

# Valoración biofísica y económica del servicio ecosistémico de provisión de agua para el sector cafetero frente a condiciones de variabilidad climática en la Cuenca del Río Mapa – Parque Nacional Natural Tatamá

*Contrato de Servicios No. 117 de 2017. Objeto: Prestar servicios profesionales para la implementación del Lineamiento institucional de Clima, cambio climático y la línea institucional de Servicios Ecosistémicos – con énfasis en los servicios hídricos de las áreas protegidas, como apoyo a la gestión del Grupo de Planeación y Manejo de la Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas”.*

*Contrato de Servicios No. 056 de 2017. Objeto: Prestación de servicios profesionales y de apoyo a la gestión para adelantar la Valoración de Servicios Ecosistémicos en cuencas priorizadas de las Áreas Protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales, como soporte a los procesos de negociación y reconocimiento de la importancia de los beneficios que brindan*



MINAMBIENTE



**VALORACIÓN BIOFÍSICA Y ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE  
AGUA PARA EL SECTOR CAFETERO FRENTE A CONDICIONES DE VARIABILIDAD  
CLIMÁTICA EN LA CUENCA DEL RÍO MAPA – PARQUE NACIONAL NATURAL TATAMÁ**

**PRESENTADO POR:**

**INÉS CONCEPCIÓN SÁNCHEZ RODRÍGUEZ: GRUPO DE PLANEACIÓN Y MANEJO  
SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS.**

**MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA: SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS  
AMBIENTALES**

**PARQUE NACIONAL NATURAL TATAMÁ  
DIRECCIÓN TERRITORIAL ANDES OCCIDENTALES  
PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA  
BOGOTÁ D.C.**

**2017**

## CONTENIDO.

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE RH QUE PROVEE EL AP: RESULTADO DE LA METODOLOGÍA DE MAPEO E IDENTIFICACIÓN DE SE PARA TODO EL AP. ....	9
3	PROBLEMÁTICA QUE MOTIVA LA VALORACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	12
3.1	Descripción de la problemática.....	12
3.2	Cuerpo hídrico sujeto de la valoración.....	12
4	MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	14
4.1	Estructura de la modelación.....	14
4.1.1	Marco metodológico de la modelación.....	16
4.2	Resultados.....	19
5	DEMANDA HÍDRICA.....	26
5.1	Clasificación de las subcuencas.....	26
5.2	Marco metodológico para la estimación de la demanda hídrica.....	28
5.2.1	Demanda hídrica para uso doméstico.....	28
5.2.2	Demanda para cultivos de café.....	29
5.3	Resultados de la estimación de la demanda hídrica.....	33
5.3.1	Demanda hídrica consumo doméstico.....	33
5.3.2	Demanda de agua para el beneficio del café.....	34
5.3.3	Requerimientos de agua para el cultivo de café.....	36
6	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	38
6.1	Información utilizada y metodología.....	39
6.2	Resultados de la valoración económica:.....	40
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
8	BIBLIOGRAFÍA.....	45
9	ANEXOS.....	47
	Anexo 1. Distribución intra - anual de la temperatura mínima.....	47
	Anexo 2. Distribución intra - anual de la temperatura máxima.....	48
	Anexo 3. Caudal para cada punto de gestión.....	49
	Anexo 4. Precipitación efectiva en mm de lluvia para cada punto de gestión.....	50
	Anexo 5. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año medio.....	51

Anexo 6. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de noviembre a junio en año medio. ....	56
Anexo 7. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	60
Anexo 8. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de noviembre a junio en año seco. ....	65
Anexo 9. Resultados déficit hídrico por subcuenca con cultivos de café para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	70
Anexo 10. Resultados déficit hídrico por subcuenca con cultivos de café para el ciclo de floración de noviembre a junio en año seco. ....	73

### Índice de tablas.

Tabla 4-1. Esquema general de modelación.....	18
Tabla 4-2. Años de fases El Niño y La Niña, durante 1981-2011 .....	22
Tabla 4-3. Años seleccionados para generar los escenarios de gestión en la cuenca alta. ....	22
Tabla 4-4. Años seleccionados para generar los escenarios de gestión en la cuenca baja. ....	23
Tabla 5-1. Insumos para la estimación de la demanda hídrica para uso doméstico.....	28
Tabla 5-2. Necesidades de información para el módulo de cultivo de CROPWAT.....	31
Tabla 5-3. Necesidades de información para el módulo de suelo de CROPWAT. ....	32
Tabla 5-4. Área de las subcuencas de interés para la estimación de la demanda hídrica.....	35
Tabla 5-5. Rendimientos de la producción de café conforme a los porcentajes de participación de la cosecha anual.....	35
Tabla 5-6. Demanda hídrica para el beneficio de café de acuerdo al tipo de cosecha. ....	36
Tabla 6-1. Información necesaria para la valoración económica. ....	39
Tabla 6-2. Valoración económica de las pérdidas asociadas con la disminución de la producción de café por sequía en las subcuencas que cuentan con áreas de dicho cultivo.....	41
Tabla 9-1. Déficit hídrico para la subcuenca 0 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.....	70
Tabla 9-2. Déficit hídrico para la subcuenca 1 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.....	70
Tabla 9-3. Déficit hídrico para la subcuenca 2 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.....	70
Tabla 9-4. Déficit hídrico para la subcuenca 3 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.....	71
Tabla 9-5. Déficit hídrico para la subcuenca 4 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	71
Tabla 9-6. Déficit hídrico para la subcuenca 6 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.....	71

Tabla 9-7. Déficit hídrico para la subcuenca 7 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	72
Tabla 9-8. Déficit hídrico para la subcuenca 8 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	72
Tabla 9-9. Déficit hídrico para la subcuenca 9 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	72
Tabla 9-10. Déficit hídrico para la subcuenca 0 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	73
Tabla 9-11. Déficit hídrico para la subcuenca 1 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	73
Tabla 9-12. Déficit hídrico para la subcuenca 2 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	73
Tabla 9-13. Déficit hídrico para la subcuenca 3 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	74
Tabla 9-14. Déficit hídrico para la subcuenca 4 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	74
Tabla 9-15. Déficit hídrico para la subcuenca 6 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	74
Tabla 9-16. Déficit hídrico para la subcuenca 7 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	75
Tabla 9-17. Déficit hídrico para la subcuenca 8 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	75
Tabla 9-18. Déficit hídrico para la subcuenca 9 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco. ....	75

## Índice de figuras.

Figura 2-1. Modelo conceptual de provisión de Servicios Ecosistémicos asociados al Recurso Hídrico para el PNN Tatamá. ....	11
Figura 3-1. a. Ubicación hidrográfica de la cuenca del Rio Mapa, b. Distribución de estaciones meteorológicas e hidrológicas, acorde a la red de observación del IDEAM. ....	13
Figura 3-2.: Cuadro PFSBiBe para el caso de estudio. ....	13
Figura 4-1. Cuenca del Rio Mapa: a. Puntos de control, estación hidrológica del IDEAM “26147130-BRETANA_LA”, ....	14
Figura 4-2. Puntos de Gestión (Enumerados acorde a la Fig. 4.3) ....	15
Figura 4-3. Esquema de modelación para la Cuenca del Rio Mapa: Se presenta el área desagregada de cada microcuenca, el número de curva inicial asignado y los puntos de Gestión (Enumerados acorde a la Fig. 4.2).....	15
Figura 4-4. Marco metodológico seguido, para obtener un modelo calibrado y validado. ....	17
Figura 4-5. Marco metodológico seguido, para obtener resultados bajo distintos escenarios de cobertura y clima. ....	17

Figura 4-6. Cuenca del Rio Mapa: a. Mapa de suelos (Basado en estudio de suelos de Risaralda), b. Mapa de % de variación de la pendiente (Basado en Modelo Digital de Elevación SRTM 30 mts), c. Mapa de coberturas (Basado en Corine Land Cover) .....	19
Figura 4-7. Distribución de la precipitación media anual del Rio Mapa. ....	20
Figura 4-8. Distribución intra-anual de la temperatura mínima del Rio Mapa. ....	21
Figura 4-9. Distribución intra-anual de la temperatura máxima del Rio Mapa.....	21
Figura 4-10. Precipitación total anual por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña. ....	23
Figura 4-11. (a) Resultados de caudal en el periodo de calibración (1981-1996), (b) Volumen de cada calibración, (c) Variación promedio en el grupo de calibración, (c) Error mensual de calibración (en m <sup>3</sup> /s).....	25
Figura 4-12. (a) Resultados de Caudal en m <sup>3</sup> /s en el periodo de validación (1997 - 2011) y error respecto al promedio multianual observado (b). ....	25
Figura 5-1. Subcuencas y puntos de gestión considerados para el cálculo de la demanda hídrica. .	27
Figura 5-2. Balance de agua en el suelo. Fuente: (IDEAM, 2015), adaptado de (FAO, 2006). ....	29
Figura 5-3. Marco metodológico para la estimación de los requerimientos de agua del cultivo de café a partir de CROPWAT. ....	30
Figura 5-4. Demanda hídrica para uso doméstico. ....	33
Figura 5-5. Elementos que se consideraron para la estimación de la demanda hídrica para el beneficio del café.....	34
Figura 5-6. Requerimientos de agua para el cultivo de café en escenario de año medio. ....	36
Figura 5-7. Requerimientos de agua para el cultivo de café en escenario de año seco .....	37
Figura 6-1. Resultados consolidados de la valoración económica por subcuenca. ....	42
Figura 9-1. Distribución intra - anual de la temperatura mínima: por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña. ....	47
Figura 9-2.: Distribución intra anual de la temperatura máxima: por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña. ....	48
Figura 9-3. Resultados de Caudal en m <sup>3</sup> /s para cada punto de gestión, en las fases: El Niño (a) y La Niña (b), promedio mensual multianual. ....	49
Figura 9-4. Resultados de Precipitación efectiva en mm de lluvia para cada punto de gestión, en las fases: El Niño (a) y La Niña (b). ....	50
Figura 9-5. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. ....	51
Figura 9-6. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. ....	51
Figura 9-7. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. ....	52
Figura 9-8. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. ....	52
Figura 9-9. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. ....	53
Figura 9-10. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. ....	53
Figura 9-11. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. ....	54
Figura 9-12. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. ....	54
Figura 9-13. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. ....	55
Figura 9-14 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. ....	55
Figura 9-15 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. ....	56
Figura 9-16 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. ....	56

Figura 9-17. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. ....	57
Figura 9-18. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. ....	57
Figura 9-19. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. ....	57
Figura 9-20. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. ....	58
Figura 9-21. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. ....	58
Figura 9-22. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. ....	58
Figura 9-23. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. ....	59
Figura 9-24. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. ....	59
Figura 9-25. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. ....	60
Figura 9-26. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. ....	60
Figura 9-27. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. ....	61
Figura 9-28. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. ....	61
Figura 9-29. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. ....	62
Figura 9-30. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. ....	62
Figura 9-31. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. ....	63
Figura 9-32. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. ....	63
Figura 9-33. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. ....	64
Figura 9-34. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. ....	64
Figura 9-35. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. ....	65
Figura 9-36. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. ....	65
Figura 9-37. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. ....	66
Figura 9-38. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. ....	66
Figura 9-39. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. ....	67
Figura 9-40. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. ....	67
Figura 9-41. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. ....	68
Figura 9-42. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. ....	68
Figura 9-43. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. ....	69
Figura 9-44. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. ....	69

## 1 INTRODUCCIÓN.

Con el objetivo de desarrollar un ejercicio que permita que el equipo del Parque Nacional Natural Tatamá (PNNTa), articule los esfuerzos de conservación de la parte alta de la cuenca del Río Mapa, con la dinámica de producción cafetera en la parte media de esta cuenca; se ha propuesto un ejercicio de valoración de la oferta y la demanda hídrica del cultivo en el marco de una valoración biofísica y económica del recurso hídrico. Este documento tiene como propósito presentar los resultados del cálculo de la oferta hídrica provista por la cuenca.

En la primera sección se presentan los resultados de la identificación de servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico, mediante el ejercicio de modelo conceptual; en la segunda sección se detalla la problemática que motiva la valoración, mientras que las secciones restantes presentan los resultados de la modelación hidrológica para la cuenca del Río Mapa, que nace en el área protegida y entrega agua para pro- pósitos de riego de café (principalmente). Los resultados de esta modelación, basada en el método de Curva Numero (del USGS de Estados Unidos y propuesto por el IDEAM) son presentados para el punto de control y calibración (Estación BRETA- NA - 26147130) y para algunos puntos intermedios de microcuencas, denominados puntos de gestión.

La modelación utilizando el método CN no fue exitosa, no se lograron calibraciones mayormente satisfactorias de los parámetros; pero sus aproximaciones en la escala promedio mensual multianual y bajo escenarios el Niño y La Niña, fueron suficientes para dar cuenta de las necesidades de riego y el cálculo de la demanda hídrica para la transformación del grano.

A partir de la estimación de los requerimientos de agua del café conforme a la metodología del balance hídrico del suelo, se obtuvo información que permitió identificar meses de déficit hídrico en los periodos de floración del cultivo con lo cual se calcularon las pérdidas de producción de café con el fin de llevar a valores monetarios los efectos que se presentan por fenómenos de sequía para la agricultura de café en la cuenca del Río Mapa. En este sentido los resultados se configuran como una primera aproximación frente a la identificación de la variación de la provisión de agua en sequía y sus efectos frente a una actividad económica de especial importancia para la región.

Los resultados de la valoración biofísica y económica se configuran como una forma de traducir en diferentes lenguajes la importancia del servicio ecosistémico de provisión e agua para un sector estratégico en la cuenca del Río Mapa. Lo anterior con el propósito de contar con insumos que fortalezcan la gestión con los sectores beneficiarios en pro de la generación de alianzas y posibles estrategias que favorezcan la conservación tanto del Parque Nacional Natural Tatamá, como de las otras figuras de conservación en la cuenca.

## 2 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE RH QUE PROVEE EL AP: RESULTADO DE LA METODOLOGÍA DE MAPEO E IDENTIFICACIÓN DE SE PARA TODO EL AP.

La identificación de los servicios ecosistémicos, es la primera etapa para comenzar una valoración. En esta sección se resumen la identificación de servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico (SE-RH) realizada en el marco de los talleres de *Valoración Integral del Recurso hídrico* en Julio de 2017 (SFF Otún Quimbaya) y de *Estrategias de acción conjuntas PNN – Asociación de Cafeteros “ASOTATAMA”* en septiembre de 2017 (Santuario, Risaralda). Representa, una aproximación del equipo del área protegida (AP) mediante el diseño y creación de un modelo conceptual tomando su experiencia en campo y de relacionamiento con actores. Es de aclarar que, aunque el ejercicio se enfoca en la cuenca del río Mapa (CRM), esta identificación de SE-RH fue realizada para toda el AP, con el objetivo de ofrecer al AP una herramienta de gestión y que al final de la valoración se cuente con un panorama, que permita visibilizar posibilidades para replicar el ejercicio. En la Figura 2-1 se presenta el modelo conceptual de SE-RH, en términos de estética y lenguaje gráfico, da cuenta de la relación entre los habitantes de los municipios y el área protegida; mostrándose con círculos más grandes aquellos que tienen una relación más fuerte y constante. Los SE-RH están representados por colores y discriminados por números.

Por su ubicación geográfica el PNN Tatamá, protege una estrella hídrica, favorecida por la presencia de ecosistemas de Páramo en la parte alta. En términos hidrogeográficos, el parque tiene una división por cuenta de las Subzonas hidrográficas de los Ríos San Juan<sup>1</sup> y Risaralda<sup>2</sup>. En el primer caso los regímenes de precipitación obedecen las propias de climas Cálidos - Súper húmedo (acorde a la clasificación de Caldas - Lang), mientras que en el sector oriental comprende climas Templados (principalmente húmedos a semi - húmedos), lo que sumado a la interacción del ciclo hidrológico con los suelos y la biota, garantiza índices de regulación hídrica entre 0.75 y 0.85 en sector occidental y entre 0.5 y 0.75, para el sector oriental; lo que indica que la capacidad de retención de escorrentía varía de alta en el sector occidental a baja - moderada para el sector oriental. Gracias a dicha diferencia, el equipo del área protegida decidió generar una revisión de los servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico diferenciadas para los dos sectores, más allá de tener en cuenta la división política y administrativa de los departamentos con los cuales el PNNTa tiene interacción territorial, la presentación se da en virtud de los municipios que abastecen y las características culturales que influyen en la relación de los habitantes con los SE-RH que provee el AP.

Aunque acorde a la categorización de las Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, la relación de los habitantes de los municipios cercanos al AP comprende todos los tipos de SE – RH, la forma es diferente. Por ejemplo, en el sector occidental el transporte fluvial garantiza la comunicación y relacionamiento cultural entre los pueblos afro e indígenas, que encuentran en los cuerpos hídricos una significancia cultural y espiritual, reflejada en cantos asociados al agua. Esta estrecha relación no es observada en el sector occidental, en donde el servicio de provisión que mayor importancia tienen es la oferta hídrica para el riego agrícola, aunque no se descarta el uso recreacional.

---

<sup>1</sup> Una pequeña proporción drena directamente al Río Cauca.

<sup>2</sup> Parte alta: Ríos Condoto y Tamana

Respecto a la oferta hídrica para el consumo humano, las condiciones climáticas y de retención de la escorrentía hacen que en el sector oriental exista una relación fuerte de los habitantes que hacen uso de los acueductos municipales y el recurso que proviene de cuencas que tienen su parte alta en el AP. En particular se resaltan los municipios de Santuario, Balboa, El Águila, Pueblo Rico y La Celia, siendo este último aquel que mayor dependencia tiene de esta provisión, puesto que no cuenta con suministro de agua de otro sector. Del lado occidental, los habitantes de los municipios de Tado, Novita, Condoto y San José, dependen de la escorrentía superficial, para el desarrollo de actividades domésticas y de supervivencia, pero en mayor proporción el recurso hídrico para el consumo humano es provisto por la colecta de agua lluvia.

Los servicios de soporte, son especialmente importantes en el sector occidental por- que proporcionan el hábitat necesario para la pesca y del lado oriental, porque allí se avanzan trabajos de conservación de las Magnoliacias y del Oso Andino (Valores Objeto de Conservación del Parque), de este último, se tienen referentes de identificación cultural de los habitantes del municipio de Santuario. Finalmente, la regulación hídrica es un SE de importancia en ambos sectores, puesto que en el lado occidental garantiza el flujo permanente de agua que es insumo para la minería<sup>3</sup> y del lado oriental para el confort climático del paisaje cafetero.

---

<sup>3</sup> Se reconocen tres tipos de Minería (artesanal, mediana escala y gran escala), divididas en minería de batea, buceo (uso de aspiradoras) y aluvión.

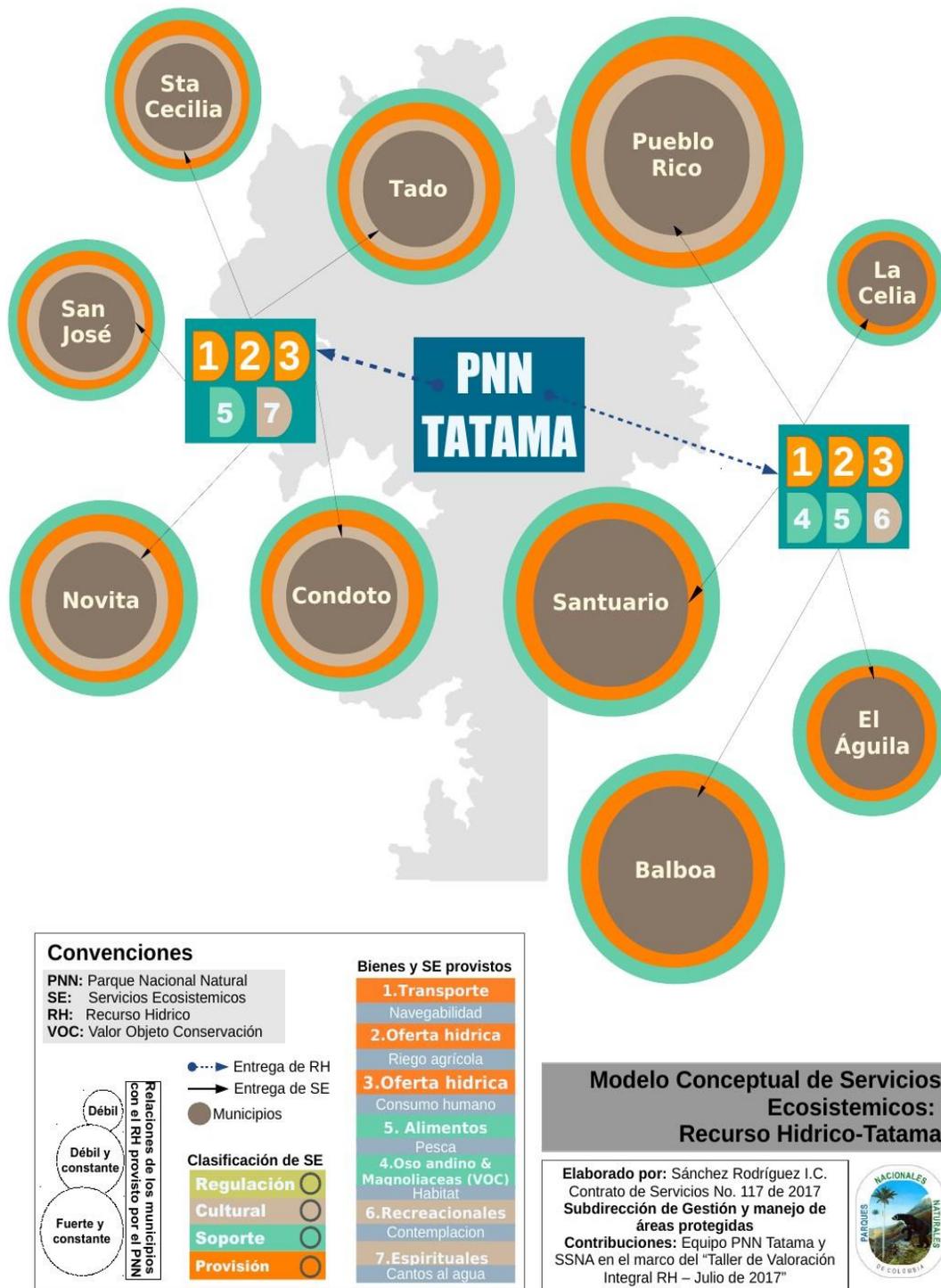


Figura 2-1. Modelo conceptual de provisión de Servicios Ecosistémicos asociados al Recurso Hídrico para el PNN Tatamá.

### **3 PROBLEMÁTICA QUE MOTIVA LA VALORACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.**

#### **3.1 Descripción de la problemática.**

El equipo del AP identificó un potencial para el desarrollo del ejercicio de valoración biofísica y económica del RH en la cuenca del Rio Mapa, ubicada en el sector oriental y que entrega agua al municipio de Santuario. Allí se ubica una extensa región cafetera, que se ha visto afectada por condiciones de variabilidad climática asociadas al fenómeno de El Niño, colocando en riesgo la conservación del AP al aumentar presiones por expansión de la frontera agrícola. Además, se ha identificado que la Asociación de productores de Café -ASOTATAMA- está interesada en establecer mecanismos que les permitan certificar una producción de café amigable con el medio ambiente.

Mediante los ejercicios de educación ambiental, el equipo del AP reconoce que existe un deseo de siembra de café sin tener en cuenta el cuidado de las rondas hídricas y los nacimientos de agua, principalmente de productores medianos y grandes; así como un inadecuado manejo de desechos de los residuos del café, que son dispuestos directamente a los cuerpos hídricos. Aunque los habitantes de la cuenca del Rio Mapa tienen una identidad fuerte con el parque y sentido de pertenencia, lo cual es un terreno ganado, esto no garantiza que con el aumento de la temperatura del aire y la disminución de las precipitaciones, se mantenga el límite de la frontera agrícola, por lo que el equipo del AP identifican, que aunque no existe un conflicto consolidado, este es latente y que en términos de ordenamiento territorial es estratégico implementar mecanismos que favorezcan la gobernanza, la identificación con el parque Tatamá y el recurso hídrico que provee, como referente para la adaptación al clima cambiante.

#### **3.2 Cuerpo hídrico sujeto de la valoración.**

La cuenca del Rio Mapa (CRM) está ubicada en el departamento de Risaralda, en la subzona hidrográfica del mismo nombre. Entre los 4,9 y 5,23 grados de Latitud Norte y -76,04 y -75,87 grados de Longitud Oeste, nace en el extremo oriental de la cordillera occidental de Colombia, gracias a las contribuciones del Rio Peñas Blancas, las quebradas Sonadora y Papayal, y los ríos San Rafael y Apia. En la Figura 3-1, se presenta la ubicación geográfica de la cuenca, que fue delimitada con el modelo digital de elevación SRTM de una resolución de 30 mts; acorde al POMCA (Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca) este tiene un área de 288 km<sup>2</sup> aproximadamente, mientras que según cálculos de este trabajo es de 24 km<sup>2</sup>. Así mismo, que el tiempo de concentración, es decir el tiempo que tarda una gota de precipitación en convertirse en escorrentía, varía entre 3 horas a 4 horas y 40 minutos, siendo el valor de 4 horas, el hallado por este trabajo. En la Figura 3-1, se presenta la distribución de la red hidrometeorológica para la subzona del rio Risaralda; allí se observa que, para el cuerpo hídrico en estudio, se cuenta con información de la estación climatológica CAMELIA-LA (26145030) y de la estación hidrológica LA-BRETANA (26147130).

Respecto a los beneficios que produce la oferta hídrica de esta cuenca, se encuentra el agua para el consumo humano principalmente de los municipios de Santuario y Apia, el uso para riego de cultivos de café y la recreación no regulada de la zona. Consecuentemente los procesos hidrológicos que influyen en la oferta de los metros cúbicos de agua, son los relacionados con el ciclo hidrológico, más específicamente la producción de escorrentía para la oferta hídrica (ver la Figura 3-2).

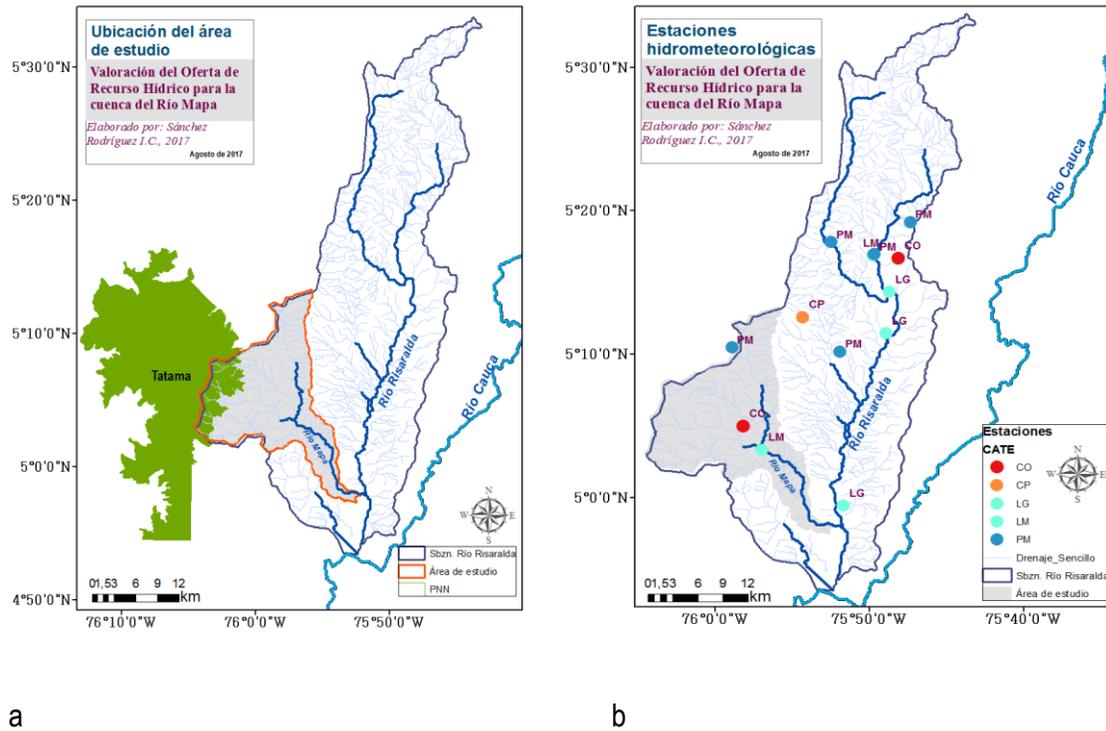


Figura 3-1. a. Ubicación hidrográfica de la cuenca del Rio Mapa, b. Distribución de estaciones meteorológicas e hidrológicas, acorde a la red de observación del IDEAM.

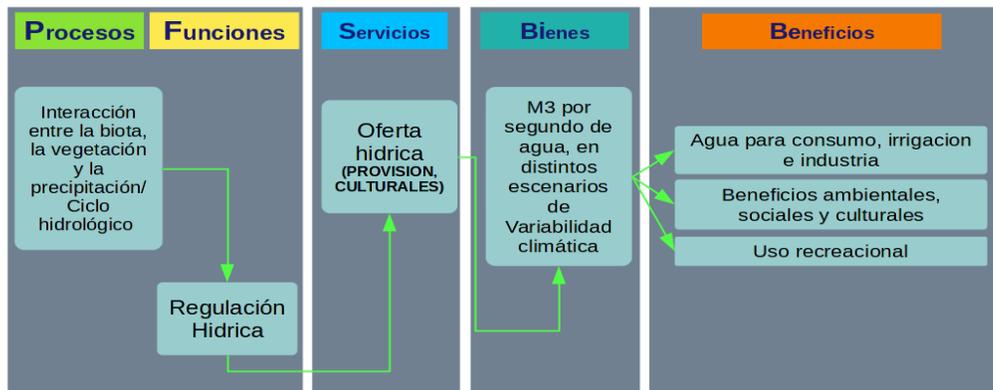


Figura 3-2.: Cuadro PFSBiBe para el caso de estudio.

## 4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA.

### 4.1 Estructura de la modelación.

Como se mencionó en la sección anterior, la CRM cuenta con observaciones meteorológicas cerca de su zona más central (estación IDEAM CAMELIA-LA (26145030) y observaciones hidrológicas en la confluencia con el Río Apia (estación IDEAM LA- BRETANA 26147130); sin embargo, esta información no es suficiente para generar estrategias de manejo con los actores asociados (ver sección 3.1), puesto que el objetivo perseguido es el de conocer la oferta hídrica para riego en condiciones El Niño-La Niña y que por su ubicación geográfica la información de estación LA-BRETANA, reporta la oferta de agua de la cuenca una vez ya se ha realizado la extracción para riego. Este aspecto, motivó una modelación hidrológica que permitiera conocer los valores de oferta antes de la extracción y posterior a esta; para ello, primero se seleccionaron como puntos de gestión<sup>4</sup> los mostrados en la Figura 4-2, y se utilizó la información disponible de la estación hidrométrica LA-BRETANA, para efectos de calibración.

Para la modelación hidrológica en la CRM, se seleccionó una simplificación de los procesos en la CRM agregada bajo el sistema de modelación hidrológica HEC-HMS (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>) y el método de la curva número, sugerido por el IDEAM para el cálculo del índice de escasez (Res.865/2004 MADS). En la Figura 4-3, se presenta el esquema general de modelación de la cuenca.



Figura 4-1. Cuenca del Río Mapa: a. Puntos de control, estación hidrológica del IDEAM “26147130-BRETANA\_LA”,

<sup>4</sup> Durante el Taller: Estrategias de acción conjuntas PNN – Asociación de Cafeteros “ASOTATAMA” en septiembre de 2017 (Santuario, Risaralda)

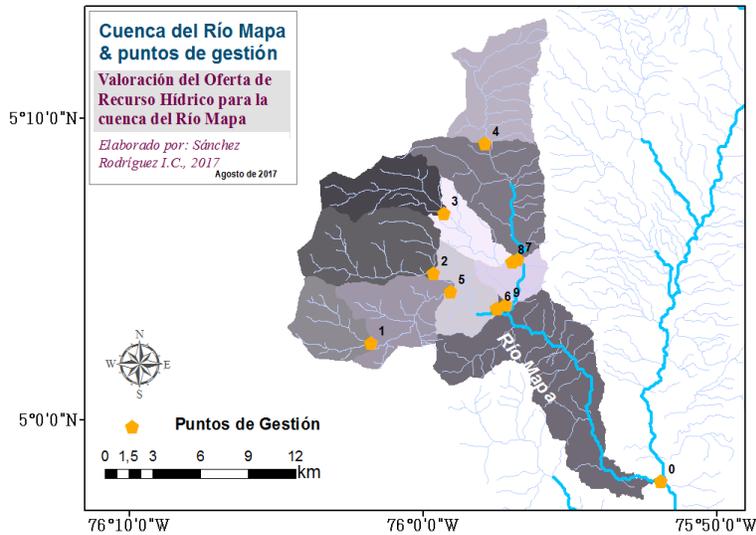


Figura 4-2. Puntos de Gestión (Enumerados acorde a la Fig. 4.3)

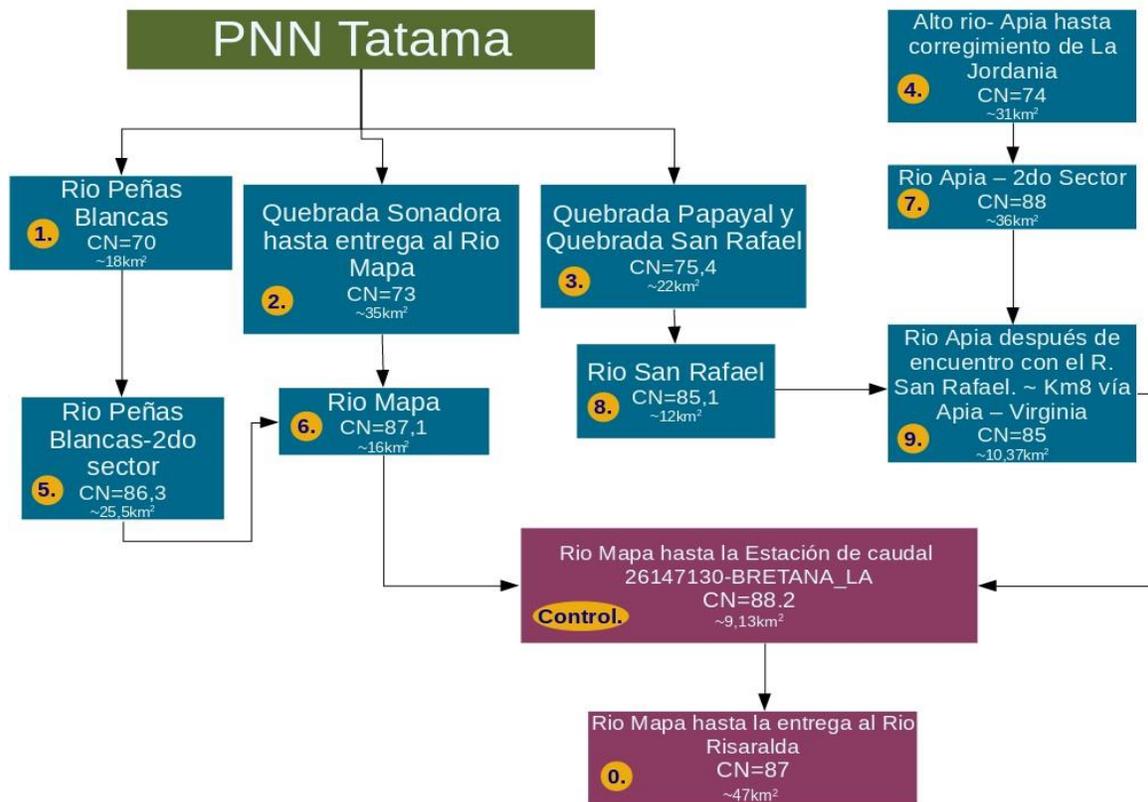


Figura 4-3. Esquema de modelación para la Cuenca del Río Mapa: Se presenta el área desagregada de cada microcuenca, el número de curva inicial asignado y los puntos de Gestión (Enumerados acorde a la Fig. 4.2)

#### 4.1.1 Marco metodológico de la modelación.

En las Figura 4-4Figura 4-5, se presenta el marco metodológico seguido. Previa la delimitación de las cuencas y las microcuencas de análisis, se calculó el mapa de pendientes con base en el modelo digital de elevación SRTM, paralelo a esto, se realizó la recopilación de información de tipo y uso del suelo; en el primer caso se tomaron los resultados del Estudio Departamental de Suelos del Departamento de Risaralda<sup>5</sup> y en el segundo la vocación de uso de la cobertura Corine Land Cover del año 2012. Esta información, permitió el cálculo del número de curva para cada microcuenca ponderado por cada área (ver Figura 4-3).

Se realizó la solicitud, procesamiento y depuración de datos atípicos, de la información de estaciones meteorológicas y climatológicas del IDEAM para la subzona hidrográfica del río Risaralda. En el caso de la variable precipitación, fue interpolada mediante el método IDW, que fue aquel que después de la validación cruzada mostró menor error. Los datos de temperatura, de interés principalmente para el cálculo de la demanda de los cultivos, fueron hallados con base en los datos de estas estaciones y el uso del gradiente adiabático y el modelo digital de elevación. Así al final, se obtuvieron dos series de tiempo en el periodo 1981-2011 de cada variable, una para la parte alta de la cuenca y otra para la parte baja. Con fines a la calibración, los datos de caudal fueron depurados y rellenados, mediante interpolación lineal.

El periodo comprendido entre los años 1981 - 1996, fue seleccionado para la calibración de los parámetros CN (ver Tabla 4-1), siendo el año 1981 repetido como año de calentamiento del modelo; el periodo restante fue seleccionado para la validación del modelo. Como estadístico de referencia, se utilizó la diferencia entre los caudales totales estimados:

$$FO = \sum_{t=1}^N Q_o(t) - Q_M(t)$$

**FO:** Suma de los valores absolutos de los residuales. Función objetivo de minimización. Varía entre 0 e  $\infty$ . (Juraj & Slobodan , 2004).

Finalmente, para que la modelación permitiera abordar el uso de escenarios de gestión, se seleccionaron como periodos de año seco y año húmedo, los años presentado en las Tablas Tabla 4-2Tabla 4-3 yTabla 4-4, a fin de dar cuenta de las variaciones de la oferta hídrica en cada punto para estos escenarios.

---

<sup>5</sup> En la parte baja de la cuenca se utilizó una extrapolación de esta cobertura.

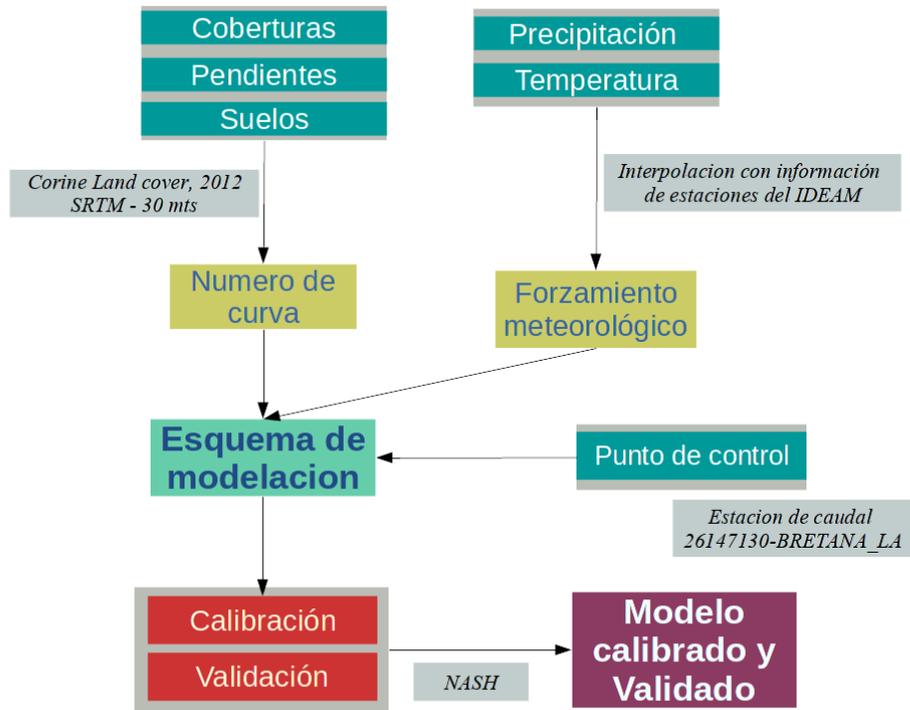


Figura 4-4. Marco metodológico seguido, para obtener un modelo calibrado y validado.

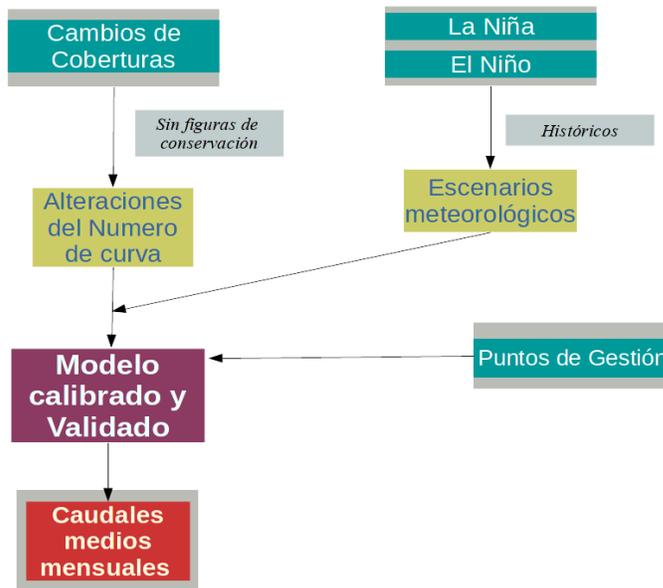


Figura 4-5. Marco metodológico seguido, para obtener resultados bajo distintos escenarios de cobertura y clima.

Modelación	Parámetros
Estimación de la precipitación efectiva: Método hidrológico del número de curva del SCS. (Thirasak, 1985)	A: Área de la cuenca CN: Numero de curva
Transformación de la precipitación efectiva en escorrentía directa: Método del hidrograma unitario SCS. (Thirasak, 1985).	Tp: Tiempo al pico Tlag: Tiempo de retardo Tc: Tiempo de concentración A: Área de la cuenca
Tránsito en canal: Tiempo de retardo	T lagc: Tiempo de retardo en el canal

Calibración
<p><b>Método:</b> De búsqueda local univariado (Método del gradiente)</p> $x^{k+1} = x^k + L, x^k$ $L, x^k = f' (x^k) / + f'' (x^k)$ <p>El sistema Hec-Hms aproxima a las derivadas de la Ecuación 4.3 numéricamente utilizando métodos de diferencias finitas. Este procedimiento se aplica sucesivamente a cada uno parámetro ajustable manteniendo constantes todos los demás. Tomado de (Brian E. Skahill, 2006).</p>

Tabla 4-1. Esquema general de modelación.

## 4.2 Resultados.

En la Figura 4-6, se presenta la distribución de tipo y uso de suelos, así como el mapa de pendientes. Se observa que la cuenca tiene una división marcada en cuenta al tipo de suelo, ya que su parte alta se caracteriza por suelos del tipo Franco - Arcilloso, mientras que su parte baja por suelos francos; las pendientes por su parte muestran valores altos en relación a otras cuencas del mismo tamaño, en particular en la parte alta (Rio Peñas Blancas y Quebradas Sonadora y Papayal) alcanzan valores por encima del 20 %, mientras que la parte baja, justo antes de la entrega al rio Risaralda, el rio Mapa es más sinuoso y tiene pendientes por debajo del 5 %. La distribución de coberturas, muestra un buen estado de conservación en la parte alta, principalmente en la zona aledaña al PNN Tatamá, aunque este comportamiento también es observado en la parte alta del rio Apia. La parte media de la cuenca está gobernada por la vocación agrícola, principalmente del cultivo de café.

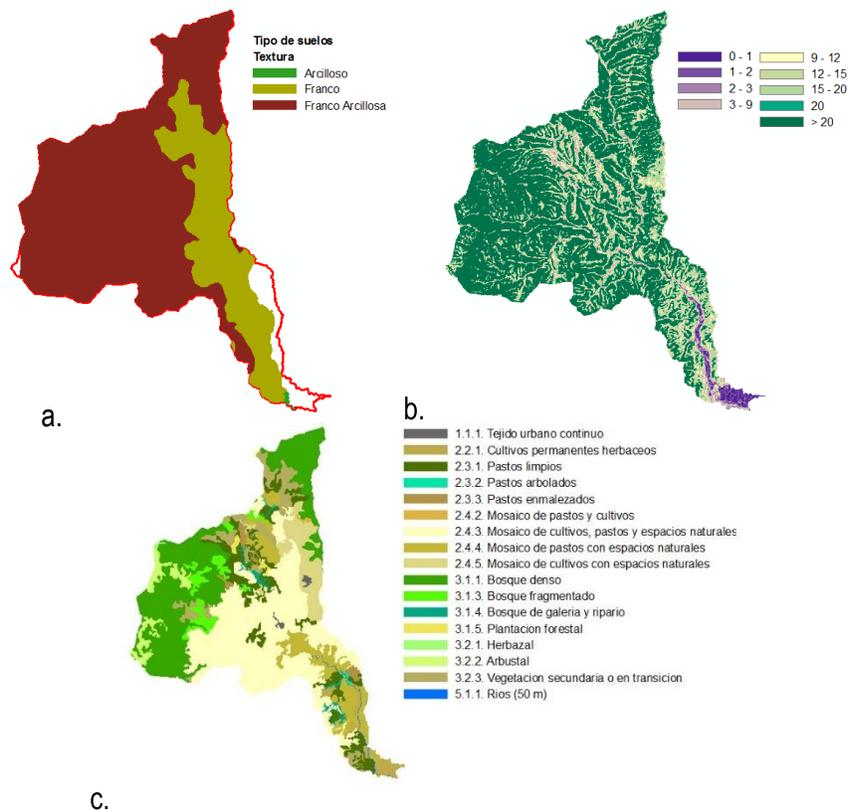


Figura 4-6. Cuenca del Rio Mapa: a. Mapa de suelos (Basado en estudio de suelos de Risaralda), b. Mapa de % de variación de la pendiente (Basado en Modelo Digital de Elevación SRTM 30 mts), c. Mapa de coberturas (Basado en Corine LandCover)

Las precipitaciones anuales están cercanas a los 2257 mm/año en la parte alta de la cuenca y a los 2034 mm/año en la parte baja, con una distribución bimodal los bimestres de más altas precipitaciones son abril-mayo y octubre-noviembre, para los que se alcanzan valores mensuales de hasta 250 mm en la parte alta y 225 mm en la parte baja (ver Figura 4-7). La variación de la temperatura máxima en la parte alta, está en el rango de  $\sim 23^{\circ}\text{C}$  a  $\sim 25^{\circ}\text{C}$  en la parte alta, mientras que en la parte baja es de  $\sim 25^{\circ}\text{C}$  a  $\sim 27^{\circ}\text{C}$ , con un comportamiento también bimodal, cuyos valores más altos se ubican en los meses febrero y agosto; los valores de la temperatura mínima son más extremos en el mes de julio, para cuando descienden a valores cercano a los  $15^{\circ}\text{C}$  (ver Figura 4-8/Figura 4-9).

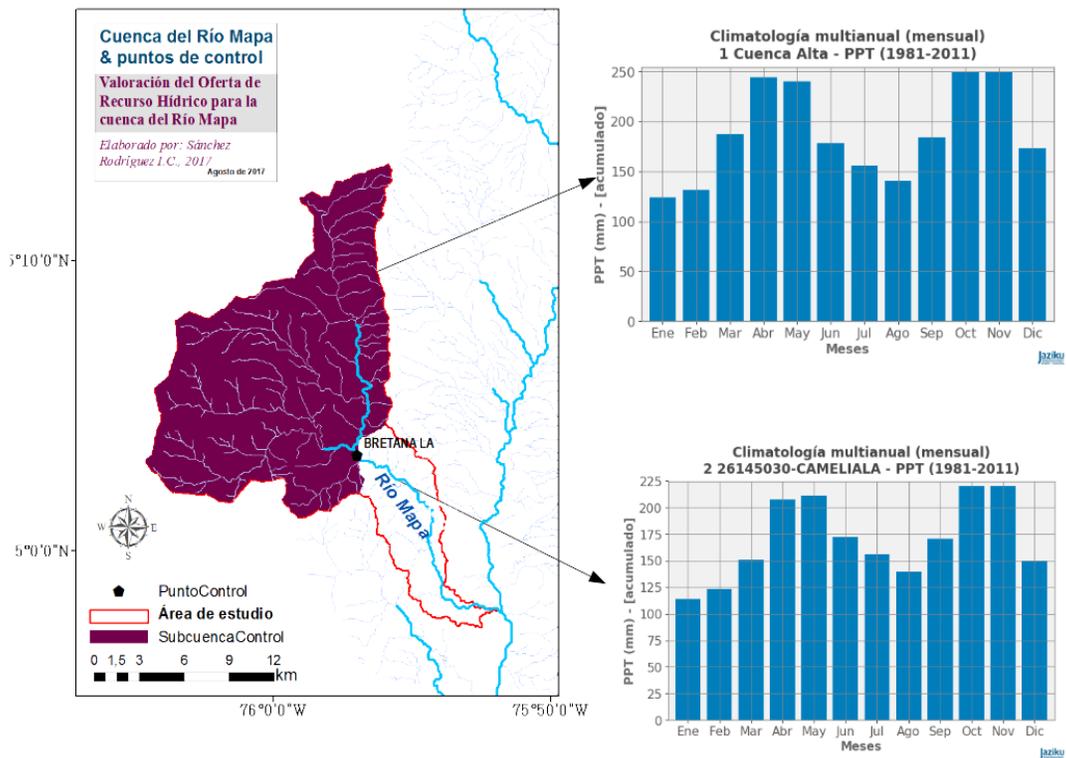


Figura 4-7. Distribución de la precipitación media anual del Río Mapa.

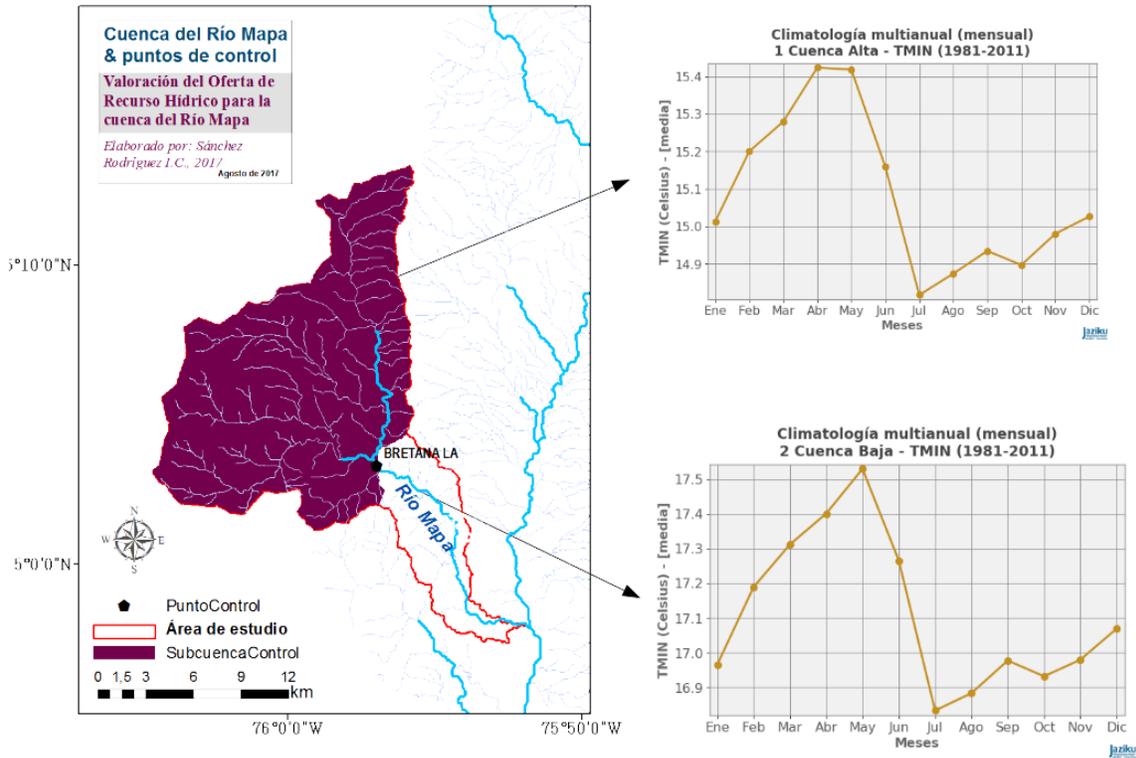


Figura 4-8. Distribución intra-anual de la temperatura mínima del Río Mapa.

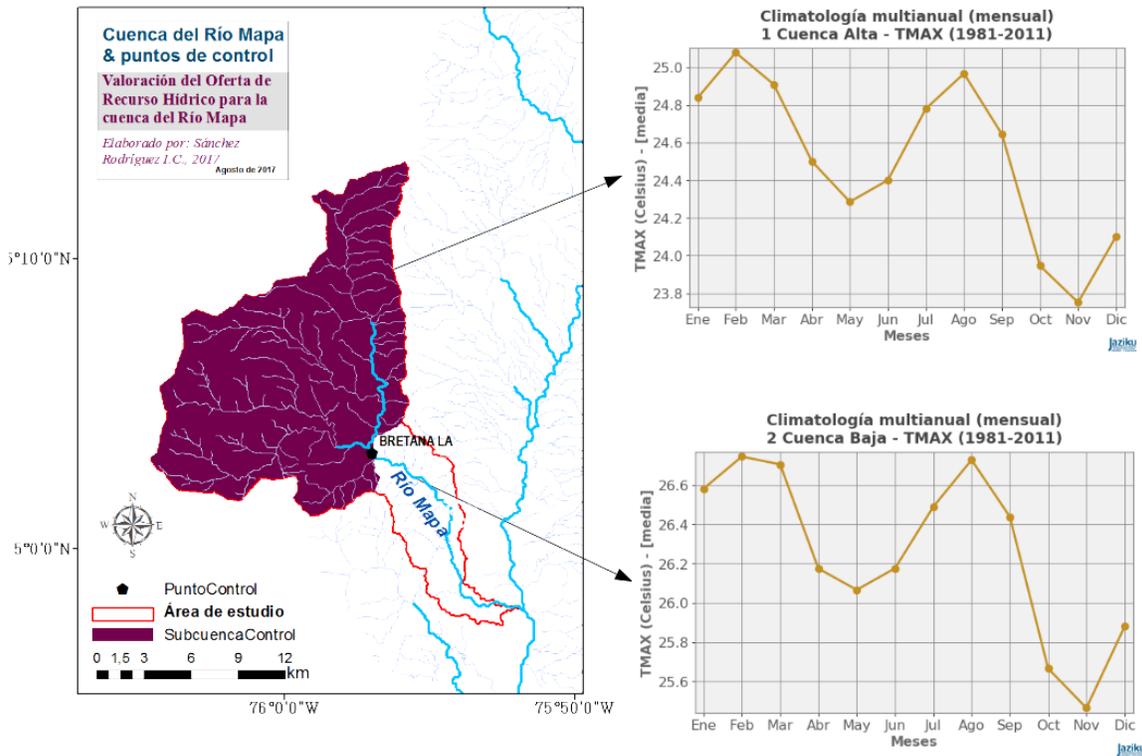


Figura 4-9. Distribución intra-anual de la temperatura máxima del Río Mapa.

La precipitación total anual de la cuenca, puede variar desde valores máximos cercanos a 3000 mm/año a valores críticos cercanos a 500 mm/año (ver Figura 4-10), lo que indica que la región y en particular las zonas productivas, enfrentan condiciones de extremos climáticos, lo que acorde al IDEAM en la escala intra-anual está relacionado directamente con el fenómeno de El Niño (IDEAM, 2015). Esta razón, motivo la generación de los escenarios “seco” y “húmedo”, con base en los resultados reportados para los años con presencia de las fases de este fenómeno; en las Tablas Tabla 4-2, Tabla 4-3 y Tabla 4-4, se presentan los años bajo la predominancia del fenómeno El Niño y bajo el fenómeno de La Niña, durante el periodo comprendido entre 1981 y 2011; así mismo, se listan los años seleccionados para generar los escenarios de precipitación bajo cada una de las fases, esto es el valor promedio mensual más típico una vez se presenta cada una de las fases del fenómeno en las zonas altas y baja de la cuenca. En la Figura 4-10, se presentan las curvas de valor total de precipitación acumulada, para años en los que habiendo alguna de las fases del fenómeno <sup>6</sup>, se registraron los valores máximos y mínimos de precipitación, así mismo se presentan los resultados de acumular los valores históricos máximos y mínimos, para cada mes del año bajo cada una de las fases del fenómeno. Es de resaltar la importante variación de los valores observados en cada una de las fases del fenómeno, en virtud de que para la cuenca alta la variación de una fase el Niño a una fase la Niña, puede ser superior a 2000mm/año.

El Niño	La Niña
Mar 82 - Jul 83	Ago 83 - Feb 84
Ago 86 - Mar 88	Sep 84 - Sep 85
Abl 91 - Jul 92	Abl 88 - Jun 89
Abl 97 - Jun 98	Jun 95 - Abl 96
May 02 - Mar 03	Jun 98 - Mar 01
Jun 04 - Mar 05	Oct 05 - Abl 06
Ago 06 - Feb 07	Jun 07 - Jul 08
Jun 09 - Abl 10	Oct 08 - Abl 09
	Jul 10 - Jun 11
	Jun 11 - Abl 02

Tabla 4-2. Años de fases El Niño y La Niña, durante 1981-2011

El Niño	La Niña
1990	1984
1992	2008
1997	2010

Tabla 4-3. Años seleccionados para generar los escenarios de gestión en la cuenca alta.

<sup>6</sup> El Niño / La Niña

El Niño	La Niña
1986	2008
1982	2010
1990	2011

Tabla 4-4. Años seleccionados para generar los escenarios de gestión en la cuenca baja.

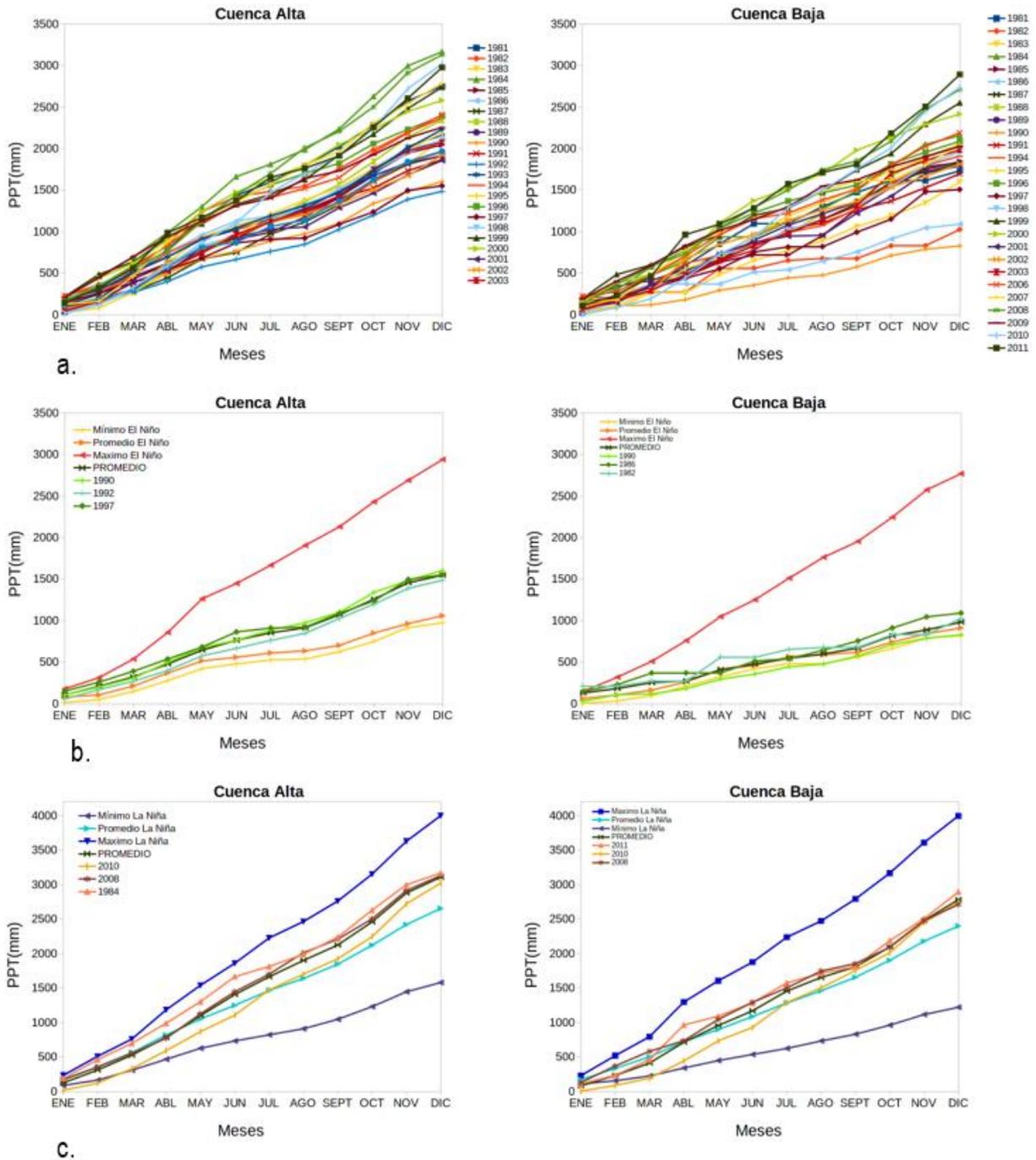


Figura 4-10. Precipitación total anual por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña.

En las Figura 9-1Figura 9-2 (de los anexos), se presentan los resultados de la variación intranual de la temperatura para todos los años del periodo en análisis y para los escenarios Seco y Húmedo (con fines al cálculo de la demanda para la valoración); las gráficas muestran que históricamente las temperaturas han variado entre 2°C a 3°C durante el periodo histórico para las temperaturas mínimas y hasta 6°C para las temperaturas máximas. Así mismo, se presenta la información de las temperaturas observadas para los años seleccionados para calcular los escenarios de gestión y que fueron de mayor utilidad para el cálculo de la demanda hídrica.

En la Figura 4-11, se presentan los resultados de la calibración; compilado de un grupo de 4000 simulaciones. Por su parte, en la Figura 4-11 a, se presentan los resultados más representativos (moda) de cada conjunto de 1000 calibraciones, mientras que en la Figura 4-11 b, las diferencias típicas de los volúmenes totales anuales. En términos generales y con un número considerable de simulaciones, en ninguno de los casos la simulación coincide con la distribución promedio mensual multianual de los caudales en la BRETANA (26147130), en particular los valores de los dos primeros meses del año. Este comportamiento de las simulaciones, puede deberse a que el método CN fue diseñado para seguir las variaciones de las precipitaciones y a que la importante regulación de la escorrentía en la cuenca hace que este patrón no sea seguido en los caudales reportados por la estación hidrológica.

Con un error en los caudales simulados de 2 a 3 m<sup>3</sup>/s-mes (ver Figura 4-11 c), los parámetros calibrados son presentados en la Tabla., mientras que los caudales simulados y observados en el periodo de validación (1997-2011) son mostrados en la Figura 4-12; puede notarse que los caudales tanto en el periodo de calibración como de validación, son generalmente subestimados, aspecto que será tenido en cuenta para la simulación como una franja de error porcentual (acorde a las áreas de las microcuencas hasta el punto del control) en el ejercicio de valoración.

Finalmente, los resultados de caudal y escorrentía (precipitación efectiva) para cada punto de gestión, calculados después de la calibración son presentados en los anexos y; estos resultados representan el valor promedio mensual multianual en el periodo 1981-2011, después de haber restado el caudal ecológico. Este valor fue calculado como: - "...25 % de los volúmenes anuales en condiciones de oferta media. IDEAM (2000)"-.

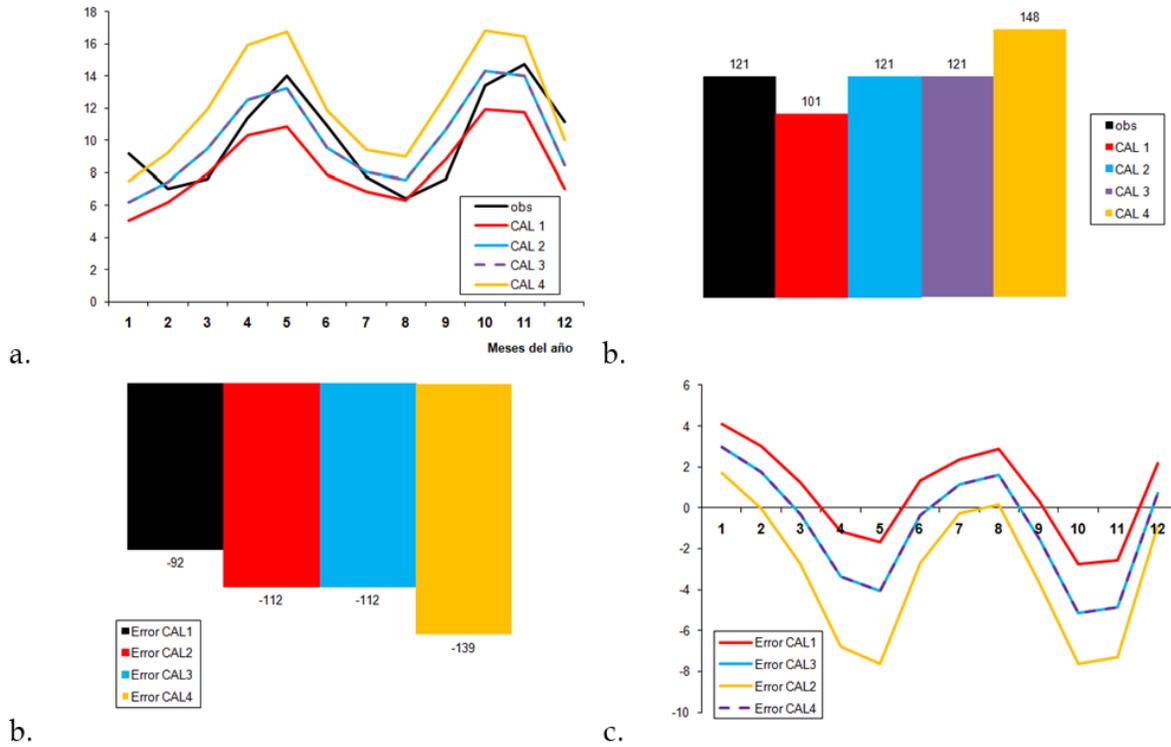


Figura 4-11. (a) Resultados de caudal en el periodo de calibración (1981-1996), (b) Volumen de cada calibración, (c) Variación promedio en el grupo de calibración, (c) Error mensual de calibración (en m3/s)

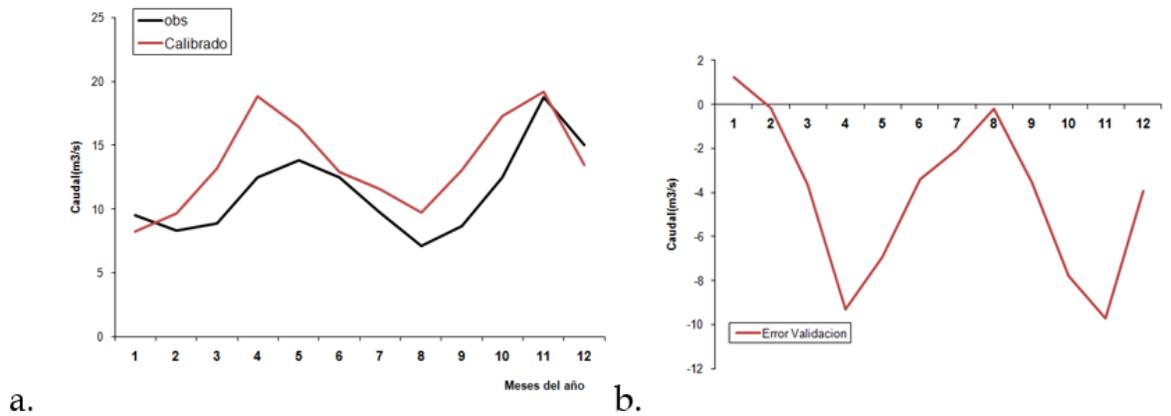


Figura 4-12. (a) Resultados de Caudal en m3/s en el periodo de validación (1997 - 2011) y error respecto al promedio multianual observado (b).

## **5 DEMANDA HÍDRICA.**

La estimación de la demanda hídrica en la cuenca tiene como objetivo reconocer como y en qué medida se está utilizando el agua, así como variaciones en su uso y tendencias, para de esta forma, contar con información que permita identificar presiones que ejercen los diferentes sectores usuarios beneficiarios sobre la disponibilidad del recurso hídrico. (IDEAM, 2015).

El ejercicio de demanda hídrica abordado para el Río Mapa comprende el volumen de agua necesario para abastecer a los sectores beneficiarios más representativos de la cuenca, los cuales corresponden al sector de uso doméstico y uso agrícola, este último representado en mayor medida por el sector cafetero. Como se evidencio en el ejercicio de modelo conceptual desarrollado con el parque, el desarrollo de la actividad cafetera comprende uno de los renglones más importantes para la economía de la región, así mismo, se destaca que, de acuerdo con el POMCA del Río Risaralda, el sistema de producción prevaleciente en la cuenca alta y media del Río Risaralda, de la cual el Río Mapa es tributario; esta dado por el desarrollo de los cultivos de café. (CARDER, CORPOCALDAS, PNN, 2012).

Conforme lo anterior, la estimación de la demanda hídrica se centró en los usos doméstico y agrícola representado en el cultivo de café, con lo cual se constituyen los insumos necesarios para identificar periodos críticos donde la demanda supera la oferta, para de esta forma estimar a partir de una valoración económica las afectaciones que se presentarían para el sector cafetero frente a condiciones deficitarias de agua características de un fenómeno del niño, con lo cual finalmente se busca contar con insumos para el entendimiento de las condiciones biofísicas y económicas relacionadas con la actividad cafetera en la cuenca, para de esta forma favorecer estrategias y acciones en caminas al manejo eficiente del recurso hídrico y disminución de la demanda de agua de dicha actividad.

### **5.1 Clasificación de las subcuencas.**

Con el fin de presentar los resultados de manera más detallada para la cuenca y con el propósito de estimar de manera más desagregada los insumos sobre oferta y demanda hídrica para la valoración económica se realizó una delimitación de subcuencas, con lo cual se obtuvo tanto la oferta hídrica para puntos de interés denominados “puntos de gestión”; como la demanda hídrica para los diferentes usos conforme a esta delimitación. De esta forma se presenta a continuación la delimitación de las subcuencas de acuerdo con los puntos de gestión que se definieron con el equipo del área protegida.

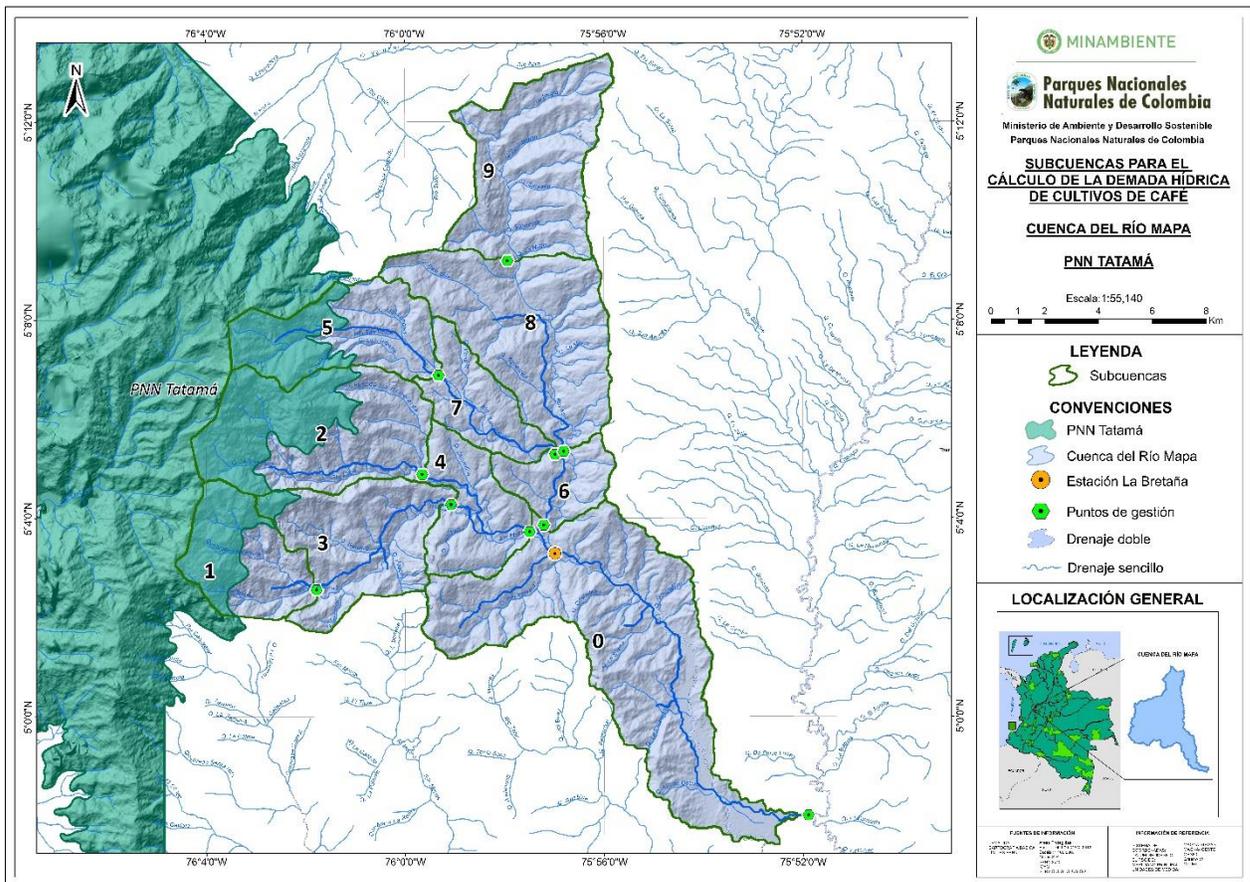


Figura 5-1. Subcuencas y puntos de gestión considerados para el cálculo de la demanda hídrica.

Conforme lo anterior se definieron 10 subcuencas y puntos de gestión, iniciando desde 0 hasta 9, para los cuales se estimó tanto la oferta como la demanda para una identificación de las necesidades de riego de los cultivos de café y valoración económica de las afectaciones a los cultivos por sequía. En este contexto se presenta a continuación la metodología y resultados de la estimación de la demanda hídrica para los usos de interés.

## 5.2 Marco metodológico para la estimación de la demanda hídrica.

### 5.2.1 Demanda hídrica para uso doméstico.

La estimación de la demanda hídrica para uso doméstico se realizó con base en la información disponible en los siguientes insumos (i): densidad poblacional encontrada en las fichas de caracterización municipal realizadas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), para los municipios de Santuario y Apia, que forman parte de la cuenca. (ii): Dotación de agua por habitante conforme a la cantidad de agua presentada en el título B del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS); para un nivel de complejidad del sistema bajo, de acuerdo con las condiciones socioeconómicas de los municipios señalados. (iii): Coberturas y usos del suelo relacionadas con actividades antrópicas, identificadas a partir de la información suministrada por la CARDER sobre coberturas del suelo para el año 2016 en la cuenca del Río Risaralda.

Finalmente, con estos insumos se estimó la cantidad de personas que estarían ubicadas en cada subcuenca, para de esta forma establecer un volumen de agua, reflejo de la demanda hídrica para uso doméstico conforme a la dotación neta de agua por habitante. En este contexto, en la siguiente figura se presenta la descripción de los insumos y las fuentes de información para el cálculo señalado.

Ítem	Descripción	Fuente
Densidad poblacional	Cantidad media de habitantes presentes por unidad de área. <ul style="list-style-type: none"> <li>Santuario: 70 hab/km<sup>2</sup></li> <li>Apia: 108 hab/km<sup>2</sup></li> </ul>	Fichas de caracterización municipal de los municipios de Santuario y Apia – Departamento Nacional de Planeación.
Dotación Neta por Habitante	Cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010). Para el área de estudio la dotación neta corresponde a 90 L/hab*día, característico de un nivel bajo de complejidad del sistema.	Título B sobre sistemas de acueducto. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
Coberturas del suelo	Áreas en las que se identifica a nivel de las subcuencas delimitadas zonas con posible presencia personas, con lo cual, a partir de la dotación neta y la densidad poblacional municipal se estima la cantidad de agua que se estaría demandando para uso doméstico conforme a la población estimada.	Shape de Coberturas de la Cuenca del Río Risaralda para el año 2016, proporcionado por CORPOCALDAS

Tabla 5-1. Insumos para la estimación de la demanda hídrica para uso doméstico.

## 5.2.2 Demanda para cultivos de café.

La demanda hídrica para el caso del sector agrícola se enfoca en estudiar los requerimientos de agua en los cultivos, para lo cual es necesario analizar su interrelación con las variables climáticas y de suelos. El requerimiento hídrico de los cultivos se determina a partir del cálculo de la evapotranspiración de los mismos y del balance de agua en el suelo, definiendo mes a mes, el agua que retiene el suelo proveniente de la lluvia o del riego y que el cultivo puede extraer de la zona radicular. (IDEAM, 2015).

El balance de agua en el suelo, conforme a (FAO, 2006) consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un periodo de tiempo establecido para determinar los requerimientos de riego del cultivo. Figura 5-2. Para este fin se utilizó el software CROPWAT desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés). Este programa permite estimar los requerimientos de agua de los cultivos y sus requerimientos de riego a partir de datos climáticos y de cultivo, así mismo permite entre otros cálculos, establecer insumos para definir esquemas de provisión de agua para diferentes patrones de cultivo.

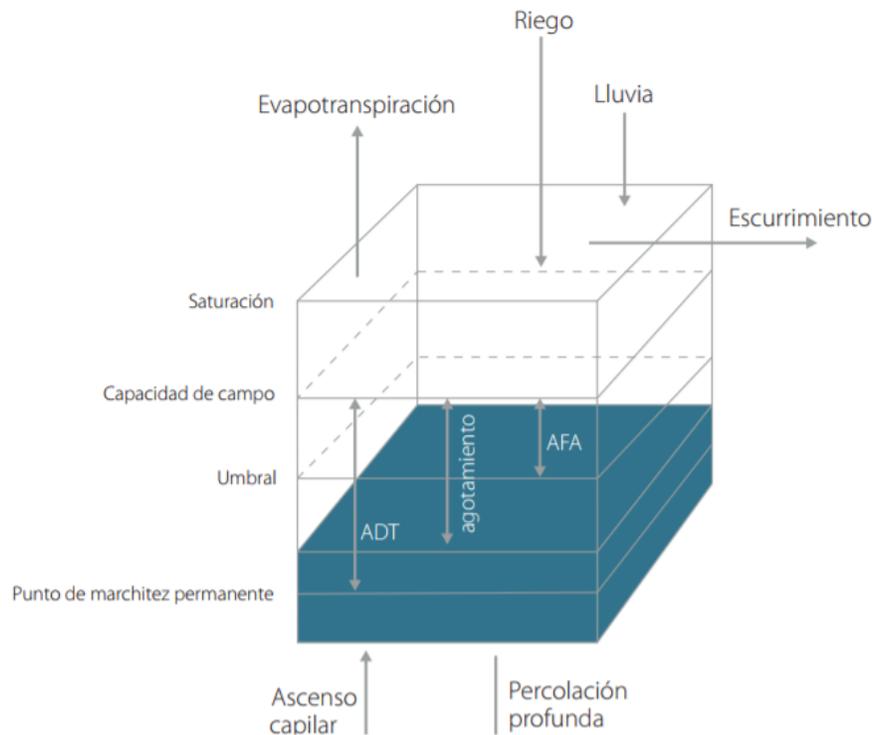


Figura 5-2. Balance de agua en el suelo. Fuente: (IDEAM, 2015), adaptado de (FAO, 2006).

A partir del balance hídrico del suelo se establecen las necesidades de riego de los cultivos, lo cual está relacionado con la cantidad de agua necesaria para alcanzar un equilibrio con la pérdida de agua por evapotranspiración y precipitación efectiva. En este contexto, la necesidad de agua del cultivo viene reflejado en la evapotranspiración del cultivo de referencia. (FAO, 2006).

Conforme lo anterior, en la siguiente figura se presenta el marco metodológico usado por CROPWAT para estimar los requerimientos hídricos del cultivo.

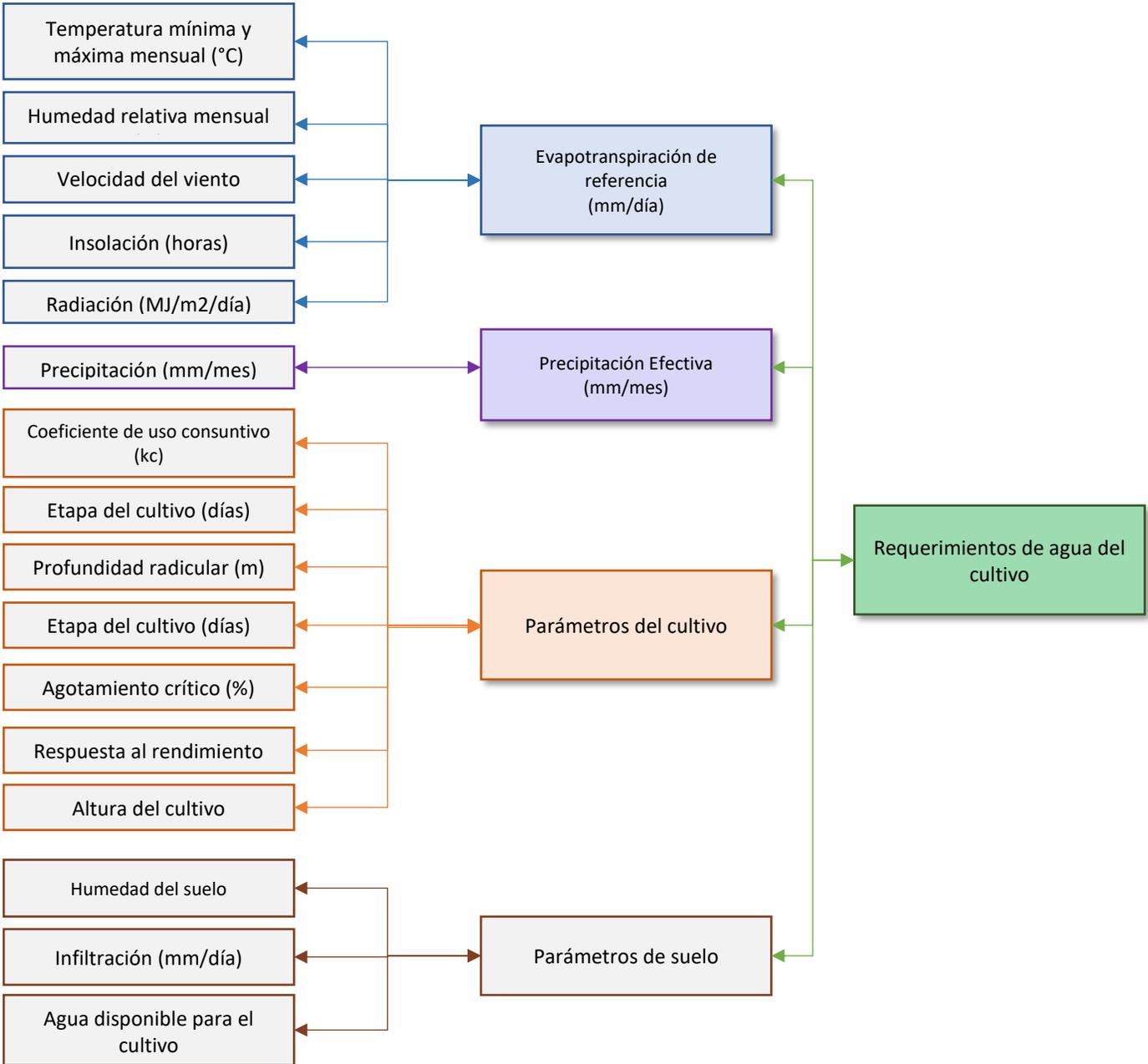


Figura 5-3. Marco metodológico para la estimación de los requerimientos de agua del cultivo de café a partir de CROPWAT.

En la siguiente tabla se presentan las necesidades de información para cada módulo de CROPWAT, así como la fuente de la información recolectada.

<b>MODULO DE CULTIVO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor/Fuente</b>
Coefficiente de uso consuntivo (Kc)	Este coeficiente integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de un cultivo de referencia. La Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc) se calcula multiplicando la evapotranspiración de referencia (ETo) por el kc adecuado para este cultivo.	Se consideró un valor de Kc de 1.05, 1.10 y 1.10 para las etapas inicial, media y final respectivamente: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006).
Etapas del cultivo	Longitud de desarrollo de las etapas del cultivo.	225 días en total para la floración que tiene lugar desde mayo a diciembre y 225 días para la floración ocurrida desde noviembre a junio: Revista Avances Técnicos Cenicafé (Rendón & Montoya, 2015).
Profundidad radicular (m)	Profundidad radicular inicial y valor final asociado a la profundidad máxima que alcanzan las raíces del cultivo.	1.50 metros: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)
Fracción de agotamiento crítico	Corresponde al nivel crítico de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés por falta de agua.	0.45: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)
Respuesta al rendimiento	Factor entre 0 a 1 que expresa la respuesta del rendimiento de un cultivo al aporte de agua.	1: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)
Altura del cultivo (m)	Parámetro que permite ajustar los valores de kc	2.50 metros: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)

Tabla 5-2. Necesidades de información para el módulo de cultivo de CROPWAT.

<b>MODULO DE SUELO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
Humedad del suelo disponible total (mm/metro)	El Agua Disponible Total (ADT) representa la cantidad total de agua disponible para el cultivo. Se define como la diferencia en el contenido de humedad del suelo entre la Capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP).	Cálculos basados en Estudio General de Suelos Departamento de Risaralda (IGAC, 1998) y (FAO, 2006).
Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día)	Representa la lámina de agua que puede infiltrarse en el suelo en un periodo de 24 horas, en función del tipo de suelo, pendiente.	Cálculos basados en Estudio General de Suelos Departamento de Risaralda (IGAC, 1998) y (FAO, 2006).
Profundidad máxima radicular (cms)	Máximo valor que alcanzan las raíces de la planta en el suelo	Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)
Agotamiento inicial de humedad del suelo (% ADT)	Indica la sequedad del suelo al inicio de la época de cultivo. Este parámetro se expresa como porcentaje del Agua Disponible Total (ADT).	Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO, 2006)
Humedad del suelo inicialmente disponible (mm/metro)	Contenido de humedad del suelo al inicio de la temporada de cultivo. Se calcula como el producto del Agua Disponible Total (ADT) por el agotamiento inicial de humedad del suelo.	Cropwat calcula este parámetro automáticamente al ingresar los parámetros anteriores.

Tabla 5-3. Necesidades de información para el módulo de suelo de CROPWAT.

Conforme lo anterior se presenta a continuación los resultados de la estimación de la demanda hídrico para los usos señalados.

### 5.3 Resultados de la estimación de la demanda hídrica.

#### 5.3.1 Demanda hídrica consumo doméstico.

En la siguiente tabla se presentan los resultados sobre la estimación de demanda hídrica para uso doméstico.

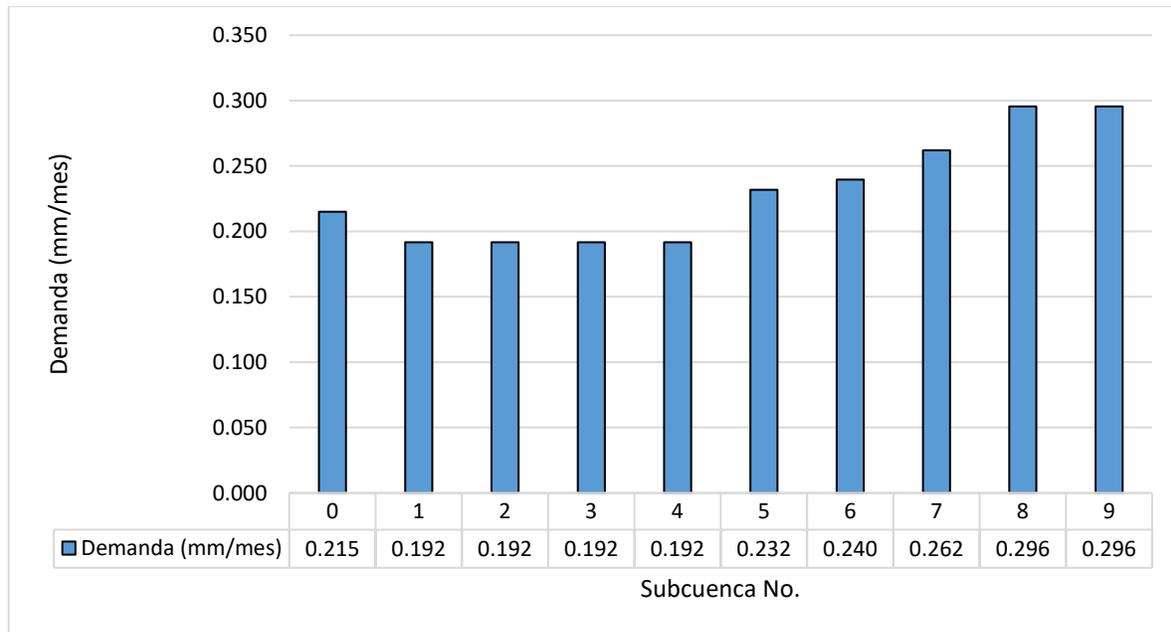


Figura 5-4. Demanda hídrica para uso doméstico. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, aun cuando no existe una variabilidad significativa entre los resultados de demanda para cada subcuenca, se destacan la subcuenca 8 y 9, las cuales se encuentran principalmente en el municipio de Apia, que cuenta con una densidad poblacional mayor que la de Santuario (ver Tabla 5-1). De esta forma se destaca que los resultados sobre demanda hídrica para consumo doméstico son de especial interés frente a la cuantificación del caudal disponible para el sector cafetero, para lo cual se identifica además el caudal ecológico presentado anteriormente como base para establecer la oferta hídrica neta que podría ser aprovechada por el sector beneficiario de recurso hídrico más representativo en la cuenca.

### 5.3.2 Demanda de agua para el beneficio del café.

El beneficio del café se conoce como el proceso que tradicionalmente se ha utilizado para transformar el fruto del café en semilla y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del fruto, del café despulpado y del café lavado), con un consumo de entre 40 a 50 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco. (Rodríguez, Saenz, Oliveros , & Ramírez, 2015).

Este proceso es necesario teniendo en cuenta que el fruto maduro de café (café cereza), una vez cosechado, es un material perecedero, por lo cual debe ser transformado rápidamente a café pergamino seco para preservar su calidad intrínseca. (Rodríguez, Saenz, Oliveros , & Ramírez, 2015). En este sentido el proceso del beneficio requiere el uso de agua para el lavado de la semilla, por lo cual es necesario considerar la cantidad de agua utilizada en este proceso para establecer una demanda hídrica que considere el consumo realizado en las etapas de cosecha de café en la cuenca.

En este sentido se destaca que las épocas de cosecha se dan de acuerdo a dos temporadas: (i): cosecha principal que va desde octubre hasta noviembre y corresponde aproximadamente al 70% de la cosecha anual y (ii): denominada “mitaca”, la cual se presenta de mayo a junio y corresponde aproximadamente al 30% del total de la cosecha anual.

Conforme lo anterior la estimación de la demanda de agua para el beneficio del café se desarrolló con base en el siguiente marco metodológico:

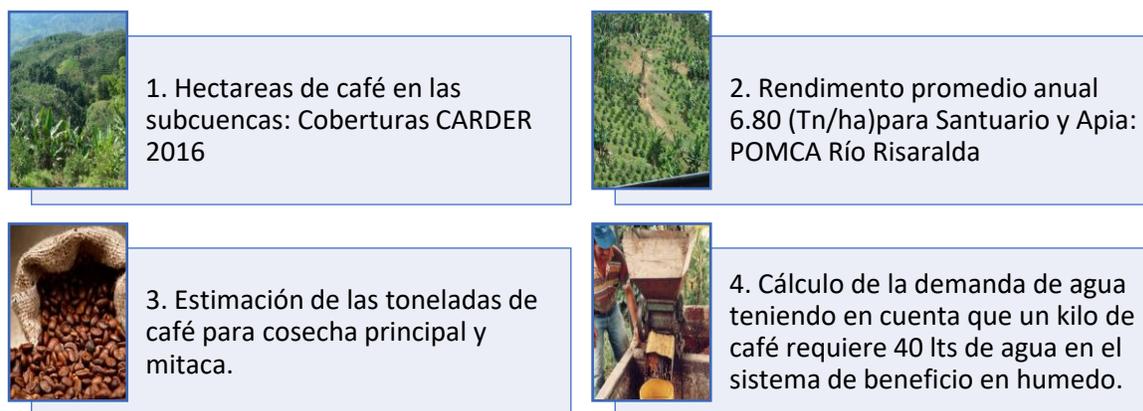


Figura 5-5. Elementos que se consideraron para la estimación de la demanda hídrica para el beneficio del café.

Con base en lo anterior, a partir del shape de coberturas de la cuenca del Río Risaralda proporcionado por la CARDER se calcularon las hectáreas de café que se encuentran en las subcuencas delimitadas que se presentaron en la Figura 5-1. De esta manera se presenta en la siguiente tabla las áreas destinadas para cultivo de café en cada subcuenca:

Subcuenca No.	Has café
0	1209.98
1	1.39
2	48.21
3	1050.49
4	863.09
5	0.00
6	691.41
7	662.33
8	1825.71
9	200.33
<b>Total</b>	<b>6552.95</b>

Tabla 5-4. Área de las subcuencas de interés para la estimación de la demanda hídrica. Fuente: Cálculos propios.

Teniendo en cuenta las hectáreas destinadas en la cuenca para la producción de café se estimó la demanda hídrica para el beneficio de café conforme a los periodos de cosecha, de esta forma se consideró un rendimiento diferenciado del café de acuerdo con los porcentajes de las cosechas en sus diferentes periodos como se muestra en la siguiente tabla:

Periodo de cosecha	Cosecha (%)	Rendimiento para la cosecha (Tn/ha)
Octubre a Noviembre (Cosecha Principal)	70	4.76
Abril a Junio (Mitaca)	30	2.04
<b>Total</b>		<b>6.8</b>

Tabla 5-5. Rendimientos de la producción de café conforme a los porcentajes de participación de la cosecha anual. Fuente: Elaboración propia con base en el POMCA del Río Risaralda.

Con base en lo anterior se consideraron los meses de noviembre y diciembre de la cosecha principal y los de mayo a junio para la mitaca; para asignar valores de demanda hídrica por beneficio de café a las subcuencas con presencia de estos cultivos, de acuerdo con las coberturas brindadas por la CARDER. En este sentido se obtuvieron los siguientes resultados:

Periodo de cosecha	Demanda hídrica (mm/mes)
Cosecha Principal	1.58
Mitaca	0.68

Tabla 5-6. Demanda hídrica para el beneficio de café de acuerdo al tipo de cosecha. Fuente: Cálculos propios con base al POMCA del Río Risaralda.

### 5.3.3 Requerimientos de agua para el cultivo de café.

A partir de la ejecución en CROPWAT y de acuerdo a las necesidades de información para la estimación de demanda hídrica del cultivo de café se obtuvo información sobre las necesidades de agua de los cultivos de café para cada subcuenca. Con estos insumos se elaboraron dos más a partir de una interpolación con el método de IDW en relación a los requerimientos de agua para el café de manera distribuida en la cuenca, como se muestra en los siguientes mapas:

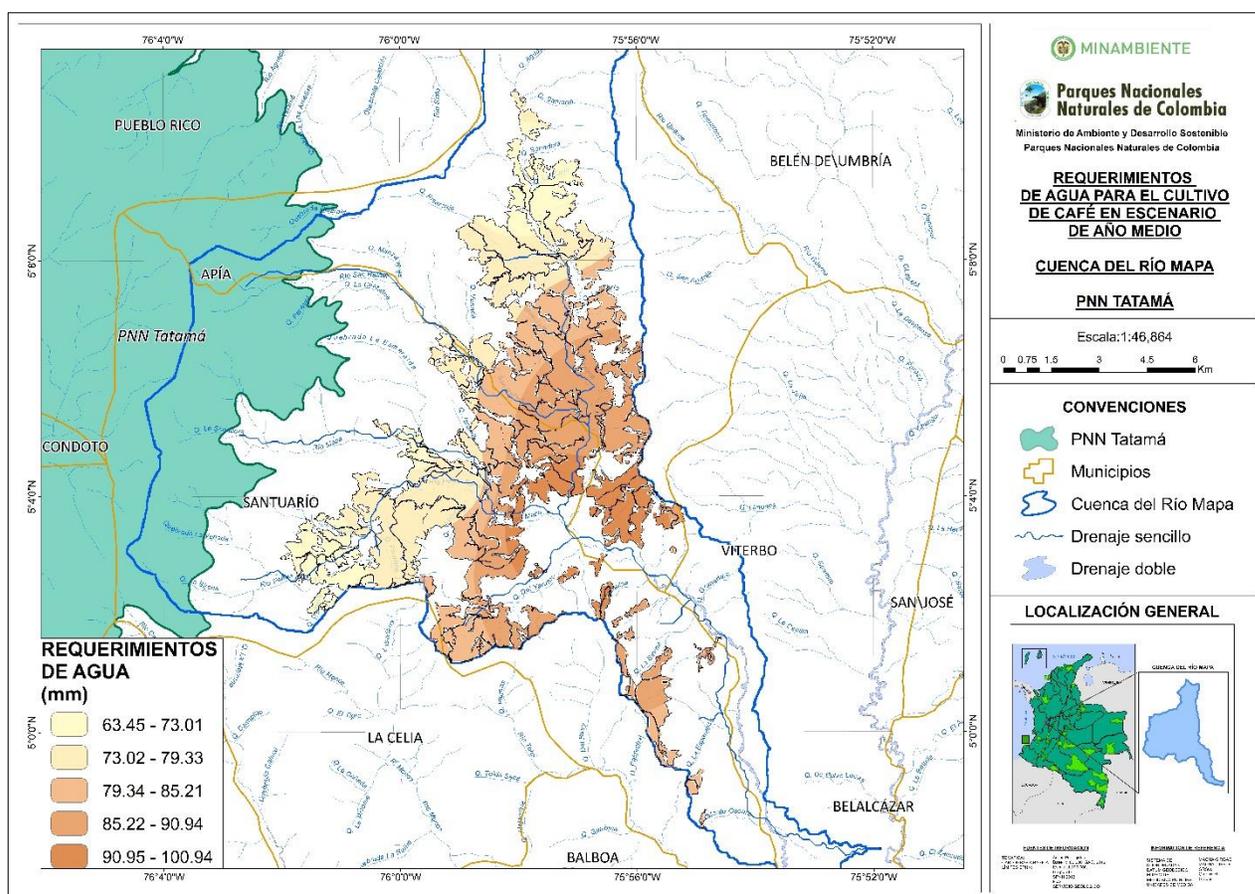


Figura 5-6. Requerimientos de agua para el cultivo de café en escenario de año medio. Fuente: Autores con base en salida de programa CROPWAT.

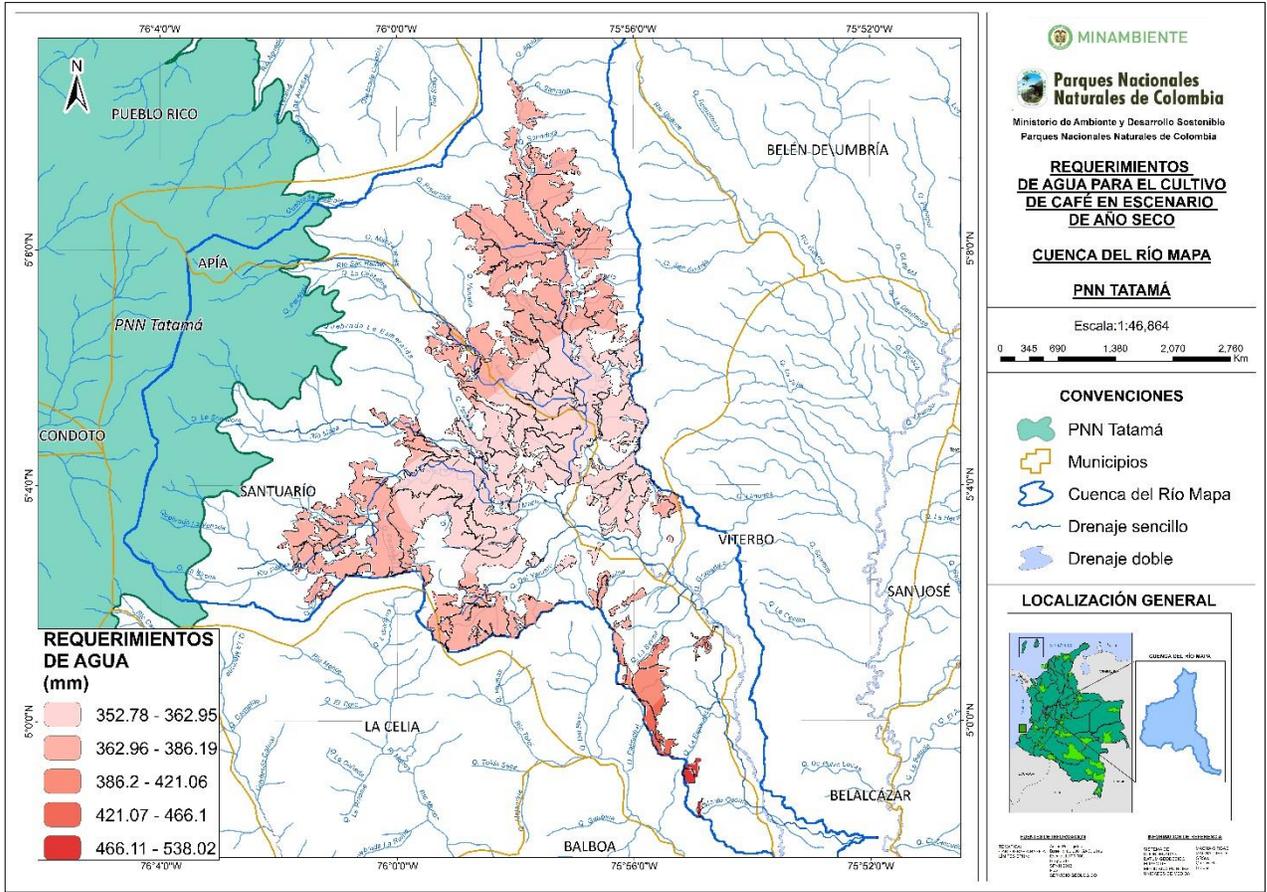


Figura 5-7. Requerimientos de agua para el cultivo de café en escenario de año seco: Fuente: Autores con base en salida de programa CROPWAT.

## 6 VALORACIÓN ECONÓMICA.

A partir de la revisión de servicios ecosistémicos realizada con el equipo del parque como parte del ejercicio de modelo conceptual, se identificó una oportunidad interesante de abordar una valoración económica para el servicio ecosistémico de provisión de agua para el sector cafetero que se surte del agua proveniente de la Cuenca del Río Mapa. En este sentido, como insumo básico para adelantar dicha valoración consideró la información sobre los requerimientos de agua del cultivo de café bajo condiciones de año seco, a fin de identificar la oferta hídrica necesaria para suplir las necesidades de este cultivo, y así mismo, reconocer periodos en los cuales la oferta hídrica neta de la cuenca no es suficiente para satisfacer la demanda de esta actividad.

La valoración económica en este caso tiene como objetivo generar una primera aproximación frente a los efectos negativos que se presentarían en materia económica por la disminución en la producción de café en la cuenca debido a la sequía. En este sentido se usó el método de valoración por “precios de mercado”, el cual se utiliza en el caso de bienes ecosistémicos que forman parte de mercados convencionales, que para este caso corresponde al recurso hídrico en relación con el cultivo de café, el cual cuenta con un mercado establecido.

Este método de valoración económica considera el efecto económico en un actor determinado que tendría una variación en la cantidad o calidad de un servicio ecosistémico. (Ministerio del Ambiente, 2015). En este caso el servicio ecosistémico corresponde a la provisión de agua y el sector económico corresponde entonces a la actividad del cultivo de café, teniendo en cuenta la relación de causalidad presentada en un año seco en donde la demanda de agua que no alcanza a ser suplida por la oferta hídrica neta disponible, ocasiona una pérdida en la producción del cultivo de café, con lo cual se puede estimar el efecto que en términos monetarios se tendría en la cuenca producto de una menor producción del grano en condiciones asociadas al fenómeno del niño.

Con base en lo anterior, se utilizó la información de demanda hídrica asociada al riego del cultivo y a la cantidad de agua utilizada con respecto al beneficio del café, bajo el supuesto de que todo el beneficio se realiza en húmedo. Con esta información se consolidó entonces la demanda hídrica total para el cultivo de café en los dos periodos de floración, con lo cual se comparó la oferta hídrica neta disponible con el fin de identificar periodos en los cuales la demanda superaba a la oferta, para de esta manera estimar las pérdidas económicas potenciales relacionadas con la disminución en la producción de café.

A partir de la información consolidada se trabajó bajo el siguiente esquema metodológico para llegar a la valoración económica de las pérdidas asociadas por déficit hídrico en los cultivos de café en la cuenca:

## 6.1 Información utilizada y metodología.

Item	Unidad	Descripción
Requerimientos de agua del cultivo	(mm/mes)	Cantidad de agua necesaria para el desarrollo del cultivo. Resulta de la estimación adelantada mediante el balance hídrico del suelo a través del programa Cropwat.
Demanda hídrica para el beneficio del café	(mm/mes)	Cantidad de agua usada para el beneficio del café. (ver sección 5.3.2.)
Oferta hídrica neta	(mm/mes)	(mm/mes): Oferta hídrica disponible luego de descontar el caudal ecológico. (ver sección 4.2) y la demanda de agua para uso doméstico. (ver sección 5.3.1).
Identificación de meses con déficit hídrico:		Meses donde la demanda de agua supera la oferta hídrica disponible.
Oferta hídrica en meses con déficit hídrico	(mm/mes)	Cantidad de agua total que estaría disponible para los cultivos de café en los meses con déficit hídrico.
Demanda de agua en meses con déficit hídrico	(mm/mes)	Necesidad de agua total de los cultivos de café en los meses con déficit hídrico
Producción teórica vs producción estimada	Tn/ciclo de floración	La producción teórica corresponde a la cantidad de café en Tn que se produciría si se cumplieran todas las necesidades de agua del cultivo en comparación con las producidas con la oferta disponible. Para esta estimación se consideraron los rendimientos diferenciados por cosecha como se muestra en la Tabla 5-5.  Por su parte, la producción estimada corresponde a una aproximación sobre la cantidad de café que se produciría con la oferta hídrica disponible.
Pérdida de producción de café por sequía	Tn/año	Corresponde a la diferencia entre las producciones teóricas y estimadas de café en los dos periodos de floración para las subcuencas afectadas por el déficit hídrico en la temporada de sequía.
Valor económico de las pérdidas de producción	\$	Cuantificación monetaria de las pérdidas de producción por sequía, considerando el valor promedio pagado al productor por una tonelada de café, el cual corresponde a \$5,922,072.225, de acuerdo con reportes de precio Interno del Café Colombiano. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2017).

Tabla 6-1. Información necesaria para la valoración económica.

Es necesario señalar que la cantidad producida estimada de café se obtiene a partir de una regla de 3 que considera la necesidad total de agua en los meses déficit hídrico como la cantidad de agua que permitiría la producción total de café en la cuenca, teniendo en cuenta el rendimiento por cosecha (4.76 Tn/ha para la cosecha principal y 2.04 Tn/ha para la mitaca). De esta manera, se calcula la cantidad que se produciría con base en la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{OHD * PT}{DHT}$$

Donde,

*PE*: Producción de café estimada en Tn.

*OHD*: Oferta hídrica total disponible en mm para los meses con déficit hídrico.

*PT*: Producción teórica en Tn.

*DHT*: Demanda hídrica total en mm para los meses con déficit hídrico.

Es importante mencionar que para la identificación de las subcuencas donde se presentarían pérdidas de producción por sequía, se tuvo en cuenta que se presentará una condición deficitaria de agua por más de dos meses seguidos teniendo en cuenta que de acuerdo con (Ramírez , y otros, 2014) los efectos negativos del fenómeno del niño sobre el cultivo de café se acrecientan ente otras razones por presentarse más de dos meses consecutivos secos.

## **6.2 Resultados de la valoración económica:**

De acuerdo a los meses identificados con déficit hídrico en las subcuencas delimitadas como se muestra en los anexos 7 y 8 se presenta en la siguiente tabla el valor económico asociado a las pérdidas de producción del cultivo de café por el efecto de la sequía.

Subcuenca No.	Mayo - Diciembre			Noviembre a junio			Pérdidas de producción anuales en Tn	Valor económico (Millones de pesos)
	Producción teórica	Producción Estimada	Pérdida de producción	Producción teórica	Producción Estimada	Pérdida de producción		
	Tn	Tn	Tn	Tn	Tn	Tn		
0	5766.30	2648.28	3118.03	2471.27	851.18	1620.09	4738.11	\$ 28,059.46
1	6.64	6.64	0.00	2.85	1.19	1.65	1.65	\$ 9.79
2	229.77	229.77	0.00	98.47	28.96	69.51	69.51	\$ 411.66
3	5006.22	5006.22	0.00	2145.52	909.05	1236.47	1236.47	\$ 7,322.47
4	4113.18	4113.18	0.00	1762.79	1236.08	526.71	526.71	\$ 3,119.22
5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6	3294.99	3294.99	0.00	1412.14	777.05	635.09	635.09	\$ 3,761.02
7	3156.43	3156.43	0.00	1352.75	N/A	0	0.00	\$ -
8	8700.67	8700.67	0.00	3728.86	N/A	0	0.00	\$ -
9	954.69	954.69	0.00	409.15	309.07	100.08	100.08	\$ 592.70
<b>Total</b>	<b>31228.89</b>	<b>28110.86</b>	<b>3118.03</b>	<b>13383.81</b>	<b>4112.59</b>	<b>4189.60</b>	<b>7307.63</b>	<b>\$ 43,276.31</b>

Tabla 6-2. Valoración económica de las pérdidas asociadas con la disminución de la producción de café por sequía en las subcuencas que cuentan con áreas de dicho cultivo.

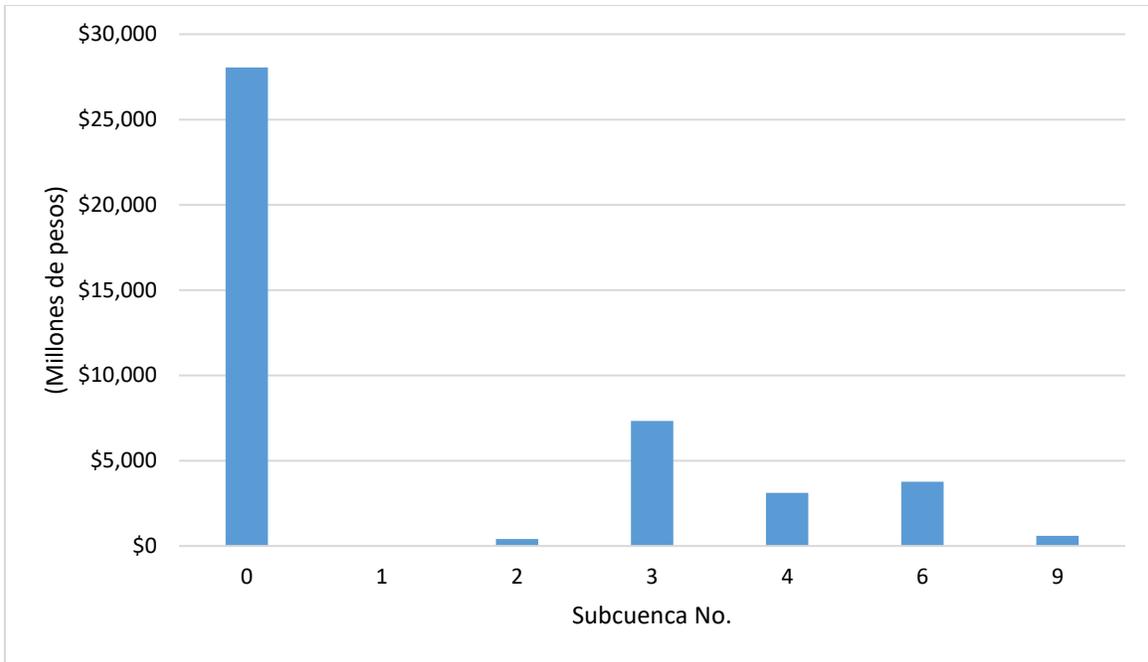


Figura 6-1. Resultados consolidados de la valoración económica por subcuenca.

De acuerdo con los resultados, en la subcuenca 0 se presenta la mayor pérdida económica por sequía, de alrededor de \$28 mil millones de pesos anuales. De igual forma se identifica que para la subcuenca 3 se presentan pérdidas económicas significativas por un valor aproximado de \$ 7322 millones anuales. Finalmente, en conjunto para la cuenca del Río Mapa, se calculan pérdidas económicas asociadas a la sequía y su efecto en la disminución de la producción de cultivos de café por un valor de \$43,276.31 millones aproximadamente.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La precipitación del área de estudio, exhibe un patrón bimodal, con épocas de más altas precipitaciones en abril y noviembre, que pueden variar de 2257 mm/año en la parte alta de la cuenca a 2034 mm/años. Los caudales observados en la estación LA-BRETANA (26147130), también exhiben un patrón bimodal, pero con épocas de más altos caudales para mayo y noviembre.
- Los resultados de la modelación con el método del número de Curva, no son concluyentes; en tanto que no fue posible hallar un conjunto de parámetros que reprodujera de manera aceptable los caudales en el punto de control. Esto puede deberse a que el método sigue de manera importante el patrón de precipitación y que por su parte los caudales no.
- Pese a que, en el marco metodológico, se planteó la posibilidad de incluir resultados de simulaciones que comprendieran el cambio en las coberturas; la pobre simulación hidrológica, lograda por el método de CN no permitió que este ejercicio se realizara.
- Dadas las anteriores conclusiones, se recomienda repetir los cálculos como resultado de la investigación de métodos más eficientes (simulación con otro tipo de modelos -tanques, distribuidos. Etc., e incluso algunos basados en la distribución por áreas o homologan de cuencas); o el acople de varios de estos para obtener resultados más concluyentes.
- Finalmente, durante el ejercicio de desarrollo del modelo conceptual, el equipo del AP identificó la oportunidad de desarrollar ejercicios similares al presentado en este documento (y su complemento con el cálculo de la demanda hídrica, para las cuencas de interés para AsoCaña, en donde el SE sea la regulación hídrica, en favor del control de inundaciones.
- El análisis de la demanda hídrica para los cultivos de café evidencia que, si bien en año medio no se requiere aplicar riego a los cultivos, en época seca si es necesario considerar usar algún tipo de riego para evitar pérdidas económicas relacionadas con la disminución de la productividad del cultivo.
- Es importante diseñar e implementar estrategias que permitan reducir el consumo de agua frente al beneficio del café, optando por cambios tecnológicos que propendan por la aplicación de un beneficio ecológico que favorezca la disminución de la cantidad de agua utilizada en esta actividad. De igual forma, es necesario diseñar estrategias enmarcadas en la producción del cultivo de café en condiciones de sequía con el fin de buscar alternativas que permitan reducir la demanda hídrica para el desarrollo del cultivo.
- Los resultados de la valoración económica deben ser considerados como una primera aproximación sobre los efectos económicos relacionados con las pérdidas monetarias con relación al cultivo de café. En este sentido es importante destacar que los resultados de la

estimación económica se deberán corroborar en la medida en que se cuente con un modelo hidrológico calibrado que permita generar información confiable en relación a insumos con los cuales se pueda estimar de manera más detallada los meses con déficit hídrico; información base para la valoración económica.

## 8 BIBLIOGRAFÍA.

1. Brian E. Skahill. (2006). *Potential Improvements for HEC-HMS Automated Parameter Estimation*. Coastal and Hydraulics Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center.
2. CARDER. (2008). *Diagnóstico de Riesgos Ambientales del Municipio de Santuario*. Pereria - Risaralda: Corporación Autonoma Regional de Risaralda - CARDER.
3. CARDER, CORPOCALDAS, PNN. (2012). *AVANCE FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA*. Pereria, Risaralda: Corporación Autonoma Regional de Risaralda.
4. CATIE. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
5. FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, Riego y Drenaje, 56*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
6. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2017). *Estadísticas Historicas Información estadística cafetera sobre precios del café*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2017, de [https://www.federaciondefcafeteros.org/clientes/es/quienes\\_somos/119\\_estadisticas\\_historicas/](https://www.federaciondefcafeteros.org/clientes/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas/)
7. Fundación CIPAV. (2011). *Diseño de un esquema de compensaciones - Pago por Servicios Ambientales en la Cuenca del Río Cali*. Cali, Valle del Cauca: Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV.
8. IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua - 2014*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
9. IGAC. (1998). *Estudio General de Suelos Departamento de Risaralda*. Bogotá D.C.: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC.
10. Juraj , M., & Slobodan , P. (2004). *Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrological model*. Technical report, University of Western Ontario.
11. MADS & IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá D.C. Colombia: Ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
12. MAVDT. (2003). *CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA BASE DE INFORMACIÓN AMBIENTAL PARA COLOMBIA Y ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL CON CORTE A 2001*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

13. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B Sistemas de Acueducto*. Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf>
14. Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural*. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente Puerú.
15. PNUD. (2013). *Evaluación del bienestar humano y ambiente en el corredor seco oriental de Guatemala*. Guatemala: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo.
16. Ramírez , V., León, Á., Benavides, P., Constantino, L., Gil, Z., Sadeghian, S., & González , H. (2014). *Recomendaciones para la reducción del riesgo en la caficultura de Colombia ante un evento climático de El Niño*. Centro Nacional de Investigaciones del Café - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Programa de Investigación Científica Fondo Nacional del Café. Manizales, Caldas, Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0445.pdf>
17. Rendón, J., & Montoya, E. (Mayo de 2015). ¿Como registrar las floraciones en los cafetales? (S. Marín, Ed.) *Avances Técnicos Canicafé*.
18. Rodríguez, N., Saenz, J., Oliveros , C., & Ramírez, C. (2015). *Beneficio del café en Colombia - Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso del beneficio húmero de café*. Bogotá: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Federación Nacional de Cafeteros. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>
19. Thirasak , S. (1985). A GUIDE TO SCS RUNOFF PROCEDURES. *Technical Report*, 5, 85.
20. Universidad Nacional. (2012). *Valoración económica ambiental: conceptos, métodos y aplicaciones*. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR.

## 9 ANEXOS.

### Anexo 1. Distribución intra - anual de la temperatura mínima.

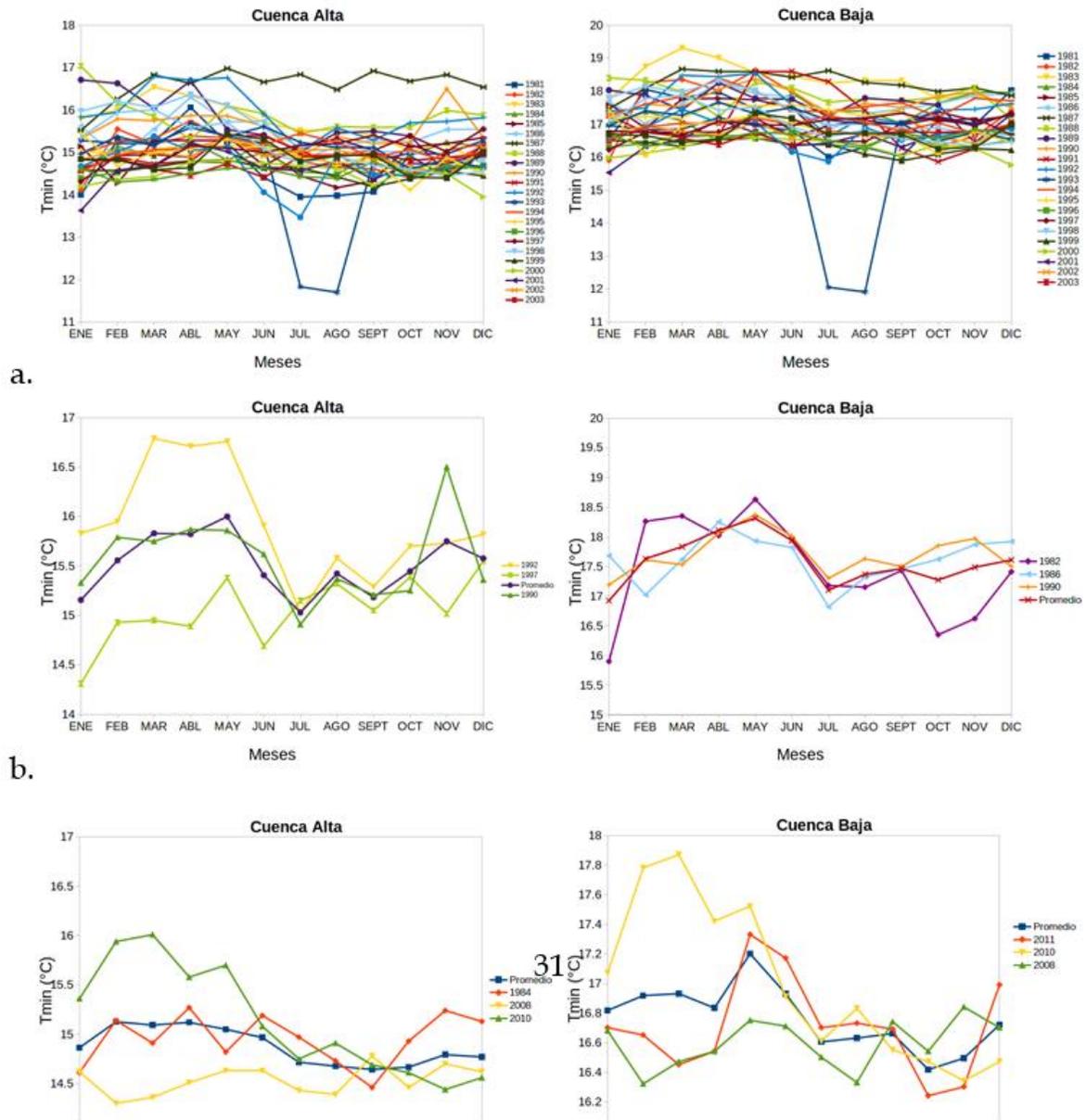


Figura 9-1. Distribución intra - anual de la temperatura mínima: por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña.

**Anexo 2. Distribución intra - anual de la temperatura máxima.**

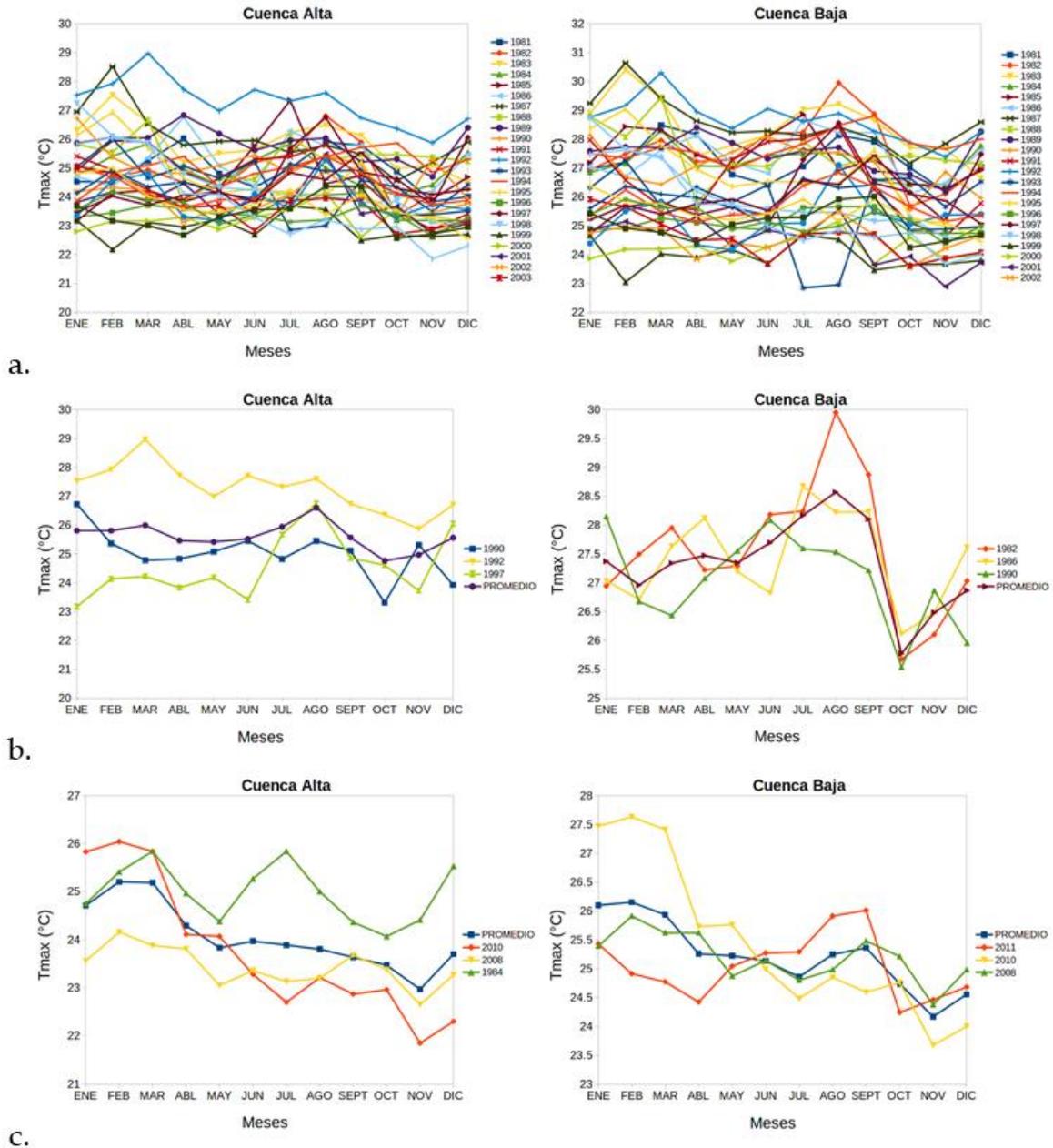


Figura 9-2.: Distribución intra anual de la temperatura máxima: por separado para cada año entre 1981 y 2011 (a.) Valores para escenario El Niño (b.) Valores para escenario La Niña.

**Anexo 3. Caudal para cada punto de gestión.**

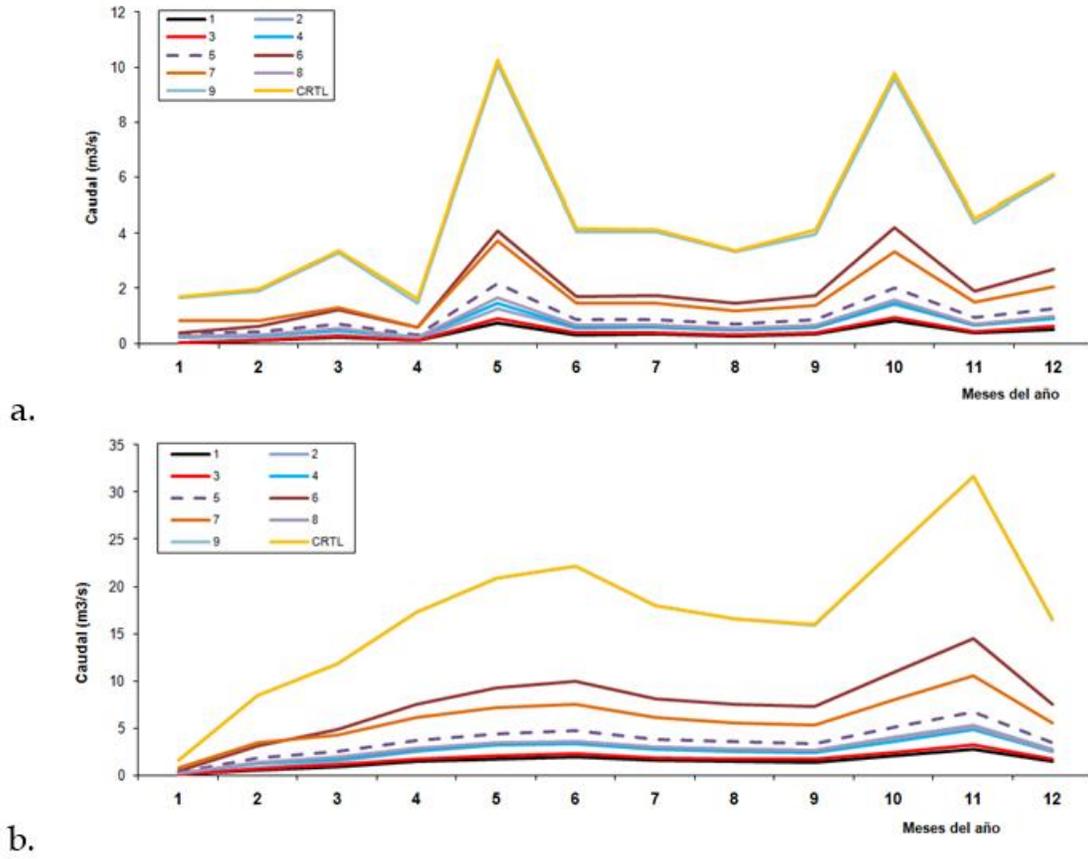


Figura 9-3. Resultados de Caudal en m<sup>3</sup>/s para cada punto de gestión, en las fases: El Niño (a) y La Niña (b), promedio mensual multianual.

#### Anexo 4. Precipitación efectiva en mm de lluvia para cada punto de gestión.

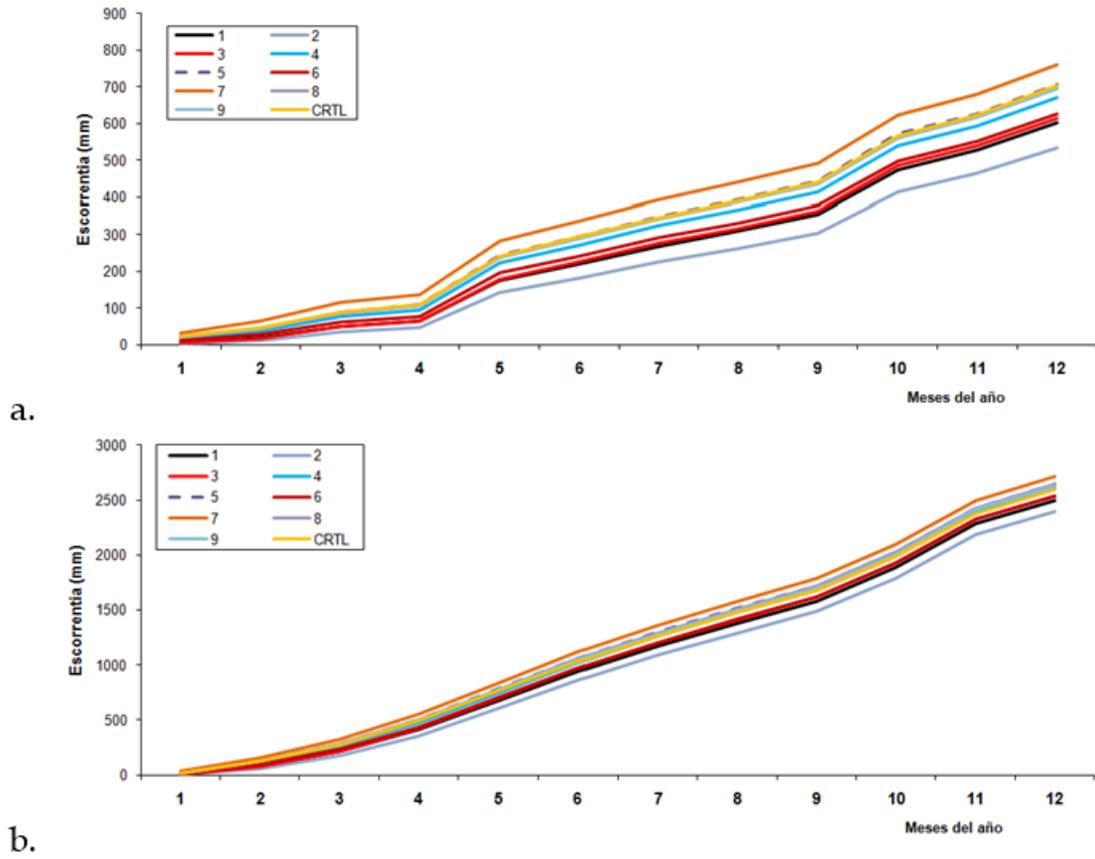


Figura 9-4. Resultados de Precipitación efectiva en mm de lluvia para cada punto de gestión, en las fases: El Niño (a) y La Niña (b).

**Anexo 5. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año medio.**

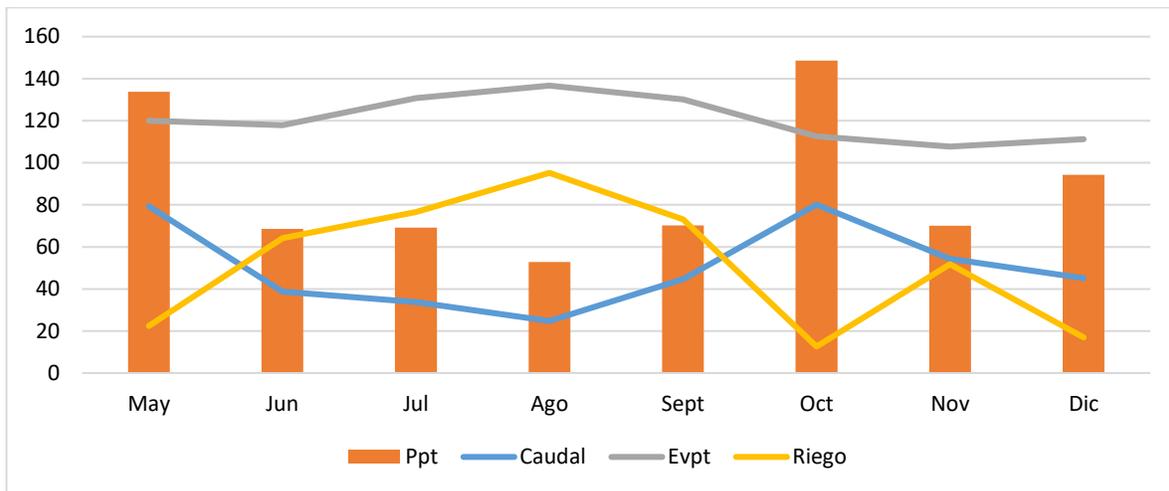


Figura 9-5. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

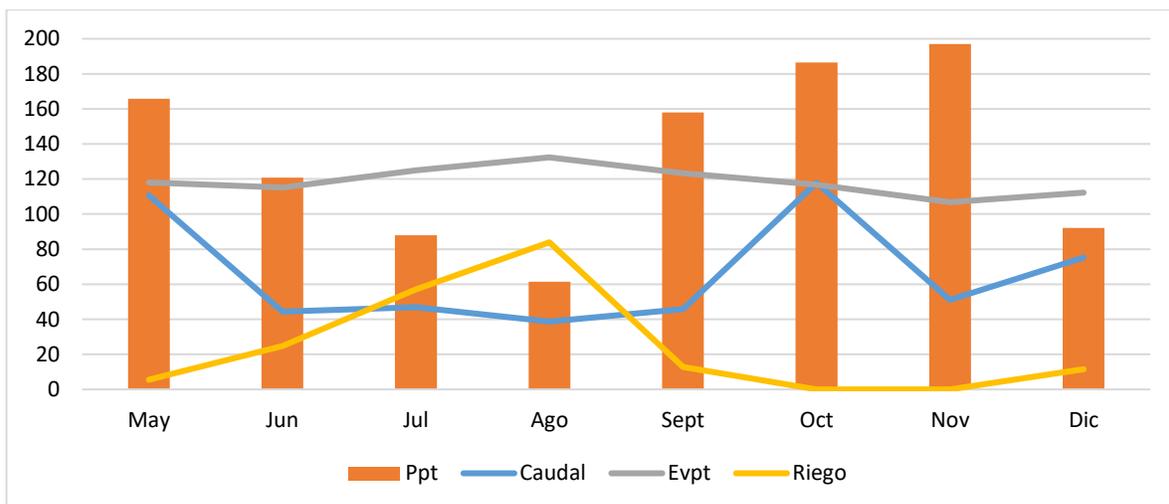


Figura 9-6. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

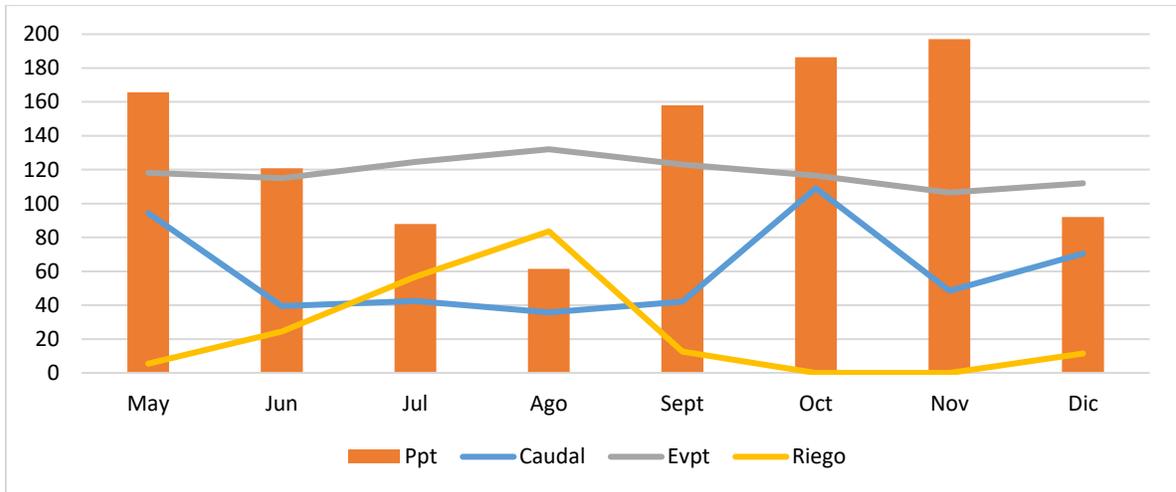


Figura 9-7. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

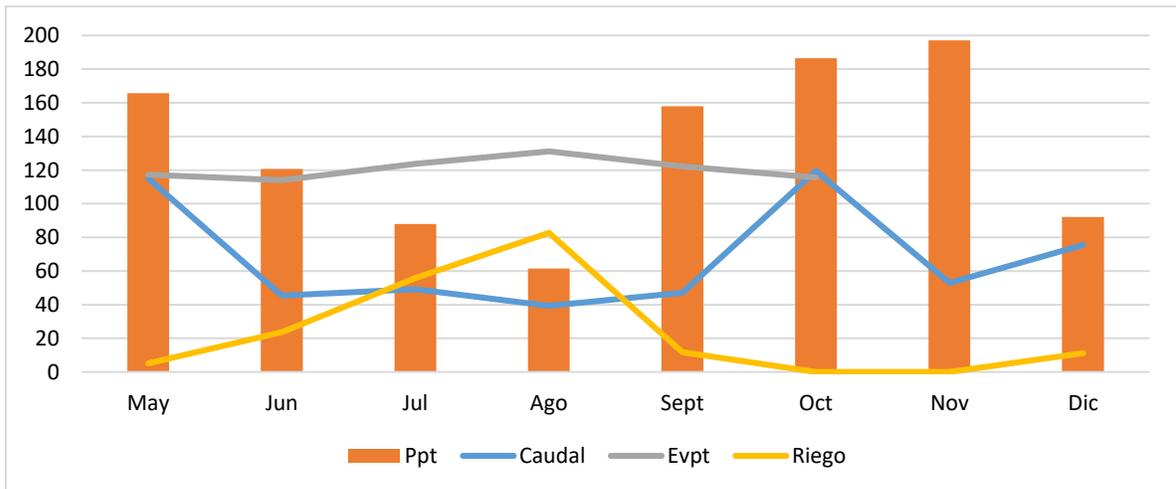


Figura 9-8. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

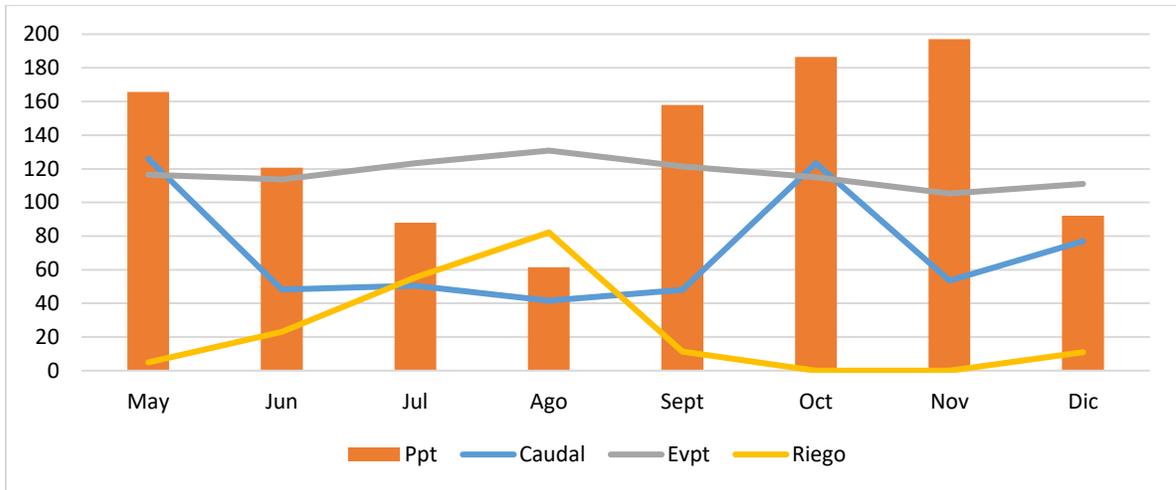


Figura 9-9. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 4. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

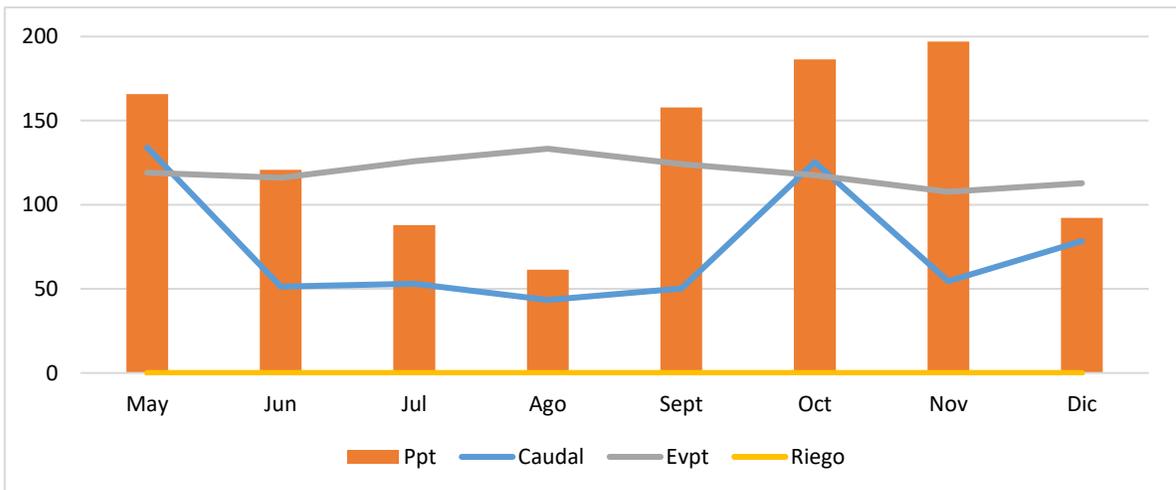


Figura 9-10. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 5. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

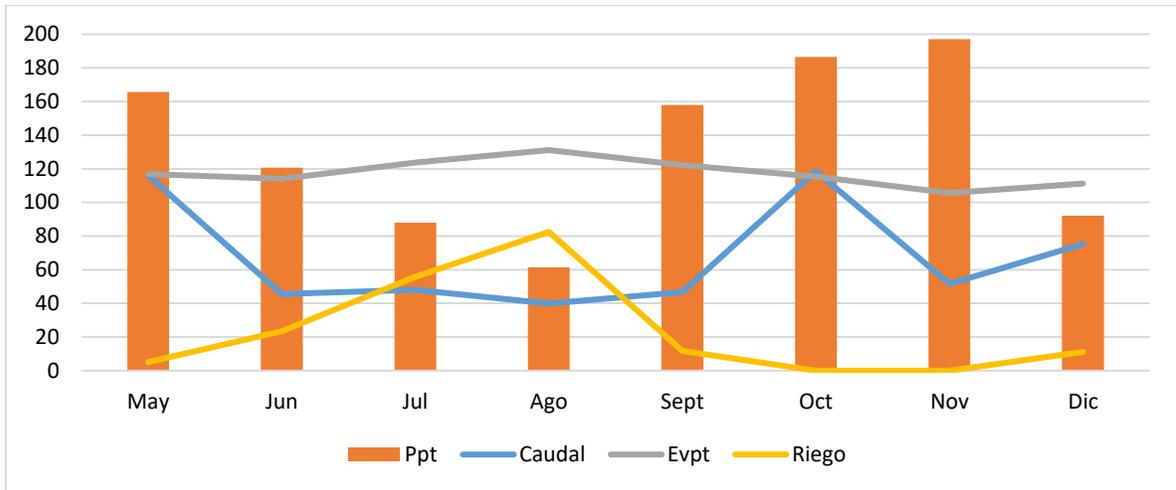


Figura 9-11. Oferta y demanda hídrica para la subcuencia 6. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

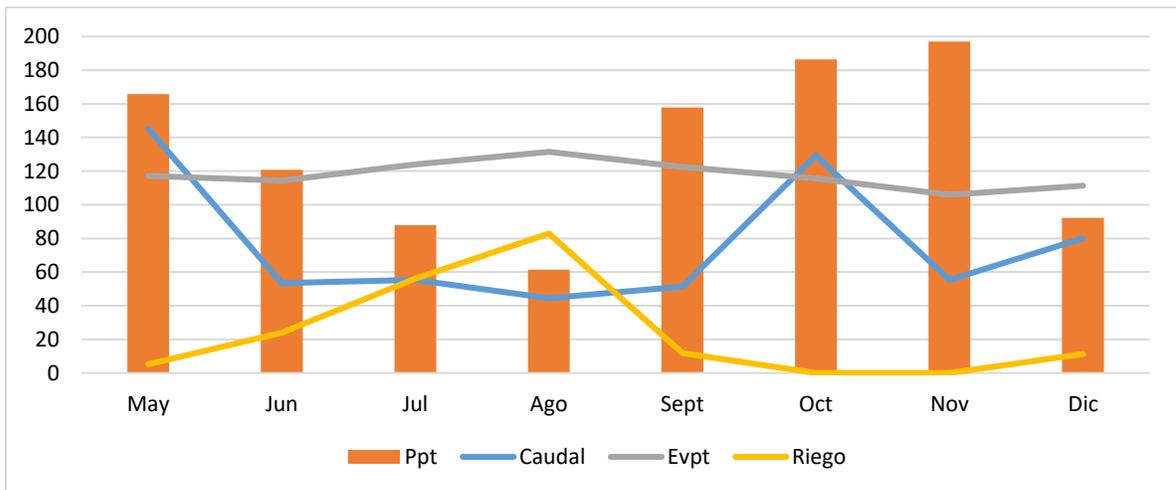


Figura 9-12. Oferta y demanda hídrica para la subcuencia 7. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

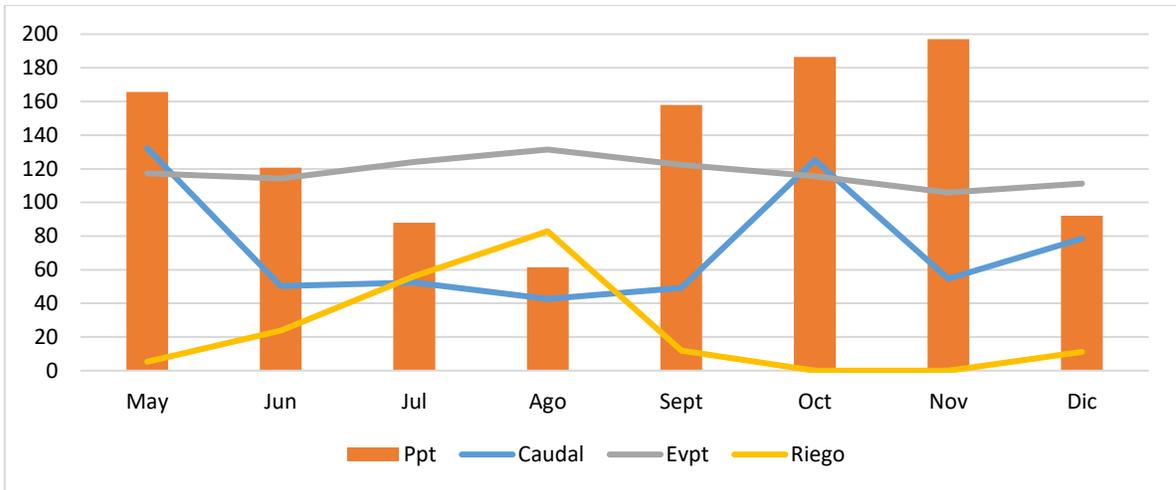


Figura 9-13. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

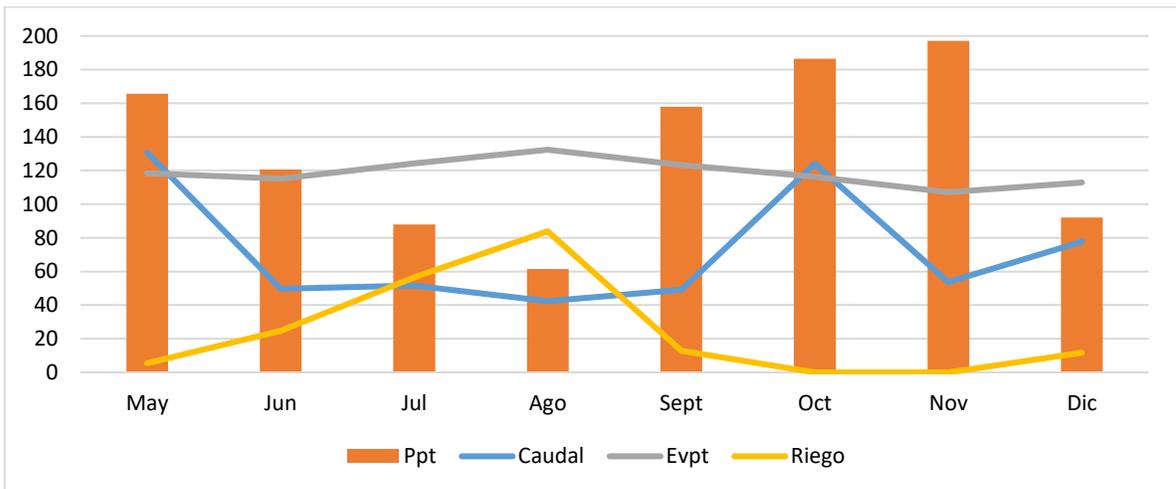


Figura 9-14 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

**Anexo 6. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de noviembre a junio en año medio.**

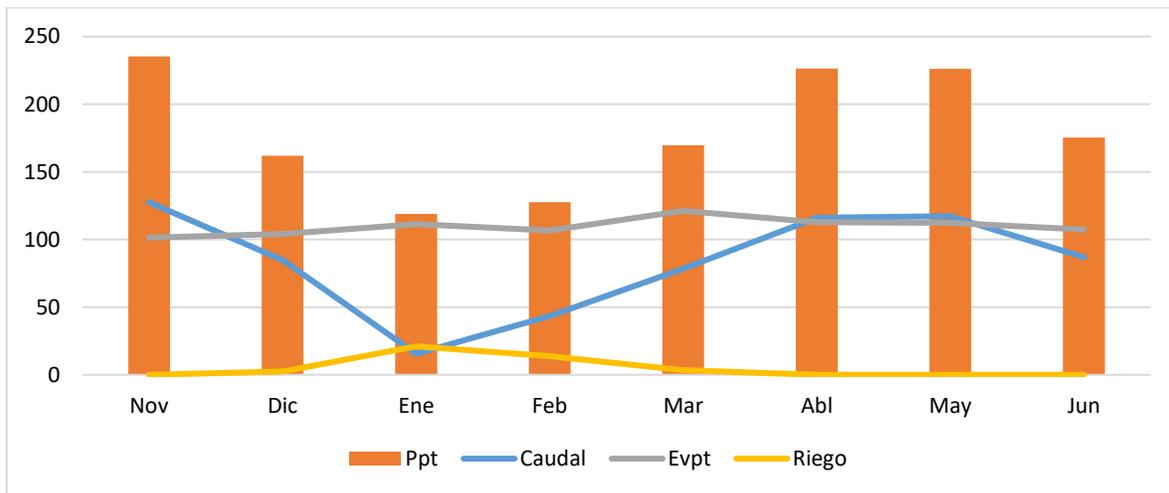


Figura 9-15 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

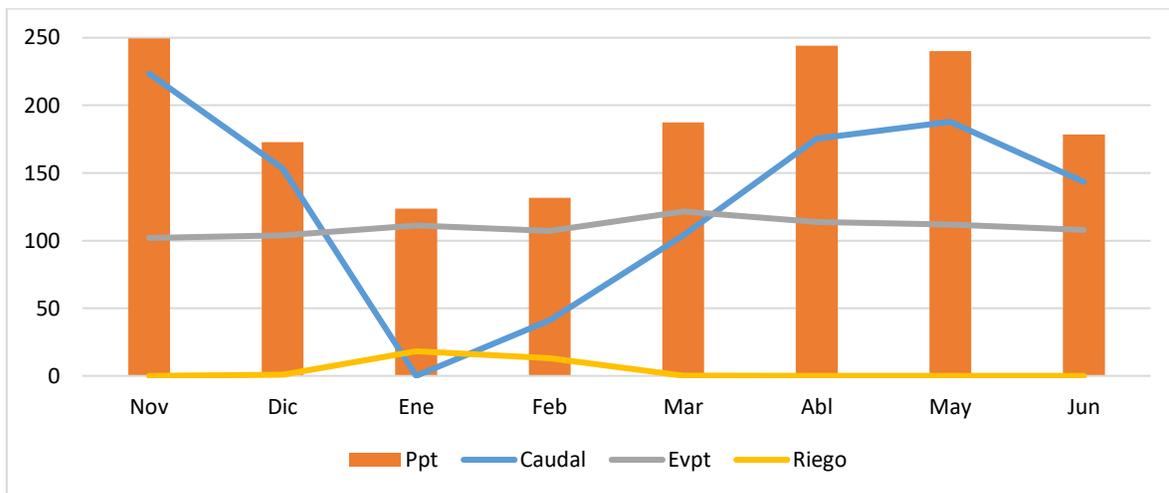


Figura 9-16 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

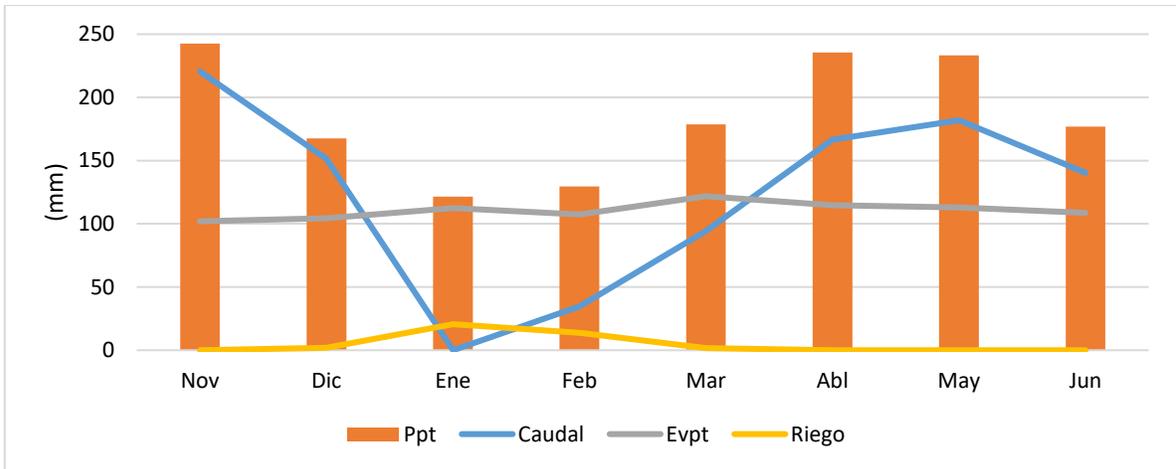


Figura 9-17. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

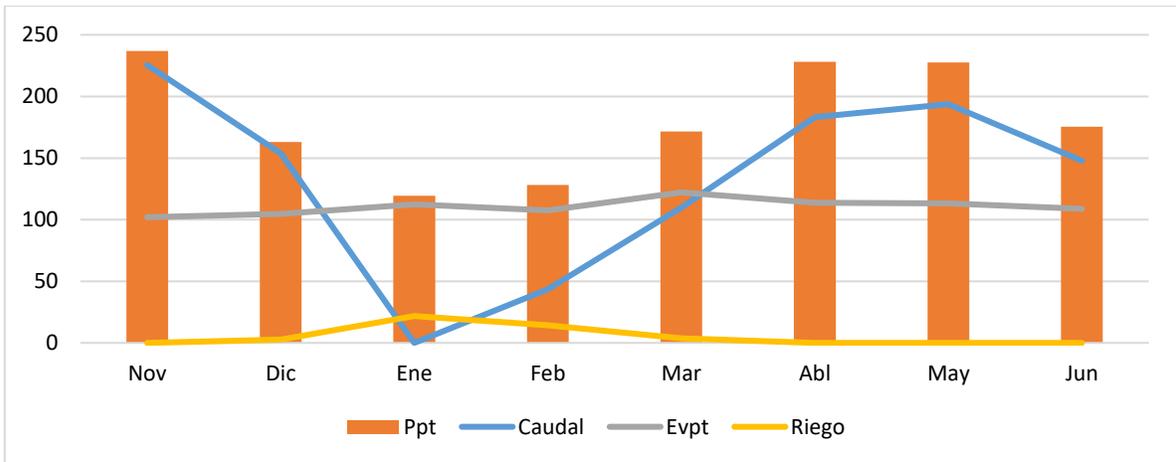


Figura 9-18. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

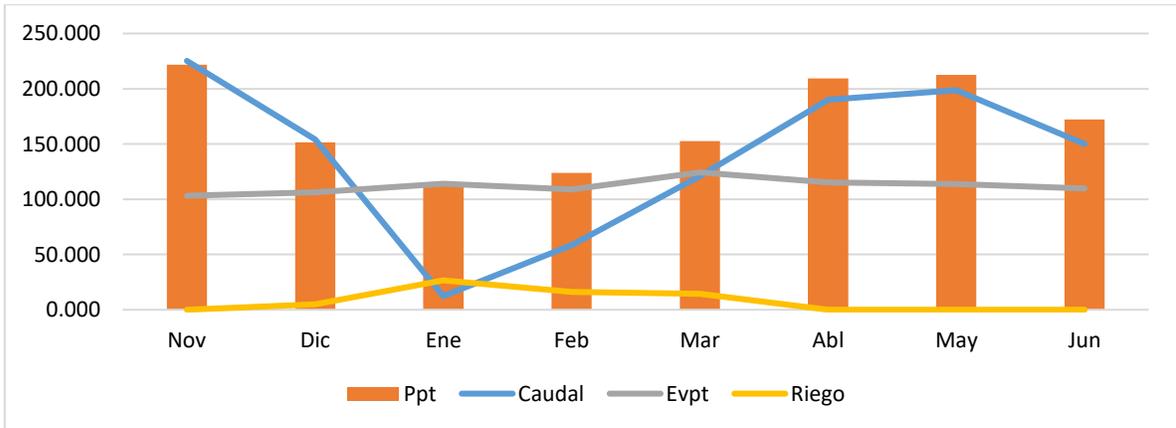


Figura 9-19. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

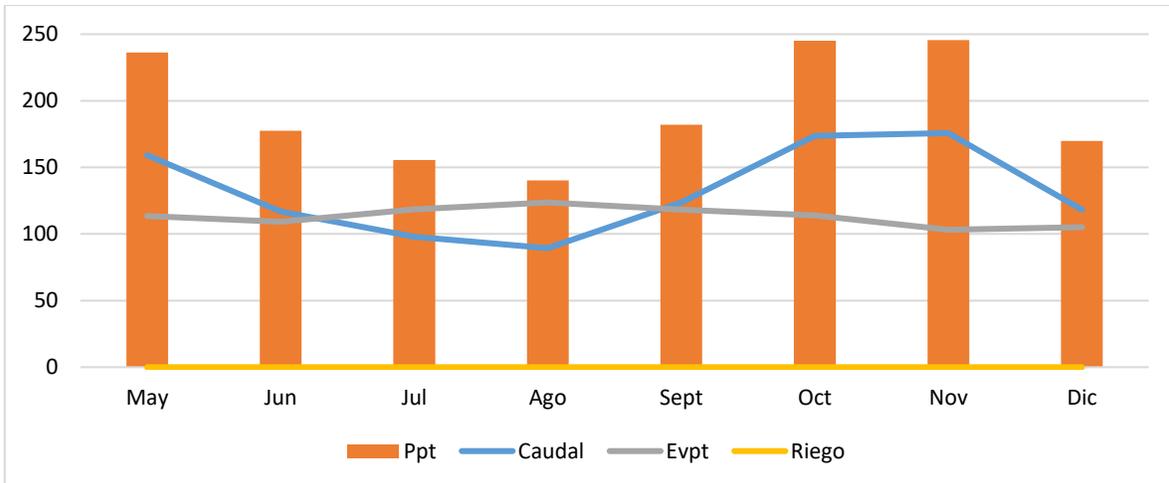


Figura 9-20. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

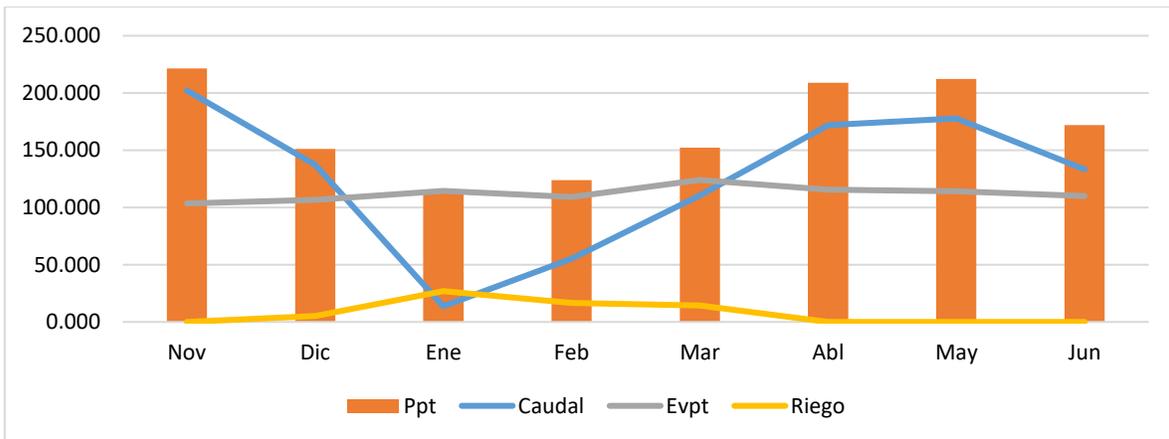


Figura 9-21. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

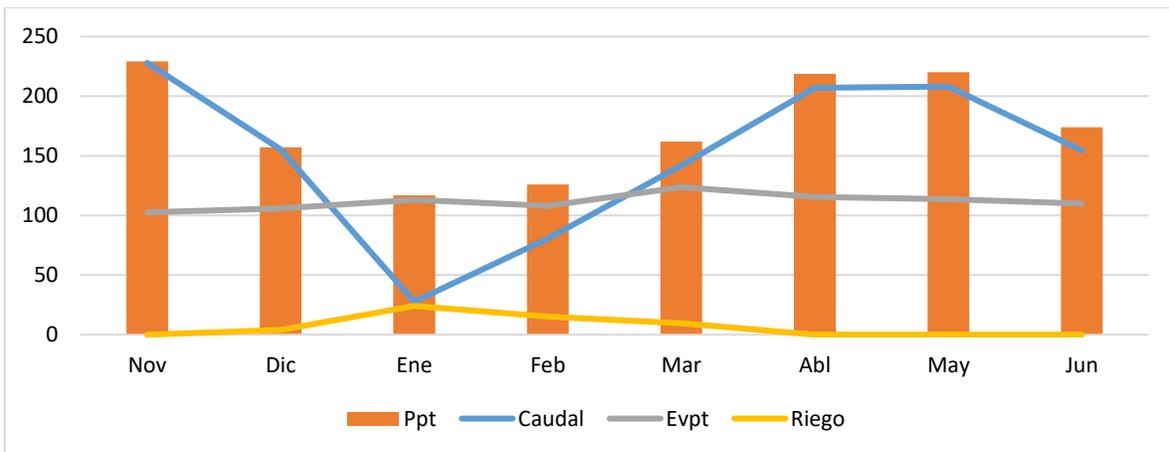


Figura 9-22. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

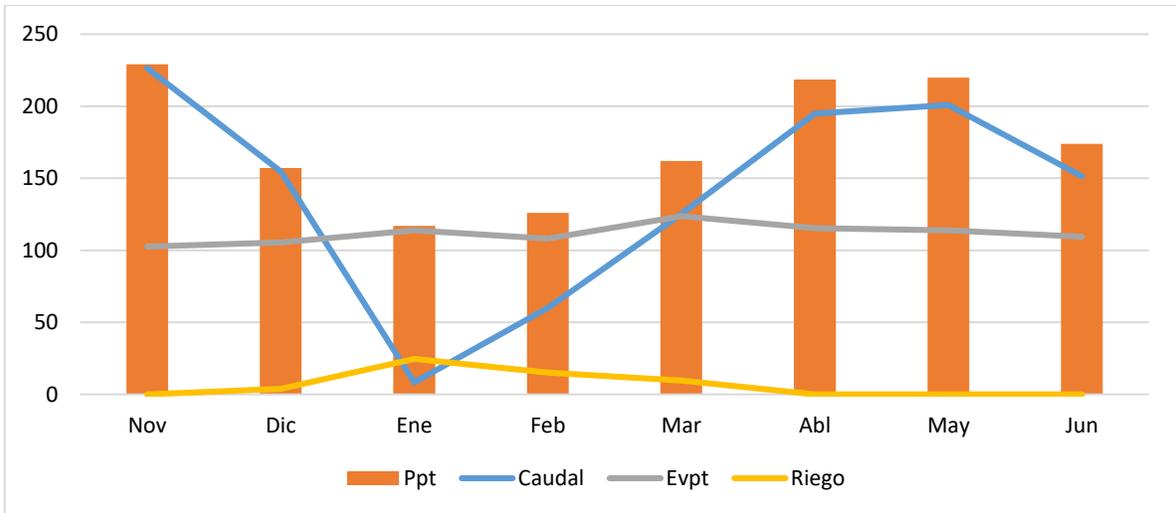


Figura 9-23. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 8. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

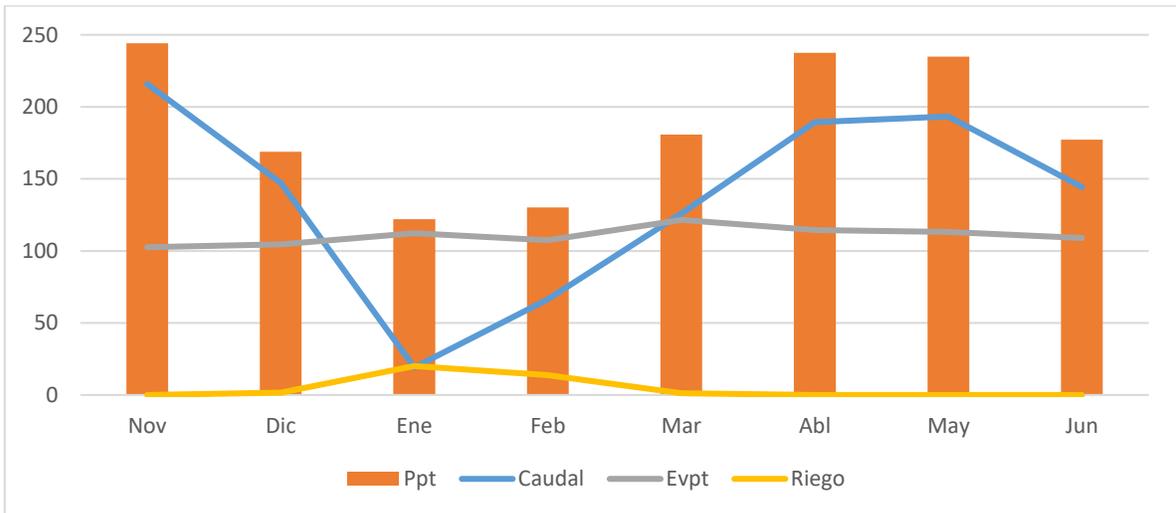


Figura 9-24. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 9. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

**Anexo 7. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.**

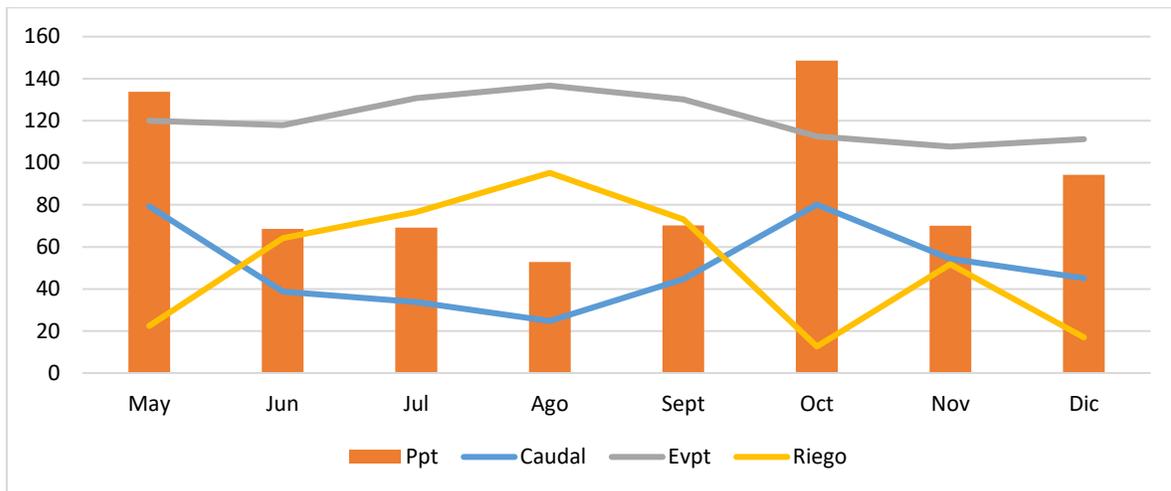


Figura 9-25. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

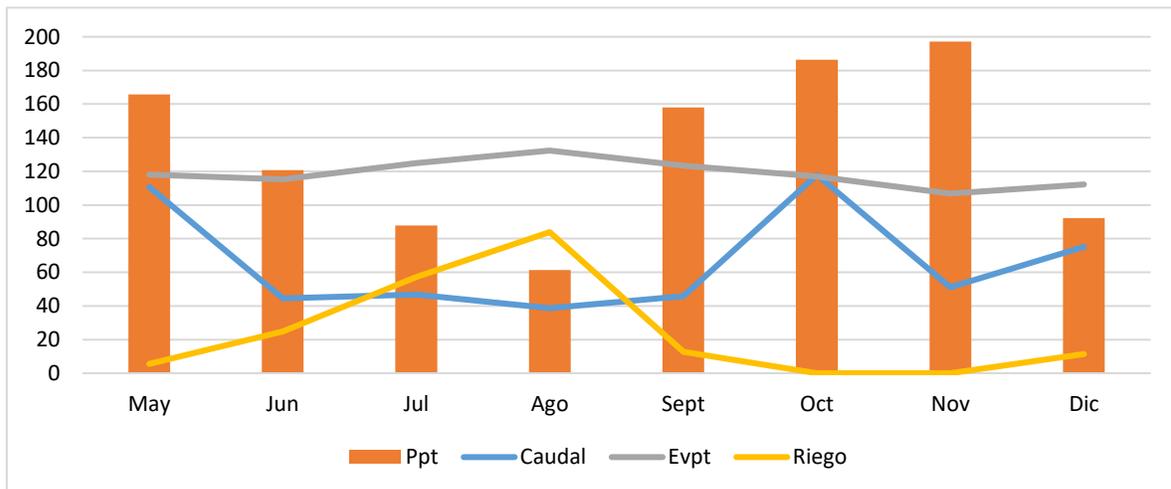


Figura 9-26. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

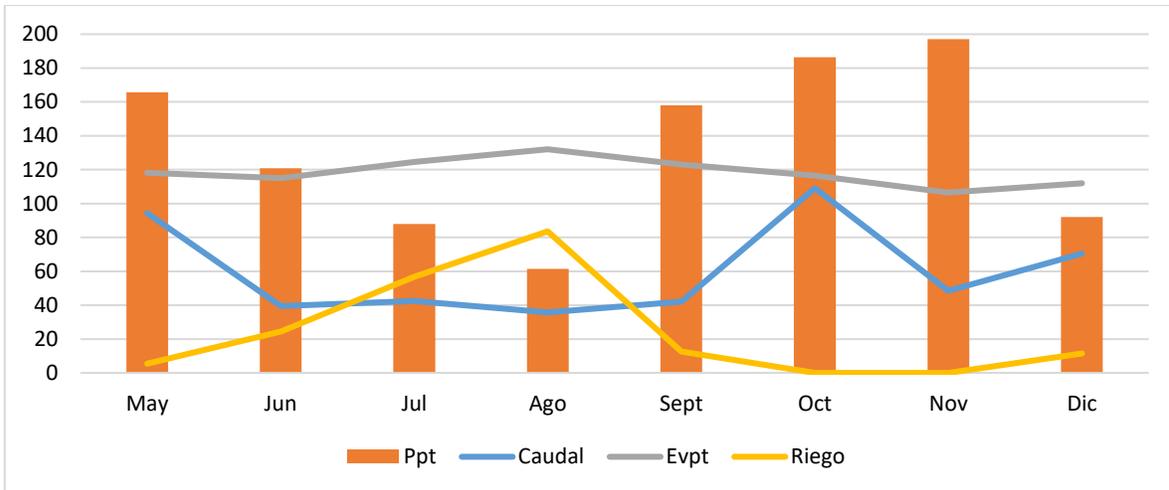


Figura 9-27. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

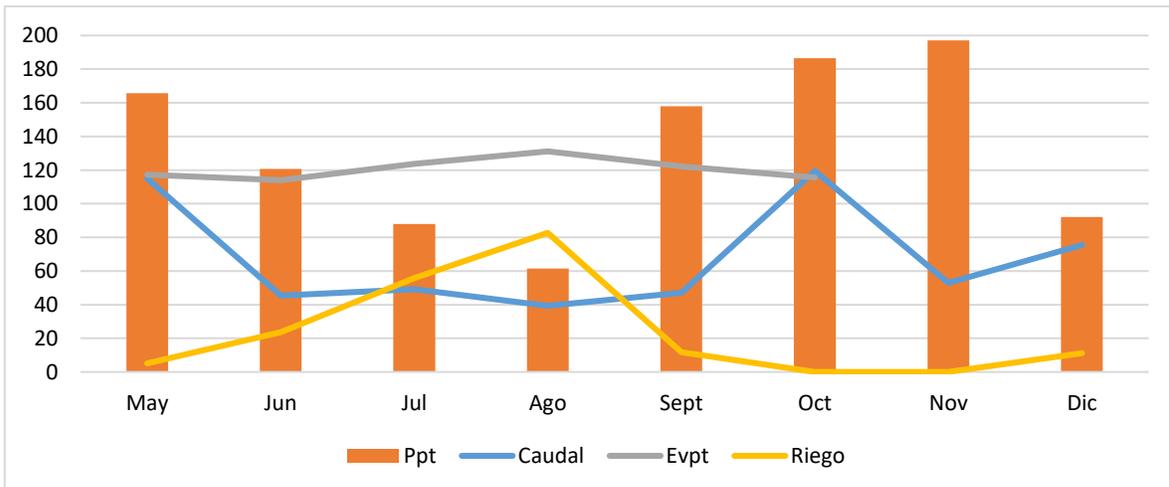


Figura 9-28 .Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

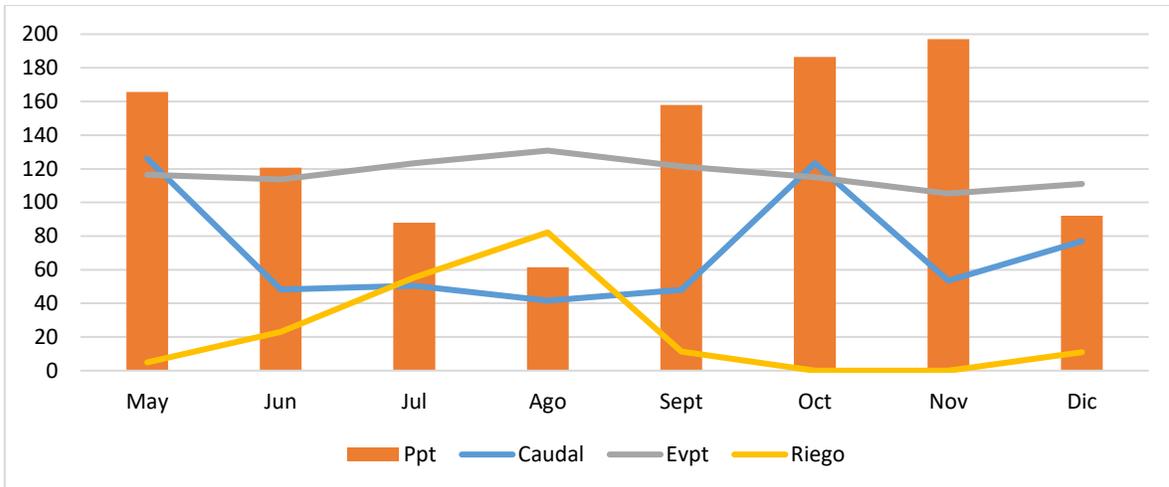


Figura 9-29. Oferta y demanda hídrica para la subcuencia 4. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

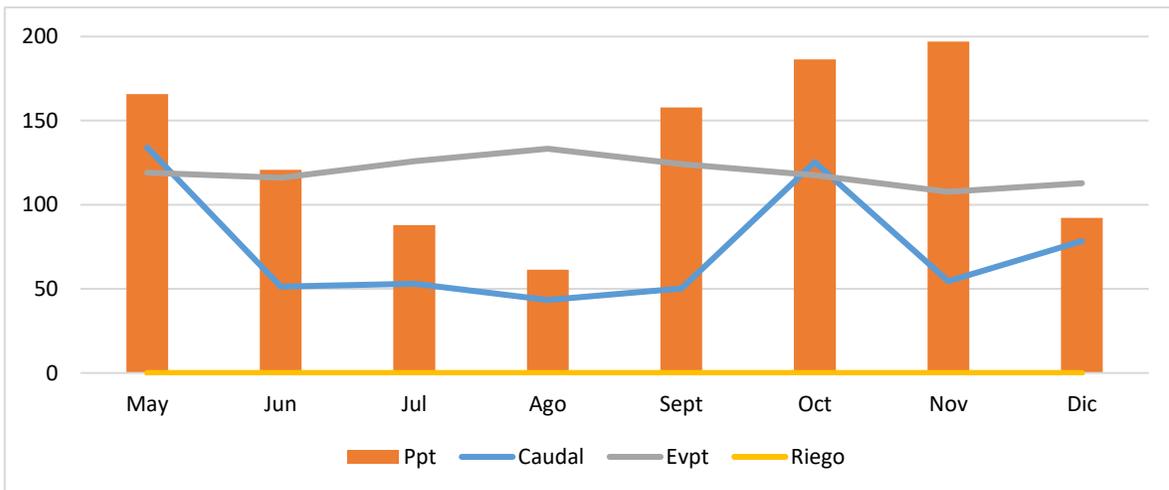


Figura 9-30. Oferta y demanda hídrica para la subcuencia 5. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

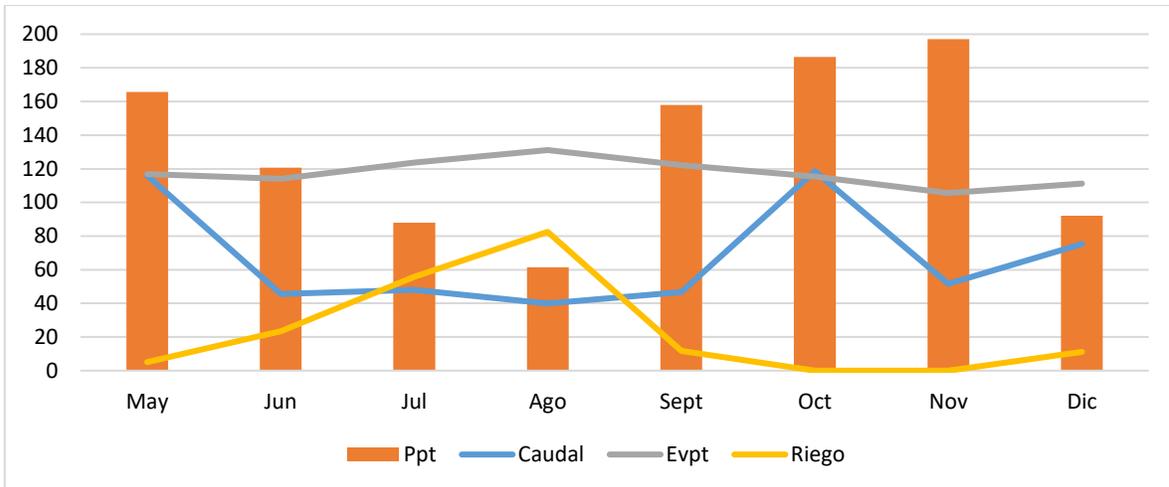


Figura 9-31. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 6. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

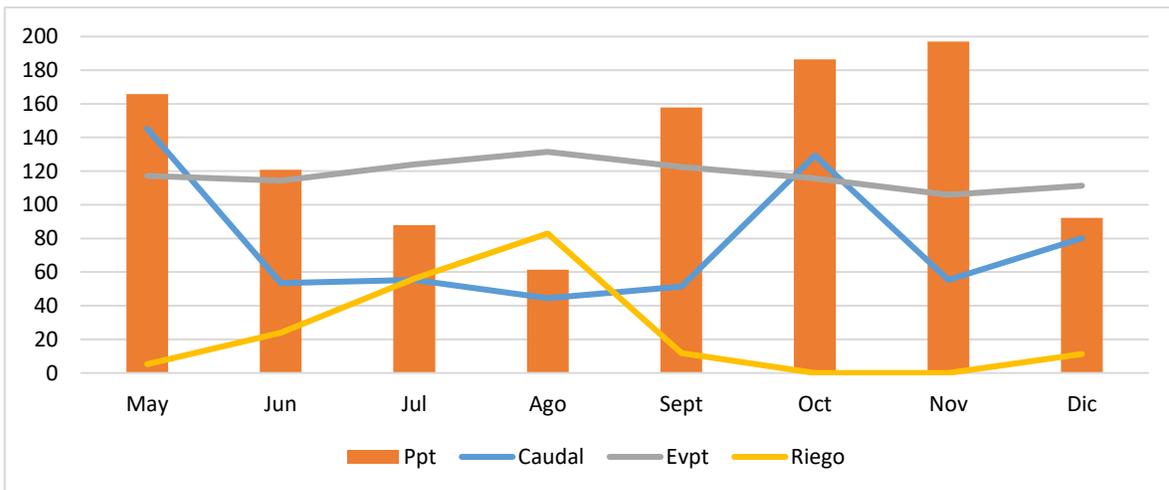


Figura 9-32. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 7. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

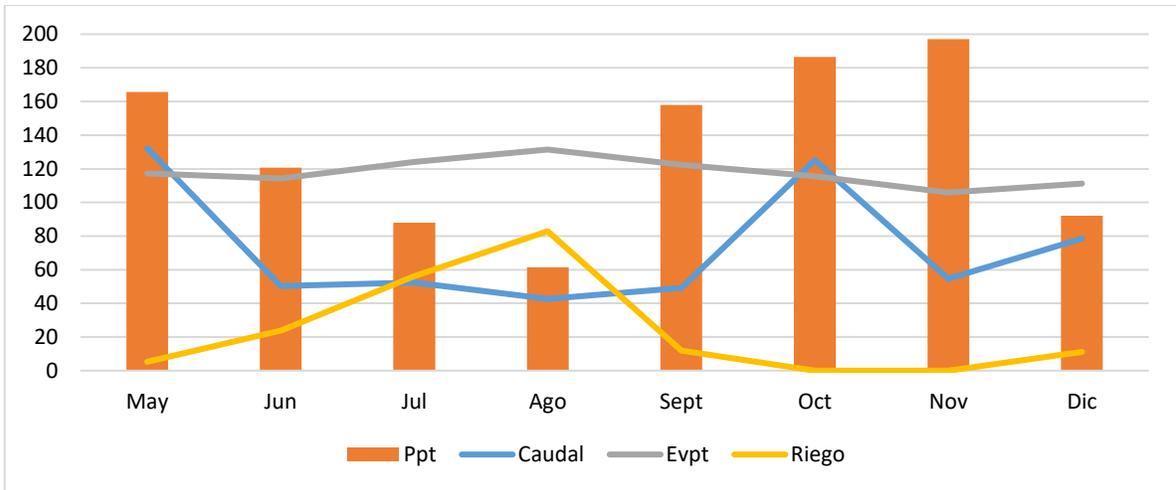


Figura 9-33. Oferta y demanda hídrica para la subsecuencia 8. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

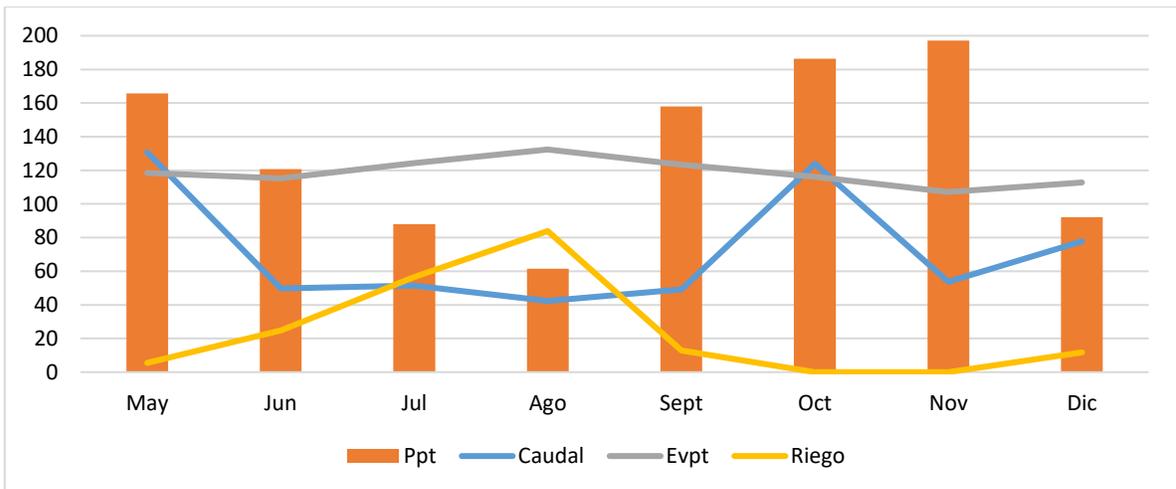


Figura 9-34. Oferta y demanda hídrica para la subsecuencia 9. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

**Anexo 8. Resultados por subcuenca para el ciclo de floración de noviembre a junio en año seco.**

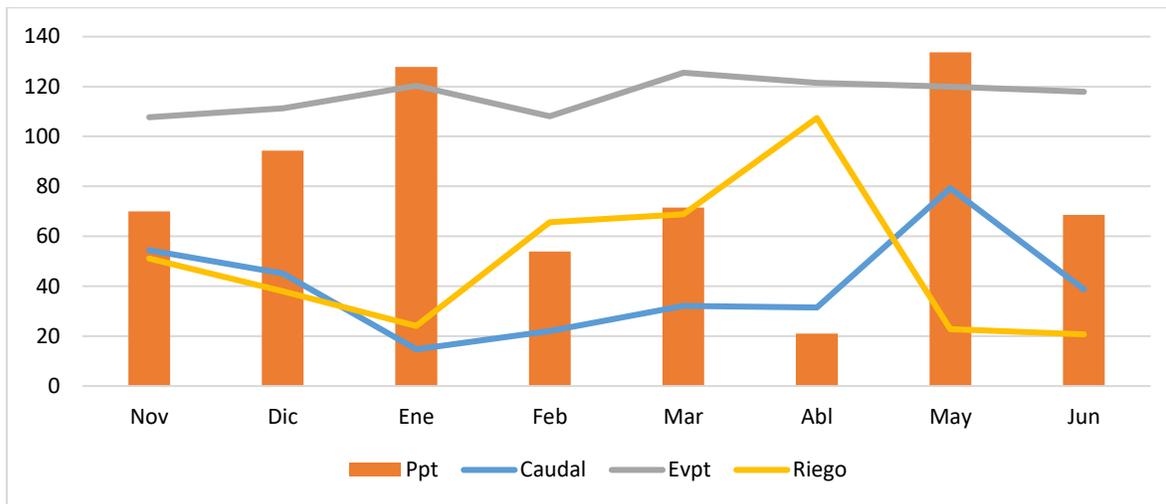


Figura 9-35. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 0. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

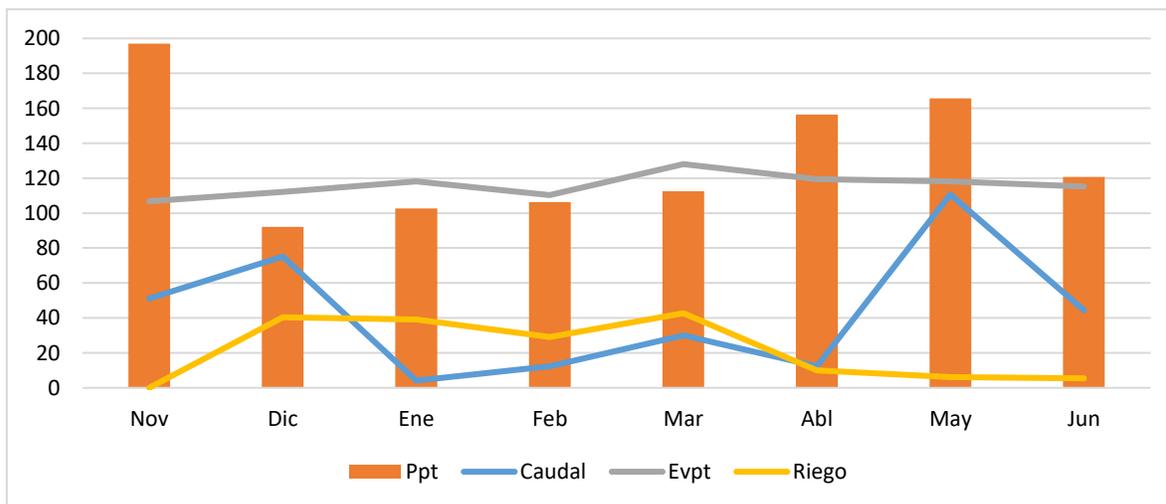


Figura 9-36. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 1. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

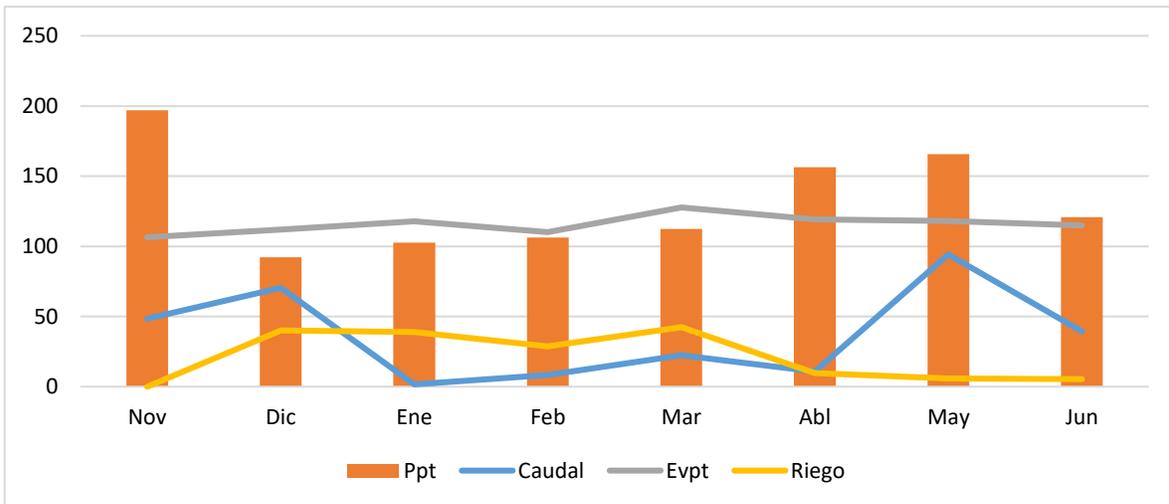


Figura 9-37. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 2. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

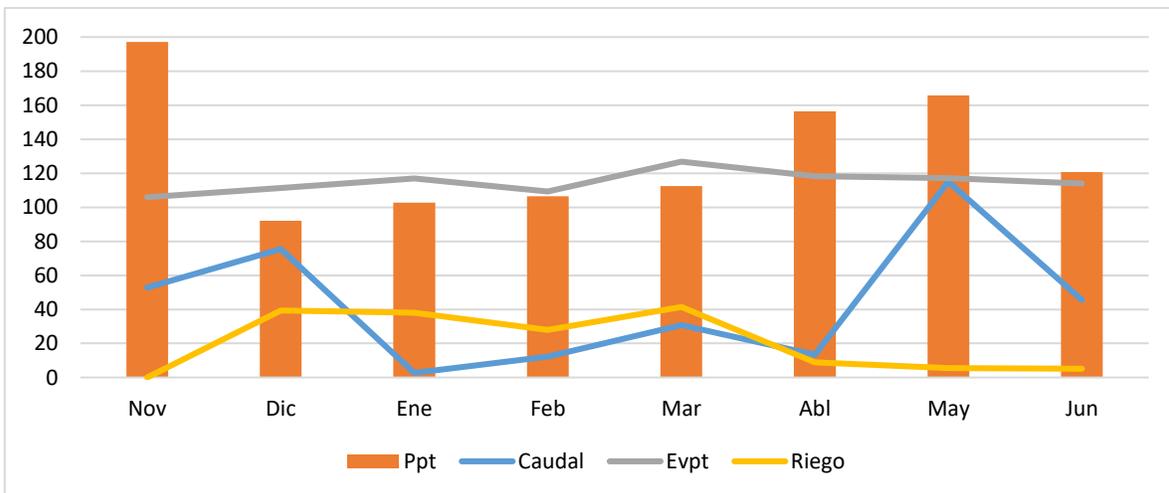


Figura 9-38. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 3. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

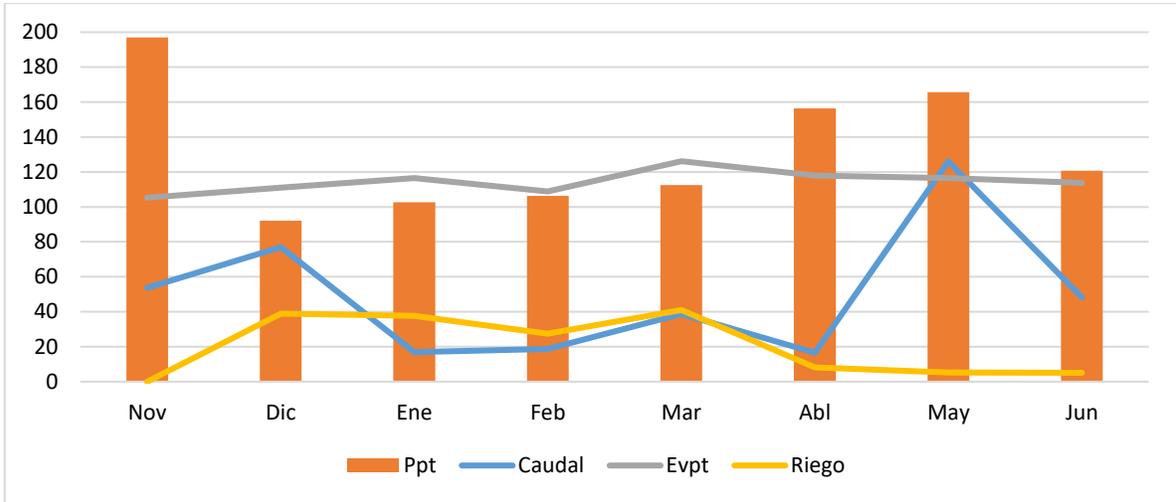


Figura 9-39. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 4. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

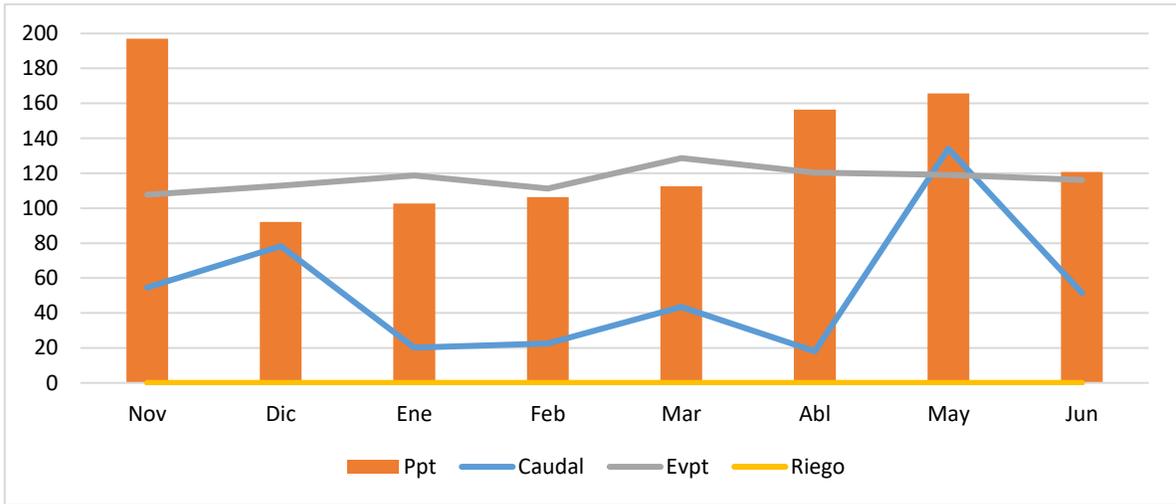


Figura 9-40. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 5. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

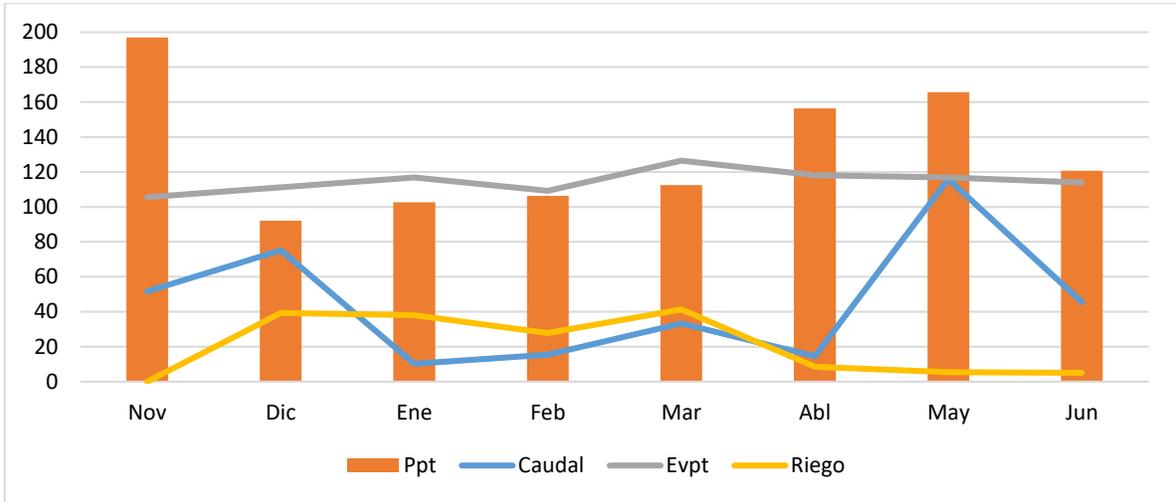


Figura 9-41. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 6. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

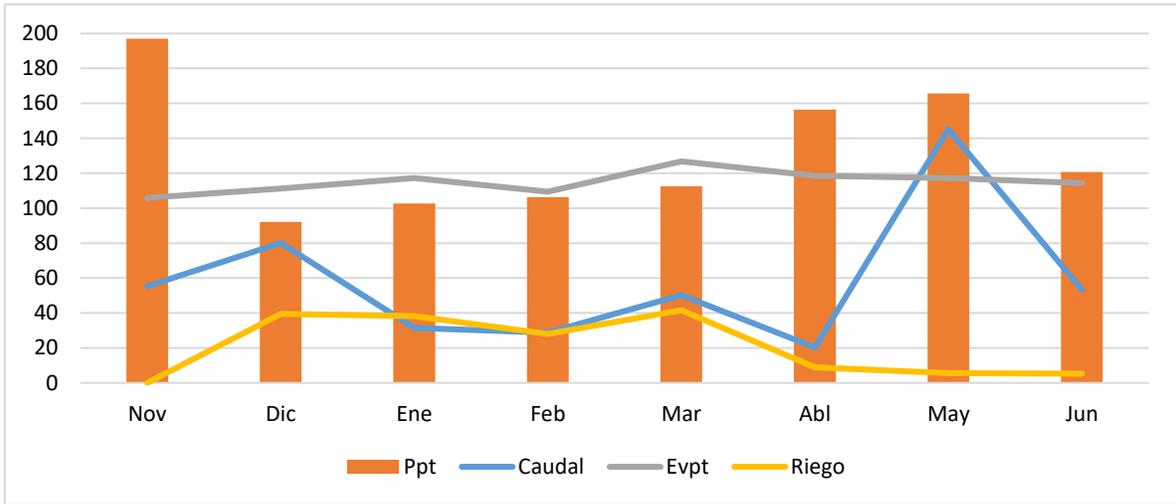


Figura 9-42. Oferta y demanda hídrica para la subcuenca 7. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

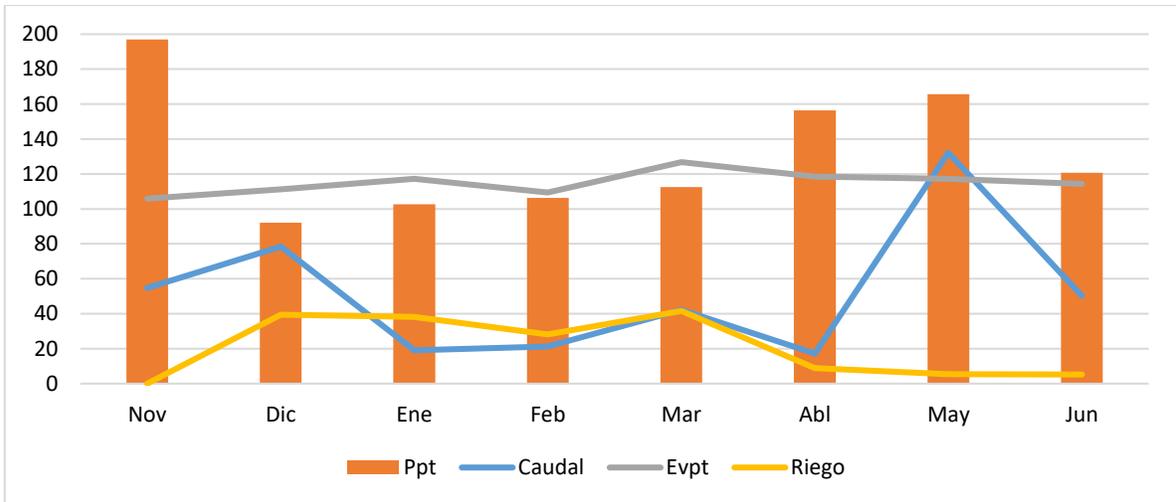


Figura 9-43. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 8. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

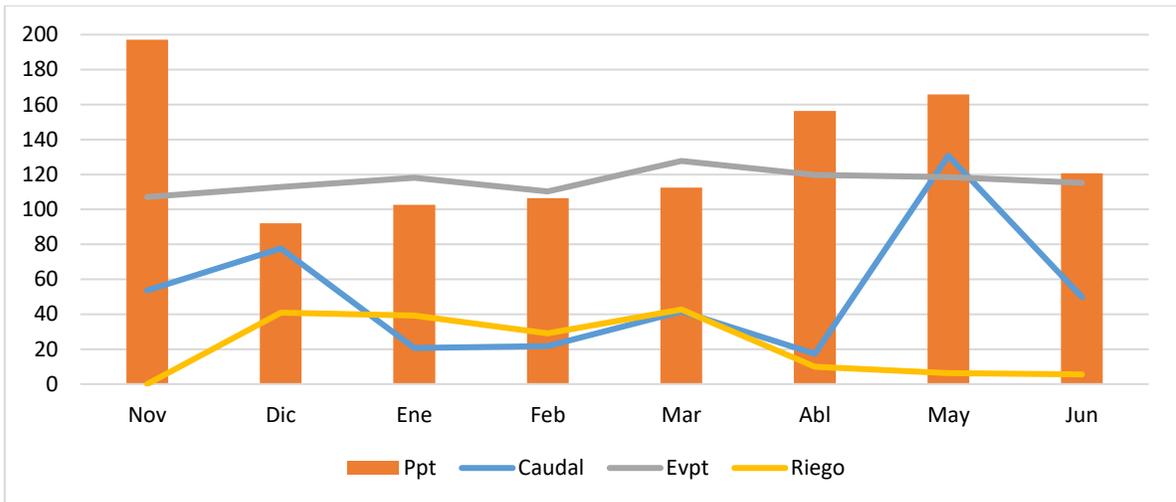


Figura 9-44. Oferta y demanda hídrica para la subcuena 9. Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

**Anexo 9. Resultados déficit hídrico por subcuenca con cultivos de café para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.**

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	79.257	22.400	
Junio	38.744	64.100	-25.356
Julio	33.710	76.600	-42.890
Agosto	24.763	95.200	-70.437
Septiembre	44.697	73.100	-28.403
Octubre	80.107	12.600	
Noviembre	54.391	52.494	
Diciembre	45.105	17.794	
<b>Total</b>	<b>400.77</b>	<b>414.29</b>	<b>-167.09</b>

Tabla 9-1. Déficit hídrico para la subcuenca 0 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	110.688	5.500	
Junio	44.448	24.800	
Julio	46.848	57.100	-10.252
Agosto	38.688	83.900	-45.212
Septiembre	45.888	12.800	
Octubre	117.888	0.000	
Noviembre	51.168	0.794	
Diciembre	75.168	12.294	
<b>Total</b>	<b>530.79</b>	<b>197.19</b>	<b>-55.46</b>

Tabla 9-2. Déficit hídrico para la subcuenca 1 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	94.231	5.400	
Junio	39.429	24.500	
Julio	42.391	56.800	-14.409
Agosto	35.726	83.600	-47.874
Septiembre	42.144	12.500	
Octubre	109.043	0.000	
Noviembre	48.563	0.794	
Diciembre	70.533	12.194	
<b>Total</b>	<b>482.06</b>	<b>195.79</b>	<b>-62.28</b>

Tabla 9-3. Déficit hídrico para la subcuenca 2 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	115.008	5.100	
Junio	45.477	23.600	
Julio	49.180	55.800	-6.620
Agosto	39.306	82.700	-43.394
Septiembre	47.123	11.700	
Octubre	119.534	0.000	
Noviembre	52.883	0.794	
Diciembre	75.511	11.994	
<b>Total</b>	<b>544.02</b>	<b>191.69</b>	<b>-50.01</b>

Tabla 9-4. Déficit hídrico para la subcuenca 3 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	126.064	4.900	
Junio	48.304	23.100	
Julio	50.534	55.400	-4.866
Agosto	41.615	82.200	-40.585
Septiembre	48.025	11.300	
Octubre	123.277	0.000	
Noviembre	53.599	0.794	
Diciembre	77.011	11.794	
<b>Total</b>	<b>568.43</b>	<b>189.49</b>	<b>-45.45</b>

Tabla 9-5. Déficit hídrico para la subcuenca 4 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	115.941	5.000	
Junio	45.534	23.500	
Julio	48.107	55.800	-7.693
Agosto	39.927	82.500	-42.573
Septiembre	46.637	11.700	
Octubre	118.606	0.000	
Noviembre	51.600	0.794	
Diciembre	75.222	11.894	
<b>Total</b>	<b>541.57</b>	<b>191.19</b>	<b>-50.27</b>

Tabla 9-6. Déficit hídrico para la subcuenca 6 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	145.220	5.200	
Junio	53.357	23.900	
Julio	55.263	56.100	-0.837
Agosto	44.463	82.900	-38.437
Septiembre	51.324	11.900	
Octubre	129.338	0.000	
Noviembre	55.390	0.794	
Diciembre	80.166	11.994	
<b>Total</b>	<b>614.52</b>	<b>192.79</b>	<b>-39.27</b>

Tabla 9-7. Déficit hídrico para la subcuena 7 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	132.184	5.200	
Junio	50.235	23.900	
Julio	52.330	56.100	-3.770
Agosto	42.643	82.900	-40.257
Septiembre	49.188	11.900	
Octubre	125.115	0.000	
Noviembre	54.686	0.794	
Diciembre	78.512	11.994	
<b>Total</b>	<b>584.89</b>	<b>192.79</b>	<b>-44.03</b>

Tabla 9-8. Déficit hídrico para la subcuena 8 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Mayo	130.674	5.500	
Junio	49.795	24.800	
Julio	51.523	56.600	-5.077
Agosto	42.335	83.900	-41.565
Septiembre	49.121	12.900	
Octubre	123.973	0.000	
Noviembre	53.673	0.794	
Diciembre	77.738	12.494	
<b>Total</b>	<b>578.83</b>	<b>196.99</b>	<b>-46.64</b>

Tabla 9-9. Déficit hídrico para la subcuena 9 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT

**Anexo 10. Resultados déficit hídrico por subcuenca con cultivos de café para el ciclo de floración de noviembre a junio en año seco.**

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	1.897	51.100	-49.203
Diciembre	27.311	38.000	-10.689
Enero	14.729	24.100	-9.371
Febrero	22.042	65.600	-43.558
Marzo	32.111	68.800	-36.689
Abril	31.431	107.400	-75.969
Mayo	56.857	23.140	
Junio	0.000	21.040	-21.040
<b>Total</b>	<b>186.38</b>	<b>399.18</b>	<b>-246.52</b>

Tabla 9-10. Déficit hídrico para la subcuenca 0 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	50.374	0.000	
Diciembre	62.874	40.400	
Enero	4.128	39.100	-34.972
Febrero	12.288	29.100	-16.812
Marzo	30.048	42.700	-12.652
Abril	12.288	10.000	
Mayo	105.188	6.440	
Junio	19.648	5.840	
<b>Total</b>	<b>296.84</b>	<b>173.58</b>	<b>-64.43</b>

Tabla 9-11. Déficit hídrico para la subcuenca 1 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	47.768	0.000	
Diciembre	58.339	40.100	
Enero	1.660	38.900	-37.240
Febrero	8.325	28.800	-20.475
Marzo	22.396	42.400	-20.004
Abril	10.794	9.700	
Mayo	88.831	6.240	
Junio	14.929	5.840	
<b>Total</b>	<b>253.04</b>	<b>171.98</b>	<b>-77.72</b>

Tabla 9-12. Déficit hídrico para la subcuenca 2 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	52.088	0.000	
Diciembre	63.517	39.400	
Enero	2.688	38.100	-35.412
Febrero	12.151	27.900	-15.749
Marzo	30.666	41.400	-10.734
Abril	13.386	8.800	
Mayo	109.908	5.840	
Junio	21.877	5.540	
<b>Total</b>	<b>306.28</b>	<b>166.98</b>	<b>-61.89</b>

Tabla 9-13. Déficit hídrico para la subcuenca 3 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	52.805	0.000	
Diciembre	65.217	38.900	
Enero	16.810	37.600	-20.790
Febrero	18.761	27.500	-8.739
Marzo	38.828	41.000	-2.172
Abril	16.531	8.200	
Mayo	121.164	5.640	
Junio	25.204	5.340	
<b>Total</b>	<b>355.32</b>	<b>164.18</b>	<b>-31.70</b>

Tabla 9-14. Déficit hídrico para la subcuenca 4 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	50.806	0.000	
Diciembre	63.328	39.200	
Enero	10.239	38.000	-27.761
Febrero	15.478	27.800	-12.322
Marzo	33.217	41.300	-8.083
Abril	14.467	8.500	
Mayo	110.941	5.740	
Junio	22.034	5.440	
<b>Total</b>	<b>320.51</b>	<b>165.98</b>	<b>-48.17</b>

Tabla 9-15. Déficit hídrico para la subcuenca 6 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	54.596	0.000	
Diciembre	68.172	39.500	
Enero	31.503	38.200	-6.697
Febrero	28.708	28.100	
Marzo	50.180	41.600	
Abril	20.322	8.900	
Mayo	140.020	5.940	
Junio	29.457	5.540	
<b>Total</b>	<b>422.96</b>	<b>167.78</b>	<b>-6.70</b>

Tabla 9-16. Déficit hídrico para la subcuenca 7 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	53.892	0.000	
Diciembre	66.517	39.400	
Enero	19.079	38.200	-19.121
Febrero	21.173	28.100	-6.927
Marzo	42.119	41.600	
Abril	17.246	8.900	
Mayo	126.984	5.840	
Junio	26.335	5.540	
<b>Total</b>	<b>373.35</b>	<b>167.58</b>	<b>-26.05</b>

Tabla 9-17. Déficit hídrico para la subcuenca 8 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.

Mes	Caudal disponible (mm)	Necesidad total de agua (mm)	Deficit (mm)
Noviembre	52.878	0.000	
Diciembre	65.244	40.900	
Enero	20.588	39.200	-18.612
Febrero	21.684	29.100	-7.416
Marzo	41.577	42.700	-1.123
Abril	17.343	10.000	
Mayo	125.174	6.540	
Junio	24.995	5.940	
<b>Total</b>	<b>369.48</b>	<b>174.38</b>	<b>-27.15</b>

Tabla 9-18. Déficit hídrico para la subcuenca 9 para el ciclo de floración de mayo a diciembre en año seco.  
Fuente: Autores con base en salida de programa HEC-HMS y CROPWAT.