



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA
PARA CONSUMO HUMANO EN LA CUENCA DEL RÍO
MELÉNDEZ EN CALI VALLE DEL CAUCA**

Yohana Isabel Campo

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Manizales, Colombia

2022

ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA PARA CONSUMO HUMANO EN LA CUENCA DEL RÍO MELÉNDEZ EN CALI VALLE DEL CAUCA

Yohana Isabel Campo

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Recursos Hidráulicos

Directora:

Ph.D., Jeannette Del Carmen Zambrano Nájera

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Manizales, Colombia

2022

El agua es crítica para el desarrollo sostenible, incluyendo la integridad del medio ambiente y el alivio de la pobreza y el hambre, y es indispensable para la salud y bienestar humanos.

Naciones Unidas

Agradecimientos

Gracias a Dios y a mis hijos Isabella y Josué por ser el motivo e inspiración para alcanzar este objetivo, a mi madre por su compañía y generosidad durante el tiempo de estudio, con ellos y mi esfuerzo, puede decir que logre cumplir uno de mis sueños.

Inmensamente agradecida con la ingeniera Jeannette Zambrano, por enseñarme y guiarme durante este tiempo, aportando su experiencia y conocimiento, para el desarrollo de este proyecto.

Resumen

Alternativas de optimización de la demanda para consumo humano en la cuenca del río Meléndez en Cali Valle del Cauca

La escasez de agua es uno de los problemas que más preocupan a la sociedad moderna. Esta cada vez es más grave debido al aumento de la demanda la que se genera a su vez por incremento desmedido de la población, a lo poco eficiente que son los sistemas de abastecimiento, y a la disminución de la oferta. La cuenca del río Meléndez viene presentando esta problemática, especialmente, durante los periodos de menos lluvias, volviéndose muy crítico durante los años en que se presenta El Niño, afectándose la disponibilidad de agua especialmente para los acueductos urbanos. En dicha cuenca el 94.14 % de agua captada es para uso doméstico.

Por lo anterior, es importante realizar estudios para revisar con detalle lo que sucede en dicha cuenca. Con tal motivo, en el presente trabajo se propone la realización de un ejercicio de planificación para evaluar el balance oferta demanda, tanto actual como futuro. El trabajo se inició con la recolección de información secundaria (datos y mapas), de la región, se realizó un análisis estadístico de los datos seleccionados para luego ejecutar la modelación hidrológica (WEAP), se ajustó el modelo con las pruebas de bondad de ajuste NSE, PBIAS y RSE, quedando calibrado y validado.

Una vez realizada la modelación hidrológica para determinar la oferta hídrica superficial, se calculó la demanda total de agua, con base a lo que se realizó el balance hídrico de la cuenca, confirmándose que la cuenca tiene un déficit de agua y no logra cubrir la demanda requerida por todos los usuarios. El mismo ejercicio se realizó para escenarios proyectados hasta el año 2050. Se concluye que la oferta no cubre la demanda si se continúa suministrando agua por el sistema actual. Por consiguiente, se plantearon siete alternativas para reducir la demanda y/o para lograr un manejo adecuado del recurso hídrico en la cuenca. Al comparar las siete alternativas, se decide que la más conveniente para cubrir la demanda es la construcción de un embalse, combinada con la reducción de pérdidas. Se considera que estos resultados son un aporte considerable para la administración municipal ya que se proponen y evalúan alternativas de gestión específicas que permitan solucionar la problemática de la cuenca.

Palabras clave: Balance oferta demanda, planificación de recursos hídricos, modelación hidrológica, demanda urbana.

Abstract

Alternatives to optimize demand for human consumption in the Meléndez river basin in Cali Valle del Cauca

Water scarcity is one of the problems that most concern modern society. This is becoming more and more serious due to the increase in demand, which in turn is generated by the excessive increase in the population, the inefficient supply systems, and due to the decrease in supply. The Meléndez river basin has been presenting this problem, especially during periods of less rain, becoming very critical during El Niño years, affecting the availability of water, especially for urban aqueducts. In said basin, 94.14% captured is for domestic use.

Therefore, it is important to carry out studies to review in detail what happens in said basin. For this reason, in the present work it is proposed to carry out a planning exercise to evaluate the balance of supply demand, both current and future. The work began with the collection of secondary information (data and maps) of the region, a statistical analysis of the selected data was carried out to then execute the hydrological modeling (WEAP), the model was adjusted with the goodness-of-fit tests NSE, PBIAS and RSE, being calibrated and validated.

Once the hydrological modeling was carried out to determine the surface water supply, the total water demand was calculated, based on which the water balance of the basin was made, confirming that the basin has a water deficit and cannot cover the demand required by all users. The same exercise was carried out for scenarios projected up to 2050. It is concluded that the supply does not cover the demand if water continues to be supplied by the current system. Consequently, seven alternatives were proposed to reduce demand and/or to achieve adequate management of water resources in the basin. When comparing the seven alternatives, it is decided that the most convenient to cover the demand is the construction of a reservoir, plus the reduction of needs. It is considered that these results

are a considerable contribution to the municipal administration since specific management alternatives that can solve the problems of the basin are proposed and evaluated.

Keywords: Supply-demand balance, water resources planning, hydrological modeling, urban demand.

Contenido

| | <u>Pág</u> |
|--|------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 21 |
| 1.1 Descripción del problema | 21 |
| 1.1.1 Alta demanda hídrica para consumo humano | 23 |
| 1.1.2 Deficiencias en la oferta hídrica de la cuenca | 25 |
| 2 OBJETIVOS..... | 32 |
| 2.1 Objetivo General | 32 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 32 |
| 3 MARCO TEÓRICO | 33 |
| 3.1 Planificación de recursos hídricos | 33 |
| 3.2 Oferta | 35 |
| 3.2.1 Oferta hídrica total Superficial OHTS | 35 |
| 3.2.2 Oferta hídrica superficial disponible (OHTD)..... | 36 |
| 3.2.3 Caudal ambiental..... | 36 |
| 3.2.1 Determinación de la Oferta Hídrica Superficial | 39 |
| 3.3 Demanda hídrica | 40 |
| 3.3.1 Demanda de agua para uso doméstico | 40 |
| 3.3.2 Demanda de agua para usos agrícola, pecuario y otros | 41 |
| 3.4 Modelación con WEAP | 42 |
| 3.4.1 Análisis estadísticos de series hidrológicas | 47 |
| 3.5 Balance oferta - demanda | 48 |
| 3.5.1 Indicadores del recurso hídrico superficial | 48 |
| 4 METODOLOGÍA | 53 |
| 4.1 Recolección de información | 53 |
| 4.2 Zona de estudio | 54 |
| 4.2.1 Información hidroclimatológica..... | 54 |
| 4.2.2 Suelos | 66 |
| 4.2.3 Geología | 67 |
| 4.2.4 Usos y cobertura del suelo | 69 |
| 4.2.5 Modelo de elevación digital..... | 72 |
| 4.3 Modelación en WEAP | 72 |
| 4.3.1 Oferta de agua..... | 73 |
| 4.3.2 Demanda de agua | 77 |
| 4.3.3 Calibración y validación | 84 |
| 4.4 Balance Oferta - Demanda..... | 87 |
| 4.5 Análisis del impacto de escenarios futuros..... | 87 |
| 4.6 Determinación de alternativas de optimización..... | 89 |
| 5 RESULTADOS | 91 |
| 5.1 Análisis de la situación actual..... | 91 |
| 5.1.1 Oferta hídrica total OHT | 91 |
| 5.1.2 Demanda hídrica actual | 94 |
| 5.1.3 Balance oferta- demanda actual | 96 |
| 5.2 Análisis de la situación futura | 99 |
| 5.2.1 Oferta hídrica futura..... | 99 |
| 5.2.2 Demanda hídrica futura 2050 sin ninguna intervención al sistema..... | 100 |
| 5.2.3 Balance oferta demanda futura | 102 |

XII **Alternativas de optimización de la demanda para consumo humano en la cuenca del río Meléndez en Cali valle del cauca**

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Alternativas de manejo para el uso eficiente del recurso hídrico | 104 |
| 5.3.1 | Alternativa 1 reducción de la dotación | 104 |
| 5.3.2 | Alternativa 2 reubicación de la población..... | 106 |
| 5.3.3 | Alternativa 3 reducción de la dotación y reubicación de la población vulnerable combinadas | 107 |
| 5.3.4 | Alternativa 4 almacenamiento de agua..... | 108 |
| 5.3.5 | Alternativa 5 almacenamiento de agua y reducción de la dotación..... | 110 |
| 5.3.6 | Alternativa 6 almacenamiento de agua y reubicación población vulnerable. | 112 |
| 5.3.7 | Alternativa 7 almacenamiento de agua + reducción de la dotación y reubicación población vulnerable | 112 |
| 6 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 115 |
| 6.1 | Conclusiones | 115 |
| 6.2 | Recomendaciones | 117 |
| 7 | Bibliografía | 119 |
| 8 | Anexos..... | 122 |
| 8.1 | Anexo | 122 |
| 8.2 | Anexo | 125 |
| 8.3 | Anexo | 129 |

Lista de figuras

| | <u>Pág</u> |
|---|-------------------|
| Figura 1-1 Red hidrográfica de la cuenca del río Meléndez..... | 21 |
| Figura 1-2. Porcentajes de los usos de agua en la cuenca del río Meléndez..... | 22 |
| Figura 1-3. Número de concesiones otorgadas CVC por uso de agua hasta el 2018. | 24 |
| Figura 1-4.Oferta hídrica disponible mensual año seco vs demanda hídrica total de la cuenca del río Meléndez - zona rural..... | 26 |
| Figura 1-5. Oferta hídrica disponible mensual año seco vs demanda hídrica total de la cuenca del río Meléndez – zona urbana. | 26 |
| Figura 1-6. Zona Climática de la cuenca del río Meléndez. | 30 |
| Figura 3-1. Demanda global pro sector, proyección al 2040. | 34 |
| Figura 3-2. Nivel de estrés hídrico físico..... | 35 |
| Figura 3-3. Esquema metodológico para el cálculo de la oferta hídrica disponible (OHD). | 37 |
| Figura 3-4. Elementos que componen el régimen natural de flujo. | 38 |
| Figura 3-5. Cuenca de drenaje como sistema hidrológico. | 39 |
| Figura 3-6 Esquema de tanques utilizado por WEAP para la modelación. | 43 |
| Figura 3-7. Diagrama de flujo para la determinación de la oferta hídrica superficial. | 46 |
| Figura 4-1 Ubicación espacial de las estaciones de precipitación, temperatura y caudal líquido. | 54 |
| Figura 4-2 Gráfica de concurrencia del periodo 2012 a 2020 | 55 |
| Figura 4-3 Curva de masa de precipitación acumulada de las quince estaciones vs tiempo. | 55 |
| Figura 4-4 Curva de doble masa de precipitación acumulada estaciones precipitación.. | 56 |
| Figura 4-5 Ciclo anual de la precipitación media de los años 2012-2020 | 60 |
| Figura 4-6 Isoyetas de la cuenca del río Meléndez..... | 61 |
| Figura 4-7 Isotermas de la cuenca del río Meléndez. | 63 |
| Figura 4-8 Ciclo anual de temperatura media de los años 2016-2020 | 63 |
| Figura 4-9 Ciclo anual de la Humedad relativa del año 2019..... | 64 |
| Figura 4-10 Ciclo anual de la nubosidad media de la estación Univalle..... | 64 |
| Figura 4-11 Caudal de oferta media mensual multianual, periodo año 2016-2020 del río Meléndez..... | 65 |
| Figura 4-12 Suelos de la cuenca del río Meléndez. | 66 |
| Figura 4-13 Geología de la cuenca río Meléndez. | 68 |

XIV **Alternativas de optimización de la demanda para consumo humano en la cuenca del río Meléndez en Cali valle del cauca**

| | |
|--|----|
| Figura 4-14 Coberturas de suelos de la cuenca del río Meléndez..... | 71 |
| Figura 4-15 Coberturas de los suelos de la cuenca Meléndez. | 71 |
| Figura 4-16 MED cuenca del río Meléndez | 72 |
| Figura 4-17. Unidades hidrológicas homogéneas de la cuenca del río Meléndez | 73 |
| Figura 4-18 Modelo WEAP con la representación esquemática de las tres unidades hidrológicas..... | 74 |
| Figura 4-19 Precipitación mensual promedio M m ³ del escenario de referencia (2016-2020). | 75 |
| Figura 4-20 Temperatura mensual promedio, estación El Topacio..... | 76 |
| Figura 4-21. Curva de duración de caudales, río Meléndez Estación PTAR | 76 |
| Figura 4-22 Esquema de captaciones principales, drenajes y estaciones de caudal del río Meléndez. | 78 |
| Figura 4-23 La cuenca del río Meléndez, sus afluentes y los usuarios..... | 79 |
| Figura 4-24 Crecimiento poblacional de los distintos usuarios de demanda doméstica en escenario de referencia (2016-2020) | 81 |
| Figura 4-25 Tasa anual del uso del agua (2016-2020)..... | 82 |
| Figura 4-26 Variación mensual del agua para el periodo de referencia (2016-2020)..... | 82 |
| Figura 4-27 Demanda mensual promedio multianual en m ³ /s en el escenario de referencia (2016-2020) | 83 |
| Figura 4-28 Demanda en m ³ /s en el escenario de referencia mes a mes para los cuatro años (2016-2020)..... | 83 |
| Figura 4-29 Demanda mensual promedio en m ³ /s de cada punto de demanda para el escenario de referencia (2016-2020) | 84 |
| Figura 4-30 Hidrograma de caudales observados y simulados para el periodo de calibración y validación | 87 |
| Figura 4-31 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca..... | 88 |
| Figura 4-32 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca..... | 89 |
| Figura 4-33 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca..... | 89 |
| Figura 5-1 Oferta mensual para el periodo 2016 a 2020 para el río Meléndez | 91 |
| Figura 5-2 Caudales afluentes al área de la cuenca del río Meléndez | 92 |
| Figura 5-3 Oferta hídrica superficial simulada en la zona alta para el periodo 2016-2020 | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-4 Oferta hídrica superficial simulada en la zona media para el periodo 2016-2020 | 94 |
| Figura 5-5 Oferta hídrica superficial simulada en la zona baja para el periodo 2016-2020 | 94 |
| Figura 5-6 Demanda hídrica total anual en m ³ /s para el escenario de referencia | 95 |
| Figura 5-7 Demanda de agua en m ³ /s para cada tres captaciones de agua | 96 |
| Figura 5-8 Balance oferta demanda del periodo 2016 – 2020 | 97 |
| Figura 5-9 Índice de Uso de Agua (IUA) de las tres captaciones | 98 |
| Figura 5-10 Distribución del Índice Uso de Agua para La Reforma para el periodo 2016 a 2020 | 98 |
| Figura 5-11 Caudal proyectado del río Meléndez para el periodo 2021-2050 | 99 |
| Figura 5-12 Oferta disponible proyectada desde el 2021 hasta 2050 de la cuenca | 100 |
| Figura 5-13 Demanda anual en m ³ /s para el escenario proyectado | 101 |
| Figura 5-14 Demanda hídrica futura de 2021 a 2050 | 101 |
| Figura 5-15 Balance oferta demanda futura del periodo 2021-2050 | 102 |
| Figura 5-16 Distribución del IUA del río Meléndez 2021 a 2050 | 103 |
| Figura 5-17 Distribución del IUA en la zona alta de la cuenca para 2021 a 2050 | 103 |
| Figura 5-18 Distribución del IUA en la zona media y baja de la cuenca para el periodo proyectado 2021 – 2050 | 104 |
| Figura 5-19 Reducción de la demanda proyectada por reducción pérdidas en el acueducto La Reforma. | 105 |
| Figura 5-20 Distribución del IUA con la alternativa 1 para el periodo proyectado. | 106 |
| Figura 5-21 Cambio en la tasa de crecimiento poblacional debido a la reubicación para el periodo 2021 – 2050, en el acueducto La Reforma | 106 |
| Figura 5-22 Distribución del IUA para la alternativa 2 para el periodo proyectado | 107 |
| Figura 5-23 Reubicación de la población y reducción de la dotación para el periodo 2021 a 2050 en el acueducto La Reforma | 108 |
| Figura 5-24 Distribución IUA para la alternativa 3 para el periodo proyectado | 108 |
| Figura 5-25 Posible ubicación del embalse para almacenamiento de agua | 109 |
| Figura 5-26 Volumen de almacenamiento del embalse proyectado en la zona de estudio | 109 |
| Figura 5-27 Distribución del IUA para la alternativa 4 para el periodo proyectado | 110 |
| Figura 5-28 Volumen de almacenamiento del embalse para el río Meléndez necesario teniendo en cuenta reducción de pérdidas | 111 |

XVI Alternativas de optimización de la demanda para consumo humano en la cuenca del río Meléndez en Cali valle del cauca

| | |
|--|-----|
| Figura 5-29 Distribución de IUA para la alternativa 5 para el periodo proyectado | 111 |
| Figura 5-30 Distribución de IUA para la alternativa 6 para el periodo proyectado | 112 |
| Figura 5-31 Distribución de IUA para la alternativa 7 para el periodo proyectado | 113 |
| Figura 5-32 Demanda no cubierta promedio mensual multianual..... | 114 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1-1.División política de la cuenca del río Meléndez | 22 |
| Tabla 1-2 Distribución de caudal concesionado por cada uso | 25 |
| Tabla 1-3 Valores IUA de los tributarios principales zona rural y urbana para año seco. 27 | 27 |
| Tabla 3-1 Rangos de clasificación del Índice de Aridez | 50 |
| Tabla 3-2 Categorías de IRH..... | 51 |
| Tabla 3-3 Rangos y categorías para la evaluación del Índice del Uso del Agua. | 51 |
| Tabla 3-4 Categorías del IVH. | 52 |
| Tabla 4-1. Datos y mapas requeridos para la modelación hidrológica | 53 |
| Tabla 4-2 Análisis de tendencia de las quince estaciones de precipitación seleccionadas | 57 |
| Tabla 4-3 Estadísticos básicos de las series de precipitación..... | 58 |
| Tabla 4-4 Estadísticos básicos de las series de caudal | 58 |
| Tabla 4-5 Estadísticos básicos de la serie de temperatura | 59 |
| Tabla 4-6. Listado de estaciones de precipitación incluidas para el estudio | 59 |
| Tabla 4-7 Listado de estaciones de temperatura incluidas para el estudio | 62 |
| Tabla 4-8. Listado de estaciones de caudal incluidas para el estudio | 65 |
| Tabla 4-9 Propiedades de los suelos de ladera y cordillera | 67 |
| Tabla 4-10 Porcentajes de áreas de las subunidades geomorfológicas | 68 |
| Tabla 4-11. La distribución del suelo de la cuenca del río Meléndez | 70 |
| Tabla 4-12 Desagregación en porcentajes de la cobertura vegetal de la cuenca río Meléndez..... | 74 |
| Tabla 4-13 Áreas de las tres zonas que está dividida la cuenca del río Meléndez..... | 74 |
| Tabla 4-14 Usuarios jurídicos que se abastecen de agua del río Meléndez y tributarios | 79 |
| Tabla 4-15. Usuarios naturales con concesión en la cuenca del río Meléndez – CVC.... | 80 |
| Tabla 4-16 Censo de los habitantes de la cuenca del río Meléndez. | 81 |
| Tabla 4-17. Indicadores de ajuste. | 85 |
| Tabla 4-18 Parámetros del uso del suelo obtenidos mediante el proceso de calibración para la cuenca río Meléndez | 85 |
| Tabla 4-19 Medidas de bondad de ajuste para el modelo calibrado | 86 |
| Tabla 4-20 Medidas de bondad de ajuste para el modelo validado | 87 |
| Tabla 4-21 Resumen de los cambios proyectados en el clima para el municipio de Cali. | 88 |

XVII Alternativas de optimización de la demanda para consumo humano en la cuenca del río Meléndez en Cali valle del cauca

| | |
|--|-----|
| Tabla 5-1 Caudal total de las tres unidades hidrológicas de la cuenca río Meléndez. | 92 |
| Tabla 5-3 Caudal ambiental (m ³ /s) para la cuenca del río Meléndez - Método Q85 | 93 |
| Tabla 5-4 Demanda mensual actual de las tres captaciones en m ³ /s del río Meléndez, valor promedio para el periodo 2016-2020 | 95 |
| Tabla 5-5 Caudal ambiental (m ³ /s) para la subcuenca río Meléndez..... | 99 |
| Tabla 5-6 Comparación de las 7 alternativas propuestas para optimización de la demanda. | 113 |
| Tabla 8-1 Unidades geológicas superficiales de la cuenca | 122 |
| Tabla 8-2 Caracterización de los tipos de suelos de la cuenca río Meléndez..... | 125 |
| Tabla 8-3 IUA % de las tres captaciones de agua del río Meléndez..... | 129 |
| Tabla 8-4 Caudal ambiental mensual para el periodo 2016 a 2020..... | 129 |
| Tabla 8-5 Oferta hídrica disponible de la cuenca periodo 2016 – 2020 | 130 |
| Tabla 8-6 IUA % de las tres captaciones de agua del río Meléndez..... | 131 |
| Tabla 8-7 Serie de caudal proyectado para el periodo 2021 – 2050..... | 131 |
| Tabla 8-8 Caudal ambiental de la zona alta proyectado del río Meléndez 2021-2050... | 132 |
| Tabla 8-9 Caudal ambiental de la zona media proyectado del río Meléndez 2021-2050 | 133 |
| Tabla 8-10 Caudal ambiental de la zona media proyectado del río Meléndez 2021-2050 | 134 |
| Tabla 8-11 Caudal disponible proyectado de la zona alta para el periodo 2021-2020... | 134 |
| Tabla 8-12 Caudal disponible proyectado de la zona media para el periodo 2021-2020 | 135 |
| Tabla 8-13 Caudal disponible proyectado de la zona baja para el periodo 2021-2020.. | 136 |
| Tabla 8-14 Demanda mensual futura Acuabuitrera en m ³ /s de 2021-2050 del río Meléndez | 137 |
| Tabla 8-15 Demanda mensual futura Acuabuitrera en m ³ /s de 2021-2050 del río Meléndez | 137 |
| Tabla 8-16 Demanda mensual futura Acuabuitrera en m ³ /s de 2021-2050 del río Meléndez | 138 |
| Tabla 8-17 Demanda mensual futura La Reforma en m ³ /s de 2021-2050 del río Meléndez | 139 |
| Tabla 8-18 Índice de uso de agua de Acuabuitrera proyectada desde 2021 hasta 2050 | 140 |
| Tabla 8-19 Índice de uso de agua de La Reforma y Club Campestre proyectada desde 2021 hasta 2050 | 140 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 8-20 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez | 141 |
| Tabla 8-21 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 para La Reforma para la alternativa 1 | 142 |
| Tabla 8-22 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 2 | 143 |
| Tabla 8-23 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 3 | 143 |
| Tabla 8-24 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez con embalse | 144 |
| Tabla 8-25 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez con almacenamiento y reducción en la dotación (Alternativa 5) | 145 |
| Tabla 8-26 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez con embalse y reubicación de población | 146 |
| Tabla 8-27 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 7 | 147 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) de la cuenca del río Meléndez, ésta viene presentando problemas por desabastecimiento de agua en periodos secos. Son varias las causas que están afectando la disminución del agua para consumo humano, entre las que se pueden atribuir, el crecimiento poblacional, el exceso de captaciones de forma legal e ilegal y las altas pérdidas en la red de distribución. A continuación, se explica cada una con mayor detalle.

La cuenca hidrográfica del río Meléndez pertenece al municipio de Cali, cuyo río nace en la vereda Candelaria del Corregimiento Villa Carmelo a 3.018,9 m.s.n.m., está localizada sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental y entrega las aguas al canal interceptor sur, en el casco urbano de la ciudad de Cali (CVC 2019a) (ver Figura 1-1). La cuenca se divide en subcuencas hidrográficas, para un área total de 4991 ha (CVC, 2007).

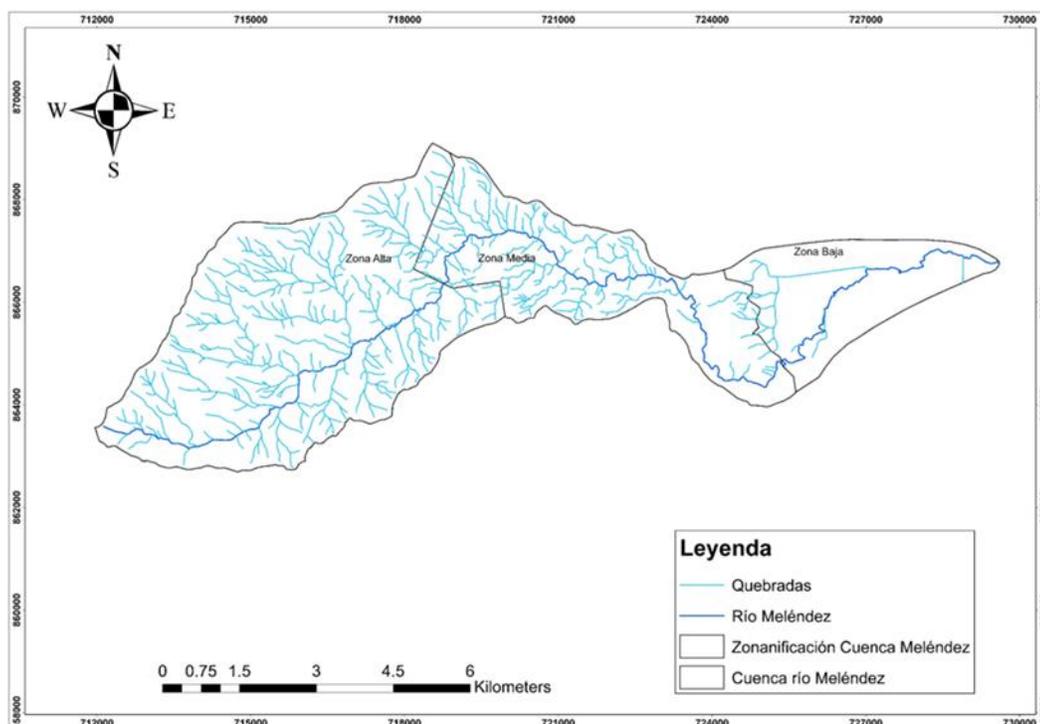


Figura 1-1 Red hidrográfica de la cuenca del río Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019a)

La cuenca está dividida en zona productora y consumidora (ver Tabla 1-1), la primera es protegida por Parques Nacionales y las actividades que se desarrollan en esta área son la ganadería con un 18 %, forestal protector con un 77 % y protección vegetal natural de 5 % (CVC, 2007). La zona consumidora es protegida por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), las actividades que se desarrollan en esta área son la ganadería con un 20 % de ocupación, forestal protector con un 28 %, protección vegetal natural 6%, minería con un 1%, recreación y turismo con un 2 %, y residencial con un 43 % (CVC, 2007).

Tabla 1-1. División política de la cuenca del río Meléndez
Fuente: (CVC, 2007)

| CUENCA | Municipio | Zona | % Mcpio | Población 2016 | Hab. Cuenca |
|---------------------------|-------------------|----------|---------|----------------|-------------|
| Zona Productora Meléndez | Municipio de Cali | Rural | 4 | 36.623 | 1.590 |
| Zona Consumidora Meléndez | Municipio de Cali | Rural | 4 | 36.623 | 1.505 |
| Zona Consumidora Meléndez | Municipio de Cali | Cabecera | 11 | 2.358.302 | 251.685 |

Según información registrada en el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Cuenca POMCA, el 94,14 % del caudal captado de la cuenca es para uso doméstico y el 5 % restante para otros usos; los permisos otorgados para la captación por la entidad competente son 20 concesiones y con un caudal de 687,45 l/s como se muestra en la Figura 1-2 (CVC, 2019c).

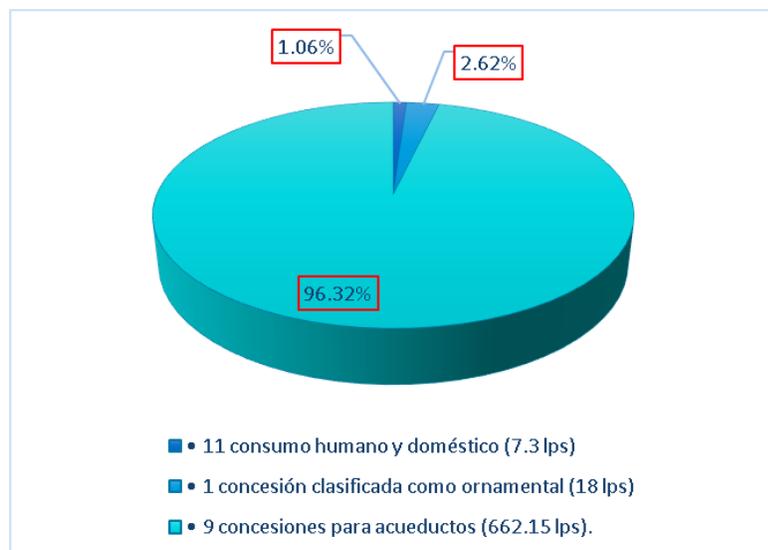


Figura 1-2. Porcentajes de los usos de agua en la cuenca del río Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019c)

1.1.1 Alta demanda hídrica para consumo humano

Como se observó en la figura anterior, el consumo humano es predominante en la cuenca y por tanto es el que ejerce mayor presión sobre el recurso hídrico. El consumo humano el que a su vez se ve afectado por el crecimiento poblacional descontrolado, los usos ilegales y las pérdidas en los sistemas de acueducto.

Crecimiento poblacional

Se viene presentando un aumento del consumo de agua debido al crecimiento de los asentamientos humanos, con una alta densidad de viviendas en malas condiciones, generando un alto riesgo para sus ocupantes. Estas viviendas están ubicadas en terrenos inestables y no cuentan con un manejo adecuado de las aguas lluvias y residuales, de esta forma saturan los suelos lo que sumado a la alta densidad de ocupación, potencializa los movimientos de masa, que pueden desencadenar en pérdidas humanas y para las edificaciones (Alcaldía Cali, 2018).

Es preciso mencionar que gran parte de esa población desplazada se ha asentado al oriente de la ciudad y en la zona de ladera. De manera que en una importante área de la cuenca del río Meléndez existe gran cantidad de población que ha migrado por desplazamiento y se ha asentado e invadido zonas al oriente y en la ladera de la ciudad (CVC, 2019c).

Esto conlleva a una mayor demanda del recurso hídrico para suplir las necesidades de las comunidades que están habitando estas áreas lo que se realiza de manera ilegal. Según la información registrada en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH de la corriente (CVC, 2019c) hay concesiones vencidas, y están a la espera de aprobaciones muchas más.

Uno de los efectos de las captaciones sin permiso, es el consumo de agua sin tratamiento o contaminadas, ocasionando proliferación de enfermedades relacionadas con el agua. Al respecto es importante citar los artículos 365 y 366 de la Constitución Política de 1991, los que mencionan la responsabilidad del estado de asegurar la prestación del servicio de agua potable a todos los habitantes del territorio nacional, además de regular, controlar y vigilar el servicio, mientras que el segundo, atribuye la responsabilidad en el mejoramiento

de la calidad de vida y el bienestar de la población al Estado, refiriéndose en este sentido a la salud, educación, saneamiento ambiental y agua potable.

Exceso de captaciones de forma legal e ilegal

En la cuenca las captaciones con permisos están divididas en dos categorías: persona natural y persona jurídica, sin embargo, para estas captaciones se desconoce el registro de los tipos de estructuras que se han construido en la corriente hídrica. A continuación, se hace una relación de usuarios de acuerdo a su naturaleza y el caudal asignado.

Concesiones a persona natural

La CVC en su base de datos tiene un registro de 11 usuarios y en la Figura 1-3, se especifica el número de concesiones para el uso del agua y en la Tabla 1-2 se informa la distribución del caudal asignada. Estos usuarios no están georreferenciados lo que imposibilita saber cuál es el fin del uso del agua y dificulta su reconocimiento en campo. La CVC es la encargada de legalizar la captación de aguas en el río y establece el caudal concesionado y la vigencia del trámite, siendo para todos los casos la vigencia otorgada de 10 años. En la actualidad el río Meléndez cuenta con una concesión vencida, no obstante, existe un alto número de trámites en los cuales no es posible definir la fecha de inicio y finalización de la concesión. Del mismo modo no se cuenta con información correspondiente al conocimiento y aprobación de las obras necesarias para la captura de agua desde la fuente superficial (CVC, 2021).

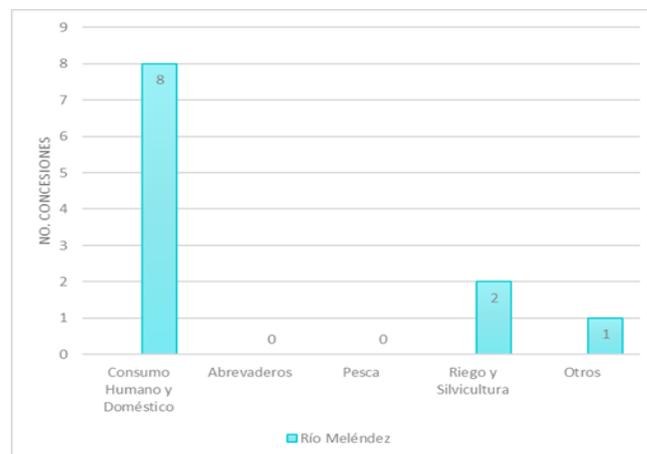


Figura 1-3. Número de concesiones otorgadas CVC por uso de agua hasta el 2018.
Fuente:(CVC, 2019a)

Tabla 1-2 Distribución de caudal concesionado por cada uso

Fuente: (CVC, 2019a)

| | Consumo Humano y Doméstico (l/s) | Abrevaderos (l/s) | Pesca (l/s) | Riego y Silvicultura (l/s) | Otros (l/s) | Total Concesionado (l/s) |
|----------|----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|-------------|--------------------------|
| Meléndez | 5,2 | Sin Información | Sin Información | 1,03 | 0,5 | 6,73 |

Concesiones a persona jurídica

En la cuenca del río Meléndez se encontraron trece captaciones pertenecientes a ocho usuarios con personería jurídica, quienes han formalizado ante el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA) la concesión de aguas por 401,2 l/s, de los cuales la mayoría están destinados para consumo humano y doméstico. En la cuenca se destaca la bocatoma (1,87 l/s) del Acueducto ACUABUITRERA CALI E.S.P. con un registro de 1587 suscriptores en sectores residenciales, comerciales, oficiales y educativos (año 2012), y la bocatoma del acueducto La Reforma, administrada por EMCALI y que cuenta con 120.000 usuarios de la zona urbana de Cali, con un caudal concedido de 300 l/s. Estas dos empresas prestadoras del servicio de agua potable son las que más caudal obtienen de la cuenca (CVC, 2019a).

Altas pérdidas en la red de distribución

Todas las empresas prestadoras de servicios públicos de la zona cuentan con plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), brindando un servicio de calidad a los usuarios. Sin embargo, se estima que las pérdidas o Indicador De Agua No Contabilizada (IANC) es del 55,28 % (EMCALI, 2011), es decir que son muy altas. Al no haber control y regulación de las pérdidas en la distribución del suministro de agua potable el sistema requiere mayor volumen y por ende va a captar más agua de la cuenca.

Luego de hacer una descripción breve de la cuenca del río Meléndez, se revisará el problema que se viene presentando por la disminución de disponibilidad de agua.

1.1.2 Deficiencias en la oferta hídrica de la cuenca

Este problema ha sido evidenciado por la CVC, ya que, en los años correspondientes a periodos secos, es decir aquellos cuando se presenta el Fenómeno de El Niño en su fase cálida se observa un desabastecimiento de agua. En la Figura 1-4 y la Figura 1-5, se

observa la información de los caudales del periodo seco y se compara con la demanda total de la cuenca de la zona rural. Allí se observa que, en los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio agosto y septiembre hay escasez de agua. Luego en la Figura 1-4 se presenta sólo la zona urbana y como se puede ver en el tercer trimestre del año se presenta déficit de agua en ambas zonas (rural y urbana), de manera que no se estarían supliendo las necesidades de los usuarios para los diferentes usos en la cuenca.

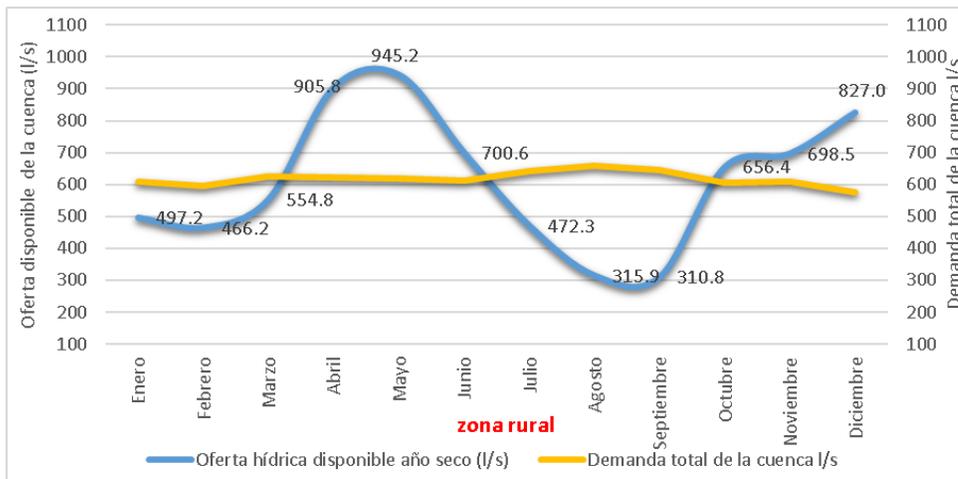


Figura 1-4. Oferta hídrica disponible mensual año seco vs demanda hídrica total de la cuenca del río Meléndez - zona rural.

Fuente: (CVC, 2019a)

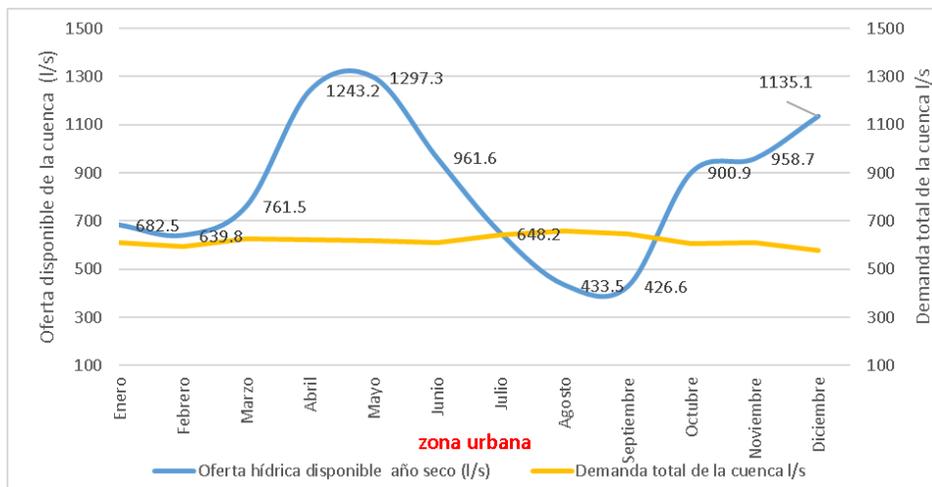


Figura 1-5. Oferta hídrica disponible mensual año seco vs demanda hídrica total de la cuenca del río Meléndez – zona urbana.

Fuente: (CVC, 2019a)

Presiones hídricas

Además, se calcularon los indicadores de presión que permiten definir el estado como de la disponibilidad del agua para evaluar la vulnerabilidad y amenaza en función de las actividades sociales y económicas. Para la cuenca del río Meléndez se determinaron cuatro indicadores de presión como el Índice de Uso del Agua (IUA), el índice de Regulación y Retención Hídrica (IRH), el Índice de Aridez (IA) y el índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH), con base a la estimación de la oferta y la estimación de la demanda hídrica (CVC, 2019a).

La cuenca del río Meléndez en su zona rural presenta presiones sobre el recurso hídrico Muy Altas durante los doce meses del año para el periodo seco, atribuyendo este comportamiento a la cantidad de usuarios del agua ubicados en esta zona. En la zona urbana las presiones sobre el recurso hídrico son Altas y Muy Altas durante los doce meses del año para los años secos, por efecto de los usuarios ubicados tanto en la zona rural como urbana y su caudal de demanda o extracción según Tabla 1-3 (CVC, 2019a).

Tabla 1-3 Valores IUA de los tributarios principales zona rural y urbana para año seco.
Fuente: (IDEAM, 2019)

| IUA año seco (%) zona rural | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Tributario | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Meléndez | 101,3 | 104,9 | 91,5 | 57 | 53,6 | 73,4 | 113,3 | 173,1 | 168,6 | 75 | 73 | 71,5 |
| IUA año seco (%) zona urbana | | | | | | | | | | | | |
| Tributario | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Meléndez | 89,1 | 93,1 | 82,3 | 50,1 | 47,7 | 63,6 | 98,8 | 152,2 | 151,1 | 67,4 | 63,6 | 50,7 |

Disminución de la escorrentía por uso inadecuado de la cuenca

La disminución de la disponibilidad del agua en la cuenca del río Meléndez también se debe a que la cobertura del suelo ha sido intervenida por actividades antrópicas, las que se desarrollan en unas áreas que abarcan el 47 % del área frente al 53 % de cobertura natural. Las coberturas que más predominan en la cuenca son bosque denso alto de tierra firme, pastos enmalezados, bosque de galería alto, pastos limpios, mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos y vegetación secundaria baja, entre otras (CVC, 2019c).

Uso inadecuado del suelo e incremento de erosión y producción de sedimentos

Otra actividad que está contribuyendo al deterioro del terreno es la minería de carbón a cielo abierto en la parte alta de la cuenca. Aunque las minas cuentan con permisos para la extracción de este material, no hay un seguimiento y control para el desarrollo de esta actividad. Adicionalmente, por los frecuentes cambios del uso del suelo en la zona por la agricultura y ganadería hay evidencia de erosión del terreno, y diferentes tipos de deslizamientos (erosión laminar, en surcos y en cárcavas), lo que a su vez conlleva a futuras remociones de masa y el aporte de material a las corrientes superficiales, que son transportadas por esta corriente aguas abajo generando acumulación de sedimentos en las estructuras (bocatomas, puentes, vías y viviendas).

En algunos sectores del área de interés la CVC observó que la escorrentía superficial ha generado un alto grado de erosión, especialmente donde las unidades litológicas presentan naturaleza arcillosa (suelos residuales de Formación Volcánica y Formación Guachinte), ya que imprimen mayor impermeabilidad, facilitando la escorrentía superficial y consecuentemente aumenta la susceptibilidad a la erosión (CVC, 2019c).

Deforestación

La ampliación de la frontera agrícola para la implementación de cultivos y reducción de zonas de bosques contribuye de manera indirecta a la variación de las áreas de amenaza y riesgo ya que el continuo laboreo de cultivos modifica las características topográficas, así como los procesos de infiltración y escorrentía superficial, generando cambios en los niveles freáticos y aumento de procesos erosivos en superficie, los cuales podrían favorecer la ocurrencia de movimientos en masa.

Los incendios forestales han sido provocados por la acción del hombre asociada con alguna actividad de explotación del recurso forestal como la extracción de carbón de leña, deforestación en diferentes zonas de la cuenca para la comercialización de madera (especialmente roble), quemas para la expansión de la frontera ganadera, entre otras. La proliferación de asentamientos humanos de desarrollo incompleto, proyectos habitacionales en zona de ladera está causando deforestación en el área de la cuenca (CVC, 2019c).

Este desequilibrio en la naturaleza causado por actividades antrópicas debe ser regulado de una manera que no se siga afectando la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca, porque genera a su vez un incremento en los demás impactos, como vertimientos y residuos, malos olores, deforestación, etc.; que también están directamente relacionados por su cercanía con las áreas urbanas (CVC, 2019c).

Cambios en las condiciones climatológicas

Otro aspecto que se ha evidenciado por parte de la CVC es el cambio en las condiciones climatológicas de la cuenca. El aumento de la temperatura se presenta porque hay niveles muy bajos de cobertura vegetal (deforestación por cambio de uso de suelo), efectos antropogénicos y contaminación del agua. Estos también generan cambios en los patrones de precipitación y en la disponibilidad del agua en la cuenca (CVC, 2019c).

La temperatura presenta valores superiores a los 20 °C en un alto porcentaje del área de la cuenca como se puede observar en la Figura 1-6. Puede decirse que en muchos puntos la temperatura del agua es muy cercana a la temperatura del aire en especial cuando las fuentes hídricas ingresan a la zona plana y cruzan el casco urbano de la ciudad, dado que los caudales cuando han ingresado a la ciudad se han reducido notablemente y por ende los niveles son muy bajos así como las coberturas vegetales de las franjas forestales protectoras son mínimas, trayendo como consecuencia que los rayos del sol incidan sobre estos generando un aumento en la temperatura del agua (CVC, 2019c).

Para una buena gestión del agua y preservación de las cuencas hidrográficas es importante y necesario conocer la sensibilidad climática de la región, es decir la variabilidad climática natural y las tendencias de temperatura y de precipitación y de gastos en la cuenca (Belitskaya, 2010).

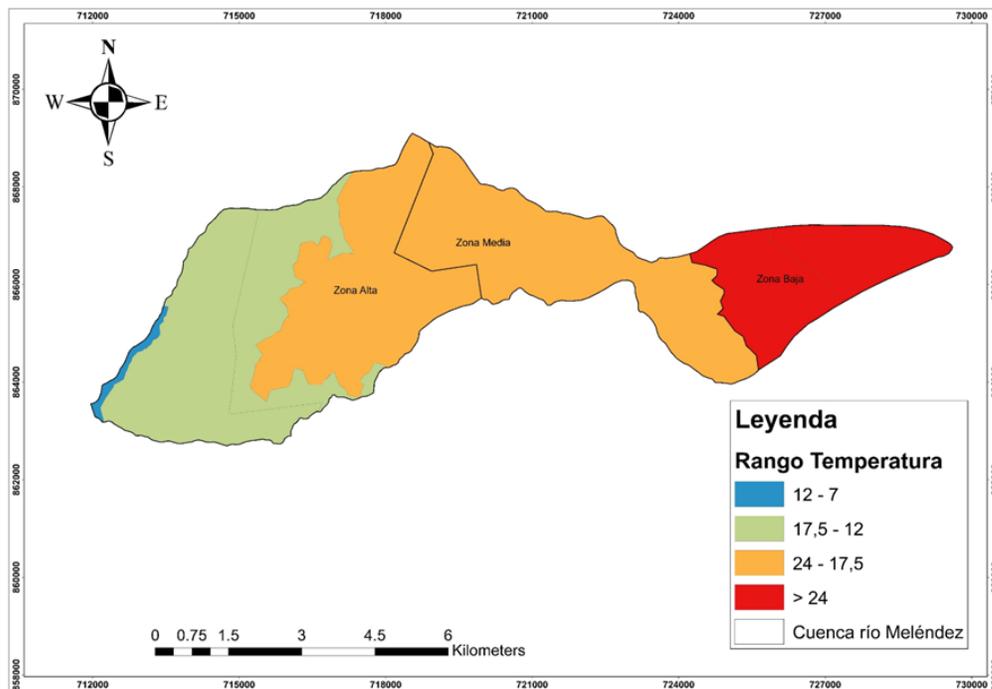


Figura 1-6. Zona Climática de la cuenca del río Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019c)

La protección de los recursos naturales ha cobrado una gran importancia en la conservación de bosques naturales y restauración de la cobertura forestal protectora en todas las cuencas hidrográficas del país. Esta preservación y recuperación es importante porque hay evidencias de varios acontecimientos de desastres causados por actividades antrópicas (deforestación, ocupación de terrenos en sitios inestables, desperdicio y contaminación de las fuentes hídricas), afectando directamente la oferta del caudal de las fuentes hídricas y a la vez contribuyendo a la inestabilidad del funcionamiento del entorno. Como se ha evidenciado en la cuenca de estudio, en los años correspondientes a periodos secos (cálidos) el caudal no cumple con la demanda requerida afectando directa e indirectamente el suministro de agua potable para la producción agrícola, el consumo y mantenimiento de los animales y de las demás actividades que se desarrollan en el área.

Es conveniente conocer la oferta hídrica actual y la futura mediante la modelación hidrológica en la cuenca, teniendo en cuenta que este territorio ha estado sometido a constantes intervenciones antrópicas, como el cambio del uso del suelo, el incremento de la población y etc. Esos son escenarios que alteran el comportamiento hidrológico de la

cuenca y se hace necesario realizar un balance hídrico para conocer y analizar los futuros escenarios sobre la oferta hídrica de esta cuenca. Con base a esta información se pueden establecer alternativas de para el uso eficiente del recurso hídrico para consumo humano en la cuenca del río Meléndez.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar una optimización de los recursos hídricos para consumo humano en la cuenca del río Meléndez.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir la oferta hídrica actual y futura de la cuenca del río Meléndez mediante modelación hidrológica.
- Realizar un balance hídrico oferta demanda en la cuenca del río Meléndez.
- Analizar el impacto de escenarios futuros sobre la oferta hídrica en la cuenca del río Meléndez.
- Establecer alternativas de optimización para un uso eficiente del recurso hídrico para consumo humano en la cuenca del río Meléndez.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Planificación de recursos hídricos

La escasez de agua para consumo es uno de los principales problemas que afronta la humanidad, para el año 2007 se estimaba que unos 500 millones de personas alrededor del mundo estaban sujetos a escasez, y se estima que para el 2025 la cifra será de 2800 millones de personas (Guzmán-Arias & Calvo-Alvarado, 2012).

Por tanto, la planificación de los recursos hídricos es una herramienta que ha sido utilizada desde tiempos antiguos para usarlos de manera apropiada. Esta ha sido definida de diversas maneras, como, por ejemplo, Weiss y Beard la definen como el “*proceso mediante el cual la sociedad dirige sus actividades para alcanzar las metas que considera importantes*” (Weiss & Beard, 1971). las Naciones Unidas indican: “*La planificación apunta al uso óptimo de los recursos disponibles. La planificación de RH (Recursos Hídricos) implica la estimación de las necesidades a corto y largo plazo y las formas de satisfacer estas necesidades. Implica una evaluación comparativa de soluciones alternativas con respecto a sus aspectos técnicos, económicos*” (Naciones Unidas, 1972). En cualquier caso, la planificación de RH es una serie de acciones que conlleven a uno o varios proyectos que permitan un uso adecuado del agua. De manera, que el espectro de objetivos o enfoques con los que se puede abordar el ejercicio de planificación es amplio (Singh et al., 1999). En todos los enfoques dos conceptos son fundamentales, referentes a la oferta hídrica y la demanda.

La demanda o uso que se hace del agua, ha ido incrementando en todo el mundo debido a las necesidades cada vez mayores en los países en desarrollo y también al crecimiento en los países en vías de desarrollo. Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución (WWAP, 2016). La agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) sigue siendo, el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69 % de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19 %, y los hogares el 12 % (AQUASTAT, n.d.). Las proyecciones

para los siguientes años son similares, ya que se autores afirman que el crecimiento para el 2050 estará entre el 20 – 30 % por encima del nivel actual (Burek et al., 2016), y aún más se atribuye ese posible incremento al avance en los sectores industrial y doméstico ((AIE (Agencia Internacional de Energía), 2016; Burek et al., 2016)). De manera, que el sector agrícola seguirá siendo muy representativo según las proyecciones como se observa en la siguiente figura (Figura 3-1).



Figura 3-1. Demanda global pro sector, proyección al 2040.
Fuente: (AIE (Agencia Internacional de Energía), 2016)

Por otro lado, en lo referente a la oferta o disponibilidad de agua esta puede presentar variaciones considerables de una temporada a otra. Por ejemplo, se estima que alrededor de 4000 millones de personas, experimentan grave escasez de agua durante al menos un mes del año (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Además, se debe tener en cuenta que, entre regiones o cuencas, también se presentan diferencias enormes en cuanto a disponibilidad a lo largo del año. Adicionalmente, las Naciones Unidas llevan a reflexionar que el estrés hídrico no necesariamente tiene en cuenta la escasez económica, o aquella que hace referencia a la limitación en el acceso a agua debido a la carencia de infraestructura de captación, o de transporte o tratamiento (UNESCO, 2018). Tal es el caso de Colombia, donde a pesar de que las Naciones Unidas lo cataloga como un país con bajo estrés hídrico (ver Figura 3-2), las personas igualmente tienen poco acceso al agua. Otra preocupación aunada a la baja disponibilidad del recurso hídrico es que se proyecta que los niveles de estrés se incrementen debido al aumento de la población, pero también debido a la

intensificación de los efectos del cambio climático. De esta manera, se estima que las áreas secas tenderán a ser más secas y de igual manera las áreas húmedas.

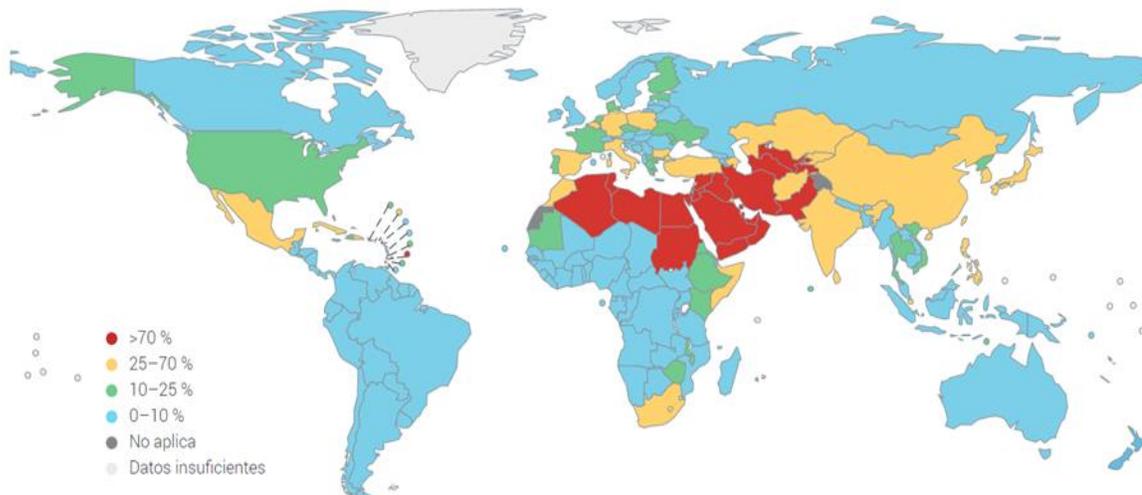


Figura 3-2. Nivel de estrés hídrico físico.
Fuente: (UNESCO, 2018)

Teniendo en cuenta lo anterior a continuación se describe con mayor detalle los conceptos de oferta y demanda.

3.2 Oferta

La oferta hídrica (superficial y/o subterránea) es la cantidad de agua susceptible de ser aprovechada para diferentes fines en un territorio (CVC, 2019a). La base de su determinación es el concepto de ciclo hidrológico y su estimación distingue dos tipos de cuencas hidrográficas: intervenidas y poco intervenidas, en función de si el régimen de caudales ha sido significativamente alterado o no por la acción antrópica (Aguirre & Bikuña, 2011).

3.2.1 Oferta hídrica total Superficial OHTS

Es el volumen de agua que escurre por la superficie del suelo, que no se infiltra o se evapora, y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos de una unidad hidrográfica (área, zona y subzona), es decir, la escorrentía. Ésta es calculada de forma anual y mensual para condiciones hidrológicas de años típicos medio (promedio multianual), seco y húmedo (IDEAM, 2019).

3.2.2 Oferta hídrica superficial disponible (OHTD)

Es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la OHTS el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental); es un valor que cobra importancia en la estimación del Índice de Uso de Agua (IUA) (IDEAM, 2019).

3.2.3 Caudal ambiental

El caudal ecológico es el caudal solicitado para el sostenimiento del ecosistema y flora de una fuente hídrica, el volumen de agua con las siguientes características en calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la de la cual depende tales ecosistemas (IDEAM, 2019).

Es necesario mitigar los efectos que trae la disminución del caudal del río ya que puede generar cambios significativos en el ecosistema, la flora y la fauna, limitando el uso del recurso sobre todo en épocas de temporada seca. La preservación de la biodiversidad de un río es conservar el patrimonio biológico del medio fluvial, garantizando la calidad, la cantidad, duración y estabilidad para el sostenimiento y el desarrollo socioeconómico de los usuarios de la cuenca (CVC, 2019a).

El cálculo del caudal ambiental ha tenido una evolución importante desde el año 2000. En esa fecha se propuso en el Estudio Nacional del Agua, ENA su cálculo como el Promedio multianual Q97.5% de la CDC, en el 2008 el concepto se amplía de manera que se consideren otros aspectos como la hidrología, hidráulica, hidrobiología o simulación de hábitat y el holístico. En el ENA del 2014 se propone el caudal ambiental como el Q75% o Q85% de la CDC, según el Índice de Retención o Regulación Hídrica que tuviese la cuenca (ver Figura 3-3).

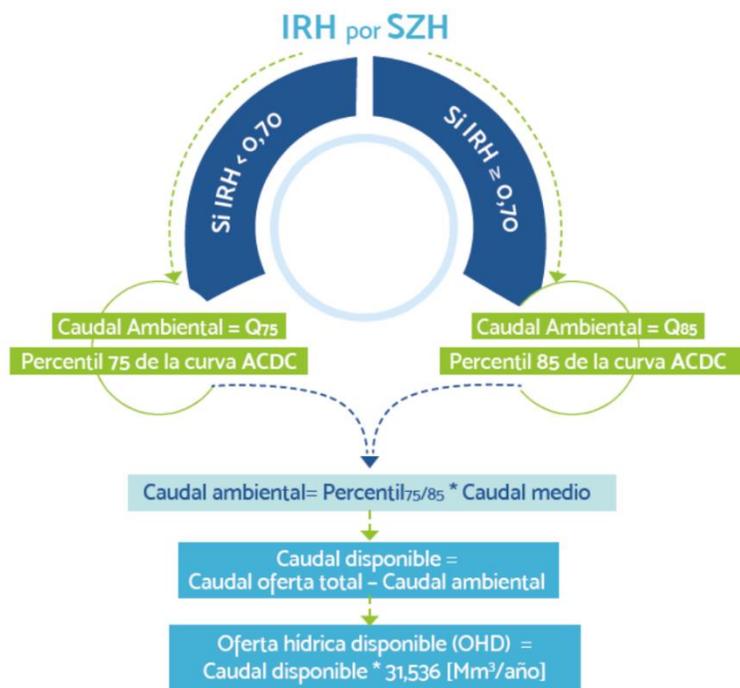


Figura 3-3. Esquema metodológico para el cálculo de la oferta hídrica disponible (OHD).
Fuente: (IDEAM, 2019)

Posteriormente, en el 2015 se consolidan los términos de referencia para la realización de un proyecto piloto que permitió establecer una propuesta metodológica de caudal ambiental con fines de gestión integral del recurso hídrico y se desarrolló un nuevo marco conceptual y metodológico para la estimación de caudales ambientales a escala regional, con fines de gestión integral del recurso hídrico. Para lo anterior, se desarrolla un caso de estudio en la cuenca del río Nare en alianza con CORNARE, producto de lo cual se deriva la *Guía Metodológica Para La Estimación Del Caudal Ambiental* que modifica el Decreto 1076 de 2015, incorporando la nueva definición de Caudal Ambiental (Minambiente & IDEAM, 2016). En la guía se ajusta el concepto de caudal ambiental como:

El caudal ambiental es el volumen de agua por unidad de tiempo en términos de calidad y régimen hidrológico requerido para mantener la funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas acuáticos continentales y su provisión de servicios ecosistémicos. (Minambiente & IDEAM, 2016), es decir que en esta se abandona el concepto de dejar un mínimo, y se aborda se reconoce el caudal ambiental como un régimen como se explica en la siguiente figura.

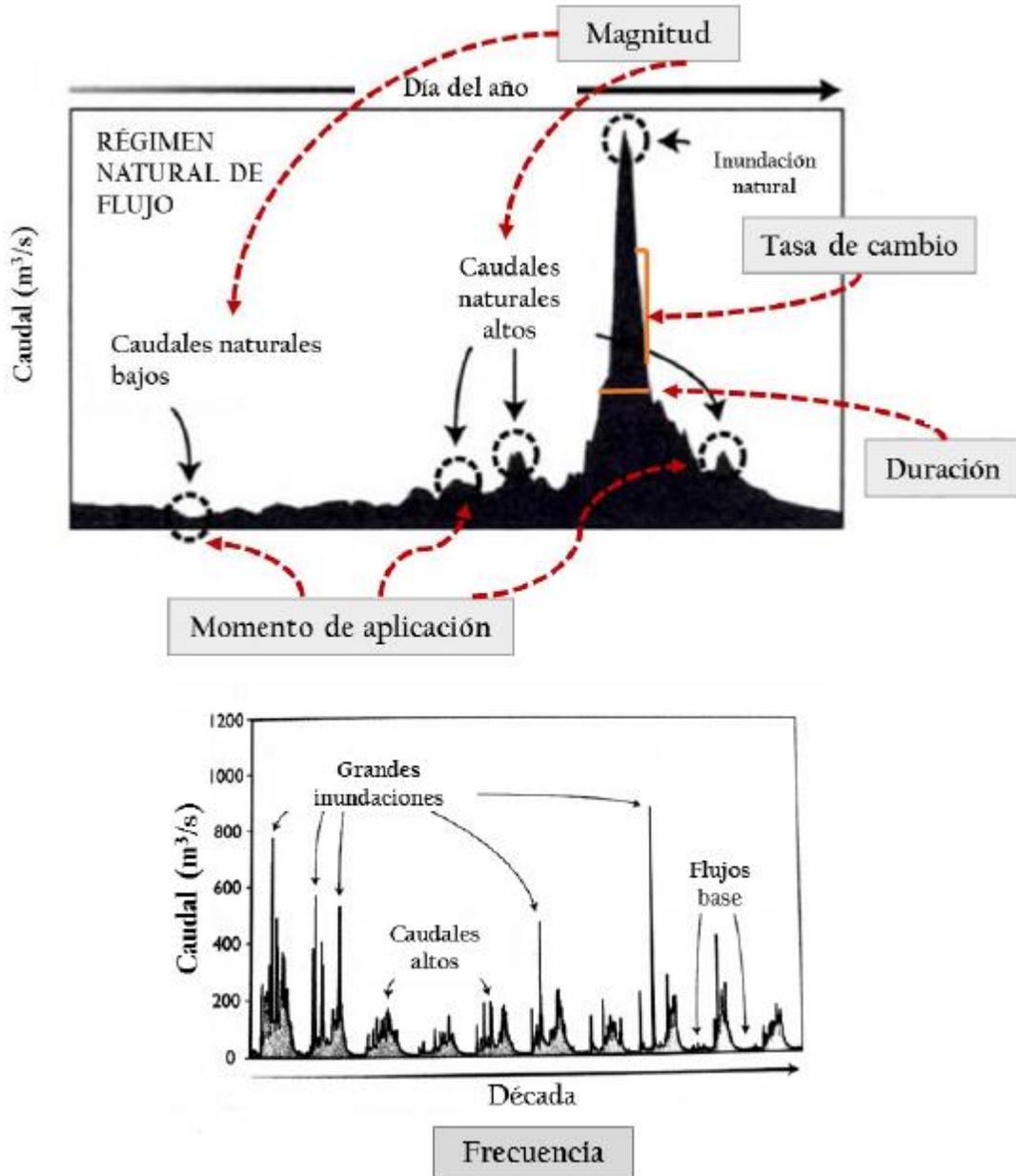


Figura 3-4. Elementos que componen el régimen natural de flujo.
Fuente: Adaptado de (Postel & Richter, 2003).

La guía contempla dos niveles de definición, un primer nivel para estimación del caudal ambiental y un segundo nivel de gestión. En el nivel de estimación se contemplan tres fases: 1. Levantamiento de información y caracterización del cuerpo de agua, cuyo producto será el mapa de la red de drenaje segmentada incluyendo sistemas lénticos

sectorizados, 2. Estimación del régimen de caudal ambiental considerando el funcionamiento ecológico, cuyo producto de esta etapa es el régimen de caudales ambientales y la línea base hidrobiológica, y 3. La evaluación del régimen de caudales ambientales considerando servicios ecosistémicos, cuyo resultado es el análisis de criterios de calidad y usos actuales y potenciales (Minambiente & IDEAM, 2016).

3.2.1 Determinación de la Oferta Hídrica Superficial

La oferta hídrica superficial se puede determinar por medio de análisis de las series observadas de caudales en el punto de salida de la cuenca, o se puede determinar utilizando modelos hidrológicos, que en general realizan una simplificación de la realidad. Un modelo describe los componentes básicos y más importantes de un sistema complejo, por lo tanto, un modelo trata de representar cierta semejanza y algunas, pero no todas, características del sistema real que simula (Pascual, 2016). En ese orden de ideas, los modelos hidrológicos intentan representar los diferentes procesos que se presentan en una cuenca, y que transforman la precipitación en escorrentía. El objetivo de la modelación es estudiar y comprender los procesos que se presentan de manera que se pueda predecir la salida (Pascual, 2016).

El modelo se basa en representar la cuenca como un sistema cerrado con unos límites bien definidos, de manera que sus divisorias se extienden verticalmente, hacia arriba y hacia abajo, mediante la proyección de la divisoria entre cuencas como se observa en la Figura 3-5.

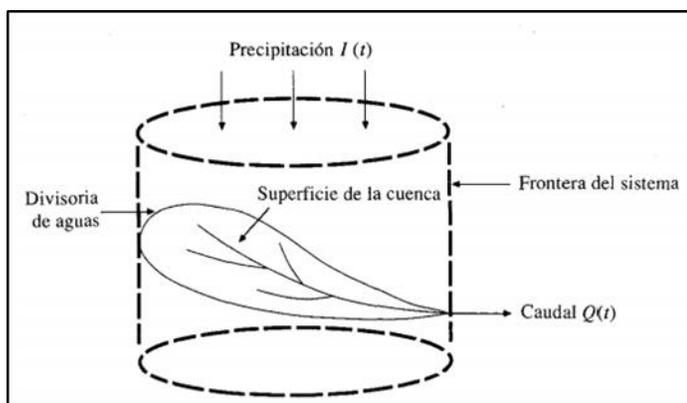


Figura 3-5. Cuenca de drenaje como sistema hidrológico.
Fuente: (Chow et al., 1994)

En términos generales se reconocen dos grandes tipos de modelos determinísticos: empíricos y de base física. Los primeros se basan en observación o experimentación y no tienen en cuenta la teoría. Se ajusta a los hechos observados y las predicciones se basan en las situaciones evaluadas (Hudson, 1995). En general tienen muchas limitaciones y no permiten hacer análisis de sensibilidad o revisión de escenarios como es el objetivo de este trabajo. Por otro lado, se tiene modelación en base física la que se deriva de una comprensión de los procesos básicos hidrológicos, teniendo en cuenta los procesos hidrológicos y las leyes de conservación de masa y energía (Hudson, 1995). Adicionalmente, en este grupo existe una serie de modelos disponibles en el mercado, de los que se ha seleccionado el modelo WEAP, el que será descrito más adelante.

3.3 Demanda hídrica

En los procesos de ordenamiento del recurso hídrico el conocimiento y cuantificación de la demanda hídrica es un factor clave dado que permite caracterizar las dinámicas de los principales usuarios y actividades que demandan del recurso hídrico (CVC, 2019a). La Demanda Hídrica de las actividades socioeconómicas y los ecosistemas (DH) corresponde a la cantidad de agua anual sustraída de los sistemas hídricos para suplir las necesidades de consumo humano, los requerimientos de las actividades económicas (producción sectorial) y las demandas esenciales de los ecosistemas existentes en una unidad espacial de estudio (IDEAM, 2019).

3.3.1 Demanda de agua para uso doméstico

El consumo humano y doméstico es entendido como el uso del agua en actividades de bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (IDEAM, 2019).

Vertimiento

El término agua residual, más comúnmente utilizado en plural, aguas residuales, define un tipo de agua que está contaminado con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. La contaminación de las aguas es originada por los asentamientos subnormales, la invasión de riberas y zonas de protección de los ríos, el vertimiento de las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y la mala disposición de escombros, lodos y basuras (Alcaldía Cali, 2018).

Sistema de tratamiento de aguas residuales

El agua que entra a los hogares e industrias no siempre tiene la misma calidad al salir después de haber sido usada. La mayor parte del agua que se destina a estos lugares (hogares, industrias y oficinas) debe de ser tratada antes de ser regresada al ambiente. La naturaleza tiene una habilidad asombrosa para "limpiar" pequeñas cantidades de agua de desecho y contaminación, pero si se hiciese cargo de los miles de millones de galones de agua y drenaje que el hombre origina diariamente, no tendría la capacidad suficiente para hacerlo. Las instalaciones de tratamiento de aguas reducen la contaminación en las aguas de desecho a un nivel que la naturaleza puede manejar. El agua al ser usada por el hombre, muchas veces se convierte en agua de desecho y drenaje. Las sustancias que se pueden encontrar son desechos humanos, restos de comida, aceites, jabones y químicos. En los hogares, también se incluye agua usada en los fregaderos de cocina, en las regaderas, tinas de baño, lavadoras de ropa y lavadoras de loza. Las oficinas e industrias también contribuyen a aumentar la cantidad de agua que debe de ser tratada (EAAB, 2008).

3.3.2 Demanda de agua para usos agrícola, pecuario y otros

El agrícola, se define como el uso del agua en irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias. El uso pecuario, se define cuando su utilización es para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para actividades conexas y complementarias. El uso recreativo, se entiende cuando su utilización es para estos fines y se produce: i) contacto primario, como en la natación,

buceo y baños medicinales, y ii) contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca (IDEAM, 2019).

3.4 Modelación con WEAP

Water Evaluation and Planning, WEAP, es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. WEAP incluye un modelo hidrológico y además incluye explícitamente demandas de agua con prioridades asociadas y usa escenarios para evaluar diferentes esquemas de distribución del recurso (Centro de Cambio Global, 2009).

WEAP apoya la planificación de recursos hídricos realizando el balance de oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). WEAP emplea diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible.

WEAP es un modelo que realiza transformación lluvia escorrentía teniendo en cuenta las variables climáticas, lo que lo diferencia de otros modelos hidrológicos. Además, y de manera similar a estos modelos de recursos hídricos, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua entre diferentes tipos de usuarios teniendo en cuenta diferentes perspectivas. Estas características convierten a WEAP en un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático, en los que es importante estimar cambios en la oferta de agua (ej. cambios en la precipitación y/o temperatura) y en la demanda de agua (ej. cambios en la demanda por evaporación en cultivos), los cuales producirán un balance de agua diferente a nivel de cuenca (Purkey et al., 2007; D Yates et al., 2007; David Yates et al., 2005).

En general, este modelo hidrológico es semidistribuido donde el área de estudio se determina a partir de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca de análisis. Se utiliza información de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. El modelo trabaja con un modelo cuasi físico unidimensional, con dos tanques de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, repartiendo el agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación (ver Figura 3-6). Los valores de cada una de estas áreas se suman para obtener los valores de una subcuenca. En cada paso de tiempo de corrida del modelo, WEAP calcula primero los flujos hidrológicos, que son traspasados a los ríos y acuíferos asociados. La distribución de agua se realiza para el mismo tiempo de corrida, donde las restricciones relacionadas con las características de los embalses y la red de distribución, las regulaciones ambientales y las prioridades y preferencias asignadas a diferentes puntos de demanda son usadas como condiciones de operación de un algoritmo de programación lineal que maximiza la satisfacción de demanda hasta el mayor valor posible (Centro de Cambio Global, 2009).

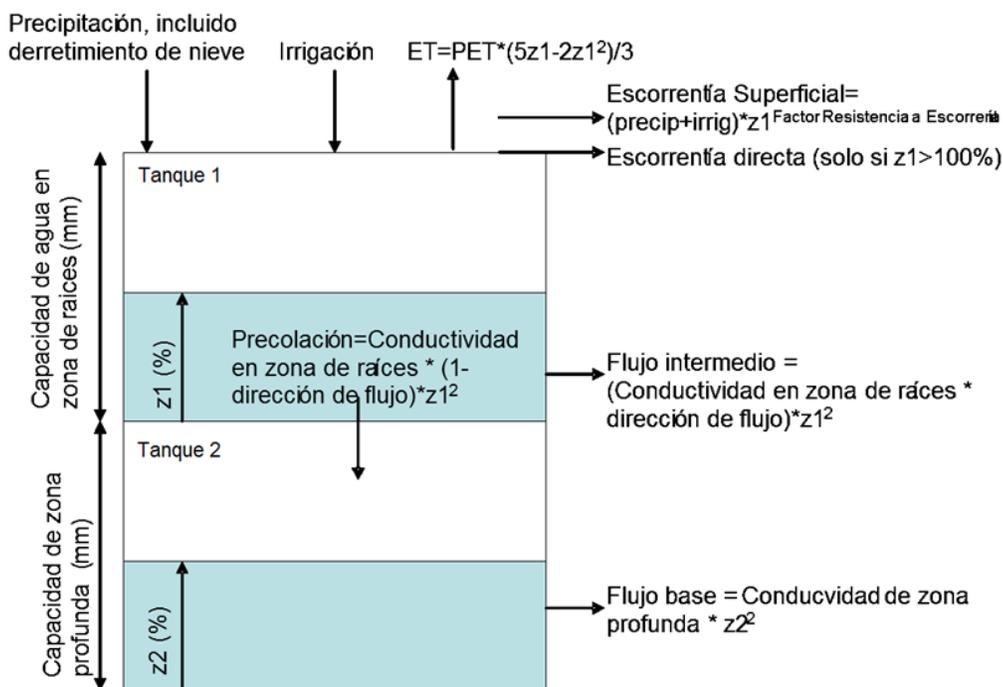


Figura 3-6 Esquema de tanques utilizado por WEAP para la modelación.
Fuente: (Centro de Cambio Global, 2009)

Para el desarrollo del modelo hidrológico en WEAP se requiere determinar los siguientes parámetros:

- Coeficiente de cultivo, Kc
- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces, Sw
- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda, Dw
- Factor de resistencia a la escorrentía, RRF
- Conductividad de zona de raíces, Ks
- Conductividad de zona profunda, Kd
- Dirección preferencial de flujo, f
- Humedad inicial en la zona de raíces (Z1)
- Humedad inicial en la zona profunda (Z2)

Se puede observar en el modelo matemático, para el tanque superior y el tanque inferior, cómo y en qué componente del flujo interviene cada parámetro (SEI, n.d.) :

Tanque superior:

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

Donde:

1er término: Cambio en humedad del suelo, 2do factor: Precipitación efectiva (incluye riego y derretimiento de nieves), 3er término: Evapotranspiración, 4to factor: Escorrentía superficial, 5to término: Flujo intermedio, 6to factor: Percolación. Tanque

$$\text{inferior: } Dw_j \frac{dz_{2,j}}{dt} = -k_d z_{1,j}^2 + (1 - f_j) k_s z_{2,j}^2 \quad (2)$$

Dónde: 1er término: Flujo base, 2do término: Percolación.

Para el modelo hidrológico en WEAP se requiere delimitar la cuenca y las subdivisiones de esta área según la cobertura vegetal. El modelo también requiere la entrada de datos climatológicos, geomorfología del suelo y de cobertura vegetal para estimar el balance hidrológico en cada una de las unidades o áreas delimitadas en este caso tres, zona alta, media y baja.

WEAP requiere la entrada de datos climáticos y de cobertura vegetal para estimar estos componentes del balance hidrológico para cada una de las unidades espaciales básicas que tienen que ser identificadas en el modelo. Estas unidades básicas de modelación corresponden a las áreas denominadas en el modelo como catchments/Unidades hidrológicas. Las unidades hidrológicas tienen que ser definidos a través de procedimientos de delimitación de subcuencas. Las subcuencas se deben delimitar en ciertos puntos de interés hidrológico donde se desea estimar el valor del caudal en un momento determinado durante el uso del modelo, ya sea para la calibración o la simulación de escenarios futuros. Estos puntos son: Confluencia de ríos, Puntos de aforo de caudales, Embalses existentes y proyectados, Puntos de inicio y de terminación de canales de derivación de agua (Centro de Cambio Global, 2009). Se recomienda subdividir las subcuencas de acuerdo con sus capas de elevación para obtener áreas que son espacialmente uniformes respecto a sus características topográficas y climatológicas (Centro de Cambio Global, 2009).

Para realizar el análisis oferta - demanda en WEAP se deben caracterizar e incluir las demandas de la cuenca, como son las demandas de consumo doméstico y humano, pecuario, agrícola, industrial y para fines recreacionales, con sus respectivas conducciones, aducciones, flujos de retornos y embalses para conocer la oferta-demanda y analizar su comportamiento actual y futuro. Se establecen nodos de demanda en WEAP, en cada uno de ellos se debe incluir el nivel de actividad anual (número de usuarios y la tasa de crecimiento etc.), la tasa anual del uso (consumo per cápita) del agua, variación mensual y consumo (pérdidas).

En general, los nodos de demanda en WEAP se caracterizan de acuerdo con el nivel de actividad anual (número de habitantes, tasa de crecimiento, número de animales, área cultivada, etc.), tasa anual de uso de agua (consumo per cápita, módulo de consumo por animal o por hectárea, etc.).

Al modelo WEAP se ingresa la información hidroclimática seleccionada según la delimitación realizada según los usos de los suelos, la ubicación de las captaciones de agua, conducciones, aducciones y flujos de retorno. En la Figura 3-7 se muestra la forma general los pasos para realizar un modelo hidrológico en WEAP.



Figura 3-7. Diagrama de flujo para la determinación de la oferta hídrica superficial.
Fuente:(Centro de Cambio Global, 2009)

El programa emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible. En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.

- Estableciendo una nueva área en blanco: se puede crear un área del WEAP en cualquier parte del mundo.
- Agregar capas GIS al área, de los ríos, de las subcuencas, demandas etc.,
- Dibujar el río según su trazado y es importante la dirección, dónde inicia y hasta dónde debe llegar.
- Agregar los puntos hidrológicos según la división de las subáreas que se realizaron en la cuenca de estudio.

Al ingresar los shapefiles y crear los diferentes nodos de demandas, los puntos hidrológicos, la dirección del río, se procede a ingresar los datos (Data view) y para este modelo hidrológico es necesario el uso de los supuestos claves.

Por último, se debe realizar el proceso de calibración por medio del cual se busca ajustar caudales pico y caudales base. En la etapa de calibración del modelo se busca lograr un set de parámetros hidrológicos y operacionales que permitan obtener una representación de caudales y de operación de obras de infraestructura que asemeje los datos históricos

de la forma más cercana posible. Para esto, es necesario realizar comparaciones entre series de tiempo de caudales observados en puntos específicos, comparar los datos de niveles observados en reservorios versus simuladas. Con base en estas comparaciones se estiman medidas de bondad de ajuste para probar la precisión del modelo y de esta manera ajustar los parámetros hasta lograr la mejor respuesta (Centro de Cambio Global, 2009).

3.4.1 Análisis estadísticos de series hidrológicas

Una parte importante de la modelación, la constituye el análisis de la calidad de las series hidrometeorológicas utilizados, ya que es necesario en un buen uso de la información, o de lo contrario la modelación puede conllevar a resultados erróneos. Para esto es común la utilización de métodos estadísticos, ya que es una herramienta que permite definir las propiedades de los datos de manera comprensible. Estas observaciones pueden presentarse gráficamente o como un cuadro, evidenciando sus características, otra manera de organizar un conjunto de datos es formar una distribución de frecuencias acumuladas, este tipo de representación de los datos es útil para determinar que los límites superior e inferior de las series utilizadas para el estudio de la cuenca (OMM, 2018). A continuación, se describen algunos de los análisis más importantes que se realizan normalmente en hidrología.

Análisis de curva de masa

La curva de masa es un diagrama de datos acumulados en el tiempo de una serie temporal, cuya acumulación se realiza mediante la ecuación de abajo. Los cambios en la pendiente en la curva indican cambios en la variable lo que permite establecer un cambio en los datos y por tanto cuestionar su consistencia.

$$Sum_t = x_t + \sum_{i=1}^{t-1} x_i \quad (3)$$

Análisis de doble masa

Este es una relación lineal entre series temporales de datos hidrológicos, para datos de precipitación por lo regular tienen una proporcionalidad con los totales. Esta se representa mediante la gráfica de la acumulación de los valores de dos estaciones para el mismo periodo de tiempo. La pendiente de la línea representa la constante de proporcionalidad

entre las dos estaciones, y el cambio o ruptura de la pendiente puede indicar que no hay proporcionalidad o no hay relación de los datos comparados. Para aplicar este método se utilizan las siguientes ecuaciones (Dahmen & Hall, 1990).

$$R_i = x_i - \bar{x} \quad \text{Sum}_{rt} = R_t + \sum_{i=1}^{t-1} R_i \quad (4)$$

3.5 Balance oferta - demanda

Al evaluar todos los procesos y referenciando las características de la zona, se puede realizar el balance entre oferta y demanda del agua, y con base a esta información se logra conocer cambios en el presente y futuro de la zona derivados por el comportamiento de las variables climáticas, que si son desfavorables se representarán por medio de una disminución del agua de todos las afluentes que hacen parte de la cuenca. El balance entre la demanda y oferta del recurso hídrico permite identificar posibles situaciones de déficit y/o excesos de agua, y a partir de allí planificar, manejar y distribuir este recurso de manera adecuada en una zona determinada.

Una vez que se cuente con el modelo para el área de estudio calibrado y validado se puede realizar la evaluación de diferentes escenarios potenciales futuros. Los escenarios futuros pueden ser de diferentes tipos: escenarios de crecimiento o cambio en la población, de uso de suelo, de clima, entre otros. Para realizar este el análisis del balance entre la oferta y la demanda se suelen utilizar indicadores que permiten evaluar el comportamiento de la cuenca en cuanto a oferta, a demanda y si la disponibilidad es suficiente. En el Sistema Ambiental colombiano a estos indicadores se les denomina indicadores del recurso hídrico superficial y, por tanto, se describen en detalle a continuación.

3.5.1 Indicadores del recurso hídrico superficial

La evaluación del sistema natural nacional se soporta en un conjunto de indicadores que evalúan, desde una fundamentación técnica, las características del clima y regulación de caudales, y la intervención antrópica. Los indicadores asociados al régimen hidrológico (oferta) son el índice de aridez y el índice de regulación hídrica, lo cuales permiten identificar zonas cuya normalidad climática es seca y la caracterización de la regulación de las cuencas (IDEAM, 2019). Estos indicadores están asociados al régimen natural, como

la cobertura de la superficie de la cuenca y los factores meteorológicos, los que según sus características definen un régimen hidrológico que se puede ver afectado por la intervención antrópica, generando un desbalance hídrico, causando un desabastecimiento de agua para los diferentes usos (Zambrano Nájera, 2023).

De otro lado, para evaluar la presión sobre los sistemas, se cuenta con el Índice de Uso de Agua Superficial, el que realiza el balance entre la Demanda y la Oferta, mediante el cálculo de la relación entre una variable y otra. Por último, está el Índice de Vulnerabilidad Hídrica, el que permite definir qué tanto puede un sistema hídrico mantener una oferta de agua disponible.

3.5.1.1 Índice de Aridez

Este índice representa la dinámica superficial basada en la evapotranspiración real y potencial de una zona de estudio. A partir de este, se establecen los lugares con excedentes y déficit de agua; de acuerdo al valor o rango del IA estimado. En la siguiente Tabla 3-1, se muestran los rangos de clasificación del IA (IDEAM, 2019). El Índice de Aridez se calcula mediante la fórmula:

$$IA = \frac{(ETP-ETR)}{ETP} \quad (5)$$

Donde,

IA Índice de aridez (adimensional)

ETP Evapotranspiración potencial (mm/año)

ETR Evapotranspiración real (mm/año)

Ecuación de Budyko de 1974 para la *ETR*

Esta ecuación relaciona la evapotranspiración real con la potencial.

$$ETR = \sqrt{ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \cdot \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]} \quad (6)$$

Donde,

P Precipitación media anual multianual (mm/año)

ETP Evapotranspiración potencial (mm/año)

\tanh , \cosh y \sinh son las funciones hiperbólicas

Ecuación de Hargreaves modificada para Colombia (IDEAM, 2018b)

La fórmula original de Hargreaves fue ajustada para Colombia, a partir de la comparación de valores evapotranspiración calculada con la fórmula de Penman-Monteith, contra valores de evapotranspiración de la fórmula de Hargreaves simplificada:

$$ETP = 0,00216(t_{med} + 17,78) \cdot R \cdot (t_{max} - t_{min})^{0.47} \quad (7)$$

Donde,

ETP evapotranspiración potencial o de referencia (mm / mes)

R_o radiación extraterrestre en equivalente de milímetros de agua (mm/mes)

$t_{med}, t_{max}, t_{min}$ Temperatura media, máxima y mínima, en grados Celsius [°C] (IDEAM, 2019).

Tabla 3-1 Rangos de clasificación del Índice de Aridez
Fuente: (IDEAM, 2019)

| Índice de Aridez | IA | Calificación | Descripción |
|------------------|----|-----------------------|--|
| > 0,15 | | Altos excedentes | Altos excedentes de agua, baja aridez |
| 0,15 – 0,2 | | Excedentes | Excedentes de agua, baja aridez |
| 0,2 – 0,3 | | Moderado y excedentes | Moderado, y excedentes de agua, aridez media |
| 0,3 - 0,4 | | Moderado | Moderado, aridez media |
| 0,4 - 0,5 | | Bajo | Moderado y deficitario de agua, media aridez |
| 0,5 - 0,6 | | Deficitario | Deficitario de agua, alta aridez |
| >0,60 | | Altamente deficitario | Altamente deficitario de agua, alta aridez |

3.5.1.2 Índice de Retención y Regulación Hídrica

El Índice De Retención Y Regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca (IDEAM, 2019). Este indicador determina la capacidad de retención de agua en las subcuencas de acuerdo a la distribución de las frecuencias acumuladas de los caudales diarios, es adimensional y su resultado presenta una variación entre cero y uno, siendo los

valores cercanos a cero indicadores de una baja regulación y retención hídrica (Tabla 3-2).

Tabla 3-2 Categorías de IRH.

Fuente: (IDEAM, 2019)

| Rango de valores IRH | Categoría | Características |
|----------------------|-----------|--|
| > 0,85 | Muy Alto | Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta |
| 0,75 – 0,85 | Alto | Capacidad de la cuenca para retener y regular alta |
| 0,65 – 0,75 | Medio | Capacidad de la cuenca para retener y regular media |
| 0,50 – 0,65 | Bajo | Capacidad de la cuenca para retener y regular baja |
| < 0,50 | Muy Bajo | Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja |

3.5.1.3 Índice de Uso de Agua (IUA)

Este índice permite medir el grado de presión que se tiene sobre el recurso hídrico de una unidad hidrográfica de análisis. La categorización utilizada para determinar el nivel de presión es la que se muestra en la Tabla 3-3.

El Índice de Uso de Agua (IUA) se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$IUA_j = \frac{DH_j}{OHTD_j} * 100 \quad (8)$$

Donde,

IUA_j Índice de Uso del Agua en la unidad espacial de referencia j para condición hidrológica promedio o de año seco (%)

DH_j Demanda hídrica de las actividades socioeconómicas y de los ecosistemas en la unidad espacial de referencia j (Mm³ /año)

$OHTD_j$ Oferta hídrica superficial total disponible en la unidad espacial de referencia j para condición hidrológica promedio o de año seco (Mm³ /año).

En la OHTD el factor de reducción corresponde solamente al caudal ambiental (IDEAM, 2018a).

Tabla 3-3 Rangos y categorías para la evaluación del Índice del Uso del Agua.

Fuente: (IDEAM, 2019)

| RANGO (%) | CATEGORIA IUA | INTERPRETACIÓN |
|------------|---------------|---|
| >50 | MUY ALTO | La presión de la demanda es muy alta respecto a la oferta disponible. |
| 20.01 – 50 | ALTO | La presión de la demanda es alta respecto a la oferta disponible. |

| | | |
|------------|----------|---|
| 10.01 – 20 | MEDIO | La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible. |
| 1 – 10 | BAJO | La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible. |
| <1 | MUY BAJO | La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible. |

3.5.1.4 Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH)

Este índice permite definir qué tanto puede un sistema hídrico mantener una oferta de agua disponible, teniendo en cuenta variaciones del clima como periodos largos de estiaje, periodos de sequía prolongados, ocurrencia de fenómeno de El Niño, entre otros. Se determina mediante la relación de los indicadores de regulación hídrica (IRH) y uso de agua (IUA), relacionando los valores obtenidos para estos índices en una matriz de categorías establecida en el Estudio Nacional del Agua (CVC, 2019a) (Tabla 3-4).

Tabla 3-4 Categorías del IVH.
Fuente: (IDEAM, 2019)

| IUA | | IRH | | | |
|------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Índice de Aridez | Categoría | Alta | Moderado | Baja | Muy baja |
| > 1 | Muy bajo | Muy baja | Baja | Media | Media |
| 1 - 10 | Bajo | Baja | Baja | Media | Media |
| 10 - 20 | Moderado | Media | Media | Alta | Alta |
| 20 - 50 | Alto | Media | Alta | Alta | Muy Alta |
| 50 - 100 | Muy Alto | Media | Alta | Alta | Muy Alta |
| > 100 | Crítico | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta |

4 METODOLOGÍA

4.1 Recolección de información

Se solicitó la información secundaria a las entidades públicas como son el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) que tiene la jurisdicción sobre el área urbana, la CVC y el Ministerio del Medio Ambiente en el área rural de la cuenca media y Parque Nacionales Naturales Los Farallones de Cali que le corresponde la parte alta de la cuenca (Alcaldía Cali, 2018). También se solicitó información de las empresas privadas y públicas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de la zonas rural y urbana. Luego de tener la información se procedió a analizarla y se seleccionó la información que se requería para realizar la modelación hidrológica. En la Tabla 4-1 se relaciona la información recolectada, requerida por el modelo WEAP, para poder obtener la oferta hídrica actual y futura de la cuenca del río Meléndez.

Tabla 4-1. Datos y mapas requeridos para la modelación hidrológica
Fuente: (SEI, 2015)

| Datos Requeridos Modelo Hidrológico | Formato |
|---|-------------------------|
| Uso del suelo | SIG |
| MED (Modelo de elevación Digital) | SIG |
| Tipo de suelo | SIG |
| Cobertura de vegetación | SIG |
| Delimitación de la zona hidrográfica | SIG |
| Hidrografía | SIG |
| Geología | SIG |
| Puntos de interés | SIG. Excel, texto o cvs |
| Clima | SIG. Excel, texto o cvs |
| Precipitaciones (series de datos históricos diario total en cada año). | Excel |
| Caudales (series de datos históricos promedio diario de cada año) | Excel |
| Temperatura (series de datos históricas promedio diario). | Excel |
| Sitios de demanda | SIG. Excel, texto o cvs |
| Número de usuarios | Excel |
| Consumo per cápita | Excel |
| Variación mensual | Excel |
| Porcentaje de retorno | Excel |
| Perdidas | Excel |
| Reúsos | Excel |

| | |
|---|-------------------------|
| Vertimientos | SIG. Excel, texto o cvs |
| Descripción de vertimientos | Excel |
| Perdidas | Excel |
| Permisos de ocupación de cause - obras (tubería, canales bocatomas) | SIG. Excel, texto o cvs |
| Caudal ambiental | Excel |
| Capacidad máxima | Excel |

4.2 Zona de estudio

4.2.1 Información hidroclimatológica

4.2.1.1 Análisis de calidad de las series

Luego de clasificar la información secundaria suministrada por los entes anteriormente mencionados se realizó una clasificación de los datos de las estaciones de precipitación, temperatura y caudal, con series de datos diarios, las que se observan en la Figura 4-1.

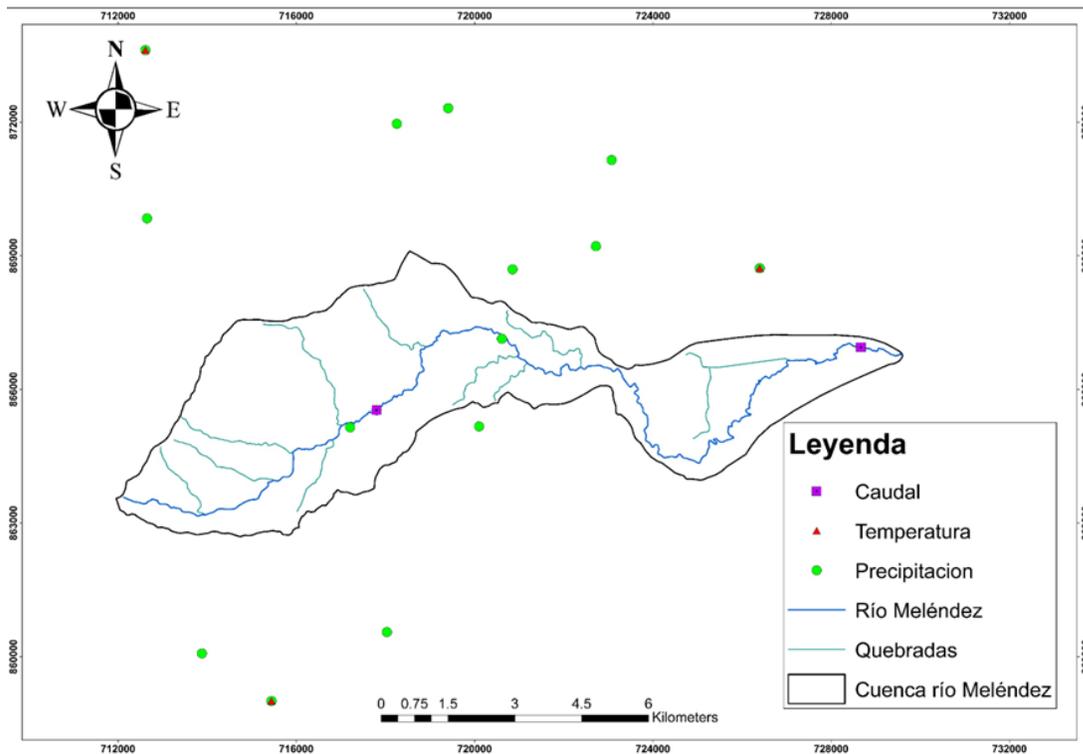


Figura 4-1 Ubicación espacial de las estaciones de precipitación, temperatura y caudal líquido.

Fuente: elaboración propia

Después se realizó un análisis de concurrencia para las tres variables hidroclimatológicas, como se muestra en la Figura 4-2. A partir de este análisis se seleccionó el periodo donde los datos están mejor definidos, el tiempo seleccionado es 2016 a 2020 como se ilustra en la figura.

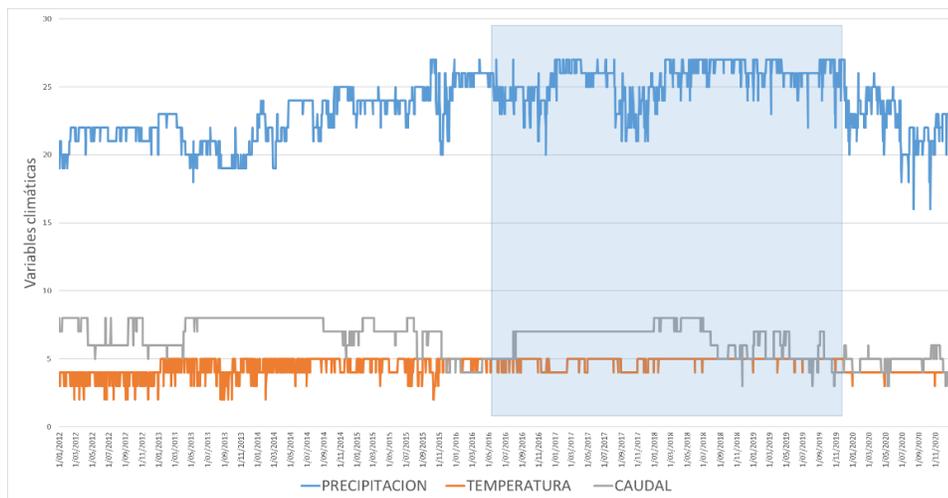


Figura 4-2 Gráfica de concurrencia del periodo 2012 a 2020
Fuente: elaboración propia

Al escoger el periodo donde hay mayor información, con las quince estaciones de precipitación se realizó un análisis de curva de masa. En la Figura 4-3 se observa un comportamiento lineal de cada estación lo que indica consistencia de las series analizadas.

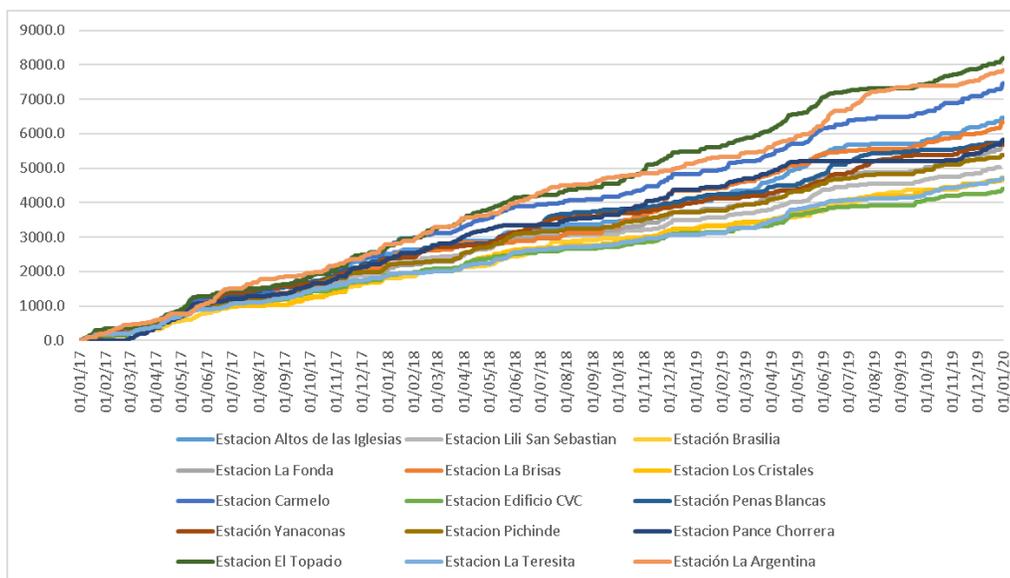


Figura 4-3 Curva de masa de precipitación acumulada de las quince estaciones vs tiempo.
Fuente: elaboración propia

El análisis de doble masa es una relación lineal entre series temporales de datos hidrológicos, para datos de precipitación por lo regular tienen una proporcionalidad a los totales, para las estaciones cercanas si se encuentran en el área hidrológica. La curva de doble masa como también puede ser llamada línea de doble masa es la relación lineal que hay entre los conjuntos de datos.

Se grafica la acumulación de dos variables, durante el mismo periodo, se traza una línea recta, la pendiente de la línea representa la constante de proporcionalidad entre las dos cantidades, el cambio o ruptura de la pendiente puede indicar que no hay proporcionalidad o no haya relación de los datos comparados. Para aplicar este método se utilizan las siguientes ecuaciones. (Dahmen & Hall, 1989)

$$R_i = x_i - \bar{x} \qquad Sum_{rt} = R_t + \sum_{i=1}^{t-1} R_i$$

A este conjunto de datos también se le realizó un análisis con la curva de doble masa en las que no se observan cambios pronunciados en la pendiente de las series como se muestra en la Figura 4-4. Al comparar el comportamiento lineal entre las quince estaciones preseleccionadas, se corroboró que los datos de las estaciones presentan consistencia

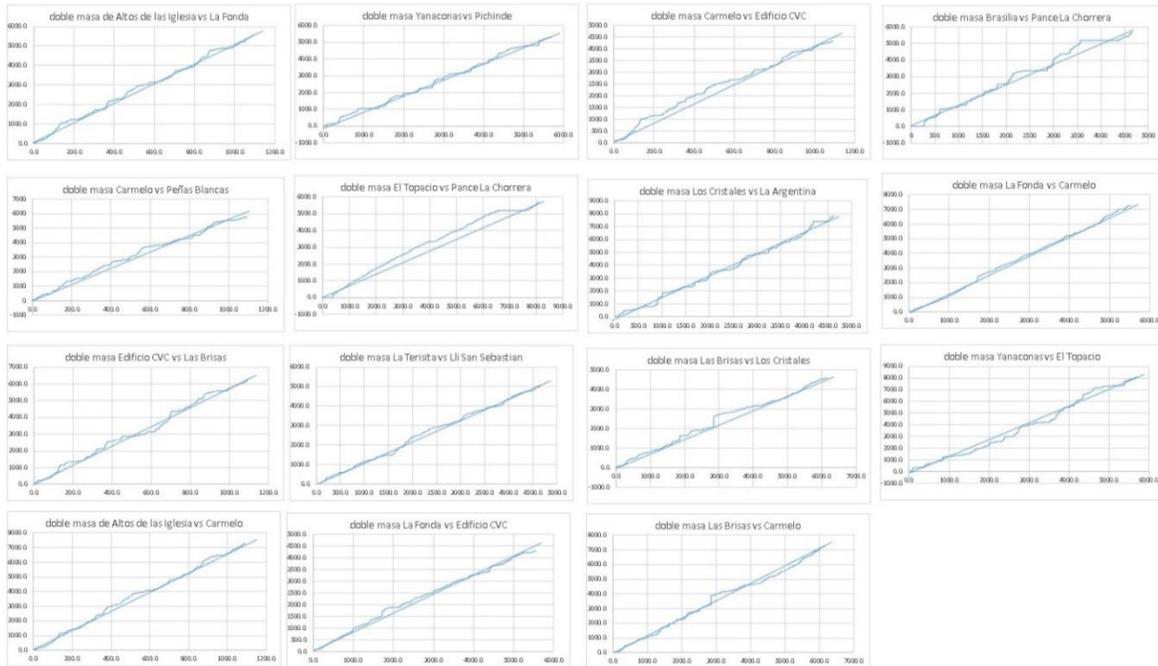


Figura 4-4 Curva de doble masa de precipitación acumulada estaciones precipitación.
Fuente: elaboración propia.

Las estaciones de precipitación tenían datos faltantes y se necesitó el método denominado Ponderación de la Distancia Inversa IDW, como se observa en la ecuación siguiente, que consiste en interpolar los datos de una muestra dándole mayor peso a los valores que se ubican más cerca y menor a los lejanos.

$$w_i = N \left(\frac{1}{d_{e,i}} \right)^\beta / \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_{e,i}} \right)^\beta \quad (9)$$

Dónde: N= número total de estaciones, $d_{e,i}$ = distancia entre el sitio a estimar e y la estación i, β = coeficiente de potencia

En las estaciones de temperatura también se presentaban datos faltantes, y para realizar el relleno de esta información se utilizó el método de análisis de correlación que consiste en verificar la fuerza como la dirección de la relación lineal entre dos estaciones y así poder tener el conjunto de datos completos de cada una de las series.

El río Meléndez cuenta con dos estaciones para la medición del caudal (ver Figura 4-1), las que también presentaban datos faltantes. Para rellenar estos faltantes se utilizó el método de los promedios que consiste en obtener la media de todos los valores de la serie.

Otra consideración para las tres variables climáticas fue seleccionar las estaciones que no tuvieran un porcentaje de datos faltantes mayor al 30 %, en cada serie de tiempo seleccionada.

También se realizó un análisis de tendencia de la precipitación para lo que se utilizó el Test de Mann Kendall, para el periodo de 2007 - 2020. De dicho análisis se concluyó que de las quince estaciones solo trece estaciones contaban con la información para realizar el análisis de tendencia. De estas, 13 mostraron tendencia significativa decreciente (TSD) y dos no mostraron tendencia (Tabla 4-2).

Tabla 4-2 Análisis de tendencia de las quince estaciones de precipitación seleccionadas
Fuente: elaboración propia

| ESTACIONES | Calculo Z | TENDENCIA $\alpha=0.05$ |
|----------------------|-----------|----------------------------|
| ALTO DE LAS IGLESIAS | -0.58 | TSD |
| LA FONDA | -0.95 | TSD |
| EDIFICIO CVC | -1.79 | TSD |
| LAS BRISAS | -1.24 | TSD |

| | | |
|----------------------|-------|------|
| LOS CRISTALES | -1.04 | TSD |
| EL CARMELO | -0.34 | TSD |
| LILI - SAN SEBASTIAN | -0.26 | TSD |
| BRASILIA | -1.35 | TSD |
| YANACONAS | -0.5 | TSD |
| PEÑAS BLANCAS | -1.35 | TSD |
| PICHINDE | -2.31 | TNSD |
| CHORRERA DEL INDIO | -0.97 | TSD |
| EL TOPACIO | -0.29 | TSD |
| LA TERESITA | -1.30 | TSD |
| LA ARGENTINA | 1.12 | TNSC |

Luego se realizaron controles de calidad básicos, como eliminar datos negativos y valores atípicos, en las Tabla 4-3, Tabla 4-4 y Tabla 4-5 se encuentran las estadísticas básicas de las tres variables climáticas que se analizaron para obtener el modelo hidrológico.

Tabla 4-3 Estadísticos básicos de las series de precipitación
Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | NA | % NA | Promedio | Desviación | Varianza | Mínimo | Máxima | Altitud |
|----------|----------------------|-----|------|----------|------------|----------|--------|--------|---------|
| 26050120 | El Topacio | 7 | 0 | 7,41 | 13,74 | 188,94 | 0 | 119 | 1.676 |
| 26050250 | La Argentina | 18 | 0,01 | 6,76 | 12,66 | 160,19 | 0 | 113 | 1.794 |
| 26050320 | Alto Iglesias | 123 | 0,09 | 6,24 | 12,60 | 158,82 | 0 | 126 | 1.705 |
| 26050130 | La Fonda | 23 | 0,02 | 5,06 | 12,53 | 157,10 | 0 | 135 | 1.298 |
| 26080300 | Edificio CVC | 8 | 0 | 4,29 | 9,68 | 93,79 | 0 | 110 | 985 |
| 26050160 | Las Brisas | 1 | 0 | 5,89 | 12,87 | 165,74 | 0 | 140 | 1.228 |
| 26080140 | Penas Blancas | 92 | 0,07 | 4,94 | 10,26 | 105,29 | 0 | 96 | 2.158 |
| 26050090 | Yanaconas | 2 | 0 | 5,13 | 10,26 | 105,19 | 0 | 70 | 1.730 |
| 26050170 | Los Cristales | 31 | 0,02 | 4,39 | 11,69 | 136,65 | 0 | 130 | 1.312 |
| 26080130 | La Teresita | 6 | 0 | 4,23 | 8,99 | 80,77 | 0 | 111 | 1.950 |
| 26080390 | Brasilia | 40 | 0,03 | 4,36 | 9,42 | 88,76 | 0 | 110 | 1.864 |
| 26307010 | El Carmelo | 35 | 0,02 | 6,57 | 13,86 | 192,16 | 0 | 120 | 1.550 |
| 26297020 | Pance - Chorrera | 24 | 0,02 | 5,27 | 11,35 | 128,93 | 0 | 107 | 1.386 |
| 26347020 | Pichindé | 5 | 0 | 5,01 | 10,52 | 110,63 | 0 | 87 | 1.531 |
| 26300010 | Lili - San Sebastián | 7 | 0 | 4,54 | 11,19 | 125,26 | 0 | 130 | 1.554 |

Tabla 4-4 Estadísticos básicos de las series de caudal
Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | NA | % NA | Promedio | Desviación | Varianza | Mínimo | Máxima | Altitud |
|------------|-----------------|-----|------|----------|------------|----------|--------|--------|---------|
| 2622320404 | Meléndez - PTAR | 532 | 0,16 | 1,02 | 1,77 | 3,12 | 0 | 22,05 | 956 |
| 2622320403 | El Carmelo | 370 | 0,11 | 1,41 | 1,67 | 2,82 | 0 | 7,48 | 1.550 |

Tabla 4-5 Estadísticos básicos de la serie de temperatura

Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | NA | % NA | Promedio | Desviación | Varianza | Mínimo | Máxima | Altitud |
|-----------|--------------|-----|------|----------|------------|----------|--------|--------|---------|
| 26295010 | El Topacio | 31 | 0,01 | 19,33 | 1,33 | 1,77 | 15,18 | 24,35 | 1.676 |
| 26345010 | La Teresita | 129 | 0,04 | 16,16 | 0,99 | 0,98 | 10,63 | 20,38 | 1.950 |
| 262230107 | Edificio CVC | 677 | 0,21 | 25,08 | 1,56 | 2,45 | 9,23 | 30,42 | 985 |

4.2.1.2 Precipitación

Se presenta la ubicación espacial de las estaciones pluviográficas, pluviométricas y climáticas que se seleccionaron para este estudio como aparece en la Figura 4-1. La cuenca se encuentra entre los 3.120 m.s.n.m. y 938 m.s.n.m., la topografía de la zona es bastante variada y por ende tiene gran variación en la precipitación. Para este estudio se contó con quince estaciones de las cuales tres están dentro de la cuenca y las otras doce están a no menos de seis kilómetros de distancia por fuera del área. El listado de las 15 estaciones seleccionadas y su correspondiente ubicación se presentan en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6. Listado de estaciones de precipitación incluidas para el estudio

Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | Categoría | Municipio | Estado | Coordenadas | Altitud | Fecha de instalación |
|----------|----------------------|---------------|-----------|--------|--------------------------|---------|----------------------|
| 26050120 | El Topacio | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,3166667, -76,6333333) | 1.676 | 15-12-64 |
| 26050250 | La Argentina | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,3333333, -76,6666667) | 1.794 | 15-11-71 |
| 26050320 | Alto Iglesias | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,3666667, -76,6333333) | 1.705 | 15-02-81 |
| 26050130 | La Fonda | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,3833333, -76,60) | 1.298 | 15-12-64 |
| 26080300 | Edificio CVC | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,4000000, -76,550) | 985 | 15-03-84 |
| 26050160 | Las Brisas | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,4166667, -76,60) | 1.228 | 15-02-69 |
| 26080140 | Penas Blancas | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,4166667, -76,6666667) | 2.158 | 15-04-65 |
| 26050090 | Yanaconas | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,4333333, -76,6166667) | 1.730 | 15-06-38 |
| 26050170 | Los Cristales | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,4333333, -76,5833333) | 1.312 | 15-02-69 |
| 26080130 | La Teresita | Pluviométrica | Cali | Activa | (3,4500000, -76,6666667) | 1.950 | 15-12-64 |
| 26080390 | Brasilia | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,4500000, -76,6333333) | 1.864 | 15-05-65 |
| 26307010 | El Carmelo | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,3854667, -76,57485) | 1.550 | 30-06-17 |
| 26297020 | Pance - Chorrera | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,3320778, -76,6140194) | 1.386 | 30-06-17 |
| 26347020 | Pichindé | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,4349500, -76,6121444) | 1.531 | 30-06-17 |
| 26300010 | Lili - San Sebastián | Pluviográfica | Cali | Activa | (3,3736139, -76,5954) | 1.554 | 30-06-17 |

En la precipitación se presenta un ciclo bimodal con dos temporadas lluviosas (marzo – mayo y septiembre – noviembre) y dos temporadas secas (diciembre – febrero y junio – agosto). En la Figura 4-5 se observan los cambios de precipitación durante el año y dependiendo de la ubicación de las estaciones.

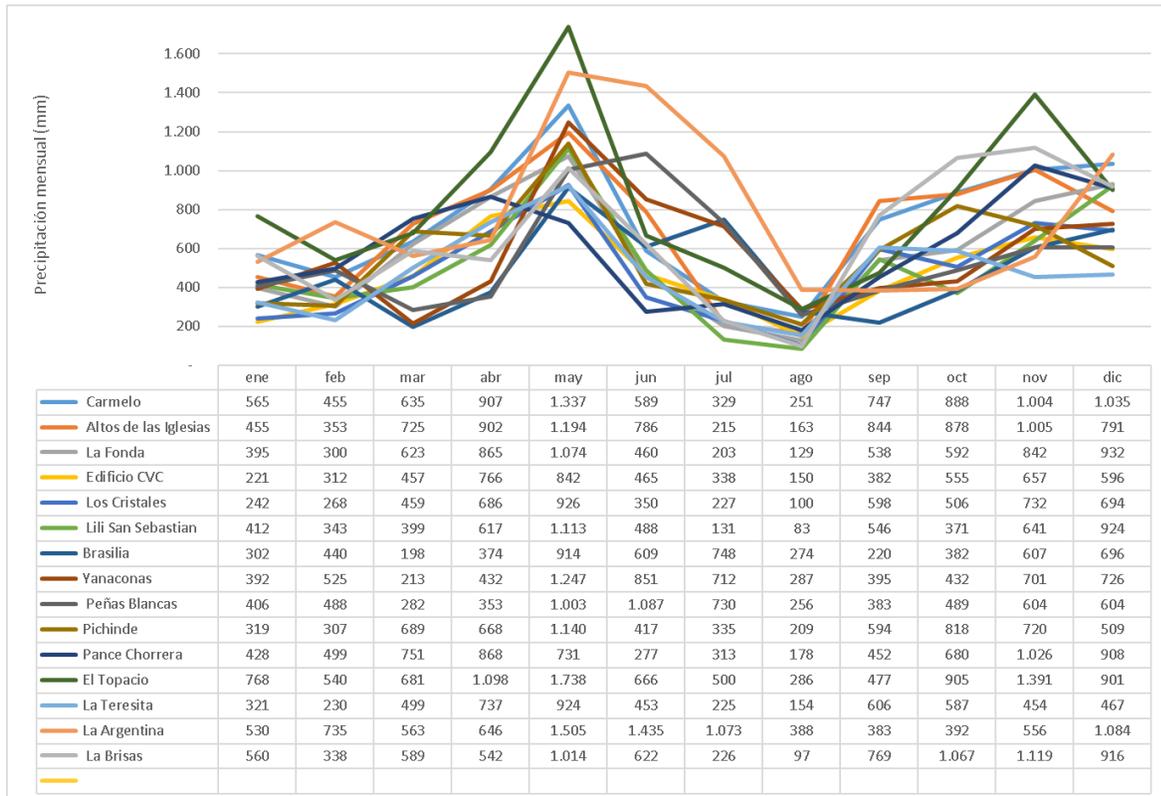


Figura 4-5 Ciclo anual de la precipitación media de los años 2012-2020

Fuente: elaboración propia

En la Figura 4-6 se observa la precipitación media anual multianual (mm/año) en forma de isoyetas, en la cual se puede observar el descenso de la precipitación con la altitud. Dentro de las 15 estaciones empleadas en este estudio, las que se encuentran específicamente al interior de la cuenca son 2 estaciones ubicadas en la zona 1 y zona 2. En la figura se aprecia el patrón representado en las isoyetas anuales, donde las estaciones de la parte bajan de la cuenca, presentan menor magnitud y viceversa.

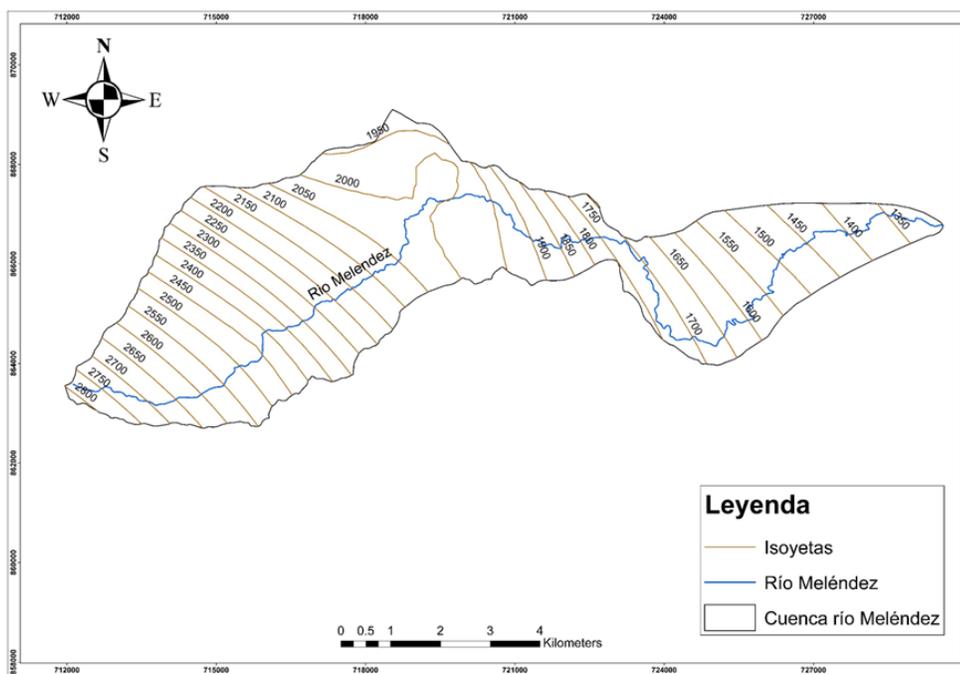


Figura 4-6 Isoyetas de la cuenca del río Meléndez
Fuente: CVC, 2019

4.2.1.3 Evapotranspiración

Fue calculada por el método FAO Penman – Monteith utilizado por el programa WEAP, con los datos de las variables climatológicas de radiación, temperatura, humedad atmosférica y velocidad del viento. El método (Villegas & Torres, 1977) es el siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (10)$$

Donde:

| | |
|--------|---|
| ET_o | evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}) |
| R_n | radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) |
| R_a | radiación extraterrestre (mm día^{-1}) |
| G | flujo de calor de suelo ($\text{MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$) |
| T | temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$) |
| u_2 | velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}) |
| e_s | presión de vapor de saturación (kPa) |
| e_a | presión real de vapor (kPa) |

| | |
|-------------|---|
| $e_s - e_a$ | déficit de presión de vapor (kPa) |
| Δ | pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹) |
| γ | constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹) |

4.2.1.4 Temperatura

Para la aplicación de la fórmula FAO Penman-Monteith, se requiere información de temperatura diaria promedio, máxima y mínima en grados centígrados (°C). Se tomaron como base tres estaciones como se muestra en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7 Listado de estaciones de temperatura incluidas para el estudio
Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | Categoría | Municipio | Estado | Coordenadas | Altitud | Fecha de instalación |
|-----------|--------------|---------------------|-----------|--------|-------------------------|---------|----------------------|
| 26295010 | El Topacio | Climática Ordinaria | Cali | Activa | (3,3178361 -76,6371417) | 1.676 | 30/06/2017 |
| 26345010 | La Teresita | Climática Ordinaria | Cali | Activa | (3,4497417 -76,6629) | 1.950 | 30/06/2017 |
| 262230107 | Edificio CVC | Climática Ordinaria | Cali | Activa | (3,4000000, -76,550) | 9.85 | 1/03/1984 |

Las isotermas de la temperatura máxima del aire a nivel anual son presentadas en la Figura 4-7. se puede observar que la temperatura oscila entre 9 °C a 24 °C, por lo que esta cuenca cuenta con una variedad de climas que va desde los páramos, frío, templado y cálido, esto se da por sus condiciones geomorfológicas (montaña y valle).

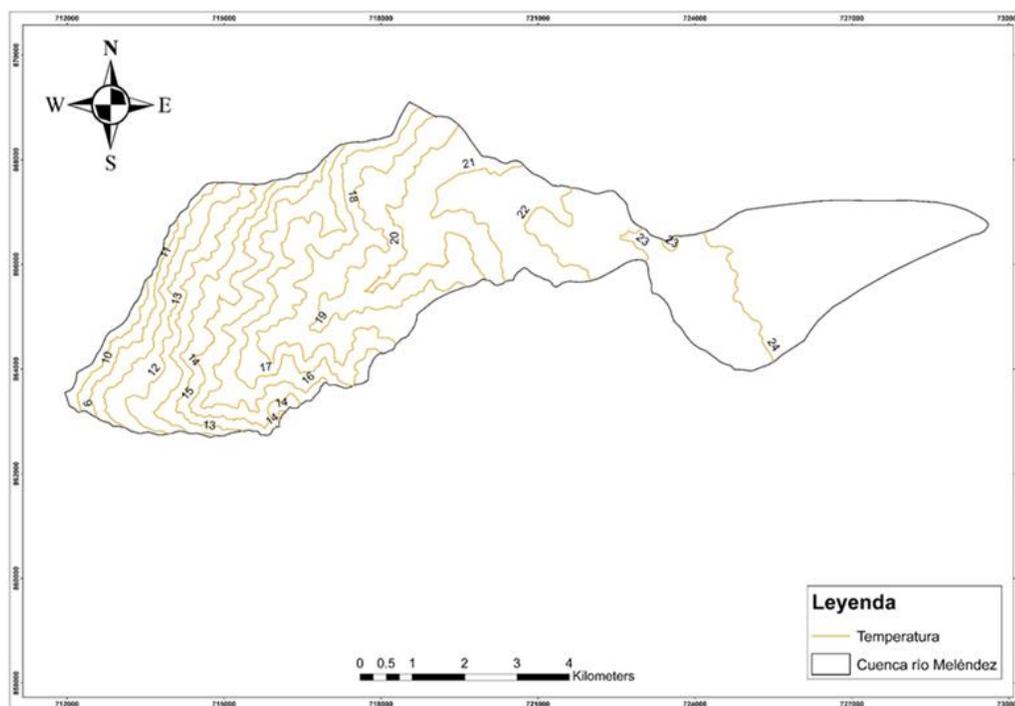


Figura 4-7 Isotermas de la cuenca del río Meléndez.
Fuente: elaboración propia

En la temperatura media del aire se presenta un ciclo bimodal, siendo los meses de mayor valor febrero, marzo y julio-agosto y los menores octubre, noviembre y diciembre. También se aprecia la diferencia entre las estaciones según la altitud, ya que entre más alta está ubicada la estación, menor es la temperatura, como se observa en la Figura 4-8.

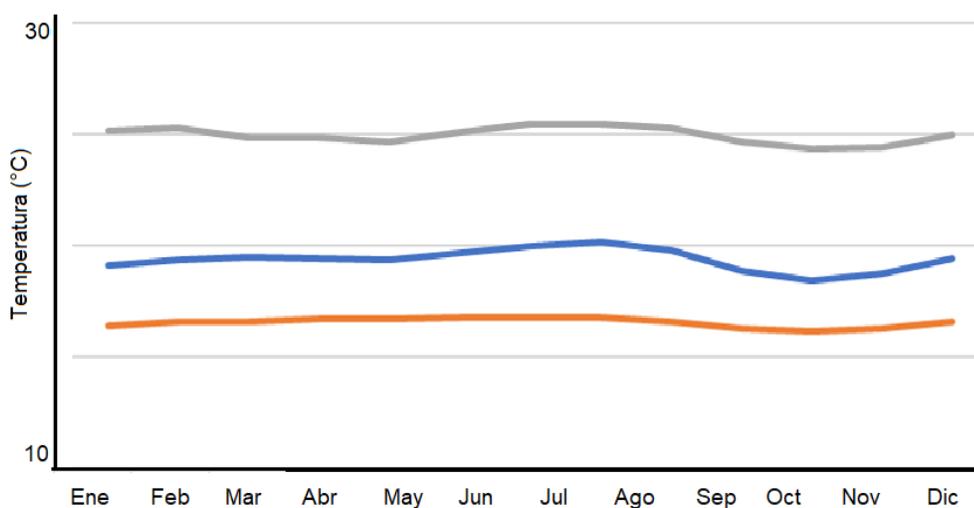


Figura 4-8 Ciclo anual de temperatura media de los años 2016-2020
Fuente: elaboración propia

Otros parámetros tenidos en cuenta para la modelación hidrológica fueron la humedad relativa, la nubosidad media y velocidad del viento. Los datos fueron tomados para el año 2019 de las estaciones El Topacio, La Teresita y Univalle (CVC 2019), como aparecen en las Figura 4-9 y Figura 4-10 respectivamente.

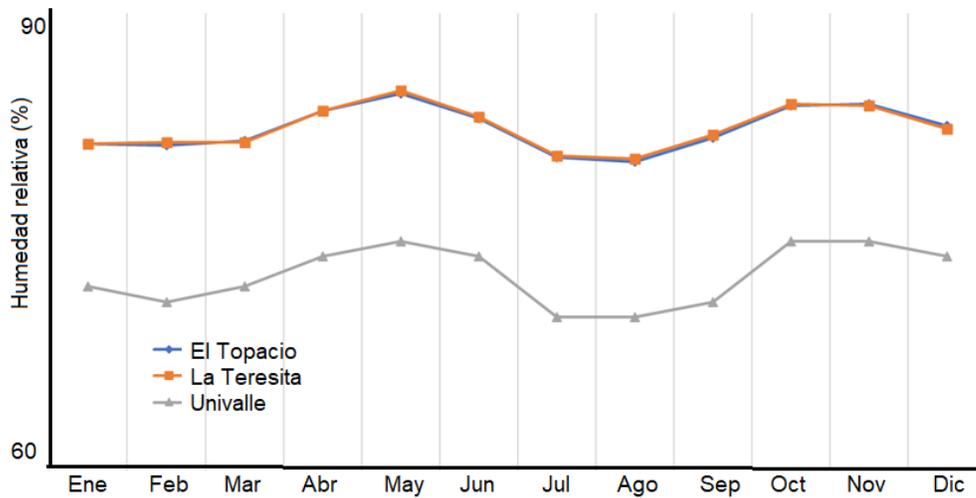


Figura 4-9 Ciclo anual de la Humedad relativa del año 2019.

Fuente: elaboración propia

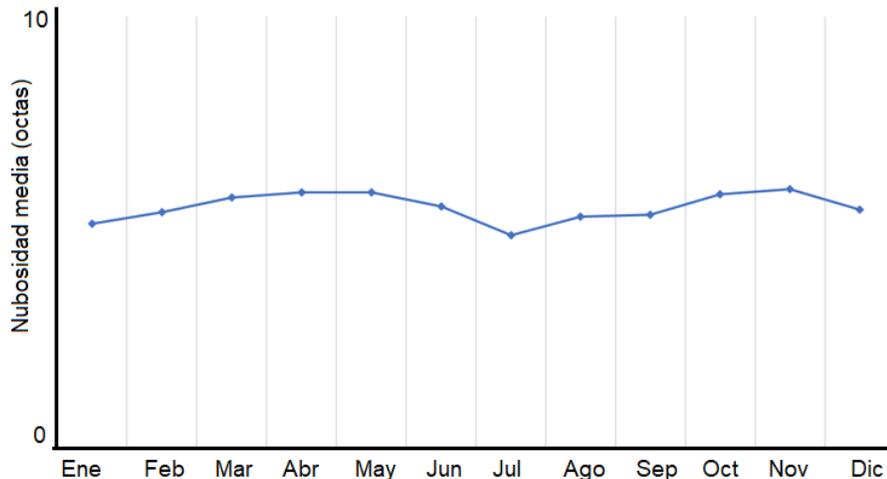


Figura 4-10 Ciclo anual de la nubosidad media de la estación Univalle.

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.5 Caudal

En la Tabla 4-8 están las estaciones de caudal utilizadas para conocer la oferta y realizar el balance hídrico de la cuenca.

Tabla 4-8. Listado de estaciones de caudal incluidas para el estudio
Fuente: elaboración propia

| Código | Nombre | Categoría | Municipio | Estado | Coordenadas | Altitud | Fecha de instalación |
|------------|-----------------|--------------|-----------|--------|--------------------------|---------|----------------------|
| 2622320404 | Meléndez - PTAR | Limnimétrica | Cali | Activa | (1062128,49 - 866621,24) | 956 | 1/09/2014 |
| 2622320403 | El Carmelo | Limnimétrica | Cali | Activa | (3,3854667, - 76,57485) | 1.550 | 15/09/2012 |

En la Figura 4-11 se puede observar de manera general que el comportamiento del régimen de oferta total de los años 2016 a 2020 en la estación Meléndez PTAR es de tipo bimodal, con dos períodos de altos caudales y dos de bajos caudales, comportamiento similar al régimen de precipitación media. Para la cuenca, los meses de bajos caudales corresponden a los meses de julio (3,48 m³/s), agosto (1,71 m³/s) y septiembre (3,18 m³/s), y los de altos caudales corresponden a enero (12,36 m³/s), abril (14,32 m³/s), mayo (19,31 m³/s) y noviembre (11,07 m³/s). En la estación El Carmelo se observa un comportamiento más uniforme en su caudal, y los meses de altos caudales corresponden a abril (12,58 m³/s), mayo (14,19 m³/s), junio (12,48 m³/s) y diciembre (13,06 m³/s).

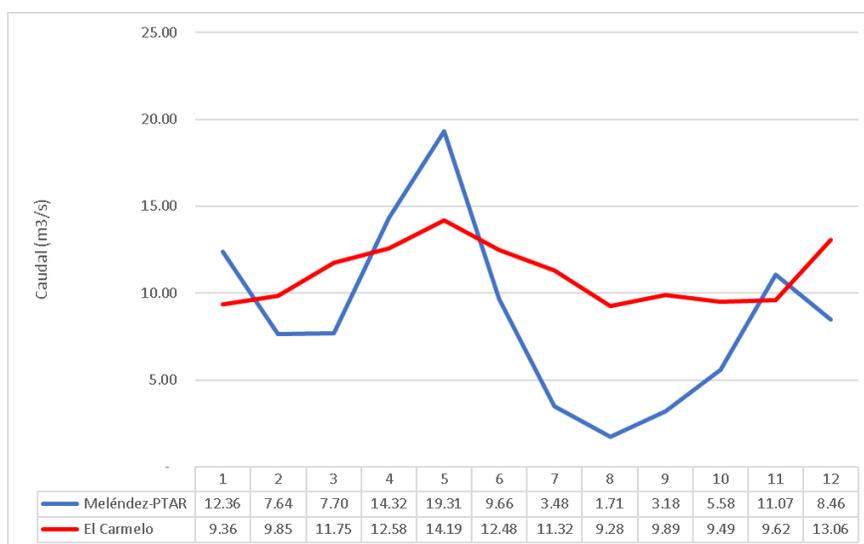


Figura 4-11 Caudal de oferta media mensual multianual, periodo año 2016-2020 del río Meléndez

Fuente: elaboración propia

4.2.2 Suelos

Según el mapa de la Figura 4-12 la cuenca está dividida en dos grandes áreas, la primera corresponde a la zona montañosa y su extensión es del 70 % del área total, con rocas de origen volcánico, rocas sedimentarias terciarias, depósitos Plio-Pleistocénicos y depósitos Cuaternarios recientes, con pendientes pronunciadas; la segunda zona, que abarca un 30 % del área restante, corresponde al valle aluvial del río Cauca, donde se encuentra localizada una parte del tejido urbano de la ciudad de Cali. Es una cuenca estable y protegida por las entidades público-privadas, y donde según el perfil del río Meléndez se evidencia que los fenómenos de agradación y degradación son muy pocos y pequeños. Las erosiones existentes son ocasionadas en parte por actividades antrópicas en áreas de difícil acceso para los entes.

El mayor porcentaje de área se encuentra sobre un relieve quebrado a escarpado, esto se debe a los movimientos tectónico que originaron la cordillera occidental hasta llegar a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar, esta zona está conformada por materiales rocosos, mantos de cenizas volcánicas y flujo torrenciales.

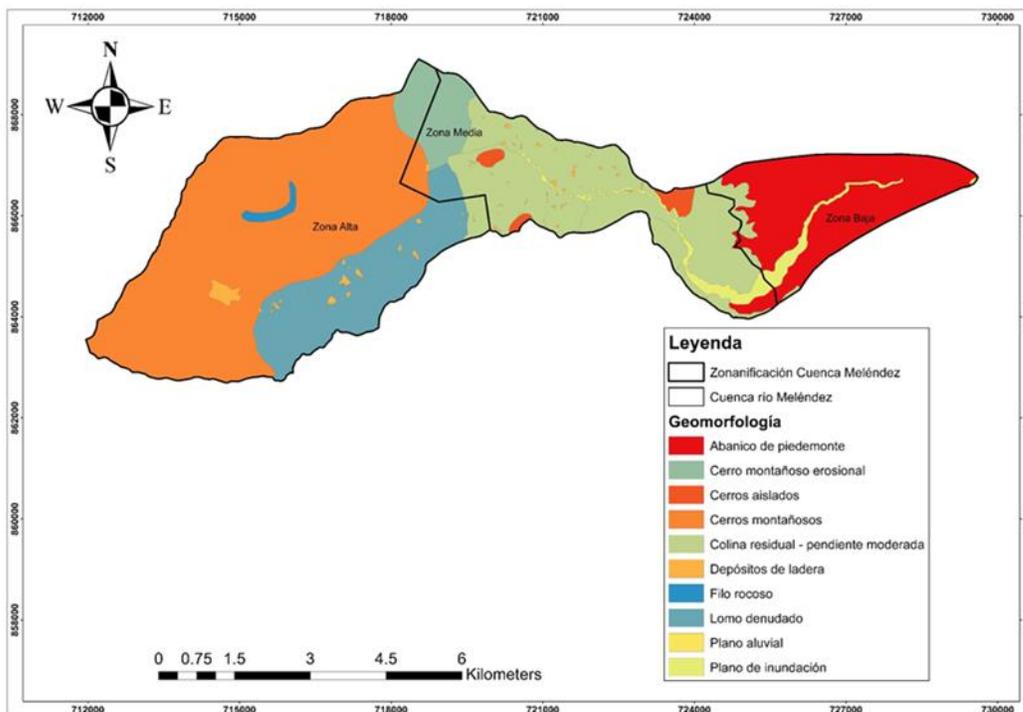


Figura 4-12 Suelos de la cuenca del río Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019a)

Las características agrológicas generales encontradas en el área rural de la cuenca, principalmente en la zona de la cordillera y la ladera, extractadas de estudios preparados por la CVC son las asociaciones Anguchas (AN), asociación de tierras misceláneas (MR), asociación Liberia (LI), asociación Palermo (PM), asociación Vorágine (VO) (Alcaldía Cali, 2018) como se registra en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Propiedades de los suelos de ladera y cordillera
Fuente: elaboración propia

| CUENCAS | ASOCIACIONES | | | | |
|----------------------|--------------|----|----------|---------------|----|
| | AN | MR | LI | PM | VO |
| Río Meléndez | >1.600 | - | <1.400 | 1.400 – 1.700 | - |
| Elevación (m.s.n.m.) | Muy baja | - | Muy baja | Baja | - |
| Fertilidad | | | | | |

El paisaje de la cuenca es montañoso y valle aluvial, también se presentan diferentes tipos de clima como muy frío húmedo y húmedo, frío aluvial, frío húmedo, templado muy húmedo, templado seco, cálido seco y el tipo de relieve que se encuentra en la cuenca es filas, vigas, vallecitos, lomas, espinazo, glasis de acumulación, valle estrecho, abanico aluvial y coluvial, abanico subcreciente y plano aluvial, en la Tabla 5.6 se complementa los tipos de suelos que están en la zona de estudio y son parte esencial para la modelación (CVC, 2019b).

4.2.3 Geología

La cuenca del río Meléndez se encuentra en el costado occidental del denominado Graben del Cauca, limitado por las cordilleras Central y Occidental, y en cuyo centro se encuentra el basamento hundido, formado por rocas ígneas básicas de edad Cretácea y rocas sedimentarias Terciarias, sobre las cuales se emplazaron los depósitos aluviales del río Cauca y de sus principales afluentes, generando un gran relleno aluvial. La identificación de las formaciones y la cartografía geológica, se realizó con base en las características litológicas y morfológicas del área de estudio (Figura 4-13). De esta manera, la cuenca se dividió en dos grandes áreas: la primera, corresponde a la zona montañosa localizada al occidente, donde predominan rocas volcánicas Cretácicas (Formación Volcánica), suprayacidas por rocas sedimentarias Terciarias (Formación Guachinte), depósitos Plio-Pleistocénicos (Formación Jamundí y depósitos Fluvio-Volcánicos de Terrón Colorado) y depósitos Cuaternarios recientes (coluviones y aluviones). La segunda zona, corresponde

al Valle aluvial del río Cauca, compuesta por depósitos Cuaternarios recientes, que conforman una zona plana, la cual se extiende hacia el extremo oriental del área de estudio. Esta zona está cubierta parcialmente por abanicos aluviales sobre los cuales se ubica la mayor parte de la ciudad de Santiago de Cali (CVC, 2016).

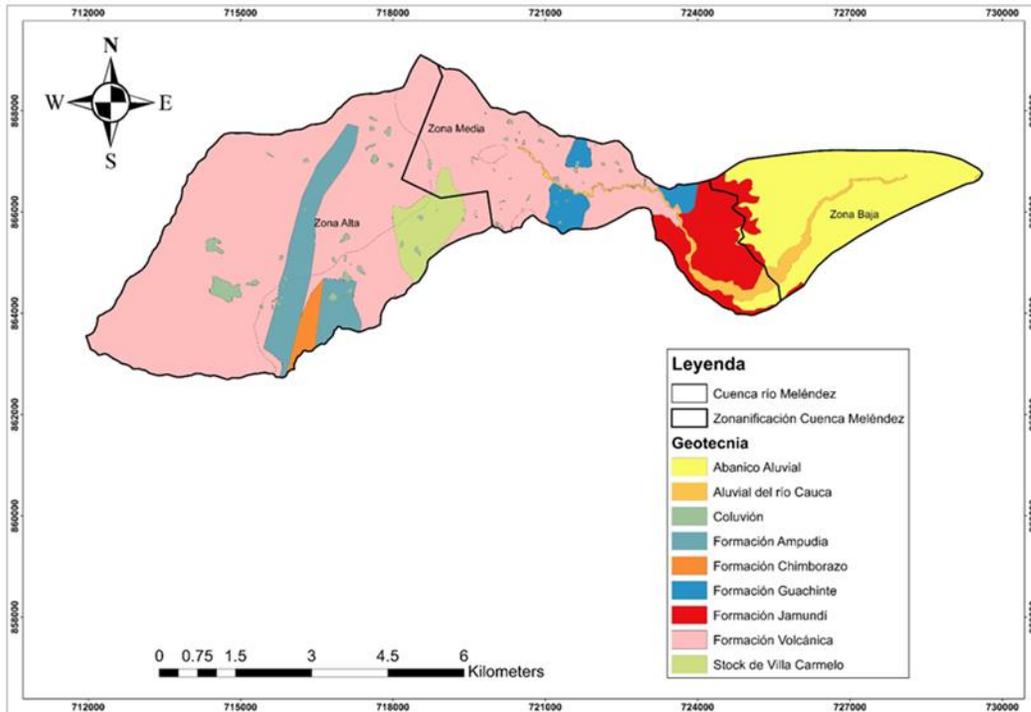


Figura 4-13 Geología de la cuenca río Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019a)

En la Tabla 4-10 se muestra la clasificación de las subunidades geomorfológicas para el área del río Meléndez (CVC, 2019b), y se puede observar que predominan los cerros montañosos, seguidos de colinas y lomas, ocupando un 74 % de extensión de la cuenca, mientras que las unidades de suelo transportado el 26 % restante.

Tabla 4-10 Porcentajes de áreas de las subunidades geomorfológicas
Fuente: elaboración propia

| ID | Descripción Geológica | Área Ha | % Área |
|----|---------------------------|----------|--------|
| 1 | Abanico de piedemonte | 713,09 | 15,36 |
| 2 | Cerro montañoso erosional | 223,65 | 4,82 |
| 3 | Cerros aislados | 51,25 | 1,10 |
| 4 | Cerros montañosos | 1.894,75 | 40,81 |

| | | | |
|----|--------------------------------------|----------|-------|
| 5 | Colina residual - pendiente moderada | 978,56 | 21,08 |
| 6 | Depósitos de ladera | 42,19 | 0,91 |
| 7 | Filo rocoso | 23,69 | 0,51 |
| 8 | Lomo desnudado | 602,65 | 12,98 |
| 9 | Plano aluvial | 1,18 | 0,03 |
| 10 | Plano de inundación | 111,55 | 2,40 |
| | Área total | 4.642,57 | 100 |

En el área de estudio están definidos seis (6) tipos de Unidades Homogéneas entre cuatro grandes grupos de materiales como Roca (R), Material Intermedio (I), Suelos Residual y Transportado (S), los cuales tienen diferente espesor dependiendo del tipo de litología presente (Ver Tabla 4-10). Predominan el relieve quebrado y pendientes más altas, las unidades de roca se identifican hacia la parte alta de la cuenca, en la parte media se encuentra un tipo de material volcánico que tiene procesos de meteorización definidos como material intermedio y suelo residual, las unidades de suelo transportado se encuentran cubiertas por depósitos aluviales. Debido a la intervención antrópica en la parte media de la cuenca con proyectos mineros, y hacia la parte baja con el desarrollo urbanístico de la ciudad de Santiago de Cali, se aprecian depósitos conformados por residuos heterogéneos. En el anexo 1 se describen brevemente las unidades geológicas superficiales de la cuenca (CVC, 2016).

4.2.4 Usos y cobertura del suelo

Para el área total de la cuenca del río Meléndez están identificadas 19 coberturas de la tierra a escala 1:25.000, de las cuales 15 se consideran intervenidas o de origen antrópico y las restantes 4 de tipo natural como lo muestra la Tabla 4-11. Haciendo una comparación entre coberturas naturales frente a coberturas intervenidas, se observa que en la cuenca hay un fuerte predominio de coberturas naturales con el 52,8 % del área total de la cuenca, frente a un 47,2% del área que está ocupada por coberturas intervenidas. Como puede observarse (Figura 4-14) la cobertura de la tierra que más predomina en la cuenca es el bosque denso alto de tierra firme con un 46 % del área total, esto debido a que en el área de la cuenca se ubica gran parte de la zona montañosa del municipio de Cali. Por otro lado, el tejido urbano continuo es la segunda cobertura con mayor área en la cuenca y la más representativa entre las coberturas intervenidas con un 11,5 %. La Figura 4-15

muestra las coberturas de la tierra a escala 1:25.000 (CVC, 2016) mientras que la Figura 4-15 muestra la representación gráfica de cada uno de los usos del suelo de la cuenca.

Tabla 4-11. La distribución del suelo de la cuenca del río Meléndez
Fuente: elaboración propia

| ID | COBERTURA DE LA TIERRA | AREA (ha) | AREA (%) | ESTADO |
|----|---|-----------|----------|-------------|
| 1 | Bosque de galería alto | 249,01 | 5,4 | Natural |
| 2 | Bosque denso alto de tierra firme | 2.137,76 | 46,0 | Natural |
| 3 | Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos | 59,70 | 1,3 | Natural |
| 4 | Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria | 4,21 | 0,1 | Natural |
| 5 | Canales | 0,05 | 0,0 | Intervenido |
| 6 | Explotación de materiales de construcción | 0,03 | 0,0 | Intervenido |
| 7 | Instalaciones recreativas | 4,20 | 0,1 | Intervenido |
| 8 | Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos | 200,15 | 4,3 | Intervenido |
| 9 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos | 92,60 | 2,0 | Intervenido |
| 10 | Pastos arbolados | 24,22 | 0,5 | Intervenido |
| 11 | Pastos enmalezados | 252,48 | 5,4 | Intervenido |
| 12 | Pastos limpios | 237,35 | 5,1 | Intervenido |
| 13 | Red vial y territorios asociados | 59,92 | 1,3 | Intervenido |
| 14 | Tejido urbano continuo | 534,45 | 11,5 | Intervenido |
| 15 | Tejido urbano discontinuo | 186,22 | 4,0 | Intervenido |
| 16 | Vegetación secundaria alta | 14,32 | 0,3 | Intervenido |
| 17 | Vegetación secundaria baja | 192,47 | 4,1 | Intervenido |
| 18 | Zonas industriales o comerciales | 152,86 | 3,3 | Intervenido |
| 19 | Zonas verdes urbanas | 240,55 | 5,2 | Intervenido |
| | Total | 4.642,6 | 100,0 | |

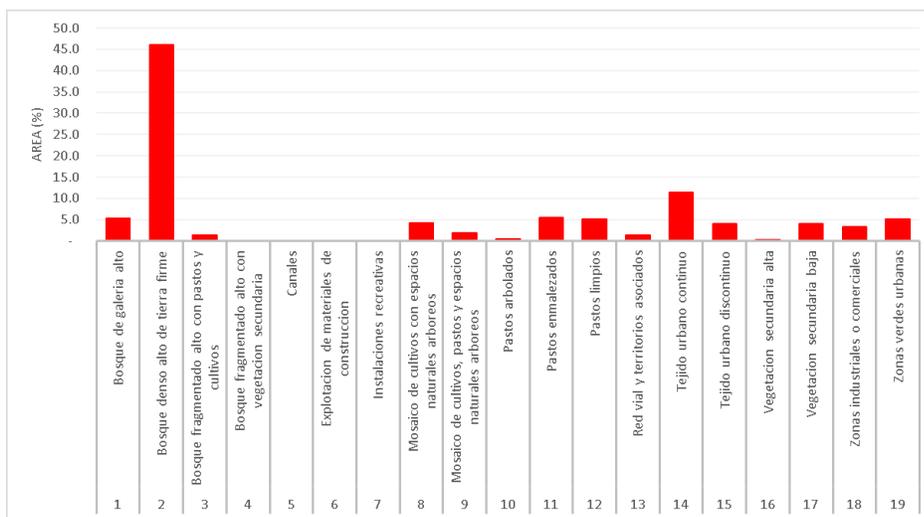


Figura 4-14 Coberturas de suelos de la cuenca del río Meléndez
Fuente: elaboración propia

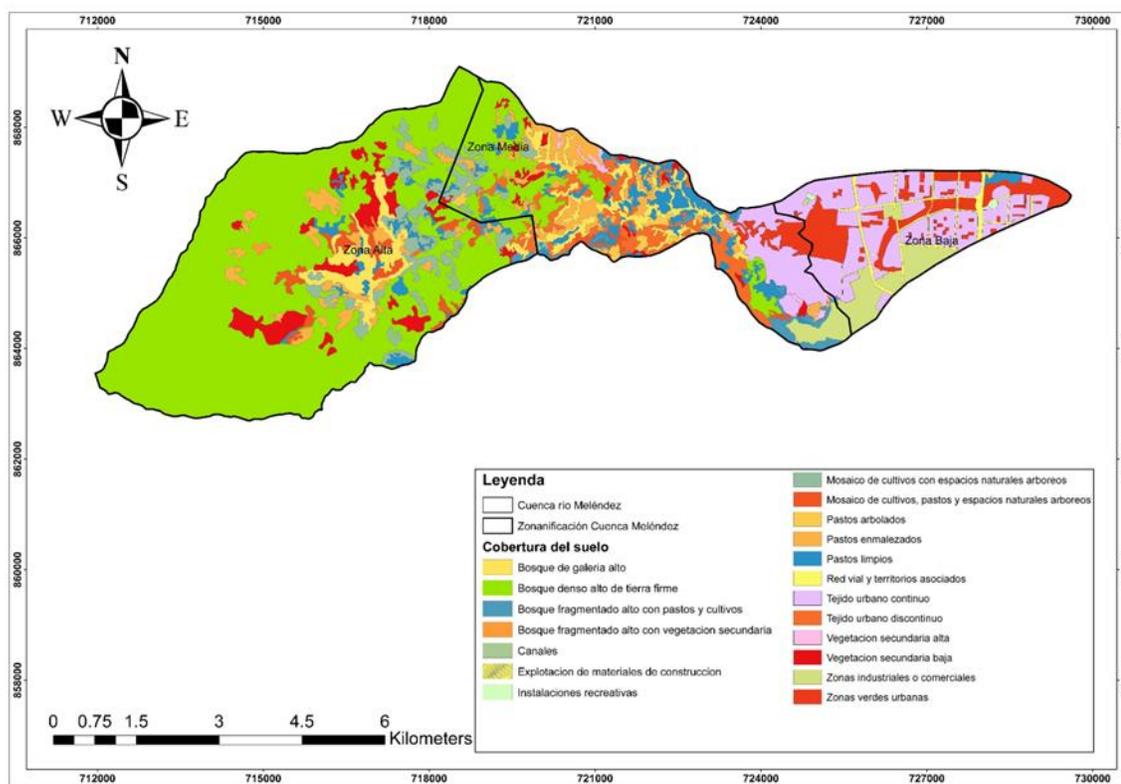


Figura 4-15 Coberturas de los suelos de la cuenca Meléndez.
Fuente: (CVC, 2019a)

4.2.5 Modelo de elevación digital

El modelo de elevación digital, MED, se obtuvo por medio de la CVC, en la Figura 4-16 se puede observar que hay una gran diferencia desde la cota más baja que es 946,65 m.s.n.m. hasta la cota más alta que es 3120,42 m.s.n.m., las diferencias de niveles son de 2173 m, lo cual significa que en la cuenca se encuentran diferentes temperaturas desde las nieves perpetuas hasta cálido.

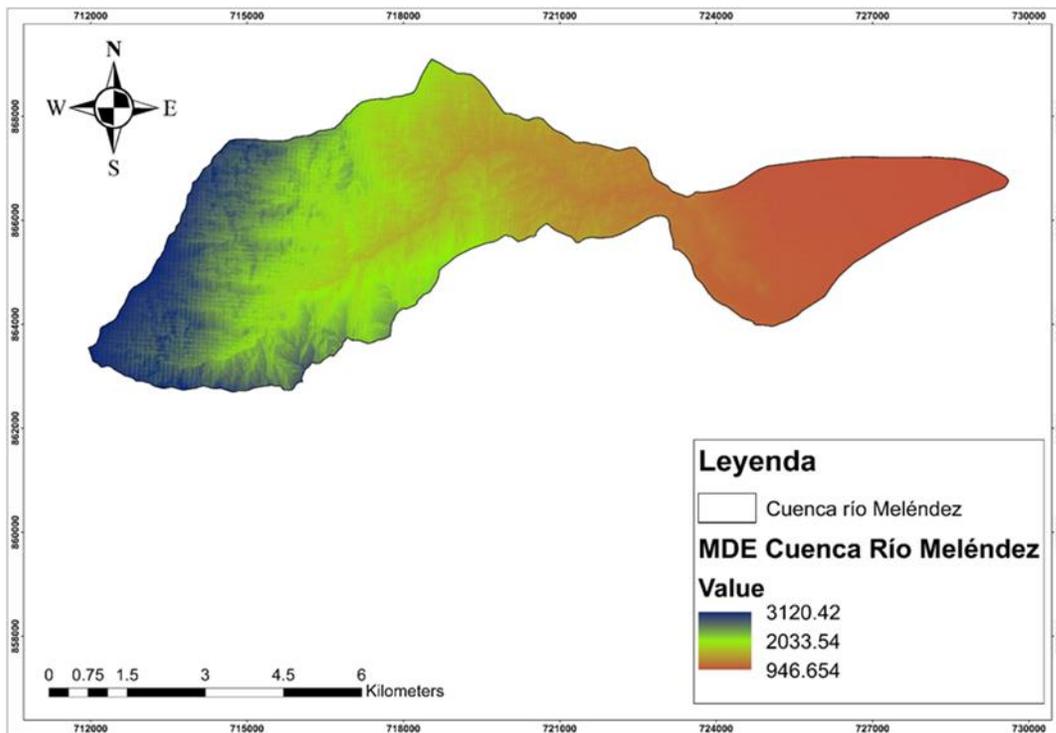


Figura 4-16 MED cuenca del río Meléndez
Fuente:(CVC, 2019a)

4.3 Modelación en WEAP

La modelación hidrológica en WEAP se realizó con los siguientes pasos.

4.3.1 Oferta de agua

4.3.1.1 Delimitación de la cuenca

Teniendo el MED corregido se delimitaron las unidades hidrográficas de análisis, para esto se procedió a determinar la desembocadura de los drenajes de interés y se trazó el área aferente de acuerdo a la línea divisoria de aguas. A partir del análisis del MDE, de las coberturas y usos del suelo y del mapa de suelos se determinaron las Unidades Hidrológicas de análisis. Estas corresponden a las áreas aferentes a cuencas, subcuencas y microcuencas de los drenajes principales identificados según cartografía IGAC. En la Figura 4-17 se muestran los tres principales grupos de uso del suelo identificados en el área de estudio que son bosques, pastos y tejido urbano y en la Tabla 4-12 están los porcentajes de áreas de cada uno de estos usos donde los bosques tienen un mayor porcentaje, continúa el área urbana y por último los pastos.

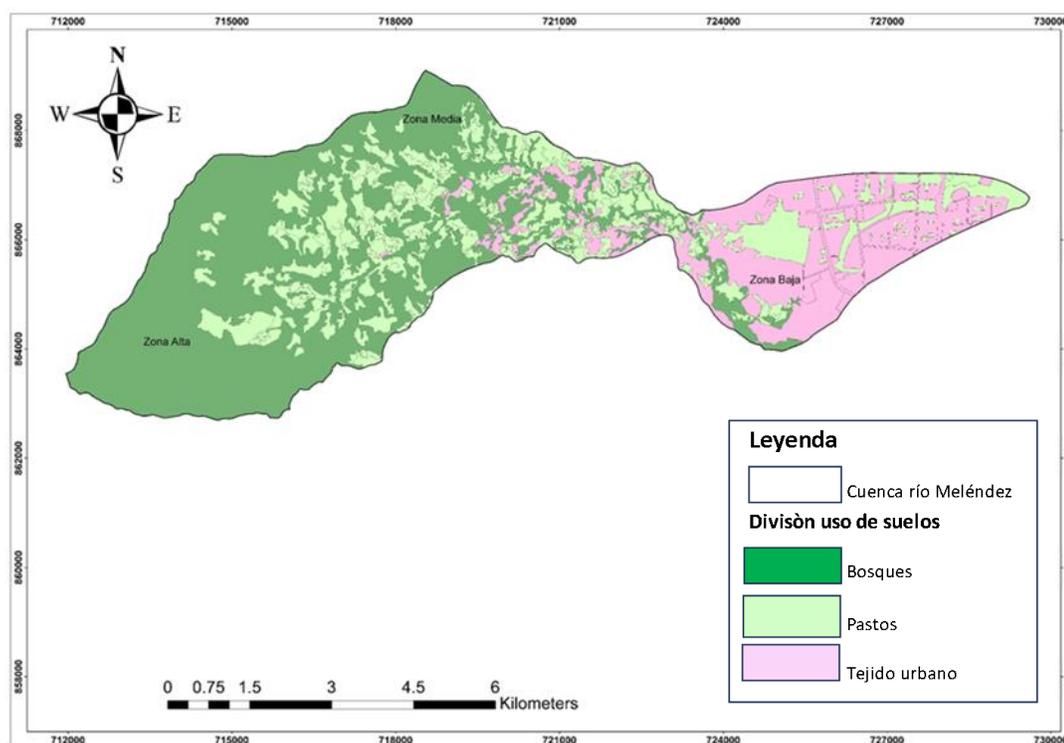


Figura 4-17. Unidades hidrológicas homogéneas de la cuenca del río Meléndez
Fuente: realizado a partir de (CVC, 2019a)

Tabla 4-12 Desagregación en porcentajes de la cobertura vegetal de la cuenca río Meléndez

Fuente: elaboración propia

| | Bosques | Pastos | Tejido Urbano | Área % Total |
|------------|---------|--------|---------------|--------------|
| Zona Baja | 0,02 | 0,28 | 16,67 | 16,96 |
| Zona Media | 10,31 | 8,33 | 8,45 | 27,09 |
| Zona Alta | 46,92 | 8,78 | 0,26 | 55,96 |
| Área Total | 57,24 | 17,38 | 25,38 | 100,00 |

La delimitación de la cuenca se escogió por la existencia de las tres principales bocatomas, ubicadas en cada una de las tres zonas en los que se busca conocer el comportamiento del caudal en un determinado momento, las que de ahora en adelante se denominarán zona alta, media y baja. De esta manera, se obtuvieron tres unidades hidrológicas de análisis, como se muestra en la Figura 4-18, que quedan caracterizadas como se muestra en la Tabla 4-13. Para cada unidad se ingresaron las características de climáticas como se identificó en el ítem de análisis de información.

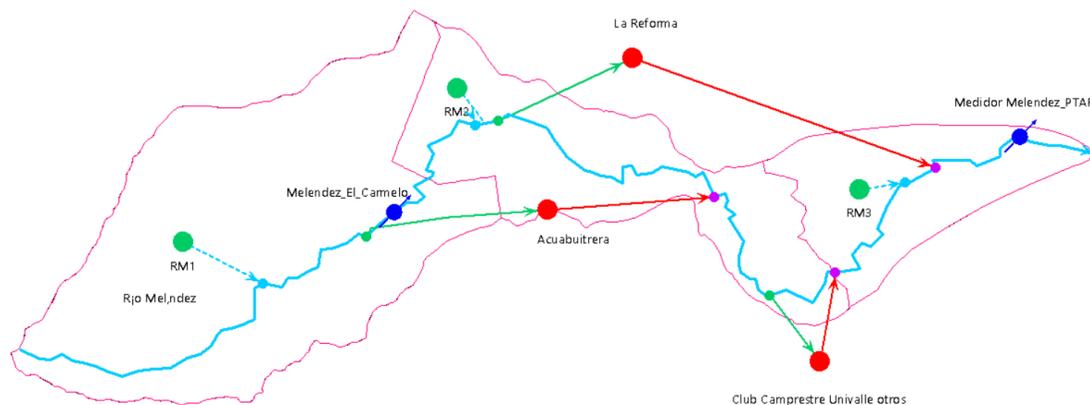


Figura 4-18 Modelo WEAP con la representación esquemática de las tres unidades hidrológicas.

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-13 Áreas de las tres zonas que está dividida la cuenca del río Meléndez

Fuente: elaboración propia

| Km ² | Abiertas sin o con poca Vegetación | Agrícolas Heterogéneas | Bosques | Cultivos Permanentes | Pastos | Tejido Urbano | Vegetación Herbácea o Arbustiva | Área Total |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|---------|----------------------|--------|---------------|---------------------------------|------------|
| Zona 1 | 0.00 | 0.00 | 20.21 | 2.31 | 1.77 | 0.12 | 1.57 | 25.98 |

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| Zona 2 | 0.00 | 0.00 | 4.29 | 0.62 | 3.25 | 3.49 | 0.92 | 12.57 |
| Zona 3 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.13 | 5.76 | 1.98 | 7.87 |
| Área Total | 0.00 | 0.00 | 24.51 | 2.93 | 5.14 | 9.37 | 4.48 | 46.43 |

En cada unidad hidrológica (zona 1, zona 2 y zona 3) se ingresaron los datos climatológicos de precipitación y temperatura; cada *catchment* (unidad hidrológica) contaba con una estación diferente. La precipitación mensual promedio del área de estudio se muestra en la Figura 4-19, y en la Figura 4-20 la temperatura media de la zona. También se ingresaron datos de humedad, viento, fracción de nubosidad y latitud.

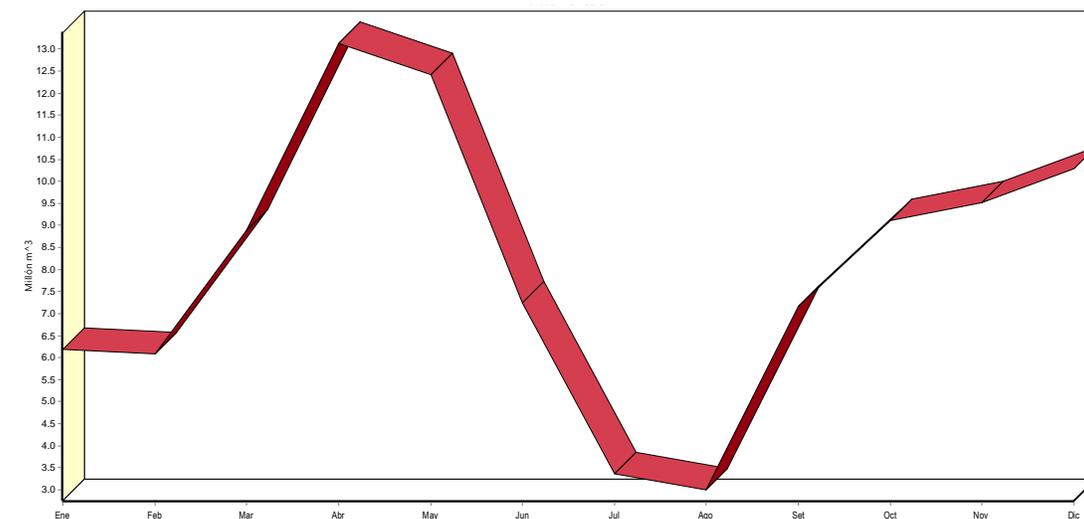


Figura 4-19 Precipitación mensual promedio M m³ del escenario de referencia (2016-2020).
Fuente: elaboración propia a partir del programa WEAP

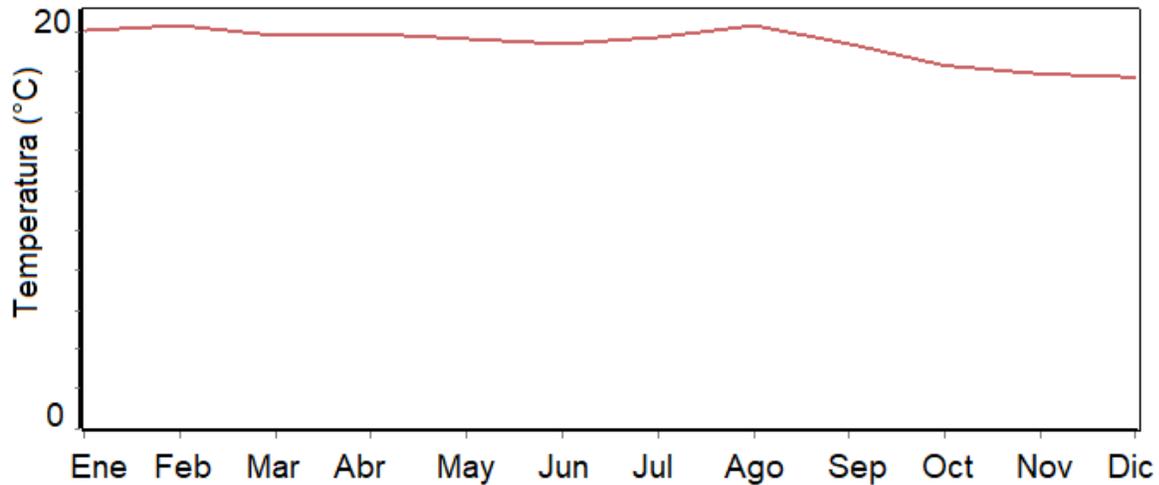


Figura 4-20 Temperatura mensual promedio, estación El Topacio.

Fuente: elaboración propia basada en el modelo WEAP

Posteriormente, se determinó el caudal ambiental siguiendo la metodología descrita en el ENA 2018. La metodología completa que se menciona en el marco teórico no se puede seguir a totalidad ya que se escapa de los alcances del presente trabajo. Con la serie de caudales diarios se obtuvo la Curva De Duración De Caudales, CDC, para el río Meléndez en la estación de la parte baja, como se presenta en la Figura 4-21.

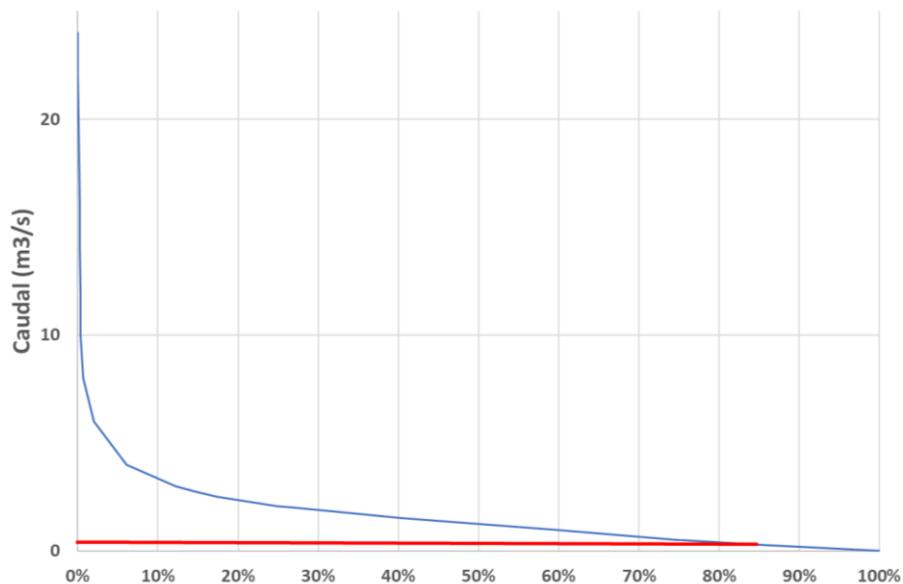


Figura 4-21. Curva de duración de caudales, río Meléndez Estación PTAR

Fuente: elaboración propia

4.3.2 Demanda de agua

La cuenca suministra principalmente agua para uso doméstico y humano, ya que el 96 % de las captaciones son destinadas para este uso y el porcentaje restante se utiliza para otras actividades. Las captaciones de la cuenca son varias y se presentan a lo largo de las corrientes principales (Figura 4-22). En la Figura 4-23 se muestran las captaciones principales para consumo humano, el río y los afluentes más importantes y las dos estaciones de caudales que están activas en este momento. Con esta información se realizó el análisis de demanda.

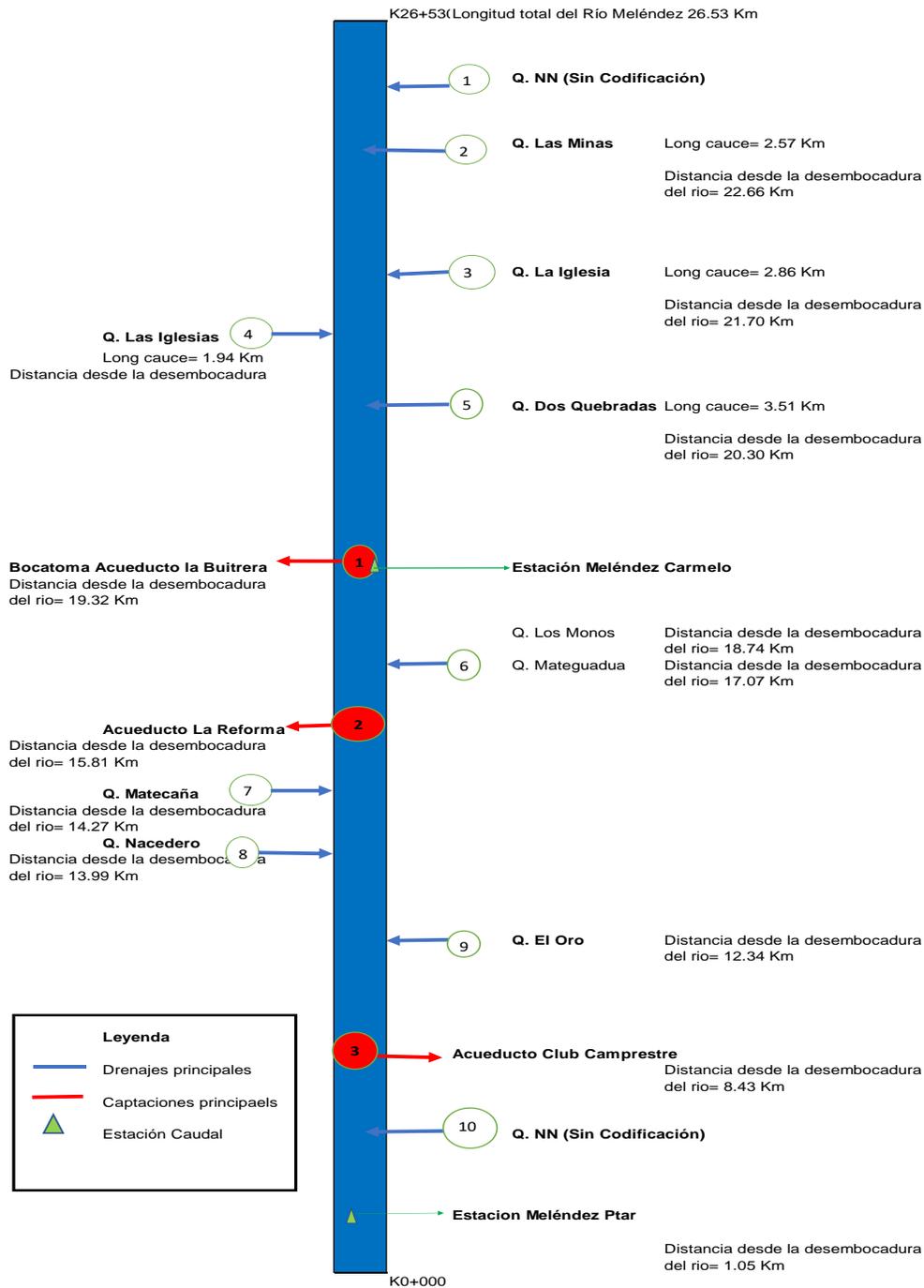


Figura 4-22 Esquema de captaciones principales, drenajes y estaciones de caudal del río Meléndez.

Fuente: elaboración propia

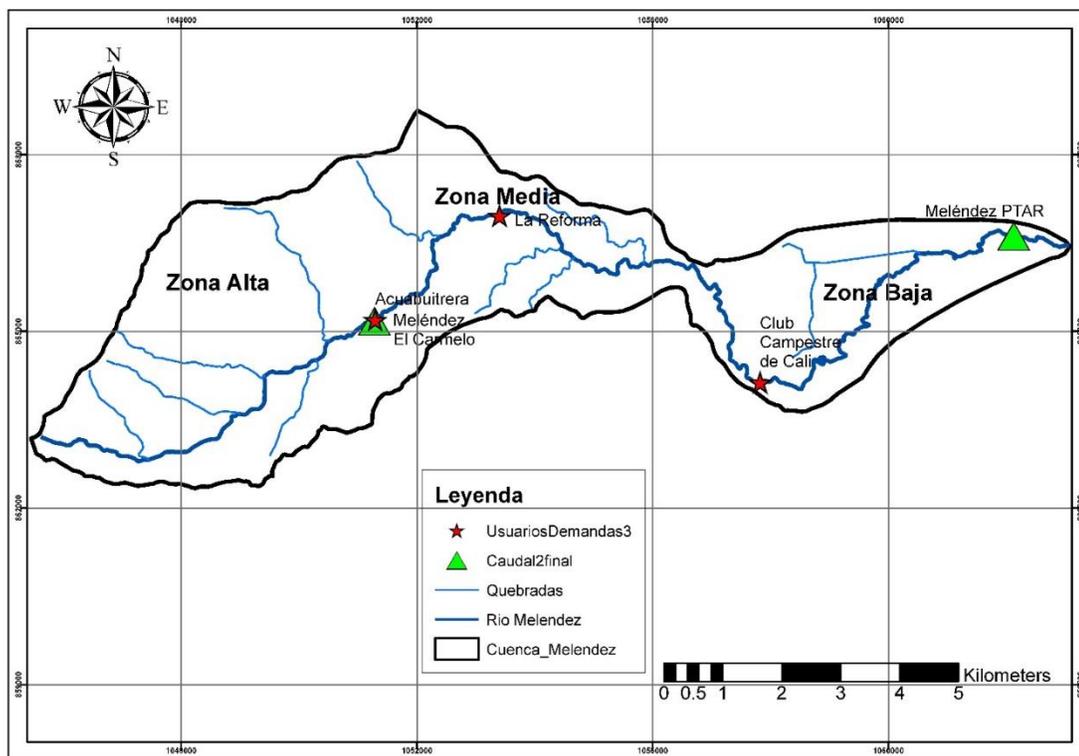


Figura 4-23 La cuenca del río Meléndez, sus afluentes y los usuarios
Fuente: (CVC, 2019a)

Del río Meléndez y sus tributarios se capta un caudal de 687,45 l/s para uso doméstico, la gran mayoría de los usuarios se encuentran en la zona media y baja, en la Tabla 4-14 se describe la distribución el agua para usuarios con personería jurídica y en la Tabla 4-15 están las concesiones para personas naturales, con lo que se incluye toda la población beneficiada de la cuenca del río Meléndez.

Tabla 4-14 Usuarios jurídicos que se abastecen de agua del río Meléndez y tributarios
Fuente: elaboración propia

| | Usuarios | Altura | Vereda | Suscriptores | Población atendida (personas) | Caudal (l/s) |
|---|--|--------|-------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| 1 | Acueducto y Alcantarillado La Buitrera Cali – ACUABUITRERA | 1.556 | Vereda la Soledad | 1.770 | 8.850 | 19,6 |
| 2 | Empresas Municipales de Cali E.I.C.E. E.S.P. | 1.356 | Vía la Reforma | 3.1007 | 155.035 | 662 |
| 3 | Parcelación Cantelabro | 1.450 | La Fonda | 113 | 565 | 5,2 |
| 4 | Asociación de Suscriptores del | 1.429 | Vereda Alto | 1.113 | 5.565 | 0,45 |
| | | 1.371 | Los Mangos | | | 5,58 |

| | | | | | | |
|---|--|-------|----------------------------------|-----|-------|-------|
| | Acueducto del Barrio La Sirena | 1.390 | | | | 12,48 |
| 5 | Asociación Administradora del Acueducto Altos Los Mangos | 1.396 | Vereda la Fonda | 510 | 2.550 | 3,53 |
| 6 | Junta Administradora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado El Cabuyo, Vereda La Fonda | 1.543 | Vereda la Fonda | 131 | 655 | 1,52 |
| | | 1.571 | | | | 2,64 |
| 7 | Empresa de Acueducto y Alcantarillado ESP del Paraje La Luisa -EMAA ESP | 1.377 | Vereda la Fonda | 218 | 1.090 | 1,26 |
| | | 1.458 | | | | 1,99 |
| 8 | Corporación Club Campestre de Cali | 1.047 | Cll 5 Cra 100 atrás de Holguines | 1 | 6.400 | 30 |
| 9 | Junta Administradora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Villa Carmelo | 1.897 | Vereda Villacarmelo | 109 | 770 | 1,5 |

Tabla 4-15. Usuarios naturales con concesión en la cuenca del río Meléndez – CVC
Fuente: elaboración propia

| Usuario | Nombre el predio | Fuente | Caudal (l/s) |
|---------------------------------|-------------------|----------|--------------|
| Carolina Gaez García | El Palatino | Meléndez | 2,00 |
| Franz Josef Korber | Polvorines | Meléndez | 1,00 |
| Ruby Stella López Sarria | Belén | Meléndez | 1,65 |
| José Francisco Apraez Santacruz | La Liberación | Meléndez | 1,00 |
| María Dora Sandoval | La Playita | Meléndez | 0,50 |
| Luis Gonzaga Valencia Arias | Las Marías | Meléndez | 0,25 |
| Trivino Daniel Rodríguez | La Giovanna | Meléndez | 0,22 |
| Mary Ochoa De González | Pitalito | Meléndez | 0,03 |
| Hilda Inés Palacios De Cabal | El Remanso | Meléndez | 0,03 |
| Irne Orozco | La Esperanza | Meléndez | 0,03 |
| Catalina Vega Arango | La Cabana | Meléndez | 0,02 |
| Diana Carolina Franco Bravo | Villa Patricia | Meléndez | 0,03 |
| David Díaz Ruíz | Hogar C Nueva Luz | Meléndez | 0,01 |
| Alicia Posso | Finca Laura Rosa | Meléndez | 0,50 |

Se observa que para algunos suscriptores el caudal asignado es pequeño y para facilidad de la modelación en el programa WEAP se realizó una reagrupación de los usuarios quedando tres de los veinte usuarios que captan agua en el río Meléndez, así que Acuabuitrera recoge a todos los usuarios de la parte alta de la cuenca, Club Campestre los de la parte media y la Reforma los de la parte baja.

Para obtener la demanda en WEAP se ingresaron los datos correspondientes del año 2016, información que aparece en el POMCA (CVC, 2019b) y el crecimiento estimado según el DANE para el municipio de Cali que es de 1.12 %. Usando la función predefinida “*GrowthFrom*” (“creciendo desde”) se puede calcular la población pasada y la actual. Como aparece en la Tabla 4-16 el censo por cada año de los beneficiarios de la cuenca del río Meléndez. En la Figura 4-24 se muestra el crecimiento poblacional per cápita de la zona de estudio.

Tabla 4-16 Censo de los habitantes de la cuenca del río Meléndez.

Fuente: elaboración propia

| Acueductos | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Acuabuitrera | 10.469 | 10.587 | 10.705 | 10.825 | 10.946 |
| Club Campestre | 6.257 | 6.327 | 6.398 | 6.470 | 6.542 |
| La Reforma | 159.388 | 161.173 | 162.979 | 164.804 | 166.650 |
| Total | 176.115 | 178.088 | 180.082 | 182.099 | 184.139 |

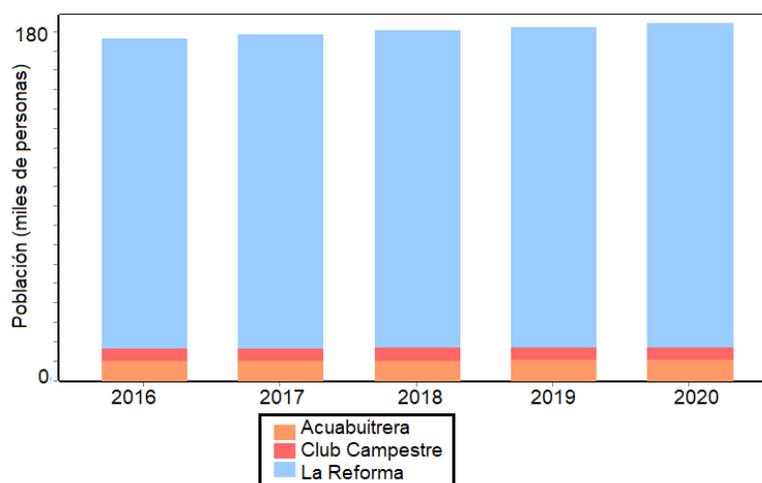


Figura 4-24 Crecimiento poblacional de los distintos usuarios de demanda doméstica en escenario de referencia (2016-2020)

Fuente: elaboración propia

También se ingresó la tasa anual del uso del agua, que para el caso de las captaciones de Acuabuitrera y Club Campestre es de $47,5 \text{ m}^3/\text{persona-año}$, a diferencia del acueducto La Reforma donde es de $1,6 \text{ m}^3/\text{día-usuario}$ es decir de $127,75 \text{ m}^3/\text{persona-año}$. Las pérdidas son muy altas porque son barrios que quedan en la periferia de la ciudad y hay muchas conexiones fraudulentas. En la Figura 4-25 se muestran los valores utilizados para obtener la demanda en WEAP.

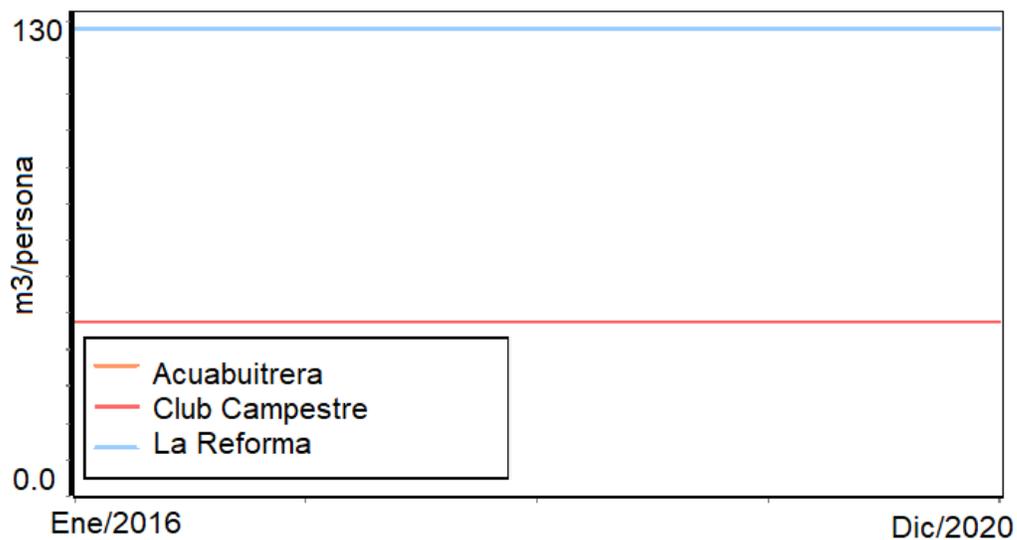


Figura 4-25 Tasa anual del uso del agua (2016-2020)
Fuente: elaboración propia

Para la variación mensual, como se muestra en la Figura 4-26, se estableció un solo valor para los tres acueductos.

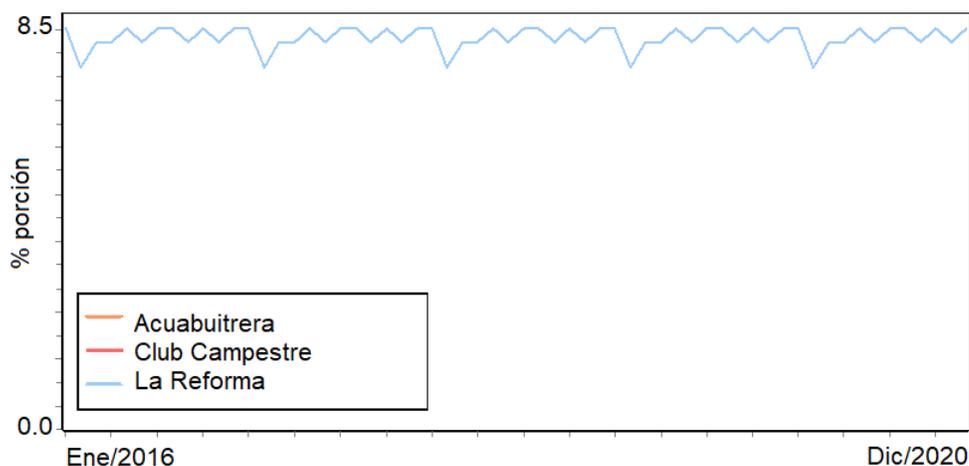


Figura 4-26 Variación mensual del agua para el periodo de referencia (2016-2020)
Fuente: elaboración propia

Al ingresar la información para obtener la demanda del periodo de referencia el programa WEAP suministra la información que muestra en la Figura 4-27, Figura 4-28, y Figura 4-29, donde se puede verificar que los datos ingresados al programa concuerdan con los suministrados por la CVC. También se observa que la demanda de La Reforma supera grandemente la de los otros puntos.

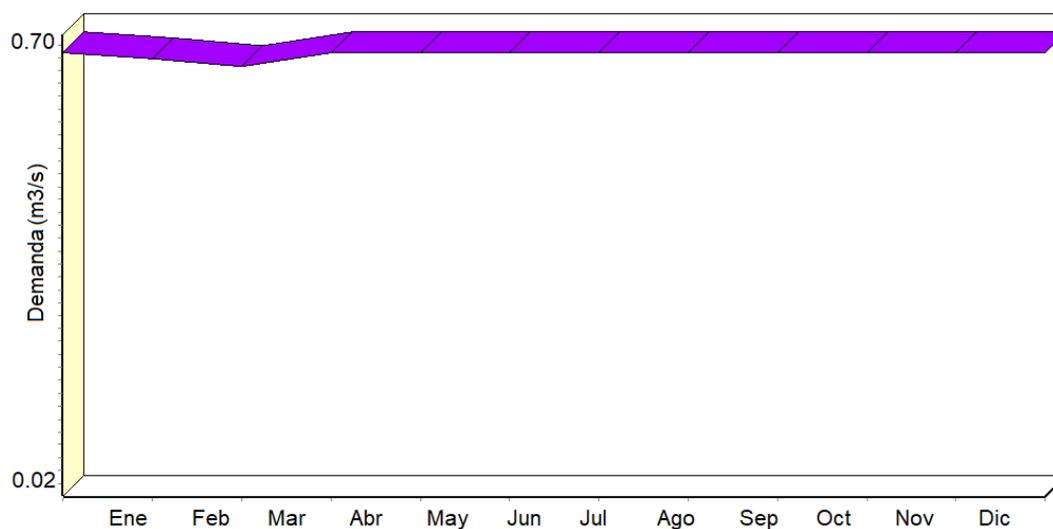


Figura 4-27 Demanda mensual promedio multianual en m^3/s en el escenario de referencia (2016-2020)

Fuente: elaboración propia

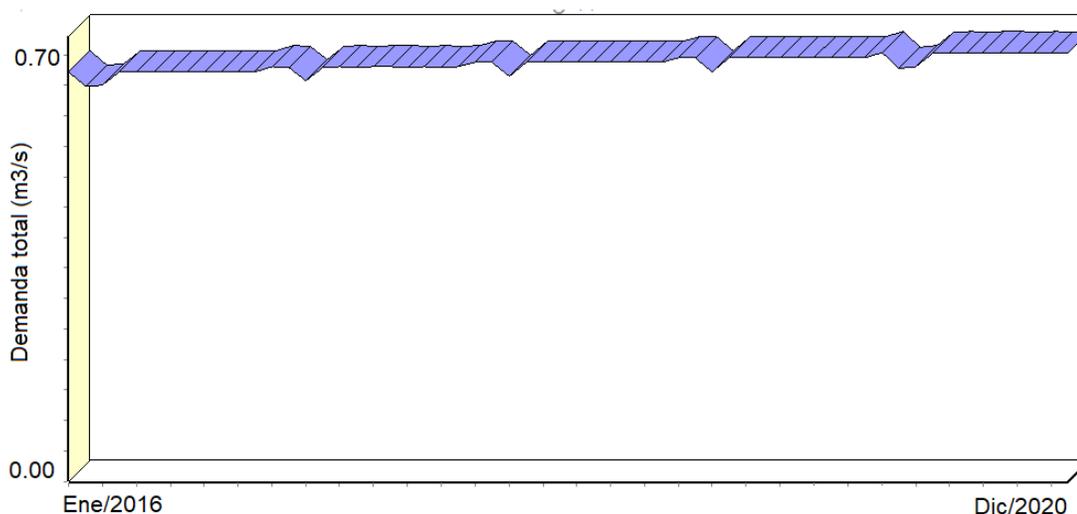


Figura 4-28 Demanda en m^3/s en el escenario de referencia mes a mes para los cuatro años (2016-2020)

Fuente: elaboración propia

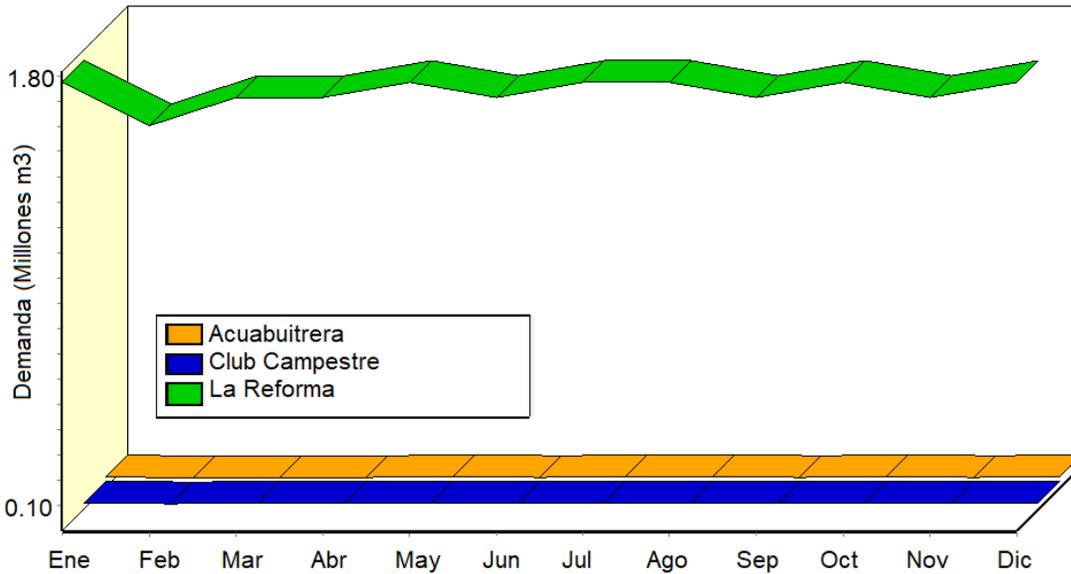


Figura 4-29 Demanda mensual promedio en m³/s de cada punto de demanda para el escenario de referencia (2016-2020)

Fuente: elaboración propia

4.3.3 Calibración y validación

Para establecer el grado de correspondencia entre los valores observados y los valores modelados se utilizaron los siguientes indicadores de ajuste: el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe, el sesgo (o PBIAS o desviación relativa de los caudales) y el Error cuadrático (Weglarczyk, 1998).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (11)$$

$$PBias = 100 \frac{(\bar{Q}_s - \bar{Q}_o)}{\bar{Q}_o} \quad (12)$$

$$RSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}} \quad (13)$$

Donde $Q_{s,i}$, Caudales simulados para casa paso de tiempo, $Q_{o,i}$ Caudales observados para casa paso de tiempo. En cuanto al índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe entre más cerca de 1 esté, mejor la correspondencia entre los datos observados y simulados, y en cuanto

al sesgo entre menor el porcentaje, mejor la correspondencia entre los datos observados y simulados. Un BIAS (sesgo) positivo indica sobre estimación y un BIAS negativo indica subestimación de caudales. Se muestra en la Tabla 4-17 los valores referenciales con los que se establece el nivel de ajuste del modelo.

Tabla 4-17. Indicadores de ajuste.
Fuente: (Molnar, 2011; Moriasi et al., 2007)

| Clasificación de desempeño | NSE | PBIAS (%) | RSR |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Muy bueno | $0,75 < NSE < 1,00$ | $PBIAS \leq \pm 10$ | $0,00 < RSR < 1,00$ |
| Bueno | $0,65 < NSE < 0,75$ | $\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$ | $0,50 < RSR < 0,60$ |
| Satisfactorio | $0,50 < NSE < 0,65$ | $\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$ | $0,60 < RSR < 0,70$ |
| No satisfactorio | $NSE \leq 0,50$ | $PBIAS \geq \pm 25$ | $NSE \leq 0,70$ |

Los parámetros del suelo utilizados para la modelación hidrológica (coeficiente de cultivos, capacidad de agua del suelo, capacidad profunda, dirección referencial de flujo, conductividad profunda, factor de escorrentía, conductividad de la zona radicular, z1 inicial y z2 inicial) se muestran en la Tabla 4-18, y fueron evaluados en cada unidad hidrológica, permitiendo así realizar el balance hídrico apropiado. Estos valores fueron obtenidos por medio de un proceso iterativo.

Tabla 4-18 Parámetros del uso del suelo obtenidos mediante el proceso de calibración para la cuenca río Meléndez
Fuente: elaboración propia

| Parámetro | Valor |
|--|--------------|
| Key\Hidrología\albedo | 0,20 |
| Key\Hidrología\DW | 3989.56 |
| Key\Hidrología\FF_factor | 0,9 |
| Key\Hidrología\KC\Abiertas sin o con poca Vegetación | 0,78 |
| Key\Hidrología\KC\Agriculturas Heterogéneas | 0.82 |
| Key\Hidrología\KC\Bosques | 0,7 |
| Key\Hidrología\KC\Cultivos Permanentes | 0,72 |
| Key\Hidrología\KC\Pastos | 0,7 |
| Key\Hidrología\KC\Urbanizadas | 0,46 |
| Key\Hidrología\KC\Vegetación Herbácea o Arbustiva | 0,7 |
| Key\Hidrología\KD | 298.56 |
| Key\Hidrología\KS\Abiertas sin o con poca Vegetación | 487.95 |
| Key\Hidrología\KS\Agriculturas Heterogéneas | 479.91 |

| | |
|---|--------|
| Key\Hidrología\KS\Bosques | 589.50 |
| Key\Hidrología\KS\Cultivos Permanentes | 273.80 |
| Key\Hidrología\KS\Pastos | 456.20 |
| Key\Hidrología\KS\Urbanizadas | 356.50 |
| Key\Hidrología\KS\Vegetación Herbácea o Arbustiva | 401.47 |
| Key\Hidrología\RRF\Abiertas sin o con poca Vegetación | 2.79 |
| Key\Hidrología\RRF\Agrícolas Heterogéneas | 3.82 |
| Key\Hidrología\RRF\Bosques | 1 |
| Key\Hidrología\RRF\Cultivos Permanentes | 2.1 |
| Key\Hidrología\RRF\Pastos | 1.23 |
| Key\Hidrología\RRF\Urbanizadas | 1.5 |
| Key\Hidrología\RRF\Vegetación Herbácea o Arbustiva | 0.5 |
| Key\Hidrología\SW\Abiertas sin o con poca Vegetación | 214.65 |
| Key\Hidrología\SW\Agrícolas Heterogéneas | 309.97 |
| Key\Hidrología\SW\Bosques | 521.26 |
| Key\Hidrología\SW\Cultivos Permanentes | 276.21 |
| Key\Hidrología\SW\Pastos | 112.32 |
| Key\Hidrología\SW\Urbanizadas | 135.26 |
| Key\Hidrología\SW\Vegetación Herbácea o Arbustiva | 159.56 |
| Key\Hidrología\Z1\Z1_factor | 30 |
| Key\Hidrología\Z2 | 89.95 |

Para realizar el proceso de calibración se utilizó la estación de caudal Meléndez -PTAR ubicada en la zona baja del área, el periodo seleccionado fue del 2017 al 2018. En la Figura 4-30 se muestra la comparación entre el caudal simulado y el observado, y los resultados de las medidas de bondad de ajuste se muestran en la Tabla 4-19. De acuerdo con dichos resultados, esta modelación está dentro del rango de aceptación.

Tabla 4-19 Medidas de bondad de ajuste para el modelo calibrado
Fuente: elaboración propia

| | | | |
|--------------------|-------|------|---------------|
| CALIBRACIÓN | NSE | 0.50 | SATISFACTORIO |
| | RSE | 0.71 | SATISFACTORIO |
| | PBIAS | 8.45 | MUY BUENO |

Para el proceso de validación se eligió el periodo 2019 al 2020, de la serie de caudales mensuales de la estación Meléndez – PTAR, al realizar el ajuste al modelo se obtuvo los valores de la Figura 4-20 y el hidrograma se observa en la Figura 4-30.

Tabla 4-20 Medidas de bondad de ajuste para el modelo validado

Fuente: elaboración propia

| | | | |
|-------------------|-------|-------|---------------|
| VALIDACIÓN | NSE | 0.52 | SATISFACTORIO |
| | RSE | 0.69 | SATISFACTORIO |
| | PBIAS | 18.61 | SATISFACTORIO |

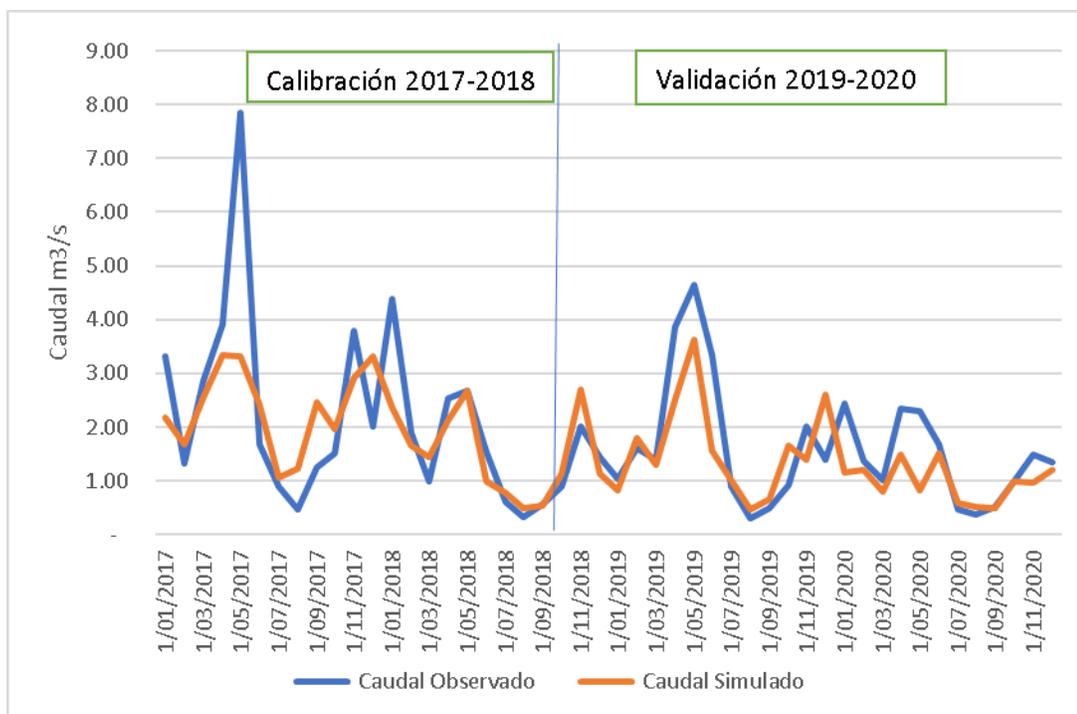


Figura 4-30 Hidrograma de caudales observados y simulados para el periodo de calibración y validación

Fuente: elaboración propia

4.4 Balance Oferta - Demanda

Conociendo la demanda y el caudal de oferta disponible de la cuenca se realizó la comparación directa en WEAP. Adicionalmente, se utilizó el índice de uso de agua (IUA), el que permitió conocer el grado de presión que se tiene sobre el recurso hídrico de la cuenca hidrográfica.

4.5 Análisis del impacto de escenarios futuros

Para este análisis se tuvieron en cuenta las proyecciones de precipitación y temperatura que ha realizado el IDEAM, correspondiente al periodo de 2021 a 2050 (CIAT, 2015). Para

obtener la oferta hídrica total OHT futura del periodo 2021 - 2050 de la cuenca del río Meléndez, se tuvo en cuenta un estudio de estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático en el municipio del Cali – Valle del Cauca, donde se comunica que habrá un aumento de la precipitación y la temperatura, según los pronósticos del IDEAM. En la (IDEAM et al., 2015).

Tabla 4-21 se presentan los respectivos cambios proyectados (IDEAM et al., 2015).

Tabla 4-21 Resumen de los cambios proyectados en el clima para el municipio de Cali.

Fuente: elaboración propia

| 2011-2040 | | 2041-2070 | | 2071-2100 | |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Cambio de temperatura media °C | Cambio de precipitación (%) | Cambio de temperatura media °C | Cambio de precipitación (%) | Cambio de temperatura media °C | Cambio de precipitación (%) |
| Entre 0.5 y 1°C | Entre 10% a 30% | Entre 1 y 1.8 °C | Entre 10% a 30% | Entre 1.6 y 2.3 °C | Entre 10% a 30% |

Teniendo en cuenta la información del IDEAM de las proyecciones en precipitación y temperatura, en las Figura 4-31, Figura 4-32 y Figura 4-33 se muestran las proyecciones hasta el año 2050 para las precipitaciones de la zona uno, dos y tres respectivamente, realizadas con el escenario más conservador que corresponde al valor más bajo de los planteados por IDEAM.

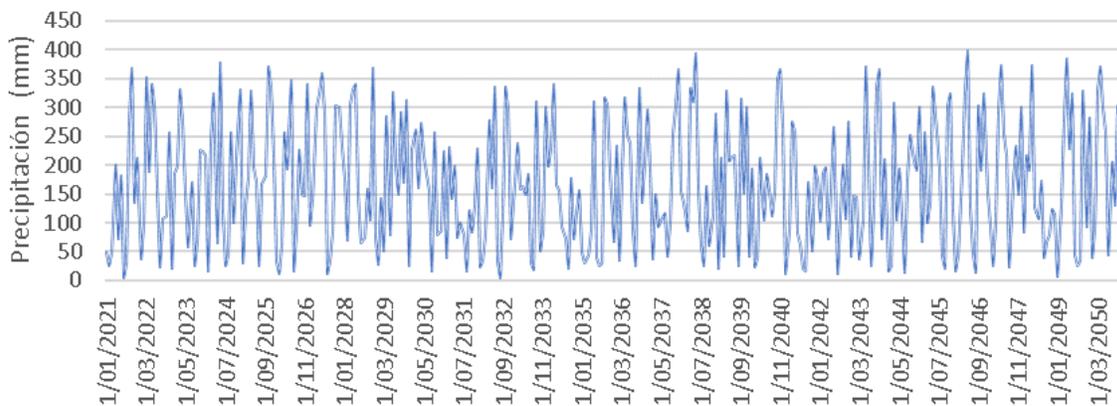


Figura 4-31 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca

Fuente: elaboración propia

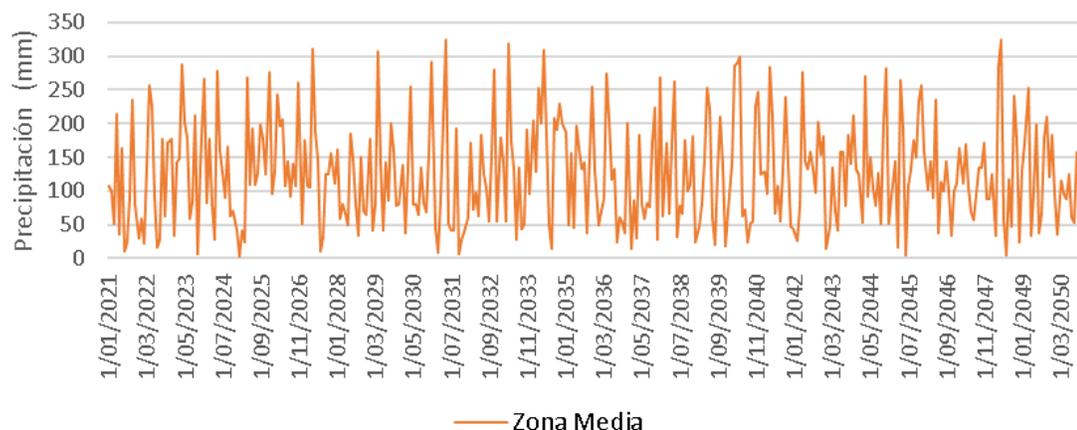


Figura 4-32 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca
Fuente: elaboración propia

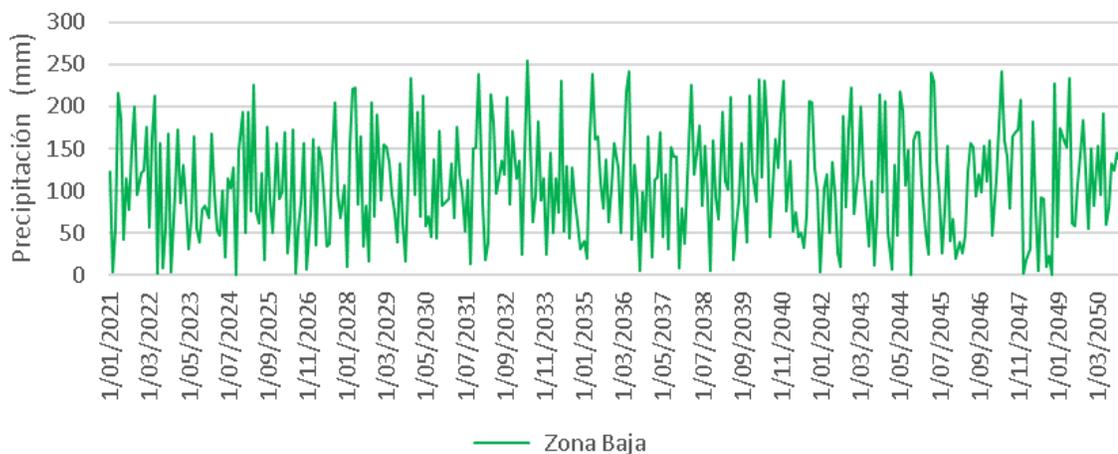


Figura 4-33 Precipitación proyectada de la zona alta de cuenca
Fuente: elaboración propia

4.6 Determinación de alternativas de optimización

Se modelarán alternativas de optimización como:

- La implementación de tecnologías que estén a la vanguardia, para mejorar la técnica del control de flujo, ya que esto debe estar controlado y vigilado por las entidades encargadas. De manera más específica se propone una reducción de las pérdidas en el sistema de distribución de manera progresiva.
- Realizar una planeación municipal adecuada, mediante la cual, y a largo plazo se reubique a la población en centros urbanos aledaños, para que el agua que es utilizada de forma no controlada (ilegales), no sea captada para usos domésticos

o sus sistemas productivos, generando una reducción de la presión sobre los recursos en dicha zona.

- Por último, establecer programas que incentiven el uso eficiente del agua, como reciclar el agua, para lo que se propone almacenamiento en zona de embalse.

5 RESULTADOS

5.1 Análisis de la situación actual

5.1.1 Oferta hídrica total OHT

La oferta hídrica total mensual del periodo 2016 a 2020 simulada con el programa WEAP, se presenta en la Figura 5-1. De allí se observa que se cumple con el comportamiento observado, es decir régimen bimodal, siendo los meses con caudales más bajos julio y agosto, en algunas ocasiones el mes de septiembre, mientras que los meses con caudales más altos son mayo y diciembre.

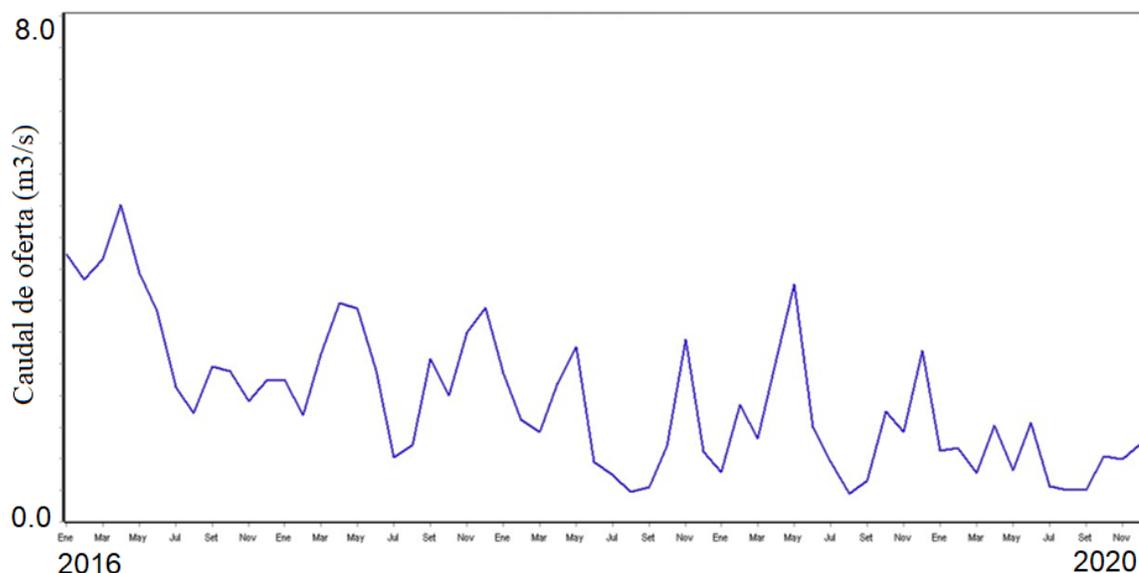


Figura 5-1 Oferta mensual para el periodo 2016 a 2020 para el río Meléndez
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5-1 están los caudales de las tres unidades hidrológicas, de las cuales la zona 1, es montañosa, boscosa y la temperatura esta entre 15 °C y 16 °C, y se presenta una mayor precipitación. En la zona 2 el caudal disminuye, hay mayor intervención de las actividades antrópicas, el cambio del uso del suelo es constante y esto se ve reflejado en la disminución de la escorrentía superficial, la temperatura aumenta de uno a dos grados centígrados. En la zona 3 (que corresponde a la más baja de la cuenca con la mayor

temperatura, y a la parte urbana de la cuenca) el caudal se reduce considerablemente como se muestra en la Figura 5-2.

Tabla 5-1 Caudal total de las tres unidades hidrológicas de la cuenca río Meléndez.
Fuente: elaboración propia

| Oferta hídrica (m ³ /s) | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Unidad Hidrológica 1 | 1,41 | 1,55 | 1,93 | 3,06 | 2,77 | 1,68 | 0,75 | 0,71 | 1,70 | 2,11 | 2,31 | 2,32 |
| Unidad Hidrológica 2 | 0,71 | 0,67 | 0,96 | 1,42 | 1,37 | 0,83 | 0,37 | 0,34 | 0,74 | 0,97 | 1,07 | 1,12 |
| Unidad Hidrológica 3 | 0,19 | 0,26 | 0,42 | 0,58 | 0,50 | 0,29 | 0,13 | 0,07 | 0,33 | 0,32 | 0,29 | 0,40 |
| Sumatoria | 2,31 | 2,48 | 3,31 | 5,06 | 4,64 | 2,8 | 1,25 | 1,12 | 2,77 | 3,4 | 3,67 | 3,84 |

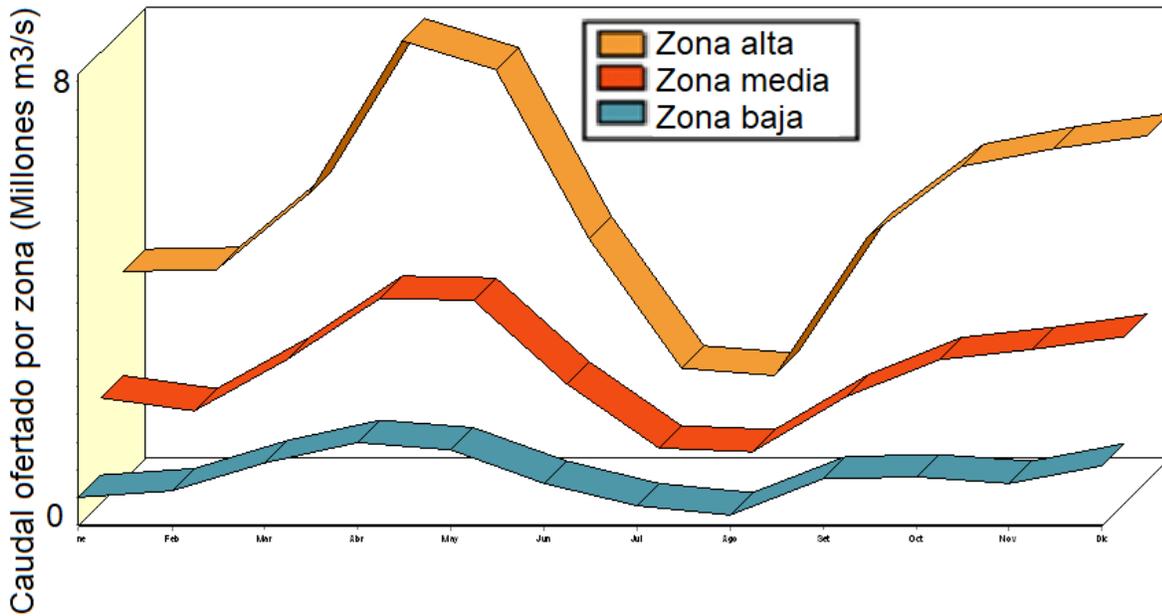


Figura 5-2 Caudales afluentes al área de la cuenca del río Meléndez
Fuente: elaboración propia

Caudal ambiental

En la

Tabla 5-2 se presentan los valores del caudal ambiental calculados con base en la propuesta metodológica del Estudio Nacional del Agua, ENA 2022, que en este caso corresponde al percentil 85, debido al IRH respectivo.

Tabla 5-2 Caudal ambiental (m^3/s) para la cuenca del río Meléndez - Método Q85
Fuente: elaboración propia

| Unidad hidrológica | Caudal ambiental m^3/s |
|--------------------|--------------------------|
| Zona Alta | 0,60 |
| Zona Media | 0,70 |
| Zona Baja | 0,26 |

Oferta hídrica superficial disponible OHD

En las siguientes figuras se presentan los resultados de oferta hídrica superficial disponible simulada con WEAP para la zona alta (Figura 5-3), media (Figura 5-4) y baja (Figura 5-5). En esas figuras se observa un comportamiento similar al observado, ya que en general se presenta un comportamiento bimodal y el año 2016 presentó caudales altos.

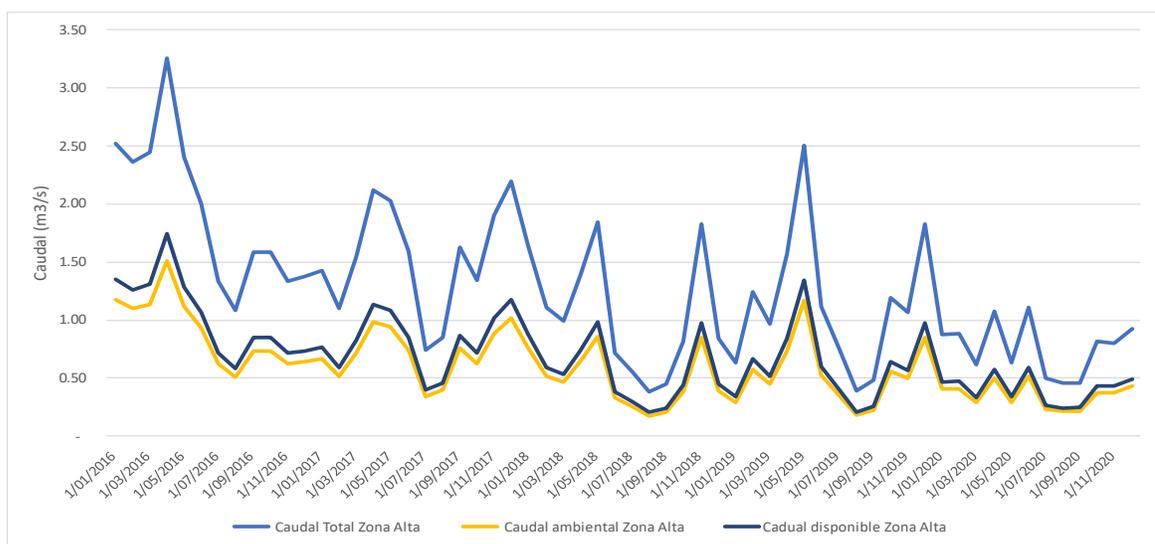


Figura 5-3 Oferta hídrica superficial simulada en la zona alta para el periodo 2016-2020
Fuente: elaboración propia

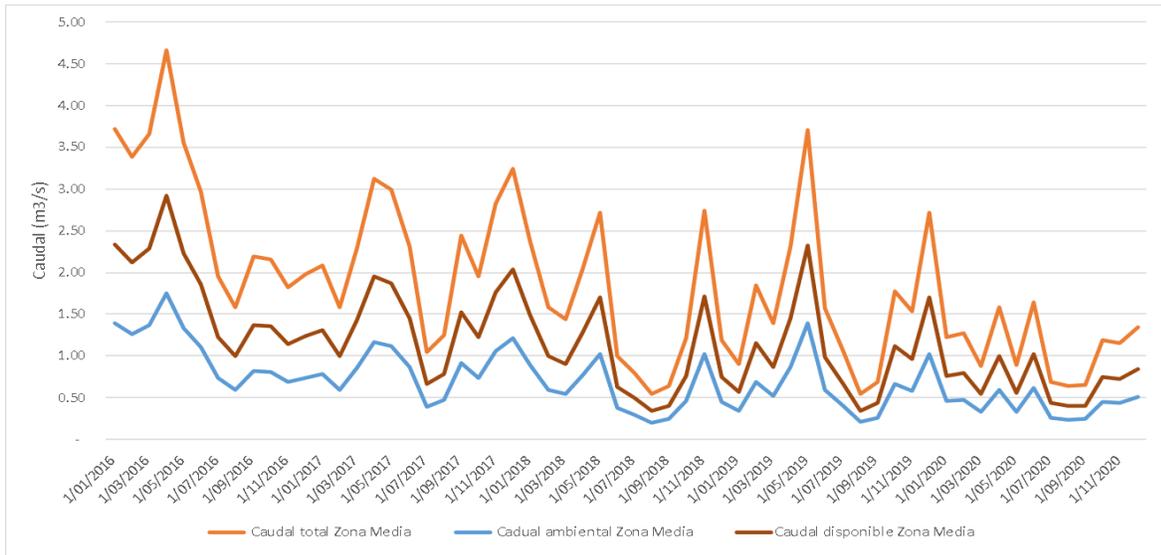


Figura 5-4 Oferta hídrica superficial simulada en la zona media para el periodo 2016-2020

Fuente: elaboración propia

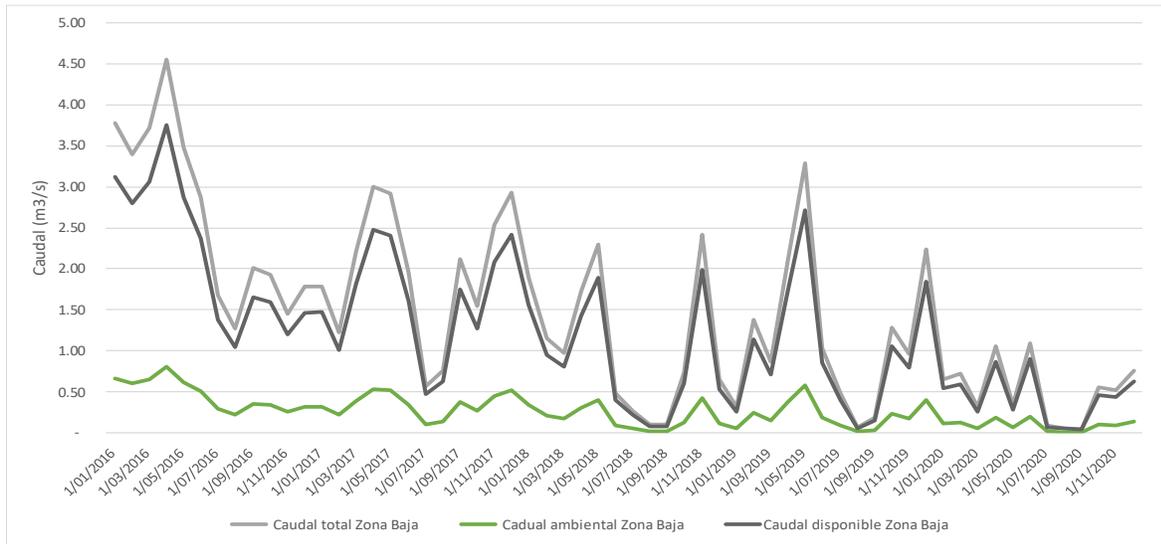


Figura 5-5 Oferta hídrica superficial simulada en la zona baja para el periodo 2016-2020

Fuente: elaboración propia

5.1.2 Demanda hídrica actual

La demanda hídrica total, es decir, la suma de las tres captaciones que son de uso doméstico, se presenta en la Figura 5-6. En dicha figura se observa una disminución del

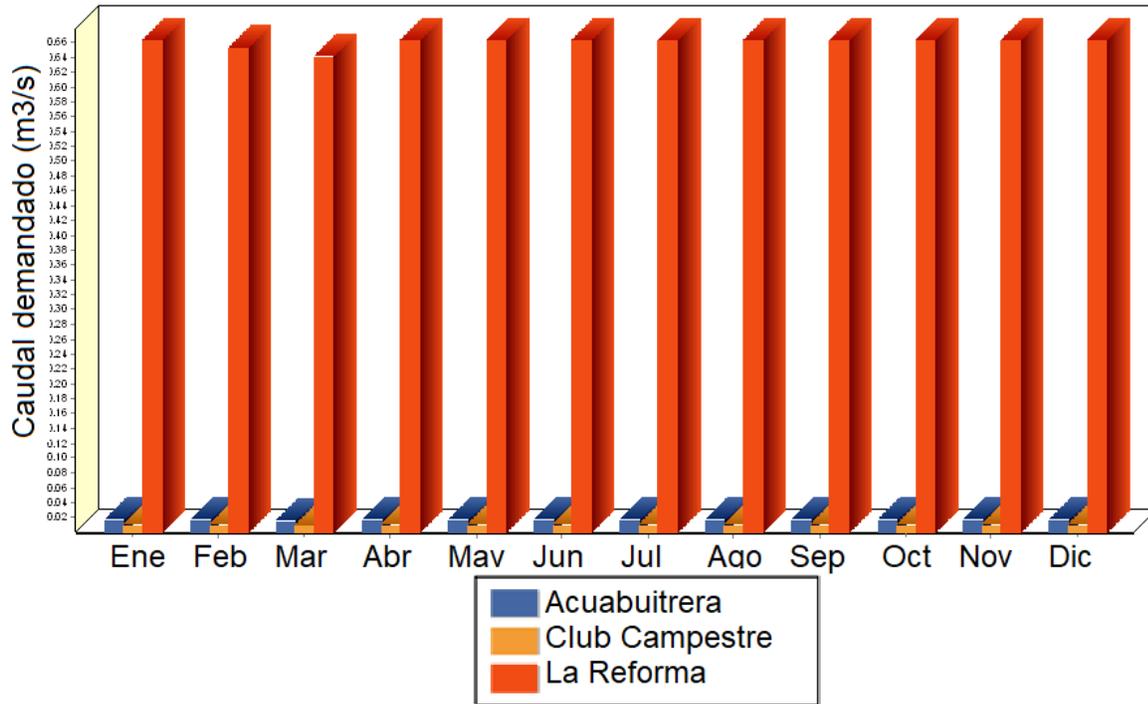


Figura 5-7 Demanda de agua en m³/s para cada tres captaciones de agua
Fuente: elaboración propia

5.1.3 Balance oferta- demanda actual

En la Figura 5-8 se observa el balance general de la cuenca para el periodo 2016 a 2020, en el que se evidencia que la demanda en los meses de caudales bajos supera la OHD (específicamente en julio de cada año). De manera que se confirma lo establecido previamente por la CVC sobre el desabastecimiento de la cuenca para dicho mes; adicionalmente, el año 2020 es crítico ya que la demanda supera la OHD para varios meses (febrero, julio, agosto y septiembre), ya que en dicho año la OHD fue menor.

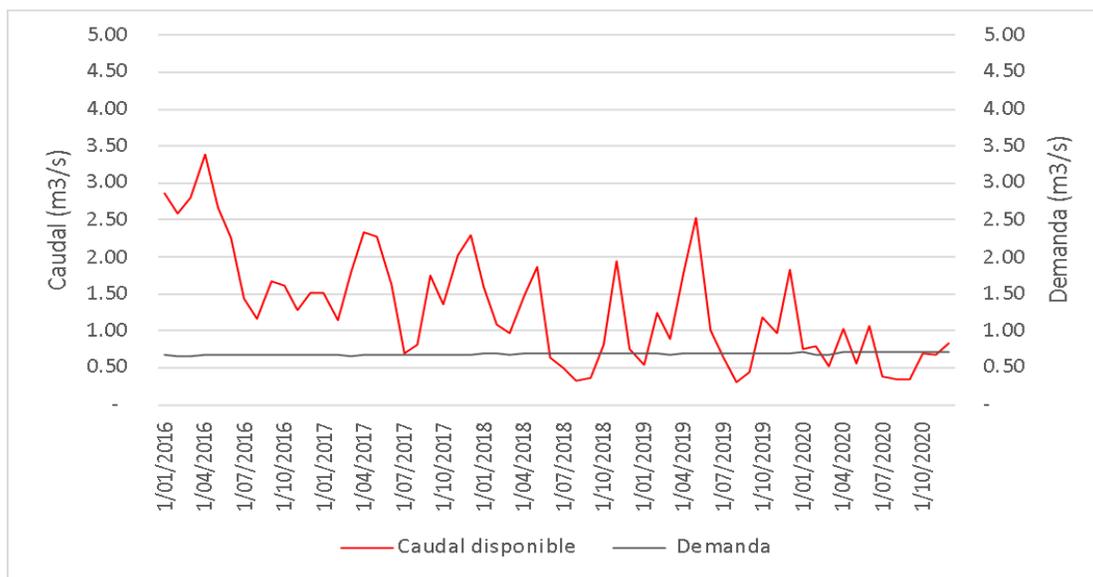


Figura 5-8 Balance oferta demanda del periodo 2016 – 2020
Fuente: elaboración propia

Por otra parte, también se obtuvo el índice de uso del agua (IUA), el que permitió medir el grado de presión que se tiene sobre el río Meléndez, teniendo en cuenta lo establecido en el ítem 3.5.1.3. Los resultados se presentan en la

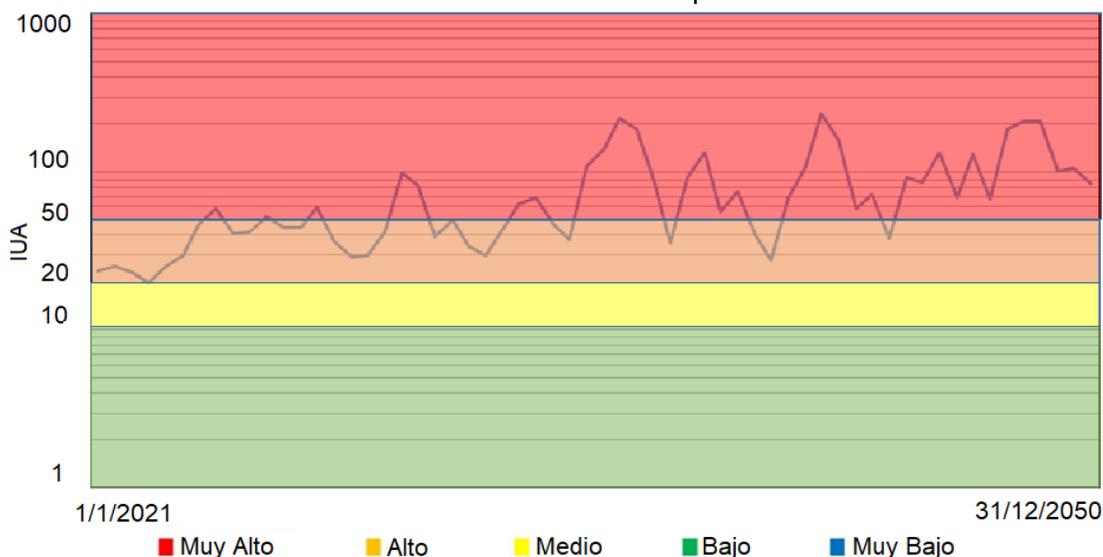


Figura 5-9, de donde se concluye que en la cuenca el 65 % de los meses la presión es Muy alta con respecto a la oferta disponible, mientras que el 35 % de los meses es Alta. La fuente hídrica se encuentra en un estado crítico y de continuar así en los próximos años podrían presentarse muchos más meses de desabastecimiento. Se evidencia que la presión sobre la fuente hídrica aumenta a través del tiempo porque hay crecimiento poblacional y más pérdidas, por ser una zona donde hay muchas conexiones ilegales.

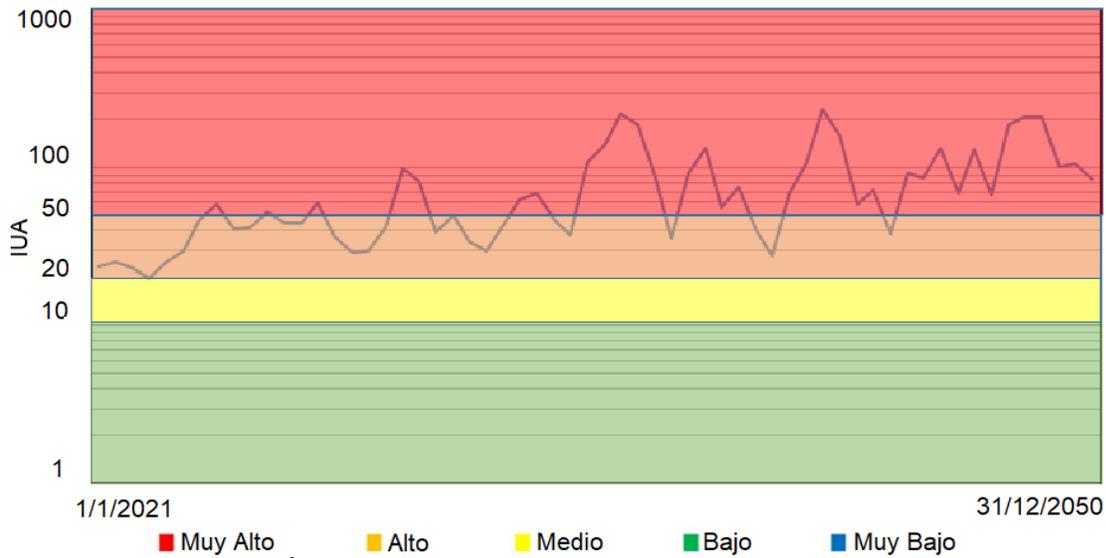


Figura 5-9 Índice de Uso de Agua (IUA) de las tres captaciones
Fuente: elaboración propia

Los resultados de la anterior figura discriminados por nodo se presentan en la Figura 5-10 de manera mensual para el periodo 2016 a 2020. La demanda de La Reforma ejerce una presión muy alta con respecto a la oferta disponible, a diferencia de la demanda de Acuabuitrera y Club Campestre, la que no es significativa con respecto a la oferta disponible. Se observa, que se presenta una gran cantidad de meses con desabastecimiento (valores IUA>100).

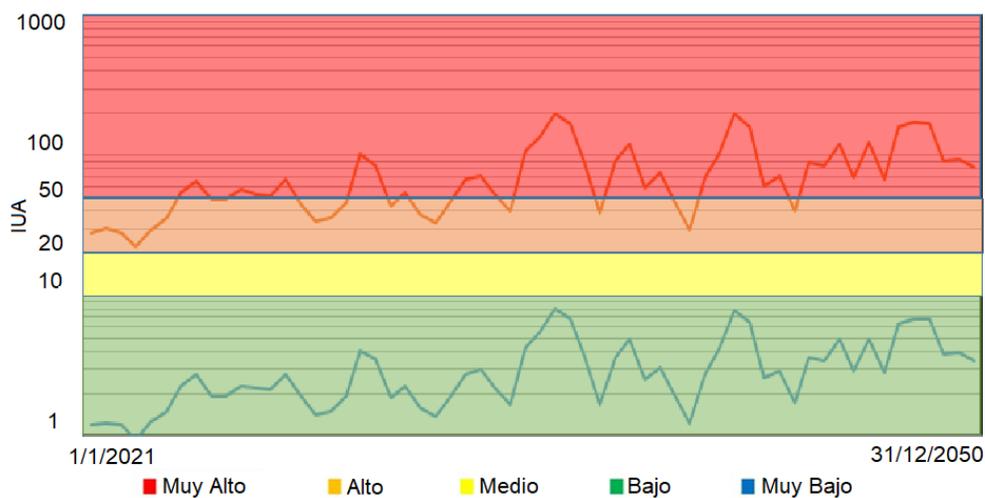


Figura 5-10 Distribución del Índice Uso de Agua para La Reforma para el periodo 2016 a 2020
Fuente: elaboración propia

5.2 Análisis de la situación futura

5.2.1 Oferta hídrica futura

Teniendo en cuenta las proyecciones realizadas, según se explicó en la metodología, en la Figura 5-11 se presenta el régimen del caudal de oferta total proyectada para el periodo 2021 a 2050 (ver Anexo 2).

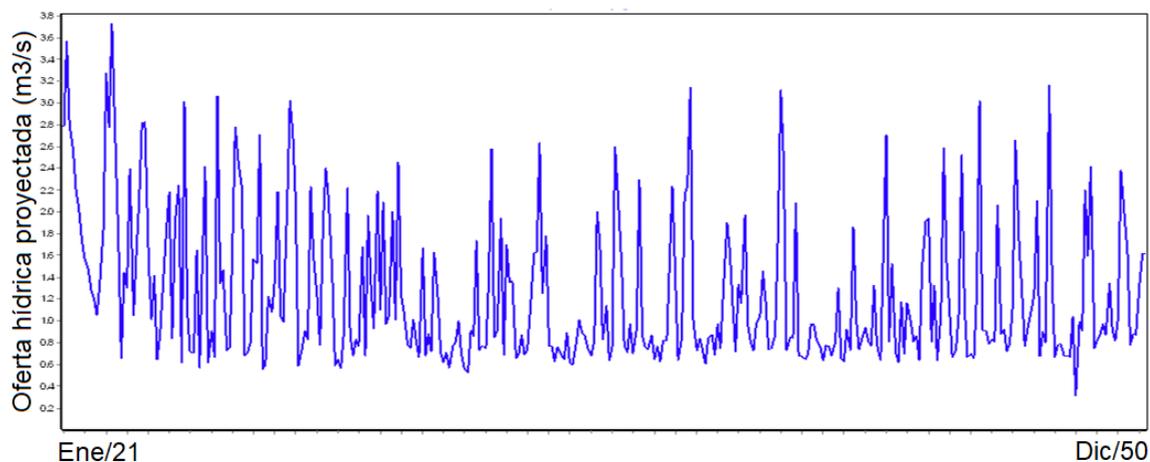


Figura 5-11 Caudal proyectado del río Meléndez para el periodo 2021-2050
Fuente: elaboración propia

Caudal ambiental

En la

Tabla 5-2 se presentan los valores del caudal ambiental calculados con base en la propuesta metodológica del Estudio Nacional del Agua, ENA 2022.

Tabla 5-4 Caudal ambiental (m^3/s) para la subcuenca río Meléndez
Fuente: elaboración propia

| Unidad hidrológica | Caudal ambiental m^3/s |
|--------------------|--------------------------|
| Zona Alta | 0,18 |
| Zona Media | 0,40 |
| Zona Baja | 0,20 |

Oferta hídrica superficial Disponible OHD

En la Figura 5-12 se comparan los tres caudales, para poder conocer la oferta disponible futura. En el Anexo 2 se presenta la oferta hídrica disponible proyectada de la zona alta, media y baja.

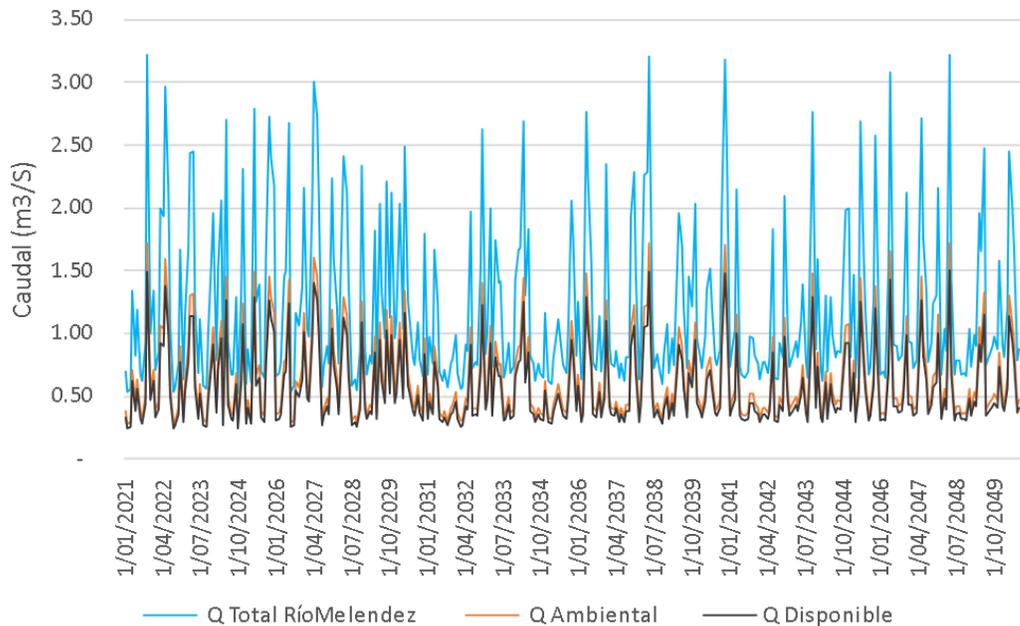


Figura 5-12 Oferta disponible proyectada desde el 2021 hasta 2050 de la cuenca
Fuente: elaboración propia

5.2.2 Demanda hídrica futura 2050 sin ninguna intervención al sistema

En la Figura 5-13 se presenta las proyecciones de demanda, la que sigue creciendo a través del tiempo, debido al crecimiento demográfico en las diferentes zonas de la cuenca.

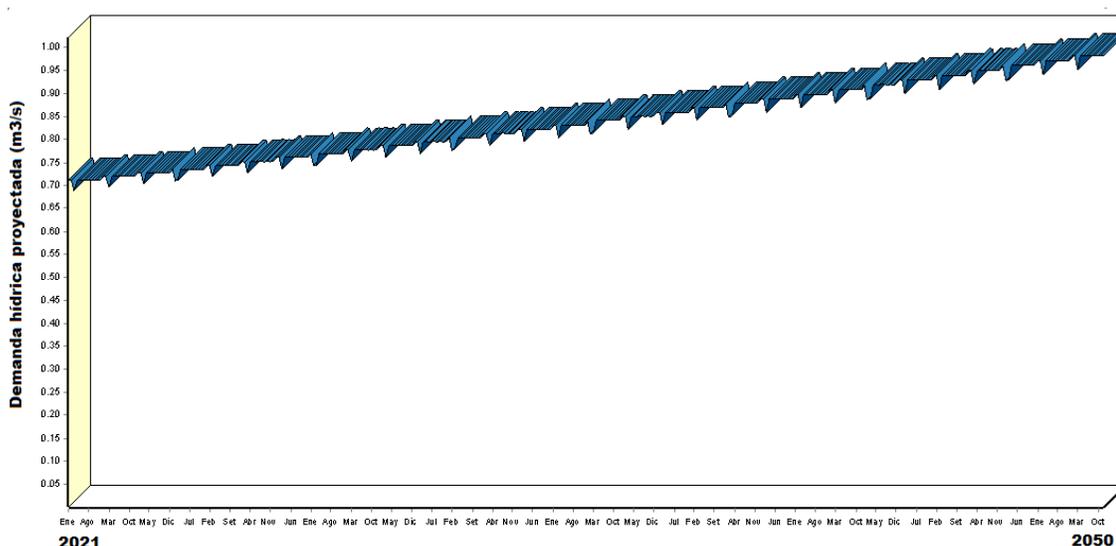


Figura 5-13 Demanda anual en m³/s para el escenario proyectado
Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-14 se observa que de la demanda proyectada hasta 2050 la captación que requiere mayor volumen de agua seguirá siendo el acueducto La Reforma, con respecto a Acuabuitrera y Club Campestre, siendo su consumo extremadamente grande debido a su crecimiento poblacional y a las pérdidas asociadas en el sistema.

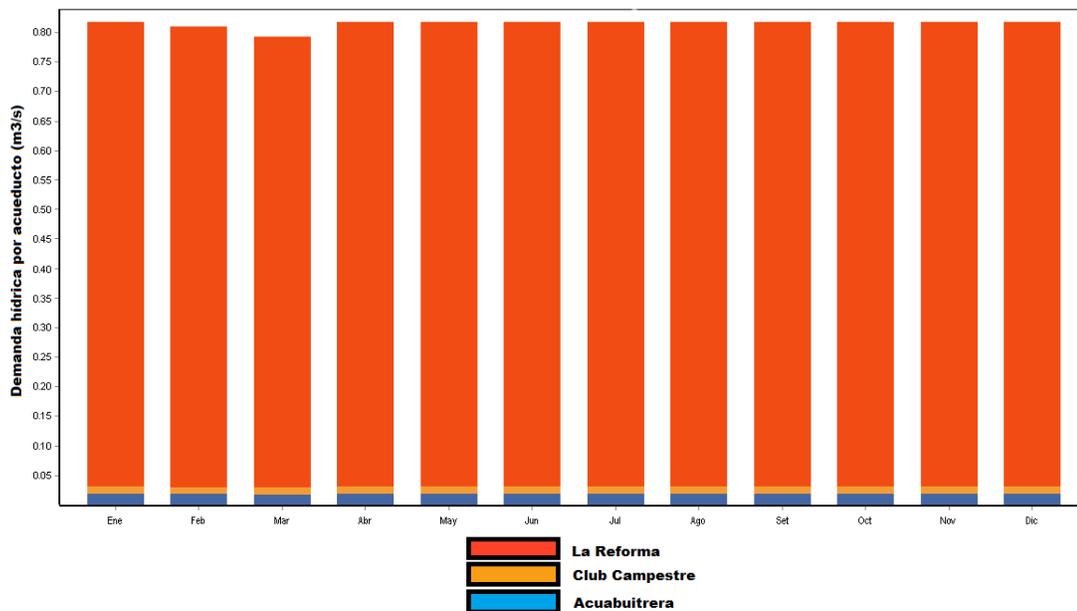


Figura 5-14 Demanda hídrica futura de 2021 a 2050
Fuente: elaboración propia

5.2.3 Balance oferta demanda futura

En la Figura 5-15 se observa el balance general de la cuenca para el periodo 2021 a 2050, y se aprecia que la demanda en algunos meses supera el caudal disponible y en gran parte supera el caudal ambiental. Es evidente que habrá desabastecimiento de la cuenca, y para los últimos años habrá mayor demanda y por tanto menor cobertura de la misma.

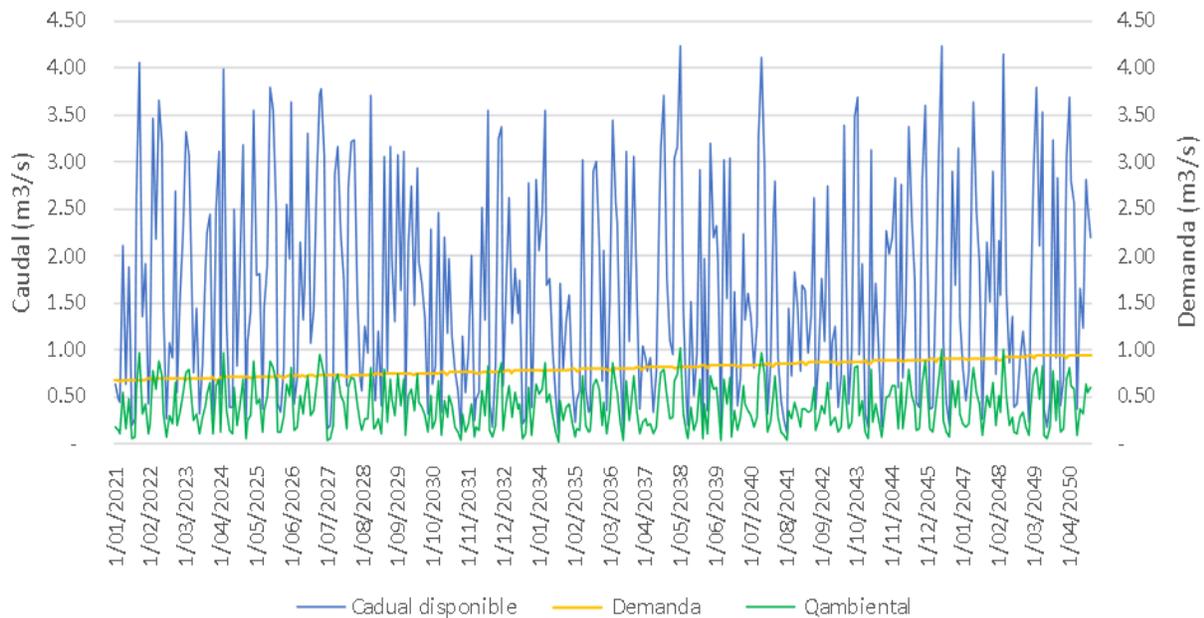


Figura 5-15 Balance oferta demanda futura del periodo 2021-2050
Fuente: elaboración propia

Dicha información se revisa de manera más detallada con el IUA el que se presenta en la Figura 5-16, donde se observa que el 54,60 % de los meses la presión hídrica será Muy alta, el 42,62 % Alta y el 2,79 % Media. La fuente hídrica permanecería más del 50 % en estado crítico durante todo este periodo proyectado, adicionalmente, alcanzando valores considerablemente altos hasta IUA de 800 debido al incremento desmesurado de la demanda.

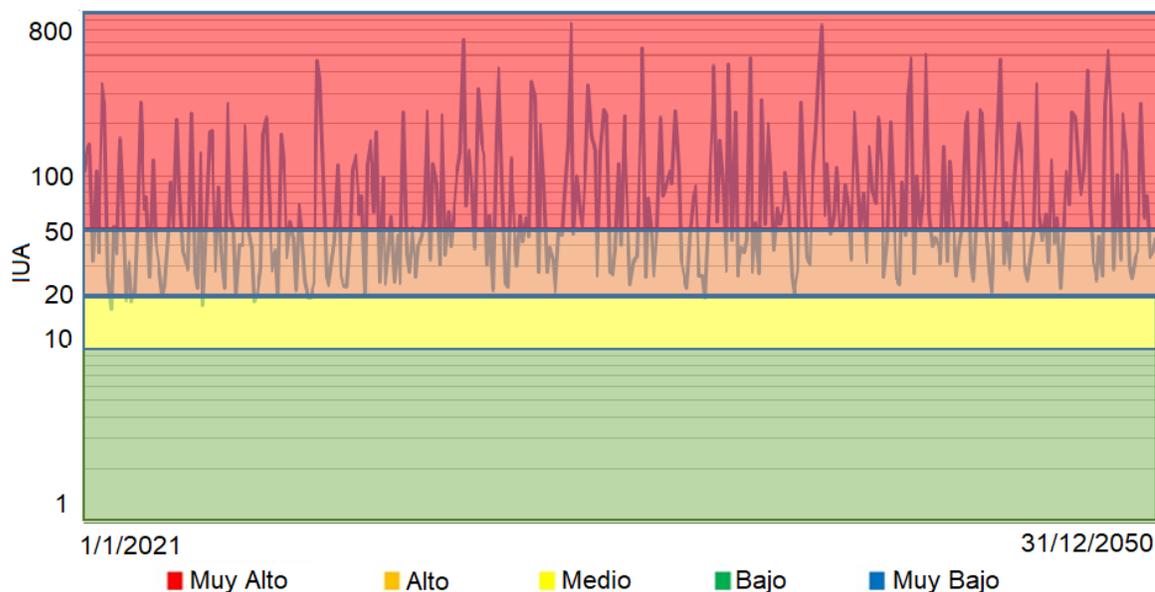


Figura 5-16 Distribución del IUA del río Meléndez 2021 a 2050
Fuente: elaboración propia

Al discriminar dicha información por zonas, se observa que la zona Alta presenta demanda Alta un 79,72 % de los meses, Media el 12,22 % y Alta 1,11 % (ver Figura 5-17). Sin embargo, en esta zona no se presentará desabastecimiento ya que el IUA nunca supera el valor de 100.

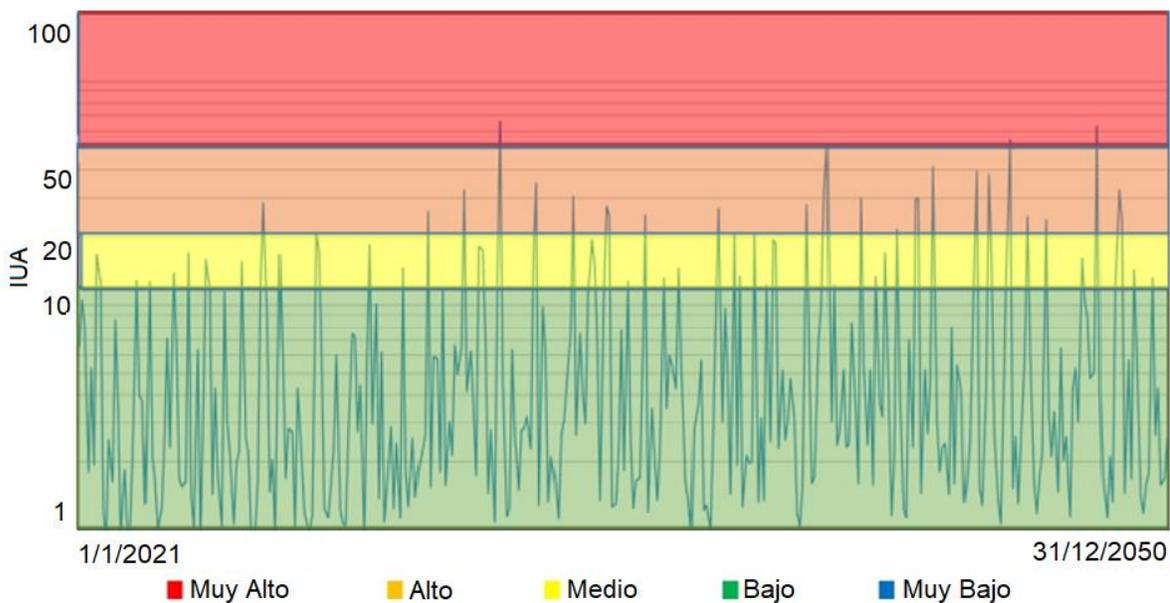


Figura 5-17 Distribución del IUA en la zona alta de la cuenca para 2021 a 2050
Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el acueducto de La Reforma y El Club Campestre, se encuentran en la cuenca media y baja, y se presentan de manera conjunta ya que los valores de Club Campestre son bastante bajos. En la Figura 5-18 se observa que el IUA de esta zona es Muy Alto el 54,60 % de los meses, Alto el 42,62 % y Medio 2,79 %. Del total del periodo el 69,17 % habrá cobertura de la demanda hídrica y el 30,83 % habrá desabastecimiento (IUA >100).



Figura 5-18 Distribución del IUA en la zona media y baja de la cuenca para el periodo proyectado 2021 – 2050
Fuente: elaboración propia

Como se puede observar la zona alta presenta presión alta mayor cantidad de meses, pero la zona baja presenta valores de IUA demasiado elevados llegando a tomar valores cercanos a 800, demandas que será imposible abastecer.

5.3 Alternativas de manejo para el uso eficiente del recurso hídrico

5.3.1 Alternativa 1 reducción de la dotación

En el acueducto La Reforma se propone un cambio en la tasa anual de uso del agua, ya que actualmente está en 128 m³/persona y se propone pasarla a 48 m³/persona que

corresponde al valor indicado por el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico. Este acueducto es el que genera los problemas de disponibilidad para la cuenca. Se propone realizar un cambio gradual durante 10 años, con lo que se obtiene el cambio que se observa en la Figura 5-19.

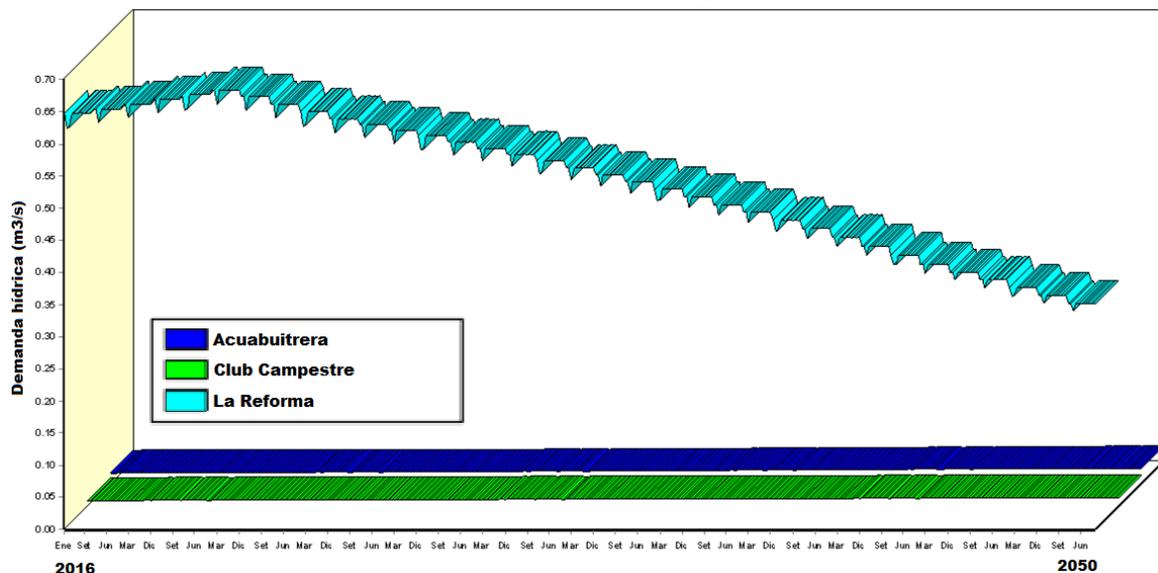


Figura 5-19 Reducción de la demanda proyectada por reducción pérdidas en el acueducto La Reforma.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-20 se presenta el IUA mensual para el periodo 2021 a 2050 en el acueducto La Reforma, ya que este acueducto es el que ejerce una Muy alta presión al recurso hídrico durante el mayor número de meses del tiempo proyectado. Al realizar una reducción en las pérdidas se evidencia que la demanda disminuye progresivamente, sin embargo, el IUA sigue estando Muy Alto en el 38,39 % del tiempo, el 39,22 % se encuentra en categoría Alta, el 21,26 % está en categoría Media y el 1,12 % es categoría Baja. Si se compara la oferta y demanda inicial con esta alternativa hay una mejoría notable, en los meses de desabastecimiento ya que este pasa de 30,83 % a 20,89 %, es decir se lograría una reducción del 10 % para este periodo. De manera que una disminución en la presión hídrica que ejerce la demanda sobre el río Meléndez, al pasar de 54,60 % a 38,39 %, mejorando las condiciones ambientales de la cuenca.

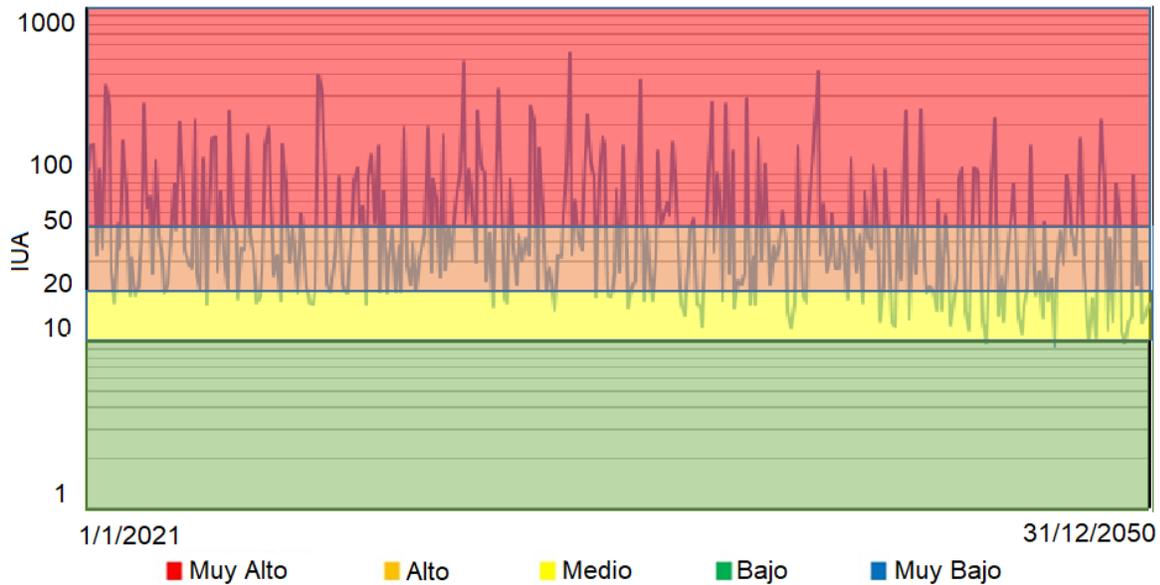


Figura 5-20 Distribución del IUA con la alternativa 1 para el periodo proyectado.
Fuente: elaboración propia

5.3.2 Alternativa 2 reubicación de la población

La segunda alternativa propuesta consiste en un plan de desarrollo para el sector, que involucre la reubicación de la población vulnerable asentada en la zona hacia otros centros urbanos, proyectando un decremento de la población en la zona para el periodo 2021 a 2050 como aparece en la Figura 5-21.

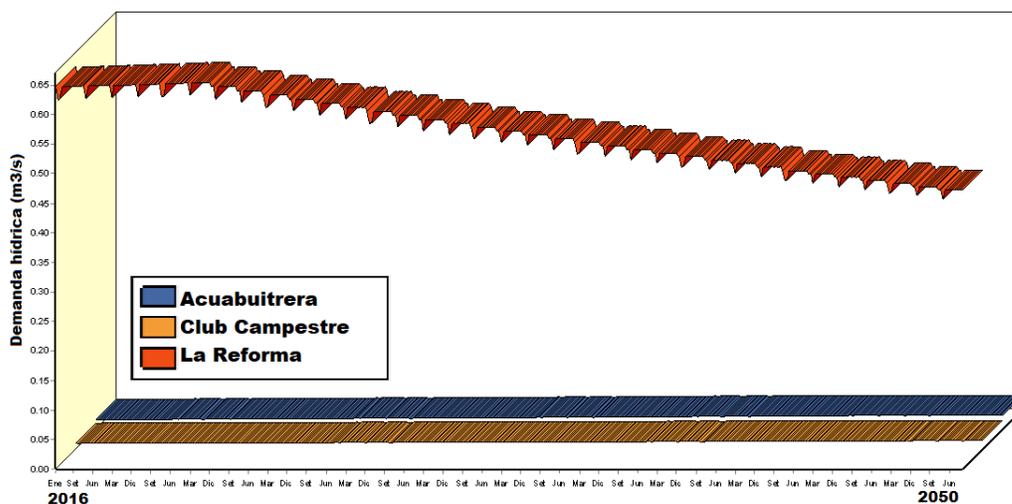


Figura 5-21 Cambio en la tasa de crecimiento poblacional debido a la reubicación para el periodo 2021 – 2050, en el acueducto La Reforma
Fuente: elaboración propia

Al realizar dicha reubicación de la población se evidencia que la demanda disminuye progresivamente, sin embargo, el IUA sigue estando Muy Alto en el 40.95 % de los meses mientras que el 39 % se encuentra en categoría Alta y el 20.06 % estaría en la categoría Media (ver Figura 5-22). Se observan igualmente valores del IUA considerablemente altos (cerca de 800) y se seguiría presentando desabastecimiento el 23.11 % del tiempo (es decir valores superiores a 100).

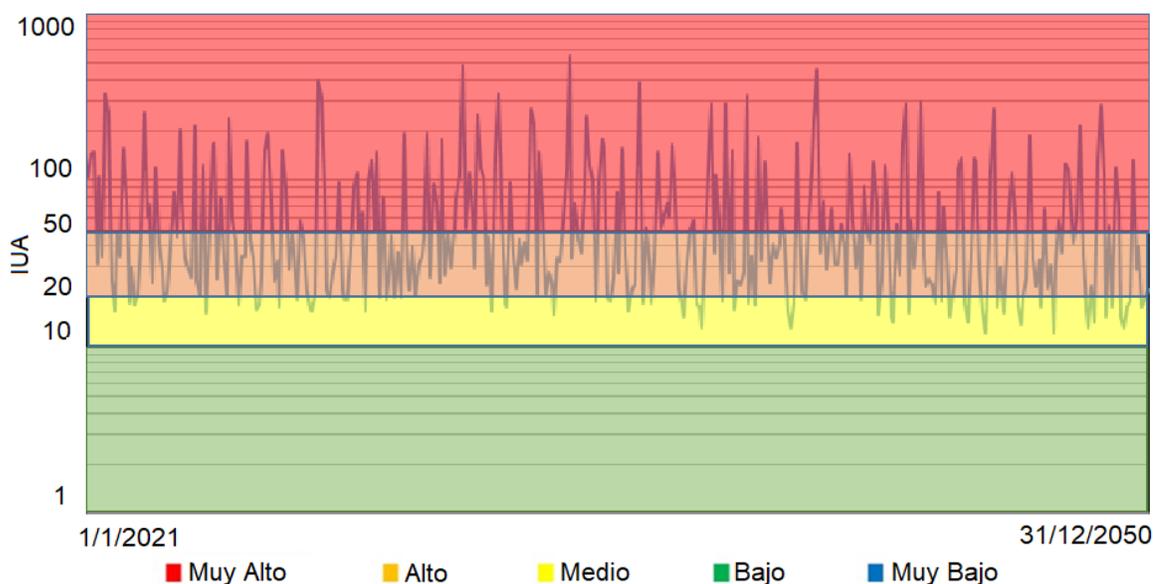


Figura 5-22 Distribución del IUA para la alternativa 2 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

5.3.3 Alternativa 3 reducción de la dotación y reubicación de la población vulnerable combinadas

La tercera alternativa es disminuir la dotación y reubicar la población para el periodo 2021 a 2050 (Figura 5-23). La combinación de esas dos alternativas logra una reducción significativa de la demanda hídrica. Con las anteriores medidas, la cuenca estaría en una demanda Muy Alta el 28,69 % de los meses, Alta de 33,70 %, Media el 27,58 % y Baja el 10,03 % (Figura 5-24). De manera que el desabastecimiento con esta alternativa sería solo del 13.11 %. Aun así, se tienen valores demandados demasiado altos hasta de 389.

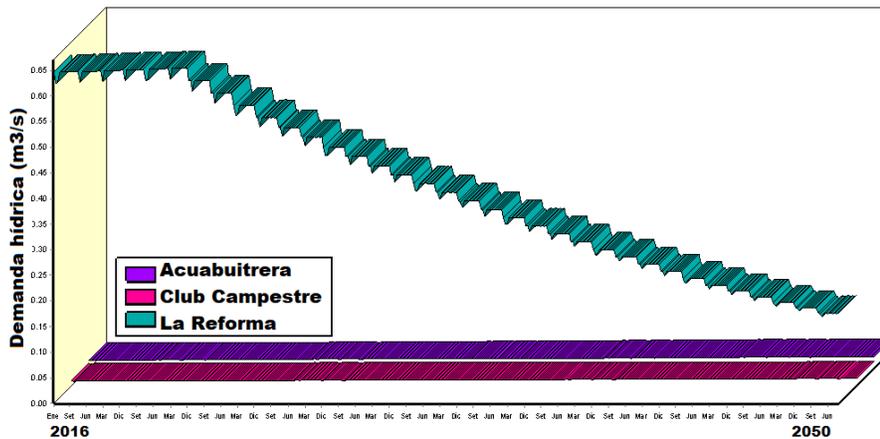


Figura 5-23 Reubicación de la población y reducción de la dotación para el periodo 2021 a 2050 en el acueducto La Reforma
Fuente: elaboración propia

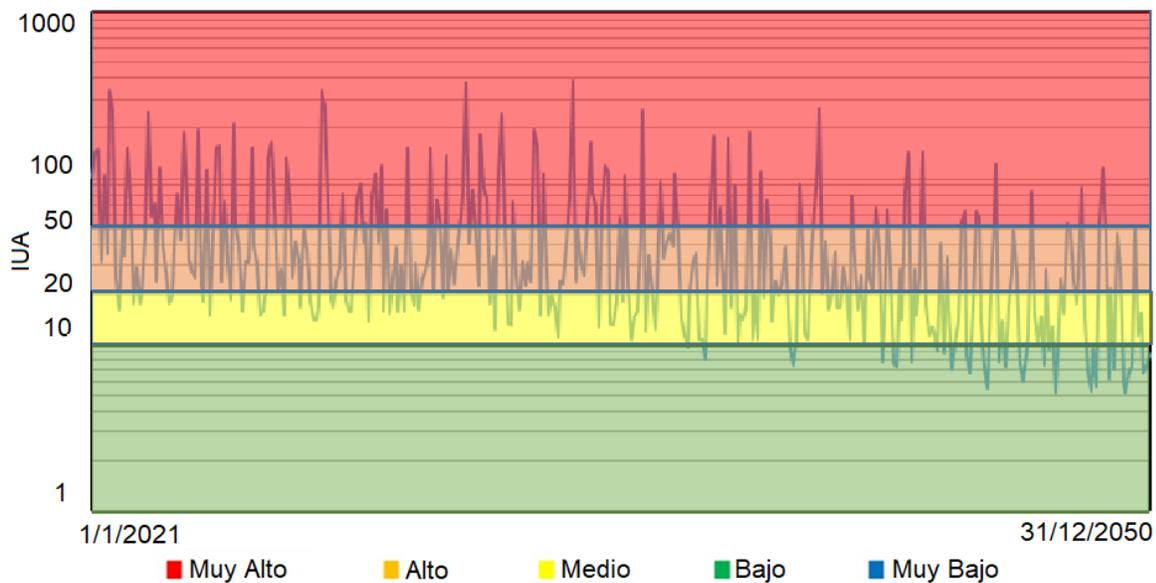


Figura 5-24 Distribución IUA para la alternativa 3 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

5.3.4 Alternativa 4 almacenamiento de agua

La cuarta alternativa consiste en la construcción de un embalse para recoger las aguas lluvias aguas arriba, como se evidencia en la Figura 5-25, donde se muestra con un círculo la zona más factible dónde se puede ubicar el embalse. Con esta alternativa se busca almacenar agua en tiempos de alta precipitación, con una capacidad de almacenamiento

máxima de 7 Mm³, con un almacenamiento inicial de 3 Mm³, para que cubra la demanda en tiempo secos.

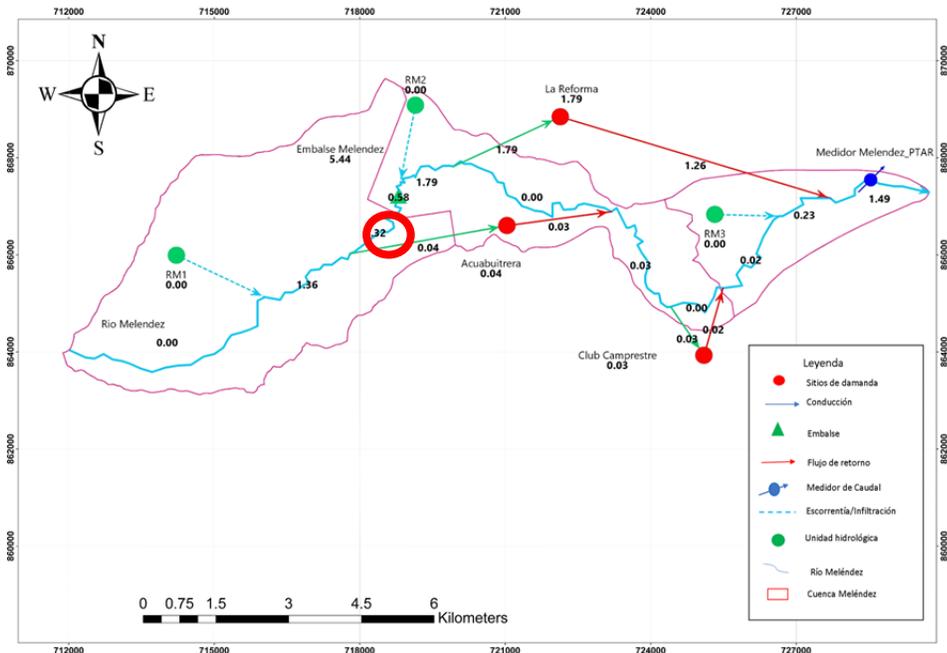


Figura 5-25 Posible ubicación del embalse para almacenamiento de agua
Fuente: elaboración propia

Se observa en la Figura 5-26 que hay varios meses donde se estaría cubriendo la demanda para el acueducto La Reforma, en condiciones de aumento de población y de precipitación.

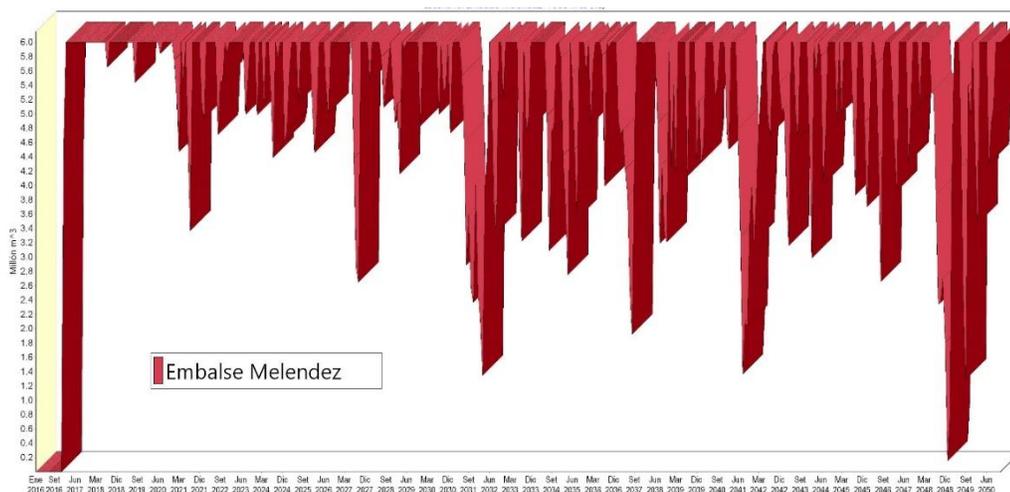


Figura 5-26 Volumen de almacenamiento del embalse proyectado en la zona de estudio
Fuente: elaboración propia

Al considerar esta alternativa se logra una reducción a 30,92 % del IUA Muy Alto con respecto al escenario inicial que es del 54,60 %. En este caso la presión hídrica que ejercería la demanda estaría en categoría Muy Alta el 30,92 % de los meses, en Alto 44,57 %, en Medio 24,23 % y 0,28 % en Bajo (Figura 5-27), por lo que se observa un cambio favorable que puede ayudar a mejorar las condiciones ambientales de la cuenca. Adicionalmente, con esta alternativa se logra abastecimiento total todos los meses, como se observa en la Figura 5-27, ya que el IUA siempre está por debajo de 100.

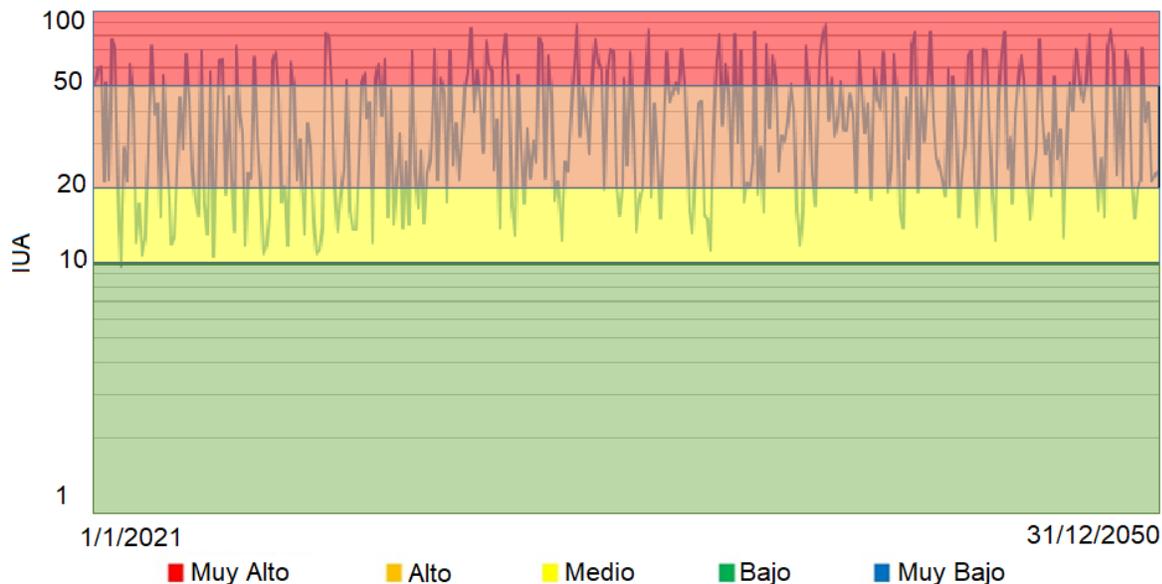


Figura 5-27 Distribución del IUA para la alternativa 4 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

5.3.5 Alternativa 5 almacenamiento de agua y reducción de la dotación

En esta alternativa consiste en la actuación de manera combinada del embalse más la disminución de la dotación del acueducto La Reforma, al unir estas dos alternativas y aplicarlas de forma simultánea, se necesitaría un embalse que tenga una capacidad de almacenamiento máxima de 4 Mm³, de manera que, sería una estructura más pequeña y cubriría el total de la demanda requerida (ver Figura 5-28).

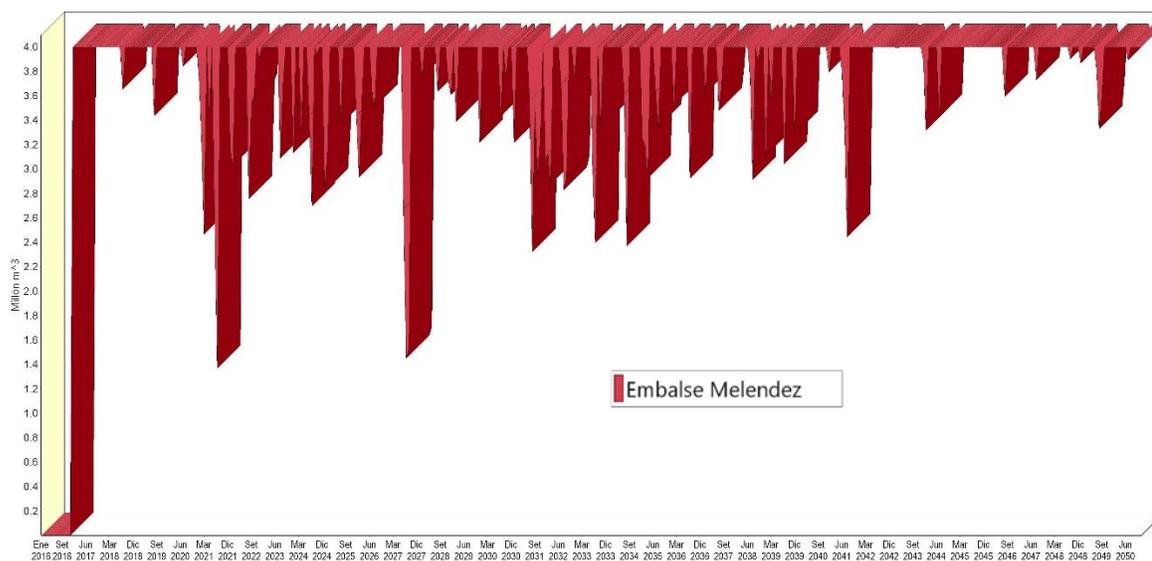


Figura 5-28 Volumen de almacenamiento del embalse para el río Meléndez necesario teniendo en cuenta reducción de pérdidas
Fuente: elaboración propia

Para esta alternativa la presión de la demanda mejora mucho más como se muestra en la Figura 5-29, ya que se tendrían en la categoría Muy Alto el 9,22 % de los meses, Alto 43,58 %, Medio de 33,52 % y Bajo de 13,69 %. Igual que en el caso anterior, se lograría abastecimiento total todos los meses.

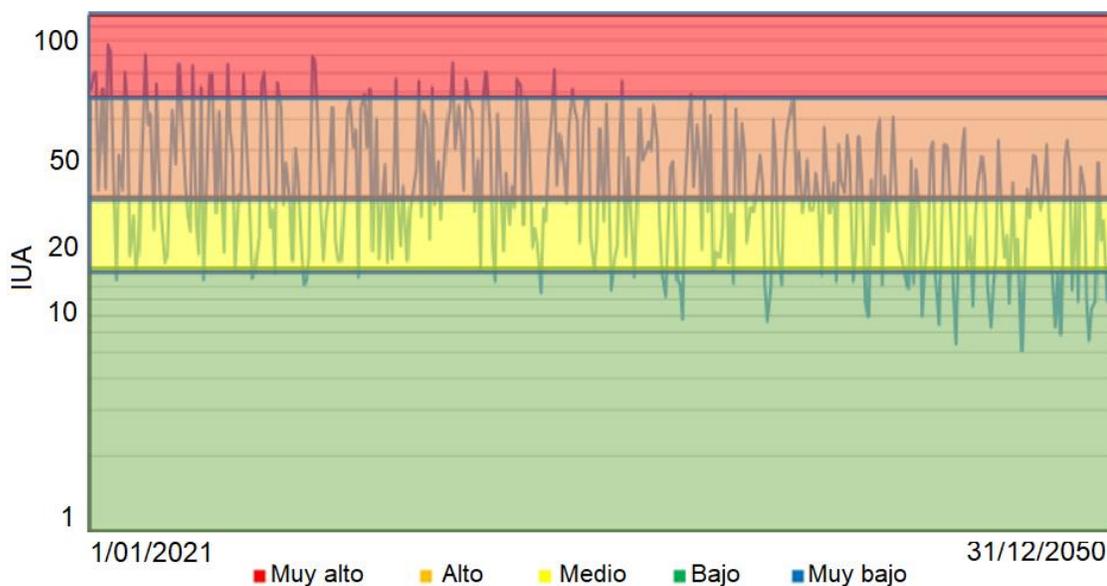


Figura 5-29 Distribución de IUA para la alternativa 5 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

5.3.6 Alternativa 6 almacenamiento de agua y reubicación población vulnerable

Para el escenario reubicación población vulnerable y contando con la construcción del embalse, para la retención de agua, la capacidad de almacenamiento requerida sería de 4 Mm³ como en el caso anterior (Figura 5-28). Para esta alternativa la presión de la demanda es muy similar a los resultados de la alternativa 5 como se muestra en la Figura 5-30, ya el 9,80 % de los meses estaría en categoría Muy Alta, Alto 45,94 % y Medio de 36,41 %. De los 360 meses, el 100 % del periodo se logra abastecer de agua todos los acueductos incluido La Reforma.

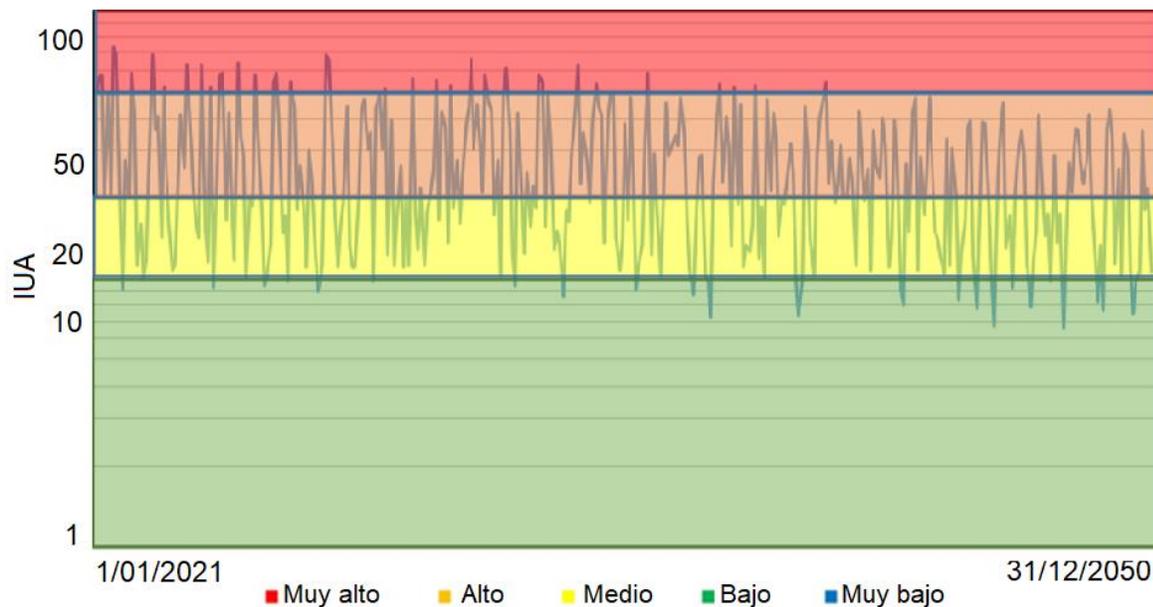


Figura 5-30 Distribución de IUA para la alternativa 6 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

5.3.7 Alternativa 7 almacenamiento de agua + reducción de la dotación y reubicación población vulnerable

Por último, el escenario combinado de reducción de la dotación, reubicación de la población vulnerable y el embalse (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1) logran también un abastecimiento total de la demanda hídrica. Para esta alternativa la presión de la demanda disminuye aún más, ya que la categoría Muy Alto sería de 4.79 % de los meses, Alto 28,17 %, Medio de 35,49 % y Bajo de 31,55 %.

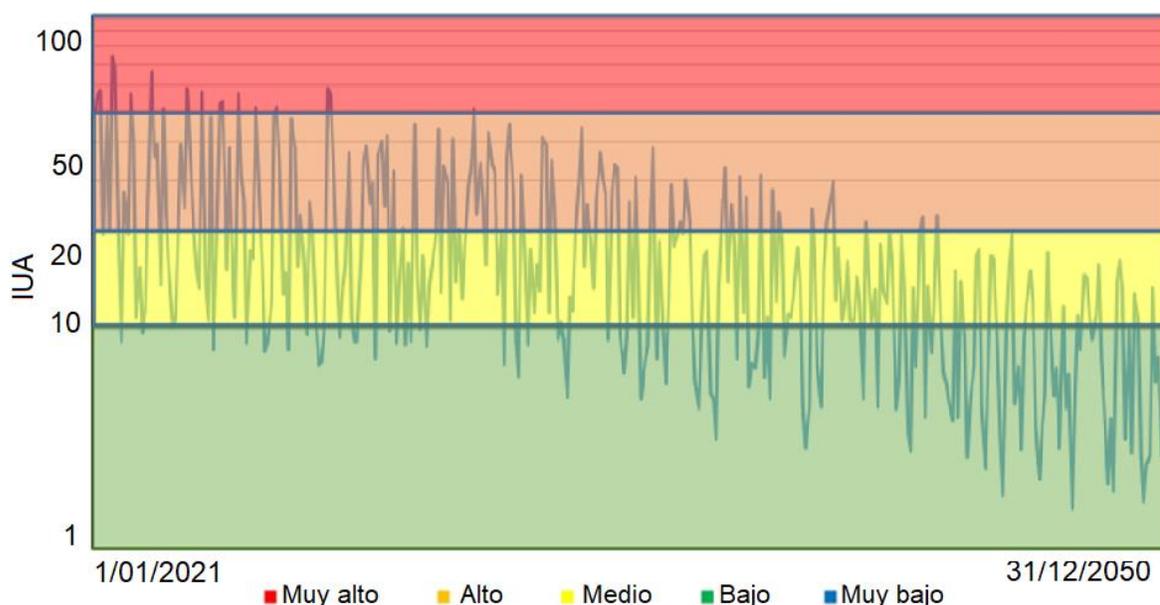


Figura 5-31 Distribución de IUA para la alternativa 7 para el periodo proyectado
Fuente: elaboración propia

En resumen, se logra un abastecimiento total con varias de las alternativas propuestas (de la alternativa 4 a la 7), las alternativas de reducción en la dotación y la reubicación de población generan el mismo impacto aproximadamente si se utilizan de manera separada. De todas las alternativas el almacenamiento de agua es la que genera los mayores impactos, como se observa en la Tabla 5-6. Teniendo en cuenta que las reubicaciones poblacionales son complejas, la alternativa que se considera más viable es la alternativa 5 ya que se logra el abastecimiento total, y una reducción considerable de la presión hídrica en el nivel Muy Alto (~9 % en ambos casos).

Tabla 5-5 Comparación de las 7 alternativas propuestas para optimización de la demanda.

Fuente: elaboración propia

| No. | Alternativa | Muy alto | Alto | Moderado | Bajo | Desabas. |
|-----|--|----------|-------|----------|-------|----------|
| | Sin intervenir el sistema | 54,60 | 42,69 | 2,79 | 0,00 | 30,83 |
| 1 | Reducción dotación | 38,39 | 39,22 | 21,29 | 0,00 | 20,83 |
| 2 | Reubicación población | 40,95 | 39,00 | 20,06 | 0,00 | 21,11 |
| 3 | Reducción dotación y reubicación población | 28,69 | 33,70 | 27,58 | 10,03 | 13,61 |
| 4 | Embalse | 30,92 | 43,58 | 24,23 | 0,28 | 0,00 |
| 5 | Embalse y reducción dotación | 9,22 | 43,58 | 33,52 | 13,69 | 0,00 |
| 6 | Embalse + reubicación población | 9,80 | 45,94 | 36,41 | 7,84 | 0,00 |
| 7 | Embalse + reducción dotación + reubicación población | 4,79 | 28,17 | 35,49 | 31,55 | 0,00 |

En la Figura 5-32 se presenta de manera promedio multianual, para el periodo proyectado de 2021 a 2050, los meses en los que la demanda no es cubierta. Se observa que, en el escenario de referencia que consisten en continuar según la situación actual, esta falta de cobertura se presenta en enero, febrero, julio, agosto, septiembre y octubre. Las alternativas de reducción de la dotación (1), reubicación de la población (2) y su combinación (3) disminuyen la presión sobre el recurso hídrico, pero se continuaría con problemas de abastecimiento los meses de julio y agosto y en algunos casos en octubre también. Por otra parte, con la construcción del embalse (alternativa 5) se lograría obtener cobertura total, es decir no se tendrían demandas no cubiertas, y al combinarlo con las otras opciones, es decir, más reducción de la dotación (6), más reubicación (7) se logra no sólo cobertura total sino una reducción considerable en la presión hídrica.

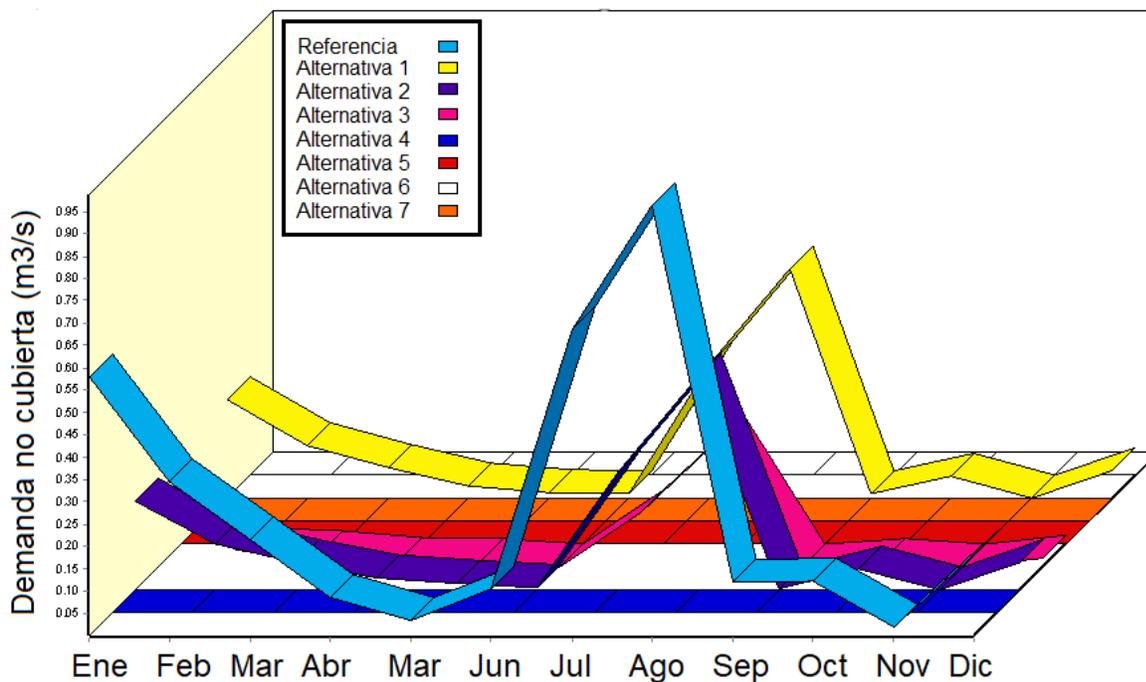


Figura 5-32 Demanda no cubierta promedio mensual multianual

Fuente: elaboración propia

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el primer objetivo se propuso simular la oferta hídrica actual y futura, para lo cual se utilizó el modelo WEAP logrando resultados apropiados en la calibración y validación del modelo. Con la información ingresada se logró obtener un índice de Nash de 0.5, PBIAS de 6.51 y RSME de 0.70 lo que es satisfactorio para Nash y el Error Cuadrático Medio y Muy bueno para el Sesgo. En la validación se obtuvieron valores de 0.52, 0.69 y 18.61 respectivamente, lo que se considera satisfactorio en los tres casos. Con el modelo calibrado y validado, se pudo evaluar las condiciones de flujo en el río tanto actuales como futuras.

Se observa que la oferta hídrica del río presenta un régimen bimodal con niveles bastante bajos en los meses de julio a septiembre. En base a lo indicado por el IDEAM se realizaron proyecciones de la oferta hídrica futura, y se estiman condiciones similares. También es importante anotar que las condiciones son bastante variables a lo largo del río.

Como segundo objetivo se planteó realizar un balance hídrico oferta – demanda en las condiciones actuales. Para cumplir con dicho objetivo se realizó una revisión detallada de la demanda, encontrando que la cuenca ha tenido un crecimiento muy pronunciado en el uso urbano durante los últimos años, y que además ha sido muy desordenado con lo que se han implementado bocatomas sin o con poca planeación, y se encuentra gran cantidad de bocatomas ilegales. Esta situación se presenta básicamente en la parte baja de la cuenca. Como consecuencia de ello las demandas de agua se han incrementado notablemente y actualmente el nodo denominado La Reforma que incluye dicha bocatoma y otras tomas en la parte baja de la cuenca, representan el 99 % de las demandas de la cuenca. Esto implica que las presiones en la parte bajan con muy altas.

En cuanto al balance oferta – demanda, para el escenario de referencia es decir el año 2016 – 2020, se encontró que en los meses de baja escorrentía (julio y agosto) no se logra cumplir con la demanda del nodo denominado La Reforma, es decir de las demandas de la parte baja de la cuenca. Para dicho escenario el Indicador de Uso del Agua, en la zona baja, se mantiene en presión Muy alta casi todos los meses del año, en muchos casos

sobrepasando la oferta disponible. Es decir, se presenta desabastecimiento. Mientras que en los nodos de la parte alta y media si se logra una cobertura total.

El balance oferta demanda futura indica que si las condiciones actuales siguen en aumento como es el crecimiento poblacional lo que incluye las pérdidas tan pronunciadas del sistema de acueducto, la presión de la demanda seguirá siendo considerable a través del tiempo, ocasionando que la presión sea Muy Alta todo el tiempo (la fuente hídrica permanecería más del 50 % del tiempo en estado crítico), e incrementado los periodos de desabastecimiento a otros meses (el 31 % del tiempo se presentaría desabastecimiento).

Por tanto, es imprescindible que las empresas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto implementen un sistema para la reducción de pérdidas, de manera que la empresa solo capte el volumen que realmente requiere para satisfacer las necesidades de los usuarios; de no ser así el agua que se capta innecesariamente estará ocasionando un déficit de agua para los demás usuarios y disminución del caudal ambiental.

Se propuso como primera alternativa realizar la reducción de pérdidas de una forma progresiva durante el periodo proyectado. Con esta alternativa se observa una reducción considerable de la presión de la demanda a la fuente hídrica logrando disminuir el IUA, en comparación con el valor actual, pasando de 65 % a 38.99 %, en categoría Muy Alta. Otro cambio favorable es el aumento de la categoría Alto de estar en 35 % a 38.39 %, esta diferencia beneficia de manera considerable las condiciones ambientales de la cuenca, mejorando su hábitat (flora y fauna).

La alternativa 2 consiste en la reubicación de la población en la cuenca, lo que ayudaría a bajar la demanda hídrica de la zona y con lo que se obtendría un comportamiento muy parecido al escenario de reducción de pérdidas. El IUA de categoría Muy Alta sería de 40.95 %, lo que aumenta un 3,9 % con respecto a la alternativa de disminución de pérdidas, este mismo porcentaje de 3,9% es la diferencia que hay entre la categoría Alta para estos dos escenarios.

La alternativa 3 consiste en implementar los dos escenarios de reducción de pérdidas y reubicación de población de manera conjunta. Con esta alternativa se obtiene un descenso notable con respecto a las condiciones iniciales de la cuenca, el IUA de categoría Muy Alta para este ambiente sería de 28.69 %, bajándose en un 25.91 %, con respecto al IUA inicial.

Otro cambio es que la categoría Alto sería de 33.70, ayudando a disminuir la presión de la demanda a la fuente hídrica. También se observa en la categoría Medio con un 27.58 %.

La alternativa 4 consiste en la construcción de un embalse para almacenamiento de agua en la zona media de la cuenca, aprovechando la precipitación que se presenta en el área, lo que ayudaría a regular tanto la oferta como la demanda en tiempos de sequía. Esta propuesta mejora considerablemente la presión sobre el recurso hídrico, cubriendo en un 100 % la demanda y el caudal ambiental de la cuenca. Sin embargo, con el embalse se tendrían valores de IUA en la categoría Muy Alta aún altos (30.92 % lo que es mayor que la alternativa anterior).

La alternativa 5 propuesta es la combinación del embalse con la reducción de la dotación, mientras que la 6 sería el embalse con la reubicación poblacional. Ambas alternativas dan resultados muy similares, con un mejor comportamiento la combinación embalse y reducción de la dotación. En ambos casos se lograría la cobertura del 100 %.

Por último, se revisó la opción de combinar el embalse con la reducción de la dotación y la reubicación de la población. Esta logra los mejores resultados, pero a un costo bastante elevado. De manera, que se concluye que la alternativa más viable podría ser la 5 ya que los costos de reubicar a la población son altos y desde el punto de vista político es una alternativa compleja. Sin embargo, es notorio el hecho de que, al estar pobremente asentados, esta comunidad está más expuesta al desabastecimiento futuro. Por tanto, es importante tener en cuenta también esta alternativa.

6.2 Recomendaciones

Se hace necesario que las entidades competentes (CVC, DAGMA, PNN y el Ministerio del Medio Ambiente) en el área de estudio estén trabajando para la solución sobre la presión que hace la demanda hídrica en la cuenca y que es causante en gran parte del desabastecimiento de agua para consumo humano.

Es necesario que los diferentes organismos y comunidad en general, que hacen parte de la toma de decisiones en la cuenca, comiencen a implementar un plan de acción a corto y largo plazo, para la mitigación de la presión de la demanda que se ejerce sobre la fuente

hídrica, porque es una señal clara de que se va a ver afectado el caudal del río aguas abajo ocasionando un desbalance en el hábitat natural de este ecosistema.

Es realmente necesario que estos asentamientos humanos tanto formales como informales, cuenten con un mejoramiento de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, con el propósito de que las conexiones estén correctamente contabilizadas y en condiciones óptimas, con el fin de reducir de una forma eficiente y eficaz las pérdidas del sistema. Como es necesaria la reducción de pérdidas de agua en el sistema de acueductos, para bajar la presión de la demanda en la fuente hídrica, será muy importante conocer los sectores que generan mayores pérdidas, con el fin de ser intervenidos de forma simultánea para resolver el problema de disminución de caudal en la cuenca.

Al realizar la reubicación de las viviendas por estar en zona de alto riesgo se logra recuperar el área para ser usada para diferentes actividades como plantación de bosques comerciales o agroforestales, plantación de bosques protectores, etc., este cambio ayudará a mejorar las condiciones hidroclimáticas de la zona y dar mayor estabilidad al recurso hídrico.

Se podrían implementar estrategias para que los usuarios recojan aguas lluvias, para diferentes usos de las viviendas y así se disminuya el consumo del agua captada en el río, ya que esta solución estaría contribuyendo a que la demanda hídrica siga bajando y por ende la presión.

Por último, se recomienda que haya un control más estricto de los entes encargados de la vigilancia del recurso hídrico, para evitar el crecimiento poblacional concentrado en la zona, porque esto agudizaría más el desbalance hídrico de la cuenca.

7 Bibliografía

- Aguirre, A., & Bikuña, B. G. De. (2011). Conceptos básicos para la aplicación del caudal ecológico en los ríos Ibéricos. *Una Cita Europea Con La Nueva Cultural Del Agua : La Directiva Marco : Perspectivas En Portugal y España : II Congreso Ibérico Sobre Planificación y Gestión de Aguas*, 105–116.
- AIE (Agencia Internacional de Energía). (2016). *Water Energy Nexus: Excerpt from the World Energy Outlook 2016*. París, IEA Publications. www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExcerptWaterEnergyNexus.pdf.
- Alcaldía Cali. (2018). Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali. In *Municipio de Santiago de Cali: Departamento Administrativo de planeacion Municipal*.
- AQUASTAT. (n.d.). *AQUASTAT website. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm (accedido el 24 de mayo de 2018).
- Belitskaya, V. D. (2010). Variabilidad climática y sus efectos sobre las cuencas de México. *Las Cuencas Hidrográficas de México*, 28–31.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., & Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y Wiberg, D. (2016). *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. IIASA Documento de trabajo. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). pure.iiasa.ac.at/13008/.
- Centro de Cambio Global. (2009). *Guía Metodológica. Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Universidad Católica de Chile. http://weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. In *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- CIAT. (2015). *Portafolio de Estrategias para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático*. 193.
- CVC. (2007). *Balance oferta - demanda de agua superficial río Meléndez*. 1–12.
- CVC. (2016). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca*. 15(2), 1–23.
- CVC. (2019a). *Cauce natural del río Meléndez. Documento síntesis Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca*. 110.
- CVC. (2019b). *Elaboración del plan de ordenación y manejo de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo* (Issue Cvc).
- CVC. (2019c). *Elaboración del plan de ordenación y manejo de los ríos Meléndez*.
- CVC. (2021). *Concesiones Agua Río Meléndez*. 11.

- Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (1990). *Screening of Hydrological Data: Tests for Stationarity and Relative Consistency*.
- EAAB. (2008). *Guía Conceptual Sobre La Ptar Salitre I*. 1–28.
- EMCALI. (2011). *Informe ejecutivo de gestión*. 26, 1–33.
- Guzmán-Arias, I., & Calvo-Alvarado, J. (2012). Planning Water Resources in Latin America and the Caribbean. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 16–30.
- Hudson, N. (1995). *SOIL CONSERVATION* (Fully rev.). Ames : Iowa State University Press, 1995.
- IDEAM. (2018a). *Protocolo de Modelacion Hidrológica e Hidráulica*.
- IDEAM. (2018b). *Validación de la fórmulas de evapotranspiración de referencia (ETo) para Colombia*. 1–47.
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018 (ENA 2018). In 2019.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo : Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Minambiente, & IDEAM. (2016). *Guía metodológica para la estimación del Caudal Ambiental*.
- Molnar, P. (2011). Calibration. Watershed Modelling. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland. *Watershed Modelling*.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885–900.
- Naciones Unidas. (1972). *Water Resources Project Planning. Water Resources Series No. 41. The United Nations, New York*.
- Pascual, J. D. M. (2016). Guía Práctica sobre la Modelización Hidrológica y el Modelo HEC-HMS. *Parque Científico Tecnológico de La Universidad de Alcalá*, 29(4), 143–156.
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for life: managing water for people and nature*. Island Press.
- Purkey, D. R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M. W., Dale, L. L., Yates, D., & Dracup, J. A. (2007). Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: A case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*, 87(1 SUPPL). <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9375-8>
- SEI, U. S. C. (2015). Water Evaluation And Planning System. *Weap, August*, 1–202.

-
- Singh, V. P., Il Won Seo, & Jung H. Sonu. (1999). *Water Resources Planning and Management*.
- UNESCO. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua*.
- Villegas, J. A., & Torres, B. E. (1977). Evapotranspiracion. *Serie Didactica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucuman*, 45.
- Weiss, A. O., & Beard, L. R. (1971). A multi-basin planning strategy. *Water Resources Bulletin*, 7(4), 750–764.
- WWAP. (2016). (*Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos*) *Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos 2016: Agua y Empleo. París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf*.
- Yates, D, Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., Galbraith, H., West, J., & Herrod-Julius, S. (2007). A physically-based, water resource planning model of the Sacramento Basin, California USA. *ASCE J.of Water Res.Management*.
- Yates, David, Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. A. (2005). WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International*, 30(4), 487–500.
- Zambrano Nájera, J. editora académica (Ed.). (2023). *Definición de los indicadores de la línea base ambiental de Caldas / Hábitat, 2019-2021 / . -- Segunda edición. -- Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura; Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas)*.

8 Anexos

8.1 Anexo

Tabla 8-1 Unidades geológicas superficiales de la cuenca

| UNIDAD | | DESCRIPCIÓN |
|--------------------|----------------------------------|--|
| Unidad de roca (R) | Unidad de Roca Ígnea (Rv) | Corresponde a la Formación Volcánica y al Stock de Villacarmelo Y está compuesta por diabasas y microgabros con intercalaciones menores de lavas almohadilladas, de color verde grisáceo en estado fresco, a pardo oscuro cuando están meteorizadas. La textura es fina a media, observándose en muestras de mano, minerales tales como feldespatos, olivino, piroxenos, anfíboles y biotita. Localmente se aprecian estructuras columnares, con fracturas rellenas por venas de cuarzo, calcita y epidota. En los afloramientos naturales se encontraron varias familias de diaclasas en una textura foliada, donde la roca se encuentra poco meteorizada, así como meteorización esferoidea, la cual le imprime características particulares al saprolito generado, como es la conservación de núcleos de roca, de orden decimétrico a métrico, que pueden interpretarse erróneamente, en algunas ocasiones, como depósitos coluviales. Este saprolito sobre la roca natural genera una capa de entre uno y dos metros de espesor sobre la que se desarrollan los suelos que sostienen la cobertura vegetal. Su condición de mediano fracturamiento y dureza la hacen una unidad relativamente estable en condiciones naturales. |
| | Unidad de roca sedimentaria (Rs) | Incluye las rocas sedimentarias de la Formación Ampudia, Chimborazo, y Guachinte; las dos primeras afloran en la parte alta de la cuenca en una franja con contactos fallados, en dirección al noreste. La Formación Ampudia presenta una intercalación predominantemente sedimentaria de cherts, lodolitas silíceas, areniscas y localmente lodolitas arcillosas fisibles con horizontes esporádicos de brechas sedimentarias; la Formación Chimborazo está compuesta por sedimentarias de origen marino. En lo que corresponde a la Formación Guachinte, la cual hace parte de esta unidad de roca sedimentaria, se ubica en la parte media de la cuenca, formando unos cerros aislados compuestos por consistentes intercalaciones de areniscas amarillas y pardo-rojizas, de grano fino a grueso, limolitas y arcillolitas rosadas, areniscas conglomeráticas, conglomerados y algunos niveles de carbón. A pesar de las diferencias litológicas y cronoestratigráficas, estas unidades se clasificaron superficialmente como Unidad de Roca Sedimentaria aflorando en la vereda La |

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| | | <p>Candelaria del Corregimiento de Villa Carmelo y se le asignó un perfil de meteorización II B a III, describiendo una roca moderadamente meteorizada. Estas formaciones sedimentarias, presentan poca evidencia de inestabilidad y su cobertura es principalmente boscosa. Las pendientes son altas y los procesos morfodinámicos están asociados a la remoción de una capa de suelo superficial de hasta 3 m de espesor, son formaciones con materiales resistentes y de consistencia dura.</p> |
| Unidad de material intermedio (I) | Material intermedio volcánico (Iv) | <p>Es una unidad superficial derivada de la Formación Volcánica aflorante en la parte alta de la cuenca. En las veredas La Buitrera del mismo corregimiento y en los corregimientos Los Andes y Villa Carmelo, se caracteriza por estar fracturado y con alta meteorización presentando un perfil Tipo I-B, I-C – IIA, con espesores entre 1.5 y 3 m. Aunque se evidencian algunos procesos de remoción en masa, se trata de un material relativamente estable, con baja densidad de procesos tales como desprendimientos en cuña, caída de bloques y flujos de detritos; es fuente de materiales para construcción y su espesor promedio es de 10 m.</p> |
| | Material intermedio sedimentario (Is) | <p>Se presenta como un material derivado de la Formación Guachinte y la Formación Chimborazo. Presenta color amarillo y crema, intensamente fracturado, con meteorización moderada a alta. Presentan alta susceptibilidad a los fenómenos de erosión laminar y por escurrimiento concentrado, asociado principalmente a las zonas donde los paquetes de arcillolitas son más espesos o frecuentes. En el sector de la vereda La Riverita del Corregimiento La Buitrera, se puede apreciar una alta densidad de procesos erosivos y de remoción, especialmente sobre los horizontes de tipo I-B. En los otros sectores se puede apreciar cómo la meteorización de la formación Guachinte refleja este tipo de material intermedio, asociado a procesos de remoción por cortes en la vía.</p> |
| Unidad de suelo residual (S) | Suelo residual de la formación volcánica (Sfv) | <p>Esta unidad aflora en la parte media de la cuenca entre los corregimientos La Buitrera, Villa Carmelo y Los Andes, entre la unidad de roca de la parte alta de la cuenca y las formaciones de roca sedimentaria del piedemonte. La mayoría de afloramientos de este tipo de suelo se encuentran por cortes en vías o construcción de viviendas y por procesos de remoción en masa; se trata de la unidad con mayor presencia de procesos erosivos y de remoción con varios niveles diferenciados.</p> |

| | |
|---|---|
| <p>Unidad de suelo transportado</p> | <p>Suelos Fluvio-torrenciales (Sft): Esta unidad de suelo transportado se aprecia en el corregimiento la Buitrera, donde se asienta la comuna 18, hacia el sur de Santiago de Cali, entre los barrios Alto Nápoles y Polvorines. Esta unidad incluye los depósitos de la Formación Jamundí y genéticamente son de origen fluviotorrencial.</p> <p>Suelos Fluvio-arcillosos (Sfa): Esta unidad incluye los depósitos de la Formación Jamundí, genéticamente de origen fluvial de baja energía, compuestos por niveles horizontales a sub- horizontales de limos arenosos y arcilla laterítica de color rojo, con esporádicos niveles de flujos torrenciales intercalados, de poco espesor. Se aprecian, además, niveles de arcillas grises, compactas, pero frágiles y con tendencia a la partición, tal como se observa en el barrio Ciudad Jardín, donde se observan taludes de hasta 10 m de altura. En general estos materiales son ligeramente compactos y presentan buena estabilidad en laderas de pendientes suaves. Desarrollan una morfología similar a la de los abanicos aluviales, aunque tienen una disección más profunda.</p> <p>Suelos Coluviales (Sco): Estos depósitos están asociados principalmente a los procesos de remoción en masa y se definen como masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento. Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz-soportados según su origen. Se encuentra asociada a las formaciones Guachinte y Volcánica principalmente. También se cartografiaron algunos depósitos coluviales asociados con la unidad de roca de la Formación Volcánica. Los Suelos Coluviales son comunes en todas las unidades rocosas y son el producto de fenómenos de remoción en masa por lo cual se consideran inestables.</p> <p>Suelos Aluviales Recientes (Sal): Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias. Se incluyen en esta unidad todos los materiales de la planicie aluvial del río Cauca, junto con los abanicos aluviales que la recubren hacia su extremo occidental, siendo el mayor aporte las rocas diafásicas de la Formación Volcánica.</p> |
| <p>Unidad de suelos antrópicos (Sa)</p> | <p>Escombros de Construcción (Sac): Corresponde a materiales sin cohesión alguna, conformados por residuos tales como ladrillos, concreto, asfaltos, madera, etc., resultantes de la demolición de estructuras civiles, que de forma caótica se acumulan en algunos sectores de la ciudad, tanto en la zona de ladera como en la zona plana.</p> |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>Dentro de esta unidad se incluye el botadero de basura de Navarro, conformado por una mezcla de materiales de construcción y basuras orgánicas.</p> <p>Estériles de Minería (Sam): Son los materiales producto de las excavaciones subterráneas que se realizan para la explotación del carbón. Están conformados por fragmentos angulares de tamaños centimétricos a métricos, los cuales se encuentran cubriendo localmente roca sedimentaria.</p> |
|--|--|---|

8.2 Anexo

Tabla 8-2 Caracterización de los tipos de suelos de la cuenca río Meléndez.

| FORMA DEL TERRENO | MATERIAL PARENTAL | CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS | UCS Y COMPONENTES TAXONÓMICOS |
|--------------------------|--|---|--|
| Cima y ladera | Materiales orgánicos sobre rocas ígneas (basaltos, diabasas) | Profundos, bien drenados, extremadamente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Typic Udifolists, dísica, isomésica Afloramientos rocosos |
| Cima y ladera | Ceniza volcánica sobre rocas ígneas máficas (diabasas, gabros) | Profundos, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad muy baja | Consociación Acrudoxic Hapludands, esquelética-medial, isomésica Typic Dystrudepts, fina, isomésica |
| Cima y ladera | Rocas ígneas máficas (diabasas, gabros) cubiertas parcialmente con ceniza volcánica. | Profundos, texturas moderadamente finas, muy fuertemente ácidos, bien drenados | Consociación Andic Dystrudepts, fina, isomésica Typic Humudepts, franca fina, isomésica |
| Cima y ladera | Ceniza volcánica sobre rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas) | Profundos, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Hydric Hapludands, medial, isomésica Typic Fulvudands, esquelética-medial, isomésica Typic Dystrudepts, fina, isomésica |
| Cima y ladera | Rocas ígneas máficas (diabasas, gabros) | Superficiales, limitados por altos contenidos de arcillas, bien drenados, texturas muy finas, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Dystrudepts, muy fina, activa, isotérmica Andic Humudepts, esquelética-arcillosa, isotérmica |

| | | | |
|--------------------|--|---|---|
| Cima y ladera | Rocas volcánicas sedimentarias | Profundos bien drenados, texturas, finas, fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Oxic Dystrudepts, fina, semiactiva, isotérmica Oxic Dystrudepts, esquelética-arcillosa, activa, isotérmica Typic Hapludands, medial, isotérmica |
| Vega | Depósitos aluvio-coluviales mixtos | Superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad moderada a baja | Complejo Typic Udorthents, esquelética-franca sobre fragmental, superactiva, isotérmica Fluventic Humudepts, esquelética-franca, superactiva, isotérmica |
| Cima y ladera | Rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas) con ceniza volcánica en sectores | Profundos, bien drenados, texturas finas, fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Typic Dystrudepts, fina, activa, isotérmica Typic Melanudands, medial, isotérmica Andic Humudepts, fina, isotérmica Typic Udorthents, fragmental, isotérmica |
| Cima y ladera | Rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas) | Profundos, bien drenados, texturas finas, muy fuertemente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Typic Humudepts, fina, activa, isotérmica Typic Dystrudepts, fina, isotérmica Andic Humudepts, fina, isotérmica Typic Hapludans, medial, isotérmica |
| Ladera estructural | Rocas sedimentarias (arcillolitas) | Profundos, bien drenados, fuerte a muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Dystrudepts, fina, subactiva, isotérmica Typic Dystrudepts, esquelética-arcillosa, isotérmica Acrudoxic Hapludands, medial, isotérmica |
| Ladera erosional | Rocas sedimentarias (arcillolitas) | Profundos, bien drenados, texturas finas, extremada a muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Humudepts, fina, activa, isotérmica Typic Humudepts, franca fina sobre fragmental, isotérmica |
| Plano inclinado | Depósitos coluvión-aluviales finos | Profundos, bien drenados, texturas finas, muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad baja | Consociación Fluventic Humudepts, fina, semiactiva, isotérmica |

| | | | |
|------------------|--|--|---|
| Vega | Depósitos aluvión-coluviales mixtos | Muy superficiales a moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, extremada a ligeramente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Udifluvents, esquelética-arenosa, isotérmica |
| Vega | Depósitos aluvión-coluviales mixtos | Profundos y moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien a imperfectamente drenados, texturas finas a moderadas, fuertemente ácidos a moderadamente alcalinos, fertilidad moderada a alta | Complejo Fluventic Humudepts, fina, semiactiva, isotérmica Aquic Dystrudepts, fina, subactiva, isotérmica Typic Hapludolls, esquelética-franca sobre fragmental, activa, isotérmica |
| Ladera | Rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas) | Muy superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, neutros, fertilidad baja | Consociación Entic Haplustolls, fragmental, isotérmica Typic Ustorthents, fragmental, isotérmica Typic Haplustolls, fina, isotérmica Afloramiento rocosos |
| Ladera erosional | Rocas sedimentarias (arcillolitas) | Muy superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, fertilidad baja | Consociación Entic Haplustolls, fragmental, isotérmica Typic Ustorthents, esquelética-arcillosa, isotérmica |
| Cima y ladera | Depósitos heterométricos finos | Profundos, bien drenados, texturas finas, extremada a muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Humudepts, fina, activa, isotérmica Typic Dystrudepts, esquelética-arcillosa, isotérmica |
| Vega | Depósitos aluvión-coluviales moderadamente finos | Profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada isotérmica | Consociación Typic Hapludolls, franca fina, superactiva, isotérmica Typic Dystrudepts, franca fina, |
| Vega | Depósitos aluvión-coluviales mixtos | Moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja | Consociación Typic Humudepts, esquelética-franca sobre fragmental, semiactiva, isotérmica Typic Humudepts, franca fina, isotérmica |

| | | | |
|--------------------|---|--|--|
| Ápice | Depósitos aluvión-coluviales heterométricos | Superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad baja | Consociación Entic Haplustolls, franca fina sobre fragmental, isohipertérmica |
| Cuerpo | Depósitos aluvión-coluviales finos | Moderadamente profundos, limitados por nivel freático, texturas finas, muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Chromic Udic Haplusters, fina, isohipertérmica |
| Cuerpo | Depósitos aluvión-coluviales finos | Moderadamente profundos, limitados por nivel freático, texturas finas, moderadamente ácidos, fertilidad moderada, drenados artificialmente | Consociación Udertic Haplustolls, fina, isohipertérmica |
| Cuerpo | Depósitos aluvio-coluviales moderadamente finos | Profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Typic Haplustolls, franca fina, isohipertérmica |
| Base | Depósitos aluvio-coluviales muy finos | Superficiales, limitados por nivel freático, texturas muy finas, fuertemente ácidos, fertilidad moderada, drenados artificialmente | Consociación Aquertic Haplustalfs, muy fina, isohipertérmica |
| Vega | Depósitos aluvio-coluviales gruesos | Profundos, texturas gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad moderada | Consociación Typic Ustifluvents, franco gruesa, isohipertérmica |
| Albardón | Depósitos aluviales moderadamente finos y gruesos | Profundos a moderadamente profundos, limitados por nivel freático, bien a imperfectamente drenados, texturas moderadamente finas, neutros, fertilidad alta | Complejo Fluventic Haplustepts, franca fina sobre arenosa, aniso, isohipertérmica Fluventic Haplustolls, franca fina, isohipertérmica |
| Meandro abandonado | Depósitos aluviales mixtos | Muy superficiales, limitados por nivel freático, texturas finas a moderadamente finas, | Consociación Aeríc Fluvaquents, arcillosa sobre franca, isohipertérmica |

| | | | |
|--------------------|---------------------------|--|---|
| | | moderadamente ácidos, fertilidad moderada | |
| Cubeta de desborde | Depósitos aluviales finos | Muy superficiales, limitados por nivel freático, moderadamente ácidos, fertilidad alta, drenados artificialmente | Consociación Vertic Endoaquepts, fina, no ácida, isohipetérmica |

8.3 Anexo

Tabla 8-3 IUA % de las tres captaciones de agua del río Meléndez

| Índice Uso de Agua IUA Zona Alta | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| 2016 | 1,93 | 2,49 | 1,66 | 0,97 | 1,31 | 1,65 | 3,57 | 7,57 | 2,10 | 1,95 | 2,38 | 2,06 |
| 2017 | 1,91 | 2,79 | 1,53 | 1,06 | 1,04 | 1,28 | 2,96 | 2,56 | 1,28 | 1,49 | 1,04 | 0,89 |
| 2018 | 1,14 | 1,61 | 1,75 | 1,34 | 1,04 | 2,27 | 3,05 | 5,14 | 4,36 | 2,28 | 1,10 | 2,02 |
| 2019 | 2,60 | 1,46 | 1,71 | 1,15 | 0,76 | 1,37 | 1,95 | 3,43 | 3,06 | 1,49 | 1,61 | 1,02 |
| 2020 | 1,76 | 1,69 | 2,27 | 1,53 | 2,31 | 1,52 | 2,84 | 3,12 | 3,17 | 2,02 | 2,03 | 1,81 |
| Índice Uso de Agua Zona Media La Reforma y Club Campestre | | | | | | | | | | | | |
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| 2016 | 53,68 | 84,96 | 43,72 | 27,28 | 36,19 | 46,25 | 111,22 | 259,27 | 66,84 | 61,55 | 79,06 | 59,35 |
| 2017 | 56,97 | 80,59 | 41,25 | 29,50 | 30,78 | 39,70 | 104,56 | 84,36 | 40,35 | 45,42 | 29,68 | 25,53 |
| 2018 | 36,85 | 52,87 | 52,47 | 36,63 | 31,63 | 75,00 | 92,02 | 173,48 | 141,78 | 71,33 | 31,90 | 59,33 |
| 2019 | 81,92 | 50,23 | 49,21 | 32,12 | 22,75 | 47,26 | 72,38 | 137,37 | 89,77 | 47,58 | 47,19 | 28,97 |
| 2020 | 54,66 | 58,75 | 71,53 | 59,13 | 71,56 | 48,73 | 95,83 | 105,66 | 106,71 | 58,82 | 61,74 | 58,79 |

Tabla 8-4 Caudal ambiental mensual para el periodo 2016 a 2020

| Caudal ambiental Zona Alta | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 0,29 | 0,22 | 0,33 | 0,58 | 0,43 | 0,34 | 0,16 | 0,07 | 0,27 | 0,29 | 0,24 | 0,27 | 0,29 |
| 2017 | 0,30 | 0,20 | 0,36 | 0,53 | 0,55 | 0,44 | 0,19 | 0,22 | 0,44 | 0,38 | 0,54 | 0,64 | 0,40 |
| 2018 | 0,50 | 0,36 | 0,32 | 0,43 | 0,55 | 0,25 | 0,19 | 0,11 | 0,13 | 0,25 | 0,52 | 0,28 | 0,32 |
| 2019 | 0,22 | 0,40 | 0,33 | 0,50 | 0,76 | 0,42 | 0,30 | 0,17 | 0,19 | 0,39 | 0,36 | 0,57 | 0,38 |
| 2020 | 0,33 | 0,34 | 0,25 | 0,38 | 0,25 | 0,39 | 0,21 | 0,19 | 0,19 | 0,29 | 0,29 | 0,32 | 0,29 |
| Promedio | 0,33 | 0,30 | 0,32 | 0,49 | 0,51 | 0,37 | 0,21 | 0,15 | 0,24 | 0,32 | 0,39 | 0,42 | 0,34 |

| Caudal ambiental Zona Media | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 0,48 | 0,29 | 0,57 | 0,94 | 0,71 | 0,55 | 0,23 | 0,10 | 0,38 | 0,42 | 0,32 | 0,43 | 0,45 |
| 2017 | 0,45 | 0,32 | 0,61 | 0,88 | 0,84 | 0,65 | 0,25 | 0,31 | 0,64 | 0,57 | 0,87 | 1,01 | 0,62 |
| 2018 | 0,71 | 0,49 | 0,48 | 0,71 | 0,83 | 0,35 | 0,28 | 0,15 | 0,18 | 0,37 | 0,82 | 0,44 | 0,48 |
| 2019 | 0,32 | 0,53 | 0,52 | 0,82 | 1,16 | 0,56 | 0,37 | 0,19 | 0,29 | 0,56 | 0,56 | 0,91 | 0,57 |
| 2020 | 0,49 | 0,44 | 0,36 | 0,45 | 0,37 | 0,55 | 0,28 | 0,25 | 0,25 | 0,45 | 0,43 | 0,45 | 0,40 |
| Promedio | 0,49 | 0,41 | 0,51 | 0,76 | 0,78 | 0,53 | 0,28 | 0,20 | 0,35 | 0,47 | 0,60 | 0,65 | 0,50 |

| Caudal ambiental Zona Baja | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 0,19 | 0,07 | 0,24 | 0,40 | 0,31 | 0,23 | 0,04 | 0,01 | 0,14 | 0,16 | 0,08 | 0,17 | 0,17 |
| 2017 | 0,17 | 0,09 | 0,29 | 0,43 | 0,42 | 0,27 | 0,05 | 0,07 | 0,28 | 0,23 | 0,40 | 0,47 | 0,26 |
| 2018 | 0,29 | 0,19 | 0,18 | 0,32 | 0,36 | 0,10 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,12 | 0,38 | 0,15 | 0,18 |
| 2019 | 0,08 | 0,20 | 0,19 | 0,40 | 0,54 | 0,21 | 0,10 | 0,01 | 0,08 | 0,22 | 0,20 | 0,40 | 0,22 |
| 2020 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 0,16 | 0,12 | 0,21 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,14 | 0,12 | 0,15 | 0,12 |
| Promedio | 0,18 | 0,14 | 0,20 | 0,34 | 0,35 | 0,20 | 0,06 | 0,03 | 0,11 | 0,17 | 0,24 | 0,27 | 0,19 |

Tabla 8-5 Oferta hídrica disponible de la cuenca periodo 2016 – 2020

| caudal disponible Zona Alta | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 0,83 | 0,62 | 0,93 | 1,65 | 1,22 | 0,97 | 0,45 | 0,21 | 0,76 | 0,82 | 0,67 | 0,77 | 0,82 |
| 2017 | 0,85 | 0,58 | 1,02 | 1,52 | 1,56 | 1,26 | 0,55 | 0,63 | 1,26 | 1,09 | 1,55 | 1,81 | 1,14 |
| 2018 | 1,43 | 1,02 | 0,90 | 1,22 | 1,57 | 0,72 | 0,54 | 0,32 | 0,37 | 0,72 | 1,48 | 0,81 | 0,92 |
| 2019 | 0,64 | 1,13 | 0,93 | 1,44 | 2,17 | 1,21 | 0,85 | 0,48 | 0,54 | 1,11 | 1,03 | 1,62 | 1,09 |
| 2020 | 0,95 | 0,96 | 0,71 | 1,09 | 0,72 | 1,10 | 0,59 | 0,53 | 0,53 | 0,83 | 0,82 | 0,92 | 0,81 |
| Promedio | 0,94 | 0,86 | 0,90 | 1,38 | 1,45 | 1,05 | 0,59 | 0,44 | 0,69 | 0,91 | 1,11 | 1,19 | 0,96 |

| Caudal disponible Zona Media | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 1,22 | 0,75 | 1,45 | 2,41 | 1,82 | 1,42 | 0,59 | 0,25 | 0,98 | 1,07 | 0,83 | 1,11 | 1,16 |
| 2017 | 1,17 | 0,82 | 1,56 | 2,25 | 2,16 | 1,67 | 0,64 | 0,79 | 1,65 | 1,46 | 2,24 | 2,60 | 1,58 |
| 2018 | 1,82 | 1,27 | 1,24 | 1,83 | 2,12 | 0,90 | 0,73 | 0,39 | 0,47 | 0,94 | 2,11 | 1,13 | 1,25 |
| 2019 | 0,83 | 1,35 | 1,34 | 2,11 | 2,99 | 1,44 | 0,94 | 0,49 | 0,76 | 1,43 | 1,44 | 2,35 | 1,46 |
| 2020 | 1,26 | 1,13 | 0,93 | 1,16 | 0,96 | 1,41 | 0,72 | 0,65 | 0,64 | 1,17 | 1,11 | 1,17 | 1,03 |
| Promedio | 1,26 | 1,06 | 1,30 | 1,95 | 2,01 | 1,37 | 0,72 | 0,51 | 0,90 | 1,21 | 1,55 | 1,67 | 1,29 |

| Caudal disponible Zona Baja | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
| 2016 | 1,14 | 0,44 | 1,48 | 2,46 | 1,88 | 1,41 | 0,23 | 0,03 | 0,86 | 0,97 | 0,50 | 1,07 | 1,04 |
| 2017 | 1,06 | 0,57 | 1,79 | 2,62 | 2,57 | 1,67 | 0,28 | 0,44 | 1,70 | 1,41 | 2,46 | 2,89 | 1,62 |
| 2018 | 1,77 | 1,14 | 1,08 | 1,97 | 2,22 | 0,64 | 0,41 | 0,05 | 0,05 | 0,73 | 2,31 | 0,91 | 1,11 |
| 2019 | 0,47 | 1,24 | 1,16 | 2,47 | 3,30 | 1,28 | 0,64 | 0,05 | 0,51 | 1,35 | 1,24 | 2,45 | 1,35 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2020 | 1,05 | 0,90 | 0,65 | 0,99 | 0,73 | 1,27 | 0,36 | 0,25 | 0,21 | 0,84 | 0,76 | 0,91 | 0,74 |
| Promedio | 1,10 | 0,86 | 1,23 | 2,10 | 2,14 | 1,25 | 0,38 | 0,16 | 0,66 | 1,06 | 1,46 | 1,65 | 1,17 |

Tabla 8-6 IUA % de las tres captaciones de agua del río Meléndez

| Índice Uso de Agua IUA Zona Alta | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | |
| 2016 | 1,93 | 2,49 | 1,66 | 0,97 | 1,31 | 1,65 | 3,57 | 7,57 | 2,10 | 1,95 | 2,38 | 2,06 | |
| 2017 | 1,91 | 2,79 | 1,53 | 1,06 | 1,04 | 1,28 | 2,96 | 2,56 | 1,28 | 1,49 | 1,04 | 0,89 | |
| 2018 | 1,14 | 1,61 | 1,75 | 1,34 | 1,04 | 2,27 | 3,05 | 5,14 | 4,36 | 2,28 | 1,10 | 2,02 | |
| 2019 | 2,60 | 1,46 | 1,71 | 1,15 | 0,76 | 1,37 | 1,95 | 3,43 | 3,06 | 1,49 | 1,61 | 1,02 | |
| 2020 | 1,76 | 1,69 | 2,27 | 1,53 | 2,31 | 1,52 | 2,84 | 3,12 | 3,17 | 2,02 | 2,03 | 1,81 | |
| Índice Uso de Agua Zona Media La Reforma y Club Campestre | | | | | | | | | | | | | |
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | |
| 2016 | 53,68 | 84,96 | 43,72 | 27,28 | 36,19 | 46,25 | 111,22 | 259,27 | 66,84 | 61,55 | 79,06 | 59,35 | |
| 2017 | 56,97 | 80,59 | 41,25 | 29,50 | 30,78 | 39,70 | 104,56 | 84,36 | 40,35 | 45,42 | 29,68 | 25,53 | |
| 2018 | 36,85 | 52,87 | 52,47 | 36,63 | 31,63 | 75,00 | 92,02 | 173,48 | 141,78 | 71,33 | 31,90 | 59,33 | |
| 2019 | 81,92 | 50,23 | 49,21 | 32,12 | 22,75 | 47,26 | 72,38 | 137,37 | 89,77 | 47,58 | 47,19 | 28,97 | |
| 2020 | 54,66 | 58,75 | 71,53 | 59,13 | 71,56 | 48,73 | 95,83 | 105,66 | 106,71 | 58,82 | 61,74 | 58,79 | |

Tabla 8-7 Serie de caudal proyectado para el periodo 2021 – 2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,96 | 0,55 | 0,39 | 1,66 | 0,87 | 1,29 | 0,49 | 0,34 | 1,47 | 2,97 | 1,58 | 1,49 | 1,17 |
| 2022 | 0,81 | 0,93 | 2,04 | 2,30 | 3,03 | 2,45 | 1,56 | 0,52 | 0,97 | 0,95 | 1,72 | 1,03 | 1,53 |
| 2023 | 1,20 | 1,74 | 2,41 | 2,83 | 1,81 | 1,22 | 1,28 | 0,61 | 0,93 | 1,07 | 1,63 | 2,15 | 1,57 |
| 2024 | 0,97 | 1,86 | 2,10 | 0,85 | 2,76 | 1,64 | 0,91 | 0,65 | 1,76 | 0,84 | 1,42 | 2,26 | 1,50 |
| 2025 | 0,71 | 1,13 | 1,06 | 2,87 | 1,80 | 1,79 | 0,94 | 1,10 | 1,82 | 2,66 | 2,74 | 2,71 | 1,78 |
| 2026 | 1,11 | 0,83 | 1,23 | 1,77 | 1,76 | 2,63 | 1,02 | 0,78 | 1,58 | 1,41 | 1,68 | 2,08 | 1,49 |
| 2027 | 1,61 | 1,38 | 2,07 | 3,24 | 3,12 | 2,69 | 0,75 | 0,57 | 1,02 | 1,84 | 2,35 | 2,02 | 1,89 |
| 2028 | 1,70 | 1,12 | 2,08 | 2,64 | 2,47 | 2,09 | 1,14 | 0,78 | 0,84 | 1,21 | 2,20 | 1,24 | 1,62 |
| 2029 | 0,94 | 1,11 | 0,75 | 2,38 | 1,22 | 1,90 | 1,73 | 1,42 | 2,33 | 1,68 | 2,23 | 1,23 | 1,58 |
| 2030 | 1,66 | 2,22 | 1,55 | 2,70 | 1,77 | 1,55 | 1,23 | 0,87 | 1,45 | 1,01 | 1,02 | 2,06 | 1,59 |
| 2031 | 0,76 | 1,42 | 1,11 | 1,89 | 1,79 | 0,93 | 0,58 | 0,44 | 0,91 | 0,61 | 0,83 | 1,54 | 1,07 |
| 2032 | 0,62 | 0,69 | 0,50 | 1,74 | 1,39 | 2,52 | 1,18 | 0,70 | 0,77 | 2,27 | 2,88 | 1,29 | 1,38 |
| 2033 | 1,61 | 2,24 | 1,26 | 2,12 | 1,91 | 1,81 | 0,63 | 0,60 | 1,74 | 0,76 | 1,10 | 1,72 | 1,46 |
| 2034 | 2,04 | 2,11 | 2,95 | 2,11 | 2,41 | 1,49 | 0,85 | 0,36 | 1,39 | 1,14 | 1,36 | 1,41 | 1,63 |
| 2035 | 1,00 | 0,43 | 0,76 | 0,87 | 2,10 | 1,30 | 0,79 | 0,65 | 1,65 | 2,16 | 2,28 | 1,33 | 1,28 |
| 2036 | 1,56 | 0,79 | 1,25 | 2,90 | 2,73 | 2,11 | 1,39 | 0,58 | 1,67 | 1,17 | 1,32 | 2,44 | 1,66 |
| 2037 | 1,48 | 0,97 | 0,95 | 1,29 | 0,81 | 0,89 | 0,52 | 0,79 | 1,87 | 2,55 | 2,50 | 2,14 | 1,40 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2038 | 1,25 | 1,48 | 2,28 | 2,68 | 3,58 | 1,99 | 1,01 | 0,70 | 1,32 | 0,70 | 1,02 | 2,02 | 1,67 |
| 2039 | 0,66 | 1,52 | 0,79 | 2,06 | 2,41 | 2,17 | 1,65 | 0,67 | 2,08 | 1,80 | 2,23 | 1,07 | 1,59 |
| 2040 | 1,35 | 0,96 | 1,49 | 2,08 | 2,04 | 1,56 | 1,18 | 0,88 | 1,19 | 2,12 | 3,37 | 3,20 | 1,79 |
| 2041 | 1,22 | 1,25 | 1,68 | 2,51 | 1,49 | 0,77 | 0,51 | 0,35 | 1,26 | 1,39 | 1,54 | 1,23 | 1,27 |
| 2042 | 0,76 | 1,23 | 1,39 | 1,45 | 1,40 | 1,99 | 0,95 | 0,91 | 1,54 | 1,38 | 2,20 | 1,53 | 1,39 |
| 2043 | 0,97 | 1,21 | 1,02 | 0,87 | 1,94 | 1,86 | 1,11 | 0,88 | 2,34 | 3,03 | 1,81 | 1,97 | 1,58 |
| 2044 | 0,92 | 0,43 | 2,21 | 1,19 | 1,73 | 1,47 | 0,70 | 1,29 | 1,49 | 1,95 | 2,46 | 2,30 | 1,51 |
| 2045 | 1,22 | 2,06 | 0,92 | 1,88 | 2,80 | 2,12 | 1,76 | 0,98 | 0,87 | 1,96 | 2,77 | 1,98 | 1,78 |
| 2046 | 0,97 | 0,70 | 1,21 | 2,01 | 3,24 | 1,72 | 1,13 | 0,68 | 1,92 | 1,60 | 2,27 | 1,61 | 1,59 |
| 2047 | 1,32 | 1,01 | 0,93 | 2,19 | 2,92 | 2,41 | 1,95 | 0,93 | 1,49 | 1,92 | 1,86 | 2,35 | 1,77 |
| 2048 | 1,13 | 1,65 | 1,31 | 3,26 | 2,36 | 1,10 | 1,10 | 0,82 | 0,52 | 1,01 | 1,12 | 1,01 | 1,37 |
| 2049 | 0,59 | 1,41 | 2,37 | 2,69 | 2,30 | 2,87 | 1,04 | 0,65 | 0,96 | 2,36 | 1,43 | 2,09 | 1,73 |
| 2050 | 1,14 | 0,87 | 2,09 | 2,74 | 2,61 | 2,36 | 1,04 | 1,41 | 1,52 | 2,13 | 2,12 | 2,24 | 1,86 |
| Promedio | 1,14 | 1,24 | 1,47 | 2,13 | 2,15 | 1,82 | 1,07 | 0,76 | 1,42 | 1,66 | 1,90 | 1,82 | 1,55 |

Tabla 8-8 Caudal ambiental de la zona alta proyectado del río Meléndez 2021-2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,20 | 0,12 | 0,09 | 0,29 | 0,17 | 0,30 | 0,11 | 0,07 | 0,40 | 0,69 | 0,41 | 0,45 | 0,28 |
| 2022 | 0,21 | 0,22 | 0,59 | 0,47 | 0,68 | 0,73 | 0,47 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,45 | 0,17 | 0,38 |
| 2023 | 0,30 | 0,43 | 0,63 | 0,63 | 0,41 | 0,22 | 0,31 | 0,14 | 0,14 | 0,34 | 0,44 | 0,46 | 0,37 |
| 2024 | 0,17 | 0,41 | 0,63 | 0,28 | 0,67 | 0,39 | 0,17 | 0,12 | 0,40 | 0,25 | 0,39 | 0,64 | 0,38 |
| 2025 | 0,24 | 0,28 | 0,34 | 0,63 | 0,47 | 0,42 | 0,18 | 0,28 | 0,36 | 0,69 | 0,79 | 0,57 | 0,44 |
| 2026 | 0,24 | 0,12 | 0,11 | 0,39 | 0,38 | 0,69 | 0,23 | 0,19 | 0,40 | 0,33 | 0,32 | 0,63 | 0,34 |
| 2027 | 0,33 | 0,34 | 0,56 | 0,71 | 0,81 | 0,75 | 0,25 | 0,14 | 0,16 | 0,48 | 0,63 | 0,55 | 0,48 |
| 2028 | 0,44 | 0,27 | 0,53 | 0,71 | 0,77 | 0,48 | 0,25 | 0,18 | 0,28 | 0,23 | 0,65 | 0,29 | 0,42 |
| 2029 | 0,14 | 0,26 | 0,14 | 0,45 | 0,23 | 0,58 | 0,48 | 0,37 | 0,59 | 0,43 | 0,65 | 0,24 | 0,38 |
| 2030 | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 0,56 | 0,49 | 0,45 | 0,37 | 0,15 | 0,41 | 0,24 | 0,19 | 0,37 | 0,39 |
| 2031 | 0,18 | 0,42 | 0,32 | 0,39 | 0,22 | 0,21 | 0,17 | 0,08 | 0,17 | 0,15 | 0,21 | 0,38 | 0,24 |
| 2032 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,42 | 0,34 | 0,64 | 0,24 | 0,10 | 0,17 | 0,54 | 0,64 | 0,29 | 0,31 |
| 2033 | 0,34 | 0,52 | 0,38 | 0,36 | 0,32 | 0,38 | 0,17 | 0,09 | 0,46 | 0,20 | 0,18 | 0,49 | 0,32 |
| 2034 | 0,45 | 0,54 | 0,70 | 0,47 | 0,37 | 0,26 | 0,19 | 0,10 | 0,26 | 0,17 | 0,21 | 0,27 | 0,33 |
| 2035 | 0,15 | 0,10 | 0,08 | 0,12 | 0,46 | 0,19 | 0,09 | 0,07 | 0,46 | 0,60 | 0,47 | 0,24 | 0,25 |
| 2036 | 0,42 | 0,20 | 0,31 | 0,59 | 0,56 | 0,56 | 0,30 | 0,14 | 0,54 | 0,35 | 0,42 | 0,59 | 0,42 |
| 2037 | 0,48 | 0,23 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,22 | 0,13 | 0,17 | 0,42 | 0,58 | 0,80 | 0,47 | 0,35 |
| 2038 | 0,35 | 0,27 | 0,58 | 0,69 | 0,87 | 0,52 | 0,25 | 0,13 | 0,26 | 0,16 | 0,20 | 0,48 | 0,40 |
| 2039 | 0,18 | 0,38 | 0,17 | 0,53 | 0,46 | 0,48 | 0,48 | 0,19 | 0,54 | 0,38 | 0,60 | 0,24 | 0,39 |
| 2040 | 0,35 | 0,17 | 0,10 | 0,31 | 0,23 | 0,33 | 0,32 | 0,25 | 0,30 | 0,62 | 0,82 | 0,67 | 0,37 |
| 2041 | 0,23 | 0,22 | 0,46 | 0,54 | 0,27 | 0,18 | 0,10 | 0,06 | 0,22 | 0,13 | 0,30 | 0,33 | 0,25 |
| 2042 | 0,24 | 0,37 | 0,38 | 0,22 | 0,27 | 0,49 | 0,17 | 0,20 | 0,35 | 0,25 | 0,49 | 0,21 | 0,30 |
| 2043 | 0,26 | 0,32 | 0,14 | 0,17 | 0,60 | 0,50 | 0,19 | 0,23 | 0,60 | 0,77 | 0,34 | 0,41 | 0,38 |
| 2044 | 0,17 | 0,10 | 0,45 | 0,28 | 0,35 | 0,28 | 0,11 | 0,26 | 0,46 | 0,43 | 0,43 | 0,60 | 0,33 |
| 2045 | 0,29 | 0,53 | 0,29 | 0,28 | 0,59 | 0,60 | 0,47 | 0,22 | 0,11 | 0,45 | 0,67 | 0,37 | 0,41 |
| 2046 | 0,15 | 0,12 | 0,28 | 0,59 | 0,82 | 0,44 | 0,21 | 0,10 | 0,46 | 0,41 | 0,65 | 0,42 | 0,39 |
| 2047 | 0,27 | 0,15 | 0,17 | 0,48 | 0,73 | 0,65 | 0,53 | 0,21 | 0,30 | 0,43 | 0,36 | 0,57 | 0,41 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2048 | 0,30 | 0,44 | 0,41 | 0,74 | 0,40 | 0,29 | 0,34 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,20 | 0,21 | 0,32 |
| 2049 | 0,08 | 0,20 | 0,45 | 0,76 | 0,56 | 0,73 | 0,29 | 0,14 | 0,10 | 0,48 | 0,28 | 0,50 | 0,38 |
| 2050 | 0,22 | 0,21 | 0,54 | 0,78 | 0,70 | 0,65 | 0,27 | 0,38 | 0,32 | 0,55 | 0,61 | 0,48 | 0,48 |
| Promedio | 0,26 | 0,29 | 0,35 | 0,47 | 0,48 | 0,45 | 0,26 | 0,17 | 0,33 | 0,39 | 0,46 | 0,42 | 0,36 |

Tabla 8-9 Caudal ambiental de la zona media proyectado del río Meléndez 2021-2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,34 | 0,25 | 0,16 | 0,53 | 0,25 | 0,49 | 0,16 | 0,10 | 0,51 | 1,00 | 0,56 | 0,53 | 0,41 |
| 2022 | 0,27 | 0,27 | 0,75 | 0,80 | 1,01 | 0,93 | 0,54 | 0,24 | 0,39 | 0,31 | 0,67 | 0,39 | 0,55 |
| 2023 | 0,39 | 0,62 | 0,85 | 1,03 | 0,70 | 0,47 | 0,43 | 0,24 | 0,38 | 0,41 | 0,61 | 0,80 | 0,58 |
| 2024 | 0,31 | 0,66 | 0,78 | 0,35 | 1,01 | 0,64 | 0,33 | 0,23 | 0,62 | 0,36 | 0,50 | 0,74 | 0,54 |
| 2025 | 0,27 | 0,34 | 0,38 | 0,95 | 0,65 | 0,67 | 0,33 | 0,44 | 0,62 | 0,96 | 1,02 | 0,95 | 0,63 |
| 2026 | 0,40 | 0,29 | 0,40 | 0,67 | 0,67 | 0,90 | 0,41 | 0,32 | 0,58 | 0,48 | 0,65 | 0,78 | 0,55 |
| 2027 | 0,55 | 0,52 | 0,72 | 1,13 | 1,12 | 1,01 | 0,31 | 0,18 | 0,28 | 0,65 | 0,86 | 0,73 | 0,67 |
| 2028 | 0,66 | 0,37 | 0,65 | 0,84 | 0,88 | 0,70 | 0,44 | 0,30 | 0,35 | 0,38 | 0,80 | 0,38 | 0,56 |
| 2029 | 0,33 | 0,35 | 0,23 | 0,83 | 0,44 | 0,70 | 0,66 | 0,50 | 0,86 | 0,65 | 0,81 | 0,34 | 0,56 |
| 2030 | 0,58 | 0,71 | 0,56 | 0,89 | 0,65 | 0,58 | 0,47 | 0,30 | 0,54 | 0,33 | 0,37 | 0,75 | 0,56 |
| 2031 | 0,28 | 0,48 | 0,41 | 0,63 | 0,62 | 0,32 | 0,23 | 0,13 | 0,37 | 0,20 | 0,25 | 0,44 | 0,36 |
| 2032 | 0,21 | 0,28 | 0,22 | 0,55 | 0,43 | 0,89 | 0,41 | 0,22 | 0,25 | 0,73 | 1,03 | 0,41 | 0,47 |
| 2033 | 0,55 | 0,76 | 0,48 | 0,74 | 0,57 | 0,58 | 0,23 | 0,22 | 0,56 | 0,27 | 0,38 | 0,65 | 0,50 |
| 2034 | 0,71 | 0,77 | 1,05 | 0,77 | 0,78 | 0,54 | 0,28 | 0,13 | 0,48 | 0,41 | 0,51 | 0,54 | 0,58 |
| 2035 | 0,39 | 0,20 | 0,24 | 0,20 | 0,69 | 0,40 | 0,26 | 0,23 | 0,56 | 0,79 | 0,81 | 0,43 | 0,43 |
| 2036 | 0,52 | 0,29 | 0,42 | 0,94 | 0,86 | 0,76 | 0,48 | 0,20 | 0,64 | 0,43 | 0,49 | 0,83 | 0,57 |
| 2037 | 0,56 | 0,33 | 0,32 | 0,40 | 0,31 | 0,30 | 0,21 | 0,25 | 0,63 | 0,88 | 0,93 | 0,78 | 0,49 |
| 2038 | 0,48 | 0,49 | 0,71 | 0,92 | 1,25 | 0,64 | 0,35 | 0,21 | 0,46 | 0,29 | 0,33 | 0,71 | 0,57 |
| 2039 | 0,24 | 0,46 | 0,25 | 0,72 | 0,78 | 0,80 | 0,61 | 0,24 | 0,69 | 0,64 | 0,82 | 0,30 | 0,55 |
| 2040 | 0,44 | 0,33 | 0,43 | 0,71 | 0,62 | 0,47 | 0,43 | 0,31 | 0,37 | 0,72 | 1,13 | 1,03 | 0,58 |
| 2041 | 0,42 | 0,40 | 0,61 | 0,91 | 0,56 | 0,30 | 0,21 | 0,13 | 0,37 | 0,40 | 0,50 | 0,42 | 0,43 |
| 2042 | 0,30 | 0,43 | 0,47 | 0,53 | 0,47 | 0,69 | 0,36 | 0,36 | 0,49 | 0,48 | 0,73 | 0,43 | 0,48 |
| 2043 | 0,33 | 0,39 | 0,27 | 0,27 | 0,69 | 0,69 | 0,38 | 0,34 | 0,85 | 1,00 | 0,62 | 0,61 | 0,54 |
| 2044 | 0,33 | 0,18 | 0,77 | 0,44 | 0,53 | 0,42 | 0,21 | 0,41 | 0,56 | 0,66 | 0,81 | 0,75 | 0,51 |
| 2045 | 0,40 | 0,74 | 0,35 | 0,57 | 0,88 | 0,69 | 0,61 | 0,37 | 0,31 | 0,65 | 1,00 | 0,72 | 0,61 |
| 2046 | 0,37 | 0,27 | 0,46 | 0,74 | 1,14 | 0,55 | 0,34 | 0,21 | 0,65 | 0,55 | 0,75 | 0,54 | 0,55 |
| 2047 | 0,40 | 0,35 | 0,31 | 0,71 | 0,92 | 0,78 | 0,63 | 0,31 | 0,47 | 0,61 | 0,58 | 0,73 | 0,57 |
| 2048 | 0,42 | 0,62 | 0,49 | 1,10 | 0,83 | 0,42 | 0,39 | 0,28 | 0,21 | 0,39 | 0,44 | 0,27 | 0,49 |
| 2049 | 0,20 | 0,42 | 0,78 | 0,90 | 0,70 | 1,01 | 0,37 | 0,21 | 0,29 | 0,76 | 0,46 | 0,75 | 0,57 |
| 2050 | 0,35 | 0,28 | 0,69 | 0,95 | 0,85 | 0,83 | 0,36 | 0,46 | 0,50 | 0,71 | 0,70 | 0,82 | 0,62 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Promedio | 0,40 | 0,43 | 0,51 | 0,72 | 0,73 | 0,64 | 0,38 | 0,27 | 0,49 | 0,57 | 0,67 | 0,62 | 0,54 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Tabla 8-10 Caudal ambiental de la zona media proyectado del río Meléndez 2021-2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,09 | 0,22 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| 2022 | 0,03 | 0,04 | 0,14 | 0,16 | 0,23 | 0,18 | 0,10 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 0,11 | 0,05 | 0,10 |
| 2023 | 0,07 | 0,11 | 0,18 | 0,21 | 0,12 | 0,07 | 0,07 | 0,01 | 0,04 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,10 |
| 2024 | 0,05 | 0,13 | 0,15 | 0,04 | 0,21 | 0,11 | 0,04 | 0,02 | 0,12 | 0,03 | 0,09 | 0,16 | 0,09 |
| 2025 | 0,02 | 0,06 | 0,06 | 0,22 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,20 | 0,21 | 0,20 | 0,12 |
| 2026 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,12 | 0,12 | 0,20 | 0,05 | 0,03 | 0,10 | 0,09 | 0,11 | 0,15 | 0,09 |
| 2027 | 0,11 | 0,08 | 0,15 | 0,25 | 0,24 | 0,20 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,13 | 0,17 | 0,14 | 0,13 |
| 2028 | 0,11 | 0,06 | 0,15 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,07 | 0,16 | 0,07 | 0,11 |
| 2029 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,18 | 0,07 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,17 | 0,11 | 0,16 | 0,07 | 0,10 |
| 2030 | 0,11 | 0,16 | 0,10 | 0,21 | 0,12 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,15 | 0,11 |
| 2031 | 0,03 | 0,09 | 0,06 | 0,13 | 0,12 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,10 | 0,06 |
| 2032 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 0,09 | 0,19 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,17 | 0,22 | 0,08 | 0,09 |
| 2033 | 0,11 | 0,17 | 0,08 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,03 | 0,06 | 0,12 | 0,10 |
| 2034 | 0,15 | 0,16 | 0,23 | 0,16 | 0,18 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,11 |
| 2035 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,15 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,11 | 0,16 | 0,17 | 0,09 | 0,08 |
| 2036 | 0,11 | 0,04 | 0,08 | 0,23 | 0,21 | 0,16 | 0,09 | 0,02 | 0,12 | 0,07 | 0,09 | 0,19 | 0,12 |
| 2037 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,01 | 0,04 | 0,14 | 0,20 | 0,19 | 0,16 | 0,09 |
| 2038 | 0,08 | 0,10 | 0,17 | 0,21 | 0,29 | 0,15 | 0,06 | 0,03 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,12 |
| 2039 | 0,03 | 0,11 | 0,04 | 0,15 | 0,19 | 0,16 | 0,12 | 0,03 | 0,16 | 0,13 | 0,17 | 0,07 | 0,11 |
| 2040 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,15 | 0,11 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,16 | 0,27 | 0,26 | 0,13 |
| 2041 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,20 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,09 |
| 2042 | 0,04 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,10 | 0,17 | 0,11 | 0,10 |
| 2043 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,15 | 0,14 | 0,07 | 0,05 | 0,18 | 0,25 | 0,14 | 0,15 | 0,11 |
| 2044 | 0,06 | 0,01 | 0,17 | 0,08 | 0,13 | 0,11 | 0,04 | 0,09 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,18 | 0,11 |
| 2045 | 0,08 | 0,16 | 0,06 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,13 | 0,06 | 0,05 | 0,15 | 0,22 | 0,15 | 0,13 |
| 2046 | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,16 | 0,27 | 0,13 | 0,08 | 0,04 | 0,15 | 0,12 | 0,18 | 0,12 | 0,12 |
| 2047 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,17 | 0,24 | 0,19 | 0,15 | 0,06 | 0,11 | 0,15 | 0,14 | 0,19 | 0,14 |
| 2048 | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,27 | 0,19 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,02 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,10 |
| 2049 | 0,03 | 0,10 | 0,19 | 0,22 | 0,18 | 0,23 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,19 | 0,11 | 0,17 | 0,13 |
| 2050 | 0,08 | 0,06 | 0,17 | 0,22 | 0,21 | 0,19 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,14 |
| Promedio | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,16 | 0,16 | 0,13 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,11 |

Tabla 8-11 Caudal disponible proyectado de la zona alta para el periodo 2021-2020

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,42 | 0,24 | 0,19 | 0,59 | 0,35 | 0,62 | 0,22 | 0,15 | 0,81 | 1,40 | 0,84 | 0,91 | 0,56 |
| 2022 | 0,42 | 0,45 | 1,20 | 0,95 | 1,38 | 1,49 | 0,95 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,92 | 0,35 | 0,78 |
| 2023 | 0,61 | 0,88 | 1,29 | 1,29 | 0,83 | 0,46 | 0,63 | 0,29 | 0,28 | 0,70 | 0,90 | 0,93 | 0,76 |
| 2024 | 0,36 | 0,84 | 1,27 | 0,58 | 1,36 | 0,80 | 0,34 | 0,24 | 0,81 | 0,51 | 0,80 | 1,31 | 0,77 |
| 2025 | 0,50 | 0,58 | 0,68 | 1,27 | 0,96 | 0,85 | 0,36 | 0,57 | 0,73 | 1,40 | 1,60 | 1,17 | 0,89 |
| 2026 | 0,48 | 0,25 | 0,23 | 0,79 | 0,78 | 1,41 | 0,47 | 0,39 | 0,80 | 0,67 | 0,65 | 1,28 | 0,68 |
| 2027 | 0,68 | 0,70 | 1,13 | 1,45 | 1,64 | 1,52 | 0,51 | 0,28 | 0,33 | 0,98 | 1,29 | 1,11 | 0,97 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2028 | 0,90 | 0,54 | 1,08 | 1,45 | 1,56 | 0,97 | 0,50 | 0,37 | 0,57 | 0,46 | 1,33 | 0,60 | 0,86 |
| 2029 | 0,29 | 0,52 | 0,29 | 0,91 | 0,47 | 1,18 | 0,97 | 0,75 | 1,19 | 0,87 | 1,32 | 0,49 | 0,77 |
| 2030 | 0,82 | 1,22 | 0,82 | 1,13 | 1,00 | 0,91 | 0,76 | 0,31 | 0,84 | 0,48 | 0,39 | 0,76 | 0,79 |
| 2031 | 0,36 | 0,85 | 0,64 | 0,78 | 0,44 | 0,42 | 0,35 | 0,17 | 0,34 | 0,31 | 0,44 | 0,77 | 0,49 |
| 2032 | 0,31 | 0,20 | 0,25 | 0,86 | 0,69 | 1,31 | 0,49 | 0,20 | 0,35 | 1,09 | 1,30 | 0,59 | 0,64 |
| 2033 | 0,68 | 1,07 | 0,76 | 0,72 | 0,64 | 0,77 | 0,34 | 0,18 | 0,94 | 0,41 | 0,36 | 1,00 | 0,66 |
| 2034 | 0,91 | 1,11 | 1,43 | 0,96 | 0,75 | 0,53 | 0,38 | 0,20 | 0,52 | 0,35 | 0,42 | 0,55 | 0,67 |
| 2035 | 0,30 | 0,20 | 0,16 | 0,25 | 0,93 | 0,39 | 0,19 | 0,14 | 0,94 | 1,21 | 0,96 | 0,49 | 0,51 |
| 2036 | 0,85 | 0,41 | 0,63 | 1,20 | 1,13 | 1,14 | 0,61 | 0,29 | 1,10 | 0,72 | 0,86 | 1,21 | 0,85 |
| 2037 | 0,96 | 0,48 | 0,54 | 0,44 | 0,40 | 0,45 | 0,25 | 0,34 | 0,84 | 1,17 | 1,63 | 0,95 | 0,70 |
| 2038 | 0,71 | 0,54 | 1,17 | 1,40 | 1,76 | 1,06 | 0,51 | 0,26 | 0,52 | 0,33 | 0,40 | 0,97 | 0,80 |
| 2039 | 0,36 | 0,77 | 0,34 | 1,08 | 0,94 | 0,98 | 0,97 | 0,40 | 1,09 | 0,77 | 1,22 | 0,50 | 0,78 |
| 2040 | 0,71 | 0,34 | 0,21 | 0,63 | 0,46 | 0,67 | 0,65 | 0,51 | 0,61 | 1,27 | 1,67 | 1,36 | 0,76 |
| 2041 | 0,48 | 0,44 | 0,94 | 1,10 | 0,55 | 0,36 | 0,19 | 0,12 | 0,45 | 0,26 | 0,61 | 0,66 | 0,51 |
| 2042 | 0,49 | 0,76 | 0,77 | 0,44 | 0,56 | 1,00 | 0,35 | 0,40 | 0,71 | 0,50 | 1,00 | 0,42 | 0,62 |
| 2043 | 0,53 | 0,65 | 0,29 | 0,35 | 1,21 | 1,01 | 0,39 | 0,47 | 1,22 | 1,57 | 0,70 | 0,84 | 0,77 |
| 2044 | 0,34 | 0,21 | 0,91 | 0,58 | 0,71 | 0,56 | 0,23 | 0,53 | 0,93 | 0,88 | 0,87 | 1,22 | 0,66 |
| 2045 | 0,58 | 1,07 | 0,60 | 0,57 | 1,20 | 1,23 | 0,96 | 0,44 | 0,22 | 0,90 | 1,36 | 0,75 | 0,82 |
| 2046 | 0,31 | 0,24 | 0,57 | 1,19 | 1,67 | 0,90 | 0,43 | 0,21 | 0,93 | 0,83 | 1,33 | 0,85 | 0,79 |
| 2047 | 0,55 | 0,30 | 0,34 | 0,98 | 1,49 | 1,31 | 1,08 | 0,43 | 0,61 | 0,88 | 0,73 | 1,17 | 0,82 |
| 2048 | 0,61 | 0,90 | 0,84 | 1,51 | 0,80 | 0,59 | 0,69 | 0,35 | 0,29 | 0,28 | 0,41 | 0,42 | 0,64 |
| 2049 | 0,16 | 0,40 | 0,91 | 1,54 | 1,15 | 1,48 | 0,58 | 0,28 | 0,20 | 0,98 | 0,57 | 1,01 | 0,77 |
| 2050 | 0,44 | 0,43 | 1,10 | 1,59 | 1,43 | 1,32 | 0,54 | 0,77 | 0,65 | 1,12 | 1,25 | 0,98 | 0,97 |
| Promedio | 0,54 | 0,59 | 0,72 | 0,95 | 0,98 | 0,92 | 0,53 | 0,35 | 0,68 | 0,79 | 0,94 | 0,85 | 0,74 |

Tabla 8-12 Caudal disponible proyectado de la zona media para el periodo 2021-2020

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,61 | 0,45 | 0,29 | 0,95 | 0,44 | 0,88 | 0,28 | 0,18 | 0,90 | 1,78 | 1,00 | 0,94 | 0,72 |
| 2022 | 0,49 | 0,47 | 1,34 | 1,42 | 1,80 | 1,65 | 0,97 | 0,42 | 0,70 | 0,56 | 1,19 | 0,70 | 0,97 |
| 2023 | 0,69 | 1,10 | 1,51 | 1,83 | 1,24 | 0,84 | 0,76 | 0,43 | 0,67 | 0,74 | 1,08 | 1,42 | 1,03 |
| 2024 | 0,55 | 1,17 | 1,39 | 0,61 | 1,79 | 1,14 | 0,59 | 0,41 | 1,09 | 0,63 | 0,89 | 1,32 | 0,97 |
| 2025 | 0,49 | 0,60 | 0,68 | 1,69 | 1,16 | 1,19 | 0,58 | 0,78 | 1,10 | 1,70 | 1,80 | 1,69 | 1,12 |
| 2026 | 0,71 | 0,52 | 0,70 | 1,20 | 1,18 | 1,60 | 0,74 | 0,57 | 1,04 | 0,85 | 1,16 | 1,38 | 0,97 |
| 2027 | 0,97 | 0,93 | 1,28 | 2,02 | 2,00 | 1,79 | 0,56 | 0,31 | 0,50 | 1,16 | 1,54 | 1,29 | 1,20 |
| 2028 | 1,17 | 0,67 | 1,16 | 1,50 | 1,57 | 1,25 | 0,78 | 0,53 | 0,62 | 0,68 | 1,42 | 0,68 | 1,00 |
| 2029 | 0,59 | 0,62 | 0,40 | 1,47 | 0,78 | 1,24 | 1,17 | 0,89 | 1,52 | 1,16 | 1,44 | 0,61 | 0,99 |
| 2030 | 1,03 | 1,27 | 1,00 | 1,59 | 1,15 | 1,02 | 0,84 | 0,53 | 0,97 | 0,58 | 0,65 | 1,33 | 1,00 |
| 2031 | 0,49 | 0,85 | 0,73 | 1,12 | 1,10 | 0,58 | 0,41 | 0,23 | 0,66 | 0,35 | 0,45 | 0,78 | 0,65 |
| 2032 | 0,37 | 0,50 | 0,38 | 0,98 | 0,76 | 1,58 | 0,72 | 0,39 | 0,44 | 1,30 | 1,82 | 0,73 | 0,83 |
| 2033 | 0,98 | 1,35 | 0,86 | 1,32 | 1,01 | 1,03 | 0,41 | 0,38 | 1,00 | 0,47 | 0,68 | 1,16 | 0,89 |
| 2034 | 1,26 | 1,37 | 1,87 | 1,36 | 1,38 | 0,96 | 0,51 | 0,24 | 0,86 | 0,72 | 0,90 | 0,97 | 1,03 |
| 2035 | 0,70 | 0,35 | 0,43 | 0,35 | 1,23 | 0,72 | 0,46 | 0,41 | 1,00 | 1,40 | 1,45 | 0,77 | 0,77 |
| 2036 | 0,93 | 0,52 | 0,75 | 1,68 | 1,52 | 1,36 | 0,85 | 0,35 | 1,14 | 0,77 | 0,88 | 1,48 | 1,02 |
| 2037 | 0,99 | 0,59 | 0,57 | 0,72 | 0,54 | 0,54 | 0,37 | 0,45 | 1,11 | 1,56 | 1,66 | 1,39 | 0,87 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2038 | 0,85 | 0,87 | 1,27 | 1,64 | 2,21 | 1,13 | 0,62 | 0,36 | 0,81 | 0,51 | 0,59 | 1,26 | 1,01 |
| 2039 | 0,43 | 0,82 | 0,44 | 1,29 | 1,38 | 1,43 | 1,09 | 0,43 | 1,24 | 1,13 | 1,46 | 0,54 | 0,97 |
| 2040 | 0,78 | 0,58 | 0,76 | 1,26 | 1,11 | 0,84 | 0,76 | 0,55 | 0,66 | 1,29 | 2,00 | 1,82 | 1,03 |
| 2041 | 0,74 | 0,71 | 1,08 | 1,61 | 0,99 | 0,53 | 0,38 | 0,23 | 0,65 | 0,71 | 0,90 | 0,75 | 0,77 |
| 2042 | 0,54 | 0,77 | 0,84 | 0,94 | 0,84 | 1,23 | 0,64 | 0,65 | 0,88 | 0,86 | 1,29 | 0,77 | 0,85 |
| 2043 | 0,58 | 0,70 | 0,49 | 0,47 | 1,22 | 1,23 | 0,68 | 0,61 | 1,51 | 1,78 | 1,10 | 1,09 | 0,96 |
| 2044 | 0,58 | 0,32 | 1,37 | 0,77 | 0,95 | 0,75 | 0,37 | 0,72 | 1,00 | 1,18 | 1,44 | 1,33 | 0,90 |
| 2045 | 0,71 | 1,31 | 0,63 | 1,01 | 1,56 | 1,23 | 1,08 | 0,65 | 0,56 | 1,16 | 1,78 | 1,27 | 1,08 |
| 2046 | 0,66 | 0,48 | 0,82 | 1,32 | 2,03 | 0,99 | 0,60 | 0,38 | 1,16 | 0,98 | 1,34 | 0,96 | 0,98 |
| 2047 | 0,72 | 0,63 | 0,55 | 1,26 | 1,63 | 1,38 | 1,13 | 0,56 | 0,83 | 1,09 | 1,03 | 1,30 | 1,01 |
| 2048 | 0,74 | 1,10 | 0,88 | 1,96 | 1,47 | 0,75 | 0,69 | 0,49 | 0,37 | 0,70 | 0,78 | 0,49 | 0,87 |
| 2049 | 0,36 | 0,75 | 1,38 | 1,59 | 1,25 | 1,79 | 0,66 | 0,37 | 0,51 | 1,35 | 0,81 | 1,33 | 1,01 |
| 2050 | 0,63 | 0,50 | 1,23 | 1,69 | 1,51 | 1,48 | 0,64 | 0,82 | 0,88 | 1,26 | 1,25 | 1,45 | 1,11 |
| Promedio | 0,71 | 0,76 | 0,90 | 1,29 | 1,29 | 1,14 | 0,68 | 0,48 | 0,88 | 1,01 | 1,19 | 1,10 | 0,95 |

Tabla 8-13 Caudal disponible proyectado de la zona baja para el periodo 2021-2020

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 2021 | 0,44 | 0,06 | 0,06 | 1,08 | 0,36 | 0,74 | 0,18 | 0,13 | 0,91 | 2,26 | 1,00 | 0,92 | 0,68 |
| 2022 | 0,30 | 0,42 | 1,44 | 1,66 | 2,33 | 1,80 | 0,99 | 0,06 | 0,46 | 0,43 | 1,14 | 0,51 | 0,96 |
| 2023 | 0,67 | 1,16 | 1,78 | 2,16 | 1,23 | 0,69 | 0,74 | 0,14 | 0,43 | 0,55 | 1,06 | 1,53 | 1,01 |
| 2024 | 0,47 | 1,29 | 1,51 | 0,36 | 2,10 | 1,08 | 0,41 | 0,18 | 1,19 | 0,35 | 0,88 | 1,64 | 0,95 |
| 2025 | 0,24 | 0,62 | 0,57 | 2,20 | 1,23 | 1,22 | 0,44 | 0,60 | 1,25 | 2,02 | 2,08 | 2,06 | 1,21 |
| 2026 | 0,61 | 0,35 | 0,73 | 1,21 | 1,20 | 1,99 | 0,53 | 0,31 | 1,03 | 0,89 | 1,12 | 1,49 | 0,96 |
| 2027 | 1,07 | 0,86 | 1,50 | 2,55 | 2,44 | 2,05 | 0,28 | 0,21 | 0,53 | 1,28 | 1,74 | 1,44 | 1,33 |
| 2028 | 1,15 | 0,64 | 1,51 | 2,02 | 1,86 | 1,51 | 0,65 | 0,32 | 0,37 | 0,71 | 1,61 | 0,73 | 1,09 |
| 2029 | 0,47 | 0,62 | 0,31 | 1,78 | 0,73 | 1,35 | 1,19 | 0,91 | 1,74 | 1,15 | 1,65 | 0,73 | 1,05 |
| 2030 | 1,13 | 1,64 | 1,04 | 2,08 | 1,23 | 1,03 | 0,74 | 0,42 | 0,94 | 0,54 | 0,55 | 1,49 | 1,07 |
| 2031 | 0,32 | 0,92 | 0,65 | 1,35 | 1,26 | 0,47 | 0,16 | 0,17 | 0,46 | 0,21 | 0,38 | 1,03 | 0,62 |
| 2032 | 0,20 | 0,27 | 0,10 | 1,21 | 0,90 | 1,93 | 0,71 | 0,27 | 0,34 | 1,70 | 2,26 | 0,81 | 0,89 |
| 2033 | 1,11 | 1,68 | 0,80 | 1,57 | 1,38 | 1,29 | 0,22 | 0,19 | 1,23 | 0,33 | 0,65 | 1,20 | 0,97 |
| 2034 | 1,50 | 1,57 | 2,34 | 1,57 | 1,84 | 1,00 | 0,43 | 0,10 | 0,91 | 0,68 | 0,89 | 0,93 | 1,15 |
| 2035 | 0,56 | 0,05 | 0,36 | 0,45 | 1,56 | 0,84 | 0,37 | 0,24 | 1,16 | 1,62 | 1,73 | 0,87 | 0,82 |
| 2036 | 1,08 | 0,39 | 0,81 | 2,30 | 2,14 | 1,58 | 0,93 | 0,19 | 1,18 | 0,73 | 0,86 | 1,88 | 1,17 |
| 2037 | 1,01 | 0,55 | 0,55 | 0,84 | 0,41 | 0,48 | 0,14 | 0,39 | 1,37 | 1,99 | 1,95 | 1,61 | 0,94 |
| 2038 | 0,82 | 1,03 | 1,77 | 2,12 | 2,94 | 1,49 | 0,59 | 0,32 | 0,88 | 0,31 | 0,60 | 1,51 | 1,20 |
| 2039 | 0,28 | 1,07 | 0,41 | 1,56 | 1,88 | 1,66 | 1,19 | 0,29 | 1,57 | 1,33 | 1,71 | 0,66 | 1,14 |
| 2040 | 0,92 | 0,58 | 1,06 | 1,59 | 1,55 | 1,12 | 0,76 | 0,50 | 0,78 | 1,63 | 2,76 | 2,60 | 1,32 |
| 2041 | 0,81 | 0,84 | 1,24 | 1,98 | 1,06 | 0,40 | 0,17 | 0,10 | 0,85 | 0,96 | 1,10 | 0,82 | 0,86 |
| 2042 | 0,40 | 0,83 | 0,99 | 1,03 | 0,98 | 1,52 | 0,57 | 0,54 | 1,12 | 0,97 | 1,71 | 1,10 | 0,98 |
| 2043 | 0,60 | 0,82 | 0,65 | 0,51 | 1,48 | 1,42 | 0,73 | 0,52 | 1,85 | 2,48 | 1,37 | 1,51 | 1,16 |
| 2044 | 0,57 | 0,12 | 1,74 | 0,81 | 1,30 | 1,07 | 0,36 | 0,90 | 1,08 | 1,51 | 1,97 | 1,82 | 1,10 |
| 2045 | 0,85 | 1,61 | 0,58 | 1,45 | 2,28 | 1,67 | 1,34 | 0,63 | 0,53 | 1,52 | 2,26 | 1,54 | 1,35 |
| 2046 | 0,63 | 0,39 | 0,85 | 1,57 | 2,70 | 1,31 | 0,77 | 0,36 | 1,50 | 1,20 | 1,81 | 1,21 | 1,19 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2045 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2046 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2047 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2048 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2049 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2050 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Total | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 |

Tabla 8-17 Demanda mensual futura La Reforma en m³/s de 2021-2050 del río Meléndez

| Demanda La Reforma | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| 2021 | 0,69 | 0,69 | 0,66 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |
| 2022 | 0,69 | 0,69 | 0,67 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |
| 2023 | 0,70 | 0,70 | 0,68 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| 2024 | 0,71 | 0,68 | 0,69 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 |
| 2025 | 0,72 | 0,72 | 0,69 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |
| 2026 | 0,73 | 0,72 | 0,70 | 0,72 | 0,73 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,73 | 0,72 | 0,73 |
| 2027 | 0,73 | 0,73 | 0,71 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| 2028 | 0,74 | 0,72 | 0,72 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| 2029 | 0,75 | 0,75 | 0,73 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| 2030 | 0,76 | 0,76 | 0,73 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 |
| 2031 | 0,77 | 0,77 | 0,74 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| 2032 | 0,78 | 0,75 | 0,75 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| 2033 | 0,78 | 0,78 | 0,76 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| 2034 | 0,79 | 0,79 | 0,77 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |
| 2035 | 0,80 | 0,80 | 0,78 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| 2036 | 0,81 | 0,78 | 0,78 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| 2037 | 0,82 | 0,82 | 0,79 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| 2038 | 0,83 | 0,83 | 0,80 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| 2039 | 0,84 | 0,84 | 0,81 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| 2040 | 0,85 | 0,82 | 0,82 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| 2041 | 0,86 | 0,86 | 0,83 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| 2042 | 0,87 | 0,87 | 0,84 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 |
| 2043 | 0,88 | 0,88 | 0,85 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| 2044 | 0,89 | 0,86 | 0,86 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 |
| 2045 | 0,90 | 0,90 | 0,87 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| 2046 | 0,91 | 0,91 | 0,88 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| 2047 | 0,92 | 0,92 | 0,89 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 |
| 2048 | 0,93 | 0,89 | 0,90 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| 2049 | 0,94 | 0,94 | 0,91 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| 2050 | 0,95 | 0,95 | 0,92 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Total | 27,62 | 27,36 | 26,72 | 27,61 | 27,62 | 27,61 | 27,62 | 27,62 | 27,61 | 27,62 | 27,61 | 27,62 |

Tabla 8-18 Índice de uso de agua de Acuabuitrera proyectada desde 2021 hasta 2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 2021 | 4,07 | 6,94 | 8,57 | 2,87 | 4,77 | 2,73 | 7,70 | 11,60 | 2,09 | 1,20 | 2,01 | 1,86 |
| 2022 | 4,05 | 3,81 | 1,38 | 1,80 | 1,24 | 1,15 | 1,80 | 4,29 | 4,03 | 3,89 | 1,86 | 4,91 |
| 2023 | 2,83 | 1,97 | 1,30 | 1,34 | 2,09 | 3,79 | 2,75 | 5,89 | 6,27 | 2,47 | 1,91 | 1,87 |
| 2024 | 4,92 | 2,01 | 1,33 | 3,04 | 1,29 | 2,19 | 5,12 | 7,39 | 2,15 | 3,40 | 2,19 | 1,34 |
| 2025 | 3,57 | 3,07 | 2,50 | 1,39 | 1,84 | 2,09 | 4,91 | 3,12 | 2,43 | 1,27 | 1,10 | 1,51 |
| 2026 | 3,70 | 7,13 | 7,61 | 2,25 | 2,29 | 1,27 | 3,80 | 4,59 | 2,22 | 2,67 | 2,75 | 1,39 |
| 2027 | 2,67 | 2,59 | 1,54 | 1,25 | 1,10 | 1,19 | 3,55 | 6,55 | 5,54 | 1,85 | 1,40 | 1,62 |
| 2028 | 2,04 | 3,27 | 1,64 | 1,26 | 1,17 | 1,89 | 3,64 | 4,88 | 3,19 | 3,95 | 1,38 | 3,05 |
| 2029 | 6,43 | 3,57 | 6,14 | 2,04 | 3,91 | 1,57 | 1,91 | 2,47 | 1,55 | 2,12 | 1,40 | 3,80 |
| 2030 | 2,29 | 1,54 | 2,21 | 1,65 | 1,87 | 2,05 | 2,46 | 5,95 | 2,22 | 3,88 | 4,76 | 2,45 |
| 2031 | 5,31 | 2,23 | 2,85 | 2,41 | 4,27 | 4,51 | 5,46 | 11,35 | 5,54 | 6,09 | 4,34 | 2,44 |
| 2032 | 6,22 | 9,25 | 7,51 | 2,22 | 2,78 | 1,46 | 3,93 | 9,63 | 5,47 | 1,74 | 1,47 | 3,21 |
| 2033 | 2,83 | 1,81 | 2,45 | 2,66 | 3,00 | 2,51 | 5,70 | 11,01 | 2,05 | 4,68 | 5,38 | 1,93 |
| 2034 | 2,16 | 1,76 | 1,32 | 2,04 | 2,61 | 3,68 | 5,19 | 9,97 | 3,73 | 5,64 | 4,61 | 3,55 |
| 2035 | 6,49 | 9,85 | 11,82 | 7,86 | 2,12 | 5,10 | 10,41 | 14,24 | 2,10 | 1,63 | 2,05 | 4,01 |
| 2036 | 2,35 | 4,66 | 3,07 | 1,66 | 1,77 | 1,75 | 3,25 | 6,88 | 1,81 | 2,79 | 2,32 | 1,65 |
| 2037 | 2,09 | 4,24 | 3,62 | 4,62 | 5,05 | 4,47 | 7,93 | 6,02 | 2,39 | 1,73 | 1,24 | 2,13 |
| 2038 | 2,89 | 3,78 | 1,68 | 1,46 | 1,16 | 1,93 | 3,97 | 7,76 | 3,90 | 6,24 | 5,10 | 2,11 |
| 2039 | 5,76 | 2,67 | 5,87 | 1,91 | 2,21 | 2,12 | 2,12 | 5,23 | 1,90 | 2,67 | 1,69 | 4,17 |
| 2040 | 2,93 | 5,86 | 9,79 | 3,31 | 4,54 | 3,12 | 3,21 | 4,07 | 3,41 | 1,65 | 1,25 | 1,53 |
| 2041 | 4,43 | 4,80 | 2,18 | 1,92 | 3,82 | 5,80 | 10,88 | 18,29 | 4,71 | 8,24 | 3,48 | 3,19 |
| 2042 | 4,37 | 2,82 | 2,67 | 4,82 | 3,85 | 2,12 | 6,09 | 5,39 | 2,99 | 4,25 | 2,13 | 5,07 |
| 2043 | 4,06 | 3,32 | 7,14 | 6,10 | 1,78 | 2,14 | 5,54 | 4,61 | 1,76 | 1,37 | 3,10 | 2,58 |
| 2044 | 6,34 | 10,26 | 2,32 | 3,79 | 3,09 | 3,90 | 9,41 | 4,14 | 2,35 | 2,49 | 2,51 | 1,79 |
| 2045 | 3,81 | 2,06 | 3,58 | 3,88 | 1,83 | 1,80 | 2,29 | 5,05 | 9,90 | 2,44 | 1,63 | 2,95 |
| 2046 | 7,25 | 9,12 | 3,78 | 1,88 | 1,34 | 2,47 | 5,21 | 10,82 | 2,39 | 2,68 | 1,68 | 2,62 |
| 2047 | 4,12 | 7,44 | 6,36 | 2,30 | 1,52 | 1,72 | 2,09 | 5,28 | 3,68 | 2,56 | 3,09 | 1,94 |
| 2048 | 3,74 | 2,45 | 2,64 | 1,51 | 2,84 | 3,90 | 3,31 | 6,60 | 7,81 | 8,02 | 5,57 | 5,44 |
| 2049 | 14,08 | 5,70 | 2,46 | 1,49 | 2,02 | 1,56 | 3,97 | 8,36 | 11,70 | 2,37 | 4,05 | 2,27 |
| 2050 | 5,33 | 5,48 | 2,05 | 1,47 | 1,63 | 1,77 | 4,29 | 3,05 | 3,61 | 2,08 | 1,87 | 2,38 |

Tabla 8-19 Índice de uso de agua de La Reforma y Club Campestre proyectada desde
2021 hasta 2050

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 2021 | 114,19 | 155,17 | 233,03 | 73,06 | 156,27 | 79,07 | 252,15 | 389,76 | 77,28 | 39,14 | 69,46 | 74,27 |
| 2022 | 144,39 | 148,05 | 50,71 | 49,60 | 39,03 | 42,53 | 72,69 | 167,57 | 100,81 | 126,26 | 58,86 | 100,88 |
| 2023 | 103,17 | 64,41 | 45,38 | 38,85 | 57,23 | 84,39 | 93,85 | 164,54 | 105,23 | 96,35 | 65,91 | 49,94 |
| 2024 | 129,71 | 59,46 | 49,87 | 116,85 | 40,11 | 63,26 | 120,83 | 174,91 | 65,59 | 113,51 | 81,11 | 54,28 |
| 2025 | 148,83 | 121,59 | 102,70 | 43,09 | 62,59 | 60,95 | 124,24 | 92,64 | 66,13 | 42,62 | 40,23 | 43,08 |
| 2026 | 103,50 | 140,91 | 100,79 | 61,21 | 62,12 | 45,85 | 99,78 | 129,75 | 70,90 | 86,43 | 63,55 | 53,13 |
| 2027 | 76,66 | 80,07 | 55,94 | 36,81 | 37,17 | 41,53 | 133,84 | 238,42 | 147,28 | 63,96 | 48,34 | 57,45 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2028 | 64,30 | 108,95 | 62,40 | 50,03 | 47,78 | 60,11 | 96,38 | 142,58 | 121,64 | 110,94 | 53,01 | 109,94 |
| 2029 | 129,69 | 123,11 | 183,22 | 51,74 | 97,61 | 61,35 | 65,14 | 85,46 | 49,89 | 65,37 | 52,76 | 124,54 |
| 2030 | 74,69 | 60,62 | 74,53 | 48,33 | 66,85 | 75,07 | 91,26 | 145,87 | 79,29 | 132,84 | 117,54 | 57,86 |
| 2031 | 157,02 | 91,45 | 103,08 | 69,21 | 70,41 | 134,38 | 187,84 | 340,80 | 117,92 | 220,64 | 172,46 | 98,99 |
| 2032 | 210,38 | 151,44 | 197,65 | 79,70 | 103,00 | 49,69 | 108,75 | 200,90 | 176,59 | 60,45 | 43,04 | 107,32 |
| 2033 | 80,96 | 58,70 | 89,64 | 60,33 | 78,77 | 77,15 | 193,41 | 207,16 | 79,61 | 168,53 | 117,26 | 68,63 |
| 2034 | 63,93 | 58,57 | 41,60 | 58,89 | 58,25 | 83,62 | 158,61 | 340,42 | 93,81 | 110,98 | 88,97 | 83,07 |
| 2035 | 116,21 | 232,26 | 184,37 | 230,87 | 66,13 | 113,26 | 178,13 | 196,55 | 81,38 | 58,16 | 56,09 | 105,36 |
| 2036 | 88,14 | 152,05 | 106,58 | 48,91 | 53,95 | 60,38 | 96,90 | 232,96 | 71,95 | 107,28 | 93,37 | 55,33 |
| 2037 | 83,90 | 140,05 | 141,25 | 115,88 | 152,85 | 155,00 | 222,15 | 185,35 | 74,61 | 53,21 | 49,94 | 59,63 |
| 2038 | 99,01 | 96,77 | 63,90 | 51,07 | 37,92 | 74,00 | 135,98 | 230,41 | 103,04 | 163,36 | 142,59 | 66,39 |
| 2039 | 197,79 | 104,04 | 185,03 | 66,00 | 61,33 | 59,55 | 77,75 | 198,82 | 68,69 | 74,88 | 57,94 | 156,83 |
| 2040 | 110,01 | 142,15 | 108,92 | 68,38 | 77,30 | 102,34 | 113,00 | 157,51 | 130,81 | 66,72 | 42,86 | 47,07 |
| 2041 | 116,75 | 122,25 | 77,55 | 53,78 | 87,73 | 164,96 | 229,50 | 385,13 | 133,12 | 122,58 | 96,78 | 116,29 |
| 2042 | 162,57 | 113,93 | 101,11 | 92,96 | 104,31 | 71,21 | 136,30 | 135,52 | 99,78 | 102,43 | 68,00 | 113,99 |
| 2043 | 152,07 | 127,50 | 176,16 | 187,13 | 72,49 | 72,34 | 130,40 | 145,09 | 58,81 | 49,81 | 80,66 | 81,66 |
| 2044 | 154,58 | 267,97 | 63,40 | 115,97 | 94,71 | 119,67 | 242,16 | 124,25 | 90,00 | 76,34 | 62,38 | 67,74 |
| 2045 | 127,61 | 69,03 | 139,30 | 89,49 | 58,20 | 73,47 | 84,31 | 138,71 | 162,14 | 78,06 | 50,92 | 71,27 |
| 2046 | 138,49 | 189,58 | 108,82 | 69,55 | 45,15 | 93,09 | 153,92 | 240,80 | 78,90 | 93,38 | 68,39 | 95,65 |
| 2047 | 129,01 | 147,54 | 164,16 | 73,77 | 57,02 | 67,02 | 82,27 | 166,88 | 112,14 | 85,18 | 89,68 | 71,34 |
| 2048 | 126,09 | 82,57 | 103,73 | 47,76 | 63,77 | 125,67 | 135,32 | 190,47 | 250,91 | 134,97 | 120,80 | 192,34 |
| 2049 | 261,83 | 125,75 | 66,58 | 59,52 | 76,18 | 52,88 | 143,07 | 259,65 | 187,11 | 70,27 | 116,77 | 71,50 |
| 2050 | 153,06 | 192,59 | 75,54 | 56,73 | 63,42 | 64,83 | 150,56 | 117,56 | 108,99 | 76,45 | 77,02 | 66,05 |

,17% la cuenca no tendrá para cumplir el total de la demanda hídrica.

Tabla 8-20 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2021 | 109,98 | 192,87 | 264,45 | 63,46 | 120,79 | 81,59 | 213,22 | 307,56 | 71,47 | 35,56 | 66,74 | 70,86 |
| 2022 | 132,25 | 114,89 | 50,57 | 46,35 | 35,14 | 43,43 | 68,19 | 203,15 | 109,59 | 112,48 | 61,88 | 103,44 |
| 2023 | 89,81 | 62,03 | 43,32 | 38,03 | 59,47 | 88,06 | 84,45 | 176,16 | 115,34 | 100,49 | 66,12 | 50,16 |
| 2024 | 112,48 | 56,66 | 50,26 | 128,54 | 39,51 | 66,34 | 119,67 | 169,03 | 61,88 | 129,75 | 76,88 | 48,23 |
| 2025 | 154,73 | 97,50 | 100,81 | 38,42 | 61,19 | 61,45 | 117,84 | 99,99 | 60,58 | 41,39 | 40,28 | 40,65 |
| 2026 | 100,14 | 134,12 | 87,79 | 62,78 | 63,40 | 42,44 | 108,88 | 143,45 | 70,73 | 78,82 | 66,44 | 53,67 |
| 2027 | 69,90 | 81,74 | 52,59 | 34,80 | 36,18 | 41,88 | 150,70 | 198,23 | 110,50 | 61,17 | 47,94 | 55,76 |
| 2028 | 67,19 | 98,20 | 53,10 | 43,10 | 46,16 | 54,62 | 99,59 | 147,04 | 136,43 | 94,38 | 51,85 | 92,23 |
| 2029 | 122,71 | 103,89 | 147,99 | 48,34 | 94,15 | 60,55 | 66,71 | 80,92 | 49,40 | 68,54 | 51,60 | 94,09 |
| 2030 | 70,34 | 52,49 | 72,73 | 43,16 | 66,04 | 75,31 | 94,87 | 133,27 | 80,62 | 115,13 | 113,67 | 56,71 |
| 2031 | 154,12 | 82,72 | 102,58 | 62,29 | 65,83 | 127,33 | 201,80 | 270,34 | 128,88 | 192,10 | 142,04 | 76,43 |
| 2032 | 191,11 | 167,82 | 232,70 | 68,61 | 85,74 | 47,33 | 101,19 | 169,84 | 154,79 | 52,62 | 41,37 | 92,23 |
| 2033 | 74,85 | 53,72 | 92,71 | 56,73 | 63,05 | 66,56 | 191,15 | 199,94 | 69,10 | 158,18 | 109,02 | 70,23 |
| 2034 | 59,85 | 57,70 | 39,99 | 57,76 | 50,59 | 81,95 | 142,65 | 336,04 | 87,69 | 107,36 | 89,36 | 86,41 |
| 2035 | 123,65 | 285,91 | 157,46 | 141,42 | 58,73 | 94,43 | 156,04 | 190,97 | 74,60 | 57,14 | 53,98 | 92,35 |
| 2036 | 79,85 | 152,35 | 96,72 | 42,97 | 45,70 | 59,09 | 89,40 | 215,56 | 74,51 | 106,16 | 94,47 | 51,03 |
| 2037 | 85,32 | 129,90 | 128,24 | 97,81 | 155,89 | 141,90 | 244,54 | 158,86 | 67,39 | 49,33 | 50,33 | 58,99 |
| 2038 | 101,70 | 85,96 | 53,99 | 47,48 | 35,56 | 64,10 | 126,64 | 181,39 | 96,34 | 182,59 | 125,17 | 63,13 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2039 | 196,48 | 84,67 | 158,13 | 62,57 | 53,49 | 59,24 | 77,88 | 192,74 | 62,04 | 71,50 | 57,81 | 120,26 |
| 2040 | 96,59 | 130,35 | 84,78 | 62,60 | 63,96 | 83,27 | 110,72 | 147,49 | 109,08 | 61,39 | 38,65 | 40,73 |
| 2041 | 107,92 | 105,16 | 75,93 | 52,51 | 88,27 | 170,96 | 256,20 | 374,90 | 104,57 | 94,97 | 85,47 | 107,34 |
| 2042 | 175,97 | 107,93 | 92,40 | 91,94 | 95,37 | 67,02 | 140,98 | 146,53 | 86,26 | 96,63 | 60,59 | 87,13 |
| 2043 | 139,09 | 111,71 | 128,07 | 155,26 | 69,62 | 72,23 | 121,15 | 152,83 | 57,63 | 44,42 | 74,37 | 68,53 |
| 2044 | 147,47 | 309,16 | 59,75 | 114,62 | 78,66 | 92,43 | 195,60 | 105,77 | 91,54 | 69,74 | 55,24 | 59,36 |
| 2045 | 112,82 | 66,93 | 144,60 | 73,28 | 49,25 | 65,01 | 78,27 | 141,15 | 157,51 | 70,37 | 49,71 | 69,68 |
| 2046 | 143,65 | 197,60 | 111,69 | 69,25 | 42,93 | 80,71 | 123,80 | 206,23 | 72,35 | 86,83 | 61,41 | 86,60 |
| 2047 | 106,75 | 139,93 | 146,36 | 64,38 | 48,28 | 58,38 | 72,40 | 151,62 | 94,61 | 73,19 | 75,55 | 59,86 |
| 2048 | 126,08 | 83,35 | 105,40 | 43,73 | 60,43 | 129,60 | 129,09 | 173,75 | 273,15 | 140,68 | 127,10 | 140,93 |
| 2049 | 243,43 | 102,06 | 58,80 | 53,57 | 62,53 | 50,24 | 138,05 | 222,35 | 149,74 | 61,02 | 100,94 | 68,86 |
| 2050 | 127,81 | 166,66 | 67,29 | 53,22 | 55,74 | 61,59 | 140,58 | 103,33 | 95,70 | 68,26 | 68,81 | 65,09 |

Tabla 8-21 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 para La Reforma para la alternativa 1

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2021 | 114,19 | 155,17 | 233,03 | 73,06 | 156,27 | 79,07 | 252,15 | 389,76 | 77,28 | 39,14 | 69,46 | 74,27 |
| 2022 | 140,55 | 144,12 | 49,36 | 48,28 | 37,99 | 41,40 | 70,76 | 163,12 | 98,13 | 122,91 | 57,30 | 98,20 |
| 2023 | 97,69 | 60,99 | 42,97 | 36,78 | 54,19 | 79,90 | 88,86 | 155,79 | 99,64 | 91,23 | 62,41 | 47,29 |
| 2024 | 119,36 | 54,72 | 45,89 | 107,53 | 36,91 | 58,22 | 111,19 | 160,96 | 60,36 | 104,46 | 74,64 | 49,95 |
| 2025 | 133,01 | 108,66 | 91,78 | 38,51 | 55,94 | 54,47 | 111,03 | 82,79 | 59,10 | 38,09 | 35,96 | 38,50 |
| 2026 | 90,29 | 122,93 | 87,94 | 53,40 | 54,19 | 40,00 | 87,05 | 113,20 | 61,86 | 75,41 | 55,45 | 46,35 |
| 2027 | 65,25 | 68,15 | 47,61 | 31,33 | 31,64 | 35,35 | 113,92 | 202,94 | 125,36 | 54,44 | 41,15 | 48,90 |
| 2028 | 53,36 | 90,42 | 51,79 | 41,52 | 39,66 | 49,88 | 79,99 | 118,33 | 100,95 | 92,07 | 43,99 | 91,24 |
| 2029 | 104,88 | 99,55 | 148,16 | 41,84 | 78,93 | 49,61 | 52,67 | 69,11 | 40,34 | 52,86 | 42,66 | 100,71 |
| 2030 | 58,81 | 47,73 | 58,68 | 38,05 | 52,64 | 59,11 | 71,86 | 114,86 | 62,43 | 104,60 | 92,55 | 45,56 |
| 2031 | 120,30 | 70,07 | 78,98 | 53,02 | 53,94 | 102,96 | 143,91 | 261,10 | 90,34 | 169,04 | 132,13 | 75,84 |
| 2032 | 156,71 | 112,80 | 147,22 | 59,37 | 76,73 | 37,01 | 81,01 | 149,65 | 131,54 | 45,03 | 32,06 | 79,94 |
| 2033 | 58,58 | 42,48 | 64,87 | 43,66 | 57,00 | 55,82 | 139,95 | 149,90 | 57,61 | 121,95 | 84,85 | 49,66 |
| 2034 | 44,90 | 41,14 | 29,22 | 41,36 | 40,91 | 58,73 | 111,40 | 239,10 | 65,89 | 77,95 | 62,49 | 58,35 |
| 2035 | 79,15 | 158,19 | 125,58 | 157,24 | 45,04 | 77,14 | 121,33 | 133,87 | 55,43 | 39,61 | 38,20 | 71,76 |
| 2036 | 58,16 | 100,33 | 70,33 | 32,28 | 35,60 | 39,84 | 63,94 | 153,72 | 47,48 | 70,79 | 61,61 | 36,51 |
| 2037 | 53,58 | 89,43 | 90,20 | 74,00 | 97,61 | 98,98 | 141,86 | 118,36 | 47,64 | 33,98 | 31,89 | 38,08 |
| 2038 | 61,12 | 59,74 | 39,44 | 31,52 | 23,41 | 45,68 | 83,94 | 142,24 | 63,61 | 100,85 | 88,03 | 40,98 |
| 2039 | 117,90 | 62,01 | 110,29 | 39,34 | 36,56 | 35,50 | 46,34 | 118,51 | 40,94 | 44,63 | 34,53 | 93,48 |
| 2040 | 63,23 | 81,71 | 62,61 | 39,30 | 44,44 | 58,83 | 64,95 | 90,54 | 75,19 | 38,35 | 24,64 | 27,05 |
| 2041 | 64,63 | 67,67 | 42,92 | 29,77 | 48,56 | 91,31 | 127,04 | 213,18 | 73,69 | 67,85 | 53,57 | 64,37 |
| 2042 | 86,53 | 60,64 | 53,82 | 49,48 | 55,52 | 37,91 | 72,55 | 72,13 | 53,11 | 54,52 | 36,20 | 60,67 |
| 2043 | 77,71 | 65,16 | 90,02 | 95,63 | 37,04 | 36,97 | 66,64 | 74,15 | 30,06 | 25,45 | 41,22 | 41,73 |
| 2044 | 75,71 | 131,24 | 31,05 | 56,80 | 46,38 | 58,61 | 118,60 | 60,86 | 44,08 | 37,39 | 30,55 | 33,18 |
| 2045 | 59,78 | 32,34 | 65,26 | 41,93 | 27,27 | 34,42 | 39,50 | 64,99 | 75,96 | 36,57 | 23,86 | 33,39 |
| 2046 | 62,46 | 85,50 | 49,08 | 31,37 | 20,36 | 41,98 | 69,42 | 108,60 | 35,58 | 42,11 | 30,84 | 43,14 |
| 2047 | 55,92 | 63,96 | 71,16 | 31,98 | 24,72 | 29,05 | 35,66 | 72,34 | 48,61 | 36,92 | 38,87 | 30,92 |
| 2048 | 52,45 | 34,35 | 43,15 | 19,87 | 26,53 | 52,27 | 56,29 | 79,23 | 104,37 | 56,14 | 50,25 | 80,01 |
| 2049 | 104,33 | 50,11 | 26,53 | 23,72 | 30,35 | 21,07 | 57,01 | 103,46 | 74,55 | 28,00 | 46,53 | 28,49 |
| 2050 | 58,31 | 73,37 | 28,78 | 21,61 | 24,16 | 24,70 | 57,35 | 44,78 | 41,52 | 29,12 | 29,34 | 25,16 |

Tabla 8-22 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 2

| Índice de Uso de Agua IUA % reubicación poblacional | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| 2021 | 109,26 | 148,47 | 222,98 | 69,91 | 149,53 | 75,66 | 241,27 | 372,94 | 73,94 | 37,45 | 66,46 | 71,06 |
| 2022 | 135,17 | 138,60 | 47,47 | 46,43 | 36,54 | 39,82 | 68,05 | 156,87 | 94,37 | 118,20 | 55,10 | 94,44 |
| 2023 | 94,48 | 58,99 | 41,56 | 35,58 | 52,41 | 77,28 | 85,95 | 150,68 | 96,37 | 88,23 | 60,36 | 45,74 |
| 2024 | 116,18 | 53,26 | 44,67 | 104,67 | 35,93 | 56,66 | 108,23 | 156,67 | 58,75 | 101,68 | 72,66 | 48,62 |
| 2025 | 130,39 | 106,52 | 89,97 | 37,75 | 54,84 | 53,40 | 108,84 | 81,16 | 57,93 | 37,34 | 35,25 | 37,74 |
| 2026 | 88,72 | 120,78 | 86,40 | 52,47 | 53,25 | 39,31 | 85,53 | 111,22 | 60,78 | 74,09 | 54,48 | 45,54 |
| 2027 | 64,29 | 67,15 | 46,91 | 30,87 | 31,17 | 34,83 | 112,24 | 199,95 | 123,52 | 53,64 | 40,54 | 48,18 |
| 2028 | 52,75 | 89,38 | 51,19 | 41,04 | 39,20 | 49,31 | 79,07 | 116,97 | 99,79 | 91,01 | 43,49 | 90,19 |
| 2029 | 104,07 | 98,79 | 147,02 | 41,52 | 78,32 | 49,23 | 52,27 | 68,58 | 40,03 | 52,45 | 42,33 | 99,93 |
| 2030 | 58,62 | 47,57 | 58,49 | 37,93 | 52,46 | 58,91 | 71,62 | 114,47 | 62,23 | 104,25 | 92,24 | 45,41 |
| 2031 | 120,57 | 70,23 | 79,16 | 53,15 | 54,07 | 103,19 | 144,24 | 261,70 | 90,55 | 169,43 | 132,43 | 76,02 |
| 2032 | 158,06 | 113,78 | 148,49 | 59,88 | 77,39 | 37,33 | 81,70 | 150,94 | 132,68 | 45,42 | 32,33 | 80,63 |
| 2033 | 59,51 | 43,15 | 65,89 | 44,34 | 57,90 | 56,70 | 142,15 | 152,26 | 58,51 | 123,87 | 86,18 | 50,44 |
| 2034 | 45,96 | 42,11 | 29,91 | 42,34 | 41,88 | 60,12 | 114,04 | 244,75 | 67,44 | 79,79 | 63,97 | 59,72 |
| 2035 | 81,72 | 163,32 | 129,64 | 162,34 | 46,50 | 79,64 | 125,26 | 138,21 | 57,23 | 40,90 | 39,44 | 74,09 |
| 2036 | 60,65 | 104,62 | 73,34 | 33,66 | 37,12 | 41,55 | 66,67 | 160,29 | 49,51 | 73,82 | 64,24 | 38,07 |
| 2037 | 56,49 | 94,29 | 95,10 | 78,02 | 102,91 | 104,36 | 149,56 | 124,78 | 50,23 | 35,83 | 33,62 | 40,14 |
| 2038 | 65,21 | 63,74 | 42,09 | 33,64 | 24,97 | 48,74 | 89,56 | 151,76 | 67,87 | 107,60 | 93,92 | 43,73 |
| 2039 | 127,44 | 67,03 | 119,21 | 42,53 | 39,52 | 38,37 | 50,09 | 128,10 | 44,25 | 48,25 | 37,33 | 101,05 |
| 2040 | 69,33 | 89,59 | 68,64 | 43,09 | 48,72 | 64,49 | 71,21 | 99,26 | 82,44 | 42,05 | 27,01 | 29,66 |
| 2041 | 72,00 | 75,39 | 47,82 | 33,16 | 54,10 | 101,73 | 141,53 | 237,51 | 82,10 | 75,59 | 59,68 | 71,71 |
| 2042 | 98,10 | 68,75 | 61,01 | 56,10 | 62,95 | 42,97 | 82,25 | 81,78 | 60,21 | 61,81 | 41,03 | 68,78 |
| 2043 | 89,78 | 75,28 | 104,01 | 110,48 | 42,80 | 42,71 | 76,99 | 85,66 | 34,72 | 29,41 | 47,62 | 48,21 |
| 2044 | 89,28 | 154,77 | 36,62 | 66,98 | 54,70 | 69,12 | 139,87 | 71,77 | 51,98 | 44,09 | 36,03 | 39,13 |
| 2045 | 72,09 | 39,00 | 78,70 | 50,56 | 32,88 | 41,51 | 47,63 | 78,37 | 91,60 | 44,10 | 28,77 | 40,27 |
| 2046 | 76,57 | 104,82 | 60,17 | 38,46 | 24,96 | 51,47 | 85,10 | 133,14 | 43,62 | 51,63 | 37,81 | 52,88 |
| 2047 | 69,80 | 79,83 | 88,82 | 39,91 | 30,85 | 36,26 | 44,51 | 90,29 | 60,67 | 46,08 | 48,52 | 38,60 |
| 2048 | 66,75 | 43,71 | 54,91 | 25,28 | 33,76 | 66,53 | 71,64 | 100,83 | 132,83 | 71,45 | 63,95 | 101,82 |
| 2049 | 135,61 | 65,13 | 34,48 | 30,82 | 39,45 | 27,39 | 74,10 | 134,48 | 96,91 | 36,39 | 60,48 | 37,03 |
| 2050 | 77,55 | 97,57 | 38,27 | 28,74 | 32,13 | 32,84 | 76,28 | 59,56 | 55,22 | 38,73 | 39,02 | 33,47 |

Tabla 8-23 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 3

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 2021 | 109,26 | 148,47 | 222,98 | 69,91 | 149,53 | 75,66 | 241,27 | 372,94 | 73,94 | 37,45 | 66,46 | 71,06 |
| 2022 | 131,58 | 134,92 | 46,21 | 45,20 | 35,57 | 38,76 | 66,24 | 152,71 | 91,87 | 115,06 | 53,64 | 91,93 |
| 2023 | 89,47 | 55,86 | 39,35 | 33,69 | 49,63 | 73,18 | 81,38 | 142,68 | 91,26 | 83,55 | 57,16 | 43,31 |
| 2024 | 106,94 | 49,02 | 41,11 | 96,34 | 33,07 | 52,15 | 99,62 | 144,21 | 54,08 | 93,58 | 66,87 | 44,75 |
| 2025 | 116,56 | 95,22 | 80,43 | 33,75 | 49,02 | 47,73 | 97,30 | 72,55 | 51,79 | 33,38 | 31,51 | 33,74 |
| 2026 | 77,43 | 105,41 | 75,41 | 45,79 | 46,47 | 34,30 | 74,64 | 97,07 | 53,05 | 64,66 | 47,54 | 39,75 |
| 2027 | 54,75 | 57,19 | 39,95 | 26,29 | 26,54 | 29,66 | 95,59 | 170,28 | 105,19 | 45,68 | 34,53 | 41,03 |
| 2028 | 43,81 | 74,23 | 42,51 | 34,08 | 32,55 | 40,95 | 65,66 | 97,14 | 82,88 | 75,58 | 36,11 | 74,90 |
| 2029 | 84,23 | 79,95 | 118,99 | 33,60 | 63,39 | 39,84 | 42,30 | 55,51 | 32,40 | 42,45 | 34,26 | 80,88 |
| 2030 | 46,21 | 37,50 | 46,10 | 29,90 | 41,35 | 46,44 | 56,45 | 90,24 | 49,05 | 82,18 | 72,71 | 35,79 |
| 2031 | 92,50 | 53,88 | 60,73 | 40,77 | 41,48 | 79,17 | 110,66 | 200,77 | 69,47 | 129,99 | 101,60 | 58,32 |
| 2032 | 117,94 | 84,89 | 110,80 | 44,68 | 57,74 | 27,85 | 60,96 | 112,62 | 98,99 | 33,89 | 24,12 | 60,16 |
| 2033 | 43,15 | 31,29 | 47,77 | 32,15 | 41,98 | 41,11 | 103,07 | 110,40 | 42,43 | 89,82 | 62,49 | 36,58 |
| 2034 | 32,36 | 29,65 | 21,06 | 29,81 | 29,49 | 42,33 | 80,29 | 172,32 | 47,49 | 56,18 | 45,04 | 42,05 |
| 2035 | 55,82 | 111,56 | 88,56 | 110,89 | 31,77 | 54,40 | 85,56 | 94,41 | 39,09 | 27,94 | 26,94 | 50,61 |
| 2036 | 40,16 | 69,27 | 48,56 | 22,28 | 24,58 | 27,51 | 44,15 | 106,13 | 32,78 | 48,88 | 42,54 | 25,21 |
| 2037 | 36,22 | 60,45 | 60,97 | 50,02 | 65,98 | 66,91 | 95,89 | 80,01 | 32,21 | 22,97 | 21,56 | 25,74 |
| 2038 | 40,45 | 39,53 | 26,10 | 20,86 | 15,49 | 30,23 | 55,55 | 94,13 | 42,09 | 66,74 | 58,25 | 27,12 |
| 2039 | 76,38 | 40,18 | 71,45 | 25,49 | 23,68 | 23,00 | 30,02 | 76,78 | 26,52 | 28,92 | 22,37 | 60,56 |
| 2040 | 40,11 | 51,82 | 39,71 | 24,93 | 28,18 | 37,31 | 41,19 | 57,42 | 47,69 | 24,32 | 15,63 | 17,16 |
| 2041 | 40,15 | 42,04 | 26,67 | 18,49 | 30,17 | 56,73 | 78,93 | 132,45 | 45,78 | 42,15 | 33,28 | 39,99 |
| 2042 | 52,66 | 36,91 | 32,75 | 30,11 | 33,79 | 23,07 | 44,15 | 43,90 | 32,32 | 33,18 | 22,03 | 36,92 |
| 2043 | 46,33 | 38,85 | 53,67 | 57,01 | 22,09 | 22,04 | 39,73 | 44,21 | 17,92 | 15,17 | 24,57 | 24,88 |
| 2044 | 44,22 | 76,65 | 18,14 | 33,17 | 27,09 | 34,23 | 69,27 | 35,54 | 25,75 | 21,84 | 17,84 | 19,38 |
| 2045 | 34,21 | 18,51 | 37,35 | 23,99 | 15,60 | 19,70 | 22,60 | 37,19 | 43,47 | 20,93 | 13,65 | 19,11 |
| 2046 | 35,04 | 47,96 | 27,53 | 17,60 | 11,42 | 23,55 | 38,94 | 60,92 | 19,96 | 23,62 | 17,30 | 24,20 |
| 2047 | 30,75 | 35,17 | 39,13 | 17,59 | 13,59 | 15,97 | 19,61 | 39,78 | 26,73 | 20,30 | 21,38 | 17,00 |
| 2048 | 28,28 | 18,52 | 23,26 | 10,71 | 14,30 | 28,18 | 30,35 | 42,71 | 56,27 | 30,27 | 27,09 | 43,13 |
| 2049 | 55,15 | 26,49 | 14,02 | 12,54 | 16,05 | 11,14 | 30,14 | 54,69 | 39,41 | 14,80 | 24,60 | 15,06 |
| 2050 | 30,23 | 38,04 | 14,92 | 11,20 | 12,53 | 12,80 | 29,74 | 23,22 | 21,53 | 15,10 | 15,21 | 13,05 |

Tabla 8-24 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez con embalse

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2021 | 57,48 | 87,78 | 86,84 | 43,85 | 72,84 | 39,00 | 82,20 | 140,16 | 41,25 | 18,04 | 31,10 | 30,58 |
| 2022 | 64,07 | 62,52 | 21,87 | 24,99 | 18,30 | 18,22 | 29,72 | 67,91 | 55,37 | 58,89 | 27,58 | 58,74 |
| 2023 | 44,91 | 29,71 | 20,12 | 19,05 | 28,91 | 47,29 | 42,40 | 80,85 | 68,47 | 40,31 | 29,54 | 25,51 |
| 2024 | 67,51 | 28,87 | 21,25 | 49,42 | 18,93 | 31,13 | 66,29 | 88,64 | 32,37 | 52,03 | 34,97 | 22,07 |
| 2025 | 60,17 | 50,55 | 41,66 | 20,37 | 28,19 | 29,83 | 65,91 | 45,16 | 33,55 | 19,28 | 17,40 | 21,32 |
| 2026 | 52,11 | 83,95 | 69,38 | 31,06 | 31,55 | 19,95 | 51,84 | 65,20 | 33,17 | 40,20 | 34,87 | 22,43 |
| 2027 | 37,90 | 38,13 | 24,31 | 17,87 | 16,76 | 18,38 | 57,38 | 78,08 | 81,23 | 30,90 | 21,59 | 25,31 |
| 2028 | 30,25 | 50,00 | 26,39 | 20,60 | 19,34 | 28,09 | 49,82 | 70,51 | 51,75 | 55,79 | 22,24 | 48,27 |
| 2029 | 76,45 | 55,48 | 80,66 | 28,13 | 51,93 | 25,53 | 29,32 | 38,30 | 23,15 | 31,14 | 22,41 | 57,77 |
| 2030 | 34,53 | 25,10 | 33,82 | 23,59 | 29,32 | 32,55 | 39,30 | 78,86 | 34,90 | 60,23 | 63,07 | 31,45 |
| 2031 | 77,31 | 37,11 | 45,11 | 34,19 | 44,59 | 65,75 | 75,36 | 109,38 | 87,73 | 76,76 | 70,76 | 50,80 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 2032 | 78,29 | 102,37 | 86,16 | 40,80 | 44,46 | 22,36 | 55,08 | 94,53 | 76,63 | 29,43 | 21,01 | 49,16 |
| 2033 | 40,15 | 27,18 | 38,88 | 33,42 | 40,76 | 36,81 | 76,47 | 98,03 | 38,99 | 71,48 | 69,46 | 30,25 |
| 2034 | 31,07 | 26,76 | 19,53 | 28,99 | 32,49 | 46,41 | 76,75 | 91,17 | 66,19 | 65,91 | 53,10 | 45,45 |
| 2035 | 71,80 | 92,30 | 103,92 | 108,96 | 36,81 | 63,80 | 100,79 | 107,86 | 38,16 | 25,55 | 28,37 | 54,70 |
| 2036 | 37,72 | 70,98 | 47,74 | 23,80 | 25,77 | 27,01 | 47,17 | 80,33 | 32,89 | 45,29 | 38,31 | 25,16 |
| 2037 | 34,50 | 64,83 | 59,43 | 61,69 | 74,27 | 69,95 | 86,18 | 79,30 | 41,84 | 25,30 | 20,36 | 29,84 |
| 2038 | 44,68 | 50,85 | 27,07 | 22,65 | 17,41 | 31,24 | 61,64 | 84,45 | 64,33 | 83,65 | 73,75 | 31,28 |
| 2039 | 76,56 | 48,26 | 78,69 | 30,73 | 30,79 | 29,70 | 33,67 | 72,83 | 31,92 | 37,49 | 25,98 | 67,50 |
| 2040 | 47,17 | 77,19 | 79,26 | 39,51 | 48,40 | 47,34 | 50,31 | 66,70 | 55,49 | 27,22 | 19,17 | 22,39 |
| 2041 | 60,64 | 64,62 | 34,14 | 26,85 | 48,49 | 80,22 | 95,61 | 189,06 | 76,68 | 103,69 | 48,78 | 50,72 |
| 2042 | 69,17 | 47,44 | 43,07 | 55,51 | 53,33 | 32,41 | 76,79 | 72,21 | 45,70 | 55,43 | 31,77 | 63,85 |
| 2043 | 65,62 | 54,08 | 86,98 | 79,65 | 31,79 | 32,74 | 71,70 | 68,99 | 26,80 | 21,64 | 41,93 | 38,43 |
| 2044 | 83,84 | 90,89 | 36,44 | 55,75 | 45,41 | 57,49 | 89,73 | 72,26 | 39,16 | 36,49 | 33,10 | 28,73 |
| 2045 | 58,46 | 31,44 | 58,64 | 49,36 | 27,24 | 29,85 | 36,46 | 70,79 | 102,01 | 36,80 | 24,00 | 38,36 |
| 2046 | 83,64 | 94,22 | 58,83 | 29,90 | 20,40 | 39,75 | 75,77 | 94,00 | 41,51 | 41,73 | 27,82 | 41,60 |
| 2047 | 61,37 | 87,82 | 84,16 | 34,84 | 24,29 | 27,99 | 34,17 | 76,33 | 55,56 | 39,02 | 44,20 | 30,77 |
| 2048 | 57,57 | 37,54 | 43,27 | 22,37 | 35,49 | 58,82 | 55,27 | 82,20 | 92,87 | 100,37 | 83,37 | 74,78 |
| 2049 | 119,63 | 86,86 | 36,21 | 24,49 | 32,40 | 23,86 | 63,07 | 85,11 | 120,16 | 39,70 | 57,95 | 33,70 |
| 2050 | 76,48 | 75,10 | 34,43 | 23,74 | 26,50 | 28,04 | 67,41 | 49,62 | 52,75 | 33,08 | 31,15 | 33,22 |

Tabla 8-25 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez con almacenamiento y reducción en la dotación (Alternativa 5)

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2021 | 57,48 | 87,78 | 86,84 | 43,85 | 72,84 | 39,00 | 82,20 | 140,16 | 41,25 | 18,04 | 31,10 | 30,58 |
| 2022 | 62,37 | 60,85 | 21,29 | 24,32 | 17,81 | 17,74 | 28,93 | 66,10 | 53,90 | 57,32 | 26,85 | 57,18 |
| 2023 | 42,53 | 28,13 | 19,05 | 18,04 | 27,37 | 44,78 | 40,15 | 76,56 | 64,83 | 38,17 | 27,97 | 24,15 |
| 2024 | 62,13 | 26,57 | 19,56 | 45,48 | 17,42 | 28,65 | 61,00 | 81,57 | 29,79 | 47,88 | 32,18 | 20,31 |
| 2025 | 53,78 | 45,18 | 37,23 | 18,21 | 25,20 | 26,66 | 58,91 | 40,36 | 29,98 | 17,23 | 15,55 | 19,05 |
| 2026 | 45,46 | 73,24 | 60,53 | 27,10 | 27,52 | 17,40 | 45,22 | 56,89 | 28,94 | 35,07 | 30,42 | 19,57 |
| 2027 | 32,26 | 32,46 | 20,69 | 15,21 | 14,27 | 15,64 | 48,84 | 66,46 | 69,14 | 26,30 | 18,38 | 21,54 |
| 2028 | 25,10 | 41,49 | 21,90 | 17,10 | 16,05 | 23,31 | 41,34 | 58,52 | 42,95 | 46,30 | 18,45 | 40,06 |
| 2029 | 61,82 | 44,86 | 65,23 | 22,75 | 41,99 | 20,65 | 23,71 | 30,97 | 18,72 | 25,18 | 18,12 | 46,72 |
| 2030 | 27,19 | 19,76 | 26,63 | 18,58 | 23,09 | 25,63 | 30,95 | 62,10 | 27,48 | 47,43 | 49,66 | 24,76 |
| 2031 | 59,23 | 28,43 | 34,56 | 26,20 | 34,16 | 50,37 | 57,74 | 83,80 | 67,22 | 58,81 | 54,21 | 38,92 |
| 2032 | 58,32 | 76,26 | 64,18 | 30,39 | 33,12 | 16,65 | 41,03 | 70,42 | 57,08 | 21,92 | 15,65 | 36,62 |
| 2033 | 29,05 | 19,67 | 28,13 | 24,18 | 29,49 | 26,64 | 55,34 | 70,93 | 28,21 | 51,73 | 50,27 | 21,89 |
| 2034 | 21,82 | 18,80 | 13,72 | 20,36 | 22,82 | 32,60 | 53,91 | 64,03 | 46,49 | 46,29 | 37,30 | 31,92 |
| 2035 | 48,90 | 62,87 | 70,78 | 74,21 | 25,07 | 43,46 | 68,65 | 73,46 | 25,99 | 17,40 | 19,32 | 37,26 |
| 2036 | 24,89 | 46,83 | 31,50 | 15,70 | 17,00 | 17,82 | 31,12 | 53,01 | 21,70 | 29,88 | 25,28 | 16,60 |
| 2037 | 22,03 | 41,40 | 37,95 | 39,40 | 47,42 | 44,67 | 55,03 | 50,64 | 26,72 | 16,16 | 13,00 | 19,05 |
| 2038 | 27,58 | 31,39 | 16,71 | 13,98 | 10,75 | 19,28 | 38,05 | 52,13 | 39,71 | 51,64 | 45,53 | 19,31 |
| 2039 | 45,63 | 28,76 | 46,90 | 18,32 | 18,35 | 17,70 | 20,07 | 43,41 | 19,03 | 22,35 | 15,49 | 40,23 |
| 2040 | 27,12 | 44,37 | 45,56 | 22,71 | 27,82 | 27,21 | 28,92 | 38,34 | 31,90 | 15,64 | 11,02 | 12,87 |
| 2041 | 33,57 | 35,77 | 18,90 | 14,86 | 26,84 | 44,41 | 52,92 | 104,65 | 42,45 | 57,39 | 27,00 | 28,08 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2042 | 36,82 | 25,25 | 22,92 | 29,55 | 28,38 | 17,25 | 40,88 | 38,43 | 24,33 | 29,51 | 16,91 | 33,99 |
| 2043 | 33,53 | 27,63 | 44,45 | 40,70 | 16,25 | 16,73 | 36,64 | 35,25 | 13,70 | 11,06 | 21,43 | 19,64 |
| 2044 | 41,06 | 44,51 | 17,85 | 27,30 | 22,24 | 28,15 | 43,95 | 35,39 | 19,18 | 17,87 | 16,21 | 14,07 |
| 2045 | 27,39 | 14,73 | 27,47 | 23,12 | 12,76 | 13,99 | 17,08 | 33,16 | 47,79 | 17,24 | 11,25 | 17,97 |
| 2046 | 37,72 | 42,49 | 26,53 | 13,49 | 9,20 | 17,93 | 34,17 | 42,40 | 18,72 | 18,82 | 12,55 | 18,76 |
| 2047 | 26,60 | 38,07 | 36,48 | 15,10 | 10,53 | 12,13 | 14,81 | 33,09 | 24,09 | 16,91 | 19,16 | 13,34 |
| 2048 | 23,95 | 15,62 | 18,00 | 9,31 | 14,76 | 24,47 | 22,99 | 34,19 | 38,63 | 41,75 | 34,68 | 31,11 |
| 2049 | 47,67 | 34,61 | 14,43 | 9,76 | 12,91 | 9,51 | 25,13 | 33,91 | 47,88 | 15,82 | 23,09 | 13,43 |
| 2050 | 29,14 | 28,61 | 13,11 | 9,04 | 10,10 | 10,68 | 25,68 | 18,90 | 20,10 | 12,60 | 11,87 | 12,65 |

Tabla 8-26 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez
con embalse y reubicación de población

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2021 | 55,00 | 83,99 | 83,09 | 41,95 | 69,70 | 37,32 | 78,65 | 134,11 | 39,47 | 17,26 | 29,76 | 29,26 |
| 2022 | 59,98 | 58,52 | 20,48 | 23,39 | 17,13 | 17,06 | 27,82 | 63,57 | 51,83 | 55,13 | 25,82 | 54,99 |
| 2023 | 41,13 | 27,21 | 18,43 | 17,45 | 26,47 | 43,31 | 38,83 | 74,04 | 62,70 | 36,91 | 27,05 | 23,36 |
| 2024 | 60,47 | 25,86 | 19,04 | 44,27 | 16,96 | 27,89 | 59,38 | 79,40 | 28,99 | 46,60 | 31,33 | 19,77 |
| 2025 | 52,72 | 44,28 | 36,49 | 17,85 | 24,70 | 26,14 | 57,75 | 39,56 | 29,39 | 16,89 | 15,25 | 18,68 |
| 2026 | 44,67 | 71,97 | 59,47 | 26,63 | 27,04 | 17,10 | 44,43 | 55,89 | 28,43 | 34,46 | 29,89 | 19,23 |
| 2027 | 31,78 | 31,98 | 20,39 | 14,98 | 14,06 | 15,41 | 48,12 | 65,48 | 68,12 | 25,91 | 18,11 | 21,22 |
| 2028 | 24,82 | 41,02 | 21,65 | 16,90 | 15,86 | 23,04 | 40,87 | 57,84 | 42,46 | 45,77 | 18,24 | 39,60 |
| 2029 | 61,35 | 44,52 | 64,73 | 22,57 | 41,67 | 20,49 | 23,52 | 30,73 | 18,57 | 24,99 | 17,98 | 46,36 |
| 2030 | 27,09 | 19,69 | 26,54 | 18,52 | 23,01 | 25,55 | 30,84 | 61,89 | 27,39 | 47,27 | 49,49 | 24,68 |
| 2031 | 59,36 | 28,49 | 34,64 | 26,26 | 34,24 | 50,49 | 57,87 | 83,99 | 67,37 | 58,95 | 54,34 | 39,01 |
| 2032 | 58,82 | 76,91 | 64,74 | 30,65 | 33,41 | 16,80 | 41,38 | 71,03 | 57,57 | 22,11 | 15,78 | 36,94 |
| 2033 | 29,51 | 19,98 | 28,58 | 24,56 | 29,96 | 27,06 | 56,21 | 72,05 | 28,65 | 52,54 | 51,06 | 22,23 |
| 2034 | 22,34 | 19,24 | 14,04 | 20,84 | 23,36 | 33,37 | 55,18 | 65,55 | 47,58 | 47,39 | 38,18 | 32,68 |
| 2035 | 50,49 | 64,91 | 73,07 | 76,61 | 25,88 | 44,86 | 70,87 | 75,84 | 26,83 | 17,97 | 19,95 | 38,47 |
| 2036 | 25,96 | 48,84 | 32,85 | 16,37 | 17,73 | 18,58 | 32,45 | 55,28 | 22,63 | 31,16 | 26,36 | 17,32 |
| 2037 | 23,22 | 43,65 | 40,01 | 41,54 | 50,00 | 47,09 | 58,02 | 53,39 | 28,17 | 17,03 | 13,71 | 20,09 |
| 2038 | 29,43 | 33,49 | 17,83 | 14,92 | 11,47 | 20,58 | 40,60 | 55,63 | 42,37 | 55,10 | 48,58 | 20,60 |
| 2039 | 49,33 | 31,09 | 50,70 | 19,80 | 19,84 | 19,13 | 21,70 | 46,92 | 20,57 | 24,15 | 16,74 | 43,49 |
| 2040 | 29,73 | 48,65 | 49,95 | 24,90 | 30,50 | 29,83 | 31,71 | 42,03 | 34,97 | 17,15 | 12,08 | 14,11 |
| 2041 | 37,40 | 39,85 | 21,05 | 16,56 | 29,91 | 49,47 | 58,96 | 116,59 | 47,29 | 63,94 | 30,09 | 31,28 |
| 2042 | 41,74 | 28,62 | 25,99 | 33,50 | 32,18 | 19,56 | 46,34 | 43,57 | 27,58 | 33,45 | 19,17 | 38,53 |
| 2043 | 38,74 | 31,93 | 51,35 | 47,02 | 18,77 | 19,33 | 42,33 | 40,73 | 15,83 | 12,78 | 24,75 | 22,69 |
| 2044 | 48,42 | 52,49 | 21,05 | 32,20 | 26,23 | 33,20 | 51,83 | 41,74 | 22,62 | 21,08 | 19,12 | 16,59 |
| 2045 | 33,03 | 17,76 | 33,13 | 27,88 | 15,39 | 16,87 | 20,60 | 39,99 | 57,63 | 20,79 | 13,56 | 21,67 |
| 2046 | 46,24 | 52,09 | 32,53 | 16,53 | 11,28 | 21,98 | 41,89 | 51,98 | 22,95 | 23,07 | 15,38 | 23,00 |
| 2047 | 33,20 | 47,51 | 45,53 | 18,85 | 13,14 | 15,15 | 18,49 | 41,30 | 30,06 | 21,11 | 23,91 | 16,65 |
| 2048 | 30,48 | 19,87 | 22,90 | 11,84 | 18,79 | 31,14 | 29,26 | 43,52 | 49,16 | 53,13 | 44,14 | 39,59 |
| 2049 | 61,96 | 44,98 | 18,75 | 12,69 | 16,78 | 12,36 | 32,67 | 44,08 | 62,23 | 20,56 | 30,01 | 17,45 |
| 2050 | 38,75 | 38,05 | 17,44 | 12,03 | 13,43 | 14,21 | 34,15 | 25,14 | 26,73 | 16,76 | 15,78 | 16,83 |

Tabla 8-27 Valores del IUA para el periodo 2021 a 2050 de la cuenca del río Meléndez para la Alternativa 7

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2021 | 55,00 | 83,99 | 83,09 | 41,95 | 69,70 | 37,32 | 78,65 | 134,11 | 39,47 | 17,26 | 29,76 | 29,26 |
| 2022 | 58,38 | 56,97 | 19,93 | 22,77 | 16,67 | 16,61 | 27,08 | 61,88 | 50,46 | 53,66 | 25,14 | 53,53 |
| 2023 | 38,95 | 25,76 | 17,45 | 16,52 | 25,07 | 41,01 | 36,77 | 70,11 | 59,37 | 34,95 | 25,61 | 22,12 |
| 2024 | 55,66 | 23,80 | 17,52 | 40,74 | 15,61 | 25,67 | 54,65 | 73,08 | 26,69 | 42,90 | 28,83 | 18,20 |
| 2025 | 47,13 | 39,59 | 32,62 | 15,95 | 22,08 | 23,36 | 51,62 | 35,36 | 26,28 | 15,10 | 13,63 | 16,69 |
| 2026 | 38,98 | 62,81 | 51,90 | 23,24 | 23,60 | 14,92 | 38,78 | 48,78 | 24,81 | 30,07 | 26,08 | 16,78 |
| 2027 | 27,07 | 27,23 | 17,36 | 12,76 | 11,97 | 13,13 | 40,98 | 55,77 | 58,01 | 22,07 | 15,42 | 18,07 |
| 2028 | 20,61 | 34,06 | 17,98 | 14,04 | 13,18 | 19,14 | 33,94 | 48,04 | 35,26 | 38,01 | 15,15 | 32,89 |
| 2029 | 49,65 | 36,03 | 52,39 | 18,27 | 33,72 | 16,58 | 19,04 | 24,87 | 15,03 | 20,22 | 14,55 | 37,52 |
| 2030 | 21,36 | 15,52 | 20,92 | 14,60 | 18,14 | 20,14 | 24,31 | 48,79 | 21,59 | 37,26 | 39,01 | 19,46 |
| 2031 | 45,54 | 21,86 | 26,57 | 20,14 | 26,27 | 38,73 | 44,40 | 64,44 | 51,69 | 45,22 | 41,69 | 29,92 |
| 2032 | 43,89 | 57,39 | 48,30 | 22,87 | 24,92 | 12,53 | 30,88 | 52,99 | 42,96 | 16,50 | 11,78 | 27,56 |
| 2033 | 21,40 | 14,48 | 20,72 | 17,81 | 21,72 | 19,62 | 40,76 | 52,24 | 20,78 | 38,10 | 37,02 | 16,12 |
| 2034 | 15,73 | 13,55 | 9,89 | 14,67 | 16,45 | 23,49 | 38,85 | 46,15 | 33,50 | 33,36 | 26,88 | 23,01 |
| 2035 | 34,49 | 44,34 | 49,91 | 52,33 | 17,68 | 30,65 | 48,41 | 51,81 | 18,33 | 12,27 | 13,63 | 26,28 |
| 2036 | 17,19 | 32,34 | 21,75 | 10,84 | 11,74 | 12,30 | 21,49 | 36,60 | 14,99 | 20,63 | 17,45 | 11,46 |
| 2037 | 14,89 | 27,99 | 25,65 | 26,63 | 32,06 | 30,19 | 37,20 | 34,23 | 18,06 | 10,92 | 8,79 | 12,88 |
| 2038 | 18,25 | 20,77 | 11,06 | 9,25 | 7,11 | 12,76 | 25,18 | 34,50 | 26,28 | 34,17 | 30,13 | 12,78 |
| 2039 | 29,57 | 18,64 | 30,39 | 11,87 | 11,89 | 11,47 | 13,00 | 28,12 | 12,33 | 14,48 | 10,03 | 26,07 |
| 2040 | 17,20 | 28,14 | 28,90 | 14,40 | 17,65 | 17,26 | 18,34 | 24,32 | 20,23 | 9,92 | 6,99 | 8,16 |
| 2041 | 20,85 | 22,22 | 11,74 | 9,23 | 16,68 | 27,59 | 32,88 | 65,02 | 26,37 | 35,66 | 16,78 | 17,44 |
| 2042 | 22,41 | 15,37 | 13,95 | 17,98 | 17,27 | 10,50 | 24,88 | 23,39 | 14,81 | 17,96 | 10,29 | 20,68 |
| 2043 | 19,99 | 16,47 | 26,50 | 24,27 | 9,69 | 9,97 | 21,85 | 21,02 | 8,17 | 6,59 | 12,77 | 11,71 |
| 2044 | 23,98 | 26,00 | 10,42 | 15,95 | 12,99 | 16,44 | 25,67 | 20,67 | 11,20 | 10,44 | 9,47 | 8,22 |
| 2045 | 15,67 | 8,43 | 15,72 | 13,23 | 7,30 | 8,00 | 9,77 | 18,98 | 27,35 | 9,87 | 6,44 | 10,28 |
| 2046 | 21,16 | 23,83 | 14,88 | 7,56 | 5,16 | 10,06 | 19,17 | 23,78 | 10,50 | 10,56 | 7,04 | 10,52 |
| 2047 | 14,63 | 20,93 | 20,06 | 8,31 | 5,79 | 6,67 | 8,15 | 18,20 | 13,24 | 9,30 | 10,54 | 7,33 |
| 2048 | 12,91 | 8,42 | 9,70 | 5,02 | 7,96 | 13,19 | 12,40 | 18,44 | 20,83 | 22,51 | 18,70 | 16,77 |
| 2049 | 25,20 | 18,30 | 7,63 | 5,16 | 6,82 | 5,03 | 13,29 | 17,93 | 25,31 | 8,36 | 12,21 | 7,10 |
| 2050 | 15,11 | 14,83 | 6,80 | 4,69 | 5,23 | 5,54 | 13,31 | 9,80 | 10,42 | 6,53 | 6,15 | 6,56 |