

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO MIRA

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



**FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE
LA CUENCA DEL RÍO MIRA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

DESARROLLO DE LA FASE DE DIAGNOSTICO
Componente Hidrológico



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	9
2	LOCALIZACIÓN.....	10
3	METODOLOGÍA	11
3.1	Análisis y tratamiento hidrométrico.....	11
3.1.1	Porcentaje de vacíos.	11
3.1.2	Consistencia.	11
3.1.3	Detección de datos atípicos.....	12
3.2	Caracterización hidrométrica.....	12
3.2.1	Análisis temporal.	12
3.3	Inventario de infraestructuras hidráulicas.....	12
3.4	Caracterización de cuerpos lénticos.....	13
3.5	Demanda hídrica.	13
3.5.1	Demanda hídrica en el sector doméstico.....	13
3.5.2	Demanda hídrica en el sector pecuario.	15
3.5.3	Demanda hídrica en el sector agrícola.	16
3.5.4	Demanda hídrica en el sector industrial.....	23
3.5.5	Demanda hídrica en el sector servicios.	23
3.5.6	Demanda hídrica en el sector de minería.	23
3.5.7	Demanda hídrica en el sector de hidrocarburos.	24
3.5.8	Demanda hídrica en el sector de generación de energía.	24
3.6	Modelación hidrológica.....	24
3.6.1	Objetivos de la modelación.....	24
3.6.2	Definición de escalas características.....	24
3.6.3	Selección del modelo.....	25
3.6.4	Configuración del modelo.	25
3.6.5	Esquematación.	27
3.6.6	Bases de datos.	31
3.6.7	Evaluación de incertidumbre.....	31
3.6.8	Análisis de sensibilidad.....	32
3.6.9	Criterios de desempeño.....	34
3.6.10	Calibración y validación.	36

3.7	Oferta hídrica	40
3.7.1	Oferta hídrica total.	40
3.7.2	Rendimiento hídrico.....	40
3.7.3	Caudal ambiental.....	40
3.7.4	Oferta hídrica disponible.....	41
3.8	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).	41
3.9	Índice de Variabilidad (IV).	42
3.10	Índice de Uso del Agua (IUA).....	42
3.11	Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).	43
3.12	Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).	44
3.13	Caudales mínimos para diferentes Tr.	45
3.13.1	Distribución Log-Pearson Tipo III.....	45
3.14	Caudales máximos para diferentes Tr.	45
3.14.1	Lluvia de diseño.....	45
3.14.2	Hidrograma unitario de Snyder.....	46
3.14.3	Modelo de tránsito Muskingum.....	46
3.14.4	Método de pérdidas del SCS.....	46
3.14.5	Caudal base.....	46
4	RESULTADOS.....	47
4.1	Análisis y tratamiento hidrométrico.....	47
4.1.1	Porcentaje de vacíos.	47
4.1.2	Consistencia.	48
4.1.3	Detección de datos atípicos.....	49
4.2	Caracterización hidrométrica.....	50
4.2.1	Análisis temporal.	50
4.3	Inventario de infraestructuras hidráulicas.....	53
4.3.1	Acueducto.....	53
4.3.2	Alcantarillado.	55
4.4	Caracterización de cuerpos lénticos.....	55
4.5	Demanda hídrica.....	59
4.5.1	Demanda hídrica en el sector doméstico.....	64
4.5.2	Demanda hídrica en el sector pecuario.	68
4.5.3	Demanda hídrica en el sector agrícola.	72

4.5.4	Demanda hídrica en el sector industrial.....	81
4.5.5	Demanda hídrica en el sector servicios.	81
4.5.6	Demanda hídrica en el sector piscícola.	82
4.6	Modelación hidrológica.....	83
4.6.1	Esquematización.	83
4.6.2	Bases de datos.....	85
4.6.3	Calibración y validación.....	87
4.7	Oferta hídrica	91
4.7.1	Oferta hídrica total.	91
4.7.2	Rendimiento hídrico.....	99
4.7.3	Oferta hídrica disponible.....	101
4.8	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).	107
4.9	Índice de Variabilidad (IV).	110
4.10	Índice de Uso del Agua (IUA).....	111
4.11	Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).	114
4.12	Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).....	116
4.13	Caudales mínimos para diferentes T.	117
4.14	Caudales máximos para diferentes T.	118
4.14.1	Método de pérdidas del SCS.....	120
4.14.2	Modelo de tránsito Muskingum.....	122
4.14.3	Caudal base.....	122
5	BIBLIOGRAFÍA	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona estudiada.	14
Tabla 2. Dotación neta por cabeza según la especie analizada, cría levante y engorde.	16
Tabla 3 Dotación neta máxima requerida por capacidad instalada	23
Tabla 4. Parámetros del método lluvia esorrentía de la humedad del suelo en WEAP.....	34
Tabla 5. Medidas de bondad de ajuste.	36
Tabla 6. Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).	41
Tabla 7. Clasificación del Índice de Variabilidad.	42
Tabla 8. Rangos y categorías índice de uso del agua.....	43
Tabla 9. Rangos y categorías del índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).....	43
Tabla 10. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales	44
Tabla 11. Porcentaje de vacíos de las estaciones hidrométricas aferentes.	47
Tabla 12. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios.	49
Tabla 13. Caudal medio mensual de las estaciones hidrométricas.....	51
Tabla 14. Número de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.	56
Tabla 15. Distribución superficial (ha) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.	57
Tabla 16. Distribución superficial (%) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.	57
Tabla 17. Demanda anual (l/s) sectorial y total a nivel de CH.....	59
Tabla 18. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial a nivel de CH.	60
Tabla 19. Demanda anual (l/s) sectorial y total a nivel de SCH.....	60
Tabla 20. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial y total a nivel de CH y SCH	63
Tabla 21. Resumen de memoria de cálculo de la demanda hídrica domestica a nivel de SHC.....	66
Tabla 22. Demanda hídrica doméstica mensual y anual a nivel de CH y SCH (l/s).	67
Tabla 23. Población pecuaria aferente a los municipios de Barbacoas y Tumaco.....	68
Tabla 24. Demanda hídrica (l/s) por tipo de animal a nivel de SCH.	68
Tabla 25. Demanda hídrica mensual y anual (l/s) a nivel de CH y SCH.	71
Tabla 26. Distribución superficial (ha) de los cultivos por CH y SCH.	72
Tabla 27. Porcentaje de participación y ciclo del cultivo.	73
Tabla 28. Longitudes de siembra y coeficientes de cultivo.	73
Tabla 29. Profundidad radicular y fracción de agotamiento por cultivo.	74
Tabla 30. Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo.....	75
Tabla 31. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente por SCH.....	76
Tabla 32. Demanda hídrica agrícola mensual por tipo de cultivo (m3/mes).....	76

Tabla 33. Distribución porcentual de la demanda hídrica mensual por tipo de cultivo.	77
Tabla 34. Demanda hídrica agrícola anual por tipo de cultivo y SCH (m3/mes). ..	77
Tabla 35. Demanda hídrica mensual y anual a nivel de SCH y CH. (l/s).	80
Tabla 36. Concesión de agua del sector industrial por SCH (l/s).	81
Tabla 37. Demanda hídrica industrial anual por SCH (l/s).	81
Tabla 38. Memoria de cálculos de la demanda hídrica del sector de servicios.	81
Tabla 39. Demanda hídrica de servicios anual por SCH (l/s).	82
Tabla 40. Concesión de agua del sector piscícola por SCH (l/s).	82
Tabla 41. Demanda hídrica piscícola anual por SCH (l/s).	82
Tabla 42. Resultados de las variables de calibración por cobertura vegetal.	87
Tabla 43. Coeficiente de cultivo por cobertura vegetal.	88
Tabla 44. Resultados de los parámetros de bondad de ajuste. Calibración.	89
Tabla 45. Resultados de los parámetros de bondad de ajuste. Validación.	89
Tabla 46. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico normal (l/s).	93
Tabla 47. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico seco (l/s).	95
Tabla 48. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico húmedo (l/s).	97
Tabla 49. Rendimiento hídrico mensual y anual a nivel de CH y SCH (l/s-km ²).	100
Tabla 50. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico normal (l/s).	103
Tabla 51. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico seco (l/s).	104
Tabla 52. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico húmedo (l/s).	105
Tabla 53. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.	108
Tabla 54. Calificativo del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.	109
Tabla 55. Índice de Variabilidad (IV) mensual a nivel de CH y SCH.	110
Tabla 56. Índice de Uso del Agua (IUA) mensual y anual a nivel de CH y SCH.	112
Tabla 57. Calificativo del Índice de Uso del Agua (IUA) mensual y anual a nivel de CH y SCH.	113
Tabla 58. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.	115
Tabla 59. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) anual a nivel de CH y SCH.	116
Tabla 60. Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno a nivel de CH y SCH.	117
Tabla 61. Distribución porcentual de las coberturas vegetales a nivel de CH y SCH.	119
Tabla 62. Número de Curva CN para diferentes coberturas vegetales.	120



Tabla 63. Características físicas asociadas al suelo y número de curva CH Y SCH.	120
Tabla 64. Tiempos de concentración e intervalos de hietograma a nivel de CH y SCH.....	121
Tabla 65. Variables K y X asignadas al modelo de tránsito Muskingum.	122
Tabla 66. Caudal base inicial y constante de recesión estimada a nivel de CH y SCH.	123
Tabla 67. Caudal máximo para diferentes periodos de retorno SCH (m3/s).	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la unidad hidrográfica del río Mira.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 2. Enfoque metodológico de la temática de Hidrología.	11
Figura 3. Esquema conceptual de la distribución homogénea de la población.	14
Figura 4. Coeficiente de cultivo en relación a la etapa de crecimiento.	17
Figura 5. Interacción de desarrollo entre <i>kc Long. Cultvo, Prof. Rad</i>	17
Figura 6. Balance de agua en la zona radicular.	18
Figura 7. Esquema general del contenido de humedad y agotamiento en la zona radicular.....	20
Figura 8. Diagrama conceptual del método de humedad del suelo incorporado en WEAP.....	26
Figura 9. Esquema conceptual de la clasificación y acumulación de la oferta hídrica.	27
Figura 10. Esquema conceptual de la clasificación y acumulación de la demanda hídrica.	29
Figura 11. Esquema del proceso de calibración y validación.	37
Figura 12. Unidad hidrográfica del río Mira (margen izquierda) y las cuencas hidrográficas de calibración y validación.	39
Figura 13. Distribución porcentual de vacíos anual de las estaciones hidrométricas.	48
Figura 14. Curva de masas simple. Estación Quelvi (51027030).....	48
Figura 15. Curva de masas simple. Estación San Juan Mira Aut (51027060).	49
Figura 16. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios. Estación Quelvi (51027030).....	50
Figura 17. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios. Estación San Juan Mira Aut (51027060).....	50
Figura 18. Caudal medio mensual multianual. Estación Quelvi (51027030) 1990-2002.	51
Figura 19. Caudal medio mensual multianual. Estación San Juan Mira Aut (51027060) 1990-2018.....	52
Figura 20. Caudal medio anual. Estación Quelvi (51027030)	52
Figura 21. Caudal medio anual. Estación San Juan Mira Aut (51027060)	52
Figura 22. Número de cuerpos de agua lénticos por CH.	56
Figura 23. Distribución superficial (ha) de cuerpos de agua lénticos por CH.	57
Figura 24. Distribución superficial (%) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.	58
Figura 25. Cuerpos lénticos de agua a nivel de SCH.....	58
Figura 26. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial a nivel de CH.	59
Figura 27. Distribución porcentual de la demanda sectorial mensual y anual a nivel de CH.....	60
Figura 28. Distribución porcentual de la demanda anual sectorial a nivel de CH y SCH.....	62
Figura 29. Distribución espacial de la demanda hídrica total a nivel de SCH.	64

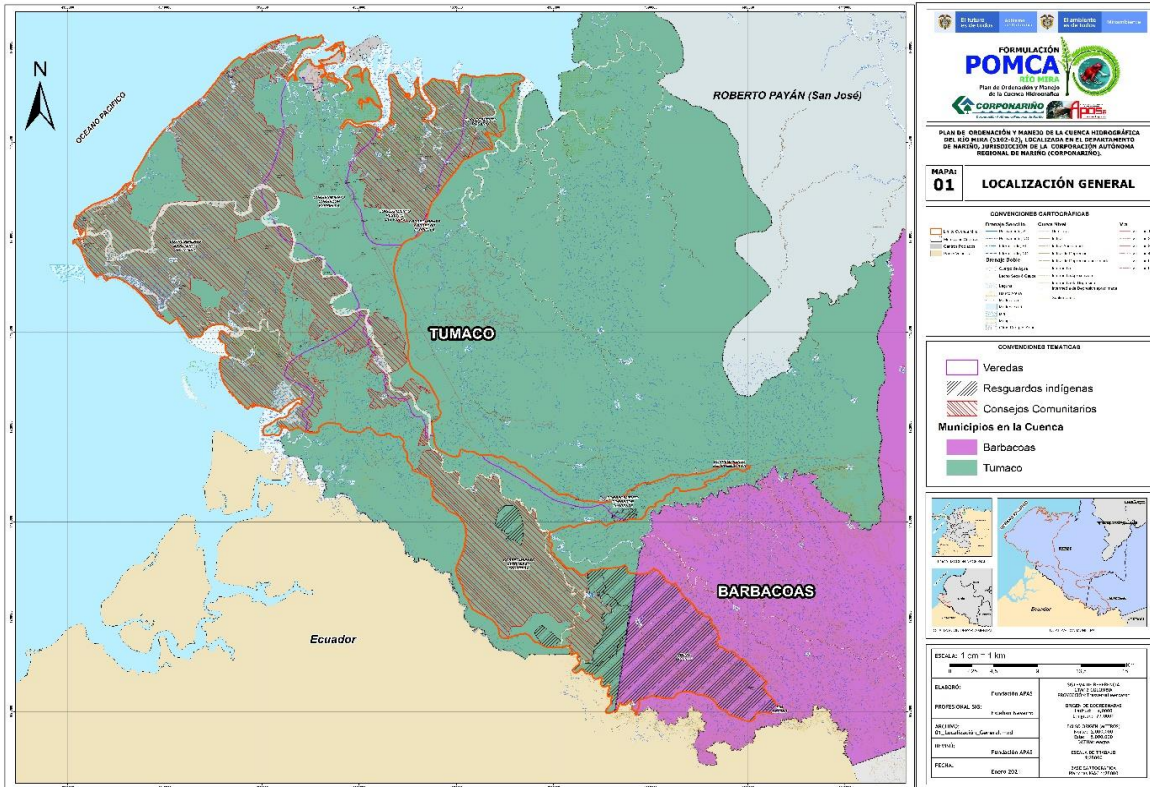
Figura 30. Demanda hídrica domestica a nivel de SCH (l/s).....	65
Figura 31. Distribución porcentual de la demanda hídrica pecuaria a nivel de SCH.	69
Figura 32. Demanda hídrica anual (l/s) a nivel de SCH.	70
Figura 33. Distribución temporal del coeficiente de cultivo.....	74
Figura 34. Distribución temporal de la Profundidad radicular (m).....	75
Figura 35. Demanda hídrica agrícola mensual multianual a nivel de SCH (l/s).....	79
Figura 36. Esquema conceptual del sistema de modelación de la cuenca de calibración.....	84
Figura 37. Esquema conceptual del sistema de modelación de la cuenca del río Mira y SCH.....	85
Figura 38. Distribución temporal de la Precipitación diaria a nivel de SCH y CH (mm).	85
Figura 39. Distribución temporal del Factor de nubosidad diario a nivel de SCH y CH (%).....	86
Figura 40. Distribución temporal de la temperatura media diaria a nivel de SCH y CH (Celsius).....	86
Figura 41. Distribución temporal de la humedad relativa diaria a nivel de SCH y CH (%).....	87
Figura 42. Caudales simulados vs caudales registrados. Periodo de calibración 1991.	89
Figura 43. Caudales simulados vs caudales registrados. Periodo de validación 1997.	89
Figura 44. Oferta hídrica total por SCH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).....	91
Figura 45. Oferta hídrica total por CH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).....	92
Figura 46. Rendimiento hídrico a nivel de CH (l/s–km ²).	99
Figura 47. Oferta hídrica total por CH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).....	101
Figura 48. Oferta hídrica total por SCH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).....	102
Figura 49. Distribución espacial del IRH a nivel de SCH.....	107
Figura 50. Distribución espacial del IUA a nivel de SCH.....	111
Figura 51. Distribución espacial del IVH a nivel de SCH.....	114
Figura 52. Distribución espacial del IVET a nivel de SCH.....	116
Figura 53. Esquema conceptual del modelo de eventos extremos HEC-HMS....	119
Figura 54 Caudal máximo para diferentes periodos de retorno SCH (m ³ /s).....	127
Figura 55. Caudal máximo para diferentes periodos de retorno CH (m ³ /s).	128
Figura 56. Hidrograma de máximos para un periodo de retorno de 100 años SCH (m ³ /s).....	131
Figura 57. Hidrograma de máximos para diferentes periodos de retorno CH (m ³ /s).	131

1 INTRODUCCIÓN

La hidrología establece el comportamiento del sistema hídrico en conjunto con la caracterización climatológica y morfométrica, generando la representatividad de la cuenca objeto de estudio, donde se establece su distribución temporal y espacial de las propiedades del entorno del área hidrográfica. La comprensión de la respuesta hidrológica es transversal al desarrollo y toma de decisiones para la gestión integral del recurso hídrico, y como insumo principal, se incluye la red de estaciones meteorológicas e hidrométricas aferentes, caracterizadas a partir de los estándares de calidad de la información correspondientes, así como los modelos conceptuales y semi físicos validados para la zona de estudio, que responden a la evaluación de los criterios de bondad de ajuste.

El componente hidrológico asociado a la cuenca hidrográfica del río Mira NSS 510202, se encuentra comprendido en su conjunto, por la caracterización y tratamiento de la información hidrométrica, la modelación hidrológica de simulación continua realizada a nivel de cuenca hidrográfica y sus unidades subsiguientes, la estimación de las demandas sectoriales a escala temporal mensual y anual, determinación de la oferta hídrica total, caudal ambiental, rendimiento hídrico y la oferta hídrica disponible, así mismo, se calculan los índices hidroclimáticos correspondientes al Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice de Variabilidad (IV), Índice de Uso del Agua (IUA), Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET). Adicionalmente se realiza la modelación hidrológica de eventos máximos considerando los métodos hietograma, producción, tránsito de caudales, pérdidas y recesión de caudales base; los caudales mínimos son estimados a partir de la información diaria de caudales, teniendo en cuenta Funciones de Densidad de Probabilidad (FDP).

2 LOCALIZACIÓN



Mapa: División Político Administrativa

La cuenca del río Mira se localiza al Suroeste del departamento de Nariño, se ubica dentro de las coordenadas **Noroeste X: 4331044,7548 Y: 1739852,838; Noreste X: 4376879,7636 Y: 1756533,5139; Sureste X: 4403626,8594 Y: 1690434,0672 y Suroeste X: 4370381,4097 Y: 1703700,3324**; y cuenta con una extensión de **152.189,17** Hectáreas y se compone por los municipios de Tumaco y Barbacoas de acuerdo a la siguiente distribución espacial.

La cuenca limita al **Norte y Noroeste** con el Océano Pacífico, al **Este** limita con la Subzona Hidrográfica del Río Rosario en el municipio de Tumaco, al **Sureste** limita con la cuenca del **Río Guiza - Alto Mira – NSS**, entre los municipios de Tumaco y Barbacoas, al **Sur** y al **Oeste** Limita con el vecino país del Ecuador.

El área hidrográfica de interés, nace a una altitud cercana a los 675 m.s.n.m. con los drenajes de la quebrada Quejuambí en la zona sureste de la cuenca, en la quebrada Pianulpí a una altitud entre los 300-325 m.s.n.m., y en la zona de confluencia de esta última con el río Güiza a una elevación de 75 m.s.n.m. La desembocadura se configura en zona de depresión del drenaje principal y otras quebradas que determinan el Delta de la unidad hidrográfica hacia el océano Pacífico, conformándose en dicha área, la presencia de cuerpos lénticos de manglares y madrevejas.

3 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el enfoque metodológico de la temática de Hidrología, el cual representa el resumen metodológico asociado.

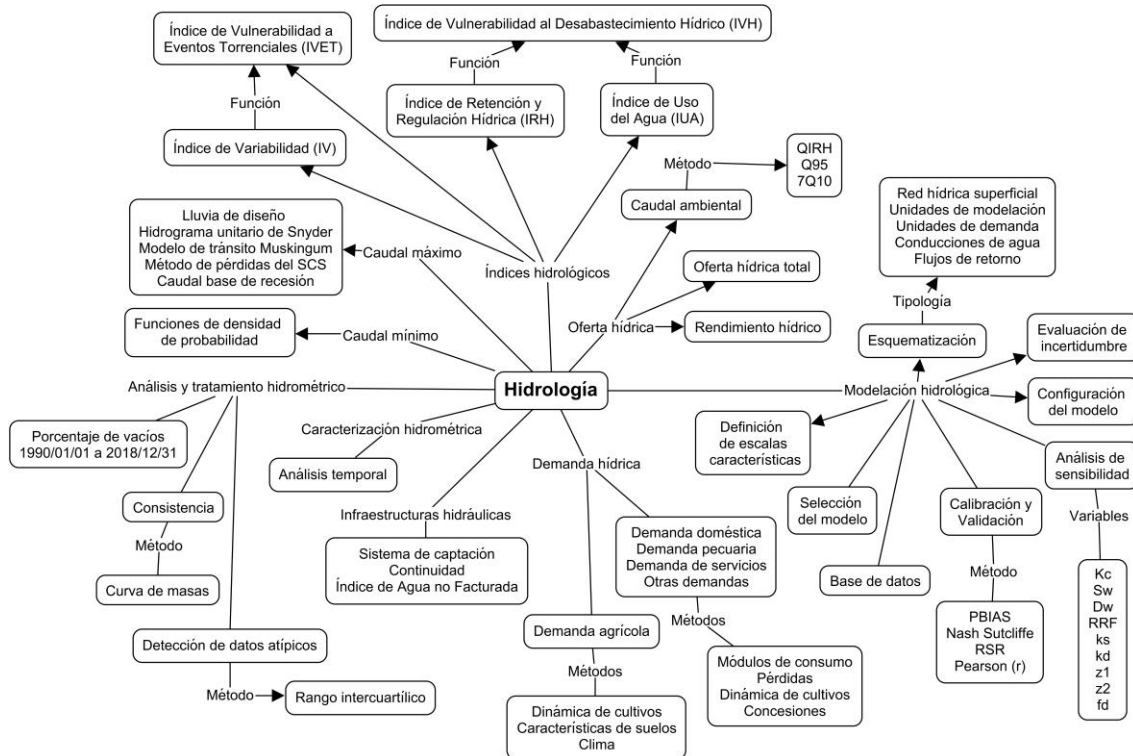


Figura 1. Enfoque metodológico de la temática de Hidrología.

Adicionalmente, se establecen las generalidades del componente, de acuerdo a la clasificación conceptual de la presente sección.

3.1 Análisis y tratamiento hidrométrico.

Dicho análisis se realiza utilizando los criterios de homogeneidad, detección de datos atípicos y la estimación del porcentaje de vacíos, donde se revisa cada punto de monitoreo de forma independiente y se consolida su evaluación a partir de los resultados de las pruebas mencionadas.

3.1.1 Porcentaje de vacíos.

Estimación del porcentaje de información faltante dentro de la ventana de modelación hidrológica, que coincide con la determinada por la temática del Clima.

3.1.2 Consistencia.

La ausencia de consistencia en una serie climática implica un cambio abrupto en la media, donde se destaca una variación en el comportamiento de ésta, bien sea por una alteración producto de la intervención antrópica o presencia de fenómenos de

variabilidad climática que modifican el comportamiento de las mismas. El análisis de consistencia se materializa por la utilización del método gráfico de la *Curva de masas simple*, donde se acumulan los valores registrados en cada una de las estaciones a escala anual con el fin de identificar cambios en el tiempo, construyendo dicha grafica al definir la serie acumulada S_t como:

$$S_t = \sum_{i=1}^t X_t \text{ Para } t=1, 2... N.$$

3.1.3 Detección de datos atípicos.

Con el fin de realizar un tratamiento con la menor cantidad de subjetividades posibles, se utiliza la metodología del *Diagrama de cajas*, el cual resulta del principio del Rango Intercuartílico (*RI*), con la distribución propia de la estación para cada escala temporal de la ventana de tiempo seleccionada. La expresión se describe como.

$$|X_i| < Q_3 + f * RI$$
$$RI = Q_3 - Q_1$$

Donde,

X_i : Información registrada.

RI: Rango Intercuartílico.

f: Factor de multiplicación ($f = 4$).

El valor atípico es contrastado con las demás estaciones en el mismo periodo donde se detectan las anomalías, con el fin de percibir si son probables errores o hacen parte de un evento natural de variabilidad hidrológica en la zona.

3.2 Caracterización hidrométrica.

Con base en la información disponible del IDEAM, se identifica y preseleccionan las estaciones hidrométricas que se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica. Sin embargo, si dicha red de drenaje es insuficiente para brindar información relacionada a los aportes hídricos, es necesario ampliar el área de aferencia de caracterización hidrométrica, teniendo en cuenta las estaciones con medición de caudal que se encuentren en la misma Área Hidrográfica del *Pacífico*, con el fin de caracterizar la respectiva regionalización que permite calibrar y validar el modelo hidrológico, así como representar los eventos extremos de caudales mínimos y máximos en las unidades de análisis.

3.2.1 Análisis temporal.

Se realiza la caracterización intranual e interanual de cada una de las estaciones identificadas con mayor relevancia a la cuenca hidrográfica objeto de ordenación.

3.3 Inventario de infraestructuras hidráulicas

Según la información disponible, se caracterizan las obras representativas como lo son embalses, bocatomas, trasvases de las principales cabeceras municipales y otros centros poblados denominados para este documento como Puntos de Interés

Hidrológicos (PIH). El inventario es el resultado del análisis de la información secundaria recopilada a lo largo del desarrollo de las temáticas de hidrografía e hidrología. Para cada una de las estructuras hidráulicas se indica su localización geográfica en coordenadas planas, uso y grado de afectación en porcentaje del área de aportación, y para el caso de las bocatomas que abastecen a las microcuencas codificadas, se presenta la demanda media anual estimada.

3.4 Caracterización de cuerpos lénticos

La aproximación referenciada a la caracterización básica de los cuerpos de agua lénticos, se identifica siguiendo la información disponible de la cartografía base, determinándose la extensión superficial, el Tipo (lagunas, ciénagas, pantanos, otros), cantidad, así como su distribución en la cuenca hidrográfica y en sus unidades subsiguientes.

3.5 Demanda hídrica.

La demanda hídrica objeto de estimación, se clasifica de acuerdo a las disposiciones de sectorización referenciadas en el Decreto 3930 de 2010 y Estudio Nacional del Agua. Los usos considerados son presentados a partir de la siguiente expresión

$$D_{total} = D_{doméstica} + D_{pecuaria} + D_{agrícola} + D_{industrial} + D_{servicios} + D_{minería} + D_{hidrocarb} + D_{energía}$$

Donde,

D_{total} : Demanda hídrica total.

$D_{doméstica}$: Demanda hídrica en el sector doméstico.

$D_{pecuaria}$: Demanda hídrica en el sector pecuario.

$D_{agrícola}$: Demanda hídrica en el sector agrícola.

$D_{industrial}$: Demanda hídrica en el sector industrial.

$D_{servicios}$: Demanda hídrica en el sector de servicios.

$D_{minería}$: Demanda hídrica en el sector de minería.

$D_{hidrocarb}$: Demanda hídrica en el sector de hidrocarburos.

$D_{energía}$: Demanda hídrica para la generación de energía.

El cálculo de las sustracciones superficiales, se realiza siguiendo la filosofía del *Módulo de consumo* para los sectores doméstico, pecuario, servicios, hidrocarburos, minería e industrial, así como los requerimientos de agua del cultivo en el sector agrícola. Dicha conceptualización es contrastada y complementada con la información recopilada de las concesiones de agua expedidos por la Corporación.

3.5.1 Demanda hídrica en el sector doméstico.

La estimación de la demanda del sector doméstico (urbana y rural municipal), se fundamenta en la metodología de asignación de la dotación de agua para consumo humano según el Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico

(RAS), cuya dotación se ajusta a los valores citados en la Resolución 0330 de 2017 donde se determinan los módulos de consumo de acuerdo la ubicación altitudinal de la población, suprimiendo la aplicación tradicional del nivel de complejidad cuya distribución se priorizaba por número de personas y/o capacidad económica, en contravía a la universalidad de la inclusión del agua como recurso esencial.

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona estudiada.

Altura promedio sobre el nivel del mar	Dotación Neta Máxima (L/Hab*día)
> 2000 m.s.n.m.	120
1000 – 2000 m.s.n.m.	130
<1000 m.s.n.m.	140

Fuente: (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

La metodología citada, calcula la demanda doméstica urbana como el producto de la dotación para consumo humano incluyendo pérdidas técnicas y la población residente mediante la expresión mostrada.

$$D_{doméstica} = \left(\frac{D_{neta}}{1 - \%p} * P \right) / 86400$$

Donde,

P : Población proyectada a la línea base (*hab.*).

D_{neta} : Dotación neta máxima de un habitante (*Litro/hab. – día*).

$\%p$: Pérdidas técnicas en el sistema (%).

La distribución espacial para el sector urbano, es representada por el área de drenaje delimitada desde punto de desviación del caudal de la fuente hídrica correspondiente, generalmente ubicado aguas arriba de la localización del centro poblado. Para el caso de las demandas domésticas de carácter rural municipal, donde se desconocen las ubicaciones exactas de la extracción, se plantea la distribución uniforme utilizando los porcentajes de participación de la unidad municipal respecto al área hidrográfica en cuestión, así como de sus unidades subsiguientes, asumiendo que la distribución poblacional municipal rural, es similar a la densidad poblacional rural dentro del área hidrográfica.

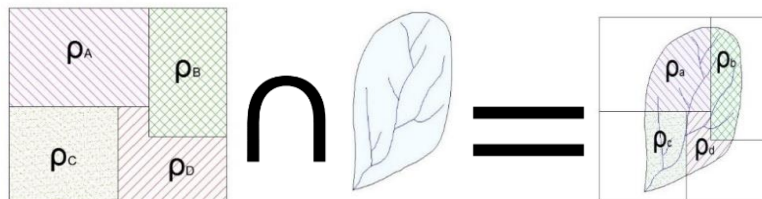


Figura 2. Esquema conceptual de la distribución homogénea de la población.

$$\rho_A = \rho_a; \quad \rho_B = \rho_b; \quad \rho_C = \rho_c; \quad \rho_D = \rho_d; \quad \dots \rho_N = \rho_n$$

$$\rho_A = \frac{P_A}{A_A}; \quad \rho_B = \frac{P_B}{A_B}; \quad \rho_C = \frac{P_C}{A_C}; \quad \rho_D = \frac{P_D}{A_D}$$

$$\rho_a = \frac{P_a}{A_a}; \quad \rho_b = \frac{P_b}{A_b}; \quad \rho_c = \frac{P_c}{A_c}; \quad \rho_d = \frac{P_d}{A_d}$$

Donde,

ρ_N : Densidad poblacional del municipio N .

ρ_n : Densidad poblacional de la proporción hidrográfica n con intersección en el municipio N .

P_N : Población caracterizada para el municipio N .

P_n : Población estimada para la proporción hidrográfica n con intersección en el municipio N .

A_N : Extensión superficial del municipio N .

A_n : Extensión superficial de la proporción hidrográfica n con intersección en el municipio N .

Se observa que cada área municipal (A_A, A_B, A_C, A_D), tiene su respectiva densidad poblacional ($\rho_A, \rho_B, \rho_C, \rho_D$) y sus intersecciones con la unidad hidrográfica materializa la misma densidad al subíndice en mención ($\rho_a, \rho_b, \rho_c, \rho_d$). Después de relacionar las respectivas equivalencias, se estiman las poblaciones aferentes a dichas áreas intersecadas entre las extensiones municipales y la superficie hidrográfica, agregadas finalmente a la unidad hidrográfica de interés como la sumatoria de las estimaciones de las poblaciones en referencia.

$$P_a = \frac{P_A}{A_A} * A_a; \quad P_b = \frac{P_B}{A_B} * A_b; \quad P_c = \frac{P_C}{A_C} * A_c; \quad P_d = \frac{P_D}{A_D} * A_d; \dots \quad P_n = \frac{P_N}{A_N} * A_n$$

$$P_{Unidad, hidrográfica} = P_a + P_b + P_c + P_d + \dots P_n$$

3.5.2 Demanda hídrica en el sector pecuario.

La demanda hídrica calculada para el sector pecuario, clasifica la población bovina, equina, caprina, ovina, porcina y avícola, inventariada a nivel de municipio por el Censo Pecuario Nacional realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), cuya distribución espacial culmina en el nivel municipal. La metodología aplicada corresponde a la utilizada en el Estudio Nacional del Agua, calculada como el producto de la población por el módulo de consumo incluyendo las pérdidas técnicas del sistema. El procedimiento se aplica para cada una de las cadenas de producción los cuales una vez estimados son agregadas para determinar la demanda pecuaria total.

A escala espacial, se supone una distribución uniforme en la cuenca hidrográfica partiendo de los porcentajes de participación de la unidad municipal respecto a la cuenca y sus unidades de drenaje de menor jerarquía, considerando que la

densidad poblacional pecuaria municipal es similar a la densidad poblacional pecuaria dentro del área hidrográfica (ver Figura 2). Sin embargo, para el caso de la demanda bovina, se realiza una consideración especial, teniendo en cuenta su distribución uniforme municipal en las coberturas que cumplen las condiciones para el pastoreo de ganado bovino (áreas de pastos limpios, pastos enmalezados, mosaico de pastos con espacios naturales y pastos arbolados).

Tabla 2. Dotación neta por cabeza según la especie analizada, cría levante y engorde.

Especie	Dotación Neta Máxima (L/Cabeza*día)
Porcino	18
Bovino	80
Caprino	40
Equino	80
Ovino	40
Avícola	0.35

Fuente: ENA 2010, ENA 2014, ENA 2018

$$D_{pecuaria} = \sum_i \left(\frac{D_{neta\ i}}{1 - \%p} * P_i \right) / 86400$$

3.5.3 Demanda hídrica en el sector agrícola.

La demanda hídrica asociada al sector agrícola, se determina a partir de la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006), estimándose los requerimientos de los cultivos caracterizados a partir del cálculo de la evapotranspiración potencial, ajustando sus consumos de acuerdo a los factores de cultivo k_c y estrés hídrico k_s . El coeficiente de cultivo k_c representa la variación de la necesidad de riego de acuerdo al paso del tiempo desde el inicio de la siembra hasta su cosecha, configurando el requerimiento de la planta respecto al cultivo de referencia. Adicionalmente, se categoriza el coeficiente k_s , el cual representa el estado de la disponibilidad del agua en la zona radicular del cultivo, adoptando el valor de $k_s = 1.0$ para plantas con humedad superior al agua fácilmente aprovechable ($0 \leq D_r \leq AFA$) y $k_s < 1.0$ para extensiones con déficit hídrico ($D_r > AFA$) en condiciones de estrés hídrico en la vegetación.

$$ET_c = k_s * k_c * ETP$$

A continuación, se presenta la esquemática de la variación del coeficiente de cultivo en las tres etapas de interés ($k_{c,ini}$, $k_{c,med}$, $k_{c,fin}$) dependiendo de su desarrollo.

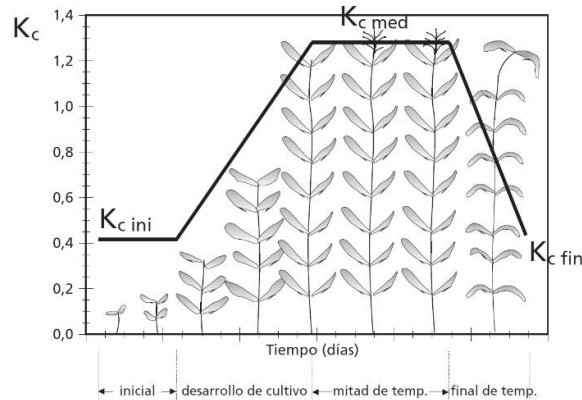


Figura 3. Coeficiente de cultivo en relación a la etapa de crecimiento. Fuente: (FAO, 2006).

La determinación de las tres etapas de desarrollo del coeficiente de cultivo, referencian cuatro longitudes de crecimiento para los cultivos transitorios y su respectiva fecha potencial de siembra; esta información es consultada y contrastada de (FAO, 2006) y otras referencias de interés. A continuación, se describe la interacción entre los procesos de crecimiento y clasificación de los coeficientes de cultivo, así como el desarrollo de las longitudes de cada fase de la planta y su profundidad radicular.

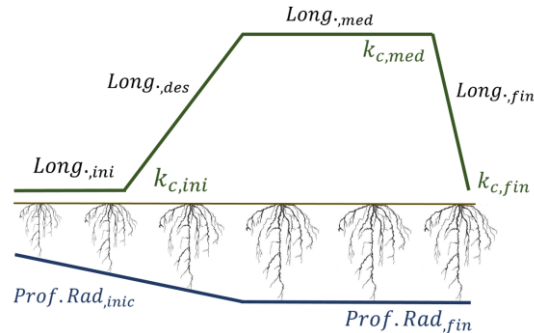


Figura 4. Interacción de desarrollo entre k_c $Long_{cultivo}$, $Prof. Rad.$

El balance de agua en el suelo que establece el consumo agrícola en el tiempo, se estructura al contrastar los volúmenes de entrada y salida en la zona radicular del cultivo dentro de un paso de tiempo diario, estimando la condición de humedad del estrato radicular en función a la variabilidad intranual de los aportes de precipitación, la dinámica de siembra y cosecha de los diferentes cultivos, así como la textura y capacidad de drenaje de los suelos presentes en la zona de análisis. A continuación, se presenta el esquema del balance en mención.

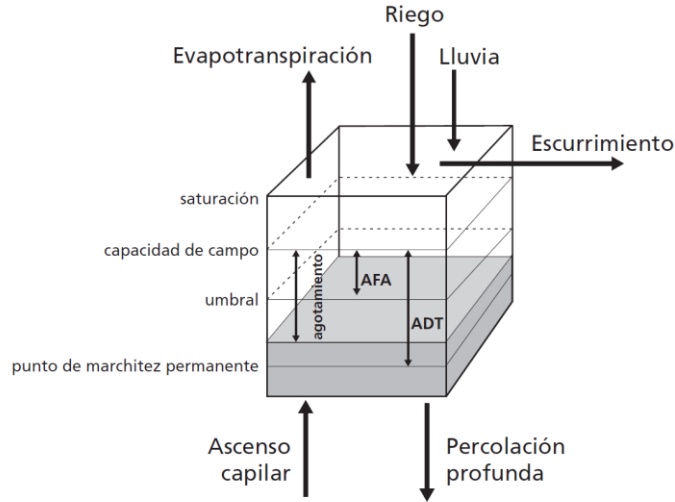


Figura 5. Balance de agua en la zona radicular.
 Fuente: (FAO, 2006)

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Donde,

$D_{r,i}$: Agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i .

$D_{r,i-1}$: Agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día $i - 1$.

P_i : Precipitación en el día i .

RO_i : Ecurrimiento superficial en el día i .

I_i : Lámina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo.

CR_i : Ascenso capilar en el día i .

$ET_{c,i}$: Evapotranspiración de cultivo en el día i .

DP_i : Pérdidas de agua de la zona radicular por percolación en el día i .

El contenido de agua como insumo al balance de humedad del suelo, se expresa generalmente como agotamiento en la zona radicular en lámina de agua (mm). La lluvia, el riego y el ascenso capilar del agua subterránea hacia la zona radicular son procesos de aporte al balde en la zona radicular de la matriz del suelo; y en contraste, las variables de evapotranspiración de cultivo, escurrimiento y pérdidas por percolación configuran las salidas del sistema. El riego teórico, configura la cantidad de agua necesaria para el aprovechamiento agrícola, considerando la demanda hídrica real de todos los expedientes concesionados, así como las captaciones realizadas por fuera de los estándares legales de solicitud ambiental. Dicho riego, es aplicado a cada cultivo de tal forma que su condición nunca genere escenarios de estrés hídrico, por lo tanto, $k_s = 1.0$ ($0 \leq D_r \leq AFA$).

3.5.3.1 Agua Total Disponible (ADT).

La disponibilidad de agua en el suelo se encuentra asociada a la capacidad que tiene el estrato radicular para conservar determinada cantidad de humedad en su

bloque, el cual es necesario para el desarrollo de las diferentes etapas de crecimiento en las plantas de acuerdo a sus requerimientos específicos. Inmediatamente después de una lluvia significativa el contenido de humedad en el suelo aumenta ocupando la cantidad representativa de intersticios hasta la saturación, eventualmente culminan los aportes de agua y continúa el drenaje libre por gravedad hacia capas más profundas del suelo, dicha conductividad permanece y se reduce hasta una tasa de percolación tan baja que el contenido de agua del suelo se estabiliza con disponibilidad para ser utilizado por los diferentes cultivos, dicho punto de humedad de equilibrio es conocido como la capacidad de campo.

El cultivo extrae el agua retenida en el estrato radicular reduciendo progresivamente la humedad del suelo, y aumentando con mayor fuerza la retención del agua entre las partículas del bloque. Dicha situación disminuye la energía potencial del contenido de agua dificultando con determinada rapidez la extracción de este recurso para el requerimiento de la planta. La reducción es progresiva hasta alcanzar la disponibilidad nula y llegar al punto de marchitez permanente, donde la humedad en el suelo es tan baja que el cultivo no puede seguir extrayendo agua de su zona radicular, estableciendo la pérdida de la planta por marchitez sin recuperación. Por lo tanto, la franja de contenido de humedad disponible en la zona radicular de la planta, se encuentra definida como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

$$ADT = (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * Z_r$$

Donde,

ADT : Agua Total Disponible en la zona radicular (mm).

θ_{fc} : Contenido de humedad en el suelo a capacidad de campo.

θ_{wp} : Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente.

Z_r : Profundidad de las raíces (m).

La lámina ADT representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular, su magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular de la planta. Debido a la dificultad para establecer los contenidos de humedad en cada uno de los suelos clasificados para la unidad hidrográfica, se recomienda utilizar información secundaria de los valores típicos del contenido de agua para capacidad de campo θ_{fc} y punto de marchitez permanente θ_{wp} , de acuerdo a la clasificación de la textura del suelo propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

3.5.3.2 Agua Fácilmente Aprovechable (AFA).

La rapidez de extracción del contenido de agua de la matriz del suelo depende principalmente de la cantidad aprovechable en la zona radicular, debido a que dicha tasa se ve reducida por la fuerte retención de agua que aumenta en el bloque radicular, dificultando potencialmente la extracción del cultivo, llegando al punto en

que la velocidad de aprovechamiento no será suficiente para satisfacer la demanda de transpiración y el cultivo comenzará a sufrir de estrés hídrico.

Después de que el contenido de agua haya disminuido a rangos superiores al límite del Agua Fácilmente Aprovechable (*AFA*), iniciará el agotamiento de humedad limitando la evapotranspiración a valores menores que su potencial con disminución proporcional al agua remanente en estrato de raíces. Dicho escenario condiciona el óptimo desarrollo del cultivo con exposición eventual a presentar ocasionalmente punto de marchitez permanente. Se obtiene como el producto entre el agua total disponible *ADT* y la fracción de agotamiento de la humedad del en el suelo ρ .

$$AFA = \rho * ADT$$

Donde,

AFA: Agua Fácilmente Aprovechable de la zona radicular (mm).

ρ : Fracción de agotamiento de la humedad en el suelo.

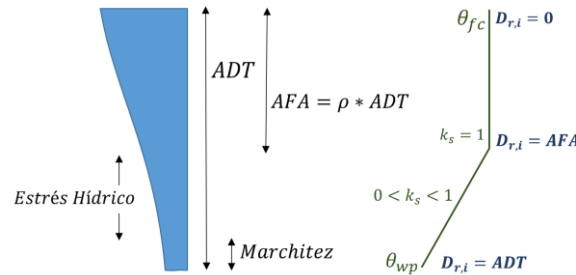


Figura 6. Esquema general del contenido de humedad y agotamiento en la zona radicular.

La fracción de agotamiento (ρ) se encuentra influenciada por el tipo de cultivo y su profundidad radicular, fluctuando entre 0.30 para plantas con raíces poco profundas y alta evapotranspiración asociada, hasta valores cercanos a 0.80 en plantas de raíces profundas y bajas tasas de evapotranspiración. La fracción de agotamiento (ρ) específica de cada unidad hidrográfica se estima teniendo en cuenta la magnitud de la evapotranspiración del cultivo para cada una de las coberturas agrícolas seleccionadas. A continuación, se presenta la aproximación numérica de la fracción de agotamiento propuesta por la (FAO, 2006), donde el valor ajustado de ρ se define generalmente entre $0.1 \leq \rho \leq 0.8$.

$$\rho = \rho_{ET_c=5\text{ mm}} + 0.04 * (5 - ET_c)$$

3.5.3.3 Agotamiento de humedad en la zona radicular (D_r).

El contenido de agua en la zona radicular puede ser expresado en función del agotamiento de humedad en el bloque de raíces (D_r), interpretándose como la cantidad de agua faltante para alcanzar el punto de capacidad de campo, siendo

cero para dicha humedad ($D_r = 0$). En la medida que la extracción de la planta supera el nivel *AFA*, el agotamiento será lo suficientemente alto hasta limitar la evapotranspiración a magnitudes menores que su potencial, por lo que la evapotranspiración del cultivo comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular.

El agotamiento en el bloque de raíces adopta valores entre $0 \leq D_r \leq ADT$, determinando disminución de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) en la franja de estrés hídrico cuando $D_r > AFA$. El factor de reducción de la transpiración por estrés hídrico (k_s) será constante en agotamientos inferiores a *AFA* con valor igual a la unidad ($k_s = 1.0$); reduciendo progresivamente su magnitud para contenidos de $D_{r,i}$ acotados entre $AFA < D_r \leq ADT$. La estimación del coeficiente k_s en interacción con la matriz del suelo en la zona radicular, se expresa de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} \text{Si } 0 \leq D_r \leq AFA: k_s &= 1.0 \\ \text{Sino } (D_r > AFA): k_s &= \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} \end{aligned}$$

Donde,

k_s : Factor de reducción de la transpiración por estrés hídrico [0,1].

D_r : Agotamiento de humedad en la zona radicular (mm).

Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo con probables escenarios de estrés hídrico, es estimado teniendo en cuenta los coeficientes k_s y k_c , ajustándose también para las épocas cuando el cultivo se encuentra en condición estándar ($0 \leq D_r \leq AFA$).

$$ET_c = k_s * k_c * ETP$$

3.5.3.4 Planificación de riego.

Aunque el contenido de humedad puede estar temporalmente por encima de la capacidad de campo, el modelo propuesto por la FAO considera como límite superior dicha humedad. Después de una lluvia intensa o riego que supere el estado de capacidad de campo ($D_r = 0$), se asume que la cantidad excedente una vez descontada la ET_c durante el día, se pierde por proceso de escorrentía ($P - RO$) > 0, sin embargo, este condicionamiento no altera el proceso de interacción en el estrato radicular del suelo. Los aportes móviles de precipitación menores al 20% a la evapotranspiración del cultivo ($P_i < 0.2 * ET_{c,i}$) se pierden casi en su totalidad por evaporación del suelo, por lo tanto, se ignoran dichas entradas al modelo de humedad del suelo.

Para iniciar el balance de humedad, es necesario estimar el agotamiento inicial $D_{r,i-1}$, la FAO propone asumir que el contenido de humedad inicial en la zona radicular se encuentra cercano a la capacidad de campo, es decir $D_{r,i-1} \approx 0$. Sin

embargo, el valor de $D_{r,i-1}$ puede estimarse a través de mediciones del contenido de agua en el suelo, teniendo en cuenta el contenido de humedad promedio en la profundidad efectiva de la zona (θ_{i-1}).

$$D_{r,i-1} = 1000 * (\theta_{fc} - \theta_{i-1}) * Z_r$$

La clasificación del suelo determina la cantidad de agua que se mueve hacia arriba por ascenso capilar (CR) desde la capa freática hacia la zona radicular, sin embargo, su estudio no ha sido dimensionado a niveles detallados. Por lo tanto, se recomienda asumir el valor de $CR = 0$ para capas freáticas distanciadas a más de un metro (1 m) por debajo de la zona radicular (FAO, 2006, pág. 171).

La variable de percolación profunda (DP) depende del agotamiento de humedad en la zona radicular (D_r). Para los casos cuando la humedad del suelo se encuentre por debajo de la capacidad de campo ($D_r > 0$), se determina que el drenaje en el suelo será nulo, por lo tanto, el valor de percolación profunda será cero ($DP = 0$). En los escenarios donde el contenido de humedad en el suelo se encuentre en capacidad de campo, el valor de DP se define a partir de la siguiente expresión.

$$DP = (P - RO) + I - ET_c - D_{r,i-1}$$

El modelo propuesto permite estimar las épocas donde los aportes por precipitación son insuficientes para compensar las pérdidas por evapotranspiración. La cantidad de agua requerida como planificación de riego, determina la cantidad y frecuencia específica teniendo en cuenta las particularidades de los cultivos y de la región en general. Dicha planificación de riego se establece siguiendo el concepto de equilibrar el contenido de agua en rangos superiores al punto de humedad AFA ($D_r \leq AFA$; $k_s = 1.0$), con el fin de prevenir estrés hídrico en las plantas y optimizar sus etapas de desarrollo. Por otra parte, para evitar las pérdidas de importantes nutrientes de la zona radicular producidos por percolación y/o lavado, la lámina neta de riego (I) deberá ser menor o igual que el agotamiento del contenido de agua en la matriz radicular del suelo ($I \leq D_r$), es decir, el nivel de humedad AFA en el instante que se evidencia la iniciación del condicionamiento de estrés hídrico; por lo tanto, la aplicación de riego será $I_i = AFA_i$ con el motivo de reiniciar el estado del suelo en su capacidad de campo.

Dicho proceso metodológico, es aplicado al conjunto de cultivos identificados en el área de interés, establecidos a partir de las extensiones superficiales de las coberturas agrícolas reposadas en la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia, perteneciente al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, considerando las áreas municipales aferentes a la cuenca objeto de ordenación. Dichas áreas de cultivos características a los productos transitorios, son evaluados de acuerdo a su fecha de inicio y fin de cultivo, así como la cantidad de cosechas al año con el objeto de representar la distribución porcentual de las áreas cultivadas mes a mes en función a la dinámica propia del cultivo; en contraste

a los transitorios, los cultivos permanentes consideran extensión superficial continua en todo el tiempo de modelación. Adicionalmente, se identifican los cultivos que no requieren en absoluto agua adicional a la precipitación (cultivos de secano).

3.5.4 Demanda hídrica en el sector industrial.

De acuerdo a la información disponible, se realiza la caracterización sectorial en cuestión, considerando que su materialización depende principalmente de concesiones, módulos de consumo, estudios técnicos, entre otros.

$$D_{industrial} = \sum_i Expientes_{industrial,i} + D_{sacrificio}$$

3.5.5 Demanda hídrica en el sector servicios.

De acuerdo a la información disponible, se realiza la caracterización sectorial en cuestión, considerando que su materialización depende principalmente de concesiones, módulos de consumo, estudios técnicos, entre otros.

El sector de servicios, es clasificado teniendo en cuenta la demanda institucional de hospitales y planteles educativos. La información del subsector de hospitales se recopila del Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS) adquiriendo datos de las IPS como la capacidad instalada de camas disponibles; adicionalmente, el subsector de planteles educativos se consolida de la información suministrada por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), donde se establece la población estudiantil matriculada a escala municipal.

Tabla 3 Dotación neta máxima requerida por capacidad instalada

Fuente: ENA 2010, ENA 2014, ENA 2018.

Uso	Consumo de agua
Escolar	15(l/alumno jornada)
Salud	800 (l/cama día)
Hotelero	580 (l/cama día)

$$D_{servicios} = D_{escolar} + D_{salud} + \sum_i Expientes_{servicios,i}$$

3.5.6 Demanda hídrica en el sector de minería.

De acuerdo a la información disponible, se realiza la caracterización sectorial en cuestión, considerando que su materialización depende principalmente de concesiones, módulos de consumo, estudios técnicos, entre otros. El contraste y sumatoria del conjunto de información, determina la demanda del sector en mención.

$$D_{minería} = \sum_i Expientes_{minería,i}$$

3.5.7 Demanda hídrica en el sector de hidrocarburos.

De acuerdo a la información disponible, se realiza la caracterización sectorial en cuestión, considerando que su materialización depende de concesiones, módulos de consumo, estudios técnicos, entre otros. El contraste y sumatoria del conjunto de información, determina la demanda del sector en mención.

$$D_{hidrocarburos} = \sum_i Expientes_{hidrocarburos,i}$$

3.5.8 Demanda hídrica en el sector de generación de energía.

De acuerdo a la información disponible, se realiza la caracterización sectorial en cuestión, considerando que su materialización depende de concesiones, módulos de consumo, estudios técnicos, entre otros. El contraste y sumatoria del conjunto de información, determina la demanda del sector en mención.

$$D_{energía} = \sum_i Expientes_{energía,i}$$

3.6 Modelación hidrológica.

Los modelos son herramientas fundamentadas con base matemática y física, desarrollados con el objetivo principal de representar el sistema hidrológico de acuerdo a las características de los atributos físicos, fisiográficos y estadísticos del estado del tiempo de la unidad de cuenca.

3.6.1 Objetivos de la modelación.

El balance hídrico en la cuenca hidrográfica objeto de estudio, se considera a partir de la modelación hidrológica en simulación continua a escala diaria o mensual con el objetivo de establecer los valores medios de la oferta hídrica en la unidad de análisis, teniendo en cuenta diferentes escalas de trabajo para los insumos climatológicos, así como los relacionados con los usos del suelo y del recurso hídrico en general. La espacialización de las variables climatológicas son representativas en función a la cantidad y localización en el entorno de la cuenca, donde la oferta hídrica es determinada a escala semi distribuida considerando diferentes unidades de modelación.

3.6.2 Definición de escalas características.

Según se cita en el Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica (IDEAM, 2018), el término Escala hace referencia a la longitud o tiempo característico de un proceso, observación o modelo (Bloschl 1995). Así, la dimensión escalar hace referencia al rango de longitudes o tiempos característicos del proceso o medio analizado (Puricelli 2003). Para la cuenca objeto de estudio, se aplica una resolución temporal diaria o mensual, muy utilizadas en el contexto de gestión del recurso hídrico, como respuesta a la conceptualización de un modelo continuo. Respecto a

la escala espacial, se establece una escala representativa de 1:25000 para las coberturas vegetales, así como las texturas de suelo. La cartografía base relacionada a las curvas de nivel, drenajes lénticos y lóticos que definen la forma de las unidades hidrográficas, son extendidas en escala 1:25000; complementada con el Modelo Digital de Elevaciones correspondiente a la cuenca. De acuerdo a la información climática, la escala se limita por la información disponible de las estaciones meteorológicas, utilizándose todo insumo que sea representativo en el régimen hidrológico de la cuenca y cumpla con los criterios de calidad de la información propuestos en la preparación de los datos.

3.6.3 Selección del modelo.

Existen diversos tipos de modelos hidrológicos, los cuales varían principalmente de acuerdo a su conceptualización, escala espacial, temporal, así como la consideración de la producción y transferencia de los parámetros del sistema. Su selección, se encuentra limitada principalmente por la disponibilidad y calidad de la información, resolución espacial y temporal, así como del “nivel de instrumentación de la cuenca hidrográfica o área aferente estudiada” (IDEAM, 2018). La robustez y cantidad de elementos simulados, pierden contexto y multiplican la incertidumbre cuando la información es escasa; por lo tanto, es necesario evaluar la sensibilidad y representatividad de modelos hidrológicos de acuerdo a la situación propia del área hidrográfica de interés.

Para el presente estudio, se propone el uso del modelo lluvia escurrentía de la humedad del suelo, representado a partir de la herramienta computacional *Water Evaluation And Planning System (WEAP)* como Sistema Soporte de Decisión (SSD), desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI), donde es posible modelar situaciones de cambio climático, estimación de demanda y oferta hídrica, calidad de agua, pérdida de glaciares, generación de energía y sequías (Purkey, 2015). El método lluvia escurrentía de la humedad del suelo integrado en conjunto a los demás métodos incorporados en WEAP (*Método del coeficiente simplificado de lluvia escurrentía, Método simplificado para demandas de riego, Método MABIA y Modelo del desarrollo de las plantas PGM*), permiten distribuir espacialmente la modelación hasta un nivel de detalle semidistribuido, siguiendo un enfoque físico y conceptual unidimensional.

3.6.4 Configuración del modelo.

La herramienta computacional WEAP para la planificación y distribución del agua, puede ser aplicada a diferentes escalas de resolución, permitiendo modelos a partir del balance de masas de los procesos de transferencia, incorporando modelos semidistribuidos, cuasi físicos y unidimensionales, continuos en el área de estudio agregados según la dirección y acumulación del flujo a partir de unidades hidrológicas (catchment).

El método de la *humedad del suelo*, conceptualmente se encuentra conformado por la distribución de dos baldes que representan la zona radicular y profunda. El balde superior (zona radicular) simula la evapotranspiración considerando la precipitación,

la irrigación de cultivos, escorrentía, flujo subsuperficial, así como los cambios en la humedad del suelo que interactúan con el tanque profundo. El balde inferior (zona profunda) simula el flujo base y en coherencia al balde superior, interacciona en los cambios de humedad del suelo. A continuación (ver Figura 7), se presenta el esquema conceptual del método integrado en el software WEAP.

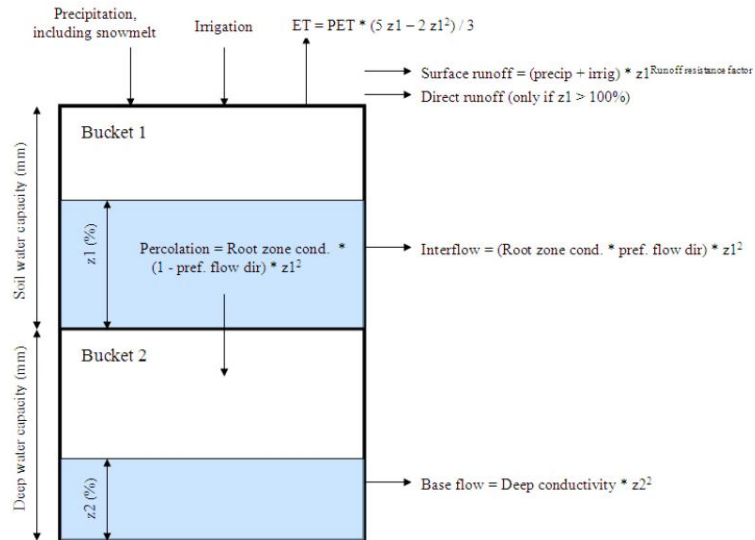


Figura 7. Diagrama conceptual del método de humedad del suelo incorporado en WEAP

Fuente: (Stockholm Environment Institute, 2015).

El modelo hidrológico utilizado incluye los componentes de evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y flujo base; representados conceptualmente por dos baldes, dividiendo la unidad hidrológica en n áreas y el balance es computado para cada una de ellas desde j hasta n . Las expresiones matemáticas que representan dicho modelo, indican la afectación de cada parámetro o set de parámetros en el balance hidrológico.

$$S_{w_j} \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)Z_{1,j}^{2RRF_j} - f_j k_s z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_s z_{1,j}^2$$

$$D_{w_j} \frac{dz_{2,1}}{dt} = -k_d z_{1,j}^2 + (1 - f_j)k_s z_{1,j}^2$$

Donde,

k_c : Coeficiente de cultivo.

S_w : Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces.

D_w : Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda.

RRF : Factor de resistencia a la escorrentía.

k_s : Conductividad de zona de raíces.

- k_d : Conductividad de zona profunda.
- f : Dirección preferencial de flujo.
- $Z_1(\%)$: Nivel de humedad en la zona de raíces.
- $Z_2(\%)$: Nivel de humedad en la zona profunda.

El primer término del balde superior, representa el cambio de humedad en el suelo, el segundo factor: la precipitación; el tercer término: la evapotranspiración; el cuarto: la escorrentía superficial; el quinto término: el flujo intermedio; y el sexto factor: la percolación. Del balde inferior, el primero término simula el flujo base y el segundo, la percolación.

3.6.5 Esquemmatización.

La unidad hidrográfica objeto de estudio, es distribuida en áreas de drenaje subsiguientes tales como subcuencas, microcuencas abastecedoras de principales centros poblados y otros puntos de interés hidrológico, teniendo en cuenta la dirección de flujo, así como la acumulación del mismo. De este modo, la sumatoria de cada una de las divisiones de las áreas de drenaje clasificadas, determinan el caudal aferente, así como la demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Mira. Cada subdivisión es representada por una unidad hidrológica (catchment), la cual es caracterizada en función de la cobertura vegetal y las franjas de elevación que se cruzan con cada una de las áreas de drenaje de menor nivel. A continuación, se presenta la esquematización conceptual de la acumulación del flujo que caracteriza la oferta y demanda hídrica.

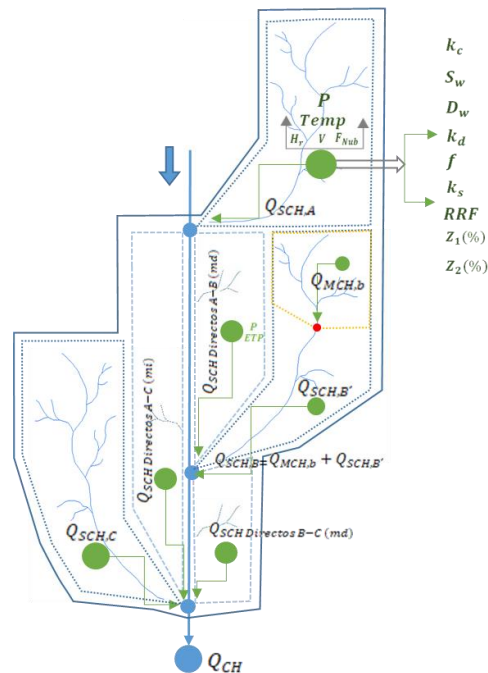


Figura 8. Esquema conceptual de la clasificación y acumulación de la oferta hídrica.

El caso específico mostrado en la Figura 8, define la representación esquemática de una cuenca hidrográfica (CH), cuya jerarquización del flujo de agua de sus subcuencas

$$(SCH_A, SCH_B, SCH_C, SCH_{Directos A-B (md)}, SCH_{Directos A-C (mi)}, SCH_{Directos B-C (md)}),$$

Es representado en el siguiente orden de acumulación del flujo.

$$Q_{SCH,A}, Q_{SCH Directos A-B (md)}, Q_{SCH,B}, Q_{SCH Directos A-C (mi)}, Q_{SCH Directos B-C (md)}, \text{ y } Q_{SCH,C}.$$

Adicionalmente, la oferta hídrica en la subcuenca $Q_{SCH,B}$, contiene dentro de su área de drenaje, la ubicación de la microcuenca abastecedora $Q_{MCH,b}$ del centro poblado que consume la demanda hídrica $D_{hídrica MCH,b}$ (ver Figura 9). La sumatoria del área de drenaje $Q_{SCH,B'}$ y $Q_{MCH,b}$, configura la estimación de la oferta hídrica de dicha subcuenca ($Q_{SCH,B}$).

$$Q_{SCH,B} = Q_{MCH,b} + Q_{SCH,B'}$$

$$Q_{CH} = Q_{SCH,A} + Q_{SCH,Direct A-B (mi)} + Q_{SCH,B} + Q_{SCH,Direct A-C (md)} + Q_{SCH Direct B-C (md)} + Q_{SCH,C}$$

La estimación de la oferta hídrica para cada área de drenaje, es determinada a partir de la generación de la serie completa de Precipitación (P), Humedad relativa (H_r), Viento (V), y Fracción de nubosidad (F_{Nub}); siguiendo la espacialización determinada por el método de interpolación del Inverso de la Distancia al Cuadrado (Inverse Distance Weighted, IDW). La Temperatura ($Temp$) es calculada a nivel espacial, generando el respectivo gradiente altitudinal asignado a la franja de elevación media que corresponde al catchment.

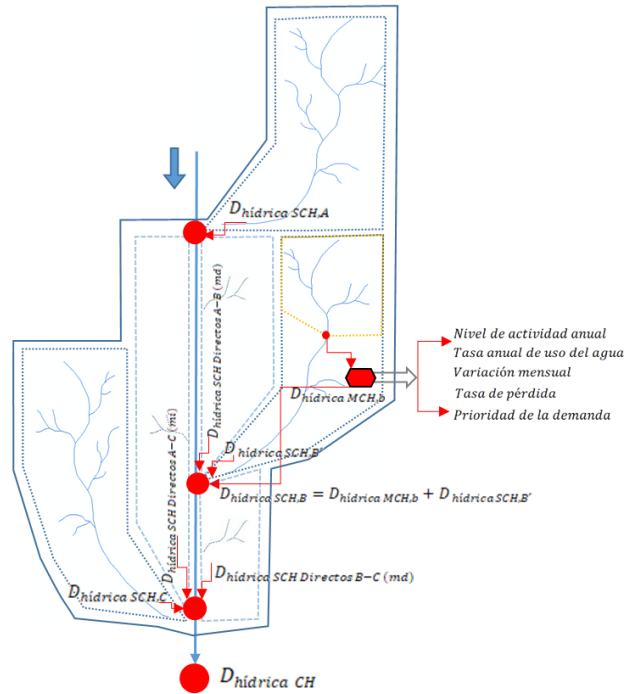


Figura 9. Esquema conceptual de la clasificación y acumulación de la demanda hídrica.

La dirección y acumulación de la demanda hídrica de la cuenca hidrográfica objeto de esquematización, es realizada para las mismas áreas de drenaje clasificadas en la oferta hídrica, considerando que la jerarquización de la demanda hídrica a nivel de subcuenca, es representada en el siguiente orden.

$$D_{hídrica\ SCH,A}, D_{hídrica\ SCH\ Directos\ A-B\ (md)}, D_{hídrica\ SCH,B}, D_{hídrica\ SCH\ Directos\ A-C\ (mi)}, \\ D_{hídrica\ SCH\ Directos\ B-C\ (md)} \text{ y } D_{hídrica\ SCH,C}.$$

La demanda hídrica $D_{hídrica\ SCH,B}$ a nivel de subcuenca, contiene dentro de su caracterización, la demanda hídrica $D_{hídrica\ MCH,b}$ del centro poblado que se abastece de los aportes hídricos de $Q_{MCH,b}$. La sumatoria de las demandas hídricas $D_{hídrica\ MCH,b}$ y $D_{hídrica\ SCH,B'}$, configura la estimación de la demanda hídrica de dicha subcuenca ($D_{hídrica\ SCH,B}$).

$$D_{hídrica\ SCH,B} = D_{hídrica\ MCH,b} + D_{hídrica\ SCH,B'}$$

$$D_{hídrica\ CH} = D_{hídrica\ SCH,A} + D_{hídrica\ SCH\ Directos\ A-B\ (md)} + D_{hídrica\ SCH,B} \\ + D_{hídrica\ SCH\ Directos\ A-C\ (mi)} + D_{hídrica\ SCH\ Directos\ B-C\ (md)} \\ + D_{hídrica\ SCH,C}$$

En relación a los elementos esquemáticos del software WEAP, se consideran los siguientes.

3.6.5.1 Red hídrica superficial.

Constituida por el cauce principal del río y sus principales tributarios dentro de cada unidad de modelación.

3.6.5.2 Unidades de modelación (Catchment).

Son áreas definidas en las cuales se especifican procesos hidrológicos y características del suelo tales como precipitación, temperatura, humedad, usos del suelo, entre otros. En la esquematización de WEAP, se usan para representar zonas de captación o subcuencas previamente delimitadas. Los elementos *Catchment* son representados por puntos de color verde en la esquemática de WEAP, a su vez, estos se conectan con corrientes superficiales, para indicar escorrentía del mismo tipo o con sistemas de aguas subterráneas para indicar infiltración; mediante líneas azules punteadas llamadas *Runoff/Infiltration*.

3.6.5.3 Unidades de demanda.

Este elemento simboliza las demandas hídricas sobre los recursos en cuestión, para el presente caso dichas demandas son del tipo doméstico, agrícola, pecuario, industrial, servicios y piscícola. En la esquemática de WEAP se utiliza un punto de color rojo denominado *Demand Site* a fin de representar uno de estos elementos.

3.6.5.4 Conducciones de agua.

Este elemento se refiere al conjunto de estructuras necesarias para la captación y el transporte del agua desde el río hasta el sitio de demanda que la requiere. En WEAP se representan por medio del elemento *Transmission Link*, el cual es una línea continua de color verde con un punto del mismo color en su inicio.

3.6.5.5 Flujos de retorno.

Este elemento cumple la función de simbolizar el conjunto de estructuras utilizadas para transportar, evacuar y descargar sobre una fuente de agua superficial las aguas servidas que provienen principalmente de los sitios de demanda. En el esquema de WEAP se representa mediante el elemento *Return Flow*, que corresponde a la línea continua de color rojo.

3.6.5.6 Caudal ambiental.

Dicho elemento es utilizado con el fin de garantizar que la demanda de caudal ambiental aguas debajo de la cuenca de análisis, sea satisfecha. Dicho elemento es representado mediante el elemento *Flow Requirement*, identificado con el símbolo de objetivo.

3.6.5.7 Estación de medición de caudal.

Este elemento permite la representación de la estación Limnimétrica que mide los caudales que transitan por las corrientes de agua superficiales. En WEAP se identifica con el elemento *Streamflow Gauge* que corresponde a un punto de color azul con flecha en forma diagonal. En este elemento se ingresan datos de caudales

observados, los cuales se utilizan en la etapa de calibración y validación del modelo hidrológico.

3.6.6 Bases de datos.

La integración del modelo hidrológico, se realiza a escala temporal diaria, teniendo en cuenta como principal base de datos, la información asociada a la caracterización climática

Información de usos del suelo, coberturas vegetales, y el respectivo modelo digital de elevación de la cuenca objeto de estudio.

La caracterización climatológica recibe su respectivo tratamiento de la información, considerando la recolección de la misma, la preselección de estaciones y la definición de la ventana de tiempo de por lo menos de 15 años e ideal de 30 años, teniendo en cuenta un máximo de 10% de vacíos en el parámetro de precipitación y 30% en temperatura, con excepciones más flexibles para los demás parámetros de medición cuya variación intranual e interanual es menos pronunciada. La información meteorológica es evaluada teniendo en cuenta pruebas de consistencia, homogeneidad, análisis de vacíos, datos atípicos, así como el respectivo completado de valores faltantes dependiendo de la evaluación del coeficiente de correlación de Pearson entre las estaciones independientes respecto a la estación objeto de estimación, clasificando de forma implícita similar variabilidad climática entre ellas.

La distribución espacial de las variables climáticas de precipitación, humedad relativa, viento, brillo solar, evaporación y la evapotranspiración potencial, es representada a partir del método de interpolación del Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW), el cual se fundamenta en el peso en función de la proximidad de las estaciones de medición a interpolar, considerando mayor ponderación a las estaciones más cercanas. En relación al parámetro de temperatura media, mínima y máxima, su distribución espacial se referencia a partir del gradiente altitudinal, el cual correlaciona la altitud asociada y la temperatura registrada por las estaciones aferentes.

Las coberturas vegetales son interpretadas a partir de la clasificación Corine Land Cover, cuya información permite caracterizar los coeficientes de cultivos y los porcentajes de distribución superficial para cada unidad hidrológica del modelo. Adicionalmente, se incluye como información de importancia, el respectivo modelo digital de elevaciones donde se realiza el geoprocesamiento para calcular las altitudes medias para cada unidad hidrológica del modelo (catchment).

3.6.7 Evaluación de incertidumbre.

La incertidumbre siempre estará presente en todo proceso de modelación hidrológica, sin embargo, su conocimiento cualitativo permite definir los rangos de

aplicación, limitaciones y alcance del modelo establecido. Es por esto que se presentan los siguientes determinantes que generan incertidumbre dentro del contexto de la representación física real de la cuenca hidrográfica.

- Escalas y fuentes de información diferentes de las características físicas de la cuenca
- Conceptualización del método aplicado en la modelación hidrológica, teniendo en cuenta las condiciones iniciales y las suposiciones en el balance hídrico.
- Recolección y continuidad de la información de precipitación, temperatura media, humedad relativa y brillo solar en las estaciones meteorológicas.
- Proceso de interpolación espacial de las variables climatológicas con limitaciones en la aproximación de la realidad de la distribución espacial del clima en la zona de estudio.
- Incertidumbre asociada a la distribución espacial de la textura de suelos obtenida a partir de la clasificación de determinados puntos de muestreo de las propiedades físicas y mecánicas de los estratos de suelo, los cuales no representan con exactitud la fluctuación de la superficie y profundidad de los suelos en la cuenca.
- Representación limitada de las curvas de gastos para todos los caudales probables circulantes por la estación hidrométrica objeto de calibración y validación.
- Proceso de equifinalidad en la etapa de calibración del modelo hidrológico, donde diferentes sets de parámetros dentro del contexto de la literatura científica y su rango de fluctuación semejante, puede representar respuestas óptimas en los criterios de desempeño, estableciéndose diferentes calibraciones válidas con fines de modelación, sin identificar con total certidumbre la mejor calibración para el contexto de la cuenca y la escala espacio – temporal.

3.6.8 Análisis de sensibilidad.

Es necesario aclarar que las ecuaciones son no lineales y los parámetros modifican diferentes componentes del modelo hidrológico, por lo tanto, el cambio de una sola, puede representar una variación no proporcional en cada uno de los componentes del modelo de WEAP. A continuación, se referencia una breve explicación de las variables más sensibles:

3.6.8.1 Coeficiente de cultivo (k_c).

Coeficiente dependiente de las características propias de cada uso del suelo, hace referencia a la relación entre la evapotranspiración de referencia de un cultivo con condiciones reguladas y la evapotranspiración real de la planta en cuestión. El coeficiente de cultivo adopta diferentes valores numéricos respecto a la edad de la planta, sin embargo, el método de la humedad del suelo del software, introduce el valor medio ($k_{c,med}$) para efectos de simplificación.

3.6.8.2 Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (S_w).
Capacidad de almacenar agua efectiva en la capa superior del suelo (Balde 1), representada en milímetros (mm). Esta varía en función del uso del suelo y es directamente proporcional al flujo subsuperficial.

3.6.8.3 Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (D_w).
Capacidad de almacenar agua efectiva en la zona más profunda del suelo (Balde 2) en milímetros (mm). Este parámetro es representado por un valor único en cada unidad hidrológica (catchment), y es independiente del uso o tipo de suelo por tratarse del estrato profundo; su modificación es irrelevante en la respuesta a los caudales superficiales modelados ya que no afecta directamente la escorrentía superficial.

3.6.8.4 Factor de resistencia a la escorrentía (RRF).

Por medio de este parámetro, se controla la respuesta de la escorrentía superficial, tal como se puede observar en la ecuación del balde superior ($P_e(t)Z_{1,j}^{2RRF_j}$), la modificación numérica de este parámetro influye de forma inversa en la escorrentía superficial. El rango de valores del RRF se encuentra entre 0.1 y 10. Adicionalmente, dicho parámetro se encuentra relacionado con el índice de área foliar, la conductividad del suelo y la pendiente del terreno; “en épocas de estiaje, el suelo estará seco, con baja escorrentía y gran parte de la precipitación se infiltrará; por lo tanto, el valor de RRF será alto. En épocas húmedas, el suelo estará saturado, por lo tanto, la escorrentía aumentará y el valor adoptado de RRF será bajo” (Escobar M. , Lima, Purkey, Yates, & Forn, 2013, págs. 23-34).

3.6.8.5 Conductividad de zona de raíces (k_s).

Tasa de conductividad en el Balde superior con saturación completa, que se distribuye según la dirección preferencial del flujo (f_d). El valor del k_s depende del uso del suelo, debido a la incidencia que tiene en las propiedades físicas del estrato en la zona de raíces, por ello cuenta con un valor para tipo de cobertura.

3.6.8.6 Conductividad de zona profunda (K_d).

Tasa de conductividad (longitud/tiempo) de la zona profunda con saturación total, que controla la transmisión de caudal base. Cuenta con un único valor para el catchment y es independiente del tipo de suelo, por tratarse del estrato profundo del cual no se tiene información detallada.

3.6.8.7 Dirección preferencial de flujo (f_d).

Es usado para la división del flujo de la zona de raíces entre el flujo subsuperficial y el flujo hacia la parte más baja del suelo. La dirección preferencial del flujo varía entre 0.0 y 1.0, condicionando para valores iguales a la unidad (1.0), el 100% se

configura en preferencia para el flujo horizontal, y en contraste, para valores iguales a cero (0.0), el 100% es determinado para el flujo vertical.

3.6.8.8 Nivel de humedad en la zona de raíces (Z_1).

Corresponde al porcentaje del almacenamiento efectivo de la zona de conductividad de las raíces, fluctuando a partir del uso del suelo definido.

3.6.8.9 Nivel de humedad en la zona profunda (Z_2).

Es el porcentaje del almacenamiento efectivo de la zona del suelo más profunda. Dicho parámetro no varía según el tipo de suelo.

A continuación, se presenta la variación teórica de los parámetros físicos del método de la humedad el suelo incorporado en el software WEAP, así como la compilación de algunos rangos materializados en literatura científica y estudios técnicos, reposados en las siguientes referencias: (FAO, 2006), (Duque Y. & Vázquez Z., 2015), (Escobar & Lozano Sandoval, 2014), (Escobar M. , Lima, Purkey, Yates, & Forn, 2013), (Olsson, y otros, 2017), (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, 2009) y (Flores-López, Galaitsi, Escobar, & Purkey, 2016).

Tabla 4. Parámetros del método lluvia escorrentía de la humedad del suelo en WEAP.

Parámetro	Unidad	Mín. Teórico	Máx. Teórico	Mín. Revisión de Literatura	Máx. Revisión de Literatura	Med. Revisión de Literatura
kc		0.30	1.30	0.30	1.30	0.90
S_w	mm	0.1	-	10	4320	634
D_w	mm	0.1	-	50	7500	1322
RRF		0.1	10	0.80	8.00	4.23
k_s	mm/mes	0.1	-	10	2000	372
k_d	mm/mes	0.1	-	10	600	161
f_d		0	1	0.10	0.90	0.50
Z_1	%	0	100	10	50	29
Z_2	%	0	100	30	50	33

3.6.9 Criterios de desempeño.

La calibración del modelo se evalúa de forma visual y utilizando las métricas estadísticas de Nash Sutcliffe, Percent BIAS (PBIAS), y el índice RSR obtenido entre la relación de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y la desviación estándar de las observaciones. Adicionalmente, es necesario determinar el periodo de validación donde se ratifica el set de parámetros de calibración. A continuación,

se describen los parámetros de bondad de ajuste seleccionados para evaluar la calibración y validación del modelo hidrológico.

3.6.9.1 PBIAS.

Evalúa el sesgo de la tendencia media de los datos simulados respecto a los medidos. El calificador de mejor evaluación corresponde al valor de cero (0.0) y se dispersa hacia los valores negativos y positivos. Un calificador positivo indica subestimación del modelo, y en contraste, un calificador negativo, sobrestimación. La expresión se define:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs})} \right]$$

Donde,

$Y_{i, obs}$: Dato observado en la ubicación x, y .

$Y_{i, sim}$: Dato simulado en la ubicación x, y .

$Y_{i, mean}$: Promedio de los datos observados.

n : Numero de datos observados.

3.6.9.2 Nash Sutcliffe.

Determina la magnitud relativa de la varianza residual (ruido) en comparación con la varianza de los datos de información (Nash & Sutcliffe, 1970). Su rango de calificación fluctúa entre $-\infty$ y 1.0, siendo la unidad (1.0) la mejor evaluación.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, mean})^2} \right]$$

3.6.9.3 RMSE.

Evalúa el desempeño del sesgo entre lo observado y simulado en función de la raíz del promedio de los errores al cuadrado. Entre más cercano a cero sea dicho valor, se centralizará la óptima evaluación. Su rango de variación se encuentra en los números reales, siendo un calificador positivo una representación de subestimación del modelo.

$$RMSE = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, sim})^2}}{n} \right]$$

3.6.9.4 RSR.

Índice estandarizado para medir las diferencias entre lo observado y modelado, relacionando el RMSE y la desviación estándar de las observaciones. Su expresión general se define como:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}}$$

$$RSR = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i, obs - Y_i, sim)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i, obs - Y, mean)^2}} \right]$$

3.6.9.5 Coeficiente de Pearson (r).

El coeficiente de correlación lineal de Pearson (r_{ij}) propuesto por (Pearson, 1895), determina el grado de asociación entre los datos observados y los simulados. Este coeficiente, determina fuerte grado de similitud entre los caudales de mayor permanencia en la curva de excedencias, disminuyendo en representación de eventos hidroclimatológicos. El rango de variación esta entre -1.0 a 1.0, siendo 1.0 el valor perfecto de asociación lineal con proporcionalidad directa; el valor de r_{ij} cercano a 0.0 representa ausencia de correlación entre las variables. A continuación, se presenta la expresión.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}_i)}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^{\frac{1}{2}} * (\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde,

r_{ij} : Coeficiente de correlación lineal de Pearson.

x_i : Valor mensual del caudal observado.

y_i : Valor mensual del caudal simulado.

El grado de desempeño se obtiene a partir de la representación propuesta por (D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith, 2007) donde se definen los criterios según la siguiente tabla.

Tabla 5. Medidas de bondad de ajuste.

Fuente: Moriasi, et al. (2007).

PBIAS	NSE	RSR	Interpretación
$PBIAS < \pm 10$	$0.75 < NSE \leq 1.0$	$0.00 < RSR \leq 0.50$	Muy Bueno
$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$0.50 < RSR \leq 0.60$	Bueno
$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$0.60 < RSR \leq 0.70$	Satisfactorio
$PBIAS \geq \pm 25$	$NSE < 0.50$	$RSR > 0.70$	No Satisfactorio

3.6.10 Calibración y validación.

La calibración y validación de modelo hidrológico de la cuenca se realiza a partir del ingreso de las series de clima de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la fracción de nubosidad, distribuidos en la cuenca y de los parámetros de transferencia en el área de drenaje

Se obtiene la información de entrada correspondiente a la serie climática de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la fracción de nubosidad, distribuidos en la cuenca referenciada en el proceso de calibración ($P_{Calibración}$, $Temp_{Calibración}$, $Hr_{Calibración}$, $V_{Calibración}$, $F.Nub_{Calibración}$). Dentro del área de drenaje en mención, se configuran los procesos de transferencia los cuales son ajustados a partir de los parámetros de k_c : Coeficiente de cultivo; S_w : Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces; D_w : Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda; RRF : Factor de resistencia a la escorrentía; k_s : Conductividad de zona de raíces; k_d : Conductividad de zona profunda; f : Dirección preferencial de flujo; Z_1 (%): Nivel de humedad en la zona de raíces; y Z_2 (%): Nivel de humedad en la zona profunda.

El proceso de parametrización define su propia respuesta hídrica, la cual es contrastada con los caudales registrados en la respectiva estación hidrométrica ($Q_{Calibración}$), y evaluada a partir de los estadísticos NSE , $PBIAS$ y RSR en la fase de calibración y validación en diferentes periodos.

Después de establecer los cuatro parámetros que definen la representatividad de la cuenca, se incluyen los mismos en la unidad hidrográfica, cuya serie climática distribuida

($P_{Punto Interés}$, $Temp_{Punto Interés}$, $Hr_{Punto Interés}$, $V_{Punto Interés}$, $F.Nub_{Punto Interés}$) responde a la modelación hidrológica ajustada a la región.

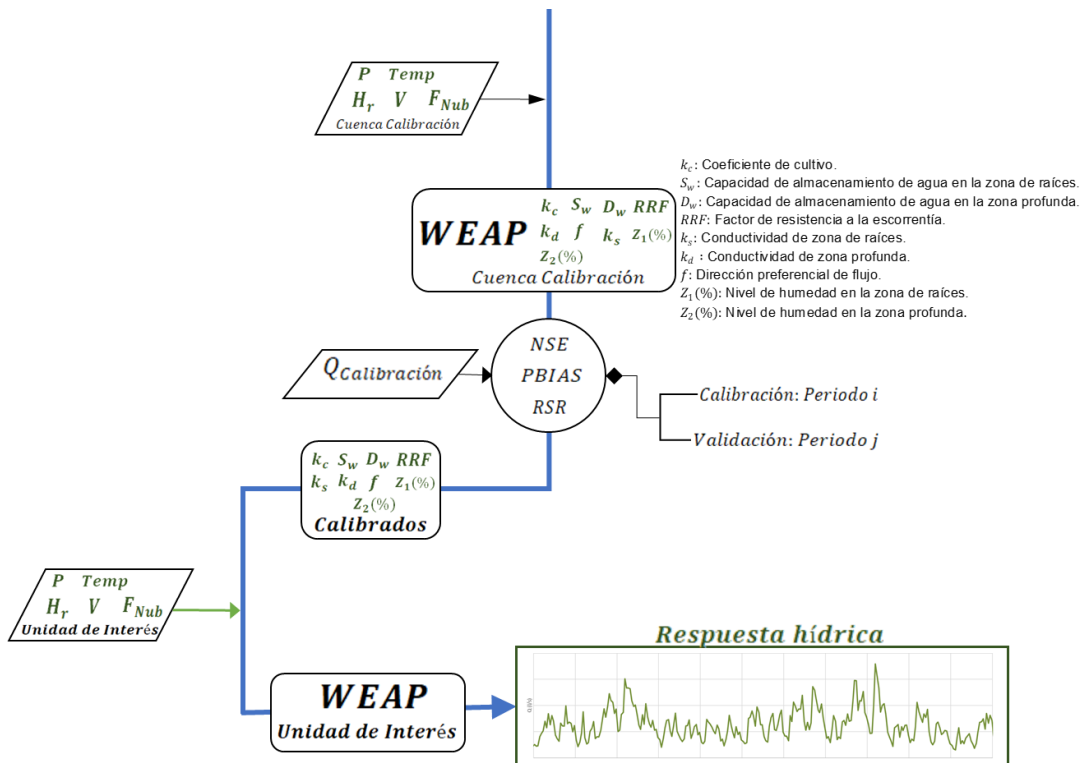


Figura 10. Esquema del proceso de calibración y validación.

Es importante resaltar, que la unidad hidrográfica de interés, no cuenta con información hidrométrica disponible dentro de su área de drenaje, debido a que sólo se encuentra la estación limnigráfica (LG) *San Juan Mira–Aut. [51027060]* ubicada en el municipio de Tumaco, la cual se caracteriza por incluir tecnología *Automática*, cuyo registro no ha sido validado por el IDEAM y la misma entidad, no autoriza la utilización de su serie para la toma de decisiones. Por lo tanto, el proceso de calibración y validación, se realiza en estaciones hidrométricas cercanas con similar zona climática y cuyas áreas de drenaje no determinen desproporciones comparativas de tamaño.

Las estaciones objeto de calibración y validación, corresponde al registro limnigráfico (LG) de *Quelvi [51027030]*, y las estaciones limnimétricas (LM) de *Palpis [51027040]* y *Pilispi [51027020]*, las cuales se encuentran ubicadas dentro del municipio de Ricaurte (Nariño).

Las pruebas estadísticas serán realizadas a la estación que presente mejor evaluación de acuerdo a la calidad y continuidad de su información, considerando que los parámetros ajustados para la misma, determinan evaluaciones de ajuste similares a las cuencas de calibración no utilizadas.

A continuación, se presenta la imagen donde se visualiza la unidad hidrográfica objeto de ordenación, así como las cuencas referenciadas para el proceso de calibración y validación del modelo hidrológico.

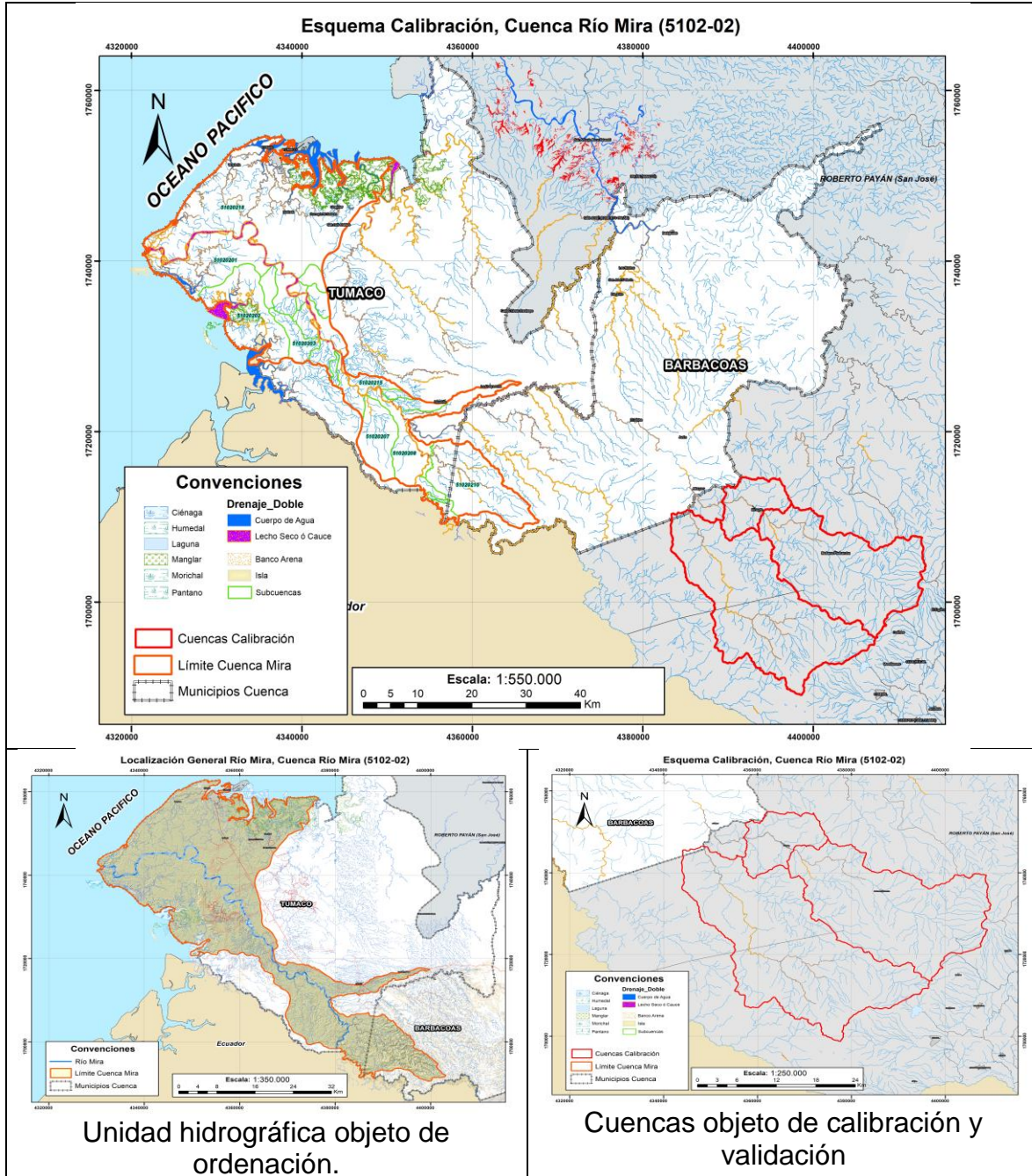


Figura 11. Unidad hidrográfica del río Mira (margen izquierda) y las cuencas hidrográficas de calibración y validación.

3.7 Oferta hídrica

Se establecen las generalidades y caracterizaciones de la oferta hídrica.

3.7.1 Oferta hídrica total.

Se representa la oferta hídrica modelada correspondiente a los aportes hídricos del área hidrográfica objeto de ordenación, así como sus unidades subsiguientes (subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros poblados). Dicha caracterización se realiza de acuerdo a la variabilidad intranual e interanual en la ventana de modelación seleccionada, donde se determinan caudales medios característicos en condiciones de año hidrológico normal y seco.

3.7.2 Rendimiento hídrico.

El rendimiento hídrico es estimado a partir de la oferta hídrica total y el área de drenaje asociado a la unidad de análisis, donde los valores de mayor magnitud indican áreas con potencialidades por producción de agua. Dichos rendimientos son estimados para cada una de las condiciones de años hidrológicos normal y seco.

$$R_{hídrico} = \frac{\text{Oferta}_{hídrica\ total}}{\text{Área de drenaje}}$$

3.7.3 Caudal ambiental.

El caudal ambiental, de acuerdo al Decreto 1076 de 2015 se define como el “*volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas*”. Existen numerables metodologías para la estimación del caudal ambiental, considerando diferentes enfoques como hidrológicos, hidráulicos, simulación de hábitats y holísticos; teniendo en cuenta que cada consideración metodológica tiene particularidades en su definición y aplicación. Para el presente estudio, se propone la determinación del Q_{Amb} considerando los métodos de enfoque hidrológico correspondientes al QIRH, Q95 y 7Q10.

3.7.3.1 Q95.

Se calcula utilizando curvas de excedencia de caudales construidas para cada mes y el valor medio anual, este índice corresponde al caudal excedido el 95% del tiempo según la curva construida.

3.7.3.2 QIRH.

Caudal considerando según el Índice de Regulación Hídrica (IRH), propuesto en el Estudio Nacional del Agua (ENA), donde se obtiene el Q85 de la curva de excedencia de caudales para zonas con un IRH igual o superior a 0.70 (alta retención y regulación), y Q75 de la curva de excedencia de caudales, característico para zonas con IRH inferiores a 0.70.

3.7.3.3 7Q10.

Determina el caudal más bajo de la serie de datos durante un lapso de 7 días para un periodo de retorno de 10 años, para su estimación se realiza un promedio móvil de 7 periodos (días), para establecer el valor mínimo o estiaje más bajo en 7 días para cada año con los cuales se aplica la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos para la determinación del caudal con un periodo de retorno de 10 años.

La representación del caudal ambiental estimado, se caracteriza en el área hidrográfica objeto de ordenación, así como en sus unidades subsiguientes (subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros poblados).

3.7.4 Oferta hídrica disponible.

La oferta hídrica disponible, se considera como el máximo volumen de agua que puede ser empleado para el consumo y desarrollo de las actividades productivas de una región, sin involucrar el agua necesaria para el sostenimiento de los ecosistemas naturales. Se calcula a partir de la siguiente expresión.

$$Oh = Oh_{Total} - Q_{Amb}$$

Donde,

Oh : Oferta hídrica disponible.

Oh_{Total} : Oferta hídrica total en la unidad y periodo de análisis.

Q_{Amb} : Caudal ambiental demandado en la unidad y periodo de análisis.

La representación de la oferta hídrica disponible, se caracteriza en el área hidrográfica objeto de ordenación, así como en sus unidades subsiguientes (subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros poblados), de acuerdo a la variabilidad intranual e interanual en la ventana de modelación seleccionada.

3.8 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

El IRH evalúa la capacidad de la unidad para mantener un régimen de caudales, calculándose como la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales mensuales. *“El índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencia acumuladas”* (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Tabla 6. Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

Descripción	Rango del Indicador	Categoría
Muy Baja retención y regulación de humedad	<0.50	Muy Baja
Baja retención y regulación de humedad	0.50-0.65	Baja
Media retención y regulación de humedad	0.65-0.75	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	0.75-0.85	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	>0.85	Muy Alta

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

3.9 Índice de Variabilidad (IV).

Este índice se obtiene a partir de la curva de duración de caudales, estableciendo que la baja variabilidad, tiene concordancia a flujos de agua constante por los cauces, típicamente presentes en llanuras; por el contrario, las variabilidades altas conciernen a unidades de alta pendiente con flujos de agua muy variables, donde la respuesta hidrológica a las precipitaciones es alta y de baja duración. El índice de variabilidad (IV) se estima mediante la siguiente ecuación y se categoriza de acuerdo a la siguiente tabla.

$$IV = \frac{\text{Log}(Q_i) - \text{Log}(Q_f)}{\text{Log}(X_i) - \text{Log}(X_f)}$$

Donde,

Q_i : Caudal correspondiente al 5% de excedencia de la CDC.

Q_f : Caudal correspondiente al 95% de excedencia de la CDC.

X_i : Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i .

X_f : Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_f .

Tabla 7. Clasificación del Índice de Variabilidad.
Fuente (IDEAM, 2013).

Índice de Variabilidad	Vulnerabilidad
<10°	Muy baja
10°-37°	Baja
37°-47°	Media
47°-51°	Alta
>55°	Muy alta

3.10 Índice de Uso del Agua (IUA).

El IUA se calcula como la relación porcentual entre la demanda de agua total realizada por los diferentes sectores, respecto a la oferta hídrica disponible o aprovechable, en un periodo de tiempo y a una unidad de estudio determinada. Este índice se divide en cinco categorías que son de utilidad para observar el grado de afectación del recurso hídrico referente a la presión que se ejerce por los diferentes usos del agua. Se calcula mediante la siguiente expresión y las categorías se describen en la siguiente tabla.

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

Donde,

Dh : Demanda hídrica total solicitada por los diferentes sectores dentro de la cuenca.

Oh : Oferta hídrica superficial disponible o aprovechable.

Tabla 8. Rangos y categorías índice de uso del agua.

Significado	Rango	Categoría
La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible	>50%	Muy Alto
La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	20%-50%	Alto
La presión de la demanda es moderada respecto a la oferta disponible	10%-20%	Moderado
La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible	1%-10%	Bajo
La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible	≤1	Muy bajo

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

En el presente título del IUA, se incluirán los respectivos análisis oferta-demanda hídrica, relaciones espaciales para las áreas hidrográficas de interés, así como las correspondientes distribuciones, esquematizaciones e información de pertinencia.

3.11 Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).

De acuerdo al Estudio Nacional del Agua y a la Guía técnica para la formulación de POMCAS, el IVH permite calificar el grado de fragilidad del sistema del recurso hídrico, definiendo el riesgo potencial por desabastecimiento de las fuentes hídricas ante amenazas tales como la variabilidad climática, entre otros. El IVH se estima al contrastar los calificadores del Índice del Uso del Agua (IUA) y el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), analizados por categorías cualitativas.

Tabla 9. Rangos y categorías del índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)..

IUA	IRH	Categoría IVH
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio

IUA	IRH	Categoría IVH
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

3.12 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

El índice en cuestión, clasifica las unidades de análisis de acuerdo a su mayor o menor tendencia a la presencia de procesos torrenciales. El presente índice, se fundamenta en un análisis de las características fisiográficas e hidrológicas de la unidad estudiada, respecto a las cuales define la respuesta rápida y fuerte a lluvias de alta intensidad y corta duración, situación que genera escenarios frecuentes de avenidas torrenciales.

Tabla 10. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales

Índice de variabilidad	Índice morfométrico				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy Alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

3.13 Caudales mínimos para diferentes T_r .

Las representaciones del caudal mínimo para diferentes periodos de retorno (T_r), estimados para el área hidrográfica objeto de ordenación y sus unidades subsiguientes, son determinados a partir de los caudales medios diarios modelos, donde se determina el mínimo absoluto por cada año de modelación.

Los caudales mínimos identificados, reciben tratamiento a partir de la aplicación de técnicas analíticas basadas en suposiciones de distribución probabilística de Log Pearson Tipo III, realizándose la evaluación de dicha función a partir de la prueba de Chi-cuadrado.

3.13.1 Distribución Log-Pearson Tipo III.

El análisis de frecuencias basado en la distribución log-Pearson tipo III, se obtiene cuando se usan los logaritmos de los datos observados junto con la distribución probabilística Pearson tipo III. El evento extremo se estima mediante la siguiente ecuación:

$$X_T = \text{Antilog}(Y_T)$$

Donde,

X_T : Valor extremo para un periodo de retorno determinado.

Y_T : Logaritmo base 10 del valor extremo.

$$Y_T = Y + S_y * K_T$$

Donde,

Y_T : Logaritmo base 10 del valor del valor extremo.

Y : Media de los Logaritmos.

S_y : Desviación estándar.

3.14 Caudales máximos para diferentes T_r .

La estimación de los caudales máximos para el área hidrográfica objeto de ordenación y sus unidades subsiguientes, es realizada con fines de conocimiento de la distribución y magnitud de los caudales, considerando las diferentes metodologías de producción, pérdidas, tránsito de caudales, representación del caudal base, entre otros.

3.14.1 Lluvia de diseño.

El hietograma de diseño es representado a partir de la distribución temporal de tormentas de primer cuartil propuesto por Huff (1967), correspondiente a una probabilidad de ocurrencia acumulada del 50%, la cual representa un patrón de lluvia acumulada que debe ser excedido por la mitad de las tormentas (Chow *et. al*, 1994). Dicho hietograma de diseño será generado para una lluvia con tiempo de duración igual al tiempo de concentración.

3.14.2 Hidrograma unitario de Snyder.

El Cuerpo de Ingenieros de los EEUU introdujo después de los estudios de Snyder dos ecuaciones adicionales a este modelo, con el objeto de obtener otros cuatro puntos del Hidrograma Unitario Sintético de Snyder que facilitan su definición.

$$W_{50} = \frac{770}{\left(\frac{Q_p}{A}\right)^{1.08}} \qquad W_{75} = \frac{440}{\left(\frac{Q_p}{A}\right)^{1.08}}$$

Dónde W_{50} es el intervalo de tiempo en horas, correspondiente al 50% del caudal pico y W_{75} es el intervalo de tiempo en horas, correspondiente al 75% del caudal pico.

3.14.3 Modelo de tránsito Muskingum.

Se configura a partir de la ecuación de almacenamiento, donde se supone que no existen aportes intermedios en el tramo del río en estudio, modelando el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma. El tránsito Muskingum utiliza 2 parámetros de ajuste (K , X), los cuales determinan la atenuación y retardo de la respuesta del hidrograma.

3.14.4 Método de pérdidas del SCS.

El Soil Conservation Service (SCS) con el desarrollo de numerosas investigaciones realizadas a diferentes suelos en diversos estados de vegetación y humedad antecedente, logró estandarizar los valores de CN , obteniéndose la respectiva curva de variación relacionando el tipo hidrológico del suelo y las coberturas vegetales. La estimación del Número de Curva (CN) de la unidad hidrográfica objeto del ejercicio, se realiza a partir de la identificación de la condición hidrológica del suelo clasificado en literales A, B, C o D, de acuerdo principalmente a su capacidad de drenaje.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

En este método, la profundidad de escorrentía, es una función de la profundidad total de precipitación y del parámetro de abstracción referido al Número de Curva de escorrentía.

3.14.5 Caudal base.

La estimación del caudal base y su curva de decaimiento, es realizada a partir de la información diaria resultante de la modelación hidrológica de simulación continua, utilizando una fracción del incremento de escorrentía para variar el valor del flujo base y recorrer de esta manera toda la serie de datos. Esta técnica se basa en la ecuación.

$$q_t = \beta_t * q_{t-1} + (1 - \beta_t)/2 * (Q_t - Q_{t-1})$$

4 RESULTADOS

4.1 Análisis y tratamiento hidrométrico.

Dicho análisis se aplica utilizando los criterios de detección de datos atípicos, consistencia y la estimación del porcentaje de vacíos.

4.1.1 Porcentaje de vacíos.

Se realiza la estimación del porcentaje de información faltante dentro de la ventana de modelación hidrológica, comprendida por 29 años entre la fecha 01/01/1990 hasta 31/12/2018. La estación San Juan Mira Aut (51027060) se encuentra localizada dentro de la cuenca objeto de ordenación, donde registra los caudales del río Mira y sus tributarios del río Guiza en Colombia, río Mira en la jurisdicción de Ecuador y el río San Juan con drenajes en Colombia y Ecuador. La estación Quelvi (51027030), es caracterizada como objeto de calibración y validación del modelo de simulación continua en WEAP, con el fin de generar las variables de calibración representativas para la zona.

Tabla 11. Porcentaje de vacíos de las estaciones hidrométricas aferentes.

Código	51027030	51027060
Nombre	Quelvi	San Juan Mira Aut
1990	0.00%	0.00%
1991	0.00%	0.00%
1992	0.00%	0.00%
1993	0.00%	0.00%
1994	0.00%	0.00%
1995	0.00%	0.00%
1996	0.00%	1.37%
1997	0.00%	0.00%
1998	1.10%	1.10%
1999	0.82%	4.66%
2000	0.82%	1.09%
2001	1.92%	0.55%
2002	6.85%	0.27%
2003	100.00%	10.68%
2004	100.00%	0.55%
2005	100.00%	0.55%
2006	100.00%	4.66%
2007	100.00%	2.47%
2008	100.00%	7.10%
2009	100.00%	35.62%
2010	100.00%	38.08%
2011	100.00%	16.16%
2012	100.00%	33.06%
2013	100.00%	5.75%
2014	100.00%	2.19%
2015	100.00%	0.00%
2016	100.00%	0.00%
2017	100.00%	0.00%
2018	100.00%	0.00%

Fuente: (IDEAM, 2013)

La estación Quelvi (51027030), sólo registra caudales hasta el año 2002, generando vacíos promedio de 0.88% entre 1990-2002. Para el caso de la San Juan Mira Aut (51027060), se observa continuidad en el registro con vacíos del 5.72% en la ventana 1990-2018, con excepciones en los años 2009, 2010 y 2012, donde se presentan vacíos superiores al 33%.

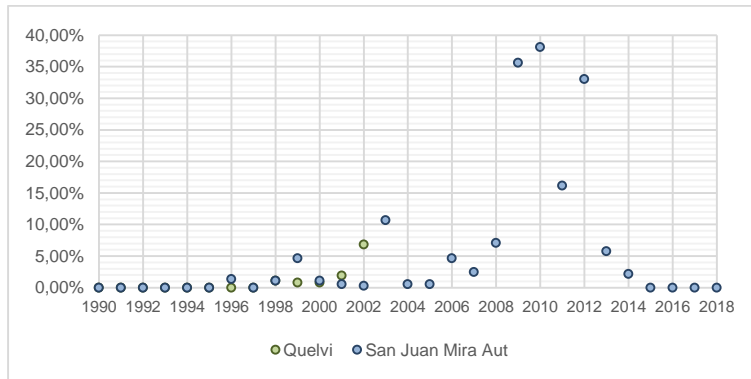


Figura 12. Distribución porcentual de vacíos anual de las estaciones hidrométricas.

4.1.2 Consistencia.

De acuerdo con las siguientes figuras, se identifica que ambas estaciones son consistentes. En referencia a la estación Quelvi (51027030), se observa que, en los años 1990 y 1992, se presentan caudales medios anuales de 70.09% y 68.94% respecto al caudal medio anual de toda la ventana de registro, lo cual coincide con el fenómeno ENSO El Niño ocurrido en dichos años. En contraste, se percibe caudales de 127.13% en 1999 y 146.97% en 2002, respecto al valor medio anual.

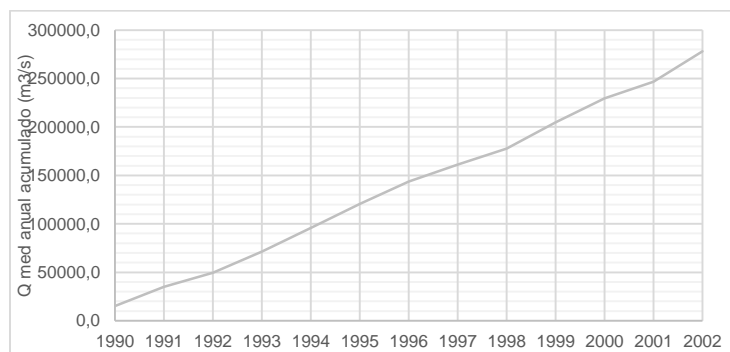


Figura 13. Curva de masas simple. Estación Quelvi (51027030).

Para el caso de la estación San Juan Mira Aut (51027060), se calcula en el año 1999, un caudal medio del 133.89% respecto a la media interanual en toda la ventana de registro, coincidiendo con el fenómeno ENSO La Niña presentada entre los años 1998 y 1999. Adicionalmente, se identifica que, en el año 2001, el valor medio de caudal está a un 71.99% del medio interanual, pero corresponde a la natural variabilidad del clima asociada al ENSO El Niño registrado en dicho año. En la siguiente figura, se observa que entre el 2009 y 2010 la curva de masas simple

representa una recta horizontal, esto sucede porque en dichos años, los vacíos superan el 33.33%.

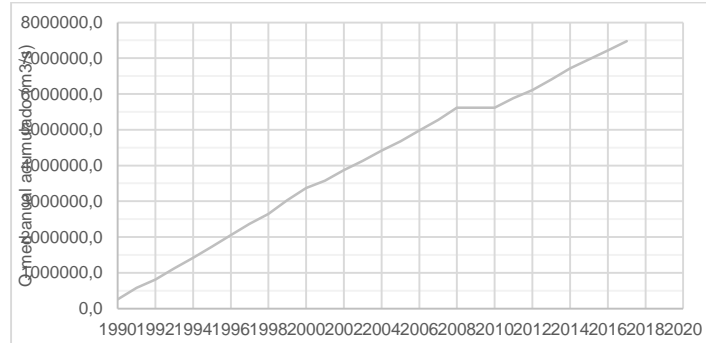


Figura 14. Curva de masas simple. Estación San Juan Mira Aut (51027060).

4.1.3 Detección de datos atípicos.

Se presenta el resumen de datos atípicos identificados en la ventana de registro de las estaciones de la estación Quelvi (51027030) y San Juan Mira Aut (51027060).

Tabla 12. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios.

Código	Nombre	Fecha	Quelvi	Límite superior
51027060	San Juan Mira Aut	26/03/1991	3659	3380.1
51027030	Quelvi	12/10/1994	287.8	280.7
51027060	San Juan Mira Aut	5/02/1999	4236	3380.1
51027030	Quelvi	23/12/1999	306.1	280.7
51027060	San Juan Mira Aut	24/12/1999	3381	3380.1
51027030	Quelvi	29/12/1999	308.9	280.7
51027030	Quelvi	31/12/1999	339.8	280.7
51027030	Quelvi	28/12/2000	309.1	280.7
51027030	Quelvi	8/01/2002	324.8	280.7
51027030	Quelvi	24/01/2002	327.5	280.7
51027060	San Juan Mira Aut	24/04/2002	3659	3380.1
51027030	Quelvi	20/12/2002	527.5	280.7
51027030	Quelvi	21/12/2002	486.3	280.7
51027030	Quelvi	22/12/2002	420	280.7
51027030	Quelvi	23/12/2002	398.8	280.7
51027030	Quelvi	24/12/2002	377.5	280.7
51027030	Quelvi	25/12/2002	355	280.7
51027030	Quelvi	26/12/2002	323.8	280.7
51027030	Quelvi	27/12/2002	411.9	280.7
51027030	Quelvi	28/12/2002	321.8	280.7
51027030	Quelvi	29/12/2002	289.2	280.7
51027030	Quelvi	30/12/2002	286	280.7
51027060	San Juan Mira Aut	29/11/2006	3474	3380.1
51027060	San Juan Mira Aut	7/01/2014	3672	3380.1
51027060	San Juan Mira Aut	3/03/2014	4424	3380.1
51027060	San Juan Mira Aut	19/10/2014	3396	3380.1

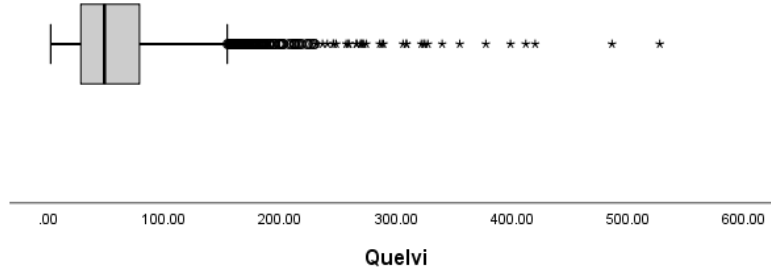


Figura 15. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios. Estación Quelvi (51027030).

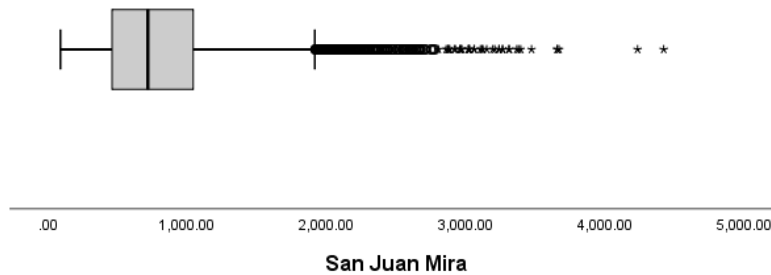


Figura 16. Diagrama de cajas asociados a los caudales medios. Estación San Juan Mira Aut (51027060).

Dichos valores atípicos corresponden a la variabilidad natural del clima, asociados a fenómenos ENSO en sus fases cálida y húmeda, así como los efectos fisiográficos y demás características propias de la región, que establecen dichos caudales máximos en referencia a periodos de retorno naturales del cauce.

4.2 Caracterización hidrométrica.

En el presente ítem, se incluye la caracterización media mensual multianual, así como la media anual del caudal medio diario registrado en las estaciones hidrométricas.

4.2.1 Análisis temporal.

El régimen hidroclicmático de la zona destaca por su variabilidad con tendencia cuasi bimodal (cuasi monomodal), cuya temporada de lluvias está definida por las circulaciones océano-atmosféricas, en cierta proporción por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y la proximidad al océano Pacífico, donde se reflejan los periodos de caudal alto entre los meses de noviembre a abril, con un ligero descenso en el mes de febrero.

Se percibe en diferentes escalas el régimen hidroclimático cuasi bimodal (cuasi monomodal), donde se identifica que la estación *Quelvi* presenta en sus medios mensuales multianuales, un pico máximo en el mes de diciembre de 94.6 m³/s, correspondiente al 160.00% del caudal medio anual en su ventana de registro, así como un caudal más bajo en el mes de agosto de 22.2 m³/s, equivalente al 37.59% del caudal medio anual.

En relación a la estación *San Juan Mira*, persiste el régimen, identificándose el pico máximo en abril, con 1071.9 m³/s asociado al 132.45% del caudal medio anual en su ventana de registro, así como un pico mínimo de 462.9 m³/s en el mes de agosto, representando el 57.20% del caudal medio anual. A continuación, se presentan las tablas y figuras que resumen la variación mensual y anual de dichas estaciones.

Tabla 13. Caudal medio mensual de las estaciones hidrométricas.

Código	51027030	51027060
Nombre	Quelvi	San Juan Mira Aut
Ene	82.7	968.1
Feb	60.7	864.1
Mar	70.2	917.8
Abr	72.8	1071.9
May	58.4	1036.5
Jun	45.6	763.0
Jul	27.3	585.4
Ago	22.2	462.9
Sep	38.3	542.9
Oct	57.3	822.4
Nov	76.7	816.1
Dic	94.6	882.5
Media anual	59.1	809.3

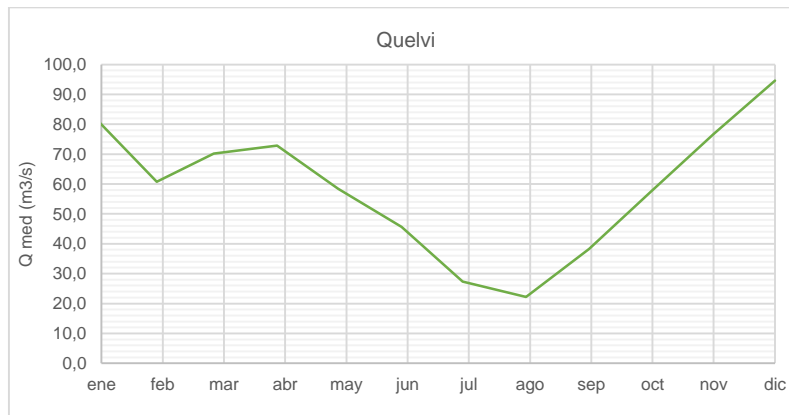


Figura 17. Caudal medio mensual multianual. Estación Quelvi (51027030) 1990-2002.

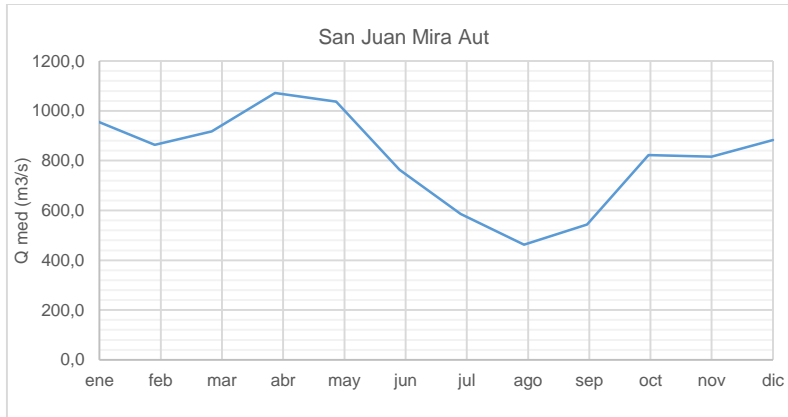


Figura 18. Caudal medio mensual multianual. Estación San Juan Mira Aut (51027060) 1990-2018.

A escala anual, se observa la fluctuación de caudales acorde a los años húmedos y secos propios de la variabilidad natural del régimen hidrológico de la región.

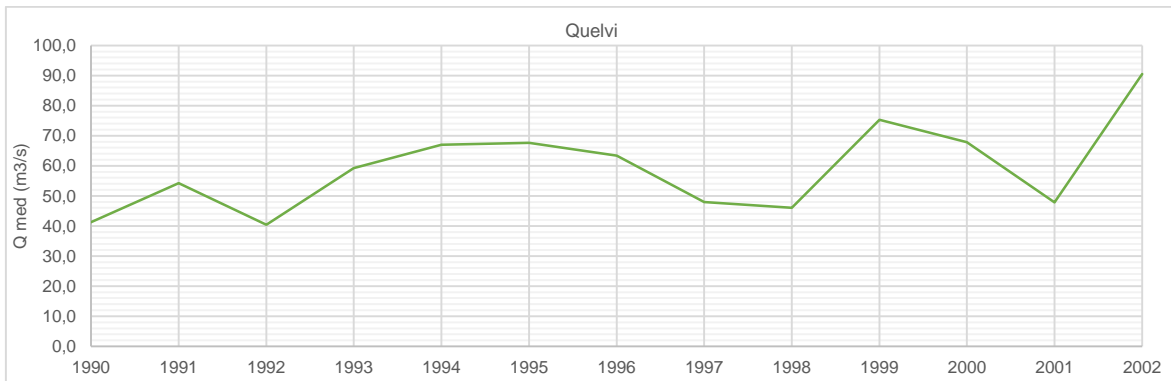


Figura 19. Caudal medio anual. Estación Quelvi (51027030)

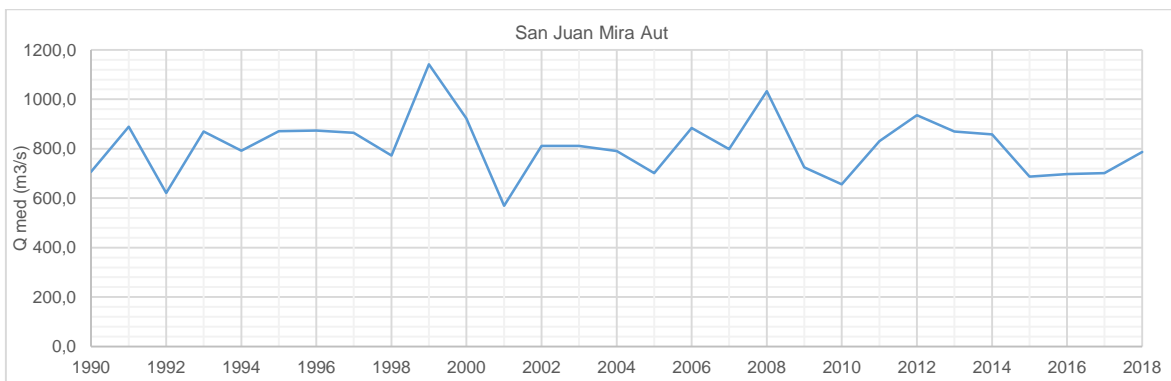


Figura 20. Caudal medio anual. Estación San Juan Mira Aut (51027060)

4.3 Inventario de infraestructuras hidráulicas.

El inventario de infraestructuras hidráulicas, es determinado a partir de la información secundaria reposada en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del casco urbano del municipio de Tumaco (2014), y en el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua PUEAA del municipio de Tumaco (2019).

4.3.1 Acueducto.

El servicio de acueducto cubre un 75 % de la población urbana y solo el 4% de la población rural.

4.3.1.1 Bocatoma.

Se encuentra ubicado a 7,6 Km de la Planta de Tratamiento de Buchelly, en la localidad Brisas del Acueducto. Compuesto por estructura flotante metálica de aproximadamente 10.50 metros de longitud por 5.5 metros de ancho, lámina de acero de $\frac{1}{4}$, con seis compartimientos de Flotación y estructura de protección soportada por tubería HG de 2", con techo en cercha de 11/8, correa en lámina calibre 18, tejas de zinc y cerramiento en malla, anclada a tierra por un sistema de rotulas y tensores en acero.

El sistema hidromecánico de captación está integrado por una electrobomba de 125 y una de 300 hp, las cuales trabajan de manera simultánea las 24 horas del día.

4.3.1.2 Línea de aducción

Conduce el agua cruda desde la bocatoma hasta la Planta de Tratamiento, atravesando las siguientes localidades: Brisas del Acueducto, Nueva Reforma, Inguapi del Guadual, Inguapi del Guayabo.

Comprendida por dos tuberías paralelas de 16" de diámetro. Una es de Asbesto Cemento (A.C.P.) y la otra es de concreto reforzado con lámina de acero (C.C.P.), con una longitud aproximada de 7.600 metros.

A la salida de la planta existen empates con anclajes muy precarios, sin concreto sostenidos por el tensionamiento de cables con varas de madera y en una zona pantanosa.

4.3.1.3 Planta de tratamiento

Capacidad teórica de 302 L.P.S. Realizan tratamiento convencional que comprende los procesos de mezcla rápida hidráulica, floculación hidráulica, sedimentación, filtración y desinfección con cloro. Cuenta con pozo de succión, tanque de almacenamiento con capacidad de 1830 m³ y con un tanque elevado para el retro lavado de filtros.

El bombeo del agua potable se realiza con tres electrobombas de 125 hp, 300 hp y 40 hp, esta última se utiliza para dotar de agua a la población rural. Existe otra electrobomba de 60 hp, que surte de agua al tanque elevado para el retro lavado de filtros.

La medición de caudales a la entrada se realiza con una canaleta Marshall sin calibración.

El proceso de floculación se realiza en tanques tipo Alabama de flujo ascendente (20 unidades).

Cuenta con 4 cámaras de retención de sólidos de gran tamaño, 4 tanques sedimentadores de alta tasa, 4 unidades de Filtración de flujo descendente, con lechos de antracita, grava y arena. La desinfección se realiza mediante dosificación de Cloro líquido no controlada y sin ningún criterio técnico. El sistema eléctrico opera dentro del cuarto de máquinas con una película constante de agua, los tableros, cableado, tomas y conexiones presentan un alto grado de deterioro del sistema.

4.3.1.4 Tanques de Almacenamiento.

Tanque de almacenamiento 1: Se encuentra frente a la PTAP, tiene una capacidad de 1830m³. Es de un sólo cuerpo, recibe el agua procesada por la planta y la almacena para que esta sea bombeada directamente a las redes de distribución.

Tanque de almacenamiento 2: Se encuentra en la PTAP, tiene una capacidad de 450m³. Se utiliza para el retro lavado de los filtros y consumo de los operarios de la PTAP.

Tanques de almacenamiento elevados: Dentro de la zona urbana de Tumaco se encuentran tres tanques elevados en islas de Tumaco, la Viciosa y el Morro, con capacidad de 700m³.

4.3.1.5 Línea de conducción.

Línea de 18 km a través de la cual se transporta mediante electrobombas, agua potable para el llenado de los tres tanques de compensación ubicados en las islas de Tumaco, la Viciosa y el Morro.

4.3.1.6 Redes de distribución.

Tiene una longitud aproximada de 96.750 m de tubería con diámetros de 20" a 2", construida en P.V.C., Asbesto Cemento y con acometidas domiciliarias en P.D.F., la red de distribución se proyectó para ser abastecida por los tanques de compensación mencionados anteriormente, su inoperancia ocasiono el bombeo directo de la red de distribución.

4.3.1.7 Pérdidas.

AQUASEO S.A ESP, ha calculado sus pérdidas físicas y comerciales de agua en un 53%, y se presume que las mayores pérdidas ocurren en la red de distribución ocasionadas por la fractura de la red durante el sismo de 1979 al descender 70 cm. el nivel de suelo, así como las conexiones fraudulentas. La Planta de Potabilización, presenta pérdidas del 13% debido a fallas estructurales en los tanques de proceso. La red de conducción tiene pérdidas del 3%, (PUEAA, 2019).

4.3.2 Alcantarillado.

El casco urbano de Tumaco no cuenta con redes de alcantarillado sanitario, salvo las entidades que cuentan con permiso de vertimientos. Existe un alcantarillado pluvial con cobertura del 60%, compuesto por canales y tuberías que evacúan las aguas lluvias, a las cuales se conectan descargas de agua residual de manera clandestina, las cuales no se pueden cuantificar.

La empresa AQUASEO S.A ESP, estima que los vertimientos se emiten de la siguiente manera: Palafítico 20%, Conexiones fraudulentas de aguas residuales domésticas a los canales de agua lluvia en la - isla de Tumaco 10%, Vertimiento y tratamiento preliminar en la red pluvial del sector Pradomar la Florida 5%, Infiltración 61,6%, y Otros empresariales con Permiso de Vertimiento 3,4%.

4.3.2.1 Descripción del Sistema.

Las redes de alcantarillado pluvial se ubican en tres sectores:

Isla del Morro.

La isla del Morro tiene un área de 332,15 hectáreas y cuenta con un servicio de alcantarillado pluvial al cual se conectan clandestinamente descargas de agua residual. Así como usuarios comerciales y oficiales que cuentan con Permisos de Vertimientos.

Isla de Tumaco.

La isla de Tumaco tiene un área de 173,6 hectáreas. Cuenta con un servicio de alcantarillado pluvial formado por canales de concreto y tuberías, al cual se conectan clandestinamente descargas de agua residual no controlada ni medida. Se ha detectado cuatro descargas pluviales contaminadas con descargas de agua residual clandestina ubicadas en los siguientes puntos: sector DIAN, Puente Residencial, San Carlos y Curso Bolívar.

Zona continental.

El vertimiento directo sin tratamiento se presenta en la zona palafítica de la ciudad de Tumaco en los barrios la Exportadora, urbanización Villa Marlene y viviendas ubicadas a orillas del estero pajal, (PSMV, 2014).

4.4 Caracterización de cuerpos lénticos.

Para la cuenca del río Mira NSS 510202, se caracterizaron los cuerpos lénticos de agua correspondientes a *Lagunas, Madre Viejas, Manglares y Otros cuerpos de agua* referenciados a partir de la cartografía oficial del IGAC a escala 1:25000. Se determina la clasificación de acuerdo al Tipo, Cantidad y Área ocupada dentro de la cuenca objeto de ordenación, así como de sus unidades subsiguientes, siguiendo la metodología utilizada en el Estudio Nacional del Agua.

De acuerdo a la cantidad de cuerpos de agua lénticos dentro de la cuenca objeto de ordenación, se observa que la mayor cantidad de superficies corresponde a los

Manglares, con 48 cuerpos de agua en mención. A nivel de subcuencas, se identifica que el área hidrográfica 51020218, Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Tangrialito y Brazo El Cobao (mi), representa la mayor cantidad de cuerpos de agua lénticos, con 76 unidades (8 lagunas, 6 madre viejas, 46 manglares, 17 otros cuerpos de agua) de las 99 identificadas en total del área de ordenación. A continuación, se presenta la tabla asociada al número de cuerpos de agua lénticos por subcuenca y cuenca hidrográfica.

Tabla 14. Número de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.

SCH	Laguna	Madrevieja	Manglar	Otros cuerpos de agua	Total, SCH / CH
51020201	5			2	7
51020202			2	3	5
51020203	2				2
51020204	1				1
51020205	5				5
51020215	2				2
51020218	8	5	46	17	76
51020222	1				1
CH	24	5	48	22	99

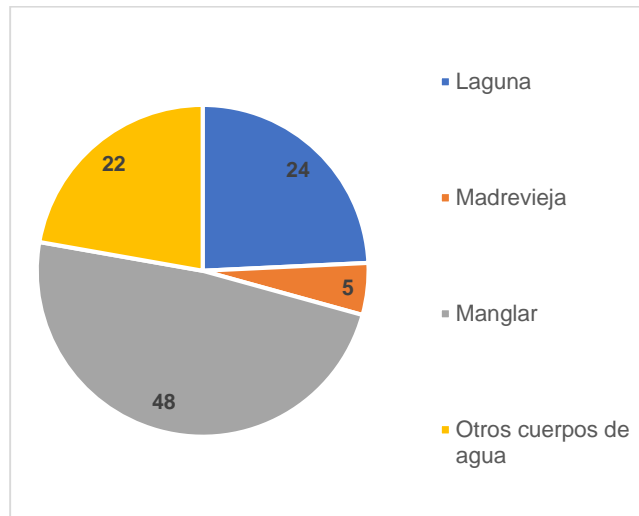


Figura 21. Número de cuerpos de agua lénticos por CH.

En relación a la ocupación superficial de dichos cuerpos de agua lénticos, se observa proporcionalidad de acuerdo al número, donde se percibe que 15.02 hectáreas (0.18%) son ocupadas por lagunas, 42.80 hectáreas (0.50%) por madre viejas, 6989.02 hectáreas (82.23%) distribuidas en manglares, y 1452.11 hectáreas (17.09%) relacionadas a otros cuerpos de agua.

Tabla 15. Distribución superficial (ha) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.

SCH	Laguna	Madrevieja	Manglar	Otros cuerpos de agua	Total, Área (hectáreas)
51020201	0.74	0.00	0.00	1231.07	1231.81
51020202	0.00	0.00	1121.46	178.90	1300.36
51020203	2.11	0.00	0.00	0.00	2.11
51020204	0.11	0.00	0.00	0.00	0.11
51020205	2.53	0.00	0.00	0.00	2.53
51020215	1.07	0.00	0.00	0.00	1.07
51020218	7.73	42.80	5867.57	42.13	5960.23
51020222	0.74	0.00	0.00	0.00	0.74
CH	15.02	42.80	6989.02	1452.11	8498.95

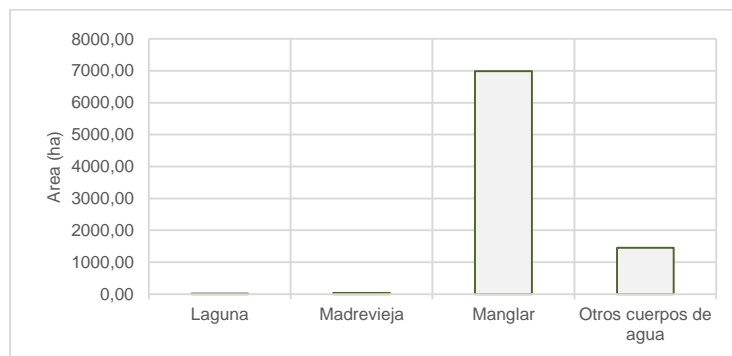


Figura 22. Distribución superficial (ha) de cuerpos de agua lénticos por CH.

Respecto a las subcuencas, se identifican distribuciones ligeramente variables dependiendo de la ubicación del área hidrográfica de nivel subsiguiente, donde se observa que el Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Sin Toponimia y Bocana Nueva md (51020201), se encuentra ocupada principalmente por otros cuerpos de agua, con 1231.07 hectáreas (99.94%). Las subcuencas correspondientes a 51020203 Quebrada Cuespi, 51020204 Directos entre Quebrada El Podrido y Quebrada Cuespi (md), 51020205 Quebrada El Podrido, y 51020215 Directos entre Quebrada La Chorrera y Quebrada Piragua (mi), se destacan por estar ocupadas únicamente por lagunas (100.0%). Las demás subcuencas determinan cierta proporcionalidad según la distribución superficial (%) de la cuenca hidrográfica.

Tabla 16. Distribución superficial (%) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.

SCH	Laguna	Madrevieja	Manglar	Otros cuerpos de agua	Total
51020201	0.06%	0.00%	0.00%	99.94%	100.00%
51020202	0.00%	0.00%	86.24%	13.76%	100.00%
51020203	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
51020204	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
51020205	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
51020215	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
51020218	0.13%	0.72%	98.45%	0.71%	100.00%
51020222	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
CH	0.18%	0.50%	82.23%	17.09%	100.00%

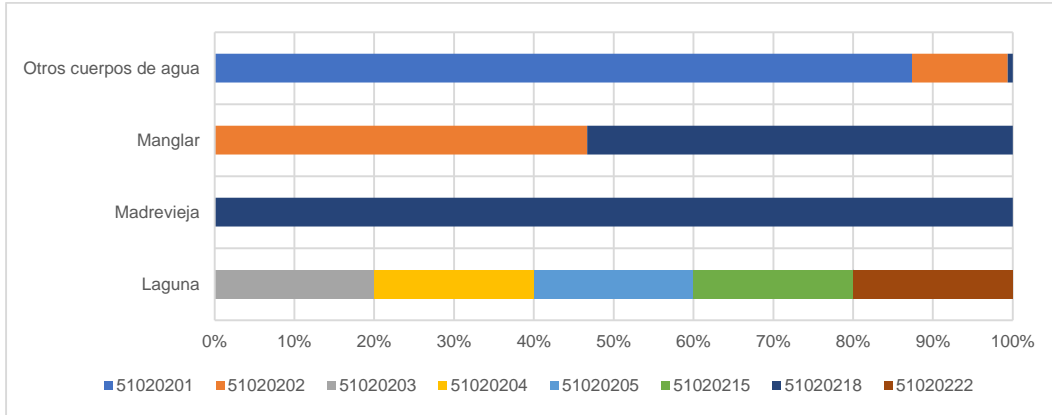


Figura 23. Distribución superficial (%) de cuerpos de agua lénticos por SCH y CH.

Adicionalmente, se presenta la distribución espacial de los cuerpos lénticos caracterizados según la cartografía base del IGAC.

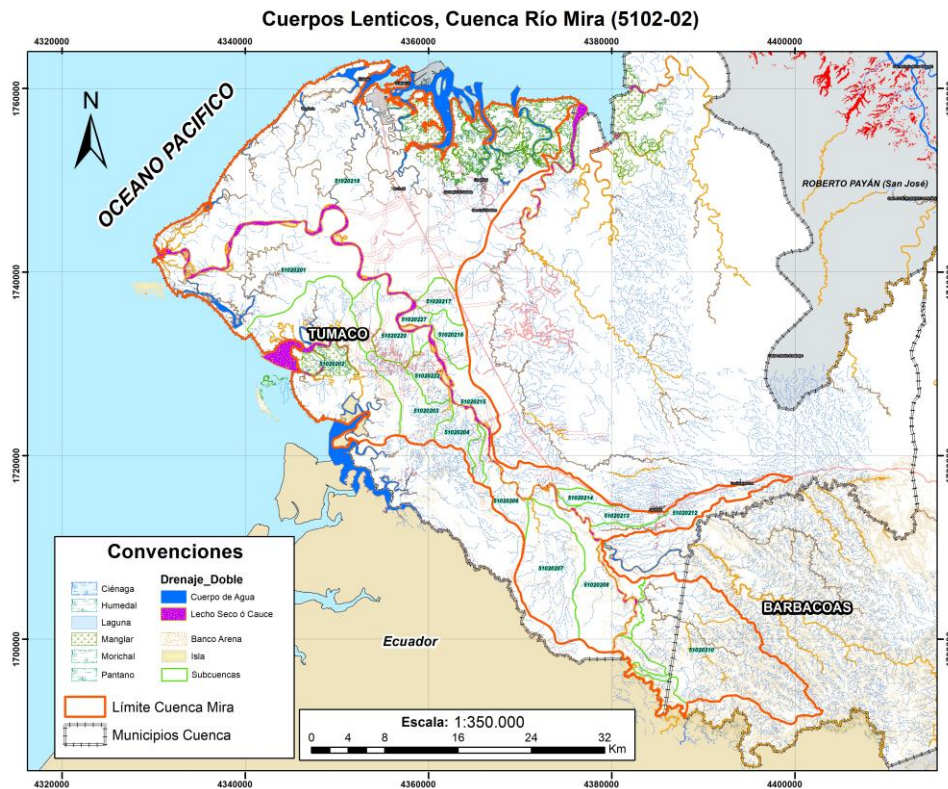
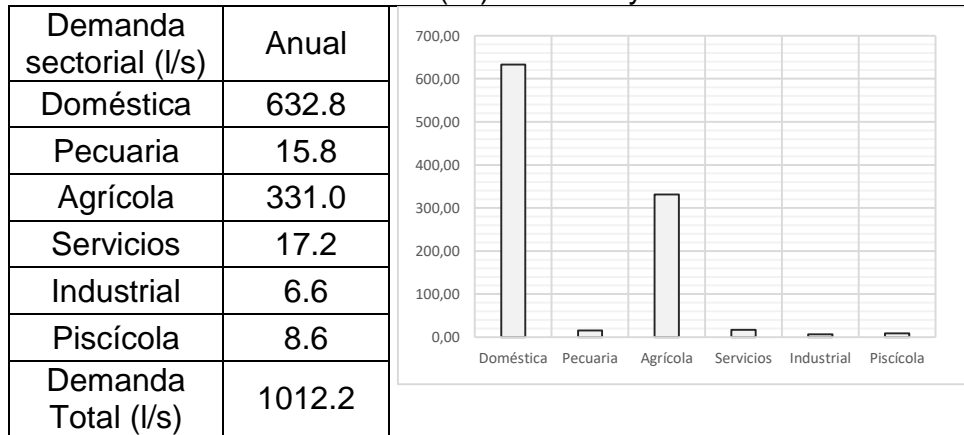


Figura 24. Cuerpos lénticos de agua a nivel de SCH.

4.5 Demanda hídrica.

Se ha estimado la demanda hídrica sectorial y total, para la cuenca hidrográfica (CH) y sus unidades subsiguientes (SCH). Los cálculos del caudal demandado, son presentados en litros/segundo (l/s), con el fin de mejorar su visualización. A continuación, se presenta la distribución de la demanda sectorial para la cuenca hidrográfica, donde se observa que la demanda doméstica (632.8 l/s) y agrícola, (331.0 l/s) son las de mayor magnitud de consumo en el área hidrográfica objeto de ordenación.

Tabla 17. Demanda anual (l/s) sectorial y total a nivel de CH.



Respecto a la variación mensual de la demanda hídrica total para la cuenca hidrográfica, se observa que la mayor demanda se presenta en los meses de agosto y septiembre, teniendo relación inversa con el régimen de lluvias que caracteriza la principal entrada hidroclimática en la región.

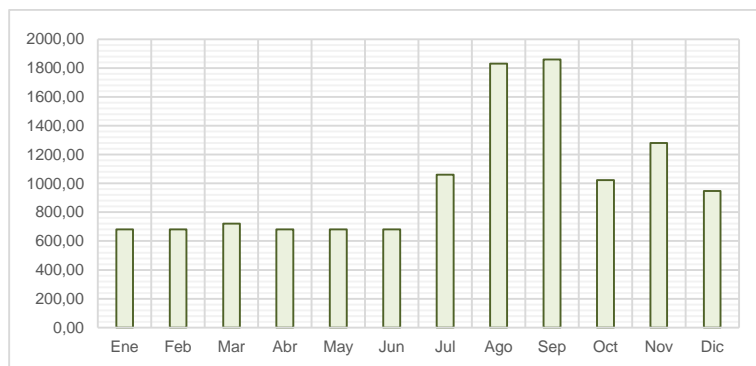


Figura 25. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial a nivel de CH.

Se determina que la demanda en el mes de agosto para la CH, es la de mayor magnitud a escala mensual multianual, desatándose un valor de 1830.9 l/s, muy superior a la demanda hídrica estimada para el mes de enero con 681.1 l/s, llegando a ser la demanda de agosto, el 268.8% de la demanda hídrica correspondiente al mes de enero.

Tabla 18. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial a nivel de CH.

Demanda sectorial	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Doméstica	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8	632.8
Pecuaría	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
Agrícola	0.0	0.0	38.8	0.0	0.3	0.3	379.8	1149.7	1178.2	342.6	599.5	265.9
Servicios	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
Industrial	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Piscícola	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Demanda Total (l/s)	681.1	681.1	719.9	681.1	681.1	681.1	1060.9	1830.9	1859.4	1023.7	1280.6	947.0

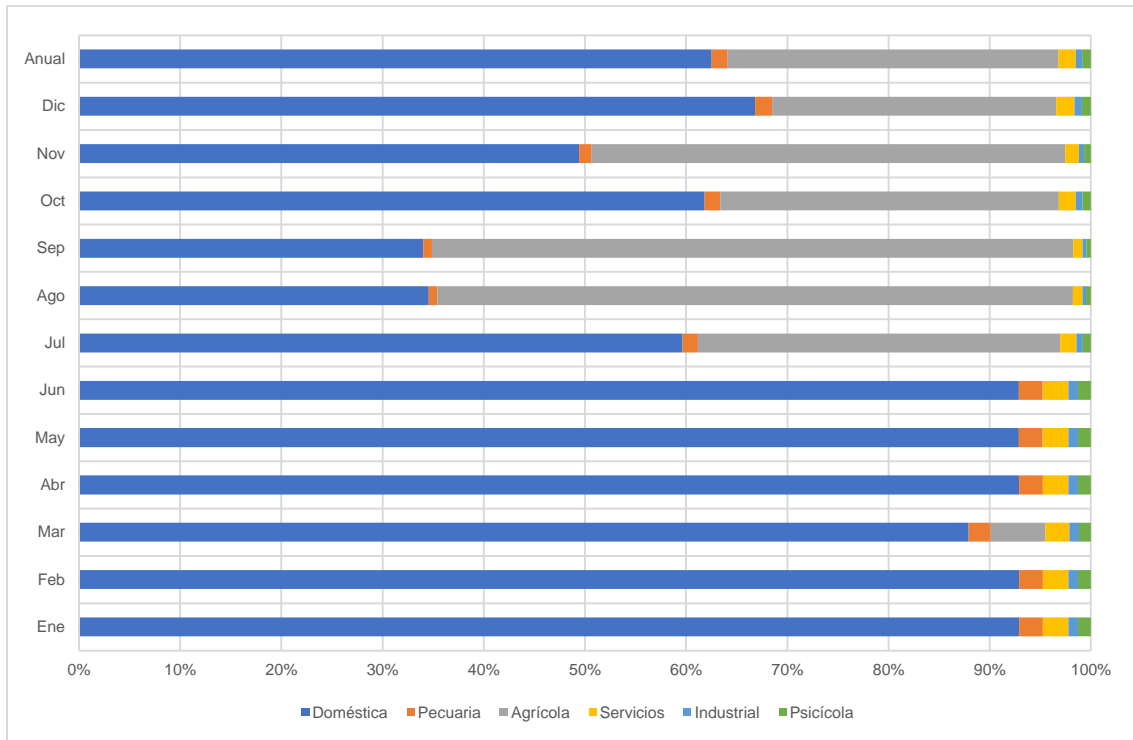


Figura 26. Distribución porcentual de la demanda sectorial mensual y anual a nivel de CH.

Tabla 19. Demanda anual (l/s) sectorial y total a nivel de SCH.

C SCH	Doméstica	Pecuaría	Agrícola	Servicios	Industrial	Piscícola	Total
51020201	35.23	0.66	7.11	0.00	0.00	0.00	43.00
51020202	35.41	0.39	11.81	0.00	0.00	0.00	47.60
51020203	8.33	0.35	20.46	0.00	4.23	0.00	33.37
51020204	4.28	0.58	9.99	0.00	0.00	0.00	14.85
51020205	1.58	0.14	4.28	0.00	0.00	0.00	5.99
51020206	5.25	0.06	11.59	0.00	0.00	0.00	16.90
51020207	18.22	0.20	21.61	0.00	0.00	0.00	40.03

C SCH	Doméstica	Pecuaría	Agrícola	Servicios	Industrial	Piscícola	Total
51020208	14.46	0.53	8.58	0.00	0.00	0.00	23.58
51020209	1.79	0.02	0.37	0.00	0.00	0.00	2.17
51020210	20.14	1.53	2.37	0.00	0.00	0.00	24.04
51020211	1.85	0.02	1.12	0.00	0.00	0.00	2.99
51020212	8.13	1.89	2.43	0.00	0.00	1.72	14.18
51020213	3.82	1.37	1.91	0.00	0.00	4.52	11.62
51020214	1.80	0.15	1.58	0.00	0.00	0.00	3.52
51020215	10.74	0.53	24.14	0.00	0.00	2.36	37.77
51020216	3.61	0.20	12.43	0.00	0.00	0.00	16.24
51020217	3.47	0.06	13.95	0.00	0.00	0.00	17.49
51020218	433.06	5.18	146.43	17.20	2.4	0.00	604.27
51020219	3.88	1.17	3.58	0.00	0.00	0.00	8.63
51020220	6.59	0.07	10.19	0.00	0.00	0.00	16.86
51020221	1.10	0.01	0.79	0.00	0.00	0.00	1.90
51020222	4.44	0.24	11.01	0.00	0.00	0.00	15.68
51020223	0.58	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.67
51020224	2.31	0.06	0.51	0.00	0.00	0.00	2.88
51020225	0.78	0.40	0.27	0.00	0.00	0.00	1.45
51020226	0.38	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.77
51020227	1.59	0.02	2.08	0.00	0.00	0.00	3.69
CH	632.84	15.85	331.05	17.20	6.63	8.60	1012.16

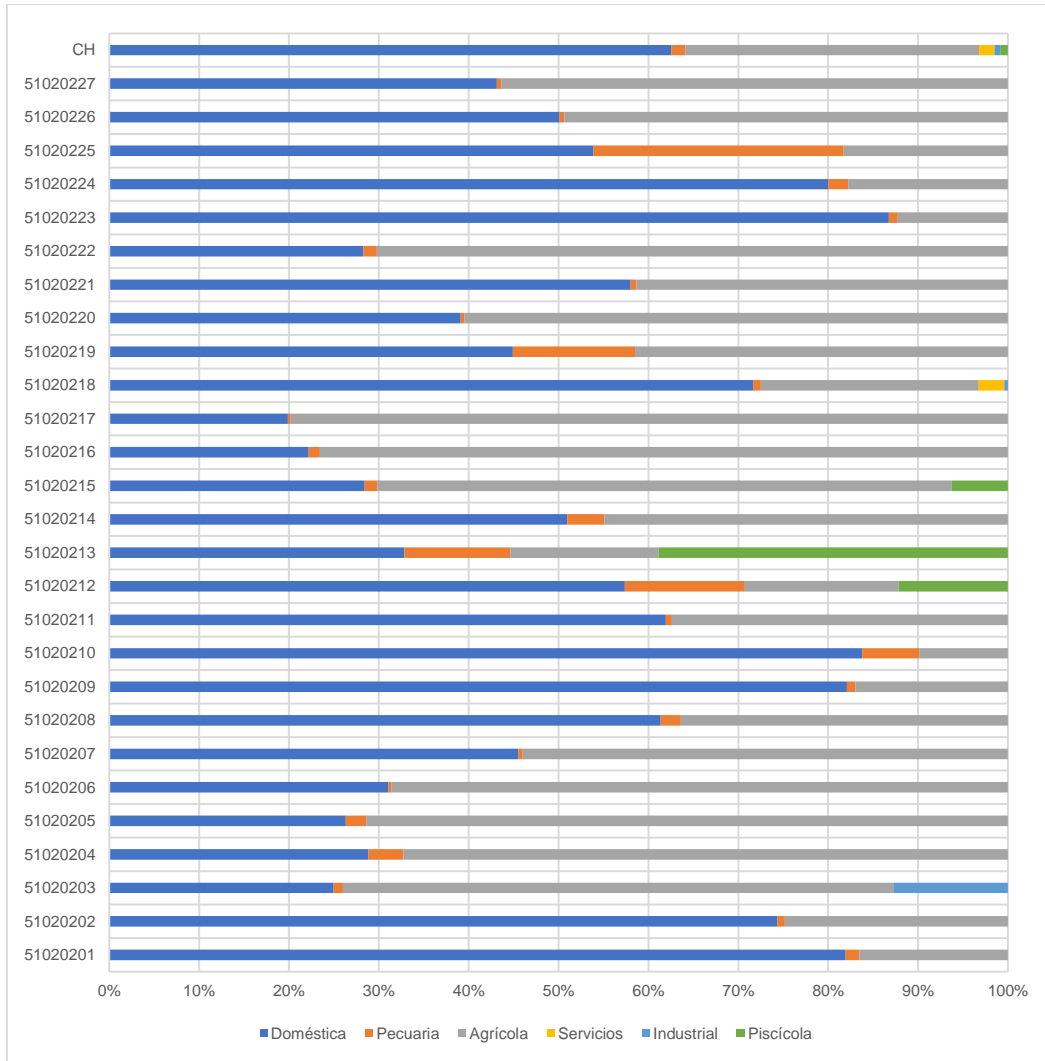


Figura 27. Distribución porcentual de la demanda anual sectorial a nivel de CH y SCH.

Tabla 20. Demanda mensual multianual (l/s) sectorial y total a nivel de CH y SCH

C SCH	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
51020201	35.90	35.90	35.90	35.90	35.91	35.90	46.14	68.37	65.41	36.16	41.56	42.54	43.00
51020202	35.79	35.79	35.79	35.79	35.81	35.81	48.29	89.22	74.40	45.66	46.99	50.82	47.60
51020203	12.91	12.91	12.91	12.91	12.93	12.93	33.77	79.03	98.17	34.78	40.97	35.25	33.37
51020204	4.86	4.86	4.86	4.86	4.87	4.87	15.78	34.60	43.81	17.91	22.16	14.29	14.85
51020205	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	6.77	18.43	13.75	7.13	8.38	6.81	5.99
51020206	5.31	5.31	5.31	5.31	5.32	5.33	17.80	47.07	39.53	18.74	25.63	21.28	16.90
51020207	18.42	18.42	18.42	18.42	18.45	18.44	52.04	104.35	85.26	34.72	37.74	53.54	40.03
51020208	15.00	15.00	15.00	15.00	15.01	15.00	15.07	67.29	55.79	24.16	15.00	15.00	23.58
51020209	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.84	4.00	3.66	2.11	1.81	1.81	2.17
51020210	21.67	21.67	21.67	21.67	21.72	21.67	21.81	38.58	32.79	21.67	21.67	21.67	24.04
51020211	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.88	8.80	6.97	3.16	1.87	1.87	2.99
51020212	11.75	11.75	11.75	11.75	11.76	11.75	11.76	16.70	26.86	17.04	11.75	15.48	14.18
51020213	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.72	20.06	17.60	12.61	9.71	11.34	11.62
51020214	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.95	1.95	10.02	9.24	3.35	1.94	4.01	3.52
51020215	13.63	13.63	13.63	13.63	13.65	13.64	33.83	92.76	118.47	37.03	56.52	32.12	37.77
51020216	3.81	3.81	7.27	3.81	3.82	3.82	20.95	46.42	35.09	17.12	34.64	13.54	16.24
51020217	3.54	3.54	6.69	3.54	3.55	3.55	20.31	55.04	43.92	23.19	28.51	13.46	17.49
51020218	457.84	457.84	489.42	457.84	457.93	457.94	644.96	906.77	952.71	611.29	803.18	547.62	604.27
51020219	5.05	5.05	5.05	5.05	5.06	5.06	9.08	20.58	19.55	6.34	8.61	8.90	8.63
51020220	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	19.06	39.45	44.91	21.22	24.43	12.72	16.86
51020221	1.11	1.11	1.34	1.11	1.11	1.12	2.19	3.75	3.18	1.95	3.03	1.73	1.90
51020222	4.67	4.67	4.67	4.67	4.68	4.68	16.39	38.56	51.22	17.34	22.98	13.27	15.68
51020223	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	1.12	0.95	0.67	0.59	0.59	0.67
51020224	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	5.80	4.83	2.58	2.37	2.37	2.88
51020225	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	2.97	2.47	1.30	1.19	1.19	1.45
51020226	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.86	2.03	1.93	0.66	0.39	0.96	0.77
51020227	1.61	1.61	1.98	1.61	1.61	1.61	4.53	9.09	6.89	3.82	6.98	2.85	3.69
510202	681.11	681.11	719.91	681.11	681.46	681.37	1060.93	1830.85	1859.35	1023.73	1280.58	947.01	1012.16

A continuación, se presentan las demandas hídricas domésticas estimadas a nivel de subcuenca, así como la tabla resumen del proceso de cálculo de la demanda en mención.

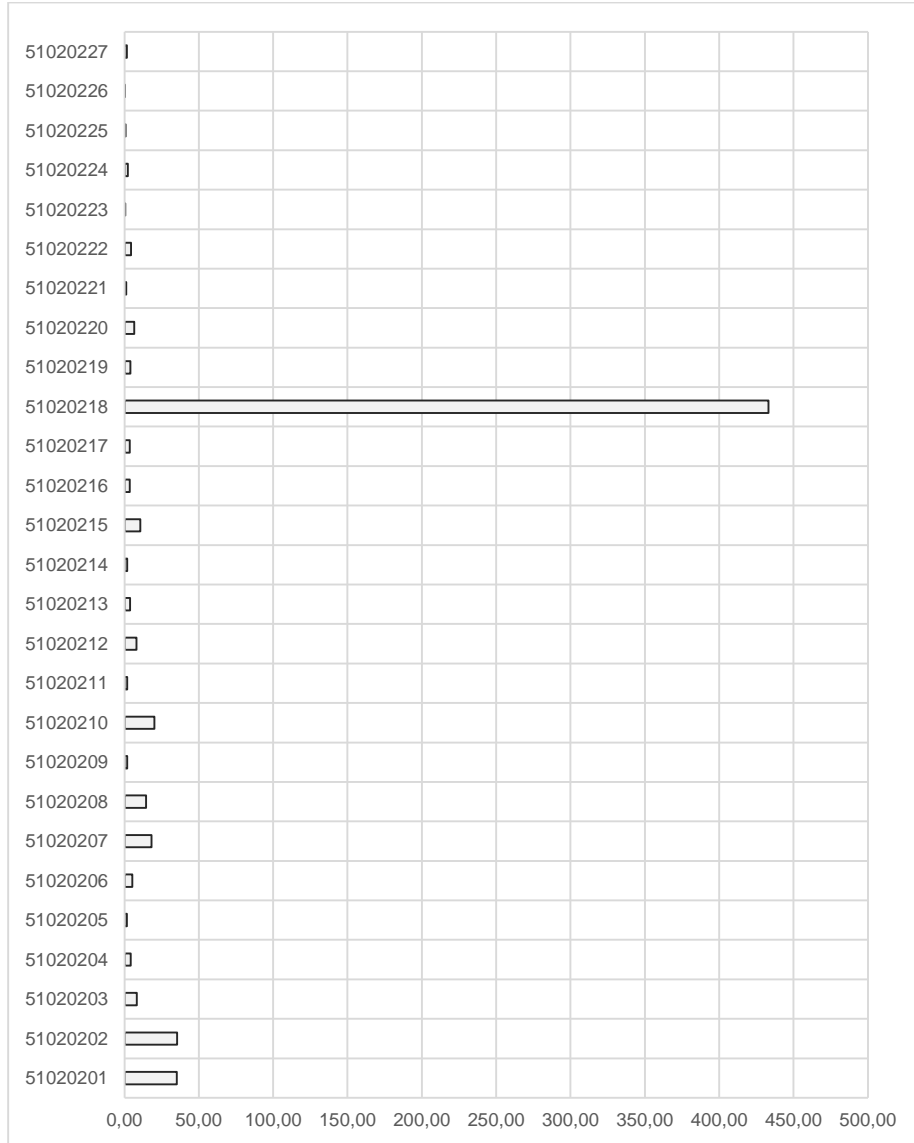


Figura 29. Demanda hídrica doméstica a nivel de SCH (I/s).

Tabla 21. Resumen de memoria de cálculo de la demanda hídrica domestica a nivel de SHC.

C SCH	Dotación (l/ día)	Pérdidas Tumaco	Pérdidas Rural	Habitantes Cabecera Tumaco (l/s)	Demanda Cabecera Tumaco (l/s)	Densidad Barbacoas Rural (hab/km2)	Densidad Tumaco Rural (hab/km2)	Habitantes Rural Barbacoas (l/s)	Habitantes Rural Tumaco (l/s)	Demanda Rural Barbacoas (l/s)	Demanda Rural Tumaco (l/s)	Demanda Total Cabecera (l/s)	Demanda Total Rural (l/s)
51020201	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	2394	6967	0	35.2	0	35.23
51020202	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	2406	7001	0	35.4	0	35.41
51020203	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	566	1647	0	8.3	0	8.33
51020204	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	291	847	0	4.3	0	4.28
51020205	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	107	312	0	1.6	0	1.58
51020206	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	357	1038	0	5.2	0	5.25
51020207	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	1238	3603	0	18.2	0	18.22
51020208	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	983	2860	0	14.5	0	14.46
51020209	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	75	218	0.4	0	0	0.38
51020209	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	95	278	0	1.4	0	1.41
51020210	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	2111	6142	10.7	0	0	10.68
51020210	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	643	1872	0	9.5	0	9.47
51020211	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	126	366	0	1.9	0	1.85
51020212	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	553	1608	0	8.1	0	8.13
51020213	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	260	755	0	3.8	0	3.82
51020214	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	122	355	0	1.8	0	1.8
51020215	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	730	2124	0	10.7	0	10.74
51020216	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	245	713	0	3.6	0	3.61
51020217	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	236	687	0	3.5	0	3.47
51020218	140	53%	67.96%	86320	297.6	15.91	46.3	9206	26786	0	135.5	297.6	135.47
51020219	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	264	767	0	3.9	0	3.88
51020220	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	448	1304	0	6.6	0	6.59
51020221	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	75	218	0	1.1	0	1.1
51020222	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	302	877	0	4.4	0	4.44
51020223	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	0	1	0	0	0	0
51020223	140	53%	67.96%	86320	0	15.91	46.3	40	115	0	0.6	0	0.58
51020224	140	53%	67.96%	86322	0	15.91	46.3	157	456	0	2.3	0	2.31
51020225	140	53%	67.96%	86323	0	15.91	46.3	53	155	0	0.8	0	0.78
51020226	140	53%	67.96%	86324	0	15.91	46.3	26	76	0	0.4	0	0.38
51020227	140	53%	67.96%	86325	0	15.91	46.3	108	315	0	1.6	0	1.59

Tabla 22. Demanda hídrica doméstica mensual y anual a nivel de CH y SCH (l/s).

C SCH	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
51020201	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23	35.23
51020202	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41	35.41
51020203	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33
51020204	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28
51020205	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
51020206	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
51020207	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22
51020208	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46
51020209	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
51020210	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14	20.14
51020211	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
51020212	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13
51020213	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82
51020214	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
51020215	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74
51020216	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
51020217	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47
51020218	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06	433.06
51020219	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
51020220	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
51020221	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
51020222	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44
51020223	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
51020224	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
51020225	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
51020226	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
51020227	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
510202	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84	632.84

4.5.2 Demanda hídrica en el sector pecuario.

La demanda hídrica sectorial pecuaria, es estimada considerando la población productiva aferente según el Censo Pecuario, su densidad poblacional, los módulos de consumo según IDEAM, así como la caracterización de las pérdidas de agua del sistema de abastecimiento.

Para la cuenca objeto de estudio, se destaca la aferencia de los municipios de Barbacoas y Tumaco, con la siguiente población.

Tabla 23. Población pecuaria aferente a los municipios de Barbacoas y Tumaco.

Municipio	Porcino	Bovino	Caprino	Equino	Ovino	Avícola
Barbacoas	445	409	0	2100	0	1125
Tumaco	272	12025	21	6900	23	3965

Teniendo en cuenta el tipo de animal caracterizado, se asigna una dotación de consumo: Porcino de 18 Litro-Cabeza / día, Bovinos y Equinos con 80 Litro-Cabeza / día, Caprinos y Ovinos en 40 Litro-Cabeza / día, y Avícola con 0.35 Litro-Cabeza / día.

A continuación, se presenta la demanda hídrica pecuaria estimadas a nivel de cuenca hidrográfica y unidades subsiguientes, a escala mensual multianual y media anual.

Tabla 24. Demanda hídrica (l/s) por tipo de animal a nivel de SCH.

C SCH	Porcino	Bovino	Caprino	Equino	Ovino	Avícola
51020201	0.0033	0.2791	0.0007	0.3796	0.0007	0.0010
51020202	0.0033	0.0000	0.0007	0.3823	0.0007	0.0010
51020203	0.0009	0.2619	0.0000	0.0899	0.0000	0.0002
51020204	0.0003	0.5317	0.0000	0.0463	0.0000	0.0001
51020205	0.0003	0.1204	0.0000	0.0172	0.0000	0.0000
51020206	0.0006	0.0000	0.0000	0.0569	0.0000	0.0001
51020207	0.0018	0.0000	0.0000	0.1971	0.0000	0.0005
51020208	0.0015	0.3757	0.0000	0.1561	0.0000	0.0004
51020209	0.0003	0.0000	0.0000	0.0198	0.0000	0.0001
51020210	0.0074	1.2804	0.0000	0.2368	0.0000	0.0006
51020211	0.0003	0.0000	0.0000	0.0198	0.0000	0.0001
51020212	0.0009	1.8056	0.0000	0.0873	0.0000	0.0002
51020213	0.0003	1.3280	0.0000	0.0410	0.0000	0.0001
51020214	0.0003	0.1257	0.0000	0.0198	0.0000	0.0000
51020215	0.0009	0.4101	0.0000	0.1164	0.0000	0.0003
51020216	0.0003	0.1640	0.0000	0.0384	0.0000	0.0001
51020217	0.0003	0.0238	0.0000	0.0370	0.0000	0.0001
51020218	0.0131	3.6971	0.0020	1.4616	0.0026	0.0037
51020219	0.0003	1.1296	0.0000	0.0423	0.0000	0.0001
51020220	0.0006	0.0000	0.0000	0.0714	0.0000	0.0002
51020221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0119	0.0000	0.0000
51020222	0.0003	0.1878	0.0000	0.0476	0.0000	0.0001
51020223	0.0000	0.0000	0.0000	0.0066	0.0000	0.0000

C SCH	Porcino	Bovino	Caprino	Equino	Ovino	Avícola
51020224	0.0003	0.0384	0.0000	0.0251	0.0000	0.0001
51020225	0.0000	0.3968	0.0000	0.0079	0.0000	0.0000
51020226	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000
51020227	0.0003	0.0000	0.0000	0.0172	0.0000	0.0000

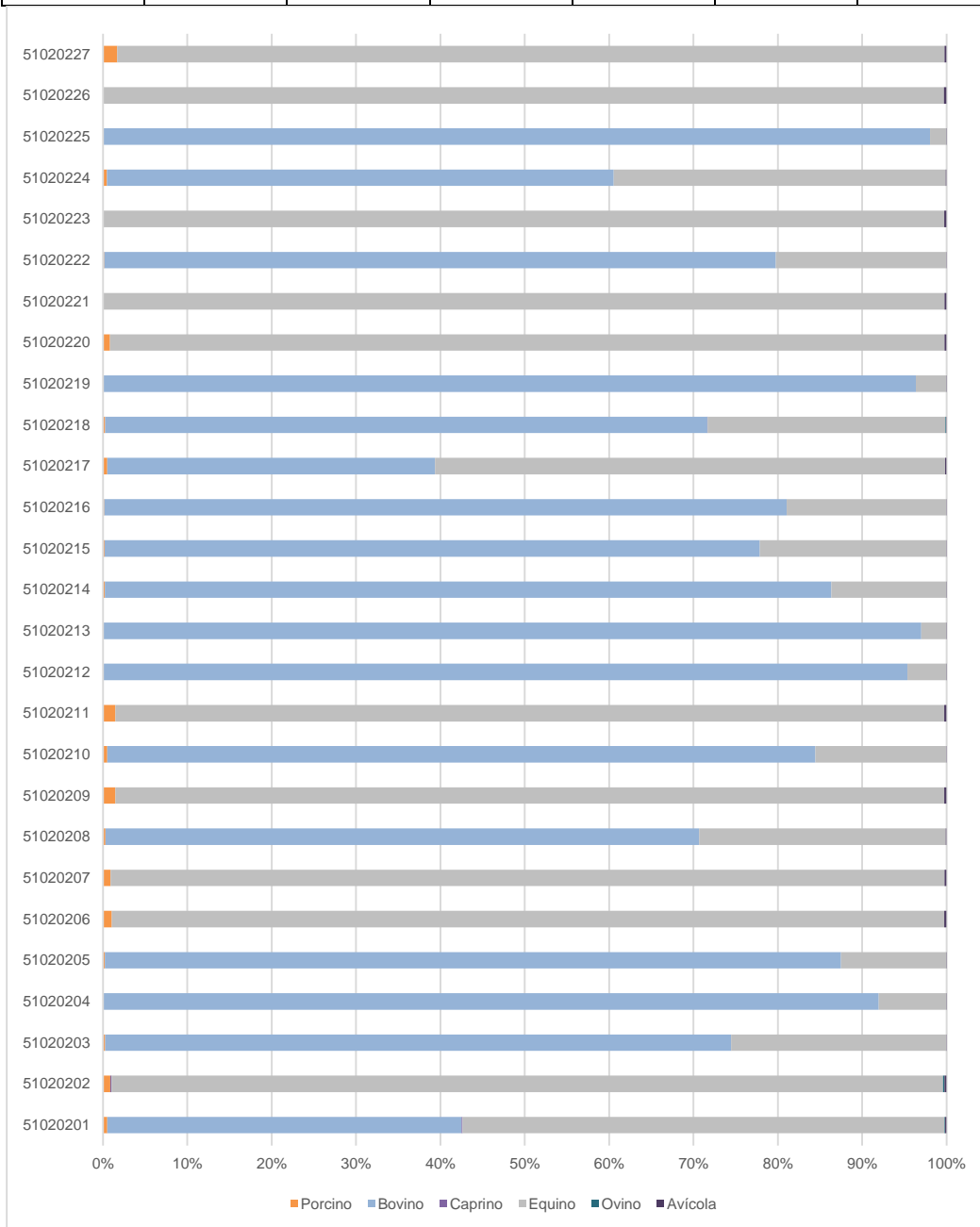


Figura 30. Distribución porcentual de la demanda hídrica pecuaria a nivel de SCH.

Se observa que la demanda del sector bovino (76.71%) y equino (22.95%) representan el mayor consumo dentro de la demanda pecuaria, configurando la gran mayoría de la demanda estimada. En la siguiente figura, se presenta la demanda hídrica anual a nivel de subcuencas hidrográficas.

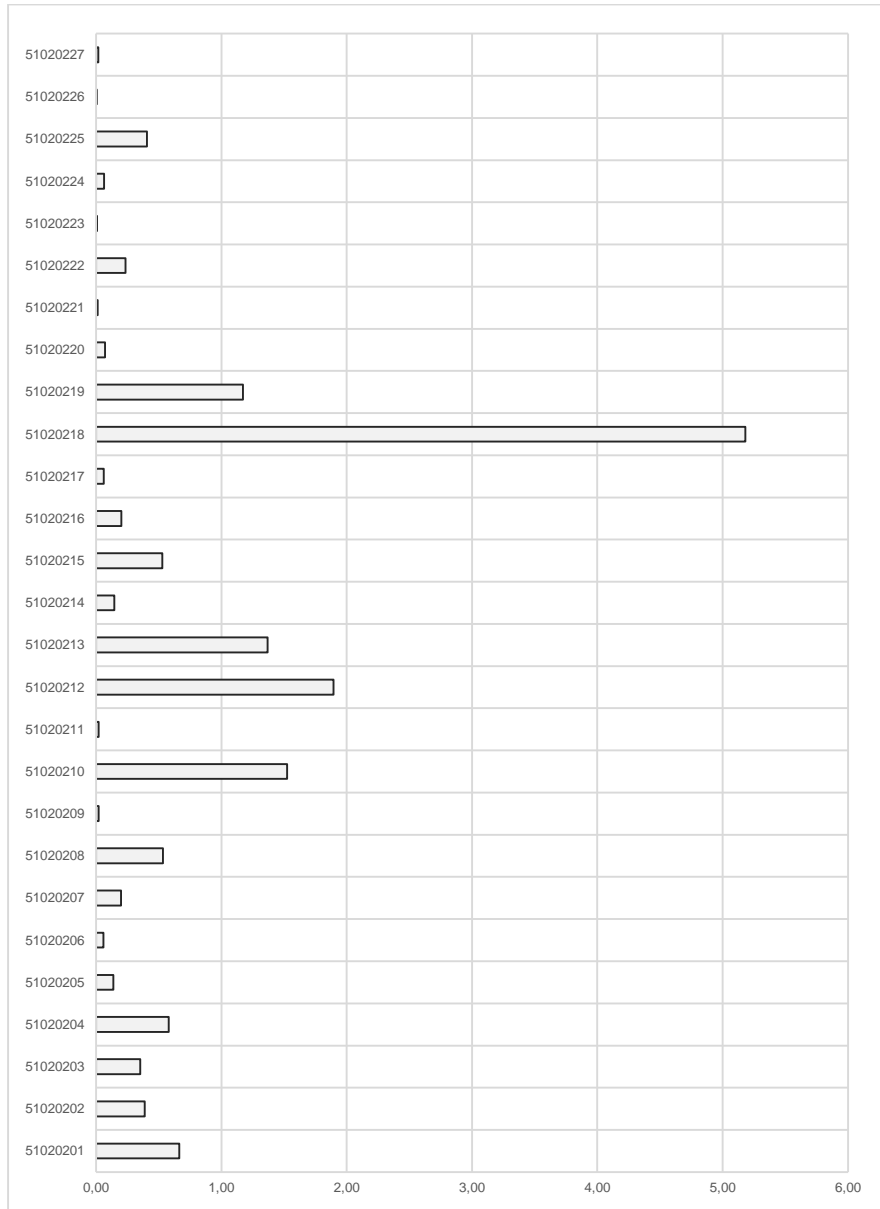


Figura 31. Demanda hídrica anual (l/s) a nivel de SCH.

Tabla 25. Demanda hídrica mensual y anual (l/s) a nivel de CH y SCH.

C SCH	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
51020201	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
51020202	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
51020203	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
51020204	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
51020205	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
51020206	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
51020207	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
51020208	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
51020209	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
51020210	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
51020211	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
51020212	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
51020213	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
51020214	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
51020215	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
51020216	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
51020217	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
51020218	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18
51020219	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
51020220	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
51020221	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
51020222	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
51020223	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
51020224	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
51020225	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
51020226	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51020227	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
510202	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85

4.5.3 Demanda hídrica en el sector agrícola.

La caracterización de la demanda hídrica en el sector agrícola, es estimada a partir de la información de cultivos, fechas de siembra y cosecha, coeficientes de cultivo, longitudes de siembra, profundidades radicales, características de los suelos, así como la información climatológica asociada a cada una de las unidades hidrográficas objeto de modelación, teniendo en cuenta el balance de agua propuesto por la FAO.

Para la cuenca hidrográfica y subcuencas, se ha establecido los cultivos característicos de los municipios de Barbaocoas y Tumaco, los cuales corresponden a Palma de Aceite, Cacao, Coco, Plátano, Yuca, Banano, Bananito, Arroz, Maíz y Cítricos

Tabla 26. Distribución superficial (ha) de los cultivos por CH y SCH.

Código	Palma de Aceite	Cacao	Coco	Plátano	Yuca	Banano	Bananito	Arroz	Maíz	Cítricos
51020201	281.5	261.8	108.1	105.6	21.1	0.3	3.5	1.3	0.1	8.4
51020202	379.9	353.3	145.9	142.5	28.5	0.4	4.7	1.7	0.1	11.4
51020203	478.6	445.1	183.8	179.5	35.9	0.5	6.0	2.2	0.1	14.4
51020204	224.4	208.7	86.2	84.1	16.8	0.2	2.8	1.0	0.1	6.7
51020205	86.8	80.8	33.3	32.6	6.5	0.1	1.1	0.4	0.0	2.6
51020206	211.6	196.8	81.3	79.4	15.9	0.2	2.6	1.0	0.1	6.3
51020207	819.8	762.4	314.8	307.4	61.5	0.8	10.2	3.7	0.2	24.6
51020208	645.7	600.5	248.0	242.2	48.4	0.6	8.1	2.9	0.2	19.4
51020209	26.7	25.6	10.4	14.1	2.3	4.9	4.8	2.5	0.6	1.3
51020210	271.9	258.1	105.1	131.4	22.8	35.6	35.3	18.6	4.2	12.0
51020211	88.1	81.9	33.8	33.0	6.6	0.1	1.1	0.4	0.0	2.6
51020212	355.8	330.9	136.6	133.4	26.7	0.4	4.4	1.6	0.1	10.7
51020213	151.7	141.1	58.2	56.9	11.4	0.2	1.9	0.7	0.0	4.6
51020214	99.5	92.5	38.2	37.3	7.5	0.1	1.2	0.4	0.0	3.0
51020215	528.3	491.3	202.9	198.1	39.6	0.5	6.6	2.4	0.1	15.8
51020216	179.0	166.4	68.7	67.1	13.4	0.2	2.2	0.8	0.0	5.4
51020217	166.2	154.6	63.8	62.3	12.5	0.2	2.1	0.7	0.0	5.0
51020218	2142.8	1992.8	822.8	803.5	160.7	2.1	26.8	9.6	0.5	64.3
51020219	112.9	105.0	43.3	42.3	8.5	0.1	1.4	0.5	0.0	3.4
51020220	213.7	198.8	82.1	80.1	16.0	0.2	2.7	1.0	0.1	6.4
51020221	12.0	11.2	4.6	4.5	0.9	0.0	0.2	0.1	0.0	0.4
51020222	223.5	207.9	85.8	83.8	16.8	0.2	2.8	1.0	0.1	6.7
51020223	7.9	7.3	3.0	3.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2
51020224	43.6	40.6	16.8	16.4	3.3	0.0	0.5	0.2	0.0	1.3
51020225	22.8	21.2	8.8	8.6	1.7	0.0	0.3	0.1	0.0	0.7
51020226	18.1	16.9	7.0	6.8	1.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.5
51020227	31.8	29.5	12.2	11.9	2.4	0.0	0.4	0.1	0.0	1.0
CH	7824.6	7282.8	3005.4	2967.8	589.6	48.1	134.1	55.0	6.7	239.1

A continuación, se resumen los cultivos en mención, considerando su porcentaje de participación dentro del área total cultivada, así como el ciclo del cultivo (transitorio, anual y permanente).

Tabla 27. Porcentaje de participación y ciclo del cultivo.

Nombre	Área Sembrada (ha)	Porcentaje	Ciclo Cultivo
Palma de Aceite	7824.63127	35.32%	Permanente
Cacao	7282.83054	32.87%	Permanente
Coco	3005.369223	13.57%	Permanente
Plátano	2967.802996	13.40%	Permanente
Yuca	589.6116263	2.66%	Anual
Banano	48.10415527	0.22%	Permanente
Bananito	134.1384419	0.61%	Permanente
Arroz	54.95570542	0.25%	Transitorio
Maíz	6.694925346	0.03%	Transitorio
Cítricos	239.0828083	1.08%	Permanente

Para el caso de los cultivos transitorios y anuales, se determina las longitudes de cultivo (inicial, desarrollo, medio y final), así como los coeficientes de cultivos asociadas a cada una de estas etapas. Respecto a los cultivos permanentes, se asume que la cobertura persiste de forma homogénea en el tiempo de modelación.

Tabla 28. Longitudes de siembra y coeficientes de cultivo.

Nombre	L Inic	L Des	L Med	L Final	Kc ini	Kc med	Kc fin	Kc Permanente
Palma de Aceite					0.8	0.85	0.85	0.84
Cacao					1	1.05	1.05	1.04
Coco					0.8	0.85	0.85	0.84
Plátano					0.75	1.15	1.05	1.02
Yuca	20	40	90	60	0.30	0.80	0.30	0.58
Banano					0.75	1.15	1.05	1.02
Bananito					0.75	1.15	1.05	1.02
Arroz	30	30	60	30	1.05	1.2	0.75	
Maíz	25	35	40	30	0.3	1.15	1.05	
Cítricos					0.8	0.8	0.8	0.8

Adicionalmente, se presentan las profundidades radicales al inicio y final del ciclo del cultivo, así como la fracción de agotamiento equivalente a una evapotranspiración de referencia de 5 mm/día.

Tabla 29. Profundidad radicular y fracción de agotamiento por cultivo.

Nombre	Prof. Rad. Inic.	Prof. Rad. Fin.	Fr. Agot. (Etc=5 mm/día)
Palma de Aceite	0.7	1.1	0.65
Cacao	0.7	1	0.3
Coco	0.7	1.1	0.65
Plátano	0.5	0.9	0.35
Yuca	0.5	0.8	0.35
Banano	0.5	0.9	0.35
Bananito	0.5	0.9	0.35
Arroz	0.5	1	0.2
Maíz	1.0	1.7	0.55
Cítricos	1.1	1.5	0.5

El coeficiente de cultivo es consultado principalmente del documento de Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006), el cual varía temporalmente para los cultivos transitorios de acuerdo a su naturaleza y características de siembra, y permanece constante en el tiempo para los cultivos permanentes.

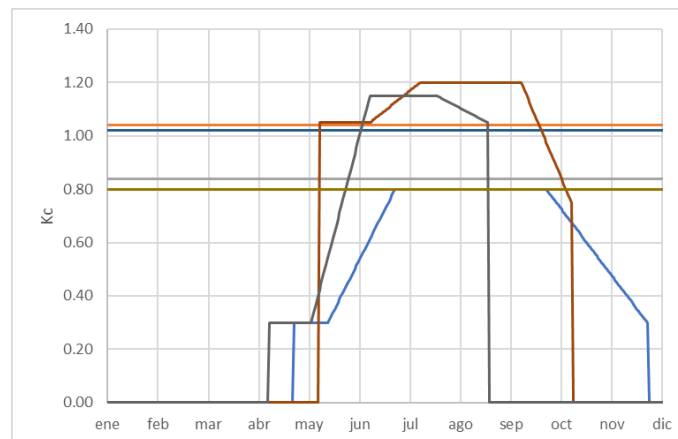


Figura 32. Distribución temporal del coeficiente de cultivo.

Así mismo, se incluye la gráfica de profundidad radicular por coberturas agrícolas, teniendo en cuenta que las profundidades de raíces siguen la dinámica del coeficiente de cultivo en áreas transitorias, y permanece constante en el tiempo para los cultivos permanentes. Es importante anotar, que los valores de k_c y profundidad radicular, simulan las condiciones críticas de la cuenca, donde se supone que las superficies de cultivo permanente, son constantes en todo el periodo de modelación, es por esto que se esperan valores críticos de demanda agrícola de dichas áreas de cultivo.

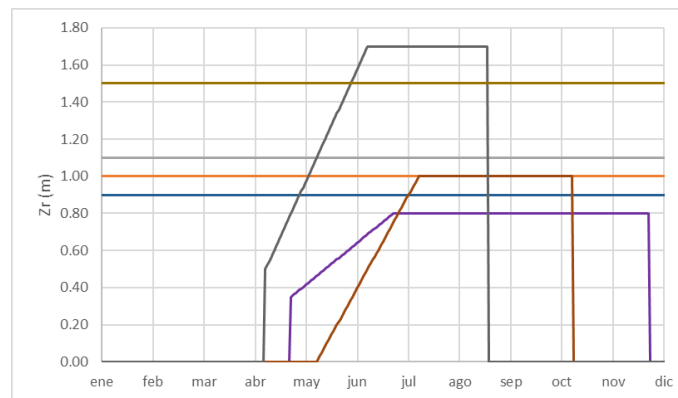


Figura 33. Distribución temporal de la Profundidad radicular (m).

Debido a la dificultad para establecer los contenidos de humedad en cada uno de los suelos clasificados para la unidad hidrográfica, se recomienda utilizar información secundaria de los valores típicos del contenido de agua para capacidad de campo θ_{fc} y punto de marchitez permanente θ_{wp} , de acuerdo a la clasificación de la textura del suelo propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). A continuación, se presenta la tabla resumen que caracteriza dichos estados que acotan la disponibilidad del requerimiento de la planta.

Tabla 30. Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo.

Fuente: (FAO, 2006).

Tipo de Suelo (Clasificación USDA)	θ_{fc}		θ_{wp}		$\theta_{fc} - \theta_{wp}$	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Arenoso	0.07	0.17	0.02	0.07	0.05	0.11
Areno Franco	0.11	0.19	0.03	0.10	0.06	0.12
Franco Arenoso	0.18	0.28	0.06	0.16	0.11	0.15
Franco	0.20	0.30	0.07	0.17	0.13	0.18
Franco Limoso	0.22	0.36	0.09	0.21	0.13	0.19
Limoso	0.28	0.36	0.12	0.22	0.16	0.20
Franco Arcillo Limoso	0.30	0.37	0.17	0.24	0.13	0.18
Arcillo Limoso	0.30	0.42	0.17	0.29	0.13	0.19
Arcilloso	0.32	0.40	0.20	0.24	0.12	0.20

Considerando la información cartográfica de los suelos aferentes a las unidades hidrográficas, se estima el contenido de agua para capacidad de campo θ_{fc} y punto de marchitez permanente θ_{wp} .

Tabla 31. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente por SCH.

C_SCH	N_SCH	% CC	%PMP
51020201	Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Sin Toponimia y Bocana Nueva (md)	38.12%	14.78%
51020202	Sistema deltaico del río Mira entre Río Pusbi y Bocana Santo Domingo (md)	31.39%	10.04%
51020203	Quebrada Cuespi	37.00%	17.00%
51020204	Directos río Mira entre Quebrada El Podrido y Quebrada Cuespi (md)	37.00%	17.00%
51020205	Quebrada El Podrido	36.97%	16.99%
51020206	Directos río Mira entre Quebrada La Honda y Quebrada El Podrido (md)	36.43%	16.77%
51020207	Quebrada La Honda	37.00%	17.00%
51020208	Directos río Mira entre Quebrada La Isla y Quebrada La Honda (md)	37.00%	17.00%
51020209	Directos río Mira entre Río San Juan y Quebrada La Isla (mi)	38.34%	18.40%
51020210	Quebrada Quejuambí	38.76%	18.81%
51020211	Directos río Mira entre Quebrada Quejuambí y Río Güiza (mi)	37.00%	17.00%
51020212	Quebrada Pianulpí	37.00%	17.00%
51020213	Quebrada Chinguirito	37.00%	17.00%
51020214	Quebrada La Chorrera	37.00%	17.00%
51020215	Directos río Mira entre Quebrada La Chorrera y Quebrada Piragua (mi)	27.91%	12.19%
51020216	Quebrada Piragua	19.00%	3.00%
51020217	Quebrada Tangrialito	19.00%	3.00%
51020218	Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Tangrialito y Brazo El Cobao (mi)	29.87%	9.50%
51020219	Quebrada Sin Toponimia	40.24%	17.00%
51020220	Directos río Mira entre Quebrada Biguaral y Quebrada Sin Toponimia (md)	32.16%	14.12%
51020221	Quebrada Biguaral	21.73%	6.62%
51020222	Directos río Mira entre Quebrada Cuespi y Quebrada Biguaral (md)	32.65%	15.03%
51020223	Quebrada La Isla	37.00%	17.00%
51020224	Quebrada Mogui	37.00%	17.00%
51020225	Directos río Mira entre Quebrada Mogui y Quebrada Quejuambí (mi)	37.00%	17.00%
51020226	Directos río Mira entre Quebrada Chinguirito y Quebrada La Chorrera (mi)	37.00%	17.00%
51020227	Directos río Mira entre Quebrada Piragua y Quebrada Tangrialito (mi)	19.00%	3.00%

Los resultados de las estimaciones de la demanda hídrica sectorial y total, a escala mensual y anual para la cuenca hidrográfica y sus unidades subsiguientes, responden a unas pérdidas de agua del 30%, teniendo en cuenta las típicas metodologías de siembra de la región.

Tabla 32. Demanda hídrica agrícola mensual por tipo de cultivo (m³/mes).

Cultivo/Mes	Palma de Aceite	Cacao	Coco	Plátano	Yuca	Banano	Bananitos	Arroz	Maíz	Cítricos
Ene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	72079	0	30725	0	82	1024	0	0	0
Abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	0	918	0	0
Jun	0	0	0	0	0	0	0	670	0	0
Jul	0	748713	0	236561	16918	631	7885	6583	0	0

Ago	53025	203816 4	20362	824185	83577	6015	30817	2289 1	111	312
Sep	53712 9	161453 6	20625 8	573692	72170	4064	21343	1368 1	0	11123
Oct	9345	655643	3589	238900	1120	637	7963	462	0	0
Nov	12716	109839 5	4883	421681	308	1124	14056	0	0	661
Dic	0	553053	0	153609	0	410	5120	0	0	0
Anual (m3/año)	61221 6	678058 4	23509 1	247935 2	17409 2	12963	88210	4520 5	111	12096

Tabla 33. Distribución porcentual de la demanda hídrica mensual por tipo de cultivo.

Cultivo/ Mes	Palm a de Aceit e	Caca o	Coco	Pláta no	Yuca	Bana no	Banan ito	Arroz	Maíz	Cítric os
Ene	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %
Feb	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %
Mar	0.00 %	1.06 %	0.00 %	1.24 %	0.00 %	0.63 %	1.16%	0.00 %	0.00%	0.00 %
Abr	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %
May	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	2.03 %	0.00%	0.00 %
Jun	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	1.48 %	0.00%	0.00 %
Jul	0.00 %	11.04 %	0.00 %	9.54 %	9.72 %	4.87 %	8.94%	14.56 %	0.00%	0.00 %
Ago	8.66 %	30.06 %	8.66 %	33.24 %	48.01 %	46.40 %	34.94 %	50.64 %	100.0 0%	2.58 %
Sep	87.74 %	23.81 %	87.74 %	23.14 %	41.45 %	31.35 %	24.20 %	30.26 %	0.00%	91.96 %
Oct	1.53 %	9.67 %	1.53 %	9.64 %	0.64 %	4.91 %	9.03%	1.02 %	0.00%	0.00 %
Nov	2.08 %	16.20 %	2.08 %	17.01 %	0.18 %	8.67 %	15.93 %	0.00 %	0.00%	5.46 %
Dic	0.00 %	8.16 %	0.00 %	6.20 %	0.00 %	3.16 %	5.80%	0.00 %	0.00%	0.00 %

Tabla 34. Demanda hídrica agrícola anual por tipo de cultivo y SCH (m3/mes).

Código	Palma de Aceite	Cacao	Coco	Plátano	Yuca	Banano	Bananito	Arroz	Maíz	Cítricos
51020201	0	163291	0	51024	6720	136	1701	1218	0	0
51020202	0	272937	0	85510	9224	228	2850	1653	0	0
51020203	35198	419907	13516	155314	12237	414	5177	2348	11	1049

Código	Palma de Aceite	Cacao	Coco	Plátano	Yuca	Banano	Bananito	Arroz	Maíz	Cítricos
51020204	16831	207758	6463	73795	5721	197	2460	1204	5	493
51020205	6326	90267	2429	31668	2370	84	1056	538	2	207
51020206	14724	251092	5654	83145	6108	222	2771	1331	5	500
51020207	0	488635	0	167674	15423	447	5589	3617	0	0
51020208	0	182594	0	77192	6472	206	2573	1536	0	0
51020209	0	6173	0	2566	62	898	867	1069	0	0
51020210	0	36119	0	20342	575	5514	5462	6627	0	0
51020211	0	25048	0	9313	354	25	310	180	0	0
51020212	0	58832	0	16021	684	43	534	576	0	0
51020213	0	46489	0	12555	563	33	419	286	0	0
51020214	0	36083	0	12079	995	32	403	289	0	0
51020215	61018	472963	23431	182232	11318	486	6074	2822	10	913
51020216	30568	241699	11738	95831	6519	256	3194	1229	6	1016
51020217	56483	253473	21689	95999	6544	256	3200	1208	9	1197
51020218	325264	2950214	124901	1092421	67066	2913	36414	13924	51	4781
51020219	0	82944	0	25867	2707	69	862	529	0	0
51020220	28776	196884	11050	74700	5214	199	2490	1214	5	877
51020221	1970	15551	756	5786	381	15	193	77	1	43
51020222	29496	214154	11326	81796	5323	218	2727	1318	5	896
51020223	0	1994	0	548	15	1	18	15	0	0
51020224	0	11125	0	4671	85	12	156	84	0	0
51020225	0	5760	0	2395	92	6	80	46	0	0
51020226	0	8231	0	3257	267	9	109	65	0	0
51020227	5562	40368	2136	15649	1054	42	522	202	1	123
Cuenca	612216	6780584	235091	2479352	174092	12963	88210	45205	111	12096

La demanda hídrica agrícola estimada en m³/mes y m³/año, es representada en l/s, con el fin de generar las unidades coherentes para la comparación con las demás demandas sectoriales. Para el caso de la demanda mensual multianual, se observa que las subcuencas con grandes superficies, presentan el mayor consumo de agua en los meses relacionados a la baja pluviosidad, puesto que los requerimientos de agua deben ser suplidos con riegos teóricos.

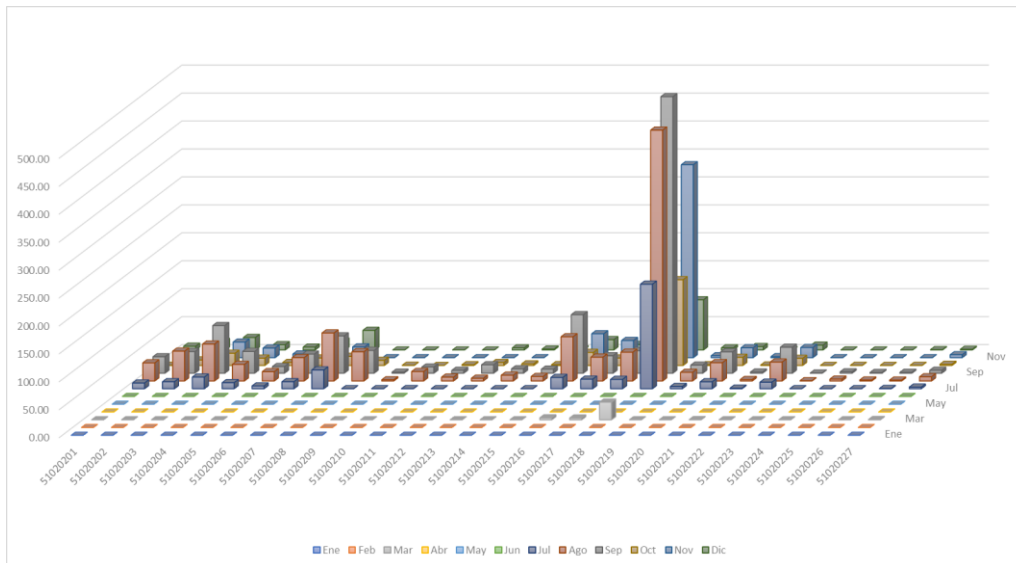


Figura 34. Demanda hídrica agrícola mensual multianual a nivel de SCH (l/s).

Tabla 35. Demanda hídrica mensual y anual a nivel de SCH y CH. (l/s).

C SCH	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
51020201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	10.24	32.47	29.51	0.26	5.66	6.64	7.11
51020202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	12.50	53.43	38.60	9.87	11.19	15.03	11.81
51020203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	20.86	66.11	85.25	21.87	28.06	22.34	20.46
51020204	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	10.91	29.73	38.94	13.05	17.30	9.43	9.99
51020205	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	5.05	16.72	12.04	5.42	6.66	5.09	4.28
51020206	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	12.50	41.76	34.22	13.43	20.32	15.98	11.59
51020207	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	33.62	85.93	66.84	16.30	19.32	35.12	21.61
51020208	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	52.29	40.80	9.17	0.00	0.00	8.58
51020209	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	2.19	1.86	0.31	0.00	0.00	0.37
51020210	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.14	16.91	11.12	0.00	0.00	0.00	2.37
51020211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	6.92	5.10	1.28	0.00	0.00	1.12
51020212	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	4.95	15.12	5.30	0.00	3.73	2.43
51020213	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	10.35	7.89	2.90	0.00	1.63	1.91
51020214	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	8.07	7.29	1.41	0.00	2.06	1.58
51020215	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	20.20	79.14	104.84	23.40	42.89	18.49	24.14
51020216	0.00	0.00	3.46	0.00	0.01	0.01	17.14	42.61	31.28	13.31	30.83	9.73	12.43
51020217	0.00	0.00	3.16	0.00	0.01	0.02	16.77	51.51	40.39	19.66	24.98	9.92	13.95
51020218	0.00	0.00	31.58	0.00	0.09	0.10	187.12	448.93	494.87	153.45	345.34	89.78	146.43
51020219	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	4.03	15.52	14.49	1.29	3.56	3.85	3.58
51020220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	12.39	32.79	38.24	14.55	17.77	6.05	10.19
51020221	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	1.07	2.64	2.07	0.84	1.91	0.61	0.79
51020222	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	11.72	33.89	46.55	12.67	18.31	8.60	11.01
51020223	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.36	0.09	0.00	0.00	0.08
51020224	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.43	2.46	0.21	0.00	0.00	0.51
51020225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	1.28	0.11	0.00	0.00	0.27
51020226	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	1.64	1.54	0.27	0.00	0.57	0.38
51020227	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	2.92	7.48	5.28	2.21	5.37	1.23	2.08
510202	0.00	0.00	38.80	0.00	0.34	0.26	379.81	1149.74	1178.24	342.62	599.47	265.90	331.05

4.5.4 Demanda hídrica en el sector industrial.

La demanda hídrica de la industria, es caracterizado de acuerdo a los valores concesionados en la base de datos de la Corporación Autónoma Regional, especializándose con herramientas SIG para relacionar su correspondencia a las unidades de subcuenca.

Tabla 36. Concesión de agua del sector industrial por SCH (l/s).

C_SCH	Concesión (l/s)	Uso
51020203	4.23	Uso industrial
51020218	0.1	Uso industrial
51020218	0.1	Uso industrial
51020218	0.6	Uso industrial
51020218	0.4	Uso industrial
51020218	1.2	Uso industrial

La distribución mensual, se asigna teniendo en cuenta que dichas concesiones son constantes en el tiempo, por lo tanto, su magnitud será la misma a nivel mensual y anual.

Tabla 37. Demanda hídrica industrial anual por SCH (l/s).

C SCH	51020203	51020218
Anual	4.23	2.40

4.5.5 Demanda hídrica en el sector servicios.

La demanda hídrica de servicios, corresponde a la sumatoria de las estimaciones de la demanda hídrica del sector educativo, hotelero y sector salud. La demanda del sector educativo es calculada a partir de la base de datos de estudiantes matriculados en la zona urbana de Tumaco, considerando la jornada con mayor cantidad de inscritos en dicho centro poblado. Las camas aferentes, son consultadas de la información del Ministerio de Turismo, y las camas del sector salud, se caracterizan de acuerdo a la base de datos del Ministerio de Salud y Protección Social. A continuación, se presenta la tabla resumen del cálculo de la demanda de servicios.

Tabla 38. Memoria de cálculos de la demanda hídrica del sector de servicios.

C SCH	51020218
Dotación 15 (l/alumno día) Escolar	15
Dotación 580 (l/cama día) Hotelero	580
Dotación 800 (l/cama día) Salud	800
Estudiantes Urbano Escolar	26854
Camas Hotelero	1528

C SCH	51020218
Camas Salud	246
Demanda l/s Escolar	4.66
Demanda l/s Hotelero	10.26
Demanda l/s Salud	2.28
Demanda Servicios l/s	17.20
Demanda Servicios M3/año	542335.3

Tabla 39. Demanda hídrica de servicios anual por SCH (l/s).

C SCH	51020218
Anual	17.20

4.5.6 Demanda hídrica en el sector piscícola.

La demanda hídrica piscícola, es caracterizado de acuerdo a los valores concesionados en la base de datos de la Corporación Autónoma Regional, especializándose con herramientas SIG para relacionar su correspondencia a las unidades de subcuenca.

Tabla 40. Concesión de agua del sector piscícola por SCH (l/s).

C_SCH	Concesión (l/s)	Uso
51020212	0.13	Acuicultura y pesca
51020212	1.2	Acuicultura y pesca
51020212	0.13	Acuicultura y pesca
51020212	0.13	Acuicultura y pesca
51020212	0.13	Acuicultura y pesca
51020213	0.13	Acuicultura y pesca
51020213	4	Acuicultura y pesca
51020213	0.13	Acuicultura y pesca
51020213	0.13	Acuicultura y pesca
51020213	0.13	Acuicultura y pesca
51020215	0.8	Acuicultura y pesca
51020215	1.2	Acuicultura y pesca
51020215	0.05	Acuicultura y pesca
51020215	0.13	Acuicultura y pesca
51020215	0.13	Acuicultura y pesca
51020215	0.05	Acuicultura y pesca

La distribución mensual, se asigna teniendo en cuenta que dichas concesiones son constantes en el tiempo, por lo tanto, su magnitud será la misma a nivel mensual y anual.

Tabla 41. Demanda hídrica piscícola anual por SCH (l/s).

C SCH	51020212	51020213	51020215
Anual	1.72	4.52	2.36

4.6 Modelación hidrológica.

4.6.1 Esquematzación.

La esquematización es generada para la cuenca objeto de ordenación, así como la cuenca objeto de calibración y validación, correspondiente al área de drenaje de la estación Quelvi (51027030). A continuación, se presenta la configuración esquemática de ambas áreas de drenaje.

4.6.1.1 Red hídrica superficial.

Modelo calibración: Río Vargas

Modelo Río Mira: Río Mira

4.6.1.2 Unidades de modelación (Catchment).

Modelo calibración: 4 UM.

Modelo Río Mira: 28 UM.

4.6.1.3 Unidades de demanda.

Modelo calibración: 0 Sitios Demandas.

Modelo Río Mira: 28 Sitios Demandas.

4.6.1.4 Conducciones de agua.

Modelo calibración: 1 Conducción.

Modelo Río Mira: 27 Conducciones.

4.6.1.5 Flujos de retorno.

Modelo calibración: 0 flujos de retorno.

Modelo Río Mira: 27 flujos de retorno.

4.6.1.6 Medidor de caudal.

Modelo calibración: 1 medidor de caudal.

Modelo Río Mira: 0 medidor de caudal.

En las siguientes figuras, se presentan las esquemáticas generadas para la cuenca objeto de calibración (estación Quelvi), así como para la unidad hidrográfica del río Mira NSS 510202 y sus respectivas subcuencas.

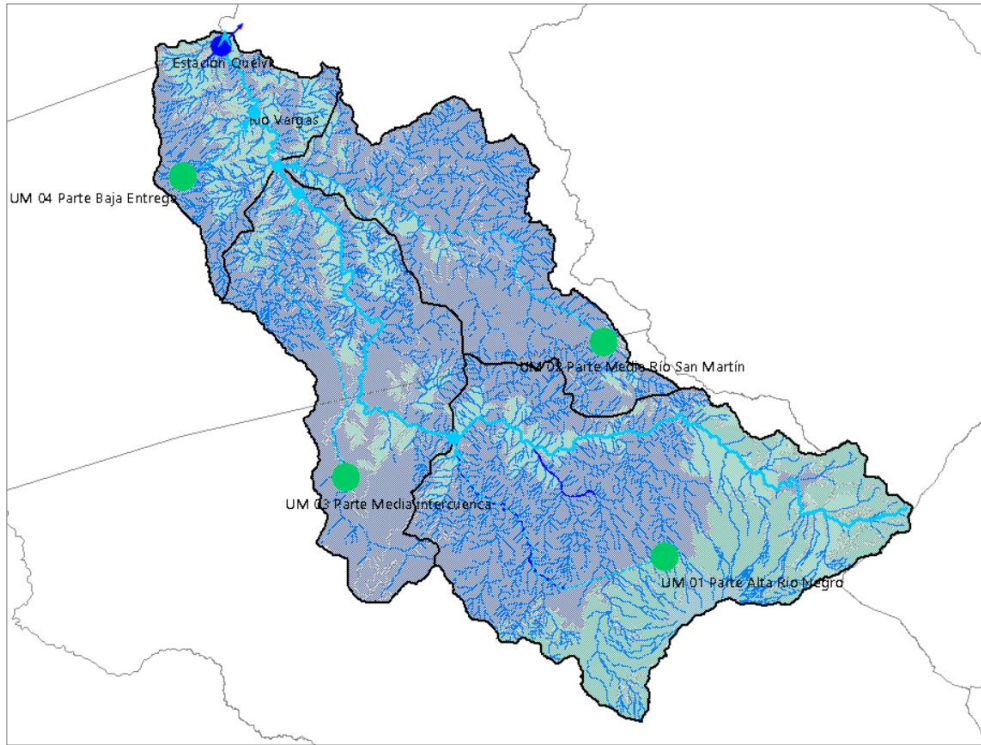


Figura 35. Esquema conceptual del sistema de modelación de la cuenca de calibración.

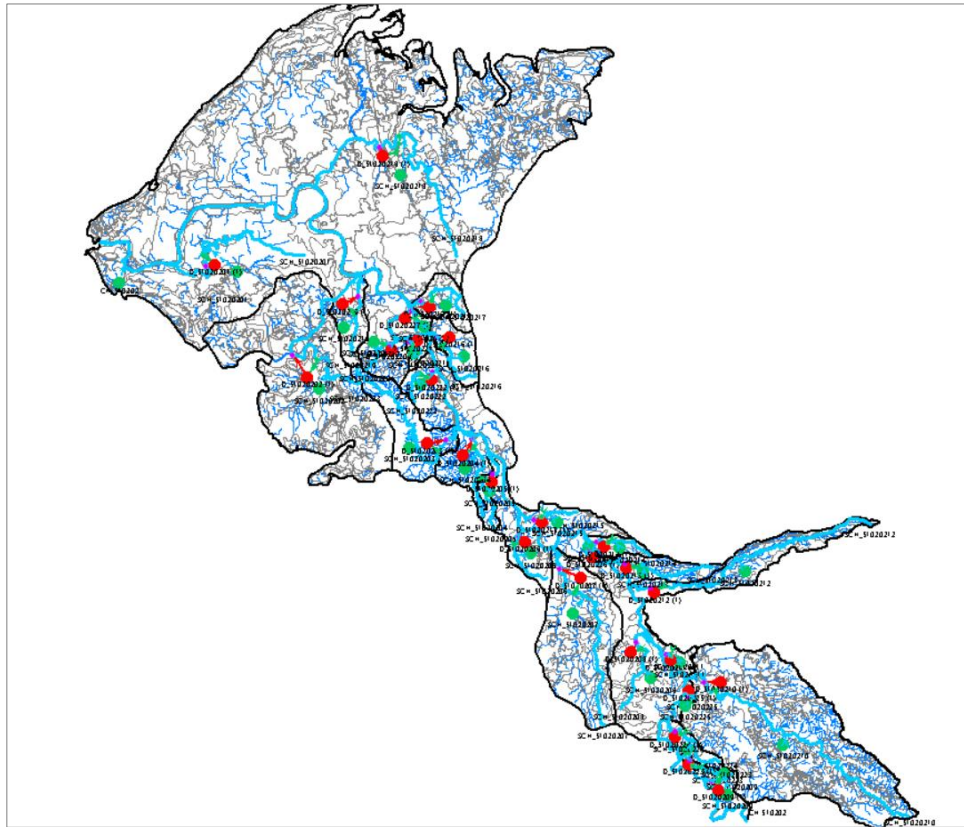


Figura 36. Esquema conceptual del sistema de modelación de la cuenca del río Mira y SCH.

4.6.2 Bases de datos.

La espacialización de las variables climatológicas para cada una de las Unidades de Modelación (UM), son sumidas en las siguientes figuras, donde es posible identificar la variación temporal de cada Catchment para los parámetros de precipitación, factor de nubosidad, humedad relativa y temperatura media.

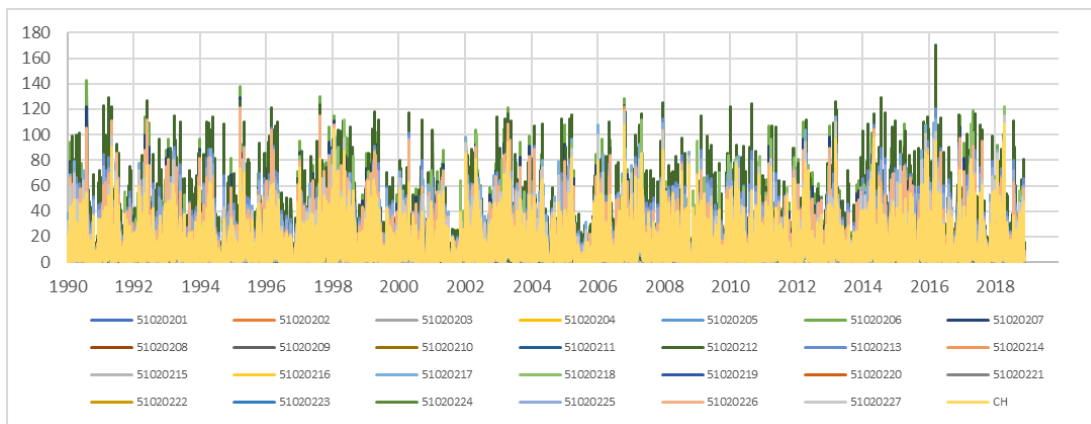


Figura 37. Distribución temporal de la Precipitación diaria a nivel de SCH y CH (mm).

El factor o fracción de nubosidad (F_{nub}) es calculado a partir de la relación entre el Número de horas máximas teóricas de brillo solar (N) y el registro de horas de brillo solar (n) interpolado para cada Unidad de Modelación.

$$F_{nub} = \frac{n}{N}$$

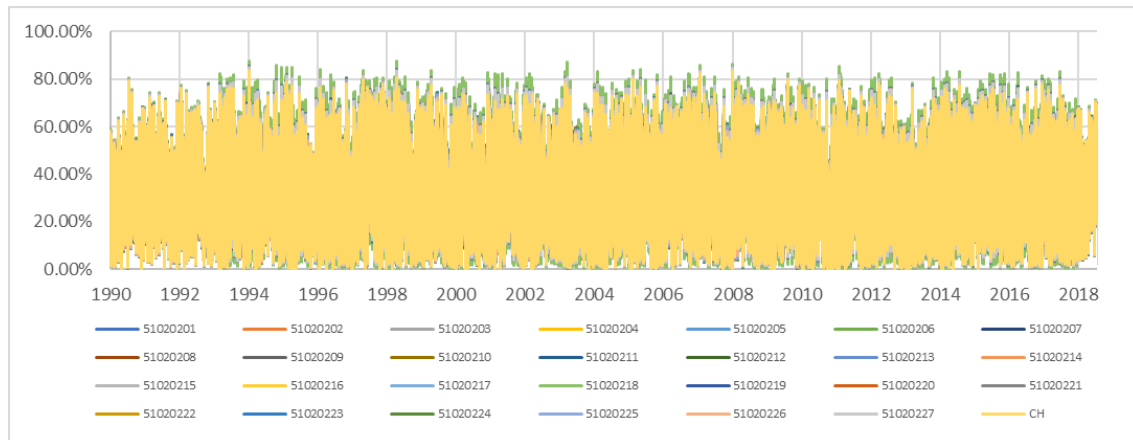


Figura 38. Distribución temporal del Factor de nubosidad diario a nivel de SCH y CH (%).

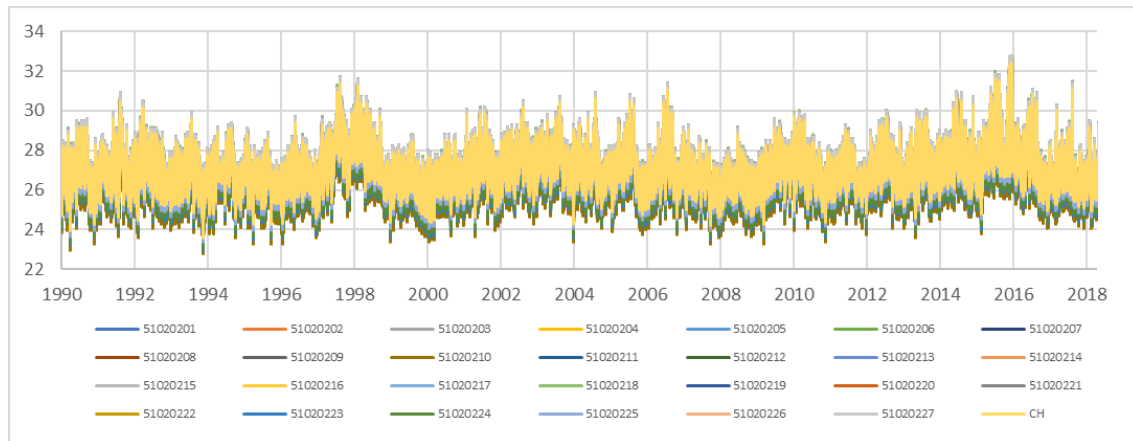


Figura 39. Distribución temporal de la temperatura media diaria a nivel de SCH y CH (Celsius).

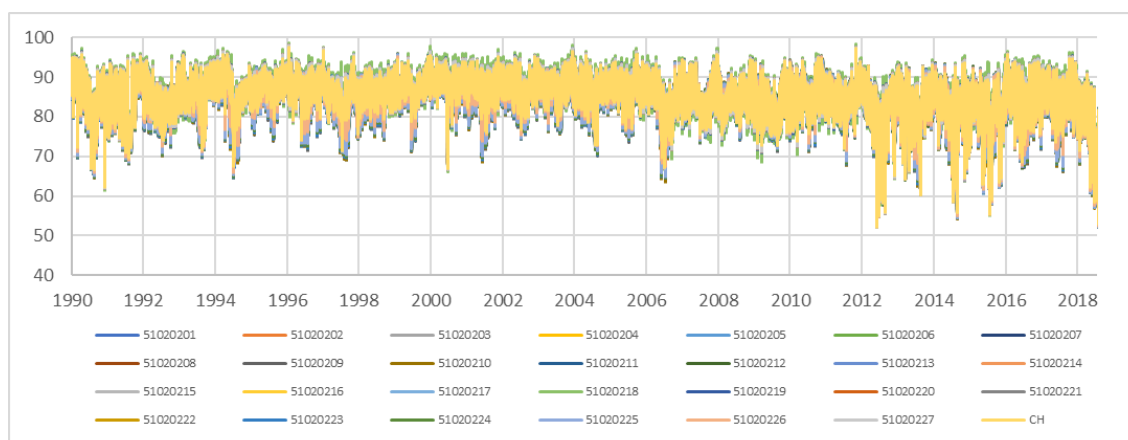


Figura 40. Distribución temporal de la humedad relativa diaria a nivel de SCH y CH (%).

4.6.3 Calibración y validación.

El proceso de calibración y validación ha sido realizado teniendo en cuenta diferentes periodos de simulación, considerando la respuesta de los parámetros de bondad de ajuste referenciados con anterioridad. A continuación, se presenta el resumen de las magnitudes obtenidas de cada una de las variables por cobertura vegetal.

Tabla 42. Resultados de las variables de calibración por cobertura vegetal.

Variable	Nombre	Valor
Sw	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	48
Sw	Áreas agrícolas heterogéneas	187
Sw	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	184
Sw	Bosques	220
Sw	Cultivos permanentes	187
Sw	Pastos	194
Sw	Superficies de agua	60
Sw	Zonas artificiasdas	48
RRF	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	7
RRF	Áreas agrícolas heterogéneas	8
RRF	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	8
RRF	Bosques	6.9
RRF	Cultivos permanentes	8
RRF	Pastos	9.5
RRF	Superficies de agua	10
RRF	Zonas artificiasdas	10
ks	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	10
ks	Áreas agrícolas heterogéneas	22.4
ks	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	0.8
ks	Bosques	15
ks	Cultivos permanentes	22.4

Variable	Nombre	Valor
ks	Pastos	26.6
ks	Superficies de agua	8
ks	Zonas artificiadadas	10
kd		106
f	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0.65
f	Áreas agrícolas heterogéneas	0.9
f	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	0.8
f	Bosques	0.8
f	Cultivos permanentes	0.9
f	Pastos	0.95
f	Superficies de agua	1
f	Zonas artificiadadas	1
Dw		270

Adicionalmente se presenta los valores de coeficiente de cultivos calculados para cada una de las coberturas vegetales establecidas en la modelación de simulación continua en WEAP, correspondiente a Áreas abiertas sin o con poca vegetación, Áreas agrícolas heterogéneas, Áreas con vegetación herbácea o arbustiva, Bosques, Cultivos permanentes, Pastos, Superficies de agua, y Zonas artificiadadas

Tabla 43. Coeficiente de cultivo por cobertura vegetal.

Nombre	kc
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0.70
Áreas agrícolas heterogéneas	0.95
Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	1.20
Bosques	1.10
Cultivos permanentes	0.95
Pastos	1.00
Superficies de agua	1.00
Zonas artificiadadas	1.00

A su vez, se incluyen los resultados del proceso de calibración y validación, generando procesos óptimos en función a la representatividad de los caudales medios diarios.

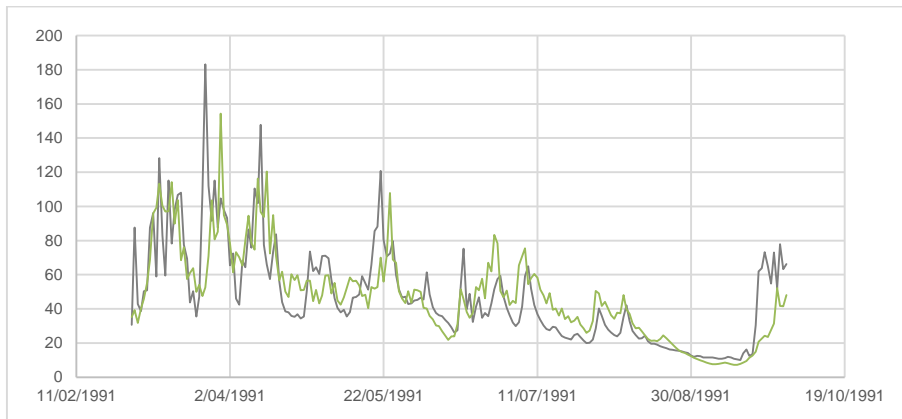


Figura 41. Caudales simulados vs caudales registrados. Periodo de calibración 1991.

Tabla 44. Resultados de los parámetros de bondad de ajuste. Calibración.

Bondad de ajuste	Calibración	Interpretación
BIAS	-0.315	Muy Bueno
NSE	0.514	Satisfactorio
RSR	0.697	Satisfactorio
Pearson	0.7363	Bueno

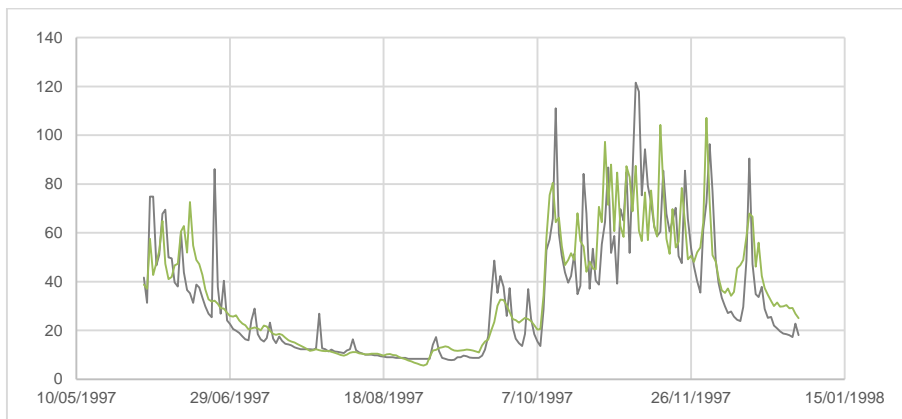


Figura 42. Caudales simulados vs caudales registrados. Periodo de validación 1997.

Tabla 45. Resultados de los parámetros de bondad de ajuste. Validación.

Bondad de ajuste	Validación	Interpretación
BIAS	-4.987	Muy Bueno
NSE	0.689	Bueno
RSR	0.558	Bueno
Pearson	0.83829	Bueno

En respuesta a los parámetros calibrados y validados en el modelo hidrológico de la cuenca objeto de estudio, teniendo en cuenta los rangos de variación teóricos,

así como la revisión de la literatura científica, se procede a realizar un comparativo de algunos estudios, comenzando con La modelación de la oferta hídrica en una cuenca de montaña tropical en función de su cobertura del suelo (Duque Y. & Vázquez Z., 2015), donde considera usos de páramo, bosque y pasto, donde se obtienen parámetros de calibración que fluctúan 700 y 2000 para k_s , 300 a 600 para K_d , 0.1 a 0.8 para f_d , así como valores de RRF entre 1.0 a 8.0, Sw entre 100 a 500, Dw entre 100 y 2200.

En la modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia, realizado por (Escobar & Lozano Sandoval, 2014), se obtuvo el set de parámetros para diferentes coberturas asociadas uso agrícola, bosque, café, paramo, zonas urbanas, pastos, cuerpos de agua, suelos desnudos, valores de kc entre 0.75 a 1.10, RRF entre 3.0 a 6.5, ks entre 75 a 190, fd entre 0.3 a 0.8, Sw entre 300 a 800, K_d de 80.0 y Dw constante de 800.

En el artículo denominado Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay-Huaral Basin to support river discharge modeling with WEAP (Olsson, y otros, 2017), establecen su respuesta representativa con los valores calibrados de kc de 0.75, RRF entre 1.4 a 5.0, ks entre 150 a 600, fd de 0.5, Sw de 200, K_d de 150 y Dw constante de 800.

La Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y El Alto, Bolivia (Escobar M. , Lima, Purkey, Yates, & Forni, 2013), incluye los siguientes procesos de calibración para usos de vegetación dispersa, áreas de humedales y suelos rocosos, con valores de kc entre 0.9 a 0.95, RRF entre 1.0 a 5.0, ks entre 50 a 400, fd entre 0.3 a 0.9, Sw entre 500 a 1000, K_d de 50.0 y Dw constante de 500.

En el artículo Modeling of Andean Páramo ecosystems' hydrological response to environmental change (Flores-López, Galaitzi, Escobar, & Purkey, 2016) ,se han obtenido valores para usos del suelo de páramo y otros, con valores de kc entre 0.25 a 1.20, RRF entre 2.0 a 6.0, ks entre 100 a 480, fd entre 0.25 a 0.75, Sw entre 500 a 1000, K_d entre 48 a 360 y Dw entre 50 a 3000.

Adicionalmente, se han consultado valores de los parámetros de calibración del método de la humedad del suelo presentados en la Guía metodológica – Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, 2009), donde se presentan parámetros de calibración resultantes para 6 cuencas diferentes, evidenciándose rangos de RRF entre 0.8 a 5.85, ks de 500, fd entre 0.2 a 1.0, Sw entre 80 a 4320, K_d entre 75 a 600 y Dw entre 300 a 7500, destacándose alta fluctuación en las variables de Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (Sw) y profunda (Dw).

4.7 Oferta hídrica

Se establecen las generalidades y caracterizaciones de la oferta hídrica total y disponible, teniendo en cuenta condiciones de año hidrológico normal, seco y húmedo.

4.7.1 Oferta hídrica total.

Se caracteriza la oferta hídrica total a escala mensual multianual y media anual en la ventana de análisis 1990-2018, en consideración a la cuenca hidrográfica y sus respectivas subcuencas.

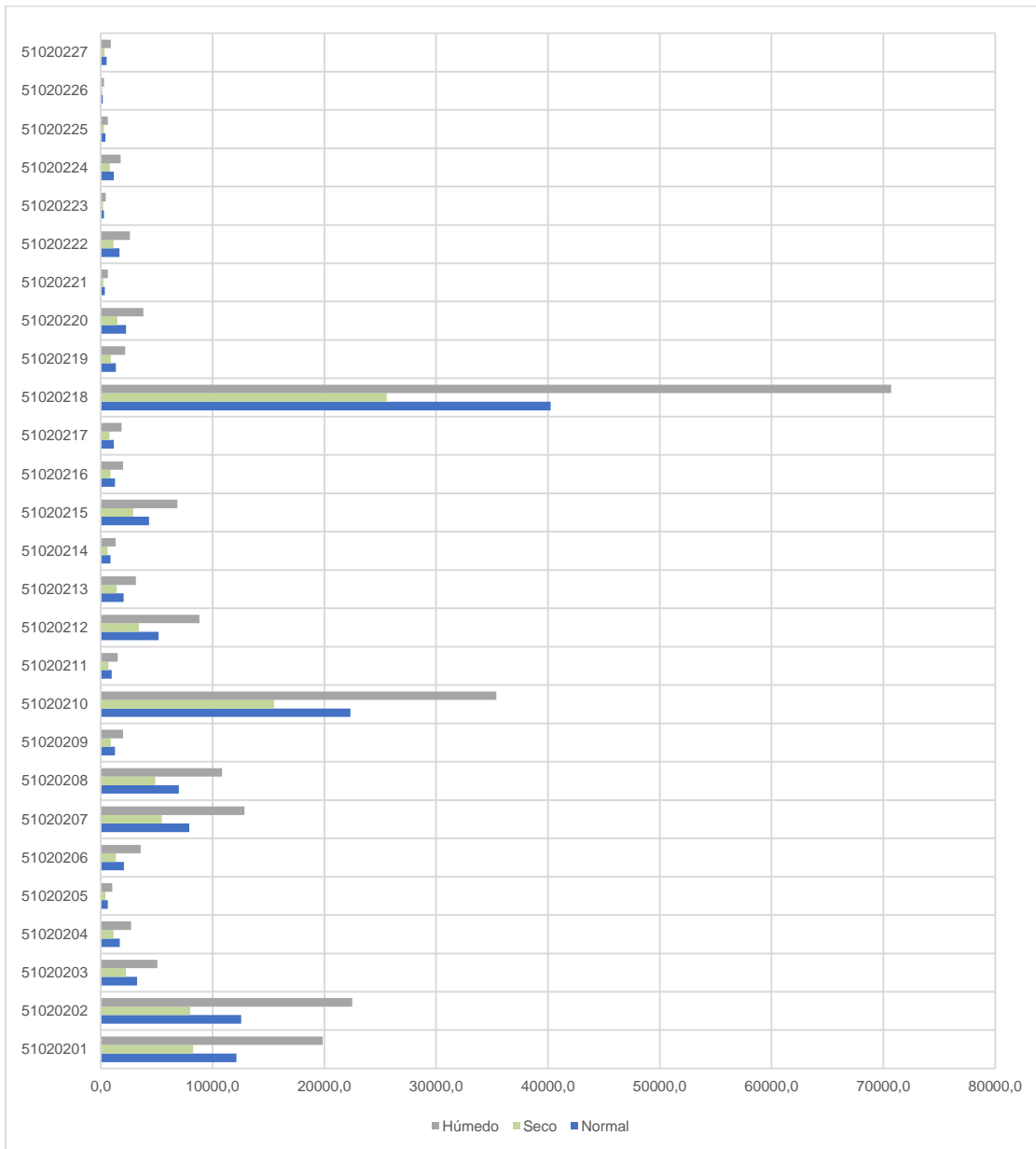


Figura 43. Oferta hídrica total por SCH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).

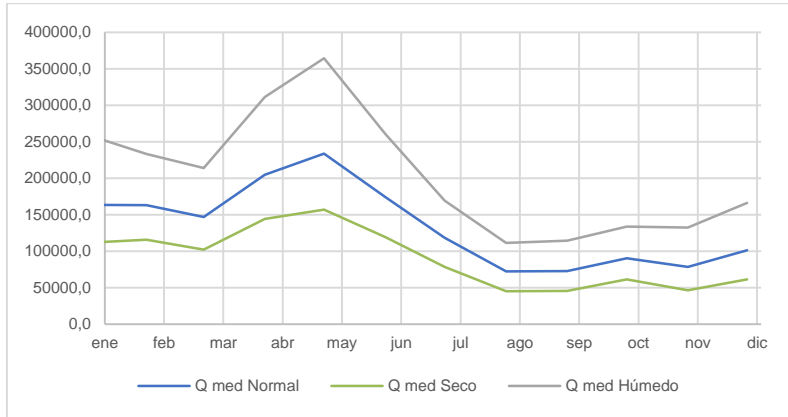


Figura 44. Oferta hídrica total por CH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).

Tabla 46. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico normal (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	14948.3	14721.9	12817.7	18225.6	21634.3	16164.0	10650.0	6318.5	6171.9	7830.5	7205.0	8964.6	12137.7
51020202	15789.8	15511.3	13843.0	19581.7	22654.3	16403.0	10530.5	6211.2	6316.0	7821.8	6816.7	9237.7	12559.8
51020203	3976.3	4095.4	3641.1	4898.3	5696.3	4227.3	2784.0	1732.7	1705.4	2056.5	1768.1	2317.6	3241.6
51020204	2104.6	2178.6	1939.2	2558.5	2974.8	2191.4	1442.7	895.6	879.4	1037.2	888.5	1194.4	1690.4
51020205	792.7	825.9	732.7	945.1	1104.5	810.3	534.0	329.9	320.4	369.9	320.0	435.9	626.8
51020206	2640.4	2756.4	2444.0	3128.6	3663.3	2674.1	1757.6	1074.3	1033.0	1178.0	1030.9	1408.7	2065.8
51020207	9667.6	10079.1	9164.8	11872.0	13533.1	10026.9	6932.2	4384.9	4320.9	5085.5	4330.1	5695.5	7924.4
51020208	8115.9	8374.9	7865.6	10411.8	11441.0	8612.1	6259.0	4067.2	4169.9	5025.3	4122.3	5347.7	6984.4
51020209	1436.4	1451.3	1434.6	1914.6	2019.9	1533.2	1144.4	747.2	797.3	1019.3	853.3	1069.7	1285.1
51020210	24381.4	24772.1	24776.1	33258.2	34560.5	26487.1	20333.1	13363.1	14321.1	18275.7	14883.3	18687.7	22341.6
51020211	1095.6	1127.8	1080.6	1444.4	1549.7	1181.2	891.1	588.4	617.2	740.3	586.9	765.9	972.4
51020212	5487.5	5759.9	5621.9	7597.8	7872.1	6181.4	5065.1	3451.0	3648.1	4184.9	3031.0	4084.6	5165.4
51020213	2292.2	2374.8	2257.1	3035.8	3264.9	2503.1	1907.7	1268.9	1322.1	1564.6	1213.1	1586.9	2049.3
51020214	1005.4	1040.3	966.8	1289.9	1424.8	1076.4	780.9	510.4	521.2	619.2	498.7	651.9	865.5
51020215	5262.6	5379.9	4857.8	6603.8	7534.2	5550.6	3688.8	2308.7	2327.1	2786.1	2320.1	3130.3	4312.5
51020216	1506.6	1526.4	1358.3	2003.7	2311.0	1699.2	1069.6	661.2	664.5	837.3	692.3	906.2	1269.7
51020217	1371.6	1388.9	1222.7	1850.2	2149.6	1579.2	975.3	597.7	596.6	760.0	630.0	821.1	1161.9

5102021 8	51952.0	50168.7	42135.6	61431.7	74028.5	54554.1	34588.9	19517. 9	18932.9	23667. 1	22860.1	29039.7	40239.8
5102021 9	1652.3	1640.3	1444.8	2093.5	2437.9	1789.2	1142.0	679.9	679.9	859.1	746.2	973.1	1344.9
5102022 0	2767.0	2748.1	2434.0	3564.2	4138.0	3004.1	1894.6	1127.1	1129.8	1426.9	1226.3	1615.0	2256.3
5102022 1	446.8	448.0	398.2	589.1	686.0	494.5	309.2	185.1	183.3	232.0	198.6	259.6	369.2
5102022 2	2022.8	2049.2	1832.2	2569.5	2960.0	2180.4	1411.8	873.8	879.6	1080.9	909.4	1206.3	1664.7
5102022 3	334.0	341.3	332.8	445.0	474.6	360.2	268.6	175.3	182.3	232.1	194.8	240.9	298.5
5102022 4	1307.2	1339.8	1297.0	1732.3	1856.4	1407.7	1047.6	683.7	709.4	891.4	742.0	927.0	1161.8
5102022 5	463.8	474.3	458.6	610.8	652.3	497.3	374.6	247.0	261.6	318.9	256.4	331.4	412.2
5102022 6	208.0	213.0	196.6	261.0	290.8	215.9	151.1	96.5	99.3	116.7	95.0	130.1	172.8
5102022 7	643.8	641.3	569.1	847.4	985.2	712.3	444.7	267.1	267.5	339.1	288.4	379.0	532.1
510202 7	163672. 7	163428. 9	147123. 0	204764. 7	233898. 0	174116. 1	118379. 0	72364. 3	73057.6	90356. 1	78707.6	101408.3	135106. 4

Tabla 47. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico seco (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
5102020 1	10103.0	10716.6	8953.5	12644.1	14341.0	11012.2	6936.2	3768.4	3813.9	5025.5	4239.8	5277.2	8256.3
5102020 2	9882.6	10382.0	9124.7	12745.9	14402.8	10497.6	6734.1	3837.4	3597.1	4900.0	3786.6	5198.5	8009.7
5102020 3	2742.1	2954.9	2559.4	3558.8	3973.9	2968.0	1848.6	1075.8	999.6	1334.9	1020.8	1422.2	2254.3
5102020 4	1407.2	1531.0	1331.4	1831.0	2058.5	1508.9	940.4	545.2	500.8	674.3	512.9	715.0	1153.3
5102020 5	513.5	568.0	495.1	657.8	754.1	548.5	328.7	199.4	183.5	238.5	182.2	260.6	419.2
5102020 6	1662.9	1863.3	1626.1	2145.8	2434.2	1780.1	1073.6	650.3	608.4	733.1	586.7	832.3	1360.9
5102020 7	6483.5	7093.5	6445.0	8531.0	9421.1	6984.2	4603.9	2772.7	2605.8	3426.8	2612.8	3401.4	5477.9
5102020 8	5644.1	6014.1	5558.9	7645.5	8132.3	6148.6	4294.9	2713.6	2710.1	3517.2	2564.0	3305.4	4890.8
5102020 9	1035.6	1039.7	1012.0	1390.5	1414.9	1106.3	806.0	527.2	520.2	723.9	551.6	690.8	904.6
5102021 0	17557.2	17408.1	17138.6	23469.3	23838.3	18905.9	14105.1	9373.5	9239.9	12843.6	9606.8	11955.2	15504.1
5102021 1	776.3	798.8	748.0	1048.7	1088.9	836.6	617.4	406.7	397.6	515.7	363.5	470.8	675.1
5102021 2	3823.6	3778.8	3645.9	5158.7	5277.5	4220.7	3429.4	2295.9	2242.7	2659.1	1756.2	2379.8	3405.5
5102021 3	1630.8	1676.9	1567.1	2216.5	2315.0	1775.2	1315.2	860.5	848.4	1063.6	745.0	970.1	1424.6
5102021 4	701.4	746.1	683.9	950.5	1024.4	769.5	523.8	337.7	337.3	431.0	305.4	390.2	606.2
5102021 5	3542.8	3752.0	3321.1	4674.0	5144.3	3852.0	2384.9	1375.3	1404.9	1795.5	1343.7	1852.8	2913.8
5102021 6	1031.8	1088.0	953.4	1395.3	1591.6	1146.5	713.8	398.0	403.4	516.1	379.2	530.2	862.7
5102021 7	907.1	976.3	846.4	1266.4	1458.9	1072.5	644.5	354.6	345.9	463.9	351.8	468.6	778.9

5102021 8	32602.2	34581.5	27357.9	39788.0	46386.3	35160.8	21726. 4	11544. 1	10985.7	14606. 4	12441.2	15208.8	25596. 8
5102021 9	1097.1	1161.6	979.3	1434.2	1640.9	1197.5	724.7	388.5	400.2	536.9	408.6	560.8	895.1
5102022 0	1810.7	1914.8	1625.2	2389.0	2715.3	1999.4	1225.9	664.6	661.6	878.3	666.9	912.0	1481.1
5102022 1	293.4	313.0	268.8	390.0	443.4	329.5	202.8	108.2	109.1	140.3	105.8	147.6	243.7
5102022 2	1382.0	1460.1	1272.8	1827.6	2033.9	1504.8	920.8	511.0	532.2	678.2	516.6	717.2	1138.1
5102022 3	242.9	248.7	238.0	326.3	334.5	262.3	192.5	123.6	119.3	164.5	125.2	156.3	213.1
5102022 4	943.8	972.4	920.5	1268.1	1314.8	1017.7	745.6	471.5	463.0	630.1	471.9	597.7	827.0
5102022 5	330.5	338.3	319.9	450.3	466.9	354.7	257.4	170.9	168.0	224.2	160.6	206.3	288.5
5102022 6	137.7	146.9	133.3	183.9	198.5	148.0	100.7	63.2	60.8	78.3	55.1	76.6	115.8
5102022 7	421.4	449.2	386.1	563.8	642.5	472.7	290.7	157.8	157.4	203.9	153.0	213.6	350.4
510202 8	111415. 2	115934. 2	102532. 3	144370. 2	157250. 7	119569. 3	78834. 1	45527. 7	45878.9	61589. 9	46720.5	61654.5	91729. 7

Tabla 48. Oferta hídrica total mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico húmedo (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	23945.5	21602.7	18542.1	27826.9	34573.6	24973.2	15344.0	9708.5	10182.9	11788.8	12585.6	15127.4	19839.9
51020202	28507.1	25561.8	23403.3	32346.7	38942.9	26884.3	16360.3	10663.3	10783.7	12807.1	12436.3	16563.4	22491.4
51020203	6196.8	5763.7	5083.8	7037.0	8682.6	6219.5	3886.1	2751.3	2654.3	3097.7	2991.1	3753.6	5055.0
51020204	3511.1	3234.0	2831.5	3772.9	4720.2	3295.7	2098.1	1446.7	1388.0	1557.1	1529.3	1997.7	2720.3
51020205	1375.3	1275.9	1090.5	1415.3	1796.9	1239.6	828.8	519.6	509.6	572.9	547.2	756.4	1039.1
51020206	4746.3	4446.7	3738.2	5093.7	6396.8	4242.4	2839.7	1702.5	1639.7	1835.1	1851.0	2463.3	3565.6
51020207	16472.9	15401.3	13493.6	17950.6	22536.4	15336.6	10007.9	6615.0	6591.5	7738.7	7260.5	9350.4	12860.8
51020208	12424.5	12354.3	11155.6	15325.6	17713.7	12587.5	8736.1	6163.6	6505.5	7568.4	6470.2	8630.4	10869.4
51020209	2178.2	2199.0	2096.4	2872.0	3041.1	2246.0	1625.8	1121.2	1228.7	1526.2	1312.3	1731.1	1992.4
51020210	37591.2	38894.0	37380.7	52141.4	52785.2	40041.4	29647.0	20216.9	22427.2	27858.6	22966.5	32078.9	35393.8
51020211	1643.5	1704.3	1555.3	2193.9	2382.0	1731.9	1256.2	891.3	968.9	1115.0	912.8	1271.3	1508.1
51020212	8831.2	9578.3	9188.6	13749.7	13178.1	9830.2	7614.9	5591.0	6086.8	6897.1	5151.4	7594.3	8827.0
51020213	3365.5	3524.2	3223.4	4594.5	4906.9	3646.4	2688.2	1902.1	2063.5	2358.8	1898.2	2635.2	3148.5
51020214	1536.8	1486.5	1353.4	1905.1	2220.9	1556.0	1106.3	790.8	803.9	919.8	787.7	1064.9	1334.9
51020215	8308.6	7654.8	6983.9	9752.3	11987.5	8274.7	5219.9	3756.0	3680.3	4248.7	4000.8	5116.9	6861.3
51020216	2236.1	2154.5	1978.8	3014.3	3584.6	2510.9	1538.2	1050.1	1057.9	1282.7	1209.7	1515.1	1992.5

5102021 7	2058.0	1951.5	1796.8	2799.4	3351.1	2371.6	1419.8	989.3	976.5	1212.5	1105.4	1402.0	1867.3
5102021 8	89689.0	76119.6	65468.4	103934. 1	128957. 0	88037.8	51240.2	32605.3	32147.7	37108.3	47179.5	55388.6	70694.7
5102021 9	2600.5	2358.3	2107.0	3129.4	3796.6	2752.3	1679.9	1076.5	1151.7	1321.8	1301.3	1696.0	2194.7
5102022 0	4513.0	4063.6	3630.7	5592.7	6798.3	4763.3	2836.2	1817.8	1935.7	2228.0	2173.7	2799.2	3801.3
5102022 1	746.1	677.3	595.4	965.9	1159.0	789.4	456.0	301.8	311.2	365.5	349.6	452.3	634.4
5102022 2	3115.9	2893.6	2592.1	3841.0	4502.3	3207.0	2003.8	1405.3	1392.2	1662.6	1566.7	1926.5	2615.2
5102022 3	495.5	518.2	477.5	669.3	712.7	520.2	371.5	255.2	284.1	339.7	289.2	388.5	457.1
5102022 4	1939.4	2025.4	1851.4	2593.5	2809.4	2026.5	1442.8	1000.3	1111.7	1330.9	1108.7	1500.3	1783.7
5102022 5	678.3	697.4	648.0	899.2	985.0	714.6	518.5	372.5	399.8	475.4	395.9	532.9	622.5
5102022 6	338.7	324.9	295.1	397.6	464.8	331.2	220.0	158.1	159.3	182.5	153.4	221.5	282.4
5102022 7	1045.0	937.9	856.6	1386.1	1655.7	1117.7	671.3	436.9	453.9	528.9	514.6	659.5	907.6
510202	260723. 4	233625. 2	214150. 6	311481. 4	364582. 3	260748. 9	169336. 7	111613. 5	114621.5	133982. 6	132555.7	166428. 4	214667. 6

4.7.2 Rendimiento hídrico.

El rendimiento hídrico es estimado a partir de la relación entre oferta hídrica total en condición de año hidrológico normal (l/s), y la superficie de cada una de las unidades hidrográficas (km²). A continuación, se presentan los rendimientos hídricos para la cuenca objeto de estudio, donde se destacan grandes rendimientos superiores al promedio nacional.

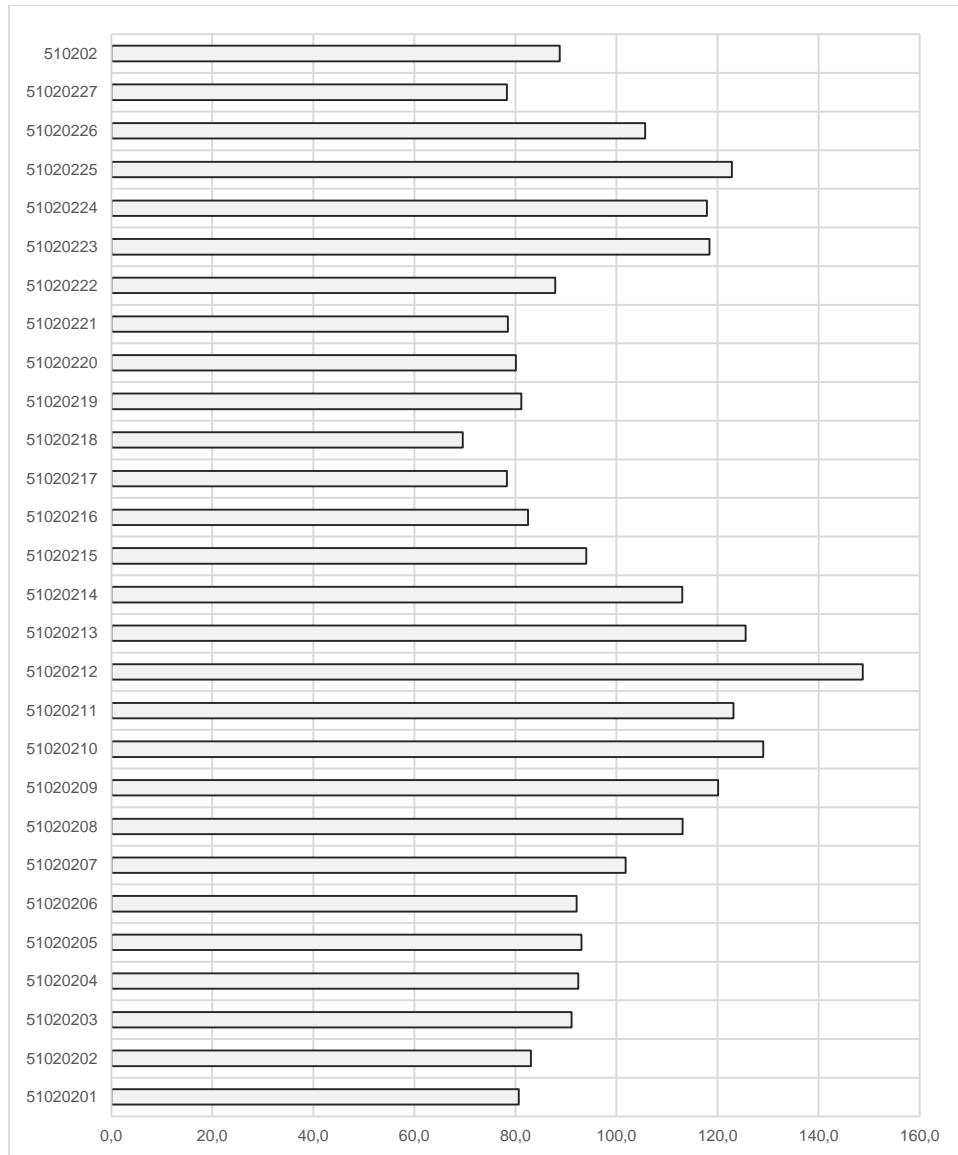


Figura 45. Rendimiento hídrico a nivel de CH (l/s-km²).

Tabla 49. Rendimiento hídrico mensual y anual a nivel de CH y SCH (l/s-km²).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	99.3	97.8	85.2	121.1	143.8	107.4	70.8	42.0	41.0	52.0	47.9	59.6	80.7
51020202	104.4	102.6	91.5	129.5	149.8	108.5	69.6	41.1	41.8	51.7	45.1	61.1	83.1
51020203	111.8	115.1	102.3	137.7	160.1	118.8	78.2	48.7	47.9	57.8	49.7	65.1	91.1
51020204	115.1	119.1	106.0	139.9	162.6	119.8	78.9	49.0	48.1	56.7	48.6	65.3	92.4
51020205	117.7	122.6	108.8	140.3	164.0	120.3	79.3	49.0	47.6	54.9	47.5	64.7	93.1
51020206	117.8	122.9	109.0	139.5	163.4	119.3	78.4	47.9	46.1	52.5	46.0	62.8	92.1
51020207	124.2	129.5	117.8	152.5	173.9	128.8	89.1	56.3	55.5	65.3	55.6	73.2	101.8
51020208	131.4	135.6	127.3	168.6	185.2	139.4	101.3	65.8	67.5	81.4	66.7	86.6	113.1
51020209	134.3	135.7	134.1	179.0	188.8	143.3	107.0	69.8	74.5	95.3	79.8	100.0	120.1
51020210	140.9	143.1	143.1	192.1	199.7	153.0	117.5	77.2	82.7	105.6	86.0	108.0	129.1
51020211	138.7	142.8	136.8	182.9	196.2	149.6	112.8	74.5	78.1	93.7	74.3	97.0	123.1
51020212	158.0	165.8	161.9	218.8	226.6	178.0	145.8	99.4	105.0	120.5	87.3	117.6	148.7
51020213	140.5	145.5	138.3	186.0	200.1	153.4	116.9	77.8	81.0	95.9	74.3	97.3	125.6
51020214	131.3	135.8	126.2	168.4	186.0	140.5	101.9	66.6	68.0	80.8	65.1	85.1	113.0
51020215	114.7	117.3	105.9	143.9	164.2	121.0	80.4	50.3	50.7	60.7	50.6	68.2	94.0
51020216	97.9	99.2	88.3	130.2	150.2	110.4	69.5	43.0	43.2	54.4	45.0	58.9	82.5
51020217	92.5	93.6	82.4	124.7	144.9	106.5	65.8	40.3	40.2	51.2	42.5	55.4	78.3
51020218	89.8	86.7	72.8	106.2	128.0	94.3	59.8	33.7	32.7	40.9	39.5	50.2	69.6
51020219	99.7	99.0	87.2	126.4	147.2	108.0	68.9	41.0	41.0	51.9	45.0	58.7	81.2
51020220	98.2	97.6	86.4	126.5	146.9	106.6	67.3	40.0	40.1	50.7	43.5	57.3	80.1
51020221	95.0	95.2	84.7	125.3	145.9	105.1	65.7	39.4	39.0	49.3	42.2	55.2	78.5
51020222	106.7	108.1	96.7	135.6	156.2	115.1	74.5	46.1	46.4	57.0	48.0	63.7	87.8
51020223	132.5	135.4	132.1	176.6	188.3	142.9	106.6	69.6	72.3	92.1	77.3	95.6	118.4
51020224	132.7	136.0	131.6	175.8	188.4	142.9	106.3	69.4	72.0	90.5	75.3	94.1	117.9
51020225	138.2	141.3	136.7	182.0	194.4	148.2	111.6	73.6	77.9	95.0	76.4	98.8	122.8
51020226	127.2	130.2	120.2	159.6	177.8	132.0	92.4	59.0	60.7	71.3	58.1	79.5	105.7
51020227	94.8	94.4	83.8	124.7	145.0	104.8	65.5	39.3	39.4	49.9	42.5	55.8	78.3
510202	107.5	107.4	96.7	134.5	153.7	114.4	77.8	47.5	48.0	59.4	51.7	66.6	88.8

4.7.3 Oferta hídrica disponible.

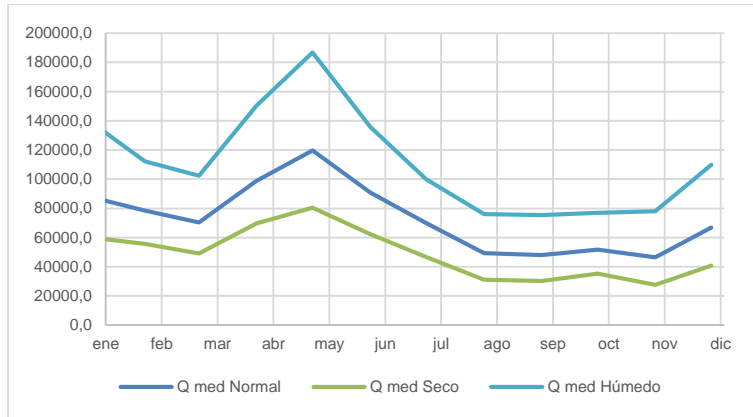


Figura 46. Oferta hídrica total por CH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).

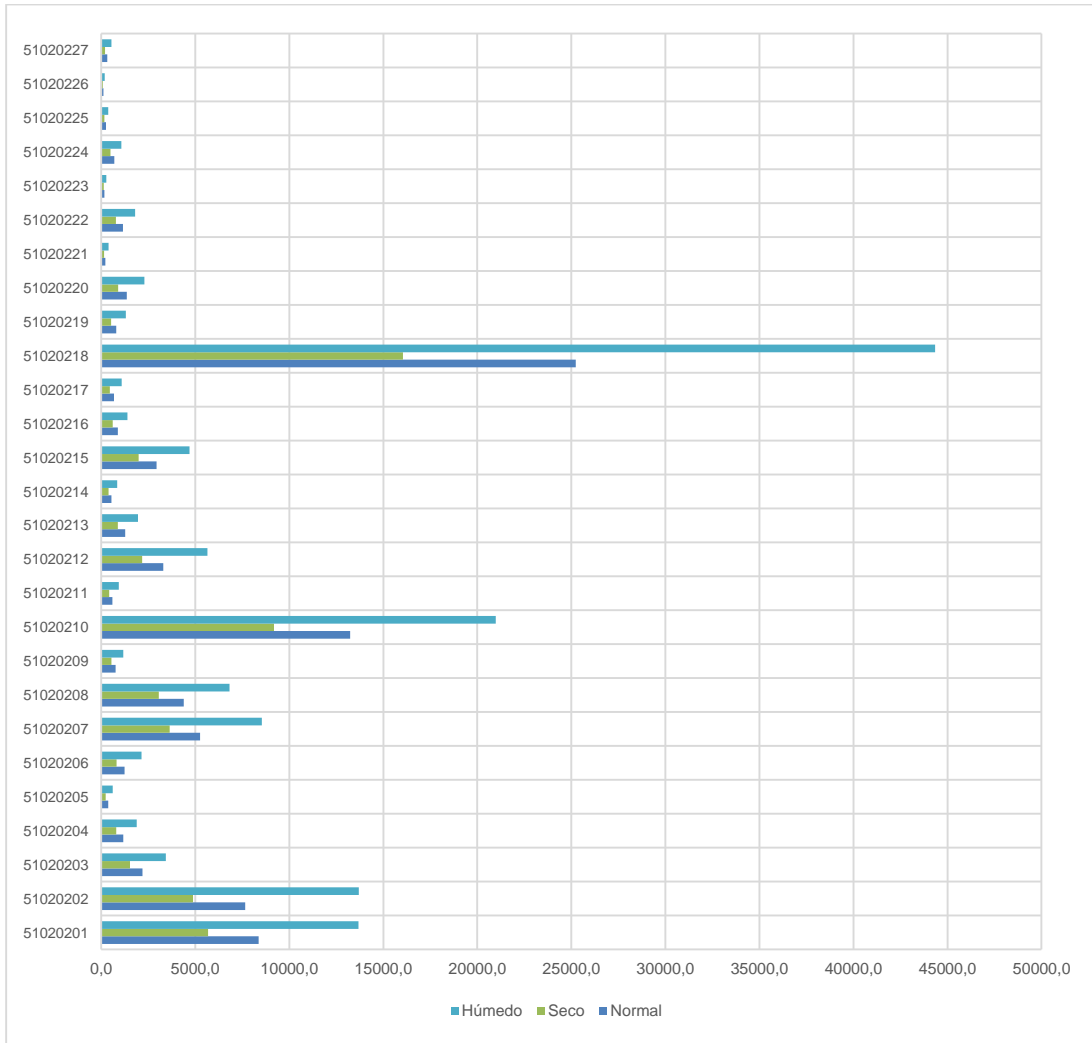


Figura 47. Oferta hídrica total por SCH condición de año hidrológico normal, seco y húmedo (l/s).

Tabla 50. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico normal (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	8215.8	7023.8	5930.2	9088.8	11656.6	8545.5	6415.7	4349.8	4092.5	4478.2	4286.2	6028.1	8364.8
51020202	9499.0	8529.1	7464.7	10641.9	12990.7	9446.2	6844.1	3794.2	3637.3	4804.0	4339.7	5659.7	7649.2
51020203	2174.4	1957.5	1686.5	2274.1	2792.0	2173.7	1635.1	1192.1	1144.7	1153.8	1029.7	1501.0	2198.0
51020204	1188.4	1090.3	961.0	1232.2	1507.1	1179.0	853.5	517.6	614.2	604.3	532.7	800.7	1172.7
51020205	459.3	432.7	386.2	472.9	583.3	454.5	320.1	192.8	226.3	221.5	193.8	298.5	364.9
51020206	1594.4	1497.0	1331.6	1619.4	1998.5	1556.0	1063.4	626.3	606.0	722.3	627.5	815.2	1239.9
51020207	5234.0	5023.1	4650.0	5475.2	6751.9	5142.4	3950.0	2953.7	2857.9	2869.5	2432.7	3653.4	5261.3
51020208	4017.1	3946.0	3766.5	4553.6	5313.3	4251.5	3479.2	2686.4	2630.4	2771.7	2583.3	3350.0	4381.5
51020209	651.2	674.5	681.2	851.2	920.0	708.5	617.9	461.5	482.9	548.3	506.4	638.4	760.0
51020210	11026.7	11700.0	12208.5	15232.4	16041.3	12260.3	10876.4	8288.0	8711.4	10068.5	8979.1	11691.5	13240.0
51020211	525.5	538.6	533.9	645.9	711.7	576.8	498.5	388.7	387.3	422.5	373.9	489.9	601.5
51020212	2650.6	3007.9	3150.3	3875.5	3834.5	3176.8	2959.4	2271.9	2359.1	2690.8	1842.9	2480.4	3301.5
51020213	1089.5	1120.6	1100.4	1376.7	1492.8	1231.3	1063.8	841.1	831.8	915.4	786.0	1035.2	1275.9
51020214	502.6	488.8	457.3	571.5	654.9	533.2	439.5	343.3	332.4	349.7	321.1	419.9	549.5
51020215	2892.3	2650.9	2367.6	3192.1	3782.3	2959.9	2221.0	1338.4	1586.3	1634.2	1382.6	2094.2	2948.1
51020216	817.6	725.4	647.4	1013.6	1250.9	928.2	632.5	393.0	453.3	494.2	419.1	534.3	891.2
51020217	766.2	685.8	602.8	967.0	1215.9	892.6	577.6	366.2	412.5	460.7	384.8	509.1	679.0
51020218	31946.0	26587.7	22599.1	35592.9	45104.3	31872.7	22463.4	12013.2	10521.8	14474.5	15303.1	19171.4	25235.7
51020219	955.3	830.6	719.7	1066.6	1330.0	1007.2	723.8	405.3	371.2	510.8	466.6	587.0	802.2
51020220	1623.4	1432.3	1235.8	1889.7	2294.1	1701.6	1206.7	682.0	628.8	864.6	774.3	991.0	1366.4
51020221	260.4	228.0	196.7	316.5	384.0	277.3	187.3	110.4	101.4	140.3	123.4	160.1	222.0
51020222	1114.5	1000.3	872.8	1247.9	1509.5	1169.0	858.7	515.0	595.1	627.9	547.0	807.5	1149.3
51020223	152.5	157.1	155.7	190.4	215.2	162.3	139.6	107.5	107.2	121.7	115.5	145.1	176.5
51020224	604.4	614.8	615.2	744.5	849.7	647.4	552.5	424.9	425.2	477.2	447.9	560.9	694.8
51020225	216.2	222.3	224.8	268.7	295.6	236.2	208.7	162.9	163.5	180.1	160.9	205.0	251.2
51020226	115.1	110.2	102.9	126.6	147.5	115.3	90.5	68.2	67.4	69.0	55.1	86.7	116.2
51020227	372.9	326.7	285.6	455.7	558.9	403.2	272.1	161.3	148.7	206.1	181.2	232.0	319.3
510202	88436.7	78453.6	70329.7	98845.4	119783.7	90654.4	69943.1	49332.5	48094.4	51822.4	46387.5	66867.0	91272.7

Tabla 51. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico seco (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	5552.8	5112.9	4142.4	6305.4	7727.0	5821.9	4178.5	2594.2	2529.0	2874.0	2522.2	3548.6	5689.9
51020202	5945.3	5708.7	4920.4	6926.9	8259.0	6045.4	4376.7	2344.1	2071.5	3009.5	2410.6	3185.0	4878.1
51020203	1499.5	1412.3	1185.4	1652.2	1947.7	1526.2	1085.7	740.1	671.0	748.9	594.5	921.1	1528.5
51020204	794.6	766.2	659.7	881.8	1042.9	811.8	556.4	315.1	349.7	392.9	307.5	479.3	800.0
51020205	297.5	297.5	261.0	329.1	398.2	307.7	197.1	116.5	129.6	142.8	110.3	178.5	244.1
51020206	1004.1	1012.0	886.0	1110.7	1327.9	1035.9	649.5	379.1	356.9	449.5	357.1	481.6	816.8
51020207	3510.2	3535.2	3270.1	3934.4	4700.3	3581.9	2623.3	1867.7	1723.5	1933.6	1467.9	2181.9	3637.0
51020208	2793.6	2833.7	2661.9	3343.7	3776.7	3035.3	2387.4	1792.3	1709.5	1939.9	1606.8	2070.7	3068.2
51020209	469.5	483.2	480.5	618.2	644.5	511.2	435.2	325.6	315.1	389.4	327.4	412.2	534.9
51020210	7940.4	8222.0	8445.1	10749.1	11064.6	8751.2	7545.0	5813.6	5620.5	7075.8	5795.8	7479.5	9188.0
51020211	372.3	381.5	369.6	468.9	500.1	408.5	345.4	268.6	249.5	294.3	231.6	301.2	417.6
51020212	1846.9	1973.3	2043.0	2631.3	2570.7	2169.2	2003.8	1511.5	1450.3	1709.7	1067.9	1445.2	2176.6
51020213	775.1	791.3	764.0	1005.1	1058.5	873.2	733.4	570.3	533.8	622.3	482.8	632.8	887.0
51020214	350.6	350.6	323.5	421.1	470.9	381.2	294.8	227.1	215.2	243.4	196.6	251.4	384.8
51020215	1947.1	1848.8	1618.7	2259.3	2582.5	2054.1	1435.9	797.3	957.7	1053.1	800.7	1239.5	1992.0
51020216	559.9	517.1	454.5	705.9	861.5	626.3	422.1	236.6	275.1	304.6	229.5	312.6	605.5
51020217	506.7	482.1	417.3	661.9	825.2	606.2	381.7	217.3	239.2	281.2	214.9	290.5	455.2
51020218	20047.5	18327.0	14673.2	23052.7	28262.4	20542.4	14110.0	7105.4	6105.2	8933.1	8328.4	10040.5	16052.6
51020219	634.3	588.2	487.8	730.7	895.2	674.1	459.3	231.6	218.5	319.2	255.5	338.3	533.9
51020220	1062.3	997.9	825.2	1266.6	1505.4	1132.5	780.8	402.2	368.3	532.2	421.1	559.6	897.0
51020221	171.0	159.3	132.8	209.5	248.2	184.8	122.9	64.5	60.4	84.8	65.8	91.1	146.6
51020222	761.5	712.8	606.4	887.6	1037.2	806.8	560.1	301.2	360.1	393.9	310.7	480.1	785.8
51020223	110.9	114.5	111.4	139.6	151.7	118.2	100.1	75.8	70.2	86.2	74.2	94.1	126.0
51020224	436.4	446.2	436.7	545.0	601.8	468.0	393.2	293.1	277.6	337.3	284.8	361.6	494.6
51020225	154.0	158.5	156.8	198.1	211.6	168.5	143.4	112.7	105.1	126.6	100.7	127.6	175.8
51020226	76.2	76.0	69.8	89.2	100.7	79.0	60.4	44.7	41.3	46.3	32.0	51.0	77.9
51020227	244.1	228.9	193.8	303.2	364.5	267.6	177.9	95.3	87.5	124.0	96.1	130.7	210.3
510202	60200.9	55653.9	49013.9	69691.3	80531.2	62254.4	46578.3	31037.4	30202.5	35324.0	27535.4	40654.0	61969.1

Tabla 52. Oferta hídrica disponible mensual y anual a nivel de CH y SCH. Condición de año hidrológico húmedo (l/s).

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	13160.9	10306.7	8578.6	13876.7	18628.4	13202.7	9243.4	6683.5	6752.2	6742.0	7487.0	10172.1	13672.8
51020202	17149.5	14055.5	12619.9	17579.1	22331.1	15482.2	10633.0	6513.7	6210.2	7865.9	7917.2	10147.9	13697.8
51020203	3388.7	2754.9	2354.7	3267.1	4255.7	3198.2	2282.4	1892.9	1781.6	1738.0	1741.9	2431.0	3427.6
51020204	1982.6	1618.5	1403.1	1817.1	2391.3	1773.2	1241.3	836.2	969.4	907.1	916.9	1339.2	1887.1
51020205	796.9	668.4	574.9	708.2	948.9	695.3	496.8	303.6	359.9	343.0	331.4	518.0	605.0
51020206	2866.0	2415.0	2036.8	2636.5	3489.8	2468.6	1718.0	992.5	961.9	1125.2	1126.7	1425.4	2140.1
51020207	8918.4	7675.5	6846.4	8278.6	11243.8	7865.6	5702.5	4455.9	4359.7	4366.7	4079.1	5997.9	8538.9
51020208	6149.6	5821.0	5341.9	6702.7	8226.5	6214.0	4856.2	4071.0	4103.7	4174.4	4054.6	5406.5	6818.7
51020209	987.5	1021.9	995.4	1276.8	1385.1	1037.8	877.9	692.5	744.2	820.9	778.8	1033.1	1178.2
51020210	17001.0	18369.9	18419.4	23881.1	24500.3	18534.3	15858.5	12538.9	13642.3	15348.0	13855.7	20069.3	20974.9
51020211	788.3	814.0	768.5	981.1	1094.0	845.7	702.8	588.7	608.0	636.4	581.6	813.2	932.8
51020212	4265.7	5002.0	5148.9	7013.4	6419.0	5052.0	4449.3	3680.8	3936.2	4434.5	3132.3	4611.7	5641.8
51020213	1599.6	1663.0	1571.5	2083.5	2243.5	1793.7	1499.1	1260.8	1298.2	1380.1	1229.9	1719.0	1960.4
51020214	768.2	698.5	640.2	844.1	1020.9	770.8	622.6	531.9	512.8	519.4	507.1	685.9	847.4
51020215	4566.2	3771.9	3403.8	4714.0	6018.0	4412.5	3142.8	2177.4	2508.8	2492.1	2384.1	3423.2	4690.6
51020216	1213.4	1024.0	943.2	1524.9	1940.3	1371.6	909.7	624.3	721.6	757.1	732.3	893.4	1398.5

5102021 7	1149.6	963.6	885.8	1463.0	1895.6	1340.5	840.8	606.1	675.2	735.0	675.2	869.3	1091.3
5102021 8	55151.0	40340.8	35113.5	60218.3	78571.2	51435.3	33277.4	20068. 5	17865.8	22694. 9	31583.0	36566.4	44335.1
5102021 9	1503.5	1194.2	1049.5	1594.5	2071.3	1549.4	1064.7	641.6	628.7	785.9	813.7	1023.0	1309.0
5102022 0	2647.7	2117.8	1843.4	2965.1	3769.1	2698.0	1806.5	1100.0	1077.4	1350.0	1372.5	1717.6	2302.1
5102022 1	434.9	344.7	294.1	518.9	648.7	442.7	276.3	180.1	172.2	221.0	217.3	278.9	381.5
5102022 2	1716.8	1412.5	1234.8	1865.4	2296.1	1719.4	1218.8	828.2	941.8	965.8	942.3	1289.6	1805.6
5102022 3	226.2	238.5	223.4	286.4	323.2	234.4	193.1	156.5	167.2	178.2	171.4	233.9	270.3
5102022 4	896.7	929.4	878.2	1114.7	1285.9	932.0	760.9	621.7	666.4	712.5	669.2	907.8	1066.8
5102022 5	316.1	326.8	317.6	395.6	446.3	339.4	288.8	245.6	250.0	268.6	248.4	329.7	379.4
5102022 6	187.5	168.0	154.5	192.8	235.8	176.8	131.8	111.8	108.1	108.0	89.0	147.6	189.9
5102022 7	605.3	477.9	429.8	745.4	939.3	632.8	410.7	263.8	252.3	321.5	323.3	403.7	544.6
510202	140875. 7	112151. 2	102371. 1	150360. 4	186709. 7	135760. 2	100050. 9	76089. 7	75456.2	76843. 7	78123.7	109740.2	145021. 2

Tabla 53. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	0.75	0.80	0.79	0.78	0.75	0.76	0.75	0.70	0.71	0.74	0.67	0.70	0.71
51020202	0.71	0.75	0.75	0.75	0.73	0.73	0.72	0.67	0.69	0.72	0.64	0.68	0.68
51020203	0.76	0.79	0.81	0.80	0.78	0.78	0.76	0.71	0.72	0.75	0.68	0.72	0.72
51020204	0.74	0.78	0.79	0.79	0.77	0.77	0.74	0.70	0.71	0.74	0.67	0.71	0.71
51020205	0.73	0.76	0.78	0.77	0.76	0.76	0.73	0.70	0.70	0.74	0.67	0.71	0.70
51020206	0.71	0.75	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72	0.69	0.69	0.73	0.66	0.70	0.69
51020207	0.75	0.78	0.80	0.79	0.77	0.77	0.75	0.72	0.73	0.76	0.69	0.73	0.72
51020208	0.77	0.79	0.81	0.80	0.79	0.79	0.77	0.74	0.74	0.77	0.71	0.74	0.74
51020209	0.78	0.80	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.75	0.75	0.77	0.73	0.75	0.75
51020210	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.75	0.74	0.77	0.73	0.74	0.75
51020211	0.78	0.79	0.80	0.80	0.79	0.79	0.77	0.74	0.74	0.76	0.71	0.73	0.74
51020212	0.76	0.75	0.76	0.75	0.77	0.76	0.76	0.72	0.72	0.73	0.68	0.69	0.72
51020213	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80	0.79	0.78	0.74	0.74	0.76	0.71	0.73	0.74
51020214	0.77	0.80	0.81	0.81	0.79	0.79	0.77	0.73	0.74	0.77	0.71	0.73	0.74
51020215	0.75	0.78	0.80	0.79	0.77	0.77	0.75	0.70	0.72	0.74	0.68	0.72	0.71
51020216	0.75	0.79	0.80	0.78	0.76	0.76	0.76	0.68	0.71	0.73	0.66	0.69	0.70
51020217	0.74	0.79	0.79	0.77	0.75	0.76	0.76	0.67	0.70	0.72	0.65	0.68	0.70
51020218	0.72	0.77	0.75	0.74	0.72	0.73	0.73	0.67	0.68	0.72	0.61	0.65	0.67
51020219	0.75	0.79	0.79	0.78	0.76	0.75	0.74	0.68	0.70	0.72	0.65	0.69	0.69
51020220	0.73	0.78	0.78	0.76	0.74	0.74	0.74	0.67	0.69	0.72	0.64	0.68	0.69
51020221	0.72	0.77	0.78	0.75	0.73	0.74	0.75	0.68	0.69	0.72	0.65	0.68	0.69
51020222	0.76	0.79	0.80	0.79	0.77	0.77	0.75	0.69	0.72	0.74	0.67	0.71	0.71
51020223	0.79	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.79	0.76	0.76	0.78	0.74	0.75	0.75
51020224	0.78	0.80	0.81	0.80	0.79	0.80	0.78	0.75	0.75	0.77	0.73	0.75	0.75
51020225	0.79	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.78	0.74	0.74	0.77	0.72	0.74	0.75
51020226	0.74	0.77	0.79	0.78	0.77	0.77	0.75	0.71	0.72	0.75	0.68	0.72	0.72
51020227	0.73	0.78	0.78	0.76	0.74	0.74	0.74	0.67	0.69	0.72	0.64	0.68	0.69
510202	0.76	0.79	0.80	0.79	0.77	0.77	0.76	0.71	0.73	0.75	0.68	0.71	0.72

Tabla 54. Calificativo del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.

Código	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020202	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada
51020203	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020204	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020205	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020206	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020207	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020208	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020209	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Alta	Alta
51020210	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020211	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020212	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020213	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020214	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020215	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020216	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020217	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020218	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada
51020219	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada
51020220	Moderada	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada
51020221	Moderada	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada
51020222	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020223	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta
51020224	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta
51020225	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
51020226	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
51020227	Moderada	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada
510202	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada

4.9 Índice de Variabilidad (IV).

La mayor parte del tiempo en las unidades hidrográficas, se presentan IV en categoría Baja. Respecto a la subcuenca 51020202-Sistema deltaico del río Mira entre Río Pusbi y Bocana Santo Domingo (md), se observa que, para el mes de noviembre, el Índice de Variabilidad es de categoría Media. Para el caso de la subcuenca 51020218-Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Tangrialito y Brazo El Cobao (mi), se observa que referencia índice de variabilidad Media en los meses de noviembre y diciembre, así como el estimado a nivel anual.

Tabla 55. Índice de Variabilidad (IV) mensual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
51020201	26.6	23.1	21.2	23.0	24.9	26.5	26.9	30.8	33.1	23.1	34.8	31.6
51020202	28.5	25.6	25.1	25.3	26.3	29.1	30.7	34.3	33.9	27.0	37.9	32.4
51020203	26.3	22.7	19.4	22.3	23.1	24.5	24.9	28.5	28.3	23.2	30.4	26.5
51020204	27.7	26.1	21.4	23.1	24.6	25.2	25.9	29.9	31.3	24.5	31.8	27.8
51020205	28.6	27.4	23.2	25.3	25.8	26.9	27.6	31.5	32.4	25.3	34.0	29.6
51020206	30.4	28.9	24.7	27.2	27.3	28.5	29.9	33.2	34.5	26.7	35.9	30.5
51020207	26.8	26.2	22.6	24.1	24.4	24.4	26.4	29.9	30.3	23.7	31.0	27.6
51020208	24.6	23.6	20.9	21.0	23.1	24.5	22.9	29.1	28.8	23.0	29.3	26.5
51020209	23.4	21.6	20.0	20.4	22.9	22.4	23.3	27.9	26.6	23.0	27.8	26.2
51020210	23.8	21.8	21.6	21.7	22.4	22.6	23.9	29.2	26.4	24.2	29.8	27.7
51020211	24.3	22.8	21.1	21.5	23.2	24.0	23.9	30.5	28.3	24.0	30.4	28.3
51020212	26.0	25.7	26.8	26.0	24.5	25.4	26.9	32.8	29.6	30.3	34.7	34.6
51020213	24.2	22.4	21.0	22.0	23.3	24.0	23.9	30.6	26.8	24.9	31.6	28.7
51020214	24.6	23.2	20.5	20.8	23.3	24.2	23.0	30.2	28.9	23.1	30.2	26.2
51020215	26.9	23.5	21.2	22.4	24.0	24.8	27.3	30.4	30.1	24.1	32.1	28.4
51020216	27.1	22.7	21.3	25.8	25.6	25.7	25.6	34.1	28.0	25.4	32.3	31.9
51020217	28.1	23.8	22.7	27.2	26.4	25.6	25.7	34.5	29.7	26.8	33.3	33.6
51020218	30.7	26.2	26.7	27.5	30.5	30.9	28.2	33.6	34.0	26.2	41.5	37.3
51020219	27.3	22.8	21.5	23.6	25.3	26.8	27.8	34.4	31.7	25.2	34.4	31.9
51020220	27.9	24.7	23.2	24.9	26.0	27.5	29.0	35.2	32.3	26.7	36.4	33.8
51020221	28.6	24.9	23.8	26.1	26.6	27.8	29.0	35.7	31.8	27.9	36.2	34.0
51020222	26.0	22.8	20.3	22.9	24.1	27.0	27.2	31.8	27.7	23.2	31.8	28.8
51020223	23.5	21.5	19.8	20.5	23.1	22.2	22.7	28.0	26.3	22.7	27.9	26.4
51020224	23.7	21.7	20.2	20.9	23.1	22.7	23.0	28.5	26.8	22.8	28.3	26.5
51020225	23.5	22.0	20.2	21.0	22.7	23.0	23.5	30.0	27.2	23.3	29.5	26.4
51020226	27.1	26.0	22.6	22.7	24.4	25.9	26.9	31.7	32.2	25.2	32.2	28.7
51020227	28.7	25.0	24.5	26.3	27.0	27.7	28.6	36.2	32.1	27.4	36.5	34.2
510202	25.7	21.6	21.1	21.9	25.1	25.8	26.4	30.2	30.7	24.2	33.7	30.2

4.10 Índice de Uso del Agua (IUA).

A escala anual, el índice de presión en cuestión, se encuentra entre Bajo y Muy Bajo, replicando dicha variación en la escala mensual multianual, donde se observan un grupo de categoría IUA Muy Bajo entre octubre a junio, y el restante en IUA Bajo, con excepciones en los meses de agosto para la subcuenca 51020216-Quebrada Piragua, agosto y septiembre en la subcuenca 51020217-Quebrada Tangrialito.

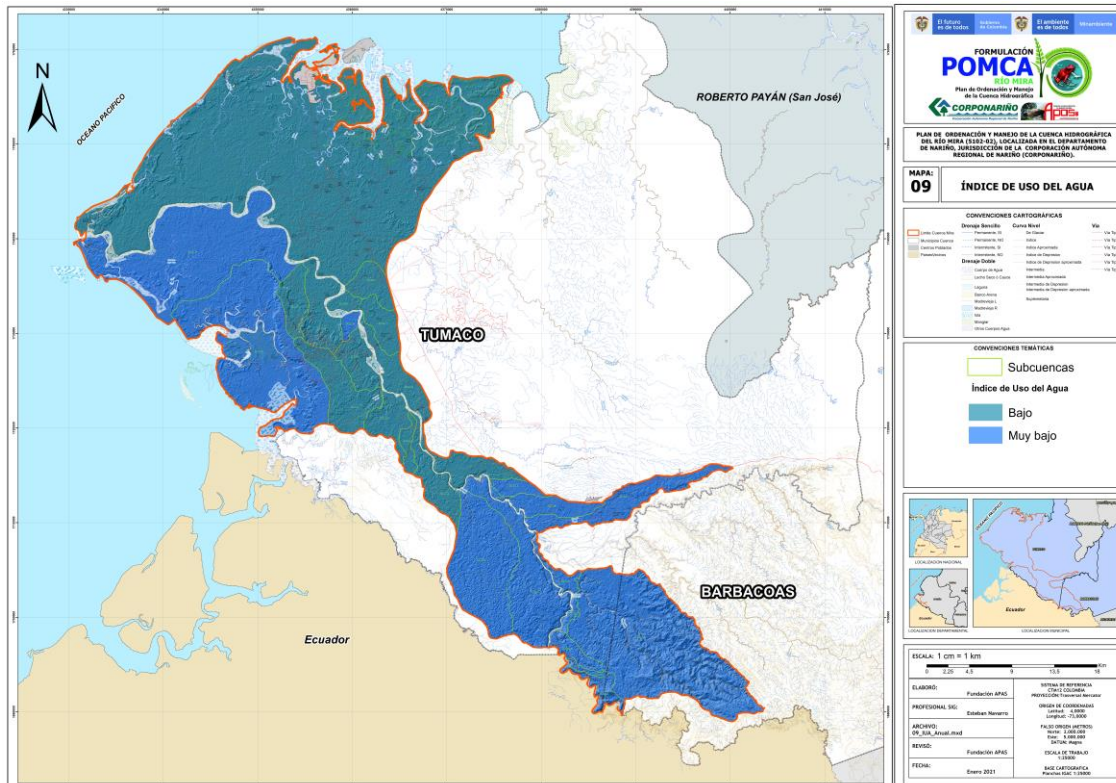


Figura 49. Distribución espacial del IUA a nivel de SCH.

Tabla 56. Índice de Uso del Agua (IUA) mensual y anual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	0.44%	0.51%	0.61%	0.39%	0.31%	0.42%	0.72%	1.57%	1.60%	0.81%	0.97%	0.71%	0.51%
51020202	0.38%	0.42%	0.48%	0.34%	0.28%	0.38%	0.71%	2.35%	2.05%	0.95%	1.08%	0.90%	0.62%
51020203	0.59%	0.66%	0.77%	0.57%	0.46%	0.59%	2.07%	6.63%	8.58%	3.01%	3.98%	2.35%	1.52%
51020204	0.41%	0.45%	0.51%	0.39%	0.32%	0.41%	1.85%	6.68%	7.13%	2.96%	4.16%	1.79%	1.27%
51020205	0.37%	0.40%	0.44%	0.36%	0.29%	0.38%	2.11%	9.56%	6.08%	3.22%	4.32%	2.28%	1.64%
51020206	0.33%	0.35%	0.40%	0.33%	0.27%	0.34%	1.67%	7.52%	6.52%	2.59%	4.08%	2.61%	1.36%
51020207	0.35%	0.37%	0.40%	0.34%	0.27%	0.36%	1.32%	3.53%	2.98%	1.21%	1.55%	1.47%	0.76%
51020208	0.37%	0.38%	0.40%	0.33%	0.28%	0.35%	0.43%	2.50%	2.12%	0.87%	0.58%	0.45%	0.54%
51020209	0.28%	0.27%	0.27%	0.21%	0.20%	0.25%	0.30%	0.87%	0.76%	0.39%	0.36%	0.28%	0.29%
51020210	0.20%	0.19%	0.18%	0.14%	0.14%	0.18%	0.20%	0.47%	0.38%	0.22%	0.24%	0.19%	0.18%
51020211	0.36%	0.35%	0.35%	0.29%	0.26%	0.32%	0.38%	2.26%	1.80%	0.75%	0.50%	0.38%	0.50%
51020212	0.44%	0.39%	0.37%	0.30%	0.31%	0.37%	0.40%	0.73%	1.14%	0.63%	0.64%	0.62%	0.43%
51020213	0.89%	0.87%	0.88%	0.71%	0.65%	0.79%	0.91%	2.39%	2.12%	1.38%	1.24%	1.10%	0.91%
51020214	0.39%	0.40%	0.42%	0.34%	0.30%	0.36%	0.44%	2.92%	2.78%	0.96%	0.60%	0.95%	0.64%
51020215	0.47%	0.51%	0.58%	0.43%	0.36%	0.46%	1.52%	6.93%	7.47%	2.27%	4.09%	1.53%	1.28%
51020216	0.47%	0.53%	1.12%	0.38%	0.31%	0.41%	3.31%	11.81%	7.74%	3.46%	8.27%	2.53%	1.82%
51020217	0.46%	0.52%	1.11%	0.37%	0.29%	0.40%	3.52%	15.03%	10.65%	5.03%	7.41%	2.64%	2.58%
51020218	1.43%	1.72%	2.17%	1.29%	1.02%	1.44%	2.87%	7.55%	9.05%	4.22%	5.25%	2.86%	2.39%
51020219	0.53%	0.61%	0.70%	0.47%	0.38%	0.50%	1.26%	5.08%	5.27%	1.24%	1.85%	1.52%	1.08%
51020220	0.41%	0.47%	0.54%	0.35%	0.29%	0.39%	1.58%	5.78%	7.14%	2.45%	3.16%	1.28%	1.23%
51020221	0.43%	0.49%	0.68%	0.35%	0.29%	0.40%	1.17%	3.40%	3.14%	1.39%	2.45%	1.08%	0.86%
51020222	0.42%	0.47%	0.54%	0.37%	0.31%	0.40%	1.91%	7.49%	8.61%	2.76%	4.20%	1.64%	1.36%
51020223	0.39%	0.37%	0.38%	0.31%	0.27%	0.36%	0.42%	1.04%	0.89%	0.55%	0.51%	0.41%	0.38%
51020224	0.39%	0.39%	0.39%	0.32%	0.28%	0.37%	0.43%	1.36%	1.14%	0.54%	0.53%	0.42%	0.41%
51020225	0.55%	0.53%	0.53%	0.44%	0.40%	0.50%	0.57%	1.82%	1.51%	0.72%	0.74%	0.58%	0.58%
51020226	0.34%	0.35%	0.38%	0.31%	0.26%	0.34%	0.95%	2.98%	2.87%	0.96%	0.70%	1.11%	0.66%
51020227	0.43%	0.49%	0.69%	0.35%	0.29%	0.40%	1.66%	5.64%	4.63%	1.85%	3.85%	1.23%	1.16%
510202	0.77%	0.87%	1.02%	0.69%	0.57%	0.75%	1.52%	3.71%	3.87%	1.98%	2.76%	1.42%	1.11%

Tabla 57. Calificativo del Índice de Uso del Agua (IUA) mensual y anual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020202	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020203	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020204	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020205	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020206	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020207	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo
51020208	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020209	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020210	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020211	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020212	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020213	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo
51020214	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020215	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020216	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020217	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020218	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020219	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020220	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020221	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo
51020222	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
51020223	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020224	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020225	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
51020226	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo
51020227	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
510202	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

4.11 Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).

El IVH a escala anual, la mayoría de unidades hidrográficas se encuentra en categoría Baja, con excepciones en las subcuencas 51020209-Directos entre Río San Juan y Quebrada La Isla (mi), 51020223-Quebrada La Isla, y 51020224-Quebrada Mogui que presentan IVH Muy Baja. Respecto a la variación del IVH mensual multianual, se observa IVH Muy Baja en la primera mitad del año, y en la segunda mitad del año IVH fluctuante entre Muy Baja hasta Media.

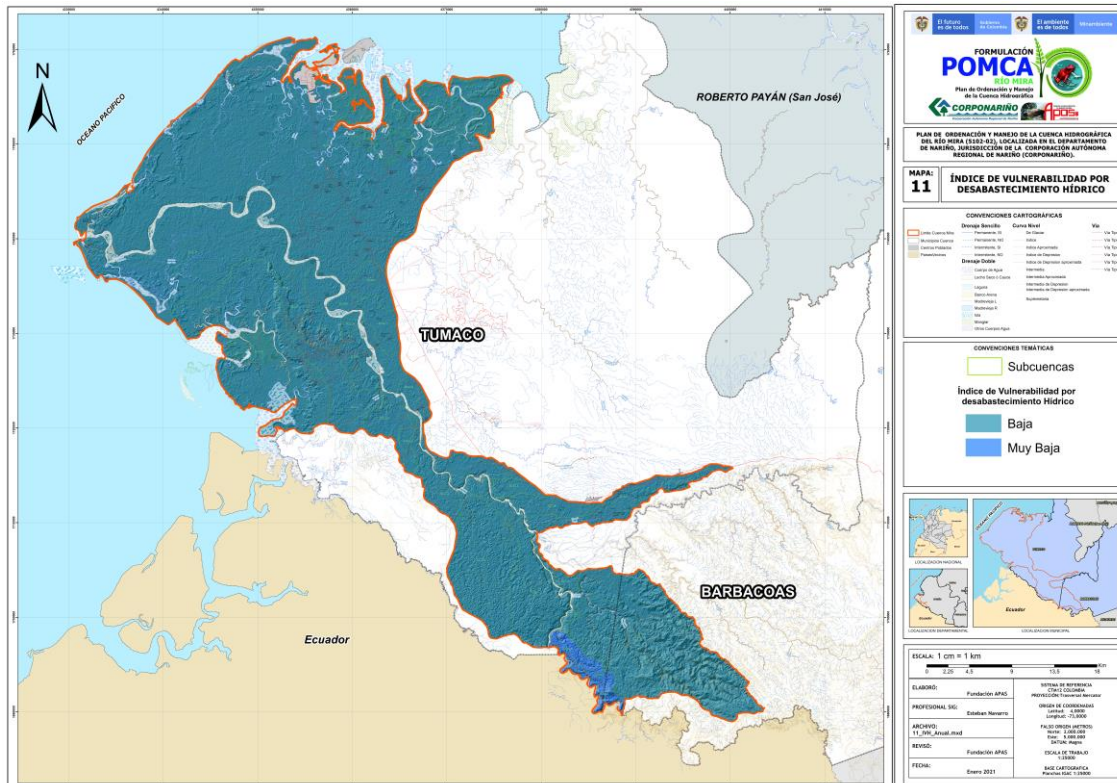


Figura 50. Distribución espacial del IVH a nivel de SCH.

Tabla 58. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) mensual y anual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
51020201	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020202	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
51020203	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020204	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020205	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020206	Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020207	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020208	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
51020209	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja
51020210	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
51020211	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
51020212	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020213	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020214	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
51020215	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020216	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020217	Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Media	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
51020218	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Baja
51020219	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
51020220	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
51020221	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
51020222	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020223	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja
51020224	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja
51020225	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
51020226	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
51020227	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
510202	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

4.12 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

El IVH estimado para la cuenca hidrográfica, corresponde a categoría IVET Media. En relación a las subcuencas, la mayoría presenta igual calificativo (17 SCH), con excepción en 9 SCH que presentan IVET Baja, así como la subcuenca 51020223-Quebrada La Isla que categoriza IVET Alta.

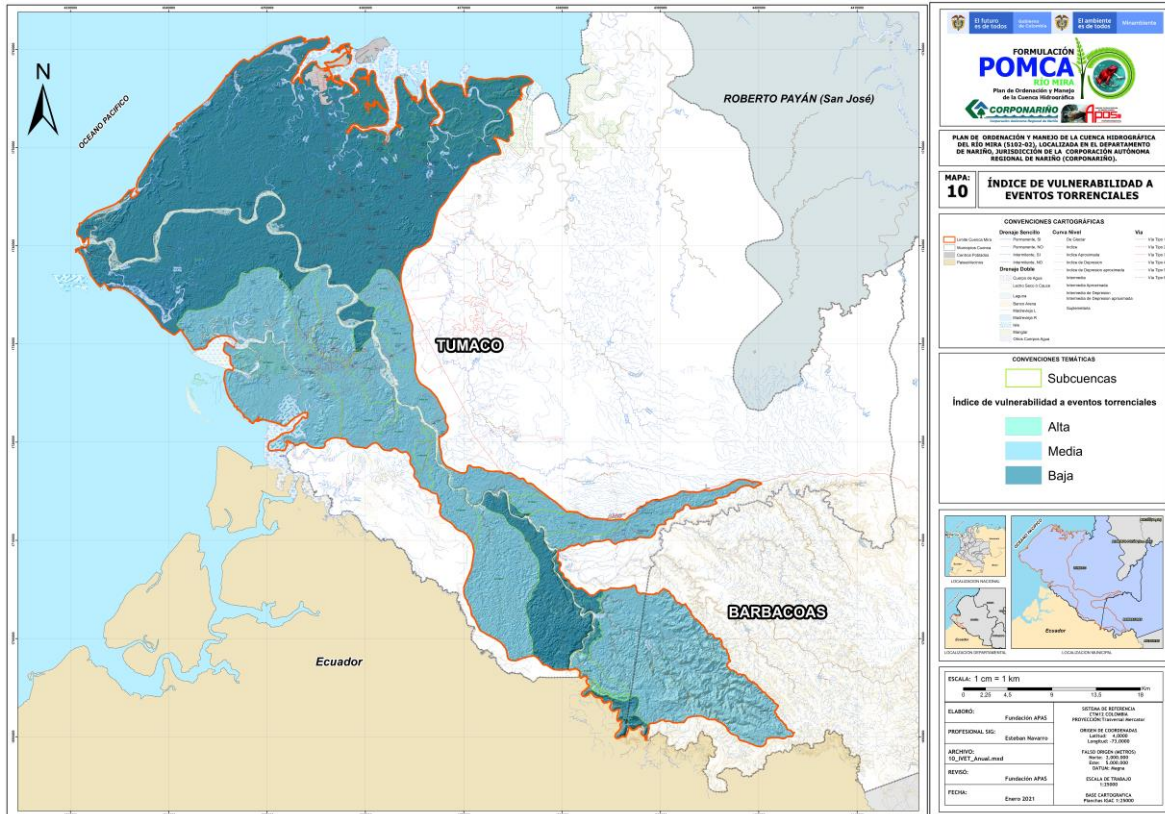


Figura 51. Distribución espacial del IVET a nivel de SCH.

Tabla 59. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) anual a nivel de CH y SCH.

SCH CH	Anual
51020201	Baja
51020202	Media
51020203	Media
51020204	Media
51020205	Media
51020206	Media
51020207	Media
51020208	Baja
51020209	Baja
51020210	Media
51020211	Baja
51020212	Media

SCH CH	Anual
51020213	Media
51020214	Media
51020215	Media
51020216	Media
51020217	Media
51020218	Baja
51020219	Media
51020220	Media
51020221	Baja
51020222	Media
51020223	Alta
51020224	Media
51020225	Baja
51020226	Baja
51020227	Baja
510202	Media

4.13 Caudales mínimos para diferentes T.

Los caudales mínimos estimados para diferentes periodos de retorno a partir de la modelación de caudales diarios para la cuenca hidrográfica y sus unidades subsiguientes, son estimados a partir de la función de densidad de probabilidad de Log Pearson Tipo III, resultando los siguientes valores de Q mín.

Tabla 60. Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno a nivel de CH y SCH.

Nombre/Tr (Años)	Q mín. Tr 2.33 años	Q mín. Tr 5 años	Q mín. Tr 10 años	Q mín. Tr 25 años	Q mín. Tr 50 años	Q mín. Tr 100 años	Q mín. Tr 200 años	Q mín. Tr 500 años
51020201	1.5152	1.1290	0.9324	0.7630	0.6716	0.5996	0.5410	0.4783
51020202	1.2282	0.9066	0.7421	0.6000	0.5234	0.4630	0.4140	0.3617
51020203	0.3943	0.2896	0.2346	0.1866	0.1605	0.1399	0.1231	0.1053
51020204	0.1916	0.1392	0.1117	0.0876	0.0746	0.0644	0.0561	0.0474
51020205	0.0676	0.0483	0.0382	0.0294	0.0247	0.0210	0.0181	0.0150
51020206	0.2188	0.1548	0.1216	0.0930	0.0777	0.0659	0.0565	0.0466
51020207	1.0375	0.7692	0.6261	0.4996	0.4303	0.3753	0.3305	0.2826
51020208	0.9924	0.7518	0.6242	0.5112	0.4489	0.3992	0.3584	0.3143
51020209	0.2008	0.1578	0.1361	0.1174	0.1073	0.0993	0.0927	0.0857
51020210	3.6075	2.8384	2.4441	2.1009	1.9136	1.7645	1.6422	1.5096
51020211	0.1370	0.1041	0.0865	0.0709	0.0623	0.0554	0.0497	0.0436
51020212	0.6471	0.4895	0.4002	0.3182	0.2722	0.2351	0.2047	0.1719
51020213	0.2849	0.2137	0.1749	0.1400	0.1207	0.1053	0.0927	0.0791
51020214	0.1185	0.0889	0.0729	0.0587	0.0508	0.0446	0.0394	0.0339
51020215	0.4880	0.3589	0.2910	0.2315	0.1991	0.1735	0.1528	0.1306
51020216	0.1443	0.1045	0.0838	0.0657	0.0560	0.0483	0.0422	0.0356

Nombre/Tr (Años)	Q mín. Tr 2.33 años	Q mín. Tr 5 años	Q mín. Tr 10 años	Q mín. Tr 25 años	Q mín. Tr 50 años	Q mín. Tr 100 años	Q mín. Tr 200 años	Q mín. Tr 500 años
51020217	0.1274	0.0927	0.0748	0.0593	0.0510	0.0445	0.0393	0.0337
51020218	3.9230	2.9273	2.4363	2.0216	1.8010	1.6284	1.4890	1.3404
51020219	0.1467	0.1082	0.0882	0.0707	0.0612	0.0537	0.0476	0.0411
51020220	0.2394	0.1757	0.1427	0.1139	0.0983	0.0861	0.0761	0.0655
51020221	0.0405	0.0294	0.0237	0.0188	0.0161	0.0141	0.0124	0.0106
51020222	0.1885	0.1382	0.1118	0.0889	0.0764	0.0666	0.0586	0.0501
51020223	0.0501	0.0391	0.0335	0.0286	0.0259	0.0237	0.0220	0.0201
51020224	0.1889	0.1467	0.1249	0.1058	0.0953	0.0870	0.0801	0.0727
51020225	0.0579	0.0442	0.0371	0.0309	0.0274	0.0247	0.0225	0.0200
51020226	0.0198	0.0147	0.0120	0.0096	0.0083	0.0073	0.0064	0.0055
51020227	0.0566	0.0410	0.0330	0.0261	0.0223	0.0194	0.0171	0.0146
510202	17.1395	12.8649	10.6409	8.6964	7.6360	6.7945	6.1071	5.3677

4.14 Caudales máximos para diferentes T.

La estimación de los caudales máximos para el área hidrográfica objeto de ordenación y sus unidades subsiguientes, es realizada con fines de conocimiento de la distribución y magnitud de los caudales, considerando las diferentes metodologías de producción, pérdidas, tránsito de caudales, representación del caudal base, entre otros. A continuación, se presenta el esquema conceptual realizado para los caudales máximos.

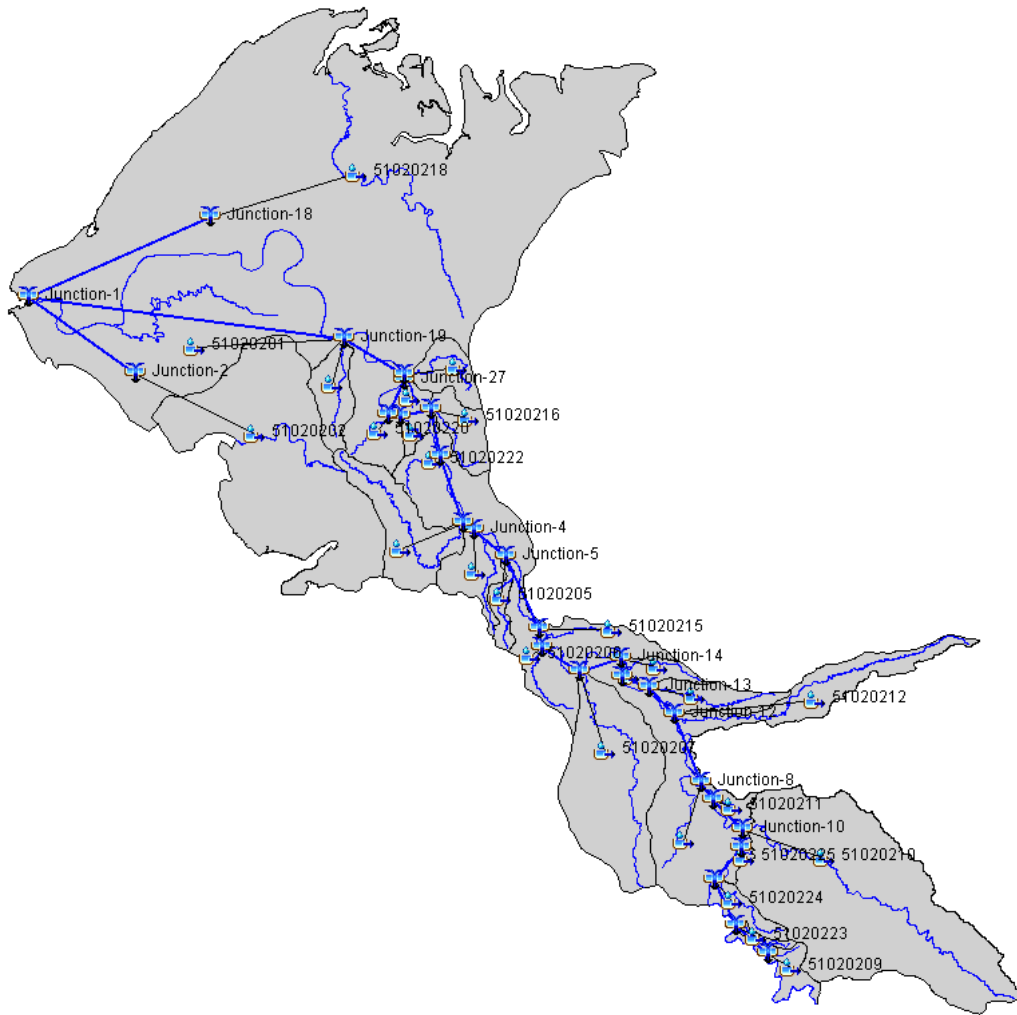


Figura 52. Esquema conceptual del modelo de eventos extremos HEC-HMS.

Se incluye la distribución porcentual de las coberturas vegetales considerando la cuenca hidrográfica y las subcuencas.

Tabla 61. Distribución porcentual de las coberturas vegetales a nivel de CH y SCH.

Código	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Áreas agrícolas heterogéneas	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	Superficies de agua	Zonas artificiaadas
510202	0.5	20.96	8.08	40.5	13		15.01	1.96
51020201		13.59	10.04	63.5		0.5	12.28	0.09
51020202		7.65	15.33	38	10.59		28.26	0.17
51020203		1.12		0.14	96.55	1.98	0.21	
51020204		14.31			74.75	7.8	2.82	0.31
51020205		17.23			76.4	4.78	0.12	1.47
51020206	0.31	59.98		25.71	8.55		5.42	0.03
51020207		76.49	0.65	22.69			0.17	

Código	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Áreas agrícolas heterogéneas	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	Superficies de agua	Zonas artificias
51020208	0.03	75.92		17.83		1.63	4.6	
51020209		33.05		53.65			13.3	
51020210		18.02	9.52	65.92		5.74	0.79	
51020211	0.66	80.96		10.67			7.71	
51020212		65.68	1.37	6.77	8.7	13.93	1.37	2.18
51020213		52.19		7.73	15.31	21.82	2.24	0.71
51020214		70.89			23.42	4.4	0.22	1.07
51020215	0.15	66.36	0.92	0.81	17.27	2.4	9.88	2.2
51020216		62.22		8.65	22.22	2.86	3.56	0.49
51020217	0.07	61.39		16.86	20.01	0.43	0.33	0.92
51020218	0.02	24.74	17.69	40.83	2.16	1.71	11.39	1.45
51020219		13.38	22.82	9.28	36.08	18.29	0.14	
51020220	0.82	36.61	20.71	17.11	18.48		6.26	
51020221		13.42	9.58	55.36	5.12		16.51	
51020222	0.26	24.17	2.13	0.19	61.49	2.66	8.38	0.71
51020223		22.75		74.57			2.68	
51020224		32.15		63.52		1.03	3.3	
51020225		49.41		9.94		31.73	8.92	
51020226		32.59			47.87		19.53	
51020227	0.5	20.96	8.08	40.5	13		15.01	1.96

4.14.1 Método de pérdidas del SCS.

El número de curva (CN) es calculado a partir de la recopilación de diferentes referencias bibliográficas, teniendo en cuenta los tipos de suelo según las estimaciones representativas de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente realizados en el proceso de modelación del balance de agua para el sector agrícola.

Tabla 62. Número de Curva CN para diferentes coberturas vegetales.

Cobertura	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Áreas agrícolas heterogéneas	Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	Superficies de agua	Zonas artificias
A	63	58	30	15	58	25	99	81
B	77	69	48	44	69	59	99	88
C	85	77	65	54	77	75	99	91
D	88	80	73	61	80	83	99	93

Tabla 63. Características físicas asociadas al suelo y número de curva CH Y SCH.

Código	Suelo	CN Total	Tc Lag Min	Tc Lag Horas
510202	B	62.09	1099.2	18.32
51020201	C	63.89	461.76	7.696
51020202	B	64.79	214.2	3.57
51020203	C	76.98	360.18	6.003

Código	Suelo	CN Total	Tc Lag Min	Tc Lag Horas
51020204	C	77.51	210.6	3.51
51020205	C	77.14	195.72	3.262
51020206	C	72.31	120.9	2.015
51020207	C	71.74	277.02	4.617
51020208	C	73.88	150.6	2.51
51020209	C	67.59	37.26	0.621
51020210	C	60.75	307.5	5.125
51020211	C	76.29	30.42	0.507
51020212	C	75.61	357.54	5.959
51020213	C	75.38	178.56	2.976
51020214	C	77.11	138	2.3
51020215	B	71.76	122.34	2.039
51020216	B	67.71	234	3.9
51020217	B	65.02	228.3	3.805
51020218	B	58.6	700.68	11.678
51020219	C	71.79	271.5	4.525
51020220	B	62.32	136.68	2.278
51020221	B	58.1	82.32	1.372
51020222	B	70.91	106.2	1.77
51020223	C	60.44	67.62	1.127
51020224	C	63.09	118.2	1.97
51020225	C	76.04	19.86	0.331
51020226	B	74.86	14.4	0.24
51020227	B	62.09	84.6	1.41

Tabla 64. Tiempos de concentración e intervalos de hietograma a nivel de CH y SCH.

Código	Tc (Horas)	Tc (Minutos)	Núm. Intervalos de 10 minutos
510202	30.53	1832	184.0
51020201	12.83	769.6	77.0
51020202	5.95	357	36.0
51020203	10	600.3	61.0
51020204	5.85	351	36.0
51020205	5.44	326.2	33.0
51020206	3.36	201.5	21.0
51020207	7.7	461.7	47.0
51020208	4.18	251	26.0
51020209	1.03	62.1	7.0
51020210	8.54	512.5	52.0
51020211	0.85	50.7	6.0
51020212	9.93	595.9	60.0
51020213	4.96	297.6	30.0
51020214	3.83	230	23.0
51020215	3.4	203.9	21.0
51020216	6.5	390	39.0

Código	Tc (Horas)	Tc (Minutos)	Núm. Intervalos de 10 minutos
51020217	6.34	380.5	39.0
51020218	19.46	1167.8	117.0
51020219	7.54	452.5	46.0
51020220	3.8	227.8	23.0
51020221	2.29	137.2	14.0
51020222	2.95	177	18.0
51020223	1.88	112.7	12.0
51020224	3.28	197	20.0
51020225	0.55	33.1	4.0
51020226	0.4	24	3.0
51020227	2.35	141	15.0

4.14.2 Modelo de tránsito Muskingum.

Tabla 65. Variables K y X asignadas al modelo de tránsito Muskingum.

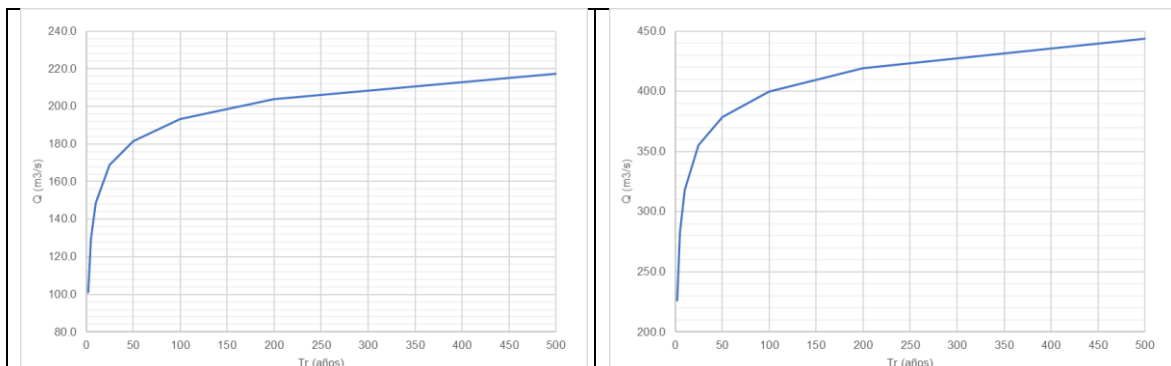
Río	Longitud (m)	Velocidad media de la avenida (m/s)	Horas (k Muskingum)	X Muskingum
1	5385.9	2.50	0.5984	0.05
2	5754.4	2.50	0.6394	0.05
3	3377.6	2.50	0.3753	0.05
4	1667.8	2.50	0.1853	0.4
5	4334.8	2.50	0.4816	0.05
6	1603.5	2.50	0.1782	0.4
7	6698.6	2.50	0.7443	0.05
8	3635.7	2.50	0.4040	0.05
9	2502.7	2.50	0.2781	0.05
10	1333.8	2.50	0.1482	0.4
11	4556.4	2.50	0.5063	0.05
12	4245.4	2.50	0.4717	0.05
13	1564.4	2.50	0.1738	0.4
14	6624.5	2.50	0.7361	0.05
15	3463.8	2.50	0.3849	0.05
16	629.6	2.50	0.1000	0.05
17	5795.7	2.50	0.6440	0.05
18	3567.9	2.50	0.3964	0.05
19	2385.9	2.50	0.2651	0.3
20	748.1	2.50	0.1000	0.05
21	4109.6	2.50	0.4566	0.05
22	100.0	2.50	0.1000	0.05
23	7292.0	2.50	0.8102	0.05
24	13293.2	2.50	1.4770	0.05
25	36579.5	2.50	4.0644	0.01
26	41467.2	2.50	4.6075	0.01

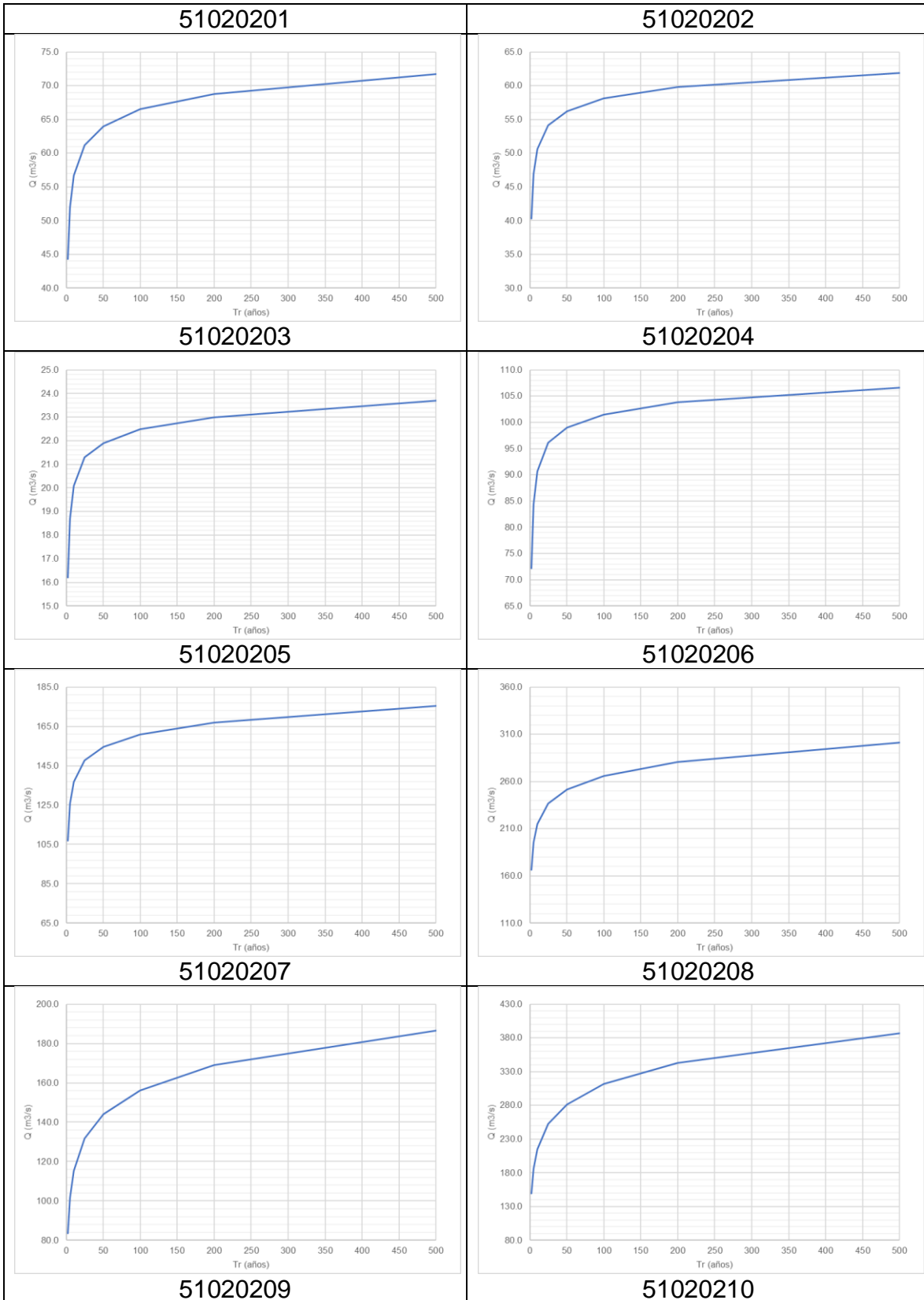
4.14.3 Caudal base.

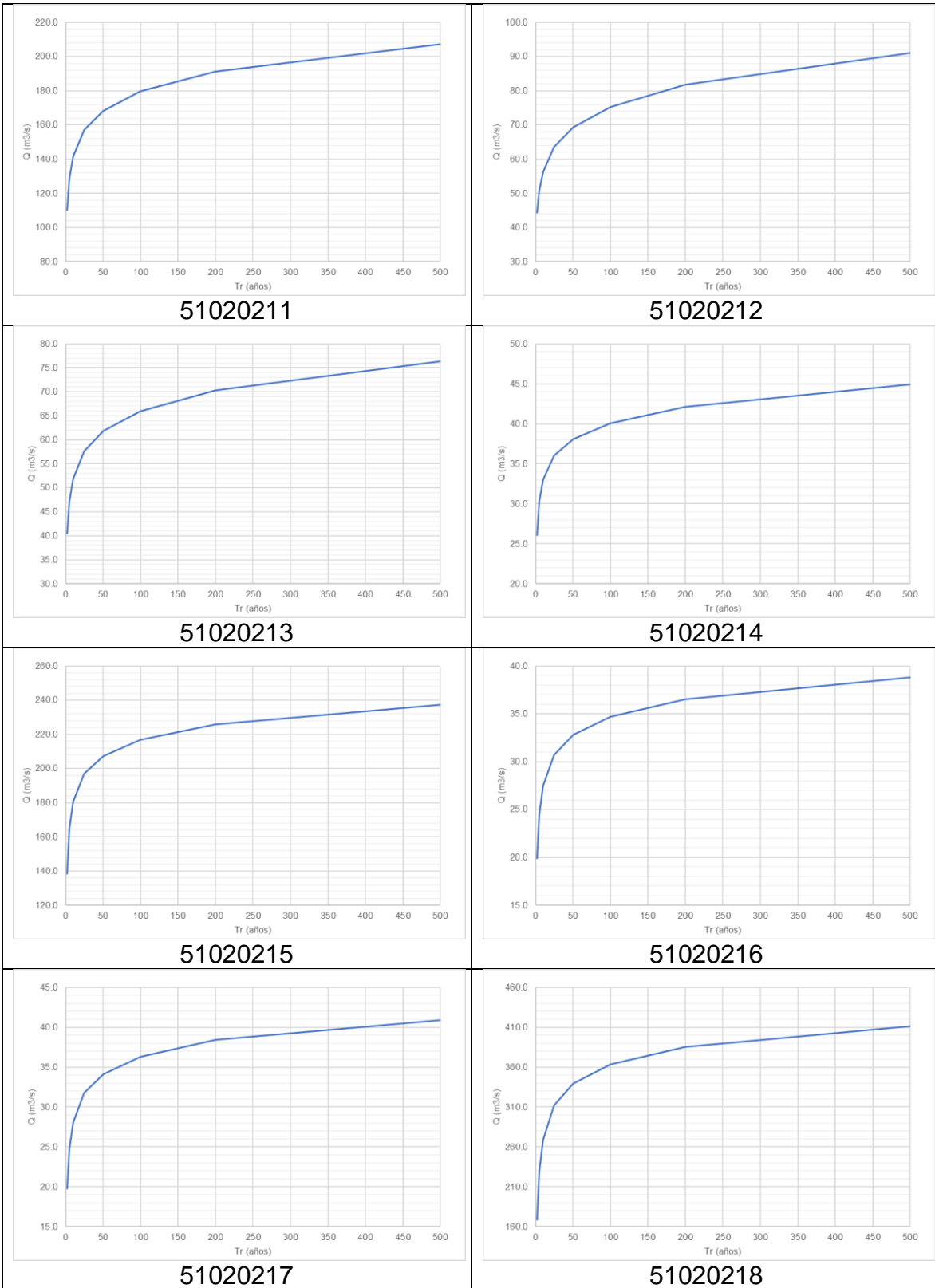
Tabla 66. Caudal base inicial y constante de recesión estimada a nivel de CH y SCH.

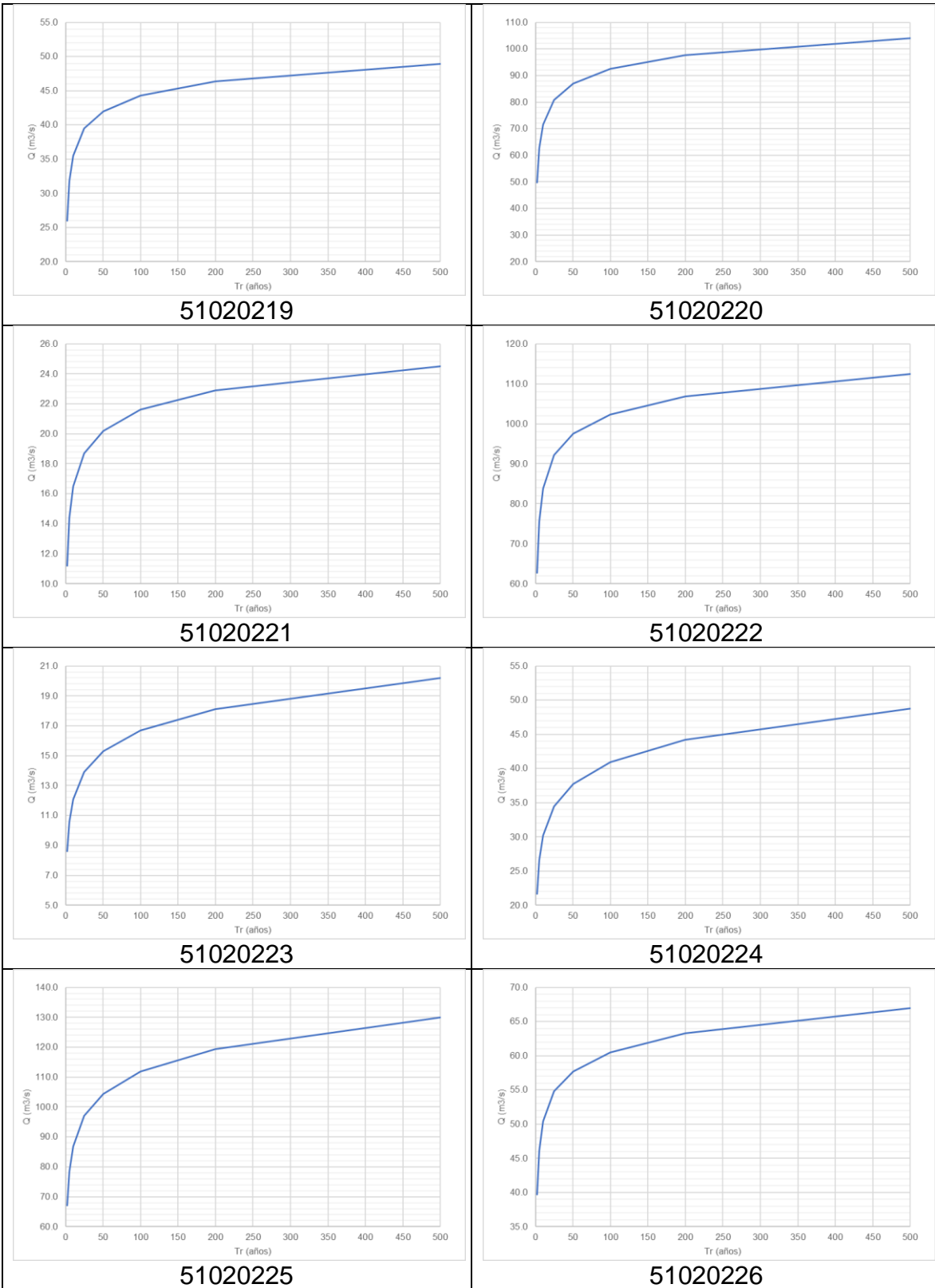
Código	Q Base Inicial	Constante de Recesión	Inicio Q Base (Porcentaje de Q Max)
51020201	0.61	0.0569	0.2
51020202	0.55	0.0706	0.2
51020203	0.63	0.0674	0.2
51020204	0.61	0.0668	0.2
51020205	0.59	0.1865	0.2
51020206	0.58	0.0691	0.2
51020207	0.62	0.0626	0.2
51020208	0.63	0.0640	0.2
51020209	0.62	0.0656	0.2
51020210	0.61	0.0590	0.2
51020211	0.61	0.0734	0.2
51020212	0.56	0.0763	0.2
51020213	0.61	0.0694	0.2
51020214	0.63	0.1073	0.2
51020215	0.61	0.0724	0.2
51020216	0.62	0.0729	0.2
51020217	0.62	0.0796	0.2
51020218	0.57	0.0603	0.2
51020219	0.59	0.1223	0.2
51020220	0.58	0.0822	0.2
51020221	0.59	0.0783	0.2
51020222	0.61	0.0664	0.2
51020223	0.63	0.0783	0.2
51020224	0.63	0.0710	0.2
51020225	0.61	0.0783	0.2
51020226	0.55	0.0783	0.2
51020227	0.58	0.0783	0.2

Los resultados de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno a nivel de CH y SCH, son presentados en las siguientes figuras y tablas.









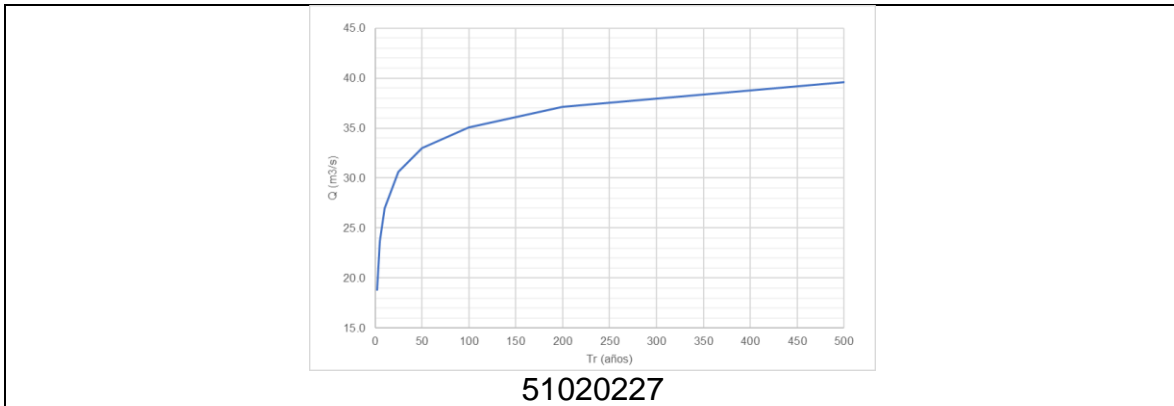


Figura 53 Caudal máximo para diferentes periodos de retorno SCH (m3/s).

Tabla 67. Caudal máximo para diferentes periodos de retorno SCH (m3/s).

Elemento / Tr	Q Máx. (m3/s) Tr 2.33 años	Q Máx. (m3/s) Tr 5 años	Q Máx. (m3/s) Tr 10 años	Q Máx. (m3/s) Tr 25 años	Q Máx. (m3/s) Tr 50 años	Q Máx. (m3/s) Tr 100 años	Q Máx. (m3/s) Tr 200 años	Q Máx. (m3/s) Tr 500 años
510202	778.0	956.3	1077.3	1210.4	1300.4	1385.7	1468.6	1577.9
51020201	101.1	129.6	148.7	168.8	181.7	193.3	203.9	217.2
51020202	226.4	282.6	318.2	355.0	378.5	399.7	419.1	443.8
51020203	44.3	52.0	56.7	61.2	64.0	66.5	68.8	71.7
51020204	40.3	46.9	50.6	54.1	56.2	58.1	59.8	61.9
51020205	16.2	18.7	20.1	21.3	21.9	22.5	23.0	23.7
51020206	72.2	84.4	90.7	96.1	99.0	101.5	103.8	106.6
51020207	107.0	125.9	136.8	147.7	154.5	160.8	167.0	175.3
51020208	166.3	195.5	214.9	236.5	251.5	266.1	280.9	301.1
51020209	83.4	101.7	115.4	131.9	144.1	156.3	169.0	186.5
51020210	149.2	185.9	215.3	252.8	281.6	311.5	342.7	387.0
51020211	110.2	128.5	141.6	157.1	168.3	179.6	191.1	207.1
51020212	44.4	50.8	56.2	63.5	69.3	75.3	81.8	91.0
51020213	40.5	47.1	51.9	57.6	61.8	66.0	70.3	76.4
51020214	26.1	30.3	33.0	36.0	38.1	40.1	42.1	44.9
51020215	138.5	164.8	180.8	197.1	207.4	216.9	225.7	237.3
51020216	19.9	24.4	27.5	30.7	32.8	34.7	36.5	38.8
51020217	19.8	24.7	28.1	31.8	34.1	36.3	38.4	40.9
51020218	169.1	228.3	268.8	312.2	339.5	363.7	385.7	411.5
51020219	26.0	31.8	35.5	39.5	42.0	44.3	46.4	48.9
51020220	49.7	62.8	71.6	80.9	87.0	92.5	97.6	104.0
51020221	11.2	14.4	16.5	18.7	20.2	21.6	22.9	24.5
51020222	62.7	75.6	83.8	92.2	97.5	102.3	106.8	112.5
51020223	8.6	10.6	12.1	13.9	15.3	16.7	18.1	20.2
51020224	21.7	26.6	30.2	34.5	37.7	40.9	44.2	48.8
51020225	67.1	78.4	86.9	97.1	104.4	111.8	119.4	130.0
51020226	39.7	46.1	50.4	54.8	57.7	60.5	63.3	67.0
51020227	18.8	23.7	27.0	30.6	33.0	35.1	37.1	39.6

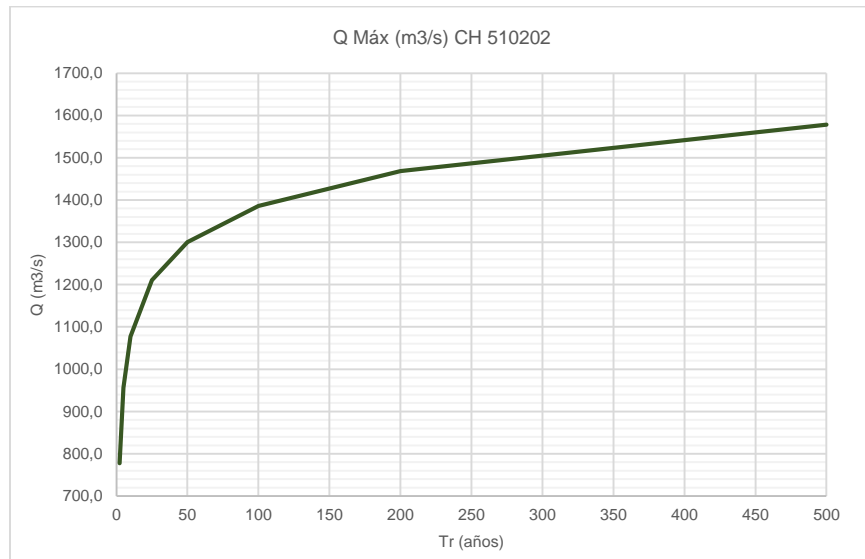
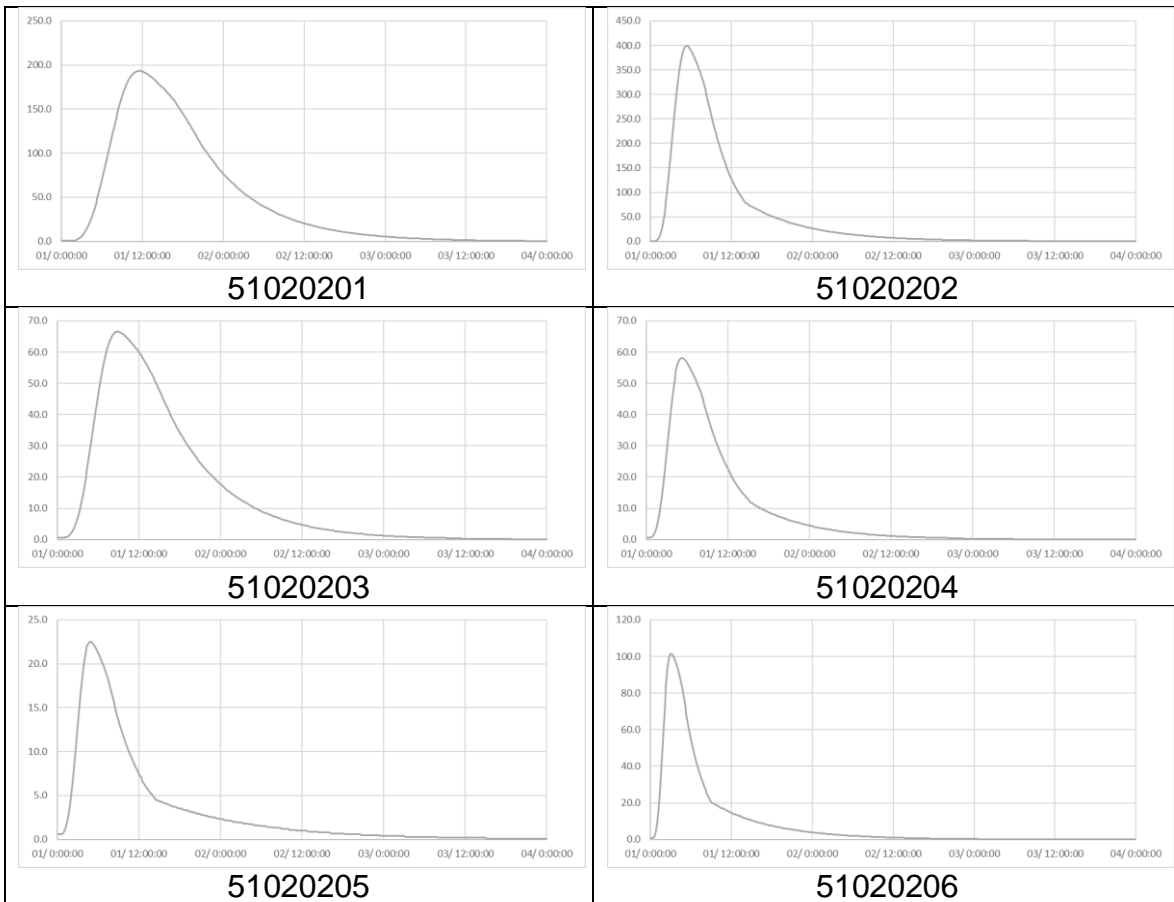
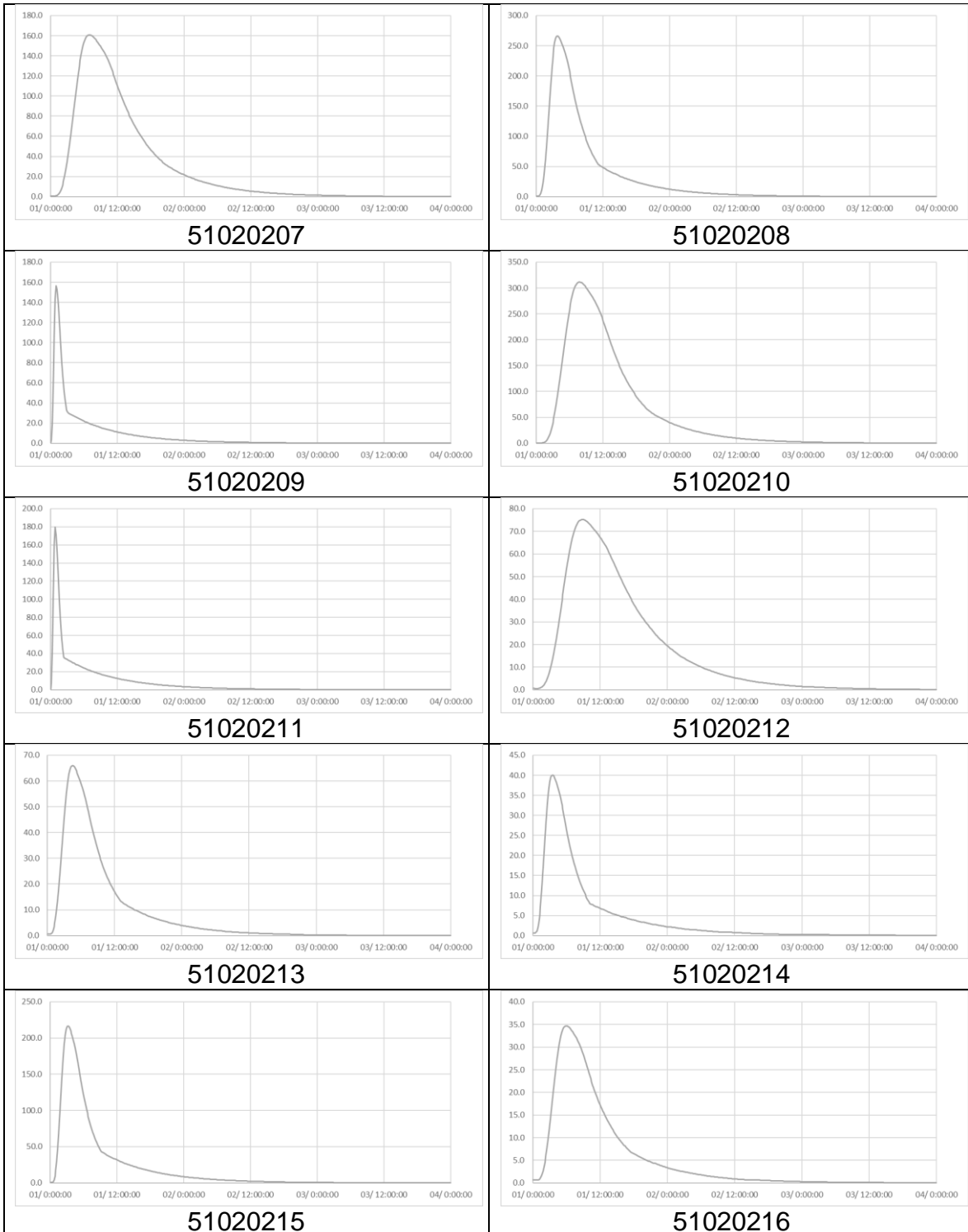
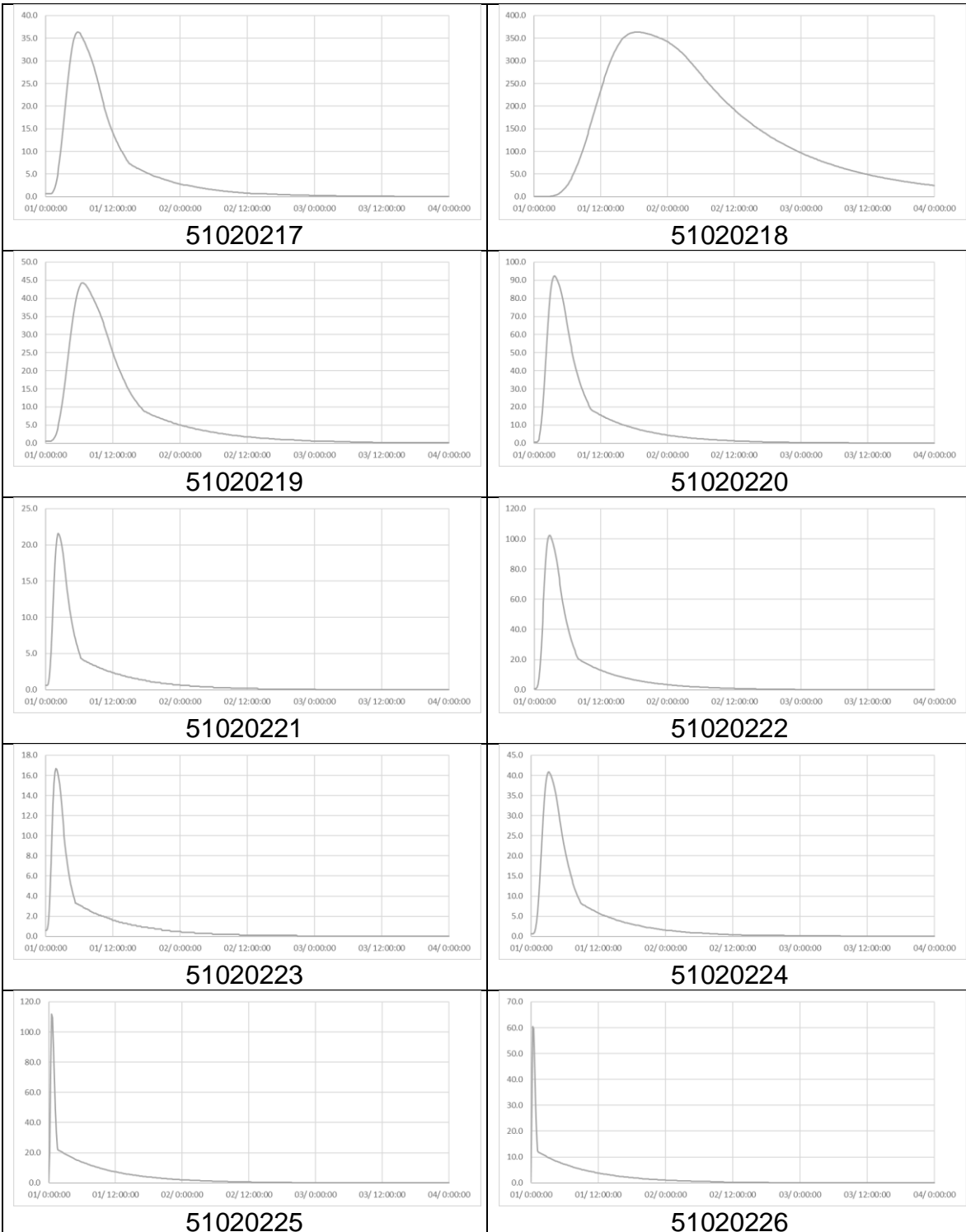


Figura 54. Caudal máximo para diferentes periodos de retorno CH (m3/s).







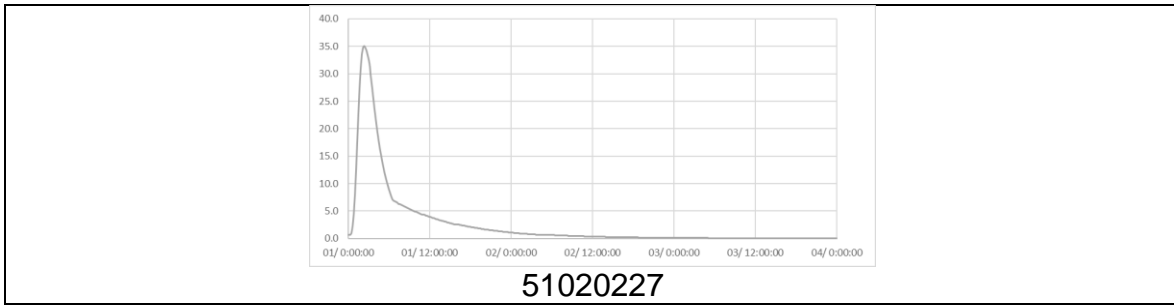


Figura 55. Hidrograma de máximos para un periodo de retorno de 100 años SCH (m³/s).

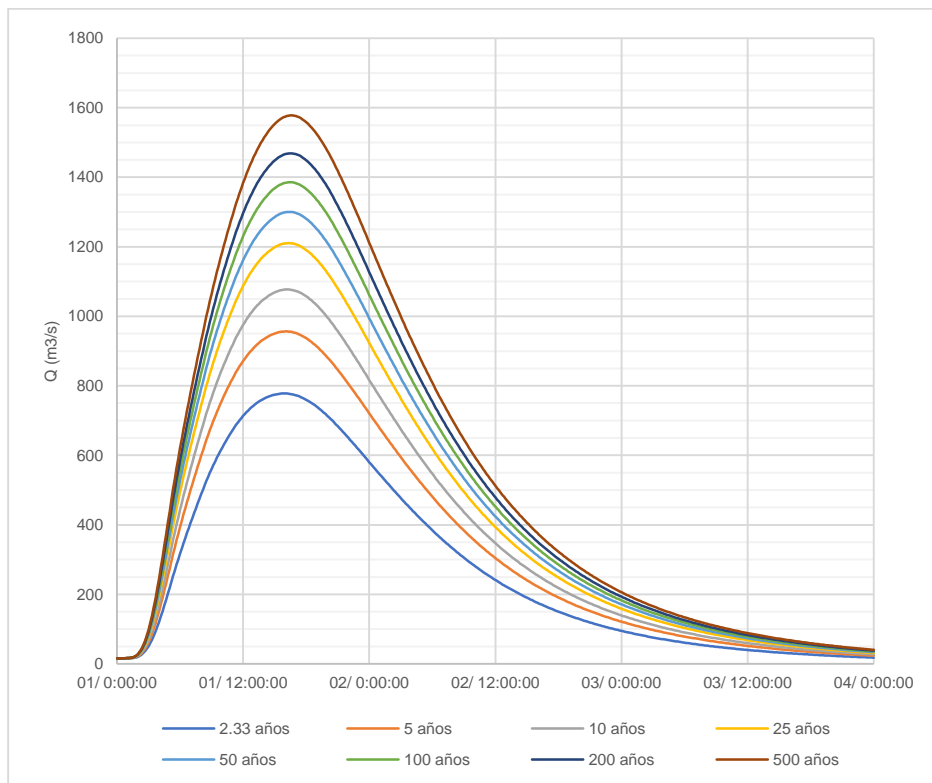


Figura 56. Hidrograma de máximos para diferentes periodos de retorno CH (m³/s).

5 BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, F. J. (2018). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Budyko, M. (1974). *Climate and Life*. Academic Press. 508. New York: Academic Press.
- Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. (2009). *Guía metodológica – Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP*.
- Chow, V. T. (1993). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900.
- Duque Y., L. F., & Vázquez Z., R. F. (Marzo de 2015). Modelación de la oferta hídrica en una cuenca de montaña tropical en función de su cobertura del suelo. *Aqua-LAC*, VII(1), 63-76.
- Escobar, M., & Lozano Sandoval, G. (2014). Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia. *SEI and USAID fact sheet*.
- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., & Forn, L. (Septiembre de 2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y El Alto, Bolivia. *Aqua-LAC*, V(2), 23-34.
- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., & Forni, L. (Septiembre de 2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y El Alto, Bolivia. *Aqua-LAC*, 5(2), 23-34.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 56. Roma, Italia.
- Flores-López, F., Galaiti, S. E., Escobar, M., & Purkey, D. (2016). Modeling of Andean Páramo ecosystems' hydrological response to environmental change. *Water*, 8(12), 94.
- Ibáñez Ascencio, S. M. (2004). *Morfología de las cuencas hidrográficas*.
- IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2018). Estudio Nacional del Agua. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2018). Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica. 59. Bogotá, D.C.
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York: Mc Graw Hill.
- Maribel Rivas, A. C. (2009). Determinación de niveles de potencialidad. *Revista Forestal Venezolana*, 36-38.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá.
- Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio. (8 de junio de 2017). Resolución 0330 de 2017. *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá D.C., Colombia.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Montealegre Bocanegra, J. E. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Bogotá: Subdirección de Meteorología, IDEAM.
- Morton, F. I. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology: I the problem. *Journal of Hydrology*, 66, 1-76.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (April de 1970). River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part I-A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, Volume 10, 282-290.
- Ochoa, T. (2011). *Hidráulica de Ríos y Procesos Morfológicos*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Olsson, T., Matti, K., Santos, D., Seitola, T., Tuomenvirta, H., Haavisto, R., & Lavado-Casimiro, W. (2017). Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay-Huaral Basin to support river discharge modeling with WEAP. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 26-42.
- OMM. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas* (Primera ed.). Ginebra, Suiza.
- OMM. (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas* (Sexta ed., Vol. II). Ginebra, Suiza.
- OMM. (2018). *Guía de Prácticas Climatológicas*. Ginebra, Suiza.
- Oudin, L., Hervieu, F., Claude, M., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential ETP input for a lumped rainfall-runoff model Part II. Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*(303), 290-306.
- Pearson, K. (June de 1895). Notes on regression and inheritance in the case of two parents. 58, 240-242. Proceedings of the Royal Society of Londo.
- PSMV. (2014). *Plan de saneamiento y manejo de vertimientos del casco urbano del municipio de Tumaco*.
- PUEAA. (2019). *Programa de uso eficiente y ahorro del agua del municipio de Tumaco*. Obtenido de Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Colombia S.A. E.S.P.
- Purkey, D. (Agosto de 2015). SEI-US Water Program. Water Evaluation And Planning System. Suecia.
- Stedinger, J., Vogel, R., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency analysis of extreme events. En D. Maidment, *Handbook of Hydrology*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Stockholm Environment Institute. (2015). User Guide Water Evaluation And Planning System. 392. USA. Obtenido de [Sitio Web: WEAP]: <http://www.weap21.org/>
- Vargas M., R., & Díaz-Granados, M. (1998). *Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*. Bogotá.
- Veléz Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*(165), 58-71.