2	31,4	174,1	181,0	347,3	243,1	367,5	2755,5
1972	179,7	173,4	393,6	852,9	320,8	214,3	130,0	175,4	362,9	244,8	367,7	143,6	3559,1
1973	21,6	58,8	92,0	227,0	166,6	124,7	145,0	142,0	359,8	136,1	603,4	403,8	2480,8
1974	207,4	202,5	294,8	380,7	341,3	77,9	172,6	287,5	303,8	209,9	413,6	102,8	2994,8
1975	67,5	46,1	110,6	172,2	212,5	118,6	280,2	259,7	152,6	186,7	533,2	558,7	2698,6
1976	242,0	507,1	351,1	232,9	141,5	72,4	222,1	90,9	140,3	395,1	192,7	79,9	2668,0
1977	27,3	18,8	304,4	121,5	238,2	88,5	131,7	102,4	166,3	252,2	185,1	10,4	1646,8
1978	88,7	171,7	225,3	480,3	156,9	114,4	133,2	133,2	173,8	445,0	279,5	239,1	2641,1
1979	95,7	226,3	381,2	323,5	217,3	149,0	81,4	313,2	393,4	395,3	298,3	144,3	3018,9

Tabla A9. Datos de precipitación de la estación La Fría-Aeropuerto (Serial 3061).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1980	88,2	140,9	13,7	148,9	202,8	94,8	332,5	176,5	304,4	207,6	218,7	176,3	2105,3
1981	131,8	115,7	153,1	551,6	423,0	143,1	152,7	190,3	144,0	186,2	383,5	193,2	2768,2
1982	174,2	275,7	237,1	465,1	289,6	126,0	89,4	61,5	115,9	323,9	160,6	210,6	2529,6
1983	171,6	20,2	65,0	582,6	265,8	140,9	147,5	208,6	181,6	165,5	242,1	157,8	2349,2
1984	207,3	119,5	26,4	227,0	175,7	103,7	156,0	236,6	172,8	294,5	300,5	177,5	2197,5
1985	96,1	37,4	322,9	82,8	172,0	78,9	188,0	220,9	214,0	457,4	214,9	193,1	2278,4
1986	138,3	118,3	144,3	259,5	217,1	106,2	93,5	119,9	291,5	400,5	398,6	73,7	2361,3
1987	214,5	55,5	283,8	192,4	417,4	109,7	173,5	184,2	200,0	338,4	285,4	23,7	2478,5
1988	60,3	93,4	114,0	286,5	231,3	115,5	96,2	397,0	219,1	439,9	371,9	472,3	2897,4
1989	181,5	173,9	212,1	381,6	249,9	203,4	93,6	239,8	487,5	280,4	279,1	107,9	2890,8
1990	171,4	322,2	208,4	293,0	225,7	110,3	100,9	214,5	117,3	295,9	327,4	253,7	2640,7
1991	50,0	194,7	315,3	284,0	183,4	240,7	145,6	114,1	332,0	122,5	292,2	110,7	2385,2
1992	127,3	186,1	18,7	323,2	293,9	91,7	311,6	123,8	211,0	365,9	364,2	257,4	2674,8
1993	183,1	101,9	254,1	249,3	290,8	111,5	85,8	107,7	362,6	120,2	161,5	83,9	2112,4
1994	224,5	95,2	126,9	228,4	191,0	18,8	53,9	59,1	131,8	181,1	253,6	196,5	1760,8
1995	86,2	114,5	258,4	464,7	328,8	62,9	104,1	376,9	221,0	219,4	218,4	169,2	2624,5
1996	190,9	105,8	101,7	165,4	138,4	67,7	77,9	109,5	263,4	305,6	147,1	113,9	1787,2
1997	81,6	69,8	73,1	194,6	162,7	79,6	122,9	65,8	283,2	389,0	130,4	5,3	1657,9
1998	48,8	93,1	117,7	*	522,3	-	-	-	356,0	208,3	266,3	*	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	304,5	244,9	324,9	240,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	119,3	13,2	140,7	277,1	112,5	238,6	215,4	99,5	*	624,6	267,8	303,8	2412,5
2002	*	203,8	276,7	*	482,7	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	0,0	0,0	0,0	-	341,2	66,0	104,0	157,4	258,5	218,4	459,0	548,0	-
2005	550,1	569,6	72,0	246,9	165,9	150,5	67,8	103,8	182,9	-	-	-	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla A10. Datos de precipitación de la estación Pueblo Hondo (Serial 3074)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1942	0,0	46,7	62,9	155,2	122,8	103,7	28,2	57,0	40,1	126,6	179,7	55,1	978,0
1943	82,0	29,6	103,6	135,1	137,8	585,7	41,3	74,2	67,0	114,9	67,1	36,2	1474,5
1944	0,0	11,5	0,0	37,4	258,0	136,1	31,4	41,4	60,3	171,4	185,6	30,8	963,9
1945	0,0	0,0	0,0	171,6	127,2	-	-	281,8	5,5	104,1	47,3	4,0	-

Tabla A10. Datos de precipitación de la estación Pueblo Hondo (Serial 3074).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1946	0,0	25,5	-	33,2	55,5	25,0	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	-	-	-	-	-	84,0	70,0	24,0	101,0	21,0	37,0	14,0	-
1953	11,0	15,0	50,0	80,0	97,0	72,0	0,0	79,0	25,0	179,0	79,0	87,0	774,0
1954	102,0	481,0	257,0	540,0	612,0	192,0	76,0	23,0	141,0	393,0	141,0	135,0	3093,0
1955	10,0	27,0	104,0	90,0	49,0	106,0	84,0	76,0	233,0	211,0	173,0	145,0	1308,0
1956	177,0	91,0	45,0	107,0	99,0	60,0	43,0	62,0	68,0	121,0	108,0	109,0	1090,0
1957	37,0	42,0	30,0	141,0	279,0	56,0	55,0	23,0	76,0	144,0	71,0	49,0	1003,0
1958	3,0	2,0	26,0	66,0	108,0	71,0	35,0	83,0	42,0	56,0	61,0	27,0	580,0
1959	7,0	0,0	26,0	70,0	191,0	68,0	11,0	23,0	70,0	130,0	111,0	13,0	720,0
1960	24,0	23,0	38,0	135,0	20,0	22,0	54,0	52,0	35,0	46,0	100,0	96,0	645,0
1961	16,0	3,0	9,0	63,0	9,0	48,0	64,0	30,0	80,0	80,0	121,0	51,0	574,0
1962	21,0	6,0	27,0	184,0	137,0	74,0	45,0	90,0	27,0	62,0	112,0	49,0	834,0
1963	24,0	38,0	13,0	202,0	210,0	44,0	33,0	34,0	16,0	65,0	87,0	9,0	775,0
1964	1,1	0,7	2,3	58,0	*	272,5	*	121,2	41,9	68,7	56,4	27,4	650,2
1965	30,0	22,0	2,0	60,0	82,0	24,0	41,0	72,0	34,0	101,0	88,0	8,0	564,0
1966	14,0	13,0	25,0	37,0	129,0	120,0	36,0	73,0	35,0	138,0	196,0	121,0	937,0
1967	30,4	16,1	46,8	130,4	*	167,7	64,4	35,0	33,8	89,4	67,9	35,7	717,6
1968	19,9	37,6	0,3	229,6	134,8	146,1	65,7	58,1	55,9	88,4	83,1	34,5	954,0
1969	121,1	27,2	39,0	225,2	62,1	36,4	24,3	73,1	127,2	204,4	129,7	85,2	1154,9
1970	35,1	64,4	23,2	40,0	109,9	54,6	87,1	33,3	111,9	115,5	110,5	39,2	824,7
1971	66,0	75,3	124,4	39,1	186,2	28,2	24,6	113,1	82,6	88,6	79,6	47,0	954,7
1972	120,0	61,0	60,4	410,5	72,9	42,9	24,3	30,8	19,8	97,9	67,6	51,0	1059,1
1973	22,2	5,9	9,1	99,7	39,3	59,4	59,3	41,8	110,6	85,7	190,5	56,4	779,9
1974	59,8	67,0	99,6	69,6	138,4	41,4	57,7	36,9	119,7	105,5	93,4	15,4	904,4
1975	9,3	17,9	77,9	95,7	102,0	46,6	85,0	86,2	168,5	116,6	149,7	125,8	1081,2
1976	20,1	109,6	195,4	55,0	27,9	29,5	25,9	62,9	57,7	246,5	56,5	2,2	889,2
1977	6,8	4,1	45,8	36,7	69,1	75,3	28,5	20,7	58,4	60,0	98,6	2,8	506,8
1978	0,0	42,4	104,7	280,0	104,7	63,1	46,5	31,5	81,2	91,6	67,1	70,1	982,9
1979	6,7	7,5	46,5	75,8	122,2	85,5	63,9	63,7	78,9	128,1	103,3	67,8	849,9
1980	36,3	37,5	1,8	49,8	125,8	31,7	16,1	59,9	117,8	24,2	42,9	10,6	554,4
1981	13,6	9,2	45,4	245,6	182,7	80,3	29,0	49,9	103,7	94,8	24,4	40,0	918,6
1982	57,8	68,7	27,0	235,9	100,7	13,0	30,9	8,2	80,0	57,1	52,5	23,4	755,2
1983	6,2	4,2	7,7	217,0	83,3	22,3	16,1	10,7	47,3	68,1	58,5	25,7	567,1

Tabla A10. Datos de precipitación de la estación Pueblo Hondo (Serial 3074).
Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1984	19,3	18,3	24,2	107,6	121,4	38,1	45,8	75,3	96,5	35,0	87,6	36,5	705,6
1985	8,7	3,4	41,1	92,4	129,5	39,4	35,5	41,9	71,3	90,1	76,2	70,6	898,8
1986	26,4	44,1	18,1	86,3	87,6	56,4	38,5	65,7	60,6	138,2	85,6	27,6	735,1
1987	34,3	4,2	13,1	24,2	134,7	35,6	59,6	31,4	64,7	176,6	44,9	16,2	639,5
1988	7,1	86,7	18,7	46,4	27,8	106,4	66,8	133,1	158,7	169,2	231,9	65,5	1118,3
1989	21,9	17,4	169,4	23,3	95,2	20,1	49,4	26,0	63,9	114,2	58,4	49,7	708,9
1990	17,1	44,3	79,7	165,6	147,3	16,6	37,5	47,4	56,6	201,7	80,4	67,0	961,2
1991	10,9	4,7	113,4	40,3	60,2	21,3	40,0	47,1	64,2	53,1	101,8	44,2	601,2
1992	7,1	13,3	8,8	22,2	45,1	16,6	84,9	24,2	57,9	54,3	101,9	50,1	486,4
1993	21,4	8,2	21,7	123,3	108,0	48,1	38,4	32,7	50,7	34,0	140,6	8,6	635,7
1994	16,3	36,1	109,7	159,0	52,0	20,3	51,3	45,9	60,9	248,4	125,8	8,6	934,3
1995	0,7	28,8	95,6	52,0	29,5	16,2	62,1	157,0	37,8	163,0	48,0	66,8	757,5
1996	28,9	36,9	26,5	25,7	73,5	74,1	63,7	33,4	33,0	203,2	124,1	60,5	783,5
1997	27,9	37,6	62,4	27,1	46,3	95,1	19,8	24,5	50,7	82,5	86,9	20,9	581,7
1998	9,8	-	43,8	91,4	265,7	-	-	-	139,6	96,6	*	*	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	104,6	123,8	* 110,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71,8	147,4	63,8	-

¹ Los asteriscos (*) indican datos englobados.

Fuente: MARN (2010)

² Los guiones (-) indican datos faltantes.

³ Los valores en color rojo corresponden a datos desenglobados por la investigadora.

⁴ Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

APÉNDICE B

Datos de evaporación de estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Grita

Tabla B1. Datos de evaporación de la estación La Grita (Serial 3083)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1963	107,8	78,7	136,6	112,7	129,2	142,7	130,7	144,4	158,5	167,7	110,4	119,7	-
1964	162,7	138,0	141,2	92,0	163,3	111,4	143,6	139,4	139,0	151,3	133,5	137,9	1653,3
1965	114,6	172,0	184,0	113,1	123,8	125,6	136,1	138,9	161,5	148,3	124,2	149,1	1691,2
1966	199,5	183,4	148,1	120,6	111,6	103,4	125,8	149,4	146,2	139,1	96,0	124,7	1647,8
1967	158,0	138,0	147,0	114,0	136,0	102,0	121,0	111,0	120,0	130,0	91,0	99,0	1467,0
1968	114,4	122,3	93,2	115,0	138,9	109,4	133,9	167,6	168,2	118,9	152,2	117,9	-
1969	95,0	89,0	100,4	122,8	142,4	108,0	127,0	109,1	150,4	104,5	118,1	138,6	-
1970	134,3	107,3	153,3	145,0	122,2	114,2	129,3	159,3	138,9	112,5	103,9	157,3	1577,5
1971	145,1	127,6	144,0	126,7	124,8	146,4	131,3	117,8	133,6	166,6	134,4	126,6	1624,9
1972	120,6	139,8	148,3	122,8	137,7	141,8	135,5	137,4	146,0	130,0	111,6	122,1	1593,6
1973	155,8	132,8	138,0	161,5	169,5	120,3	104,7	141,8	128,2	138,0	91,2	99,9	1581,7
1974	112,2	104,1	113,7	113,6	121,0	125,1	126,5	135,6	136,9	144,4	105,9	130,3	-
1975	116,9	104,3	122,8	121,8	118,5	117,2	115,3	105,4	106,6	106,3	107,5	101,2	1343,8
1976	99,9	92,9	102,6	111,6	115,8	116,4	121,4	120,4	121,3	108,3	123,0	118,0	1351,6
1977	125,5	135,0	143,3	138,7	127,7	122,4	128,3	136,0	124,2	141,3	126,4	128,3	1577,1
1978	120,8	116,5	132,8	115,7	129,6	114,2	127,3	142,5	123,1	127,6	124,5	119,9	1494,5
1979	95,5	113,1	132,7	145,6	123,5	117,8	129,7	127,6	129,1	129,8	119,0	104,2	1467,6
1980	97,3	102,5	138,1	144,2	142,6	129,9	143,7	134,9	142,3	135,6	122,7	140,1	1573,9
1981	157,6	130,3	167,9	119,9	120,7	113,8	146,5	139,8	127,4	129,3	122,0	129,1	1604,3
1982	131,0	102,1	152,9	106,1	115,3	117,9	119,0	127,0	126,4	113,9	98,6	114,9	1425,1
1983	138,8	141,6	175,3	121,2	121,9	120,3	106,4	141,6	126,4	113,3	138,1	110,9	1555,8
1984	131,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los guiones (-) indican datos faltantes.

² Los valores resaltados en amarillo corresponden a datos faltantes estimados por la investigadora.

Fuente: MARN (2010)

Tabla B2. Datos de evaporación de la estación La Fría-Aeropuerto (Serial 3061)

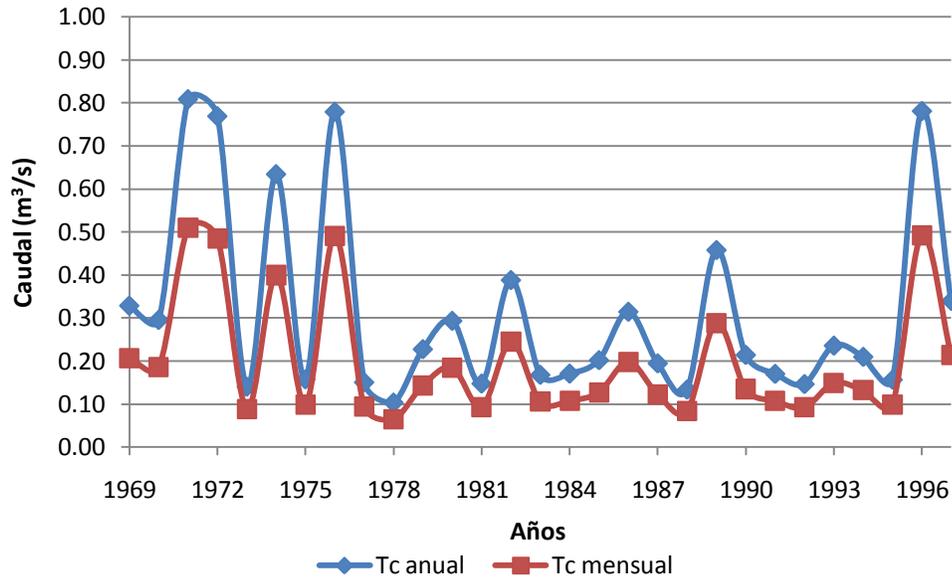
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	162.7	167.4	110.3	128.6	-
1963	121.5	88.7	147.7	-	-	-	194.3	176.4	213.6	-	-	-	-
1964	178.6	174.0	151.4	-	188.3	153.3	166.1	168.1	168.3	183.4	143.6	-	-
1965	-	121.2	168.2	-	-	164.6	188.9	178.8	158.3	152.8	112.6	123.1	-
1966	134.1	-	123.6	141.7	140.7	149.4	165.3	200.8	185.8	291.8	107.8	96.6	-
1967	95.0	101.0	129.0	118.0	158.0	147.0	144.0	180.0	174.0	124.0	81.0	90.0	1541.0
1968	137.0	104.0	105.0	94.0	142.0	132.0	153.0	149.0	160.0	134.0	127.0	111.0	1548.0
1969	107.0	85.2	118.9	121.0	139.0	147.4	174.8	170.0	147.3	135.9	133.0	122.2	1601.7
1970	121.7	98.2	125.7	143.6	141.9	177.6	176.0	178.7	160.6	155.9	133.3	128.8	1742.0
1971	95.8	115.9	103.0	121.9	148.6	160.5	171.4	178.5	168.1	171.0	130.1	121.1	1685.9
1972	104.9	123.8	115.3	117.2	136.5	154.9	160.3	163.1	174.6	169.7	153.9	133.8	1708.0
1973	159.9	135.3	146.2	154.7	164.6	153.9	150.4	178.6	152.9	138.0	80.3	116.5	1731.3
1974	117.5	144.0	162.4	137.3	155.6	158.9	148.8	152.8	154.2	162.7	159.8	166.9	1820.9
1975	162.9	161.1	173.9	167.3	171.3	173.7	166.7	164.6	151.7	156.6	122.0	101.1	1872.9
1976	132.5	112.5	128.0	149.1	151.1	165.3	159.8	172.4	160.1	118.4	133.8	121.9	1704.9
1977	132.2	138.7	-	-	151.3	129.2	150.8	138.1	177.7	152.0	112.3	186.3	-
1978	206.7	162.0	150.3	151.9	142.5	156.8	156.6	185.9	163.6	163.7	116.4	117.7	1874.1
1979	102.4	127.1	101.5	119.0	146.0	143.7	173.5	162.5	169.8	159.9	140.3	128.1	1673.8
1980	149.5	153.4	169.5	150.7	199.7	169.7	185.7	201.2	166.8	167.1	154.6	134.5	2002.4
1981	152.7	128.4	178.0	162.4	159.1	150.6	197.5	171.0	177.0	167.6	128.8	124.0	1897.1
1982	126.3	116.7	111.8	99.5	140.8	140.7	166.5	183.3	175.7	148.0	106.7	124.3	1640.3
1983	120.0	159.3	147.1	122.5	149.8	152.9	145.7	169.1	180.6	170.3	141.9	109.3	1768.5
1984	126.9	139.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Los guiones (-) indican datos faltantes.

Fuente: MARN (2010)

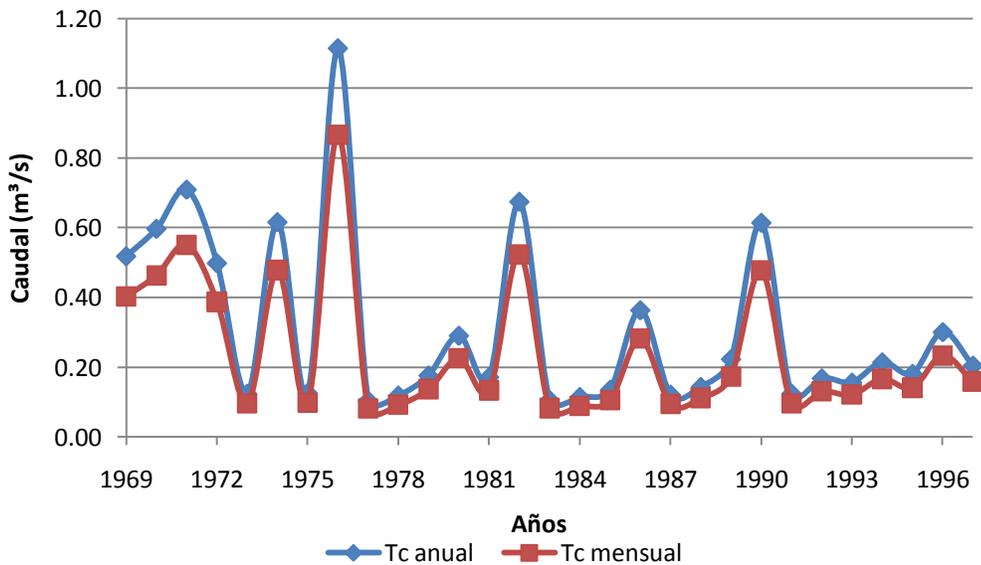
APÉNDICE C

Comparación de caudales de la quebrada San José obtenidos por transposición con factores de corrección (Tc) calculados con precipitación mensual y anual



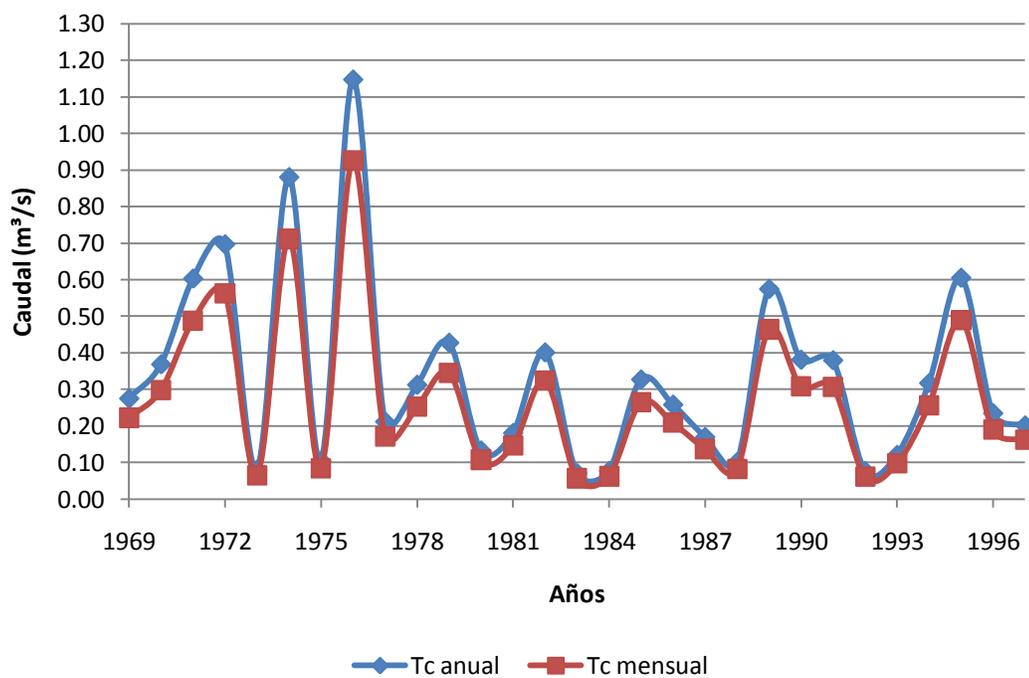
Fuente: elaboración propia.

Figura C1. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de enero obtenidos por transposición.



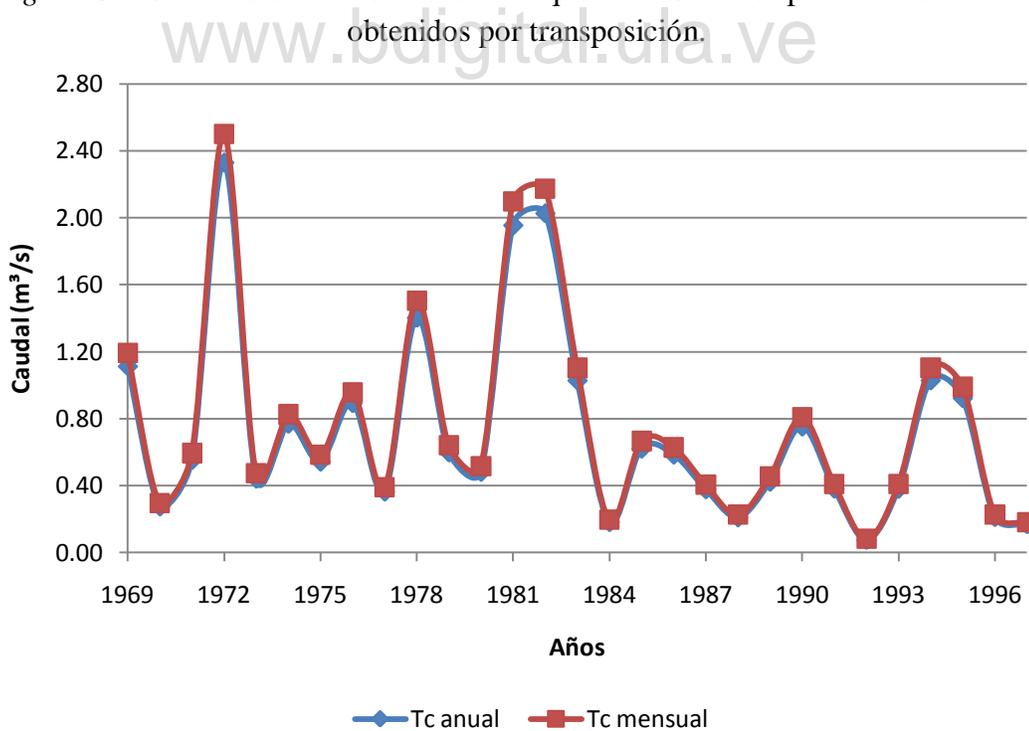
Fuente: elaboración propia.

Figura C2. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de febrero obtenidos por transposición.



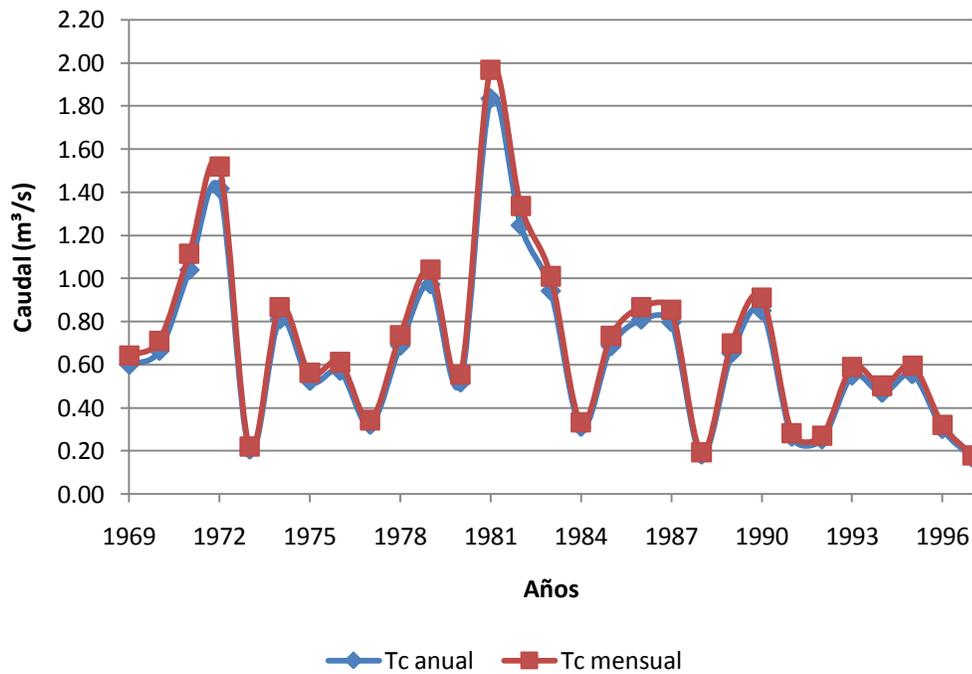
Fuente: elaboración propia.

Figura C3. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de marzo obtenidos por transposición.



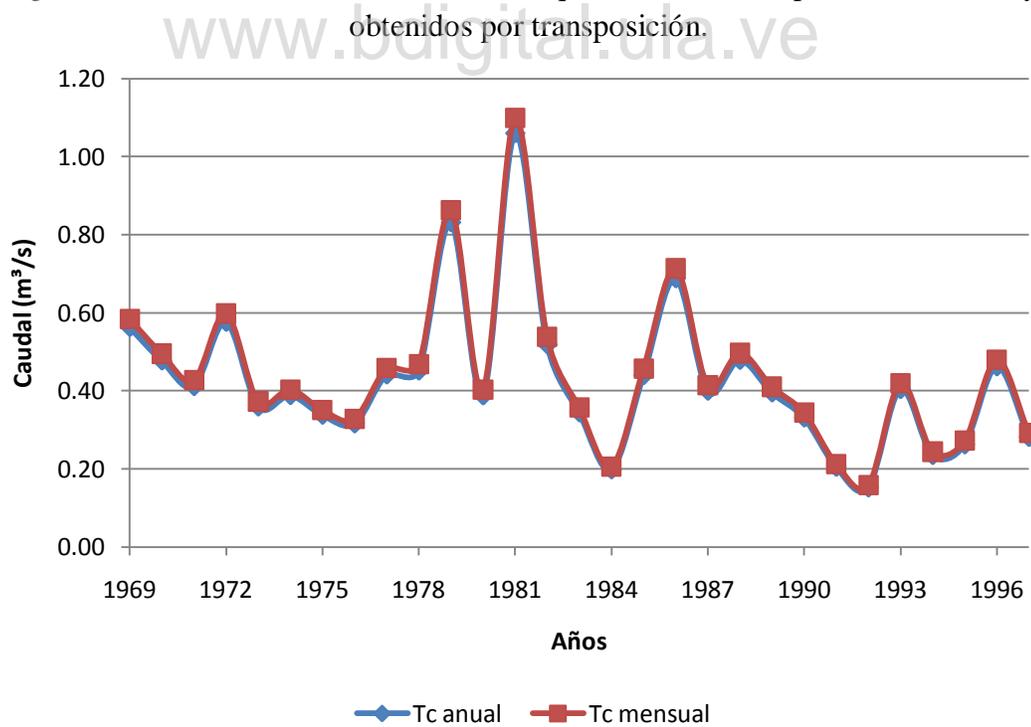
Fuente: elaboración propia.

Figura C4. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de abril obtenidos por transposición.



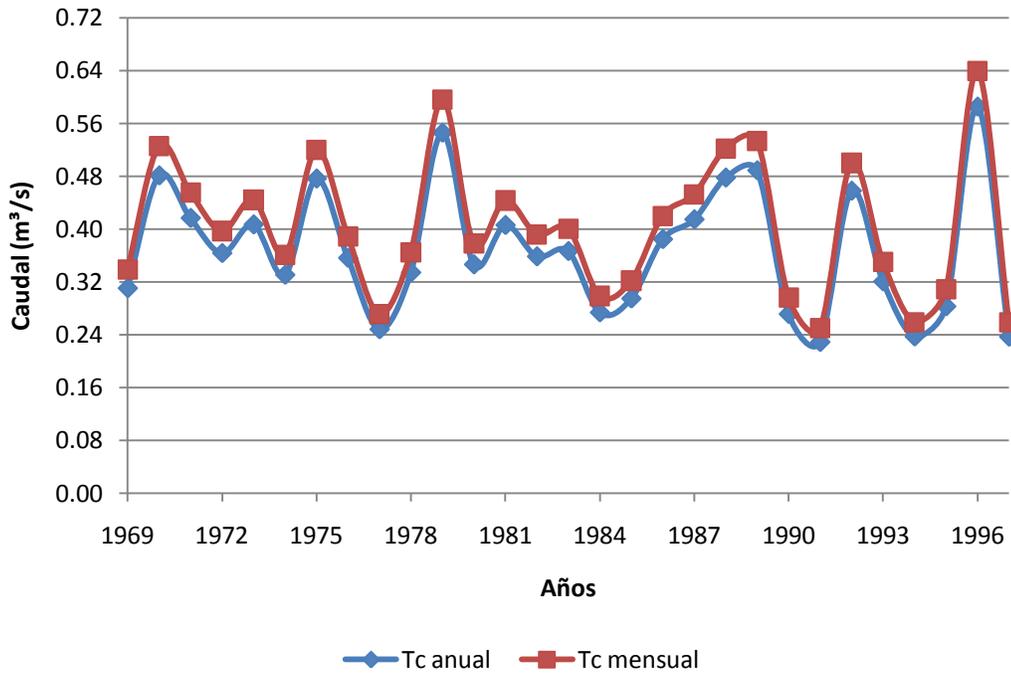
Fuente: elaboración propia.

Figura C5. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de mayo obtenidos por transposición.



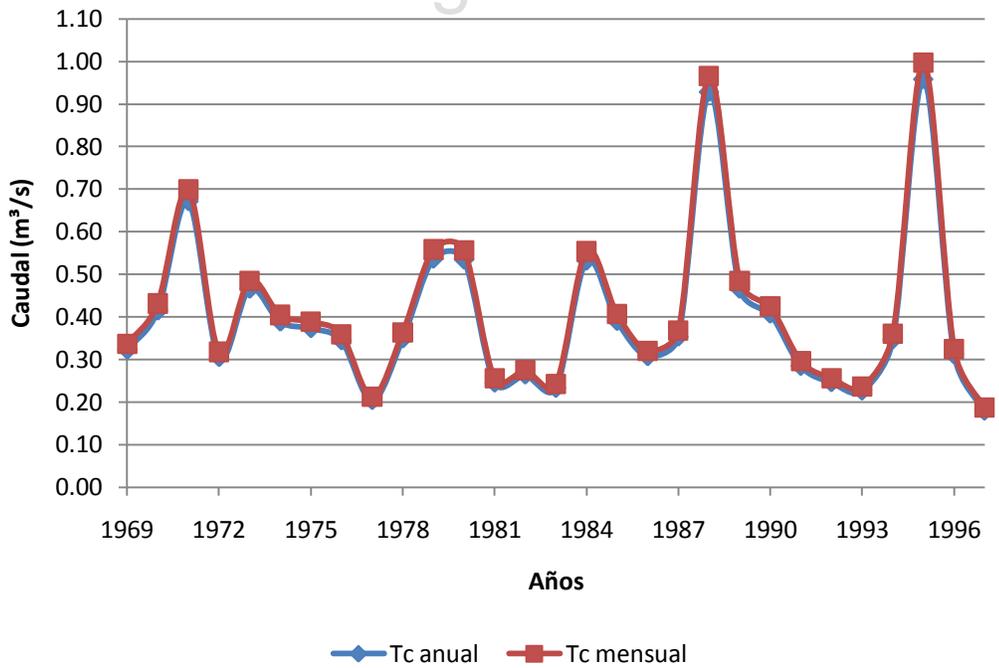
Fuente: elaboración propia.

Figura C6. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de junio obtenidos por transposición.



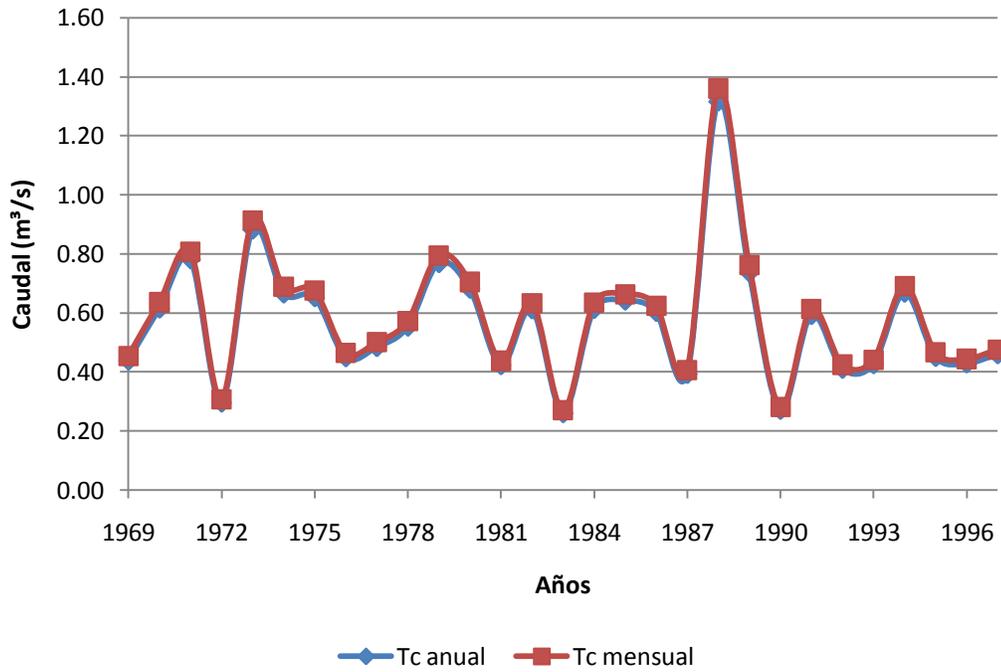
Fuente: elaboración propia.

Figura C7. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de julio obtenidos por transposición.



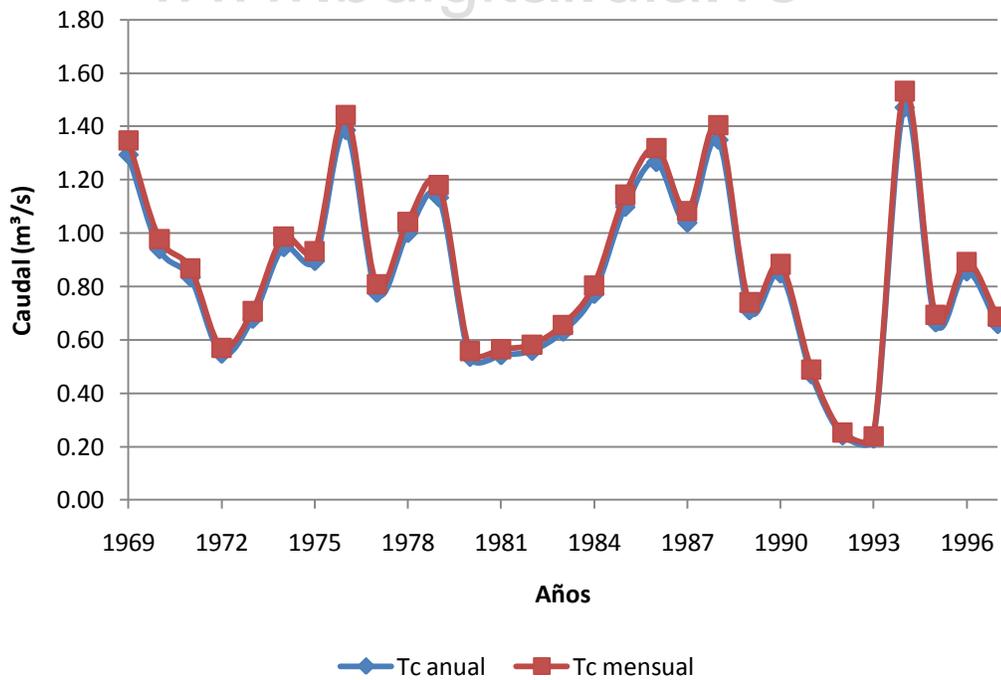
Fuente: elaboración propia.

Figura C8. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de agosto obtenidos por transposición.



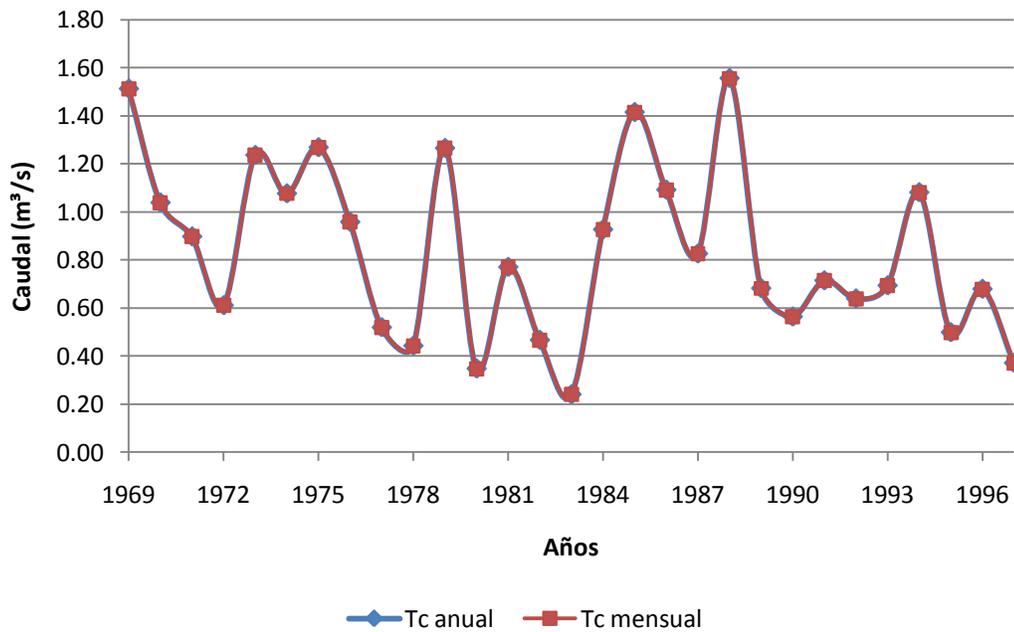
Fuente: elaboración propia.

Figura C9. Caudales seudo-históricos de la quebrada San José para el mes de septiembre obtenidos por transposición.



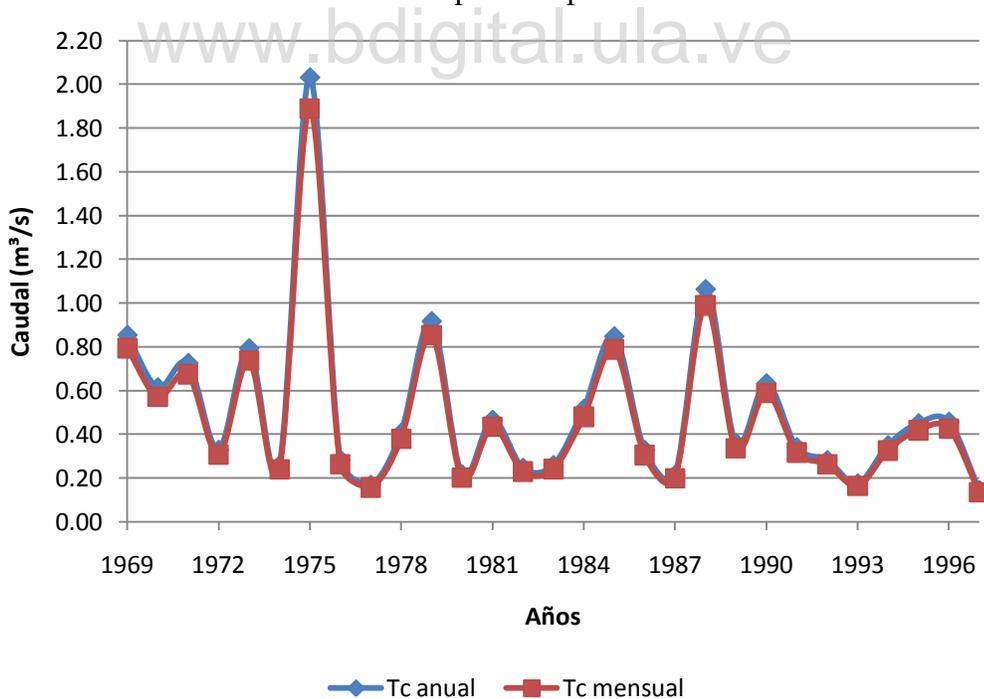
Fuente: elaboración propia.

Figura C10. Caudales seudo-históricos de la quebrada San José para el mes de octubre obtenidos por transposición.



Fuente: elaboración propia.

Figura C11. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de noviembre obtenidos por transposición.



Fuente: elaboración propia.

Figura C12. Caudales seudohistóricos de la quebrada San José para el mes de diciembre obtenidos por transposición.

Tabla C1. Caudales seudohistóricos obtenidos por transposición con precipitación anual. Microcuenca Quebrada San José hasta su confluencia con la quebrada Aguas Calientes (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	0,33	0,52	0,27	1,11	0,60	0,56	0,31	0,32	0,44	1,29	1,51	0,85
1970	0,30	0,60	0,37	0,28	0,66	0,48	0,48	0,41	0,62	0,94	1,04	0,61
1971	0,81	0,71	0,60	0,55	1,04	0,41	0,42	0,67	0,78	0,83	0,90	0,73
1972	0,77	0,50	0,70	2,33	1,42	0,58	0,36	0,31	0,30	0,55	0,61	0,33
1973	0,14	0,12	0,08	0,44	0,20	0,36	0,41	0,47	0,88	0,68	1,24	0,79
1974	0,63	0,62	0,88	0,77	0,81	0,39	0,33	0,39	0,67	0,95	1,08	0,26
1975	0,16	0,13	0,10	0,54	0,52	0,34	0,48	0,37	0,65	0,90	1,27	2,03
1976	0,78	1,11	1,15	0,89	0,57	0,32	0,36	0,34	0,45	1,39	0,96	0,28
1977	0,15	0,10	0,21	0,37	0,32	0,44	0,25	0,20	0,48	0,78	0,52	0,17
1978	0,10	0,12	0,31	1,40	0,69	0,45	0,33	0,35	0,55	1,00	0,44	0,41
1979	0,23	0,18	0,43	0,60	0,97	0,83	0,55	0,54	0,77	1,13	1,26	0,92
1980	0,29	0,29	0,13	0,48	0,52	0,39	0,35	0,53	0,68	0,54	0,35	0,22
1981	0,15	0,17	0,18	1,96	1,83	1,06	0,41	0,25	0,42	0,54	0,77	0,47
1982	0,39	0,67	0,40	2,03	1,25	0,52	0,36	0,26	0,61	0,56	0,47	0,25
1983	0,17	0,11	0,07	1,03	0,94	0,34	0,37	0,23	0,26	0,63	0,24	0,26
1984	0,17	0,11	0,08	0,18	0,31	0,20	0,27	0,53	0,61	0,77	0,93	0,52
1985	0,20	0,14	0,33	0,62	0,68	0,44	0,29	0,39	0,64	1,10	1,41	0,85
1986	0,31	0,36	0,26	0,59	0,81	0,69	0,38	0,31	0,60	1,27	1,09	0,33
1987	0,19	0,12	0,17	0,38	0,80	0,40	0,41	0,35	0,39	1,04	0,83	0,22
1988	0,13	0,14	0,10	0,21	0,18	0,48	0,48	0,93	1,32	1,35	1,56	1,06
1989	0,46	0,22	0,57	0,42	0,65	0,40	0,49	0,47	0,74	0,71	0,68	0,36
1990	0,21	0,61	0,38	0,75	0,85	0,33	0,27	0,41	0,27	0,85	0,56	0,63
1991	0,17	0,12	0,38	0,38	0,26	0,21	0,23	0,28	0,59	0,47	0,71	0,34
1992	0,15	0,17	0,08	0,08	0,25	0,15	0,46	0,25	0,41	0,24	0,64	0,28
1993	0,24	0,16	0,12	0,38	0,55	0,40	0,32	0,23	0,43	0,23	0,69	0,18
1994	0,21	0,21	0,32	1,03	0,47	0,24	0,24	0,35	0,67	1,47	1,08	0,35
1995	0,16	0,18	0,60	0,92	0,55	0,26	0,28	0,96	0,45	0,67	0,50	0,45
1996	0,78	0,30	0,23	0,21	0,30	0,46	0,59	0,31	0,43	0,86	0,68	0,46
1997	0,34	0,20	0,20	0,17	0,17	0,28	0,24	0,18	0,46	0,66	0,37	0,14

Fuente: elaboración propia.

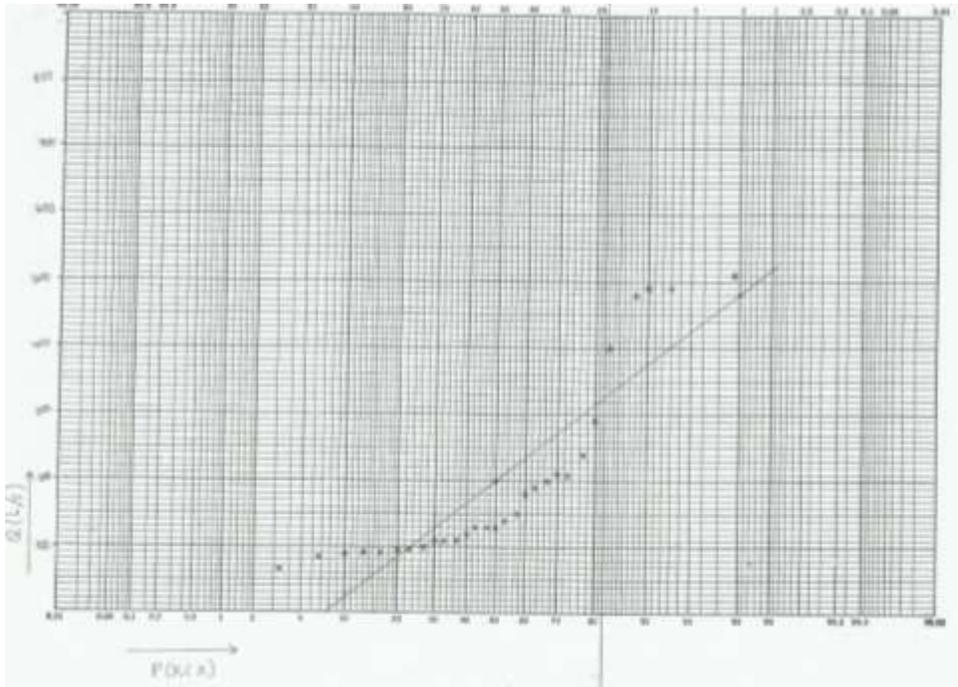
APÉNDICE D

Ajuste gráfico para las series mensuales de caudales seudohistóricos de la quebrada San José

Tabla D1. Probabilidad empírica y teórica para los caudales seudohistóricos de enero

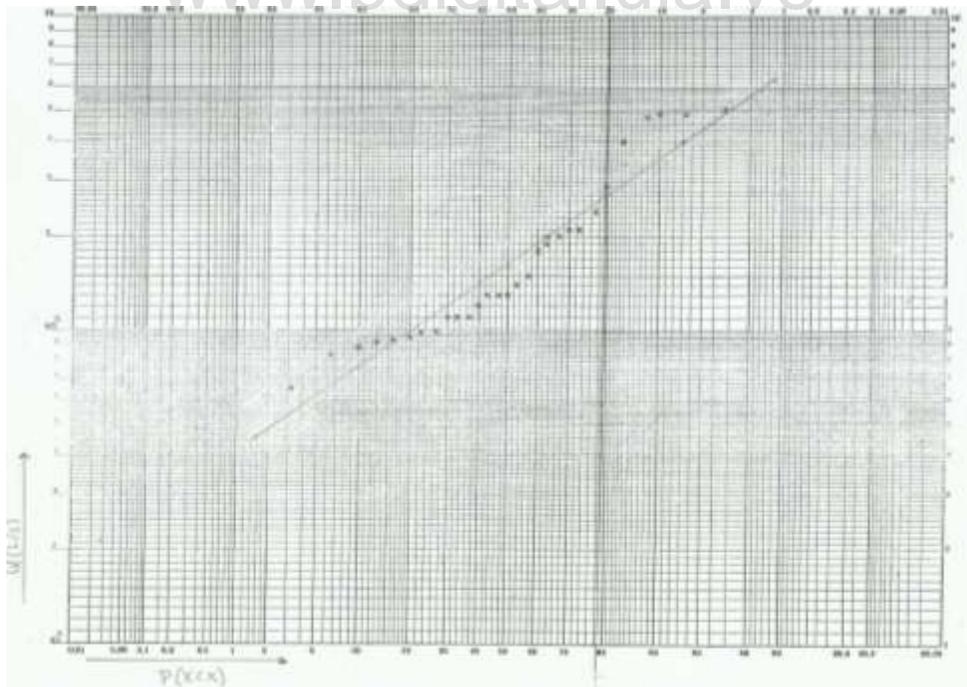
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	64,96	4,1738	3,3%	17,1%	6,5%
2	84,06	4,4315	6,7%	20,8%	13,8%
3	88,18	4,4794	10,0%	21,6%	15,6%
4	92,11	4,5230	13,3%	22,5%	17,4%
5	92,86	4,5311	16,7%	22,6%	17,7%
6	94,73	4,5511	20,0%	23,0%	18,6%
7	98,48	4,5898	23,3%	23,8%	20,4%
8	99,04	4,5955	26,7%	24,0%	20,6%
9	105,59	4,6596	30,0%	25,4%	23,8%
10	107,09	4,6737	33,3%	25,8%	24,5%
11	107,46	4,6772	36,7%	25,9%	24,7%
12	122,44	4,8076	40,0%	29,5%	31,9%
13	127,12	4,8451	43,3%	30,6%	34,2%
14	131,99	4,8827	46,7%	31,8%	36,5%
15	134,80	4,9038	50,0%	32,6%	37,8%
16	143,22	4,9644	53,3%	34,8%	41,6%
17	148,46	5,0003	56,7%	36,2%	43,9%
18	184,78	5,2192	60,0%	46,2%	58,3%
19	186,10	5,2263	63,3%	46,6%	58,7%
20	198,08	5,2887	66,7%	50,0%	62,7%
21	207,06	5,3330	70,0%	52,6%	65,4%
22	213,99	5,3659	73,3%	54,5%	67,4%
23	244,51	5,4992	76,7%	63,0%	74,9%
24	288,50	5,6647	80,0%	74,1%	82,7%
25	399,71	5,9907	83,3%	92,5%	93,1%
26	484,71	6,1835	86,7%	98,0%	96,4%
27	491,07	6,1966	90,0%	98,2%	96,6%
28	492,20	6,1989	93,3%	98,2%	96,6%
29	509,61	6,2336	96,7%	98,7%	97,0%
Media	198,03	5,09			
Desv.Est.	139,94	0,61			
Varianza	19584,08	0,37			
Asimetría	1,39	0,71			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D1. Caudales de enero (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



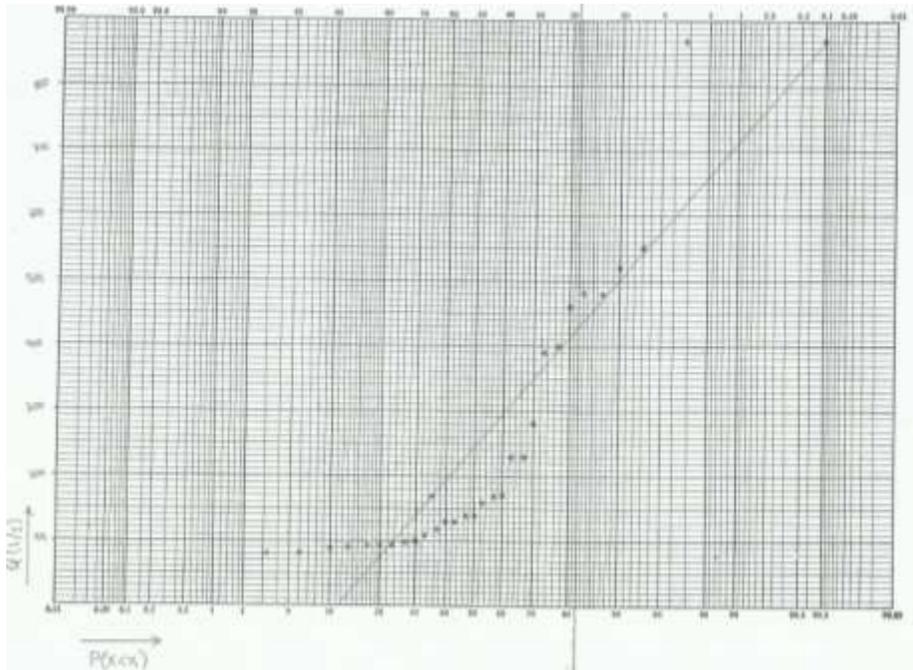
Fuente: elaboración propia.

Figura D2. Caudales de enero (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad LogNormal.

Tabla D2. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de febrero

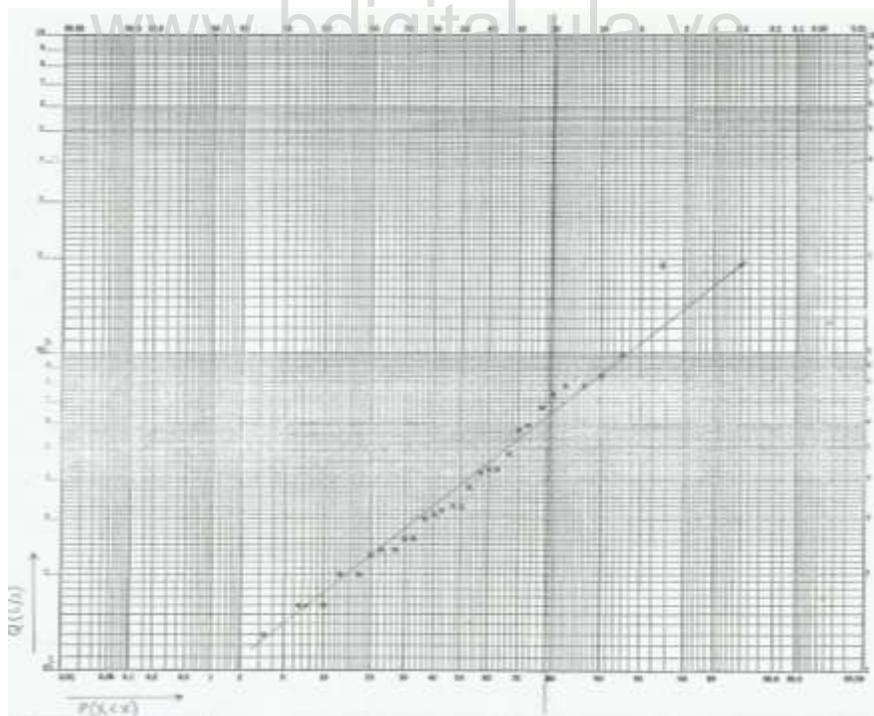
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	80,94	4,3937	3,3%	20,6%	12,0%
2	82,32	4,4106	6,7%	20,8%	12,5%
3	89,01	4,4887	10,0%	21,8%	14,9%
4	92,24	4,5244	13,3%	22,3%	16,1%
5	94,31	4,5466	16,7%	22,6%	16,9%
6	96,16	4,5660	20,0%	22,9%	17,6%
7	96,62	4,5708	23,3%	22,9%	17,8%
8	98,00	4,5850	26,7%	23,2%	18,3%
9	104,92	4,6532	30,0%	24,3%	21,0%
10	111,38	4,7129	33,3%	25,3%	23,5%
11	121,06	4,7963	36,7%	26,9%	27,2%
12	130,52	4,8715	40,0%	28,5%	30,9%
13	133,28	4,8925	43,3%	29,0%	31,9%
14	136,97	4,9198	46,7%	29,7%	33,3%
15	140,66	4,9464	50,0%	30,3%	34,7%
16	158,88	5,0681	53,3%	33,7%	41,3%
17	166,26	5,1135	56,7%	35,0%	43,8%
18	173,41	5,1556	60,0%	36,4%	46,1%
19	225,52	5,4184	63,3%	46,8%	60,8%
20	233,59	5,4536	66,7%	48,4%	62,7%
21	282,24	5,6428	70,0%	58,3%	72,3%
22	387,16	5,9588	73,3%	77,2%	85,1%
23	402,61	5,9980	76,7%	79,5%	86,3%
24	463,72	6,1393	80,0%	87,3%	90,2%
25	477,10	6,1677	83,3%	88,6%	90,9%
26	478,48	6,1706	86,7%	88,8%	91,0%
27	523,91	6,2613	90,0%	92,6%	92,9%
28	550,89	6,3115	93,3%	94,3%	93,8%
29	865,87	6,7637	96,7%	99,9%	98,5%
Media	241,31	5,22			
Desv.Est.	195,38	0,71			
Varianza	38174,18	0,50			
Asimetría	1,55	0,65			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D3. Caudales de febrero (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



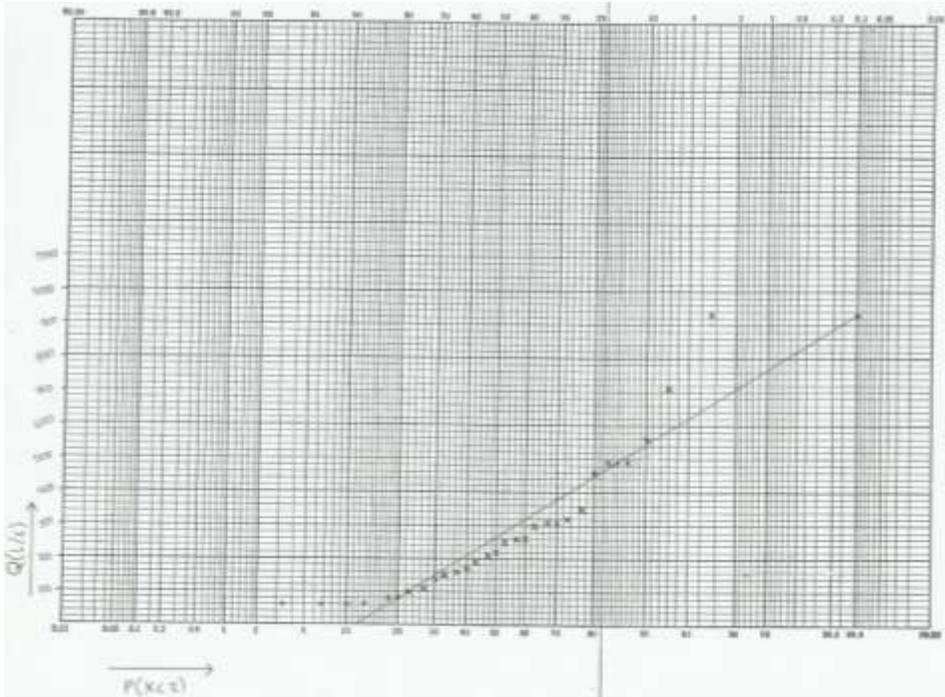
Fuente: elaboración propia.

Figura D4. Caudales de febrero (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad LogNormal.

Tabla D3. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de marzo

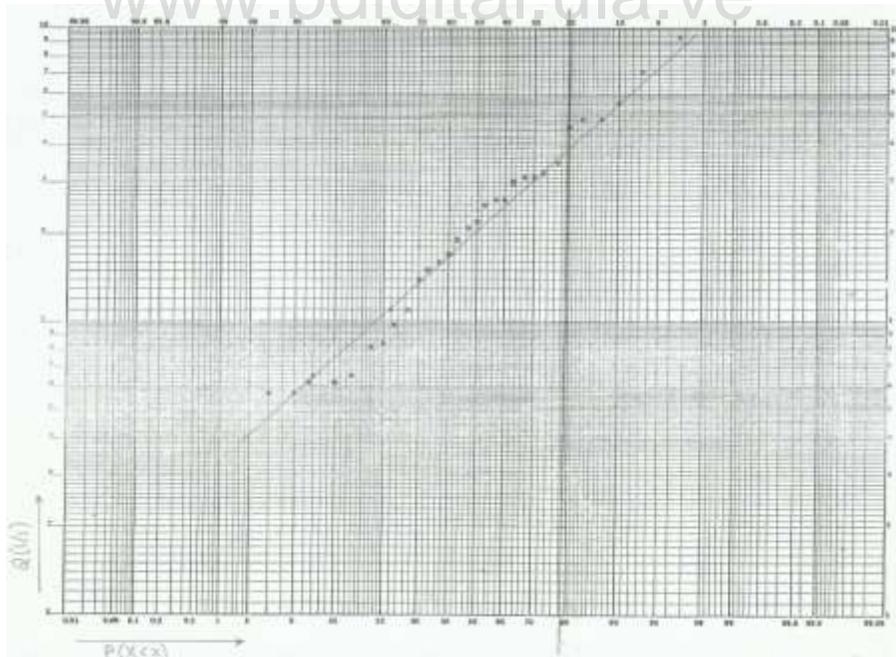
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	56,88	4,0410	3,3%	15,3%	5,0%
2	61,68	4,1220	6,7%	15,9%	6,1%
3	62,16	4,1297	10,0%	15,9%	6,2%
4	65,28	4,1787	13,3%	16,3%	7,0%
5	81,60	4,4019	16,7%	18,3%	11,8%
6	84,48	4,4366	20,0%	18,7%	12,7%
7	97,44	4,5793	23,3%	20,4%	16,9%
8	107,28	4,6755	26,7%	21,7%	20,2%
9	137,04	4,9203	30,0%	26,1%	30,2%
10	145,93	4,9831	33,3%	27,5%	33,1%
11	162,73	5,0921	36,7%	30,3%	38,3%
12	171,13	5,1424	40,0%	31,7%	40,8%
13	189,61	5,2450	43,3%	34,9%	46,0%
14	208,57	5,3403	46,7%	38,3%	50,9%
15	222,25	5,4038	50,0%	40,8%	54,1%
16	252,49	5,5314	53,3%	46,5%	60,5%
17	256,33	5,5465	56,7%	47,3%	61,3%
18	264,25	5,5769	60,0%	48,8%	62,8%
19	297,85	5,6966	63,3%	55,2%	68,4%
20	306,73	5,7260	66,7%	56,8%	69,8%
21	307,93	5,7299	70,0%	57,1%	69,9%
22	324,01	5,7808	73,3%	60,1%	72,2%
23	345,37	5,8446	76,7%	63,9%	74,9%
24	464,18	6,1403	80,0%	82,3%	85,3%
25	487,22	6,1887	83,3%	85,0%	86,7%
26	488,90	6,1922	86,7%	85,2%	86,8%
27	562,82	6,3330	90,0%	91,9%	90,3%
28	711,39	6,5672	93,3%	98,2%	94,5%
29	926,91	6,8319	96,7%	99,9%	97,4%
Media	270,70	5,32			
Desv.Est.	209,13	0,78			
Varianza	43733,39	0,60			
Asimetría	1,49	-0,05			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D5. Caudales de marzo (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



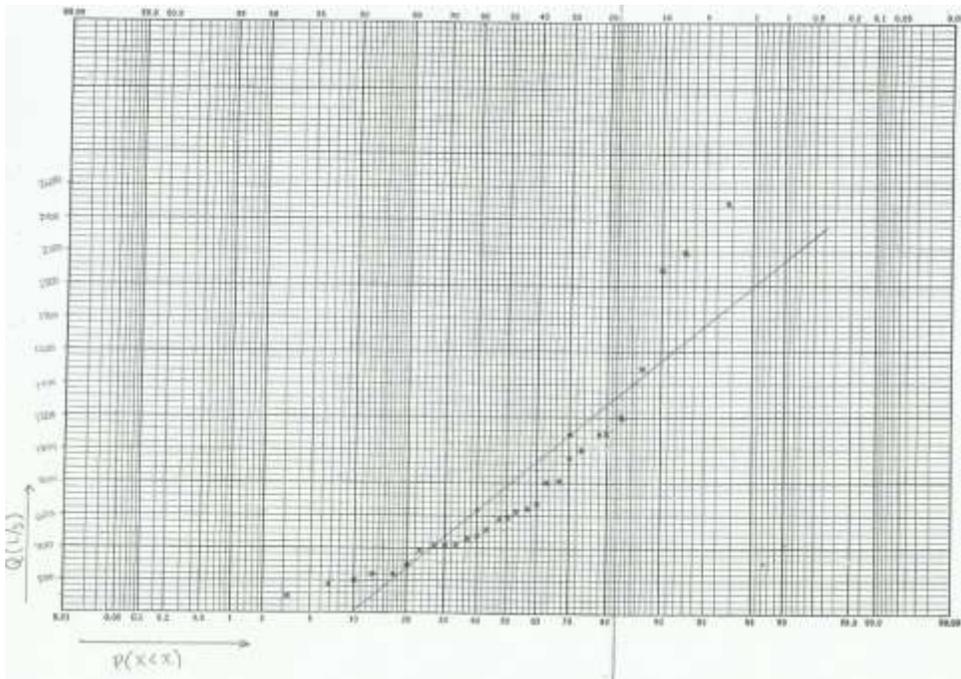
Fuente: elaboración propia.

Figura D6. Caudales de marzo (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad LogNormal.

Tabla D4. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de abril

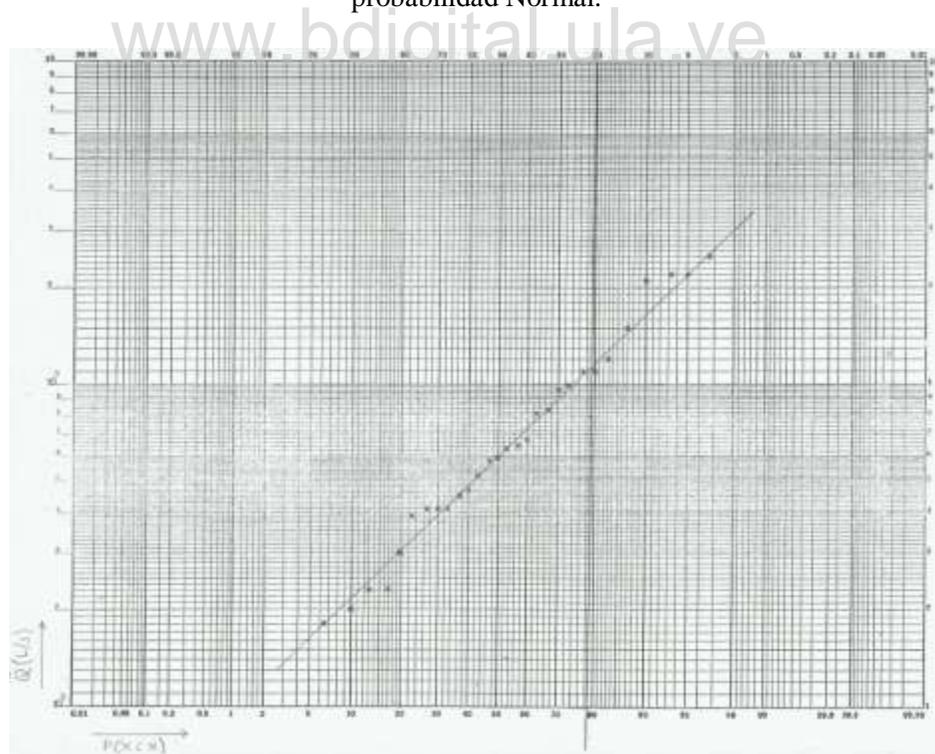
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	82,13	4,4083	3,3%	12,8%	0,7%
2	183,03	5,2097	6,7%	16,6%	7,2%
3	196,09	5,2786	10,0%	17,1%	8,4%
4	226,01	5,4206	13,3%	18,4%	11,5%
5	228,24	5,4304	16,7%	18,5%	11,8%
6	296,04	5,6905	20,0%	21,5%	19,5%
7	391,53	5,9701	23,3%	26,3%	30,5%
8	406,18	6,0068	26,7%	27,1%	32,2%
9	409,36	6,0146	30,0%	27,3%	32,5%
10	410,32	6,0169	33,3%	27,4%	32,6%
11	454,56	6,1193	36,7%	29,8%	37,4%
12	473,98	6,1612	40,0%	30,9%	39,4%
13	517,59	6,2492	43,3%	33,4%	43,7%
14	583,48	6,3690	46,7%	37,4%	49,7%
15	594,30	6,3874	50,0%	38,1%	50,6%
16	628,37	6,4431	53,3%	40,2%	53,4%
17	642,05	6,4647	56,7%	41,1%	54,5%
18	666,56	6,5021	60,0%	42,6%	56,3%
19	807,90	6,6944	63,3%	51,7%	65,6%
20	826,36	6,7170	66,7%	52,9%	66,6%
21	958,15	6,8650	70,0%	61,3%	73,1%
22	989,98	6,8977	73,3%	63,3%	74,4%
23	1103,62	7,0063	76,7%	70,0%	78,6%
24	1103,94	7,0066	80,0%	70,0%	78,6%
25	1194,02	7,0851	83,3%	74,9%	81,3%
26	1505,66	7,3170	86,7%	88,0%	88,1%
27	2097,73	7,6486	90,0%	98,4%	94,5%
28	2174,45	7,6845	93,3%	98,8%	95,0%
29	2499,45	7,8238	96,7%	99,7%	96,5%
Media	781,07	6,38			
Desv.Est.	615,71	0,80			
Varianza	379100,93	0,63			
Asimetría	1,49	-0,26			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D7. Caudales de abril (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



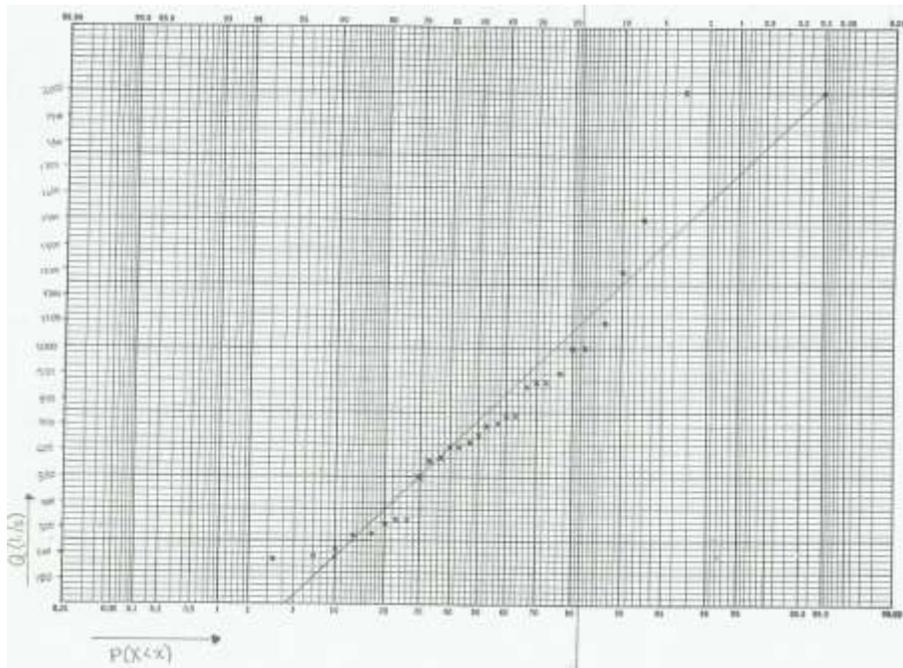
Fuente: elaboración propia.

Figura D8. Caudales de abril (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D5. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de mayo

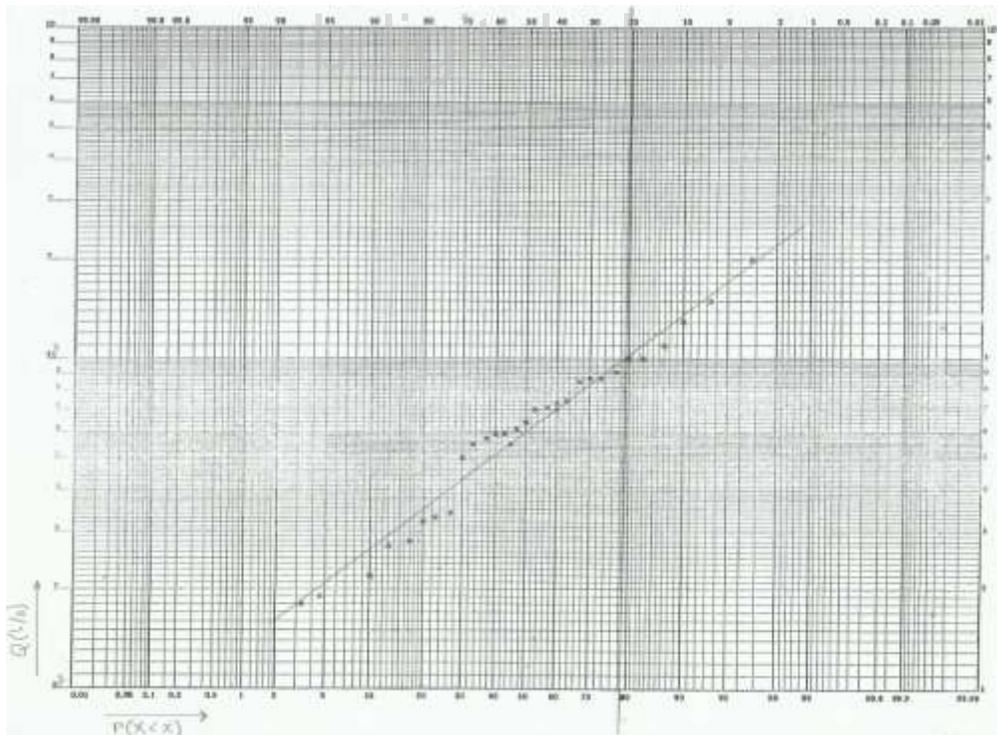
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	178,73	5,1859	3,3%	10,1%	2,5%
2	194,66	5,2713	6,7%	10,8%	3,4%
3	219,83	5,3929	10,0%	11,9%	5,2%
4	270,49	5,6002	13,3%	14,5%	9,9%
5	283,55	5,6474	16,7%	15,3%	11,2%
6	322,10	5,7749	20,0%	17,5%	15,7%
7	332,94	5,8079	23,3%	18,2%	17,0%
8	343,13	5,8381	26,7%	18,9%	18,3%
9	502,43	6,2195	30,0%	30,9%	38,8%
10	553,72	6,3167	33,3%	35,4%	45,0%
11	561,69	6,3309	36,7%	36,1%	45,9%
12	588,45	6,3775	40,0%	38,5%	48,9%
13	594,82	6,3883	43,3%	39,1%	49,6%
14	611,71	6,4163	46,7%	40,7%	51,4%
15	642,93	6,4660	50,0%	43,6%	54,6%
16	699,64	6,5506	53,3%	49,1%	60,0%
17	711,43	6,5673	56,7%	50,2%	61,1%
18	734,05	6,5986	60,0%	52,4%	63,0%
19	736,60	6,6020	63,3%	52,6%	63,2%
20	854,16	6,7501	66,7%	63,6%	71,8%
21	866,91	6,7649	70,0%	64,8%	72,6%
22	867,54	6,7657	73,3%	64,8%	72,7%
23	911,83	6,8155	76,7%	68,7%	75,3%
24	1009,96	6,9177	80,0%	76,5%	80,2%
25	1042,14	6,9490	83,3%	78,9%	81,6%
26	1114,46	7,0161	86,7%	83,5%	84,4%
27	1336,52	7,1978	90,0%	93,5%	90,4%
28	1518,76	7,3256	93,3%	97,4%	93,5%
29	1967,66	7,5846	96,7%	99,9%	97,3%
Media	709,41	6,39			
Desv.Est.	415,18	0,62			
Varianza	172378,39	0,38			
Asimetría	1,16	-0,31			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D9. Caudales de mayo (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



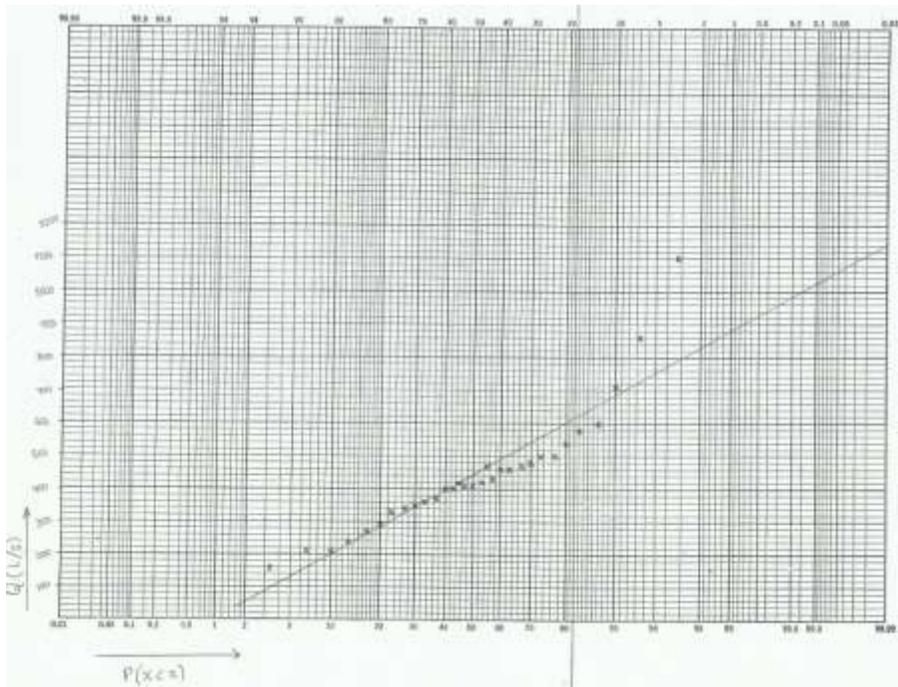
Fuente: elaboración propia.

Figura D10. Caudales de mayo (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D6. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de junio

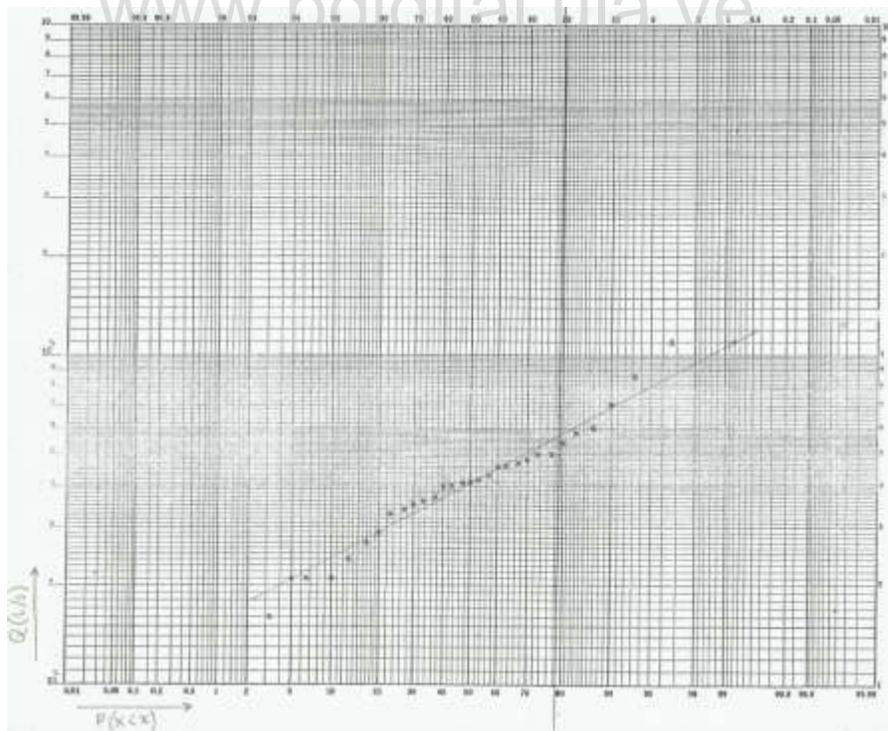
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	158,03	5,0628	3,3%	7,2%	1,1%
2	206,09	5,3283	6,7%	11,2%	5,0%
3	212,87	5,3607	10,0%	11,9%	5,8%
4	243,98	5,4971	13,3%	15,4%	10,7%
5	272,32	5,6070	16,7%	19,1%	16,5%
6	292,03	5,6769	20,0%	21,9%	21,0%
7	328,08	5,7932	23,3%	27,7%	29,9%
8	343,79	5,8400	26,7%	30,5%	33,9%
9	351,18	5,8613	30,0%	31,8%	35,8%
10	357,34	5,8787	33,3%	33,0%	37,4%
11	373,05	5,9217	36,7%	35,9%	41,4%
12	402,63	5,9980	40,0%	41,7%	48,7%
13	403,24	5,9995	43,3%	41,8%	48,8%
14	410,33	6,0170	46,7%	43,2%	50,5%
15	414,95	6,0282	50,0%	44,2%	51,6%
16	419,26	6,0385	53,3%	45,0%	52,6%
17	427,27	6,0574	56,7%	46,7%	54,4%
18	456,54	6,1237	60,0%	52,6%	60,6%
19	458,08	6,1270	63,3%	52,9%	61,0%
20	468,55	6,1496	66,7%	55,0%	63,0%
21	479,64	6,1730	70,0%	57,3%	65,1%
22	495,35	6,2053	73,3%	60,4%	68,0%
23	496,89	6,2084	76,7%	60,7%	68,2%
24	538,17	6,2882	80,0%	68,5%	74,8%
25	584,38	6,3705	83,3%	76,4%	80,7%
26	597,93	6,3935	86,7%	78,5%	82,1%
27	713,76	6,5705	90,0%	91,6%	91,1%
28	862,55	6,7599	93,3%	98,4%	96,4%
29	1099,44	7,0026	96,7%	100,0%	99,2%
Media	443,71	6,01			
Desv.Est.	195,74	0,41			
Varianza	38312,59	0,17			
Asimetría	1,60	0,00			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D11. Caudales de junio (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



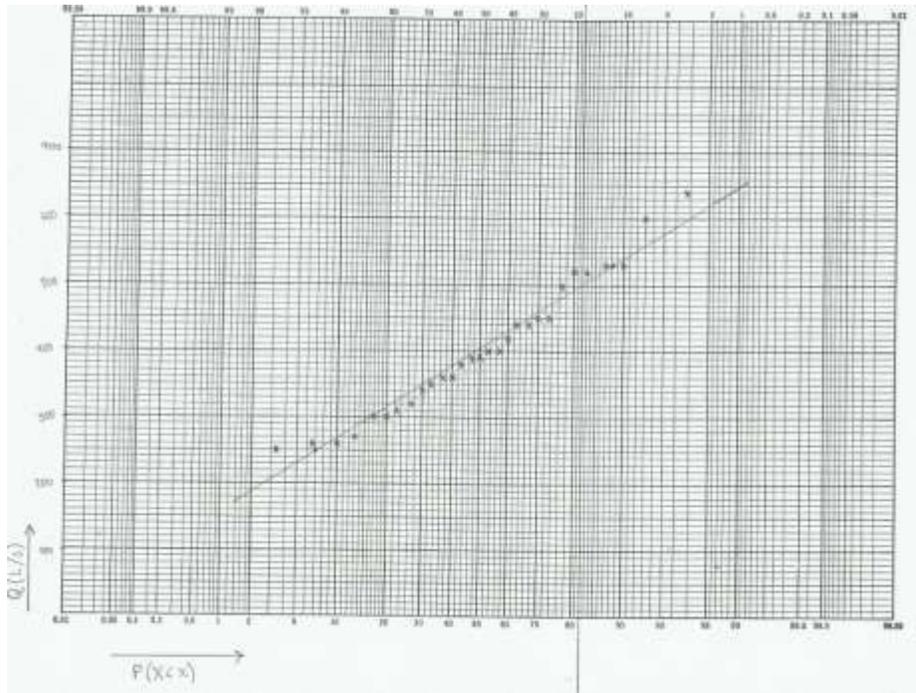
Fuente: elaboración propia.

Figura D12. Caudales de junio (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D7. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de julio

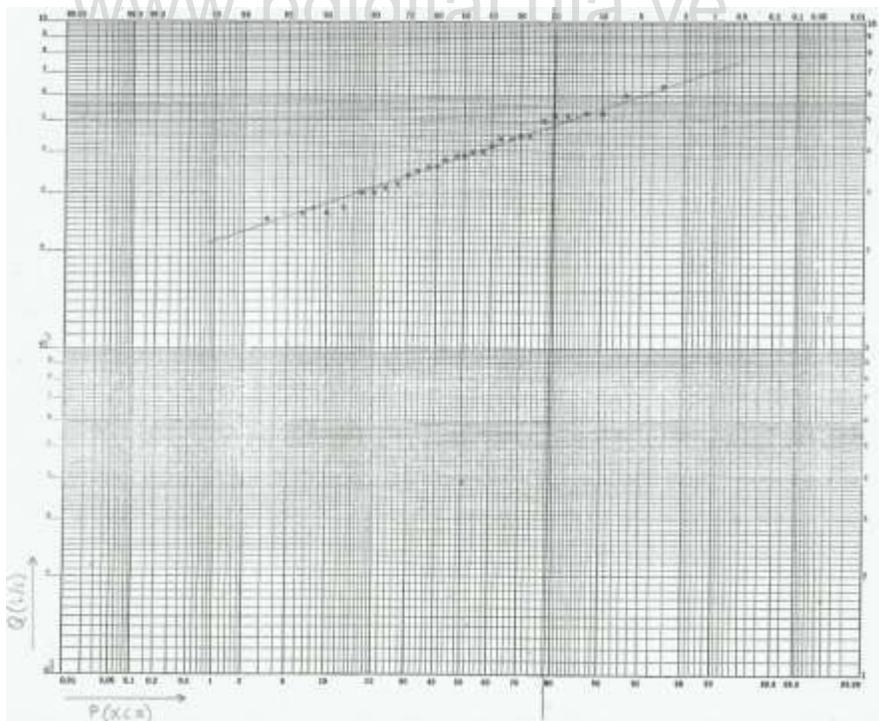
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	249,65	5,5200	3,3%	7,0%	4,2%
2	258,40	5,5545	6,7%	8,2%	5,6%
3	258,72	5,5558	10,0%	8,3%	5,6%
4	270,72	5,6011	13,3%	10,2%	7,9%
5	296,01	5,6904	16,7%	15,2%	14,3%
6	298,60	5,6991	20,0%	15,8%	15,1%
7	308,65	5,7322	23,3%	18,3%	18,3%
8	321,62	5,7734	26,7%	21,7%	22,8%
9	338,80	5,8254	30,0%	26,9%	29,3%
10	349,83	5,8574	33,3%	30,5%	33,7%
11	360,85	5,8885	36,7%	34,3%	38,2%
12	364,74	5,8992	40,0%	35,7%	39,8%
13	378,04	5,9350	43,3%	40,6%	45,2%
14	388,73	5,9629	46,7%	44,6%	49,5%
15	391,33	5,9695	50,0%	45,6%	50,5%
16	396,84	5,9835	53,3%	47,7%	52,6%
17	400,08	5,9917	56,7%	48,9%	53,9%
18	419,86	6,0399	60,0%	56,5%	61,2%
19	443,20	6,0940	63,3%	65,1%	68,9%
20	444,17	6,0962	66,7%	65,5%	69,2%
21	452,60	6,1150	70,0%	68,4%	71,7%
22	454,87	6,1200	73,3%	69,2%	72,4%
23	499,94	6,2145	76,7%	82,5%	83,1%
24	520,04	6,2539	80,0%	87,0%	86,7%
25	521,66	6,2570	83,3%	87,3%	86,9%
26	525,23	6,2638	86,7%	88,0%	87,5%
27	533,66	6,2798	90,0%	89,6%	88,7%
28	595,91	6,3901	93,3%	96,8%	94,9%
29	639,03	6,4599	96,7%	98,8%	97,2%
Media	402,82	5,97			
Desv.Est.	103,97	0,26			
Varianza	10809,49	0,07			
Asimetría	0,44	-0,03			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D13. Caudales de julio (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



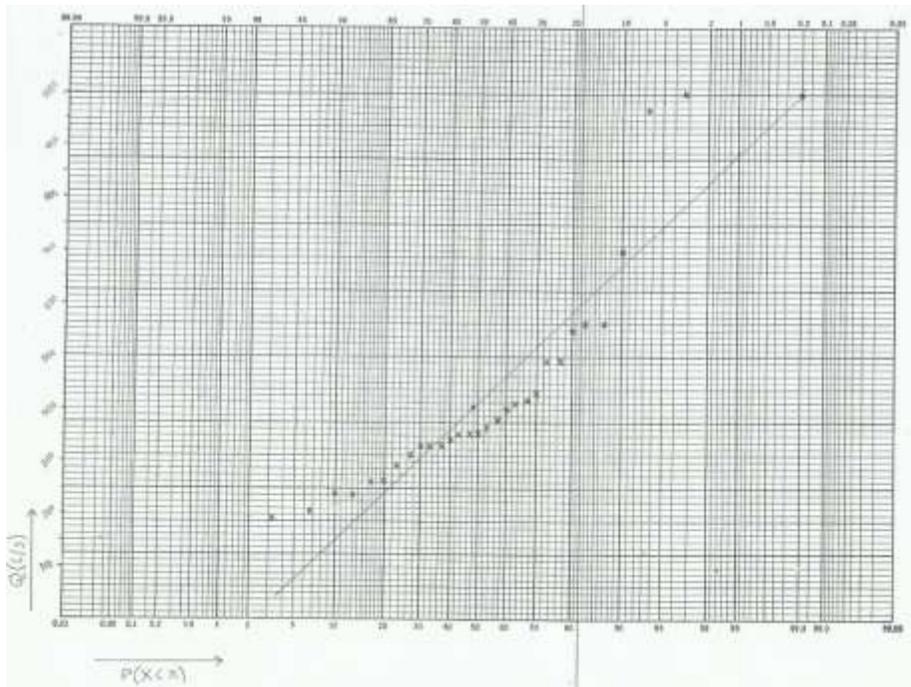
Fuente: elaboración propia.

Figura D14. Caudales de julio (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D8. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de agosto

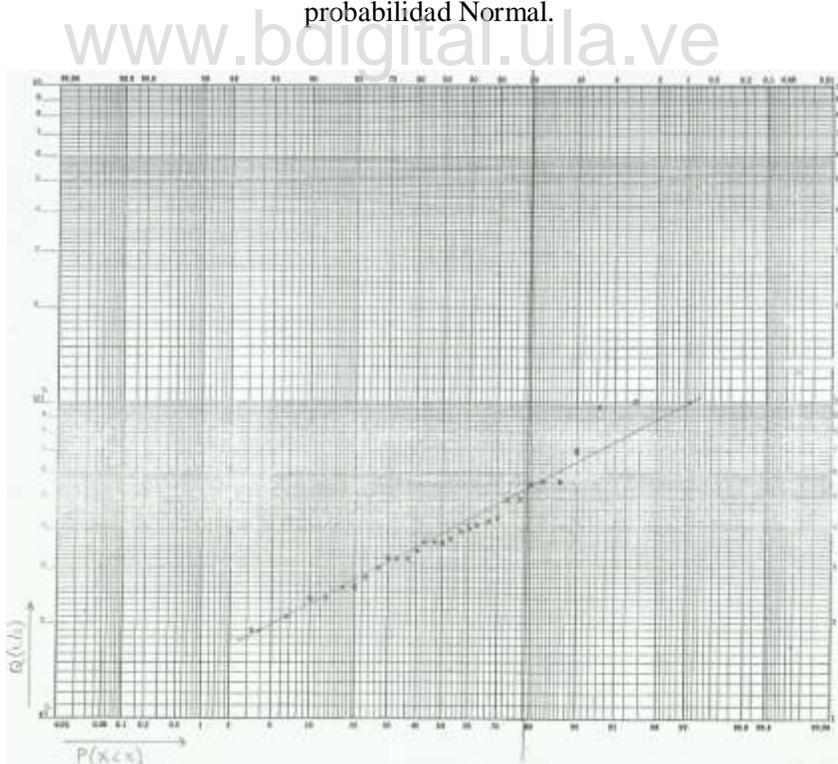
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	186,93	5,2307	3,3%	12,1%	3,9%
2	212,88	5,3607	6,7%	15,0%	7,5%
3	236,05	5,4640	10,0%	17,9%	11,8%
4	242,54	5,4912	13,3%	18,8%	13,2%
5	255,52	5,5433	16,7%	20,6%	16,1%
6	256,44	5,5469	20,0%	20,8%	16,4%
7	275,29	5,6178	23,3%	23,6%	21,0%
8	296,30	5,6914	26,7%	27,1%	26,6%
9	317,93	5,7618	30,0%	30,8%	32,6%
10	320,09	5,7686	33,3%	31,2%	33,2%
11	324,73	5,7830	36,7%	32,1%	34,5%
12	336,16	5,8176	40,0%	34,2%	37,7%
13	358,71	5,8825	43,3%	38,5%	43,9%
14	360,87	5,8885	46,7%	38,9%	44,5%
15	363,35	5,8954	50,0%	39,4%	45,1%
16	367,98	5,9080	53,3%	40,3%	46,4%
17	388,68	5,9628	56,7%	44,4%	51,7%
18	404,75	6,0033	60,0%	47,7%	55,7%
19	406,29	6,0071	63,3%	48,0%	56,1%
20	424,21	6,0502	66,7%	51,6%	60,2%
21	431,63	6,0676	70,0%	53,1%	61,9%
22	485,08	6,1843	73,3%	63,7%	72,2%
23	485,08	6,1843	76,7%	63,7%	72,2%
24	553,98	6,3171	80,0%	75,9%	82,0%
25	556,45	6,3216	83,3%	76,3%	82,3%
26	558,61	6,3255	86,7%	76,6%	82,5%
27	699,19	6,5499	90,0%	92,5%	93,2%
28	966,45	6,8736	93,3%	99,7%	98,9%
29	997,66	6,9054	96,7%	99,8%	99,1%
Media	416,20	5,9450			
Desv.Est.	196,21	0,41			
Varianza	38496,86	0,17			
Asimetría	1,76	0,65			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D15. Caudales de agosto (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



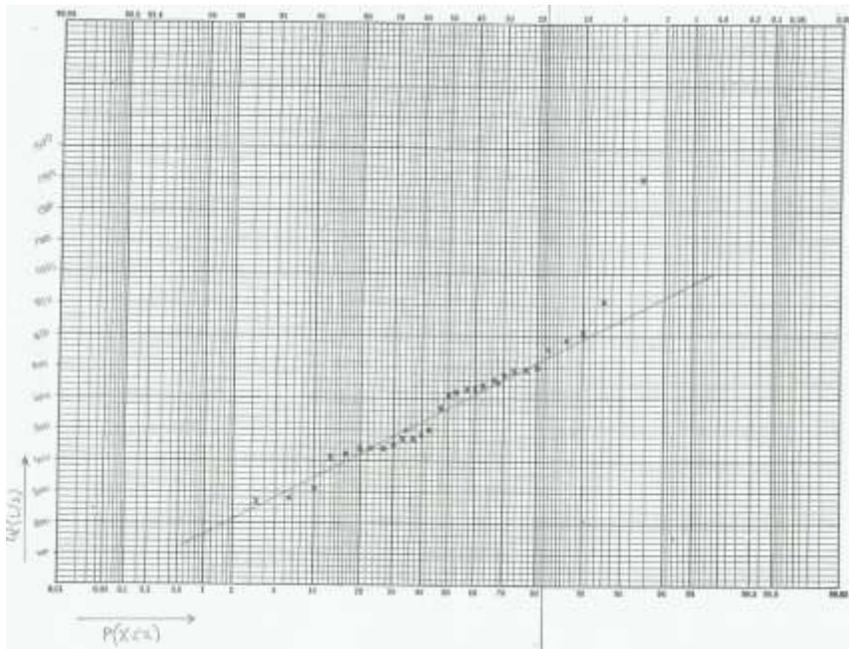
Fuente: elaboración propia.

Figura D16. Caudales de agosto (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D9. Probabilidad empírica y teórica para los caudales pseudohistóricos de septiembre

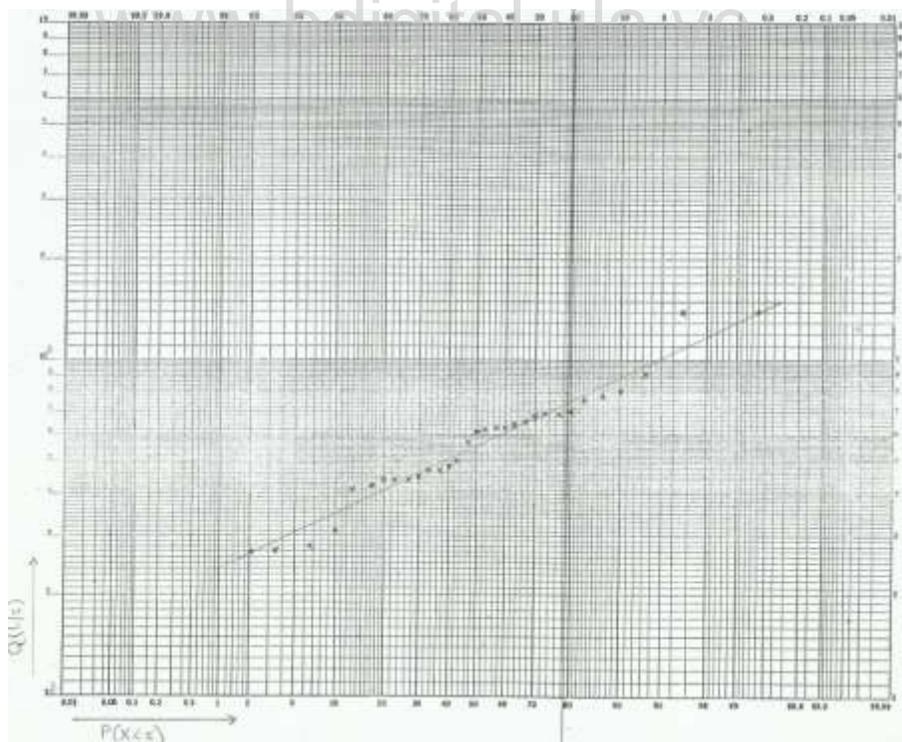
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	269,74	5,5975	3,3%	7,1%	2,1%
2	281,10	5,6387	6,7%	7,9%	2,7%
3	306,57	5,7254	10,0%	9,7%	4,6%
4	406,61	6,0079	13,3%	20,0%	18,8%
5	424,71	6,0514	16,7%	22,4%	22,3%
6	437,60	6,0813	20,0%	24,2%	24,9%
7	440,98	6,0890	23,3%	24,7%	25,6%
8	444,05	6,0959	26,7%	25,1%	26,3%
9	453,87	6,1178	30,0%	26,6%	28,3%
10	465,22	6,1425	33,3%	28,3%	30,7%
11	466,14	6,1445	36,7%	28,4%	30,9%
12	475,66	6,1647	40,0%	29,9%	32,9%
13	500,82	6,2162	43,3%	34,0%	38,4%
14	572,32	6,3497	46,7%	46,6%	53,2%
15	612,83	6,4181	50,0%	53,9%	60,8%
16	623,88	6,4360	53,3%	55,9%	62,7%
17	632,77	6,4501	56,7%	57,5%	64,2%
18	634,31	6,4525	60,0%	57,8%	64,4%
19	635,84	6,4550	63,3%	58,1%	64,7%
20	663,46	6,4975	66,7%	62,9%	69,0%
21	675,43	6,5154	70,0%	65,0%	70,8%
22	688,32	6,5343	73,3%	67,1%	72,6%
23	691,08	6,5383	76,7%	67,6%	73,0%
24	704,89	6,5580	80,0%	69,8%	74,8%
25	762,28	6,6363	83,3%	78,2%	81,3%
26	794,80	6,6781	86,7%	82,3%	84,3%
27	808,00	6,6946	90,0%	83,9%	85,4%
28	912,03	6,8157	93,3%	92,8%	91,8%
29	1360,37	7,2155	96,7%	100,0%	99,4%
Media	591,23	6,3213			
Desv.Est.	219,29	0,35			
Varianza	48086,26	0,13			
Asimetría	1,46	0,00			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D17. Caudales de septiembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



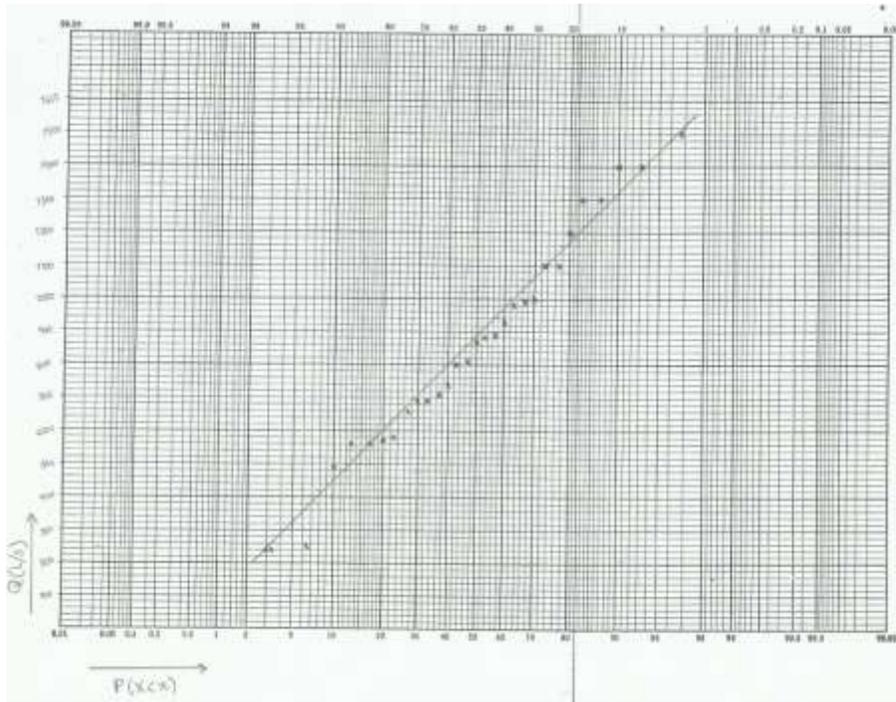
Fuente: elaboración propia.

Figura D18. Caudales de septiembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D10. Probabilidad empírica y teórica para los caudales seudohistóricos de octubre

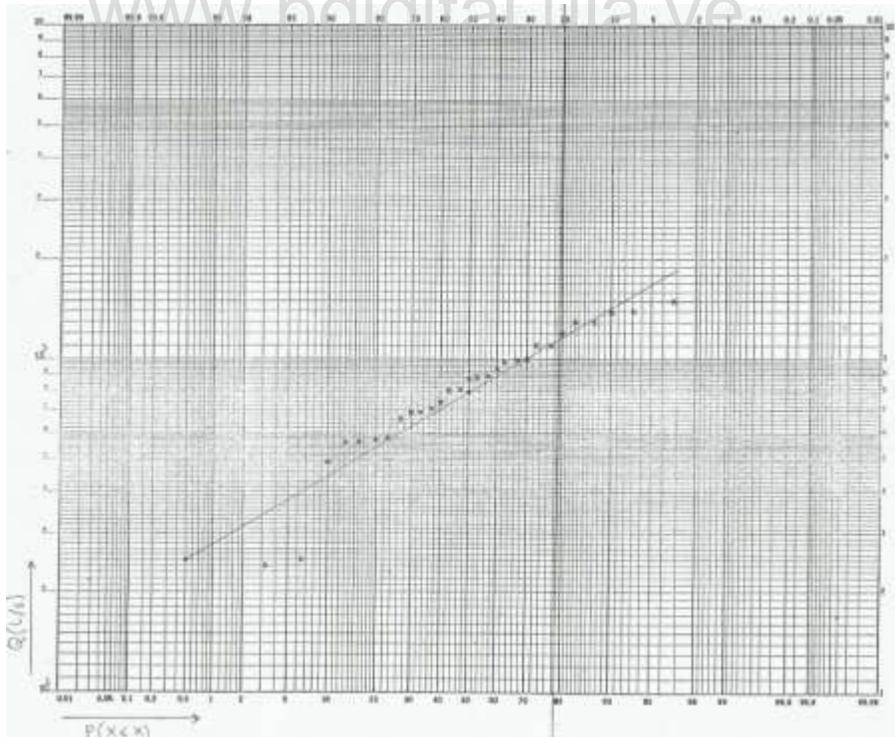
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	239,03	5,4766	3,3%	3,0%	0,4%
2	252,02	5,5295	6,7%	3,3%	0,5%
3	489,81	6,1940	10,0%	12,7%	13,9%
4	558,46	6,3252	13,3%	17,4%	21,3%
5	564,95	6,3367	16,7%	17,9%	22,0%
6	570,83	6,3471	20,0%	18,4%	22,7%
7	581,96	6,3664	23,3%	19,3%	24,0%
8	656,79	6,4874	26,7%	25,9%	33,0%
9	686,47	6,5316	30,0%	28,8%	36,6%
10	692,97	6,5410	33,3%	29,5%	37,3%
11	706,88	6,5609	36,7%	30,9%	39,0%
12	740,28	6,6070	40,0%	34,5%	42,9%
13	803,98	6,6896	43,3%	41,6%	50,1%
14	808,31	6,6949	46,7%	42,1%	50,6%
15	868,92	6,7672	50,0%	49,2%	56,9%
16	883,76	6,7842	53,3%	51,0%	58,4%
17	891,49	6,7929	56,7%	51,9%	59,1%
18	932,62	6,8380	60,0%	56,7%	62,9%
19	978,38	6,8859	63,3%	61,9%	66,8%
20	986,42	6,8941	66,7%	62,8%	67,5%
21	1041,77	6,9487	70,0%	68,8%	71,7%
22	1082,28	6,9868	73,3%	72,9%	74,5%
23	1143,51	7,0419	76,7%	78,6%	78,2%
24	1180,30	7,0735	80,0%	81,6%	80,2%
25	1318,53	7,1843	83,3%	90,5%	86,2%
26	1347,59	7,2061	86,7%	91,8%	87,3%
27	1405,42	7,2481	90,0%	94,1%	89,1%
28	1443,45	7,2748	93,3%	95,3%	90,2%
29	1532,20	7,3345	96,7%	97,4%	92,2%
Media	875,50	6,6879			
Desv.Est.	338,44	0,45			
Varianza	114542,84	0,21			
Asimetría	0,17	-1,04			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D19. Caudales de octubre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



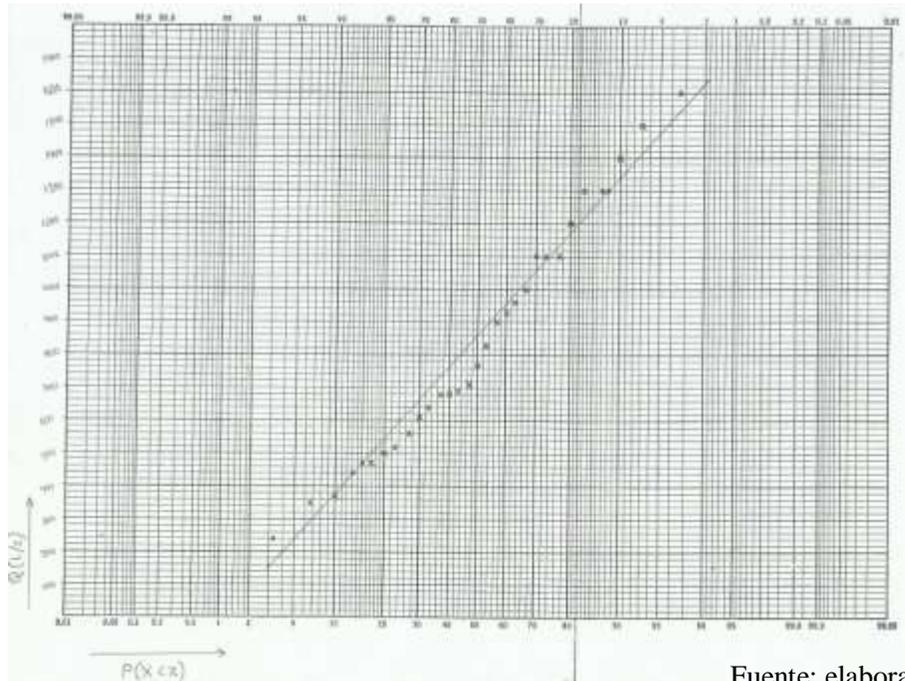
Fuente: elaboración propia.

Figura D20. Caudales de octubre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D11. Probabilidad empírica y teórica para los caudales seudohistóricos de noviembre

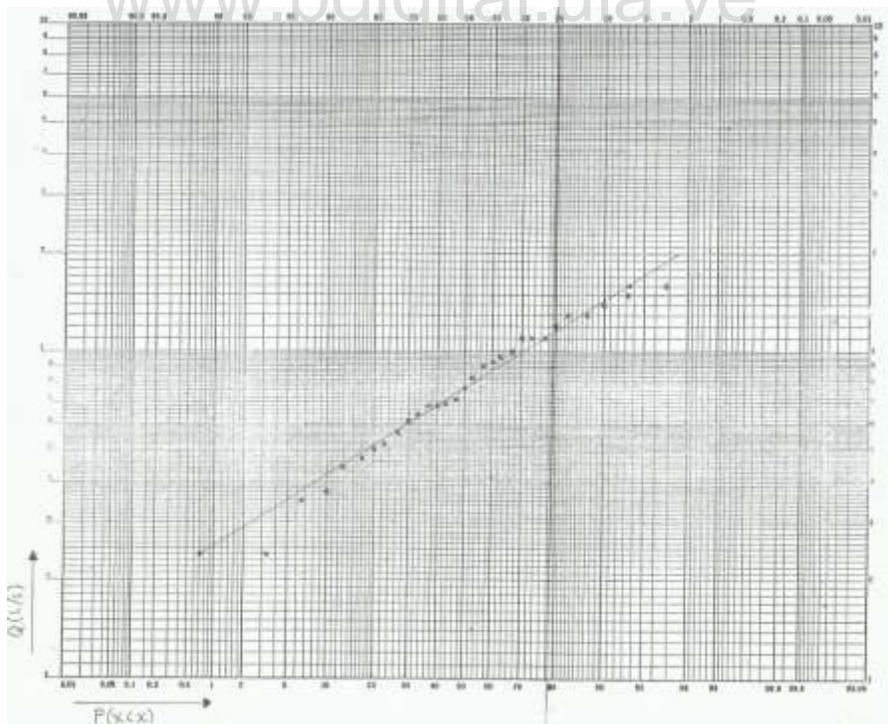
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	240,46	5,4826	3,3%	4,8%	0,7%
2	347,63	5,8512	6,7%	8,6%	4,8%
3	371,38	5,9172	10,0%	9,7%	6,4%
4	442,63	6,0927	13,3%	13,5%	12,5%
5	466,68	6,1456	16,7%	15,0%	15,0%
6	498,44	6,2115	20,0%	17,2%	18,5%
7	519,23	6,2523	23,3%	18,7%	20,9%
8	563,76	6,3346	26,7%	22,2%	26,2%
9	610,96	6,4150	30,0%	26,2%	32,0%
10	639,16	6,4602	33,3%	28,8%	35,5%
11	678,94	6,5205	36,7%	32,7%	40,4%
12	681,91	6,5249	40,0%	33,0%	40,8%
13	693,49	6,5417	43,3%	34,2%	42,2%
14	714,27	6,5713	46,7%	36,3%	44,6%
15	770,08	6,6465	50,0%	42,2%	51,0%
16	826,19	6,7168	53,3%	48,4%	56,9%
17	897,14	6,7992	56,7%	56,2%	63,6%
18	926,53	6,8314	60,0%	59,4%	66,1%
19	957,70	6,8645	63,3%	62,7%	68,6%
20	1038,15	6,9452	66,7%	70,7%	74,4%
21	1076,45	6,9814	70,0%	74,3%	76,8%
22	1080,90	6,9856	73,3%	74,7%	77,1%
23	1091,59	6,9954	76,7%	75,6%	77,7%
24	1235,87	7,1195	80,0%	86,3%	84,8%
25	1264,96	7,1428	83,3%	88,0%	85,9%
26	1268,23	7,1454	86,7%	88,1%	86,0%
27	1414,58	7,2546	90,0%	94,4%	90,5%
28	1512,25	7,3214	93,3%	96,8%	92,7%
29	1555,89	7,3498	96,7%	97,6%	93,5%
Media	840,88	6,6352			
Desv.Est.	361,40	0,47			
Varianza	130608,42	0,22			
Asimetría	0,36	-0,49			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D21. Caudales de noviembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



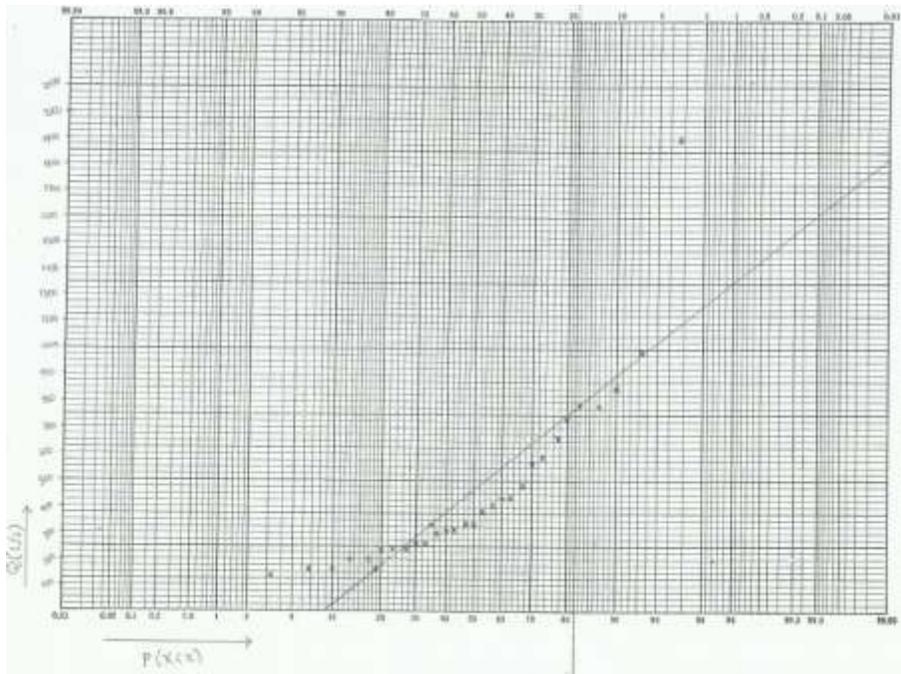
Fuente: elaboración propia.

Figura D22. Caudales de noviembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

Tabla D12. Probabilidad empírica y teórica para los caudales seudohistóricos de diciembre

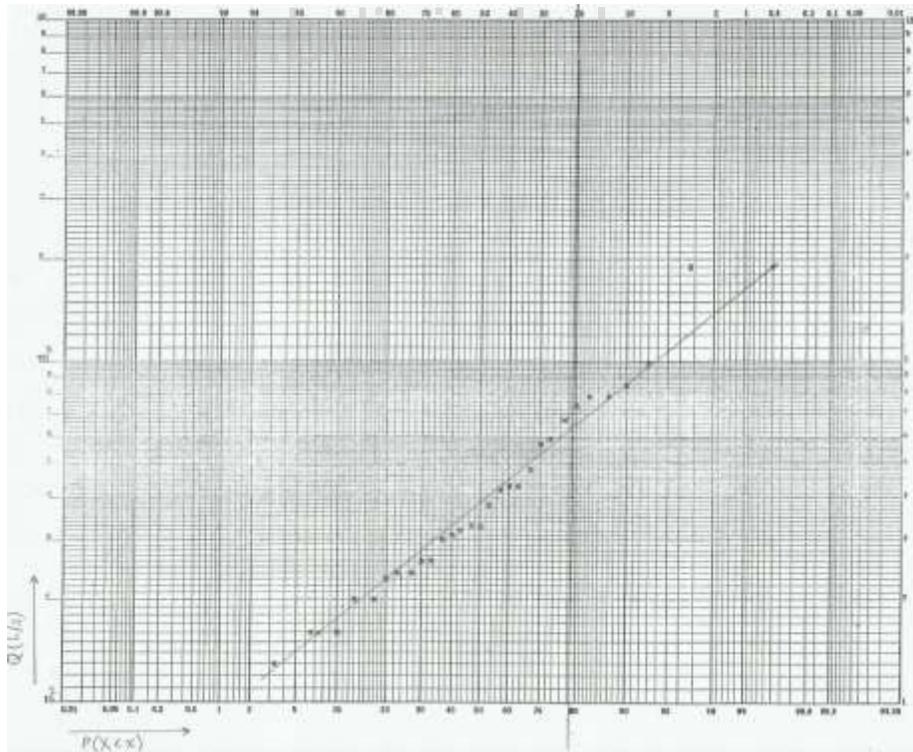
m	Q (L/s)	Ln(Q)	<i>P. Empírica</i>	<i>P. teórica</i>	<i>P. teórica</i>
			<i>Weibull</i>	<i>Normal</i>	<i>LogNormal</i>
			P(X<x)	P(X<x)	P(X<x)
1	134,13	4,8988	3,3%	17,3%	4,6%
2	156,76	5,0547	6,7%	19,0%	7,5%
3	162,84	5,0927	10,0%	19,4%	8,4%
4	200,10	5,2988	13,3%	22,4%	14,8%
5	201,75	5,3070	16,7%	22,5%	15,1%
6	229,35	5,4353	20,0%	24,9%	20,4%
7	239,84	5,4800	23,3%	25,8%	22,5%
8	240,94	5,4846	26,7%	25,9%	22,7%
9	261,92	5,5680	30,0%	27,9%	26,9%
10	263,57	5,5743	33,3%	28,0%	27,2%
11	304,97	5,7202	36,7%	32,0%	35,5%
12	305,80	5,7229	40,0%	32,1%	35,6%
13	316,56	5,7575	43,3%	33,2%	37,7%
14	325,67	5,7859	46,7%	34,1%	39,5%
15	334,50	5,8127	50,0%	35,0%	41,1%
16	378,39	5,9359	53,3%	39,7%	48,9%
17	418,68	6,0371	56,7%	44,1%	55,3%
18	425,03	6,0522	60,0%	44,8%	56,3%
19	433,59	6,0721	63,3%	45,7%	57,5%
20	479,68	6,1731	66,7%	50,8%	63,7%
21	571,31	6,3479	70,0%	60,9%	73,6%
22	588,42	6,3774	73,3%	62,7%	75,1%
23	674,81	6,5144	76,7%	71,4%	81,5%
24	737,46	6,6032	80,0%	77,0%	85,1%
25	788,24	6,6698	83,3%	81,1%	87,4%
26	794,03	6,6771	86,7%	81,5%	87,7%
27	852,55	6,7482	90,0%	85,5%	89,8%
28	988,89	6,8966	93,3%	92,5%	93,4%
29	1889,18	7,5439	96,7%	100,0%	99,5%
Media	472,38	5,9532			
Desv.Est.	358,78	0,63			
Varianza	128723,59	0,39			
Asimetría	2,42	0,49			

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura D23. Caudales de diciembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Normal.



Fuente: elaboración propia.

Figura D24. Caudales de diciembre (L/s) en función de sus probabilidades empíricas. Papel de probabilidad Log-Normal.

APÉNDICE E

Procedimiento para el cálculo de ET_0 por el método FAO Penman-Monteith utilizando cuadros meteorológicos presentados en el Anexo 2 del informe de Allan y otros (2006).

Tabla E1. Planilla de cálculo para ET_0 (primera parte)

Parámetros				
T_{max}		°C		
T_{min}		°C	$T_{media} = (T_{max} + T_{min})/2$	°C
T_{media}		°C	Δ (Cuadro 2.4 del Anexo 2)	kPa °C ⁻¹
Altitud		m	γ (Cuadro 2.2 del Anexo 2)	kPa °C ⁻¹
u_2		M s ⁻¹	$(1 + 0,34 u_2)$	
			$\Delta / [\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)]$	
			$\gamma / [\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)]$	
			$[900 / (T_{media} + 273)] u_2$	
Déficit de presión de vapor				
T_{max}		°C	$e^{\circ}(T_{max})$ (Cuadro 2.3)	kPa
T_{min}		°C	$e^{\circ}(T_{min})$ (Cuadro 2.3)	kPa
Presión de saturación de vapor $e_s = [(e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min}))]/2$				kPa
e_s derivada de la temperatura del punto de rocío:				
T_{rocio}		°C	$e_s = e^{\circ}(T_{rocio})$ (Cuadro 2.3)	kPa
O bien e_s derivada de la humedad relativa máxima y mínima:				
HR_{max}		%	$e^{\circ}(T_{min}) HR_{max}/100$	kPa
HR_{min}		%	$e^{\circ}(T_{max}) HR_{min}/100$	kPa
			e_s : (promedio)	kPa
O bien e_s derivada de la humedad relativa máxima: (recomendada si hay errores en HR_{min})				
HR_{max}		%	$e_s = e^{\circ}(T_{min}) HR_{max}/100$	kPa
O bien e_s derivada de la humedad relativa promedio: (menos recomendada debido a la no linealidad)				
HR_{media}		%	$e_s = e_s HR_{media}/100$	kPa
Déficit de presión de vapor			$(e_s - e_a)$	kPa

Fuente: Allen y otros (2006)

Tabla E2. Planilla de cálculo para ET_o (segunda parte)

Radiación				
Latitud		°		
Día			R _s (Cuadro 2.6)	MJ m ⁻² día ⁻¹
Mes			N (Cuadro 2.7)	Horas
n		horas	n/N	
Si no hay datos disponibles de R _s : R _s = (0,25 + 0,50 n/N) R _o				MJ m ⁻² día ⁻¹
R _o = [0,75 + 2 (Altitud)/ 100 000] R _o				MJ m ⁻² día ⁻¹
R _s / R _o				
R _{so} = 0,77 R _s				MJ m ⁻² día ⁻¹
T _{max}			σ T _{max} ⁴ (Cuadro 2.8)	MJ m ⁻² día ⁻¹
T _{min}			σ T _{min} ⁴ (Cuadro 2.8)	MJ m ⁻² día ⁻¹
(σ T _{max} ⁴ + σ T _{min} ⁴)/2				MJ m ⁻² día ⁻¹
e _s		kPa	(0,34 - 0,14 √e _s)	
R _s /R _o			(1,35 R _s /R _o - 0,35)	
R _{so} = (σ T _{max} ⁴ + σ T _{min} ⁴)/2 (0,34 - 0,14 √e _s) (1,35 R _s /R _o - 0,35)				MJ m ⁻² día ⁻¹
R _{no} = R _{so} - R _{so}				MJ m ⁻² día ⁻¹
T _{max}		°C	G _{max} (asumir)	0 MJ m ⁻² día ⁻¹
T _{max-1}		°C	G _{max} = 0,14 (T _{max} - T _{max-1})	MJ m ⁻² día ⁻¹
R _n - G				MJ m ⁻² día ⁻¹
0,408 (R _n - G)				mm
Evapotranspiración de referencia del pasto				
$\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \right] [0,408 (R_n - G)]$				mm día ⁻¹
$\left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \right] \left[\frac{900}{T + 273} \right] u_2 [(e_s - e_a)]$				mm día ⁻¹
$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$				mm día ⁻¹

Fuente: Allen y otros (2006)

APÉNDICE F

Datos meteorológicos registrados por la estación La Grita (Serial 3109)

Tabla F1. Datos de temperatura máxima media (°C)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1967	21,5	22	21,2	22,6	24,5	22,6	22	23,8	24,4	24,2	22,4	22,2	22,8
1968	22,3	22,8	22,6	21,8	23,8	22,7	23,2	23,7	24,4	23,9	23,2	22,5	23,1
1969	22,3	22,3	23,6	24,6	24,8	24,5	24,5	24,2	25,5	23,2	23,2	22,6	23,8
1970	22,8	21,9	23,8	23,7	24,3	23,6	24,0	24,0	23,5	23,2	22,0	21,7	23,2
1971	21,0	21,1	21,0	22,4	23,0	23,5	23,2	23,2	23,9	23,6	22,4	21,5	22,5
1972	20,7	22,6	23,2	22,9	23,9	24,3	23,9	21,4	25,2	24	23,2	22,9	23,2
1973	24,8	23,8	25,2	25,3	25,0	24,1	-	-	-	-	-	-	-
Prom:	22,2	22,4	22,9	23,3	24,2	23,6	23,5	23,4	24,5	23,7	22,7	22,2	

Fuente: MARN (2010)

Tabla F2. Datos de temperatura mínima media (°C)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1967	13,4	12,9	13,3	16,2	16,8	15,7	15,0	15,3	15,5	14,7	13,7	14,2	14,7
1968	13,2	13,9	14,1	15,6	15,7	15,5	15,3	15,2	15,5	15,7	15,3	13,9	14,9
1969	14,0	14,8	16,5	15,4	17,1	16,6	16,0	15,6	14,9	15,3	15,0	14,5	15,5
1970	14,5	14,4	14,9	16,2	15,8	15,8	15,2	15,4	14,8	15,0	14,5	14,5	15,1
1971	14,0	14,4	14,5	14,7	15,6	15,5	15,4	14,5	15,3	15,3	14,8	13,7	25,6
1972	14,1	13,9	14,9	15,2	16,2	16,2	16,1	15,7	16,1	15,8	15,2	14,4	15,3
1973	14,9	14,6	15,9	16,2	15,9	15,9	-	-	-	-	-	-	-
Prom	14,0	14,1	14,9	15,6	16,2	15,9	15,5	15,3	15,4	15,3	14,8	14,2	

Fuente: MARN (2010)

Tabla F3. Datos de humedad relativa media (%)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1967	75	78	79	82	82	81	80	77	76	81	83	81	80
1968	76	77	77	87	81	84	83	82	81	82	81	80	81
1969	81	83	84	76	82	81	80	80	-	84	83	82	-
1970	82	83	79	82	80	83	81	81	81	84	84	86	82
1971	87	86	88	84	87	82	82	81	84	84	87	85	85
1972	88	83	84	87	88	86	86	84	82	84	83	82	85
Prom:	82	82	82	83	83	83	82	81	81	83	84	83	

Fuente: MARN (2010)

Tabla F4. Datos de velocidad del viento media (km/h)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1967	4,0	5,4	5,0	3,6	4,0	3,6	3,6	4,0	4,3	4,3	3,6	3,6	4,1
1968	4,0	4,0	4,0	2,5	4,0	3,6	2,9	2,5	2,9	2,9	2,5	3,6	3,3
1969	12,2	5,4	6,1	4,3	4,7	4,0	4,3	3,5	6,1	3,2	4,3	4,3	5,2
1970	3,9	3,6	4,3	4,3	3,9	3,2	3,4	3,4	3,6	2,5	2,8	5,1	3,7
1971	5,0	5,4	4,7	5,4	4,7	5,4	4,3	4,7	5,4	5,4	5,4	5,8	5,1
1972	6,8	5,4	5,4	5,4	5,0	5,4	5,4	5,4	6,1	5,4	4,7	5,4	5,5
1973	7,6	6,4	5,8	5,8	5,4	4,7	-	-	-	-	-	-	-
Prom:	6,2	5,1	5,0	4,5	4,5	4,3	4,0	3,9	4,7	4,0	3,9	4,6	

Fuente: MARN (2010)

Tabla F5. Datos de insolación media (horas/dec)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1967	5,5	6,2	5,9	3,2	5,7	3,6	3,8	5,7	5,7	5,4	4,6	5,5	5,1
1968	7,2	7,0	6,0	3,9	6,5	4,2	5,4	5,0	6,1	5,8	5,8	6,3	5,8
1969	5,6	8,7	8,1	4,2	6,3	6,0	4,0	5,6	6,7	5,5	6,4	6,6	6,1
1970	6,3	5,7	7,2	5,1	6,0	5,1	5,3	5,0	5,1	5,5	6,1	6,4	5,7
1971	5,5	5,6	5,2	6,1	4,6	6,2	4,9	6,7	6,2	6,1	5,4	5,7	5,7
1972	4,8	6,7	5,5	4,4	5,8	5,5	5,0	5,6	5,8	6,2	6,0	5,8	5,6
1973	7,6	7,6	6,8	6,7	6,6	4,2	-	-	-	-	-	-	-
Prom:	6,1	6,8	6,4	4,8	5,9	5,0	4,7	5,6	5,9	5,8	5,7	6,1	

Fuente: MARN (2010)

APÉNDICE G

Resultados de la calibración con el modelo SIHIM: Río Grita hasta estación Panamericana.

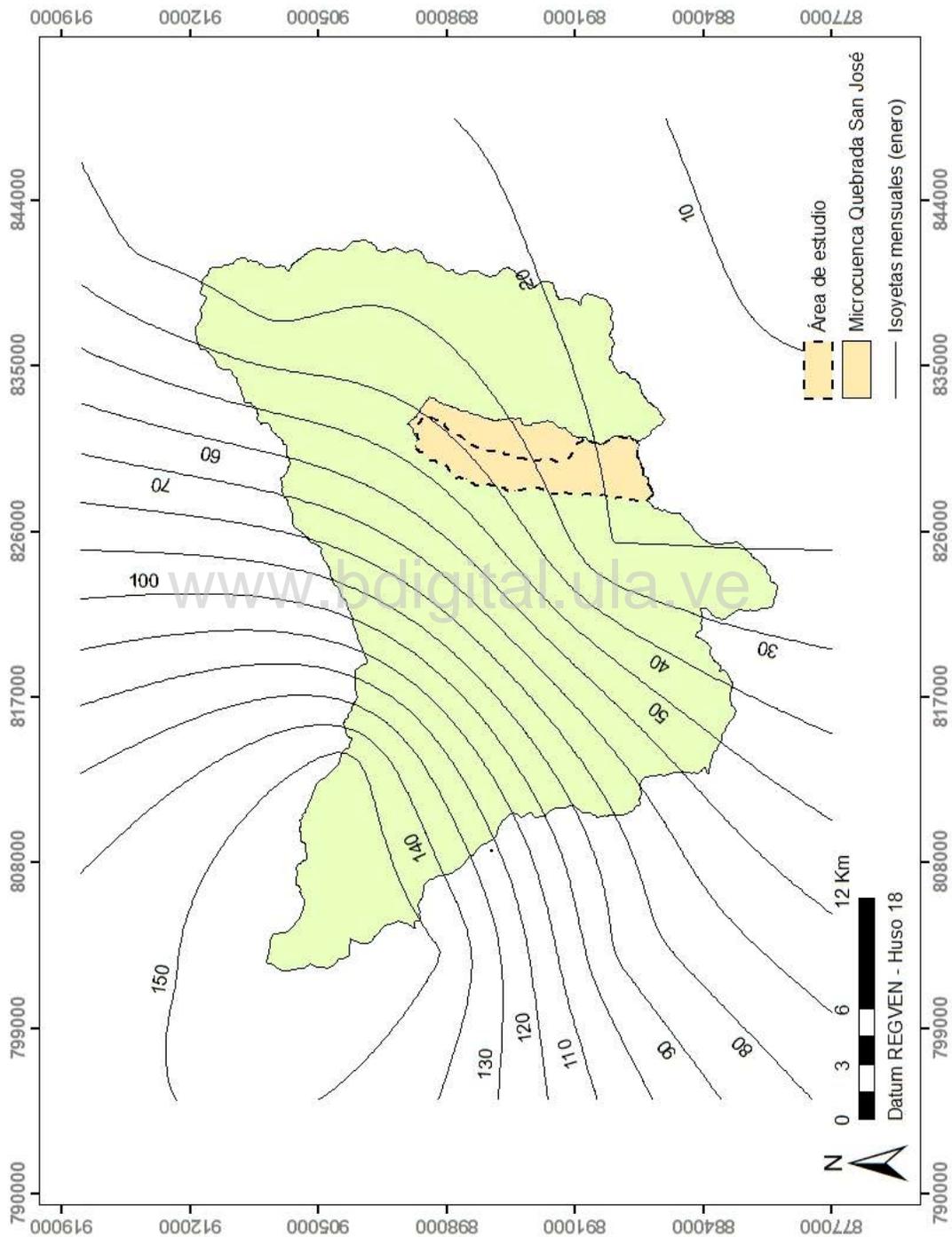
Tabla G1. Caudales observados, simulados y precipitación media sobre la cuenca del río Grita hasta la estación Panamericana

Año	Mes	Qobs (m ³ /s)	Qsim (m ³ /s)	Ppt (mm)	Año	Mes	Qobs (m ³ /s)	Qsim (m ³ /s)	Ppt (mm)
1969	Ene	12,80	11,06	84,4	1972	Ene	37,00	25,89	148,8
	Feb	13,60	17,46	112,5		Feb	31,50	16,79	88,8
	Mar	6,80	9,26	59,4		Mar	24,40	23,45	150,0
	Abr	21,60	37,51	235,4		Abr	59,10	78,52	430,8
	May	13,90	20,18	97,8		May	71,00	47,67	184,2
	Jun	11,90	18,97	114,5		Jun	42,20	19,41	70,0
	Jul	8,50	10,45	66,1		Jul	37,00	12,24	78,1
	Ago	10,10	10,88	85,5		Ago	32,00	10,29	76,0
	Sep	7,30	14,79	108,2		Sep	32,10	9,99	76,5
	Oct	22,40	43,58	266,4		Oct	33,70	18,46	135,5
	Nov	21,10	50,94	248,5		Nov	47,40	20,58	126,8
	Dic	15,80	28,77	123,8		Dic	27,60	11,08	69,6
1970	Ene	10,70	9,94	44,5	1973	Ene	5,10	4,71	13,3
	Feb	13,00	20,11	132,9		Feb	4,80	4,17	41,2
	Mar	10,50	12,41	81,6		Mar	4,30	2,72	33,4
	Abr	5,60	9,30	66,2		Abr	10,40	14,89	139,0
	May	9,50	22,33	158,7		May	5,60	6,90	54,9
	Jun	7,20	16,08	95,6		Jun	8,90	12,11	106,7
	Jul	6,60	16,20	110,7		Jul	8,70	13,70	104,9
	Ago	7,50	13,97	95,2		Ago	9,70	15,70	113,9
	Sep	8,30	20,72	134,8		Sep	34,30	29,72	181,1
	Oct	13,90	31,64	188,7		Oct	34,40	22,86	126,5
	Nov	17,30	34,97	181,6		Nov	71,30	41,63	232,7
	Dic	15,90	20,70	104,1		Dic	37,00	26,72	127,7
1971	Ene	23,90	27,22	162,7	1974	Ene	18,10	21,35	119,8
	Feb	24,90	23,89	120,0		Feb	15,80	20,75	114,3
	Mar	16,70	20,30	122,3		Mar	23,20	29,64	179,4
	Abr	19,90	18,67	111,9		Abr	22,00	25,96	135,9
	May	38,50	34,98	210,3		May	27,50	27,23	155,2
	Jun	27,50	13,87	59,1		Jun	9,20	13,09	67,0
	Jul	21,60	14,03	100,0		Jul	9,20	11,13	81,5
	Ago	26,70	22,63	148,7		Ago	9,90	13,10	99,4
	Sep	34,10	26,33	149,9		Sep	13,90	22,43	145,8
	Oct	38,40	28,10	159,6		Oct	19,80	31,90	187,8
	Nov	30,80	30,22	161,5		Nov	19,30	36,26	188,3
	Dic	33,50	24,45	132,7		Dic	8,10	8,69	22,9

Fuente: elaboración propia

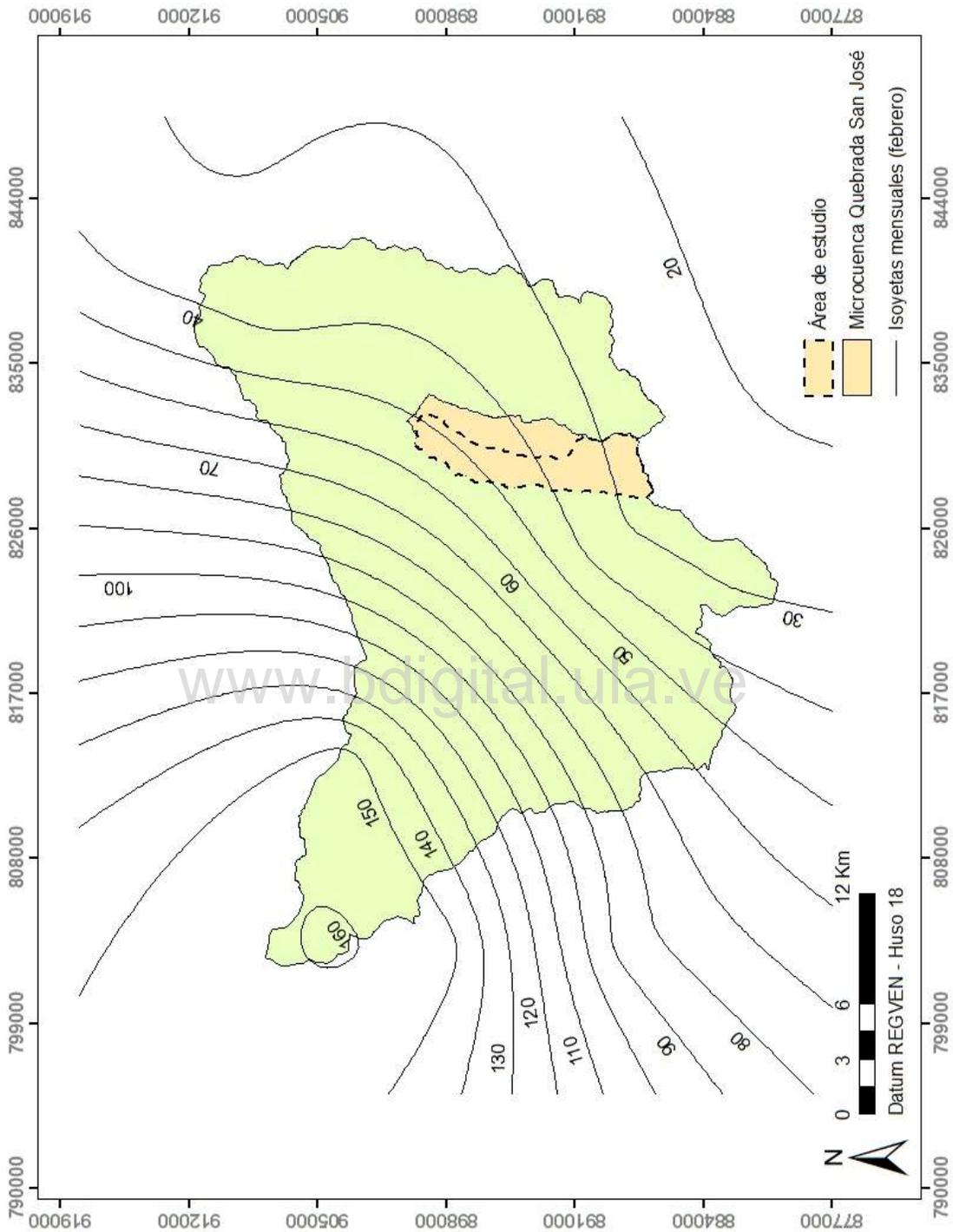
APÉNDICE H

Mapas de isoyetas mensuales de la cuenca del río Grita. Período 1968-1997.



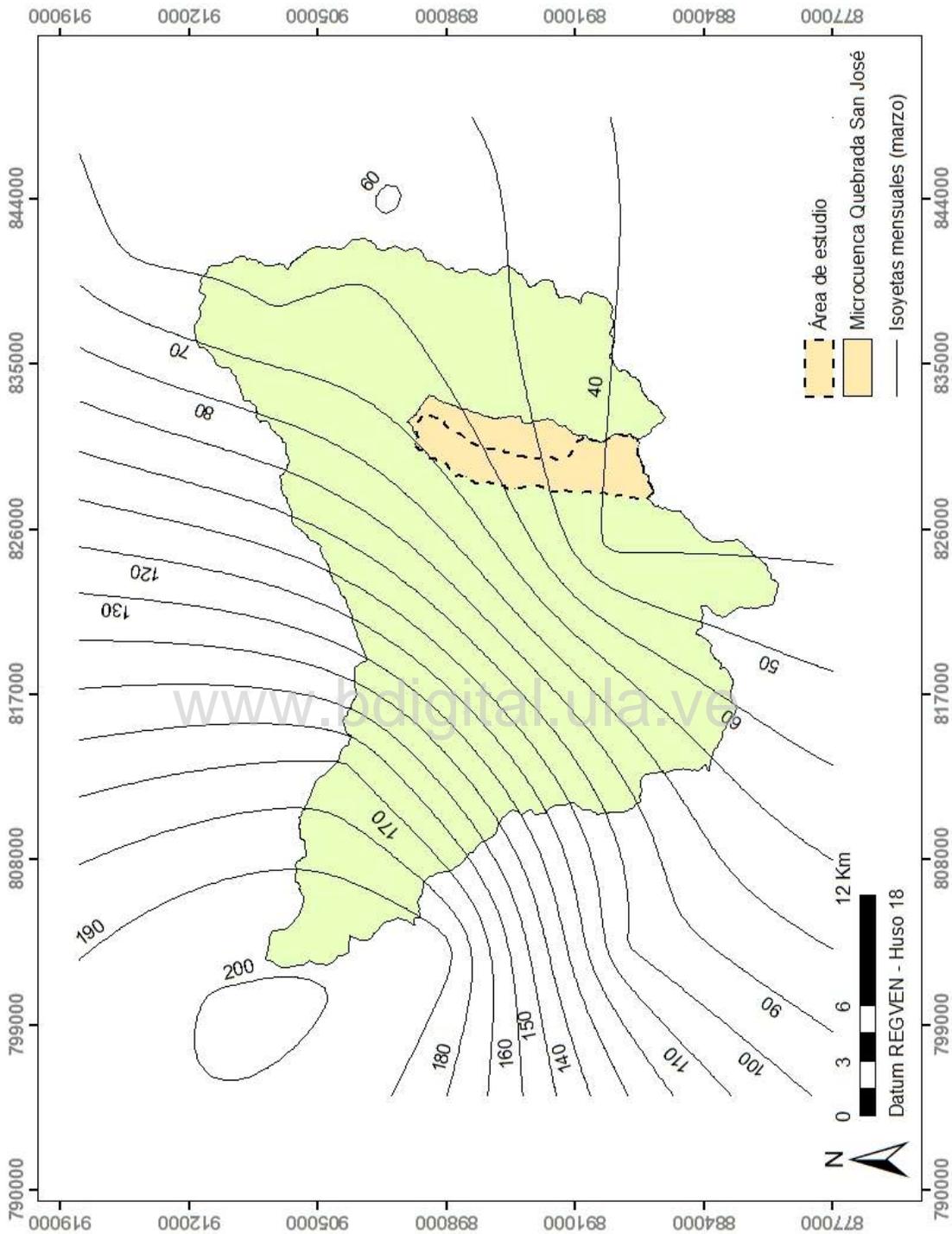
Fuente: elaboración propia.

Figura H1. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de enero.



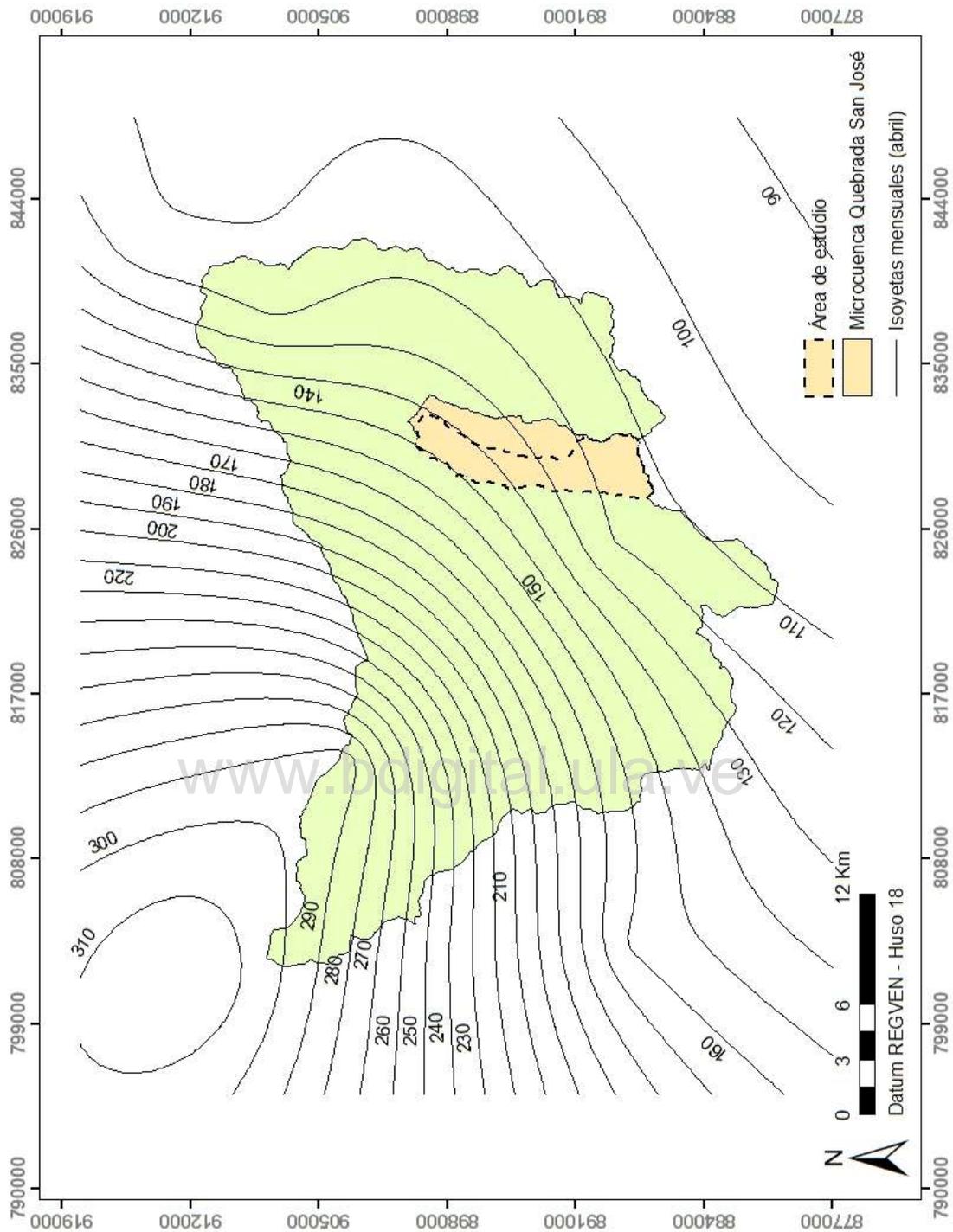
Fuente: elaboración propia.

Figura H2. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de febrero.



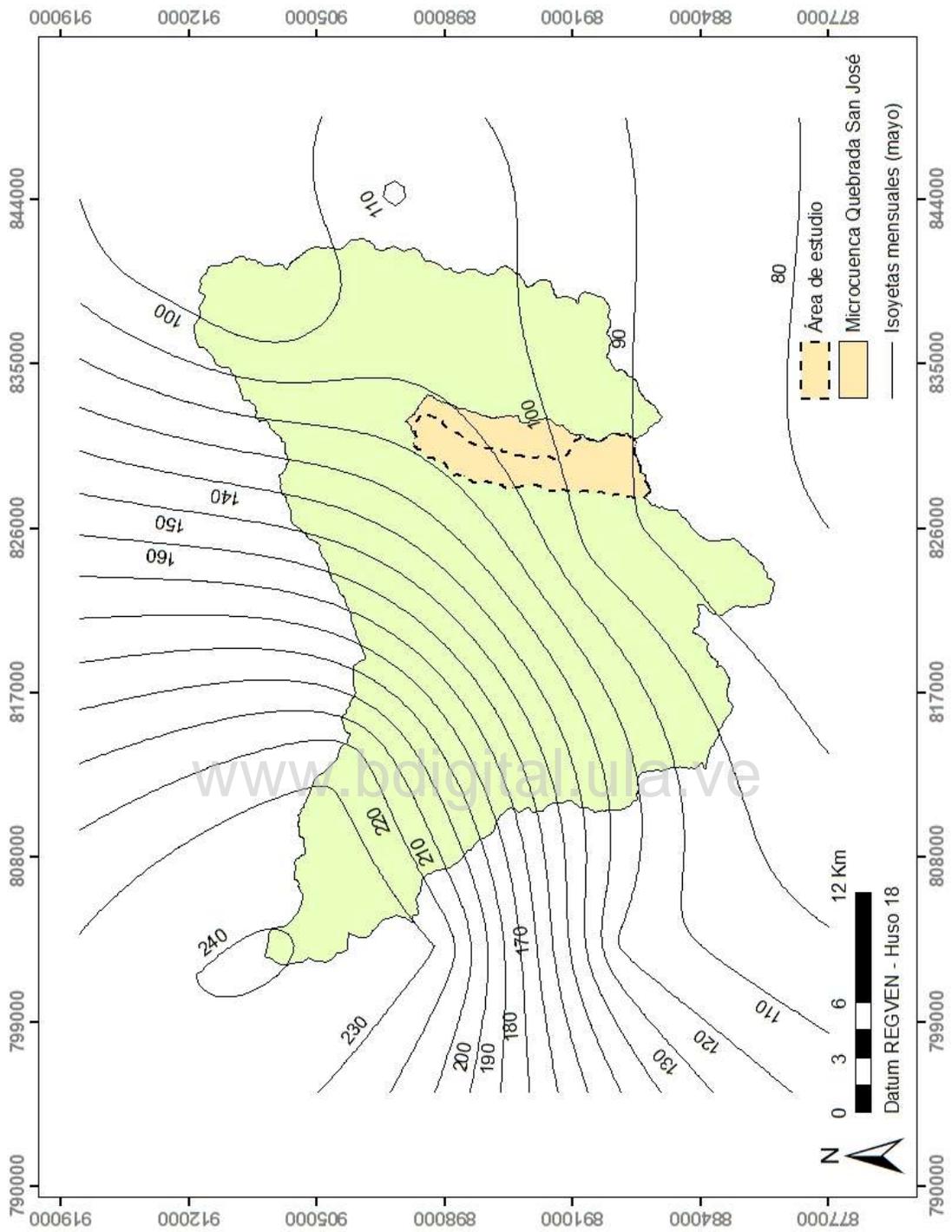
Fuente: elaboración propia.

Figura H3. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de marzo.



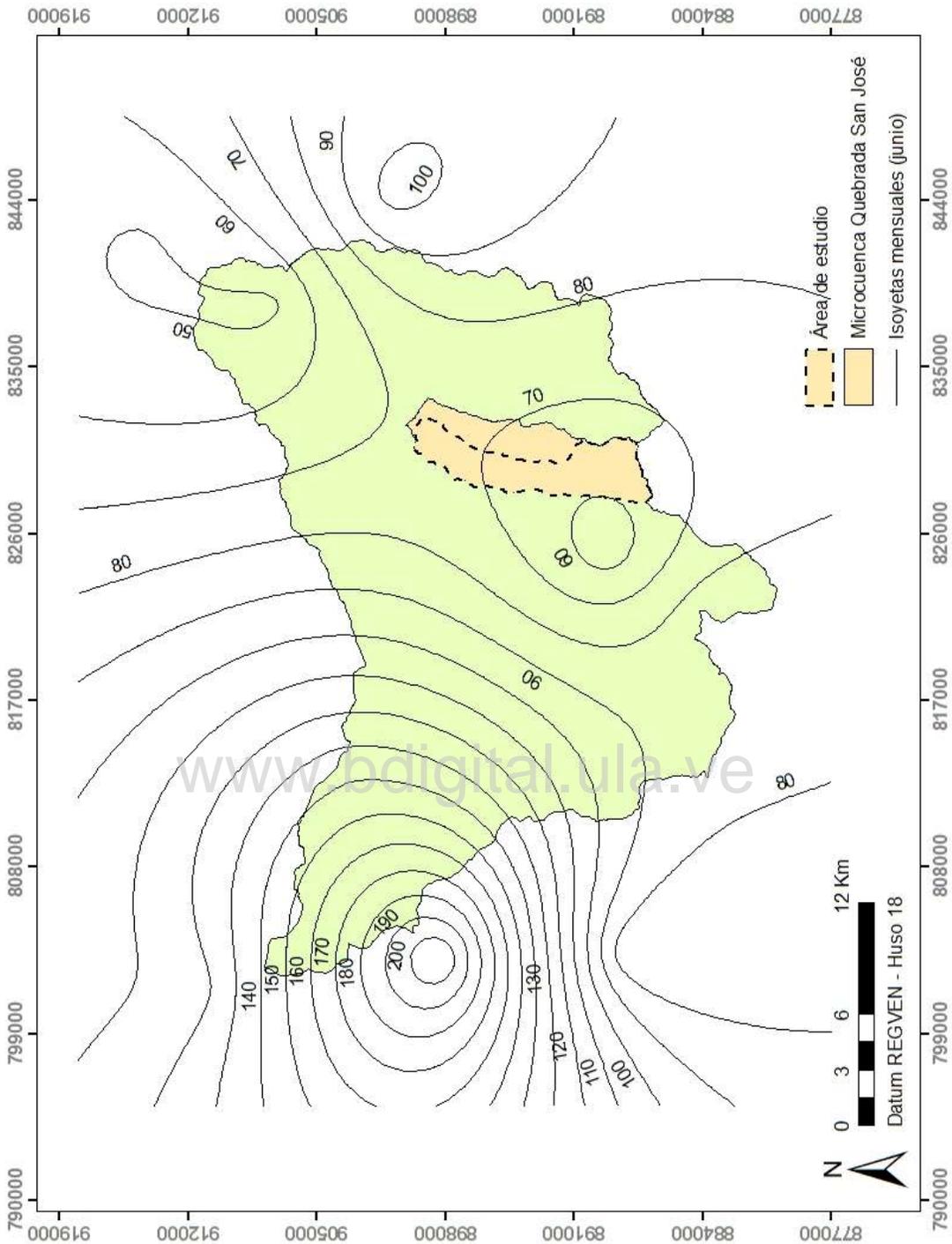
Fuente: elaboración propia.

Figura H4. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de abril.



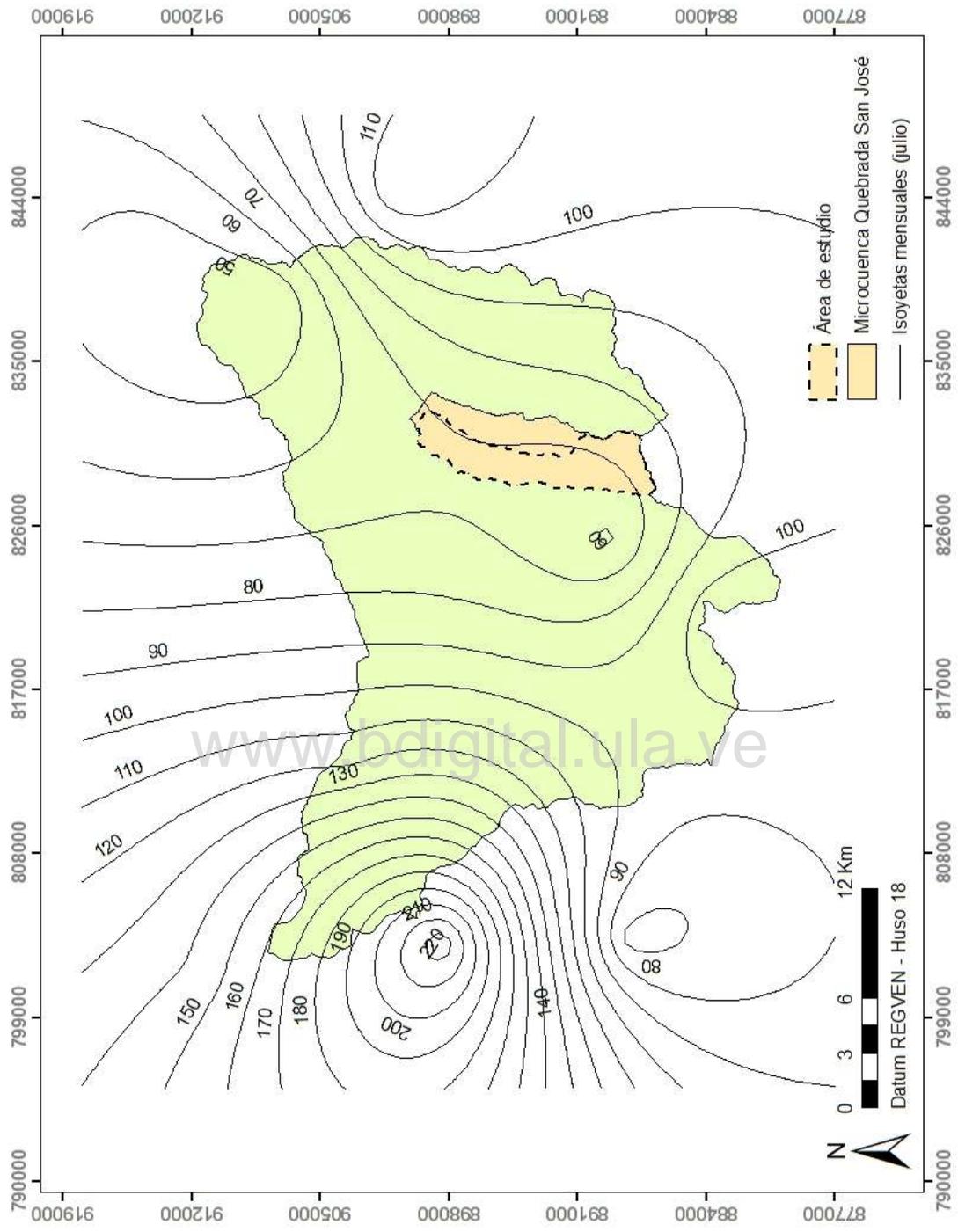
Fuente: elaboración propia.

Figura H5. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de mayo.



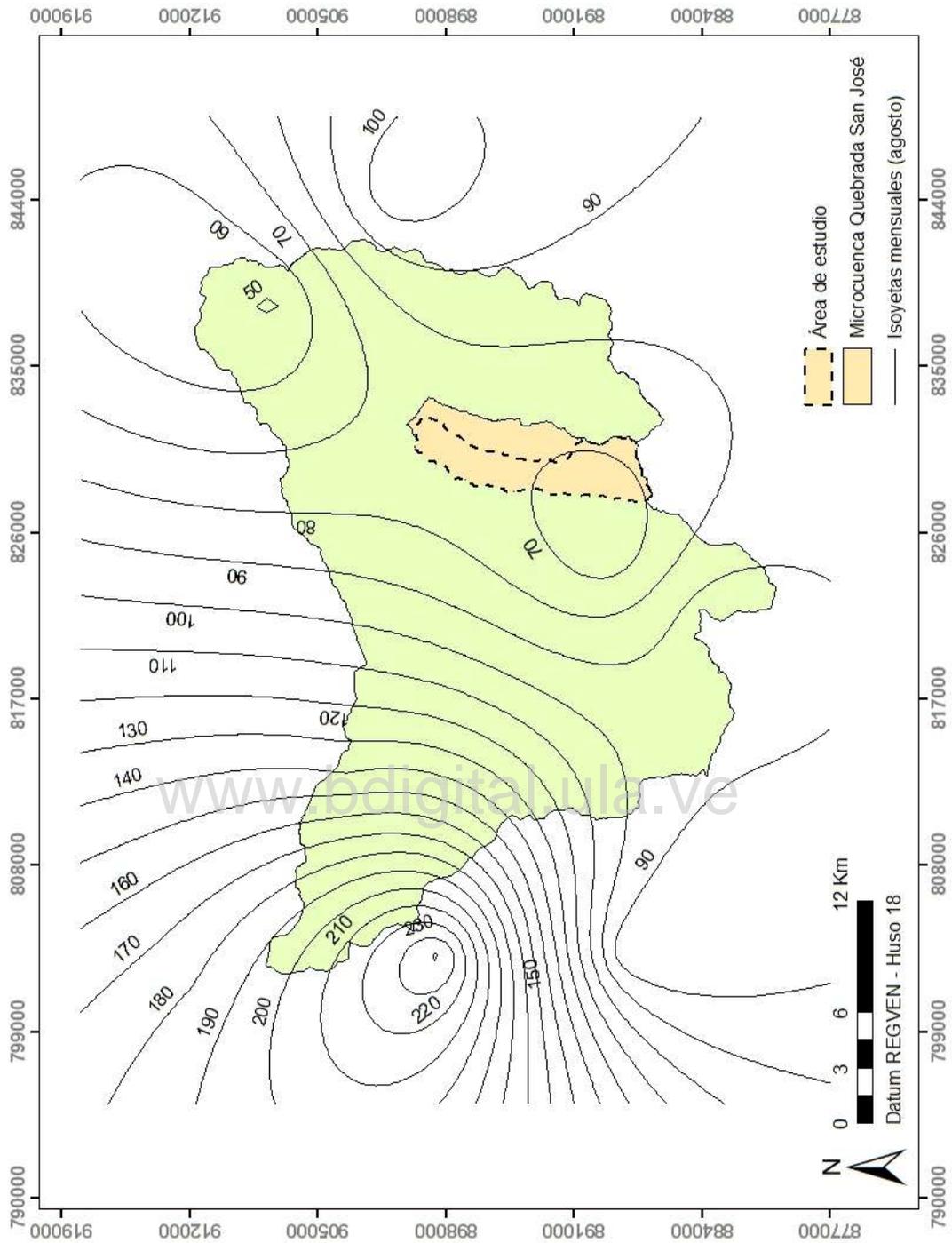
Fuente: elaboración propia.

Figura H6. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de junio.



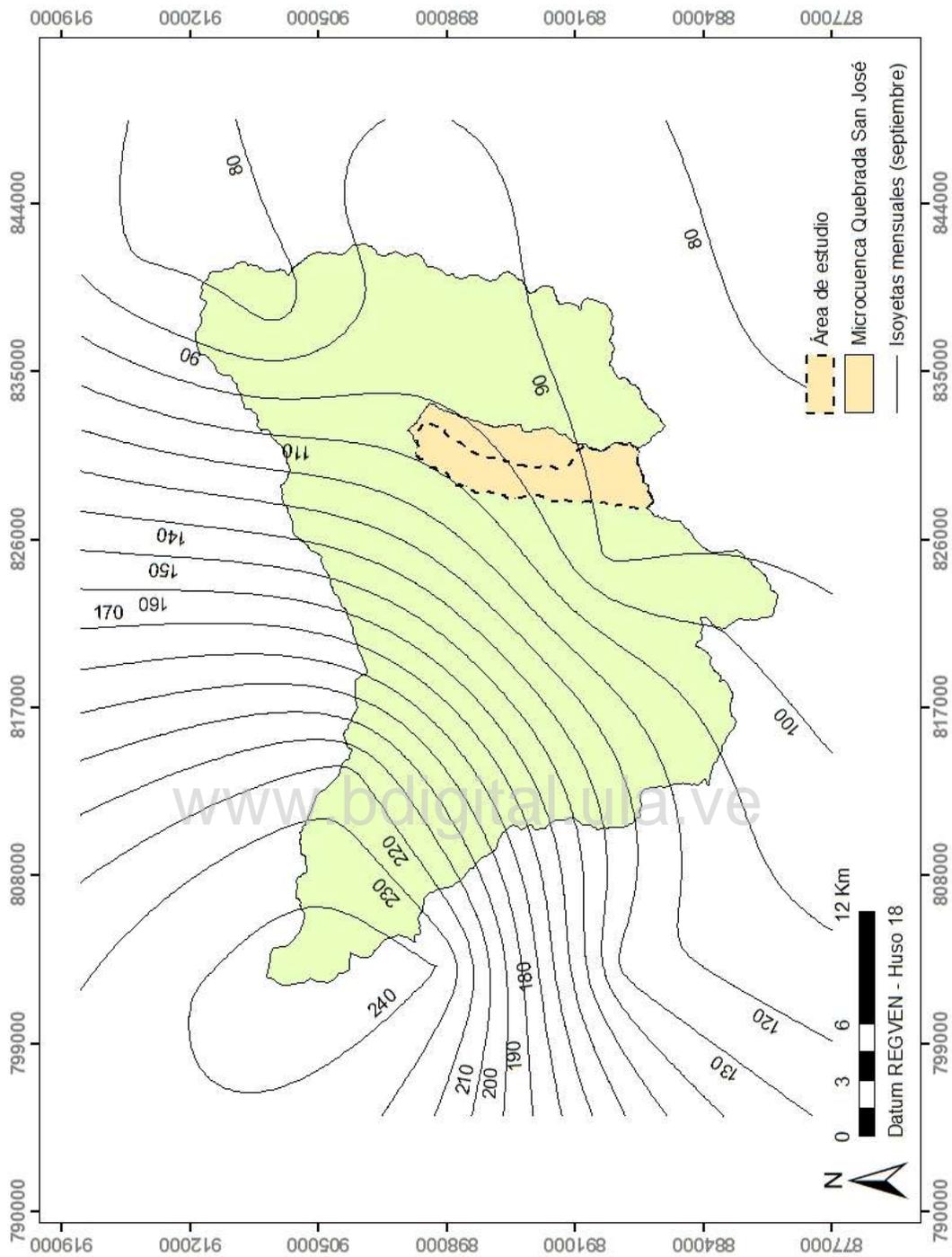
Fuente: elaboración propia.

Figura H7. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de julio.



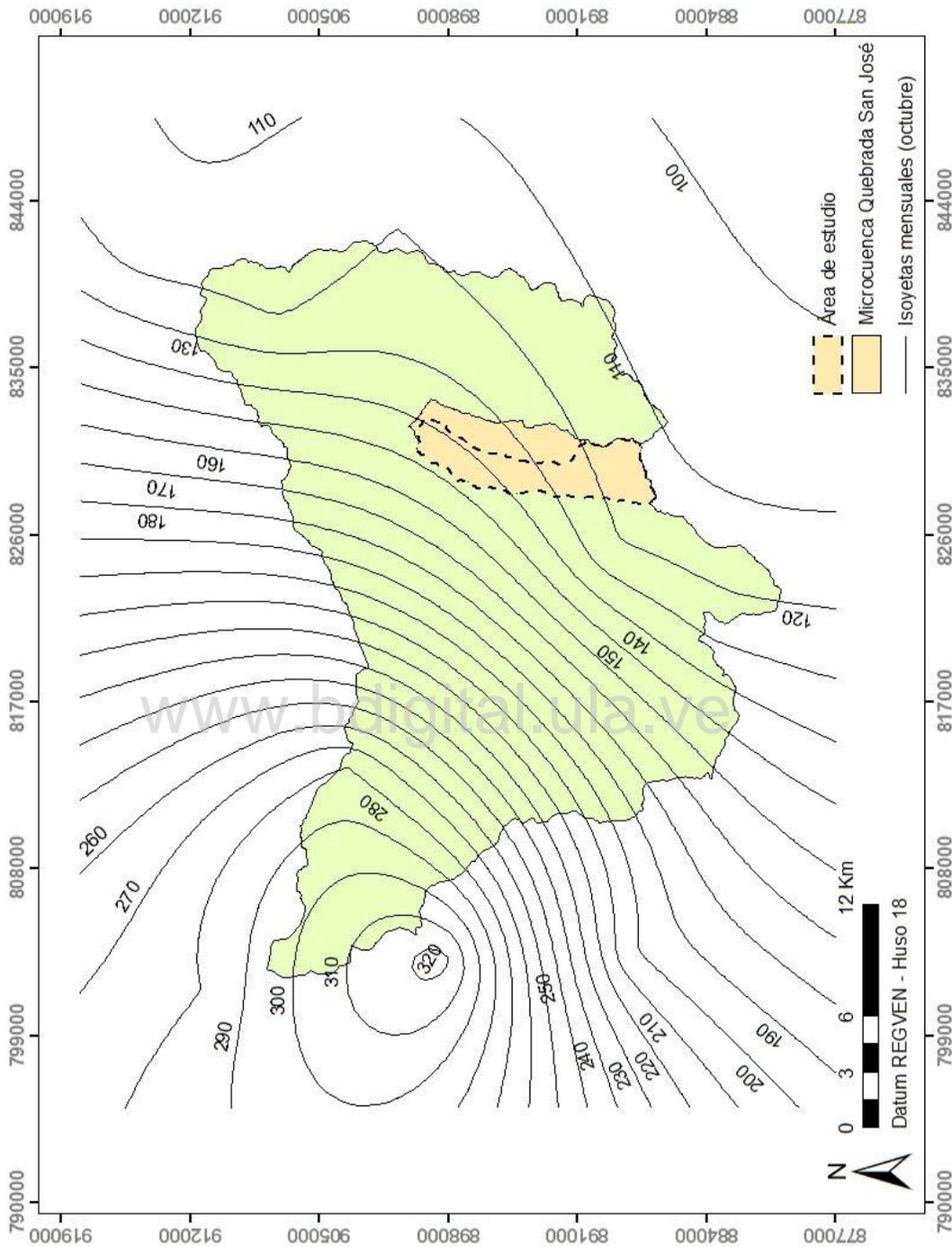
Fuente: elaboración propia.

Figura H8. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de agosto.



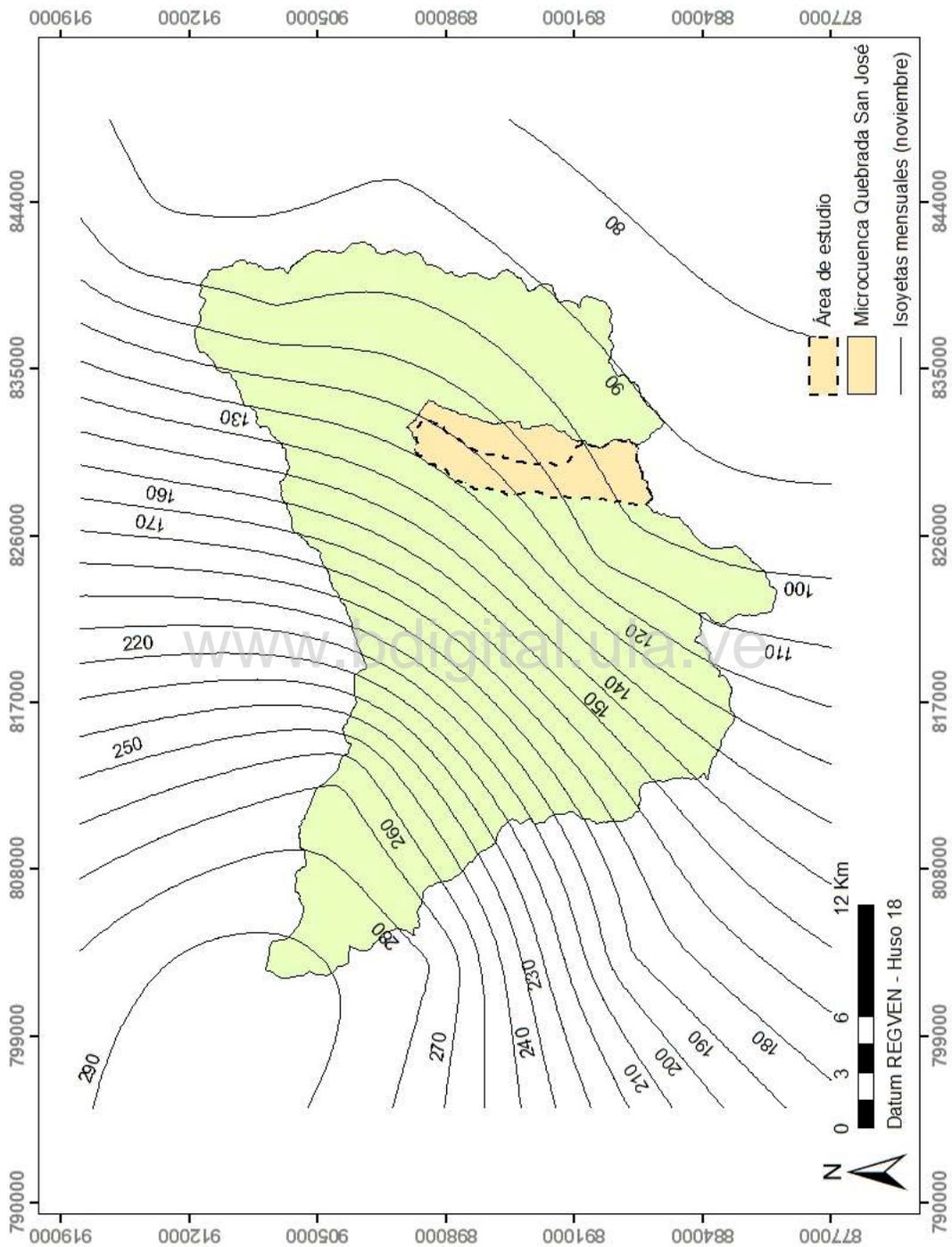
Fuente: elaboración propia.

Figura H9. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de septiembre.



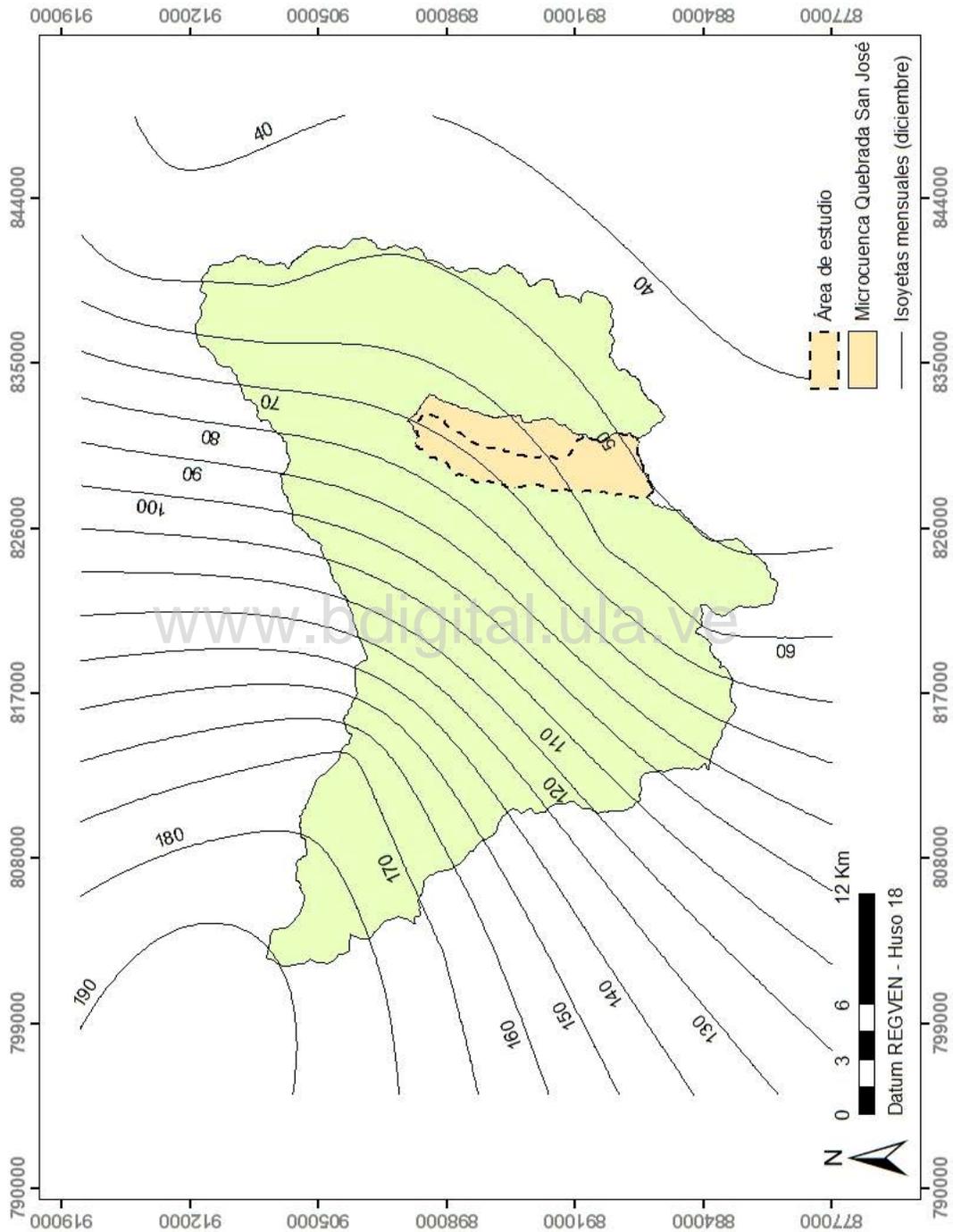
Fuente: elaboración propia.

Figura H10. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de octubre.



Fuente: elaboración propia.

Figura H11. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de noviembre



Fuente: elaboración propia.

Figura H12. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Grita para el mes de diciembre

APÉNDICE I

Requerimientos de riego de los principales cultivos en la microcuenca

Tabla I1. Requerimientos de riego de la papa. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,49	14,9	11	3,9
Ene	2	Inic	0,5	1,51	15,1	7,3	7,8
Ene	3	Des	0,63	1,97	21,6	8,9	12,7
Feb	1	Des	0,9	2,91	29,1	11,1	18,1
Feb	2	Med	1,12	3,74	37,4	12,1	25,4
Feb	3	Med	1,15	3,89	31,1	13,1	18
Mar	1	Med	1,15	3,95	39,5	12,8	26,7
Mar	2	Med	1,15	4	40	13,1	26,9
Mar	3	Fin	1,1	3,74	41,1	20,1	21
Abr	1	Fin	0,98	3,24	32,4	30	2,4
Abr	2	Fin	0,87	2,78	27,8	37,3	0
Abr	3	Fin	0,78	2,55	15,3	20,6	0
Total					345,5	197,4	162,9

Fuente: elaboración propia

Tabla I2. Requerimientos de riego de la papa. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	3	Inic	0,5	1,67	10	14,1	0
Jun	1	Inic	0,5	1,62	16,2	21,8	0
Jun	2	Des	0,54	1,7	17	18,4	0
Jun	3	Des	0,77	2,42	24,2	19,2	5,1
Jul	1	Des	1,03	3,22	32,2	20,4	11,8
Jul	2	Med	1,15	3,57	35,7	20,7	15
Jul	3	Med	1,15	3,66	40,3	20,8	19,5
Ago	1	Med	1,15	3,75	37,5	20,3	17,2
Ago	2	Fin	1,13	3,77	37,7	20,2	17,5
Ago	3	Fin	1,01	3,45	37,9	22,5	15,5
Sep	1	Fin	0,89	3,09	30,9	24,9	6
Sep	2	Fin	0,79	2,78	22,2	21,5	0
Total					341,9	244,7	107,5

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Requerimientos de riego de la cebolla. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,7	2,09	20,9	11	9,9
Ene	2	Des	0,81	2,44	24,4	7,3	17
Ene	3	Med	1	3,12	34,4	8,9	25,5
Feb	1	Med	1,05	3,39	33,9	11,1	22,8
Feb	2	Med	1,05	3,5	35	12,1	22,9
Feb	3	Med	1,05	3,55	28,4	13,1	15,3
Mar	1	Med	1,05	3,6	36	12,8	23,3
Mar	2	Med	1,05	3,66	36,6	13,1	23,4
Mar	3	Fin	1	3,39	37,3	20,1	17,2
Abr	1	Fin	0,89	2,95	29,5	30	0
Abr	2	Fin	0,8	2,54	25,4	37,3	0
				Total	341,6	176,8	177,2

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Requerimientos de riego de la cebolla. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	2	Inic	0,7	2,41	2,4	2,9	2,4
May	3	Des	0,71	2,36	25,9	25,9	0
Jun	1	Des	0,85	2,75	27,5	21,8	5,7
Jun	2	Med	1,02	3,22	32,2	18,4	13,8
Jun	3	Med	1,05	3,29	32,9	19,2	13,8
Jul	1	Med	1,05	3,27	32,7	20,4	12,4
Jul	2	Med	1,05	3,26	32,6	20,7	11,9
Jul	3	Med	1,05	3,34	36,8	20,8	16
Ago	1	Fin	1,04	3,41	34,1	20,3	13,7
Ago	2	Fin	0,97	3,23	32,3	20,2	12,1
Ago	3	Fin	0,86	2,93	32,2	22,5	9,7
Sep	1	Fin	0,78	2,68	16,1	14,9	3,6
				Total	337,6	227,9	115,1

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Requerimientos de riego del maíz. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,3	0,89	8,9	11	0
Ene	2	Inic	0,3	0,91	9,1	7,3	1,7
Ene	3	Des	0,41	1,27	14	8,9	5,1
Feb	1	Des	0,68	2,21	22,1	11,1	11
Feb	2	Des	0,95	3,16	31,6	12,1	19,5
Feb	3	Med	1,17	3,94	31,6	13,1	18,4
Mar	1	Med	1,2	4,12	41,2	12,8	28,4
Mar	2	Med	1,2	4,18	41,8	13,1	28,7
Mar	3	Med	1,2	4,07	44,7	20,1	24,6
Abr	1	Fin	1,13	3,73	37,3	30	7,3
Abr	2	Fin	0,82	2,64	26,4	37,3	0
Abr	3	Fin	0,5	1,63	16,3	34,4	0
				Total	324,8	211,2	144,7

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Requerimientos de riego del maíz. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	3	Inic	0,3	1	2	4,7	2
Jun	1	Inic	0,3	0,97	9,7	21,8	0
Jun	2	Inic	0,3	0,95	9,5	18,4	0
Jun	3	Des	0,45	1,4	14	19,2	0
Jul	1	Des	0,71	2,22	22,2	20,4	1,8
Jul	2	Des	0,97	3,02	30,2	20,7	9,5
Jul	3	Med	1,19	3,77	41,5	20,8	20,7
Ago	1	Med	1,2	3,92	39,2	20,3	18,8
Ago	2	Med	1,2	4,02	40,2	20,2	20
Ago	3	Med	1,2	4,08	44,9	22,5	22,5
Sep	1	Fin	1,02	3,53	35,3	24,9	10,4
Sep	2	Fin	0,69	2,44	24,4	26,8	0
Sep	3	Fin	0,43	1,48	8,9	17,5	0
				Total	321,9	258,1	105,7

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Requerimientos de riego de la zanahoria. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,7	2,09	20,9	11	9,9
Ene	2	Inic	0,7	2,11	21,1	7,3	13,8
Ene	3	Des	0,77	2,4	26,4	8,9	17,5
Feb	1	Des	0,89	2,88	28,8	11,1	17,7
Feb	2	Med	1,01	3,36	33,6	12,1	21,5
Feb	3	Med	1,05	3,55	28,4	13,1	15,3
Mar	1	Med	1,05	3,6	36	12,8	23,3
Mar	2	Med	1,05	3,66	36,6	13,1	23,4
Mar	3	Med	1,05	3,56	39,1	20,1	19,1
Abr	1	Fin	1,02	3,37	33,7	30	3,7
Abr	2	Fin	0,97	3,11	31,1	37,3	0
				Total	335,7	176,8	165,1

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Requerimientos de riego de la zanahoria. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	2	Inic	0,7	2,41	2,4	2,9	2,4
May	3	Inic	0,7	2,34	25,7	25,9	0
Jun	1	Des	0,7	2,28	22,8	21,8	1,1
Jun	2	Des	0,79	2,48	24,8	18,4	6,4
Jun	3	Des	0,9	2,83	28,3	19,2	9,2
Jul	1	Med	1,02	3,17	31,7	20,4	11,3
Jul	2	Med	1,05	3,26	32,6	20,7	11,9
Jul	3	Med	1,05	3,34	36,8	20,8	16
Ago	1	Med	1,05	3,43	34,3	20,3	13,9
Ago	2	Fin	1,05	3,5	35	20,2	14,8
Ago	3	Fin	1	3,42	37,6	22,5	15,2
Sep	1	Fin	0,96	3,33	20	14,9	7,5
				Total	332,1	227,9	109,8

Fuente: elaboración propia

Tabla I9. Requerimientos de riego de la caraota. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,4	1,19	11,9	11	1
Ene	2	Inic	0,4	1,21	12,1	7,3	4,7
Ene	3	Des	0,55	1,72	18,9	8,9	10
Feb	1	Des	0,81	2,62	26,2	11,1	15,2
Feb	2	Med	1,06	3,53	35,3	12,1	23,2
Feb	3	Med	1,15	3,89	31,1	13,1	18
Mar	1	Med	1,15	3,95	39,5	12,8	26,7
Mar	2	Med	1,15	4	40	13,1	26,9
Mar	3	Med	1,15	3,9	42,9	20,1	22,8
Abr	1	Fin	0,98	3,24	32,4	30	2,4
Abr	2	Fin	0,68	2,19	21,9	37,3	0
				Total	312,2	176,8	150,9

Fuente: elaboración propia

Tabla I10. Requerimientos de riego de la caraota. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	2	Inic	0,4	1,37	1,4	2,9	1,4
May	3	Inic	0,4	1,34	14,7	25,9	0
Jun	1	Des	0,41	1,32	13,2	21,8	0
Jun	2	Des	0,59	1,85	18,5	18,4	0,1
Jun	3	Des	0,84	2,63	26,3	19,2	7,1
Jul	1	Med	1,08	3,37	33,7	20,4	13,3
Jul	2	Med	1,15	3,57	35,7	20,7	15
Jul	3	Med	1,15	3,66	40,3	20,8	19,5
Ago	1	Med	1,15	3,75	37,5	20,3	17,2
Ago	2	Fin	1,13	3,79	37,9	20,2	17,7
Ago	3	Fin	0,88	2,99	32,9	22,5	10,5
Sep	1	Fin	0,63	2,16	13	14,9	0,5
				Total	305	227,9	102,3

Fuente: elaboración propia

Tabla I11. Requerimientos de riego de la lechuga. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,7	2,09	20,9	11	9,9
Ene	2	Inic	0,7	2,11	21,1	7,3	13,8
Ene	3	Des	0,72	2,24	24,6	8,9	15,7
Feb	1	Des	0,8	2,58	25,8	11,1	14,7
Feb	2	Des	0,88	2,94	29,4	12,1	17,4
Feb	3	Des	0,96	3,25	26	13,1	12,9
Mar	1	Med	1	3,43	34,3	12,8	21,5
Mar	2	Med	1	3,48	34,8	13,1	21,7
Mar	3	Med	1	3,39	37,3	20,1	17,2
Abr	1	Fin	0,97	3,2	32	30	2
				Total	286,2	139,4	146,8

Fuente: elaboración propia

Tabla I12. Requerimientos de riego de la lechuga. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	1	Inic	0,7	2,35	2,4	3,1	2,4
May	2	Inic	0,7	2,41	24,1	28,9	0
May	3	Inic	0,7	2,34	25,7	25,9	0
Jun	1	Des	0,72	2,35	23,5	21,8	1,7
Jun	2	Des	0,81	2,54	25,4	18,4	7
Jun	3	Des	0,89	2,8	28	19,2	8,8
Jul	1	Med	0,98	3,04	30,4	20,4	10,1
Jul	2	Med	1	3,1	31	20,7	10,3
Jul	3	Med	1	3,18	35	20,8	14,2
Ago	1	Fin	1	3,26	32,6	20,3	12,2
Ago	2	Fin	0,96	3,23	22,6	14,1	2,4
				Total	280,7	213,6	69,2

Fuente: elaboración propia

Tabla I13. Requerimientos de riego de la lechuga. Tercer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Sep	2	Inic	0,7	2,46	9,8	10,7	0
Sep	3	Inic	0,7	2,41	24,1	29,2	0
Oct	1	Inic	0,7	2,35	23,5	32,6	0
Oct	2	Des	0,74	2,42	24,2	35,4	0
Oct	3	Des	0,83	2,63	28,9	33,6	0
Nov	1	Des	0,92	2,82	28,2	32,1	0
Nov	2	Med	0,99	2,94	29,4	31,2	0
Nov	3	Med	1	2,94	29,4	26,9	2,6
Dic	1	Med	1	2,92	29,2	21,9	7,3
Dic	2	Fin	0,99	2,88	28,8	17,8	10,9
Dic	3	Fin	0,96	2,82	14,1	6,8	6,7
				Total	269,7	278,2	27,5

Fuente: elaboración propia

Tabla I14. Requerimientos de riego del cilantro. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,7	2,09	20,9	11	9,9
Ene	2	Des	0,73	2,21	22,1	7,3	14,8
Ene	3	Des	0,89	2,78	30,6	8,9	21,7
Feb	1	Med	1,03	3,34	33,4	11,1	22,3
Feb	2	Med	1,05	3,5	35	12,1	22,9
Feb	3	Fin	1,02	3,44	27,6	13,1	14,4
Mar	1	Fin	0,95	3,26	3,3	1,3	3,3
				Total	172,7	64,8	109,3

Fuente: elaboración propia

Tabla I15. Requerimientos de riego del cilantro. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Abr	1	Inic	0,7	2,31	23,1	30	0
Abr	2	Des	0,73	2,35	23,5	37,3	0
Abr	3	Des	0,88	2,89	28,9	34,4	0
May	1	Med	1,03	3,45	34,5	30,6	3,8
May	2	Med	1,05	3,61	36,1	28,9	7,1
May	3	Fin	1,01	3,39	33,9	23,5	8
				Total	179,9	184,8	19

Fuente: elaboración propia

Tabla I16. Requerimientos de riego del cilantro. Tercer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Jun	3	Inic	0,7	2,19	2,2	1,9	2,2
Jul	1	Inic	0,7	2,18	21,8	20,4	1,4
Jul	2	Des	0,74	2,31	23,1	20,7	2,4
Jul	3	Des	0,91	2,89	31,8	20,8	11
Ago	1	Med	1,04	3,4	34	20,3	13,6
Ago	2	Med	1,05	3,51	35,1	20,2	14,9
Ago	3	Fin	1,01	3,42	27,4	16,3	4,9
				Total	175,4	120,6	50,5

Fuente: elaboración propia

Tabla I17. Requerimientos de riego del cilantro. Cuarto ciclo anual.

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Sep	3	Inic	0,7	2,41	7,2	8,8	7,2
Oct	1	Inic	0,7	2,35	23,5	32,6	0
Oct	2	Des	0,77	2,53	25,3	35,4	0
Oct	3	Des	0,94	2,98	32,8	33,6	0
Nov	1	Med	1,05	3,22	32,2	32,1	0,1
Nov	2	Med	1,05	3,12	31,2	31,2	0
Nov	3	Fin	0,99	2,92	17,5	16,1	4,1
				Total	169,6	189,8	11,4

Fuente: elaboración propia

Tabla I18. Requerimientos de riego de la remolacha. Primer ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,49	14,9	11	3,9
Ene	2	Inic	0,5	1,51	15,1	7,3	7,8
Ene	3	Inic	0,5	1,56	17,2	8,9	8,3
Feb	1	Des	0,55	1,77	17,7	11,1	6,7
Feb	2	Des	0,69	2,28	22,8	12,1	10,8
Feb	3	Des	0,81	2,74	21,9	13,1	8,7
Mar	1	Des	0,93	3,2	32	12,8	19,2
Mar	2	Med	1,04	3,63	36,3	13,1	23,1
Mar	3	Med	1,05	3,56	39,1	20,1	19,1
Abr	1	Med	1,05	3,46	34,6	30	4,6
Abr	2	Fin	1,04	3,34	33,4	37,3	0
Abr	3	Fin	0,98	3,22	32,2	34,4	0
				Total	317,2	211,2	112,2

Fuente: elaboración propia

Tabla I19. Requerimientos de riego de la remolacha. Segundo ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
May	3	Inic	0,5	1,67	3,3	4,7	3,3
Jun	1	Inic	0,5	1,62	16,2	21,8	0
Jun	2	Inic	0,5	1,58	15,8	18,4	0
Jun	3	Inic	0,5	1,57	15,7	19,2	0
Jul	1	Des	0,56	1,75	17,5	20,4	0
Jul	2	Des	0,7	2,17	21,7	20,7	1
Jul	3	Des	0,84	2,69	29,5	20,8	8,8
Ago	1	Des	0,99	3,23	32,3	20,3	11,9
Ago	2	Med	1,05	3,51	35,1	20,2	14,9
Ago	3	Med	1,05	3,57	39,3	22,5	16,9
Sep	1	Med	1,05	3,63	36,3	24,9	11,4
Sep	2	Fin	1,02	3,6	36	26,8	9,2
Sep	3	Fin	0,97	3,33	20	17,5	5,4
				Total	318,7	258,1	82,8

Fuente: elaboración propia

Tabla I20. Requerimientos del apio. Ciclo anual.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,49	14,9	11	3,9
Ene	2	Inic	0,5	1,51	15,1	7,3	7,8
Ene	3	Inic	0,5	1,56	17,2	8,9	8,3
Feb	1	Inic	0,5	1,61	16,1	11,1	5,1
Feb	2	Inic	0,5	1,67	16,7	12,1	4,6
Feb	3	Inic	0,5	1,69	13,5	13,1	0,4
Mar	1	Des	0,5	1,73	17,3	12,8	4,5
Mar	2	Des	0,56	1,97	19,7	13,1	6,5
Mar	3	Des	0,64	2,18	24	20,1	3,9
Abr	1	Des	0,72	2,38	23,8	30	0
Abr	2	Des	0,8	2,56	25,6	37,3	0
Abr	3	Des	0,88	2,87	28,7	34,4	0
May	1	Des	0,95	3,2	32	30,6	1,4
May	2	Des	1,03	3,53	35,3	28,9	6,4
May	3	Med	1,09	3,65	40,2	25,9	14,3
Jun	1	Med	1,1	3,57	35,7	21,8	14
Jun	2	Med	1,1	3,47	34,7	18,4	16,3
Jun	3	Med	1,1	3,45	34,5	19,2	15,3
Jul	1	Med	1,1	3,43	34,3	20,4	13,9
Jul	2	Med	1,1	3,41	34,1	20,7	13,4
Jul	3	Med	1,1	3,5	38,5	20,8	17,7
Ago	1	Med	1,1	3,59	35,9	20,3	15,6
Ago	2	Med	1,1	3,68	36,8	20,2	16,6
Ago	3	Med	1,1	3,74	41,2	22,5	18,7
Sep	1	Med	1,1	3,8	38	24,9	13,2
Sep	2	Fin	1,1	3,85	38,5	26,8	11,6
Sep	3	Fin	1,08	3,72	37,2	29,2	8
Oct	1	Fin	1,07	3,58	35,8	32,6	3,3
Oct	2	Fin	1,05	3,45	34,5	35,4	0
Oct	3	Fin	1,04	3,3	36,3	33,6	2,7
Nov	1	Fin	1,03	3,15	31,5	32,1	0
Nov	2	Fin	1,01	3	30	31,2	0
Nov	3	Fin	1	2,94	29,4	26,9	2,5
Dic	1	Fin	0,98	2,88	28,8	21,9	6,9
Dic	2	Fin	0,97	2,82	28,2	17,8	10,3
Dic	3	Fin	0,96	2,81	30,9	14,9	16
				Total	1065	808,2	283,1

Fuente: elaboración propia