

4.4 HIDROGRAFÍA

Para la cuenca del Río Nare, se realizó un ajuste de los límites geográficos de la misma, respecto a los límites iniciales establecidos en los términos de referencia, ya que la escala de los insumos que se tenían para dicha delimitación era una escala mas detallada y permitió ajustar dichos límites. La descripción de los ajustes realizados y la delimitación final de la cuenca se encuentran explicados en detalle en el capítulo 2 del informe de diagnóstico, en la sección correspondiente con la caracterización de la cuenca.

4.4.1 Caracterización hidrográfica de la cuenca del Río Nare y subcuencas

La cuenca corresponde a la subzona hidrográfica del Río Nare clasificada por el IDEAM con código 2308-04, con área aproximada de 944.41 Km². Con una altura máxima de 2513 msnm y su punto más bajo de 124 msnm. Respecto a la delimitación inicial entregada en los términos de referencia, el límite final difiere en la parte baja, tal como se muestra en la Figura 90. Este límite se obtiene a partir de las direcciones de flujo derivadas del Modelo Digital de Elevación de terreno (DEM) de resolución 10m x 10m, generado por el Consorcio a partir de la cartografía base entregada por CORNARE. La zona donde los límites presentan mayor diferencia, corresponde con la parte baja. Para hacer un chequeo del límite obtenido por el modelo, se verificó que los drenajes efectivamente fueran en la dirección marcada por el límite a partir de la ortofoto del servicio WMTW de la Gobernación de Antioquia, en escala 1:10000, disponible para el área.

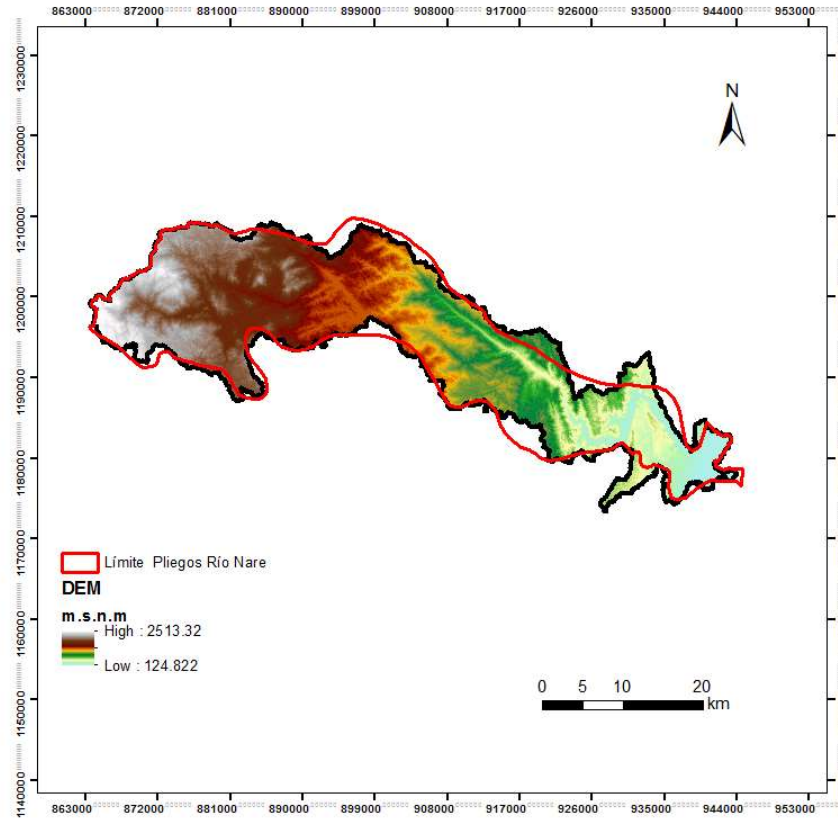


Figura 90. Límite obtenido por el Consorcio para la cuenca del Río Nare y límite entregado en pliegos.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Con base en el Modelo Digital de Elevación de terreno (DEM) de resolución 10m x 10m, generado por el Consorcio a partir de la cartografía base entregada por CORNARE, utilizando las herramientas de cálculo hidrológico del ArcGis 10.1 se obtienen las direcciones de flujo, el flujo acumulado y las subcuencas del Río Nare (Ver Figura 91). Las subcuencas obtenidas se han verificado sobre la base de la red de drenaje 1:10000 entregada por la Corporación. En algunos casos donde la red de drenaje no coincidía con la red generada a partir del DEM, se decide dejar la delimitación obtenida con este último ya que se considera que este resultado es de una resolución mayor que la red base. Sin embargo, en las zonas planas y embalses donde el drenaje resultante del modelo presenta errores, se ajusta la forma de las subcuencas para que coincida con el drenaje 1:10000.

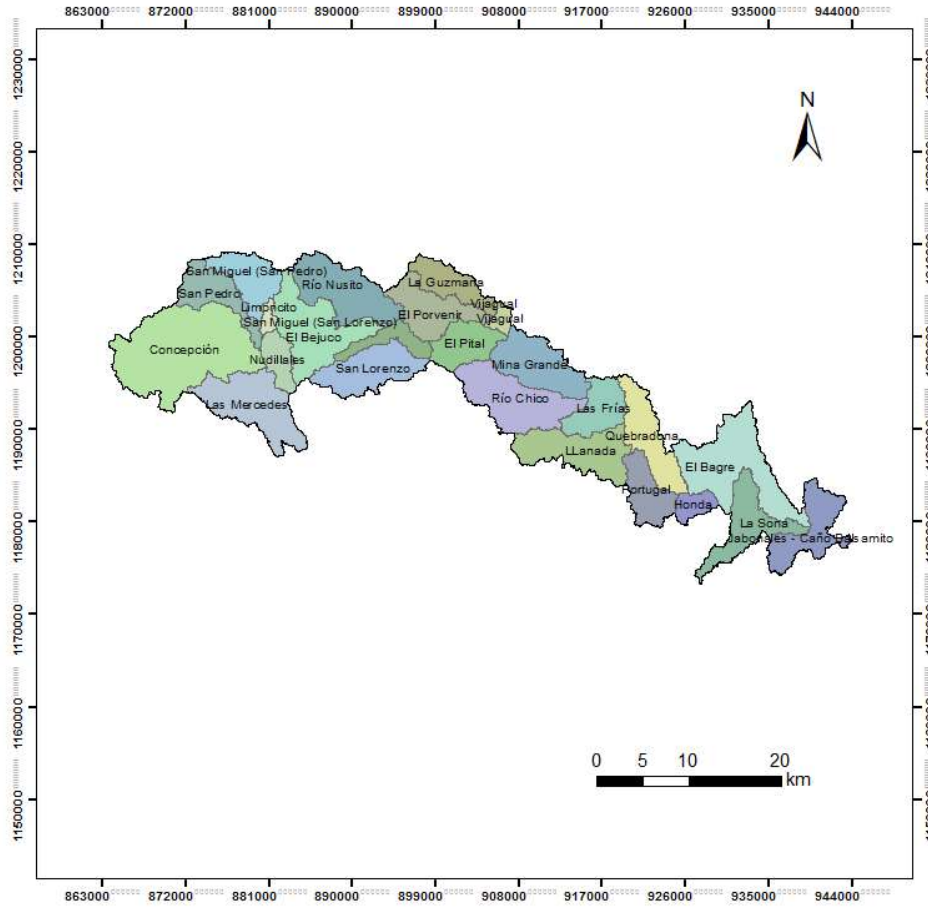


Figura 91. Delimitación de Subcuencas de la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.4.1.1 Codificación de subcuencas

Siguiendo la metodología presentada por el IDEAM, para la “Zonificación y codificación de las cuencas hidrográficas en Colombia” (IDEAM, 2013) se han establecido para la cuenca del Río Nare los códigos de las subcuencas, hasta el nivel subsiguiente 2. En la Tabla 60, se presentan las subcuencas establecidas junto con el nombre asignado según la corriente principal y el código. El orden en la codificación de los niveles se dio a partir del punto de entrega o desembocadura y por la derecha se inició la asignación de valores de forma consecutiva comenzando por 01 hasta que se retornó al punto inicial.

Tabla 60. Código y Nombre de subcuencas

Código subcuenca	Nombre subcuenca-corriente
2308-04-01	Jabonales-Caño Balsamito
2308-04-02	La Sona
2308-04-03	El Bagre
2308-04-04	Portugal
2308-04-05	Honda
2308-04-06	Llanada
2308-04-07	Quebradona
2308-04-08	Rio Chico
2308-04-09	Las Frías
2308-04-10	La Guzmaná
2308-04-11	Mina Grande
2308-04-12	El Porvenir
2308-04-13	Vijagual
2308-04-14	Rio Nusito
2308-04-15	El Pital
2308-04-16	San Lorenzo
2308-04-17	San Miguel (San Lorenzo)
2308-04-18	San Miguel (San Pedro)
2308-04-19	El Bejuco
2308-04-20	San Pedro
2308-04-21	Limoncito
2308-04-22	Concepción
2308-04-23	Nudillales
2308-04-24	Las Mercedes

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.4.1.2 Caracterización de los sistemas y patrones de drenaje

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada se utiliza la densidad de drenaje (Dd). Establecida como la relación de la longitud de todos los ríos de una cuenca con su superficie. El total de cursos de agua está dado por la suma de las longitudes de las corrientes de cada orden encontrado en la cuenca. Se puede considerar que valores de Dd mayores a 3 kms/km² indican la eficiencia de la red de drenaje. Esta toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de la Dd corresponden a grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas.

Los estudios realizados con los sistemas de drenaje, han permitido diferenciar cierto número de éstos, basados exclusivamente en su forma, lo cual ha dado lugar a una clasificación de estos en patrones de drenaje (*originados por ríos erosionales*), y patrones de drenaje (*originados por ríos deposicionales*). Para la cuenca del Río Nare, la densidad de drenaje es de 5.8 km/km², la cual es mayor a 3 km/km², rango a partir del cual en Colombia se consideran como cuencas bien drenadas.

La red de drenaje para la cuenca del Río Negro se observa en la Figura 92, donde a su vez se presenta el ordenamiento de la cuenca de acuerdo al sistema de Horton-Straler.

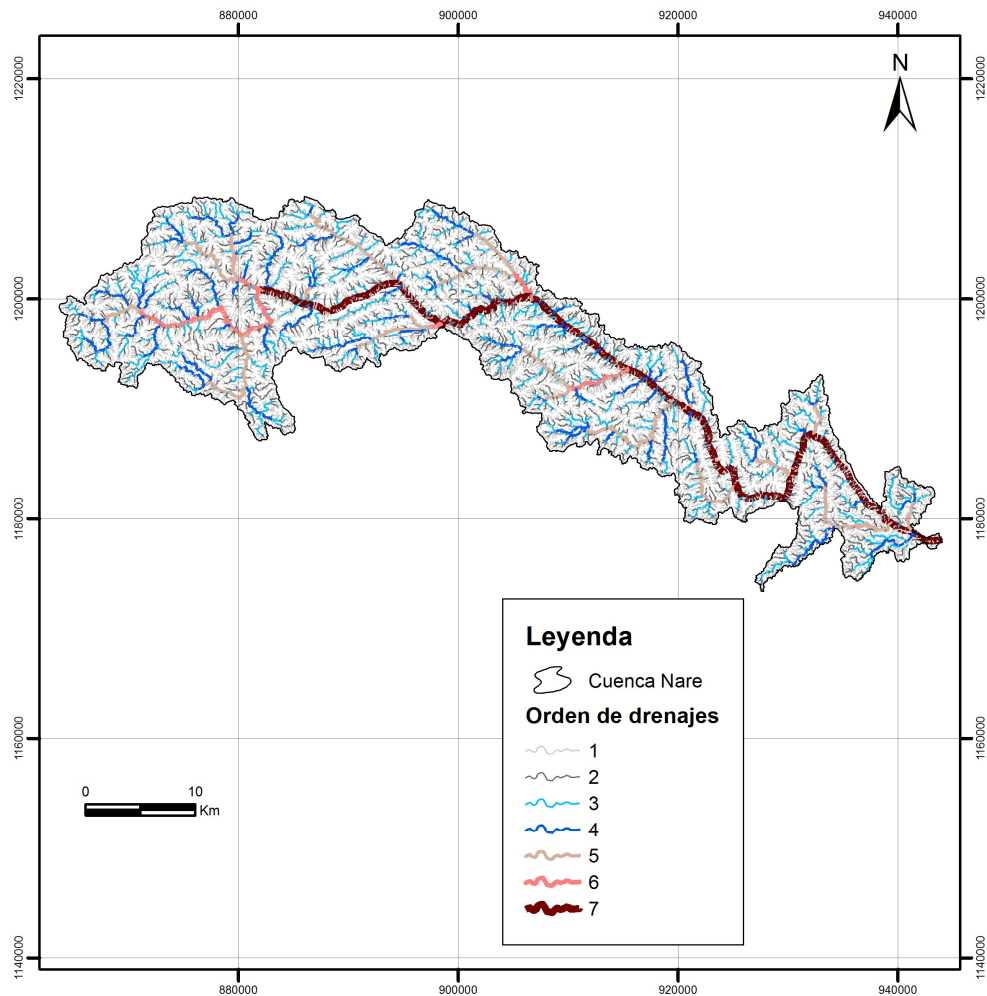


Figura 92. Sistema de drenaje Cuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tal como se observa en la Figura 92, y según la clasificaicón mostrada en la Figura 93, la cuenca del río Nare presenta un sistema de drenaje **subdendritico**, obedeciendo a una modificación del

sistema **dentritico** en el cual existe un control de pendientes en los cauces de segundo y tercer orden, produciendo en las zonas correspondientes un cierto grado de paralelismo.

Adicionalmente, según la clasificación de corrientes individuales, propuesta por Leopold y Wolman (1957), el cauce del Río Nare, tiene **un patrón de alineamiento recto** (ver Figura 94), con una sinuosidad menor de 1.5, aunque su thalweg presenta un alineamiento sinuoso, discurriendo a través de barras alternas. Los ríos de montaña generalmente son rectos y su perfil presenta una configuración de saltos y pozos (Posada, 1994). Estos cauces rectos se consideran en un estado de transición hacia cauces meándricos.

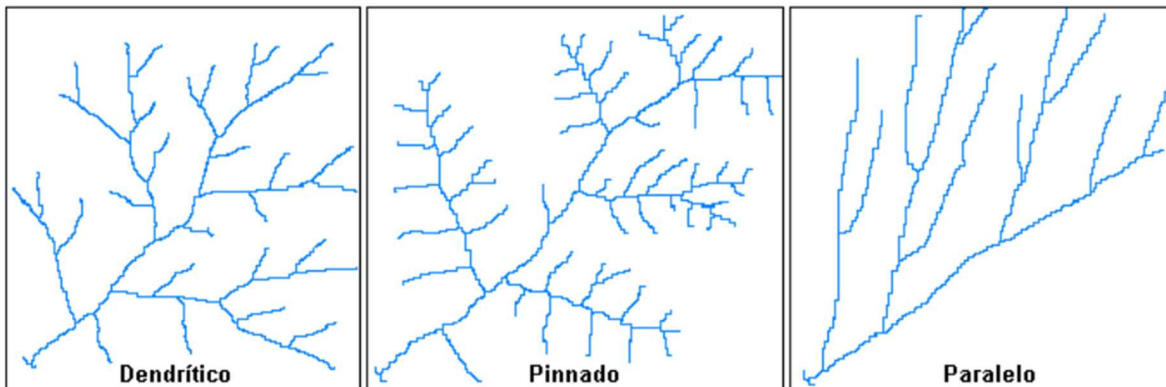


Figura 93. Patrones de drenaje

Fuente: Caracterización cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Ibagué, 2001.

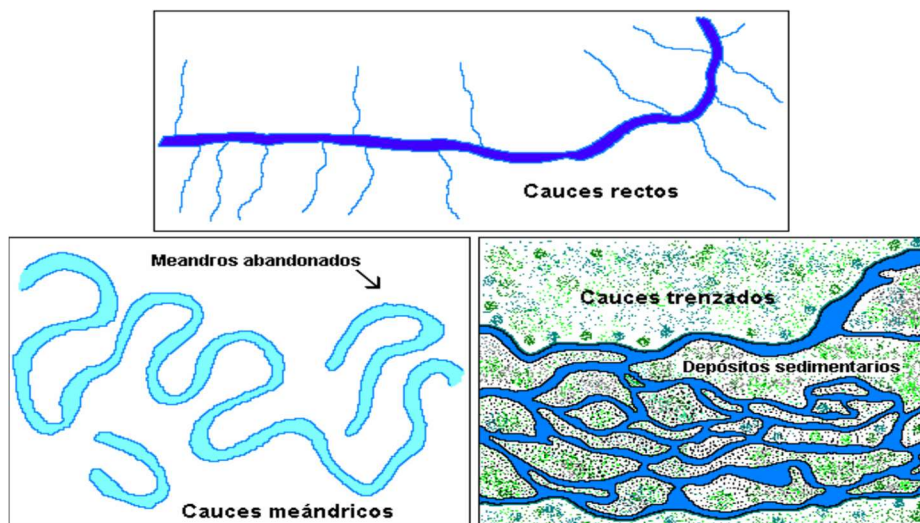


Figura 94. Patrón de drenajes individuales o de alineamiento

Fuente: Caracterización cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima (2001)

4.4.2 Caracterización hidrográfica de las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales de la cuenca del Río Nare

De acuerdo a lo que se presentará en la sección 4.7.3, en la cuenca del Río Nare se tienen 9 concesiones para acueductos municipales, ubicadas todas en la parte alta de la cuenca. Las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales, asociadas a los puntos de concesión, se han analizado desde la morfometría e hidrografía, considerando su interés estratégico para la gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Nare.

4.4.2.1 Delimitación de microcuencas abastecedoras de acueductos municipales

Partiendo de las coordenadas reportadas en la base de datos entregada por CORNARE, donde se relacionan las concesiones municipales dentro de la cuenca, se realizó un análisis del área drenante a cada punto. Mediante este ejercicio se evidenció que había algunos puntos de captación que tenían áreas pequeñas en las cuales resultaba muy compleja e imprecisa la modelación hidrológica, y la caracterización morfométrica e hidrológica dada la escala del DEM. Con el fin de obtener la caracterización morfométrica, hidrográfica, la oferta hídrica y los indicadores de presión sobre el recurso hídrico para estas microcuencas fue necesario obtener algunos puntos de cierre en la concesión ubicada más aguas abajo sobre la misma corriente, o que englobaran varias concesiones muy cercanas para facilitar la modelación hidrológica en dichos puntos. En la Figura 95 se presenta el detalle de la parte alta de la cuenca del Río Nare, donde se aprecian las microcuencas abastecedoras municipales a las cuales se les obtuvo la hidrografía y morfometría, delimitadas a partir de los puntos de cierre. Como se observa en muchos casos ambos puntos se superponen el punto de modelación y el punto inicial de ubicación de la concesión. En la Tabla 61 se encuentra la relación del municipio para el cual es la concesión y el nombre asignado a la microcuenca abastecedora. El paréntesis que acompaña al nombre, contiene el número de concesiones que han sido agrupadas en dicha microcuenca.

Tabla 61. Relación de Municipios para los cuales se hace la concesión y el nombre asignado a la microcuenca.

Municipio	Nombre
Alejandría	Alejandría (1)
Concepción	Concepción (4)
Santo Domingo	Santo Domingo 1
Santo Domingo	Santo Domingo 2 (2)
Santo Domingo	Santo Domingo 3

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016. Nota: en paréntesis al lado del nombre de la microcuenca se encuentra el número de concesiones agrupadas dentro de esta.

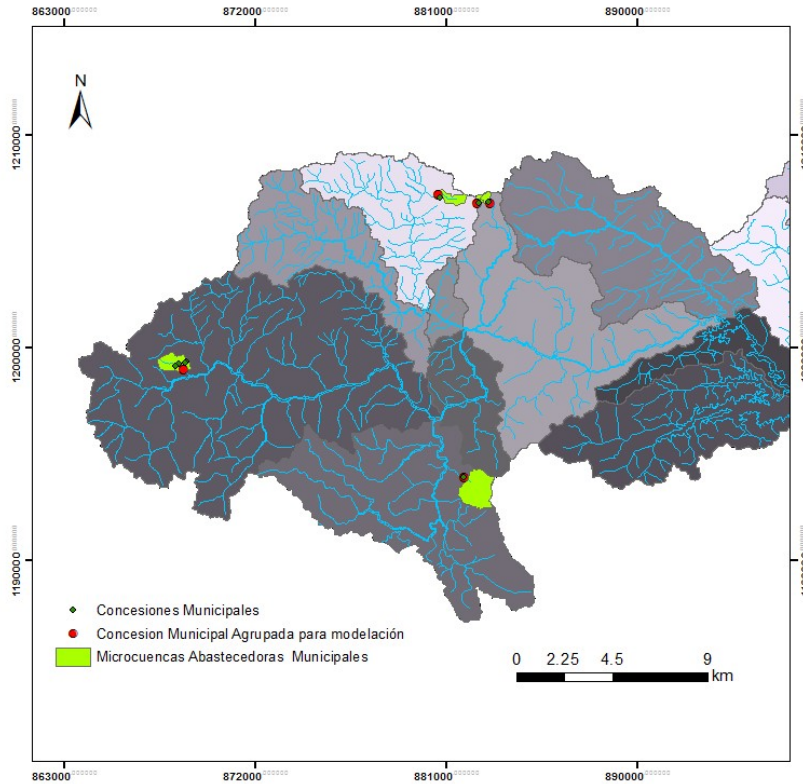


Figura 95. Microcuencas abastecedoras de acueductos municipales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.4.2.2 Sistema de drenaje de las microcuencas abastecedoras

Para las microcuencas abastecedoras se establecen los mismos patrones de drenaje que para las subcuencas que las contienen, siendo estos subdenítricos. Las densidades de drenaje se han calculado para estas microcuencas, y como se observa en la Tabla 62, estas son de un orden de magnitud similar al de la cuenca y subcuencas, lo cual representa una tipo de drenaje homogéneo en toda la cuenca y procesos de erosión similares en toda su extensión.

Tabla 62. Densidad de drenaje de las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales.

Nombre Quebrada	Área (km ²)	Longitud drenaje (km)	Dd
Alejandría (1)	2.27	1.82	0.8
Concepción (4)	1.05	1.58	1.5
Santo Domingo (1)	0.53	1.33	2.5

Santo Domingo (2)	0.12	0.432	3.6
Santo Domingo (3)	0.19	0.53	2.8

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.4.2.3 Codificación de las microcuencas abastecedoras

No se realiza la codificación de las mismas, ya que en este POMCA el análisis general se ha realizado para el nivel subsiguiente 2, y por su tamaño estas microcuencas corresponden con niveles subsiguientes 3 o mayores, cuya codificación queda por fuera del alcance de este POMCA.

4.5 MORFOMETRÍA

Los estudios morfométricos son de gran importancia en el estudio de cualquier cuenca, ya que ofrecen un parámetro de comparación y/o interpretación de los fenómenos que ocurren en ésta. Un ejemplo claro de esto se encuentra en el área, ya que constituye un criterio para establecer la magnitud del caudal.

Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

4.5.1 Morfometría de la cuenca del Río Nare y subcuencas

Los parámetros físicos de la cuenca dan cuenta principalmente de su forma y de su red de drenaje y son relacionados de diversa forma con la respuesta de la cuenca ante un evento de lluvia. Los parámetros principales son el área, expresada como la proyección horizontal de la superficie de la cuenca, normalmente en km², y el perímetro de la divisoria de aguas, expresado en km o m. A continuación, se describen los coeficientes que describen la morfología de la cuenca, derivados de estas dos características principales. En la Tabla 68 se presentan los valores obtenidos para la subcuencas, cuya forma de cálculo y valores puntuales para la cuenca se relacionan a continuación:

4.5.1.1 Área (A)

Este parámetro es de gran importancia, por constituir el criterio de la magnitud del caudal, en condiciones normales y así mismo crecen los caudales medios, mínimos y máximos a medida que la cuenca crece. Definida como la medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica. Es una de las características morfométricas más importantes de una cuenca y contribuye con la escorrentía superficial. Para toda la cuenca del Río Nare su área es de 944.41 km²

4.5.1.2 Perímetro

El perímetro es la medición de la línea envolvente del área y se mide en unidades de longitud (m o km). Para el Río Nare es de 344.60 km

4.5.1.3 Longitud y ancho de la cuenca

La longitud de la cuenca ($L\alpha$), es la distancia medida en línea recta y paralela al cauce principal, entre la salida de la cuenca y el punto mas alejado de esta. El ancho medio de la cuenca (α), es la relación entre el área y la longitud de la cuenca. Para el Río Nare, la longitud de la cuenca es de 82.06 km y el ancho de 22 km.

4.5.1.4 Factor forma de la cuenca (Hf)

Expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Para la cuenca del Río Nare este factor es de 0.14.

$$Hf = \frac{A}{Lb^2}$$

$$Hf = \frac{A}{La^2}$$

Donde

A = Área de la cuenca

$L\alpha$ = Longitud de la cuenca

Los valores del factor de forma se pueden interpretar según la Tabla 63. Se observa que la cuenca no es susceptible de crecidas súbitas, cuando se presentan precipitaciones fuertes en su superficie. Es una cuenca alargada por lo que su valor tiende a cero, menos propensa a tener una lluvia intensa sobre toda su superficie comparada con otras de mayor tamaño.

Tabla 63. Valores interpretativos del factor de forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
<0.222	Muy alargada
0.22-0.3	Alargada
0.3-0.37	Ligeramente alargada
0.37-0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45-0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60-0.80	Ensanchada
0.80-1.20	Muy Ensanchada

Valores aproximados	Forma de la cuenca
>1.2	Rodeando el Desagüe

Fuente: Jimenez, 2009.

4.5.1.5 Coeficiente de Compacidad de Gravelius (Kc)

Es un índice que indica la semejanza de la forma de la cuenca, con un círculo. Se define como el perímetro de la cuenca dividido por el perímetro de un círculo de igual área. Para la cuenca este valor es de 3.2

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la Cuenca

A: Área de la cuenca

El coeficiente de compacidad está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe. Según el valor de este coeficiente se pueden inferir ciertas características en la respuesta de la cuenca (Ver Tabla 64).

Tabla 64. Valores del Coeficiente de Compacidad y su relación con las características de la respuesta

Clase de Forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca	Características
Clase Kc1	De 1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda	Cuenca torrencial peligrosa
Clase Kc2	De 1.25 a 1.50	Oval redonda a oval-oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
Clase Kc3	De 1.50 a 1.75	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Fuente: Henao, S. 1998

Según el resultado anterior la cuenca es de clase 3, de lo cual se infiere que, según su forma, no es de régimen torrencial.

4.5.1.6 Índice de alargamiento (Ia) Según Horton:

Este índice se obtiene relacionando la longitud de la cuenca con el ancho medio. Para la cuenca se obtiene un valor de 3.7

$$Ia = \frac{La}{a}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento

Lb: Longitud de la cuenca

a: Ancho medio

Los rangos para el índice de alargamiento se presentan en la Tabla 65. El resultado de esta relación está dentro del rango 2.9 a 4.2, “*Muy alargada*”, lo que indicaría una baja torrencialidad.

Tabla 65. Rangos Índices de alargamiento.

Rangos	Clases de alargamiento
0.0 – 1.4	Poco alargada
1.5 - 2.8	Moderadamente alargada
2.9 - 4.2	Muy alargada

Fuente: Henao, S. 1998

A manera de resumen se ha preparado la siguiente tabla, donde se consignan los valores para los parámetros descritos anteriormente y adicionalmente, otros valores físicos que serán explicados más adelante en la sección de pendientes

Tabla 66. Resumen Parámetros físicos cuenca Río Nare

Detalle	Cantidad	Unidad
1. Área (A)	944.41	km ²
2. Perímetro	344.60	km
3. Longitud del cauce principal	131.8	km
4. Longitud de la cuenca	82.06	km
5. Ancho medio cuenca	22	km
6. Altura máxima (H máx).	2513	msnm
7. Altura mínima (H mín).	124	msnm
8. Elevación media	1318.5	m
9. Área vertiente mayor	482.12	km ²
10. Área vertiente menor	462.30	km ²
11. Pendiente media cauce (Pm)	1.81	%
12. Pendiente media cuenca (S)	0.4	%
13. Índice de Forma (Hf)	0.14	-
14. Índice de alargamiento (Ia)	3.57	-
15. Coeficiente de compacidad (Kc)	3.2	-

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.5.1.7 Curva Hipsométrica Río Nare

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca. A partir de ella se puede establecer el porcentaje de área que está por encima de determinada altitud y en función de su forma se puede determinar si es una cuenca en equilibrio desde el punto de vista de lo erosionado de su terreno. En la Figura 96 se presenta la curva hipsométrica y adicionalmente la distribución del área entre cotas y el porcentaje que cada una representa en la cuenca. Se observa que la mediana de altitud para el 50% del área en la curva es de 1400 msnm. En la Figura 97, se muestra la distribución altitudinal de la cuenca. Allí se observa claramente su distribución alargada con toda la parte alta de la cuenca en la zona inicial de la misma. Las fajas altitudinales nos muestran que las mayores áreas de la cuenca se encuentran entre las cotas 800 a 2000 msnm, con 639.6 km² y 67% del total del área, siendo la de mayor área entre la cota 1800 a 2000 msnm., con un área de 137.08 km² y 14.5% del área de la cuenca. A partir de la curva se puede concluir que es una cuenca sedimentaria en equilibrio.

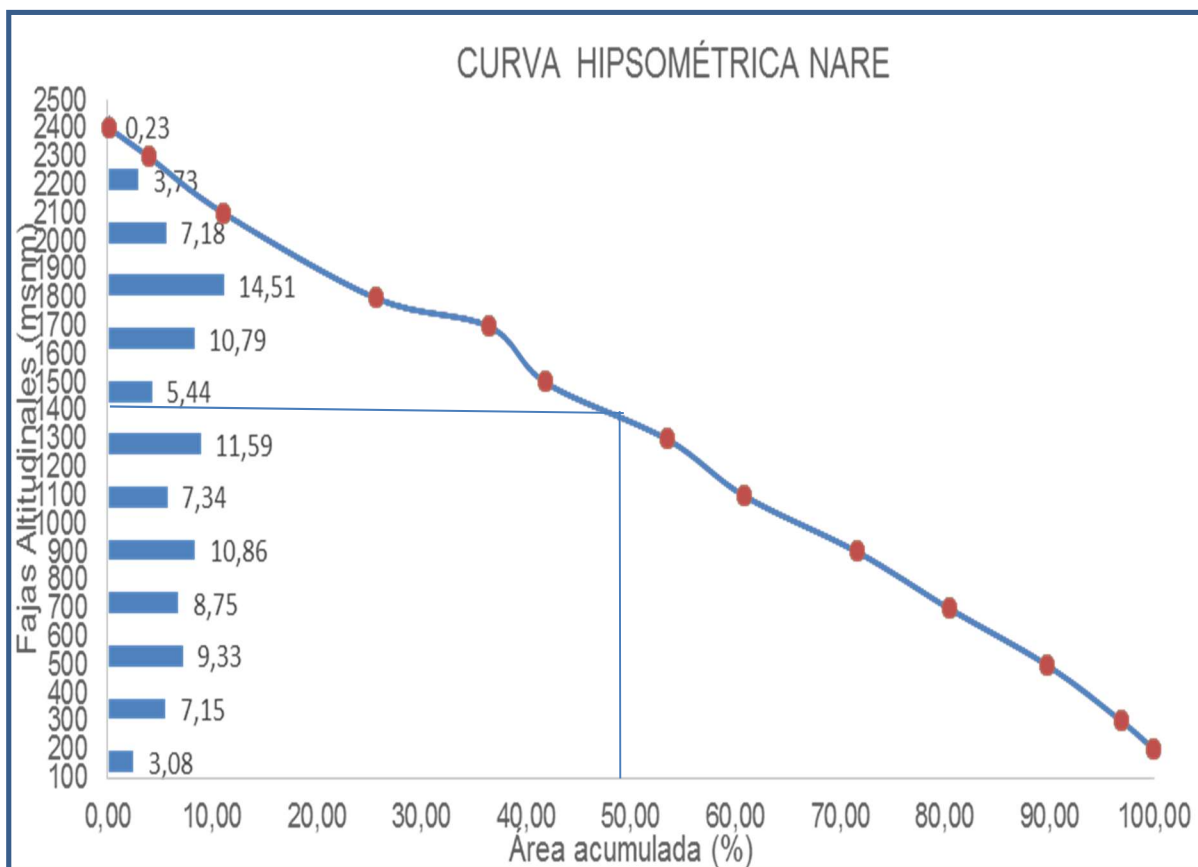


Figura 96. Curva Hipsométrica de para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

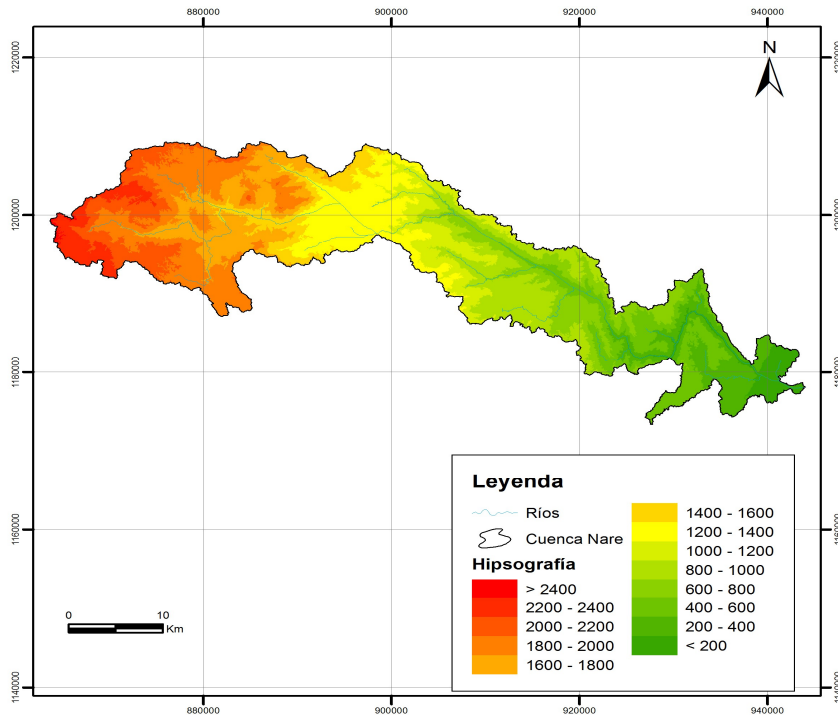


Figura 97. Distribución altitudinal de la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.5.1.8 Pendiente media de la cuenca (S)

La pendiente de la cuenca incide en la presencia de diversos fenómenos relacionados con el desplazamiento de capas de suelo de una cuenca ya sean de erosión o de sedimentación. Todo lo relacionado con este parámetro se presenta en la sección 3.5, en donde se muestra el mapa de pendientes y el análisis del mismo. Sin embargo, como una metodología alterna, la pendiente media se calculó mediante la ecuación siguiente, obteniendo un valor de 40%.

$$S = \frac{D \times L}{A}$$

Donde:

D: Distancia entre curvas de nivel

L: Sumatoria de longitudes de curvas de nivel

A: Área de la cuenca

Según el resultado de este indicador, la cuenca cuenta con pendientes suaves y poco susceptibles a la torrencialidad.

4.5.1.9 Perfil altitudinal del Río Nare

En la Figura 98, se presenta el perfil del Río Nare. Como se observa, tiene un desarrollo continuo a pesar de la unión de tributarios de diferente orden. Presenta una zona de mayor pendiente en la parte media de su recorrido, y una zona muy plana al final, antes de la desembocadura en el Magdalena.

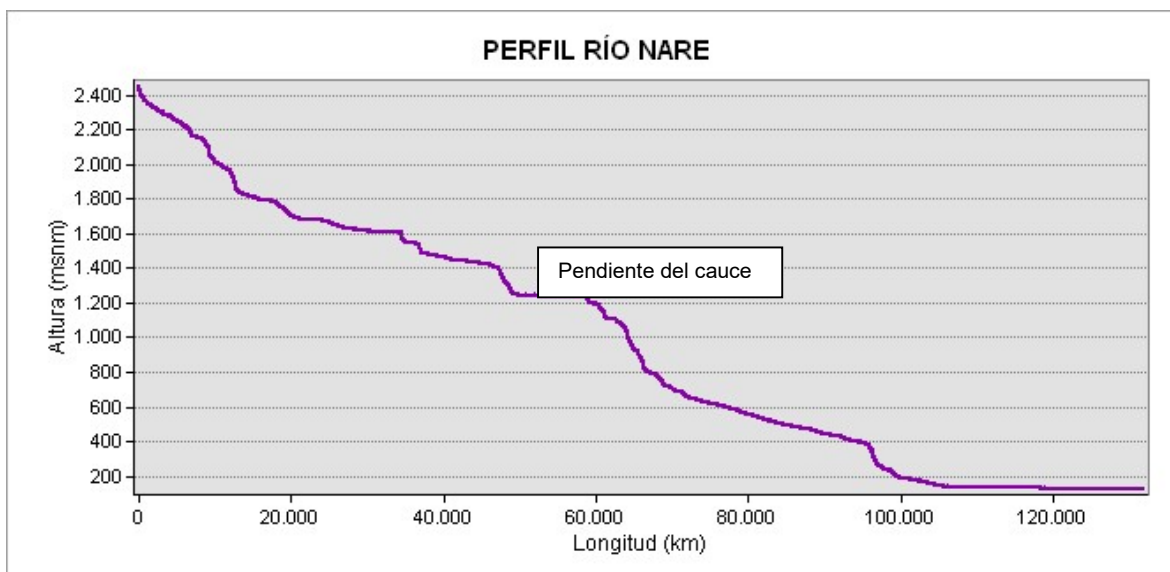


Figura 98. Perfil altitudinal del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.5.1.10 Pendiente media del cauce (P)

La pendiente se calculó por el método de los valores extremos, mediante la ecuación:

$$Pm = \frac{Hmáx - Hmín}{L} \times 100$$

Donde, L es la longitud del cauce, $Hmáx$, la altura máxima y $Hmín$ la altura mínima.

El valor obtenido para el cauce del Río Nare, es de 1.81%, indicando que los flujos en el cauce no tienden a grandes velocidades por lo que la cuenca se caracteriza por pendientes suaves con régimen torrencial muy bajo y de tipo aluvial.

4.5.1.11 Índice Asimétrico (I_a)

Este índice propuesto por M. Terns, evalúa la homogeneidad de la cuenca en la distribución de la red de drenaje. Se obtiene del cociente entre el área de la vertiente mayor y menor, las cuales son separadas por el cauce principal, según la ecuación:

$$Ad = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}} = 1.0$$

Donde:

Ad = Índice Asimétrico

A_{mayor} = Área de la vertiente mayor (km^2)

A_{menor} = Área de la vertiente menor (km^2)

La cuenca del Río Nare tiene una distribución homogénea de las vertientes izquierda y derecha de la misma con un valor del índice asimétrico de 1.04.

4.5.1.12 Tiempo de concentración (T_c)

Para estimar el tiempo de concentración, se reportan en la literatura varias ecuaciones empíricas, obtenidas con datos de cuencas de diferentes áreas y drenajes, por lo que pueden arrojar resultados muy diferentes para una misma cuenca. Para la cuenca del Río Nare se estimó el tiempo de concentración por dos de los métodos más utilizados en nuestro medio. Los resultados para la cuenca y subcuencas se muestran en la Tabla 67 y Tabla 68 respectivamente; donde se puede observar que los valores son similares, por lo que finalmente se propone utilizar el valor promedio.

Método de Kirpich:

$$T_c = 0,06628 \times \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$$

Donde:

L = Longitud del cauce

S = Pendiente media del cauce: 1.81 (m/m)

Método del California culverts practice:

$$Tc = 0,0195 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

L = Longitud del cauce
H = Diferencia de altura

Tabla 67. Tiempos de concentración (Tc) estimados para la cuenca y el valor promedio adoptado.

	Kirpich	California Culverts practice
Tc (horas)	13.31	13.3
Promedio: 13.3 horas		

La tabla Tabla 68 presenta los valores de los parámetros morfométricos par las subcuencas del Río Nare. Las curvas hipsométricas de las subcuencas y el perfil altitudinal del cauce del río principal de las subcuencas del Río Nare se presentan en el numeral 10 del Anexo 4.4. A manera de ejemplo en la desde Figura 99 y Figura 100 se presentan las curvas para las subcuencas del la Qeubrada Llanada y El Porvenir. La hipsometría de las subcuencas que en realidad son intercuencas, como El Pital, Quebradona, El Bagre, puede resultar atípica, porque no representan como tal una unidad hidrográfica, sino que constituyen un área intermedia que sólo muestra un tramo del rio. Igualmente los perfiles de los cauces para estas intercuencas, se presentan atípicos y no permiten concluir sobre las características de torrencialidad que usualmente se derivan de estos análisis. El perfil de la quebrada Llanada y de la quebrada El Porvenir se presenta en las Figura 101 y Figura 102 respectivamente.

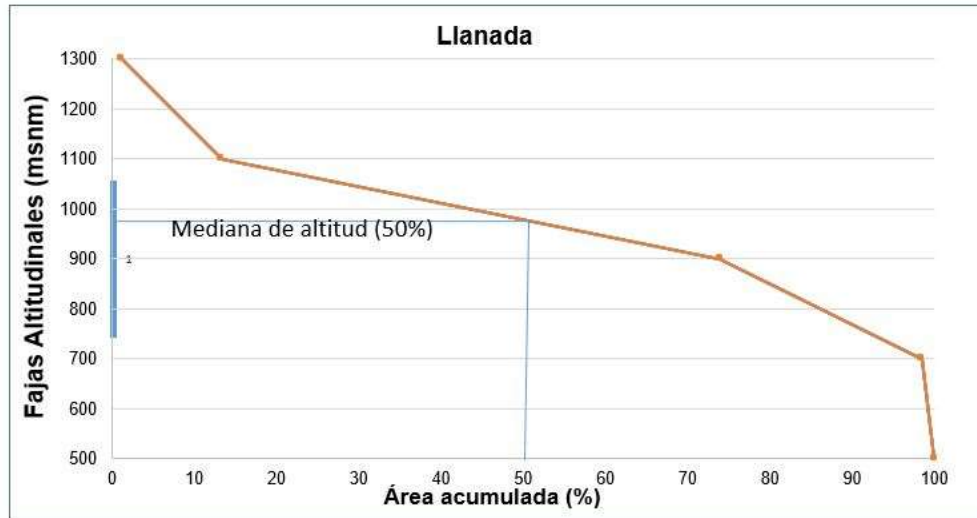


Figura 99. Curva hipsométrica subcuenca Llanada

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

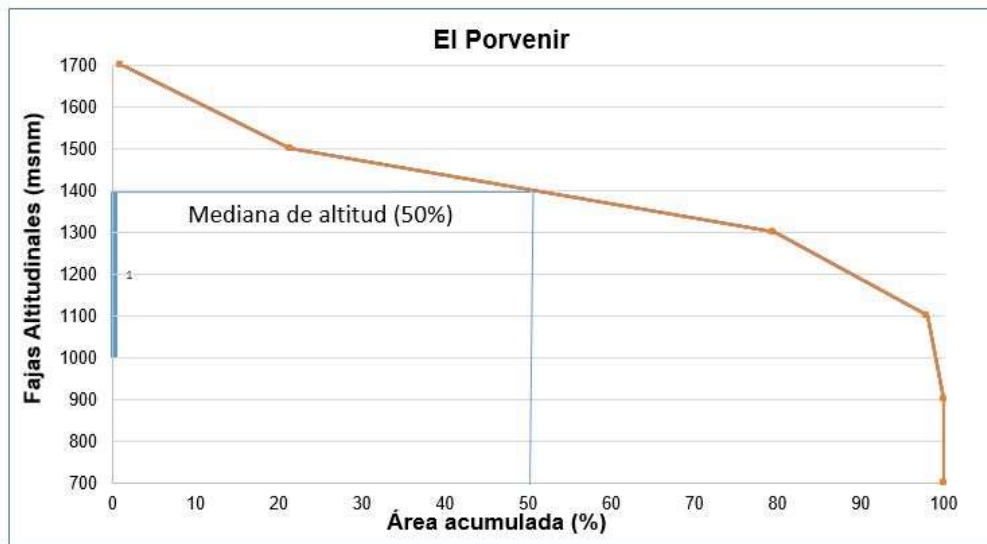


Figura 100. Curva hipsométrica subcuenca El Porvenir

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

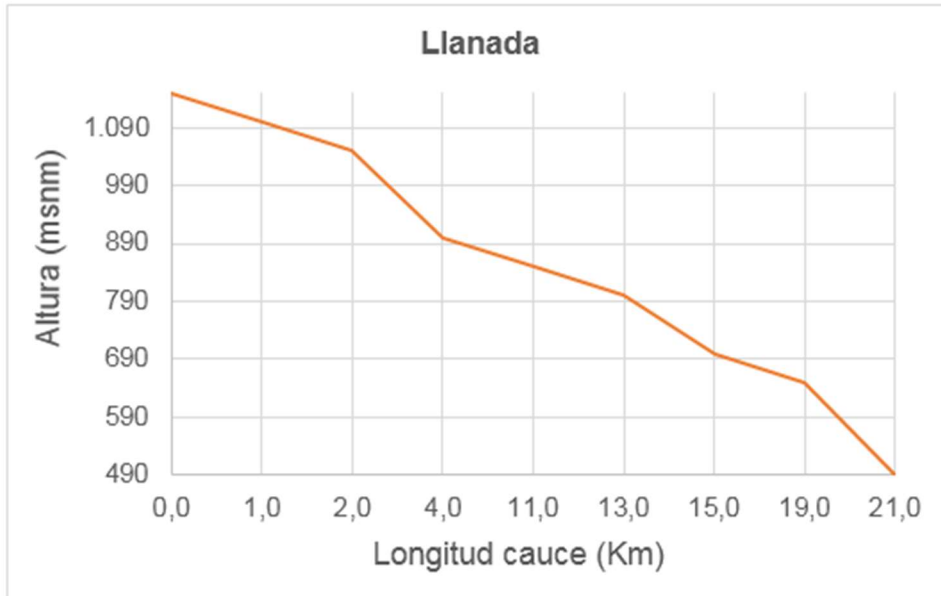


Figura 101. Perfil Altimétrico Quebrada Llanada

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

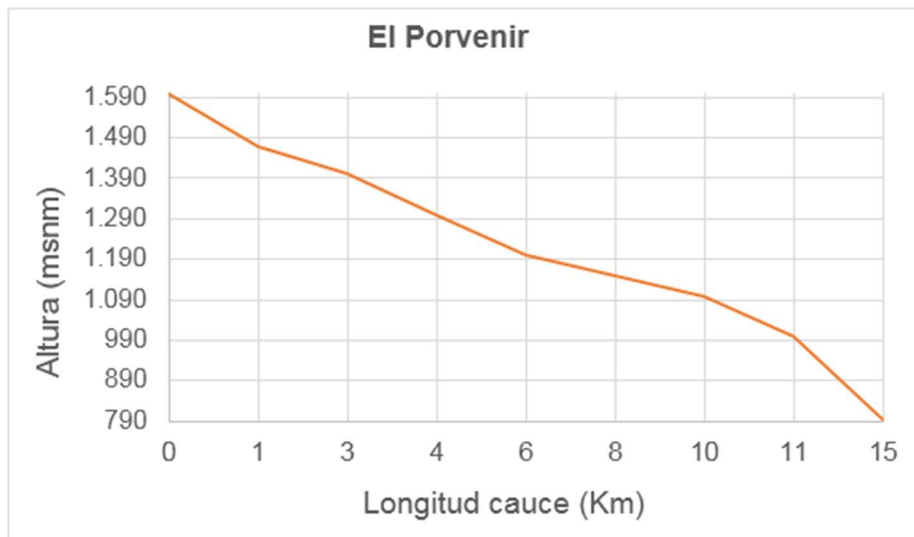


Figura 102. Perfil Altimétrico Quebrada El Porvenir

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 68. Parámetros fisiográficos y morfométricos de las subcuencas del Río Nare.

Código	Nombre Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Longitud Cuenca (km)	Ancho medio Cuenca (km)	Hmáx.	Hmín.	Elevación media (m)	Pm*	S*	Hf*	Ia*	Kc*	Tc
230804-01	Jabonales - Caño Balsamito	37,57	62,90	12,81	9.359,06	4.0	376	124	250	2.0	1,97	0.4	0,85	2,87	2.14
230804-02	La Sona	38,93	68,70	21,53	13.257,85	2.9	600	126	363	2.2	2,20	0.2	3,08	3,08	3.06
230804-03	El Bagre	75,41	87,66	27,69	16.767,48	4.5	770	127	449	2.3	2,32	0.3	2,40	2,83	3.64
230804-04	Portugal	27,94	38,30	14,32	6.820,13	4.1	933	180	557	5.3	5,26	0.6	1,36	2,03	1.60
230804-05	Honda	10,87	20,00	5,31	4.436,63	2.5	689	168	429	9.8	9,81	0.6	1,30	1,70	0.59
230804-06	LLanada	49,23	62,44	21,66	11.747,15	4.2	1.233	465	849	3.5	3,55	0.4	1,89	2,49	2.55
230804-07	Quebradona	39,20	54,72	19,26	14.238,28	2.8	945	207	576	3.8	3,83	0.2	3,16	2,45	2.26
230804-08	Río Chico	58,39	58,22	19,33	14.309,32	4.1	1.346	522	934	4.3	4,26	0.3	2,20	2,13	2.19
230804-09	Las Frías	28,40	37,86	5,20	4.923,20	5.8	1.026	483	755	10.4	10,45	1.2	0,62	1,99	0.56
230804-10	La Guzmaná	25,73	42,58	14,09	9.761,77	2.7	1.495	810	1.153	4.9	4,86	0.3	2,64	2,35	1.62
230804-11	Mina Grande	45,61	46,62	11,84	10.706,01	4.3	1.203	522	863	5.8	5,75	0.4	1,78	1,93	1.33
230804-12	El Porvenir	37,94	51,70	14,90	11.842,32	3.2	1.680	796	1.238	5.9	5,93	0.3	2,28	2,35	1.57
230804-13	Vijagual	6,00	17,38	3,39	2.760,52	2.2	1.220	688	954	15.7	15,69	0.8	0,79	1,99	0.35
230804-14	Río Nusito	53,03	54,58	16,26	12.295,14	4.3	2.127	1.240	1.684	5.5	5,46	0.4	1,76	2,10	1.73
230804-15	El Pital	28,32	35,82	11,88	8.715,80	3.3	1.388	689	1.039	5.9	5,89	0.4	1,74	1,88	1.32
230804-16	San Lorenzo	43,14	49,44	14,72	12.707,58	3.4	1.868	1.241	1.555	4.3	4,26	0.3	2,54	2,11	1.77
230804-17	San Miguel (San Lorenzo)	17,13	39,04	13,84	10.271,10	1.7	1.817	1.246	1.532	4.1	4,12	0.2	5,14	2,64	1.71
230804-18	San Miguel (San Pedro)	30,73	40,38	13,58	8.797,74	3.5	2.169	1.600	1.885	4.2	4,19	0.4	1,66	2,04	1.68
230804-19	El Bejuco	60,42	66,88	23,52	12.723,52	4.8	2.083	1.240	1.662	3.6	3,58	0.4	1,27	2,41	2.72

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- *Pm = Pendiente media del cauce principal de la subcuenca
- *Hf = Factor forma
- *Kc = Coeficiente de compacidad
- *Ia = Índice de alargamiento
- *Tc = Tiempo de concentración en horas.

4.5.2 Morfometría de microcuencas abastecedoras de acueductos municipales dentro de la cuenca del Río Nare

Los resultados del análisis morfométrico para las 5 microcuencas se encuentran consignados en la Tabla 69. De estos análisis se puede concluir que de las microcuencas abastecedoras la de mayor tamaño corresponde a la que abastece el municipio de Alejandría, seguida de la cuenca de que abastece el municipio de Concepción. El factor de forma de todas las microcuencas se encuentra en los de 0.3 -0.37 que se considera “ligeramente alargada” y 0.45 – 0.60, que indica que significan que son” ligeramente ensachadas las cuales son susceptibles de crecidas y por lo tanto pueden presentar problemas de arrastre de materiales. Esto mismo se refuerza con el valor del índice de compacidad (Kc) el cual oscila en el rango de 1.00 – 1.25, indicativo de una e forma “casi redonda a oval redonda”, que refuerza la idea de la torrencialidad en las mismas.

Las curvas hipsométricas de las microcuencas abastecedoras y los perfiles altimétricos de los cuaces principales de estas microcuencas, se presentan completos en el numeral 10 del Anexo 4.4. A manera de ejemplo en la Figura 103 y Figura 104 se presentan la curva hipsométrica y el perfil altimétrico para la microcuenca Alejandría (1)

Tabla 69. Morfometría subcuencas abastecedoras de acueductos Río Nare.

Nombre Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud Cuenca (km)	Ancho Medio (km)	Hmáx	Hmín	Elevación media (m)	(Pm)*	(Hf)*	(Ia)*	(Kc)*	Tc (Hs)
Alejandría (1)	2.27	6.53	1.92	1.2	2014.0	1759.0	1886.5	25.5	0.6	1.66	1.21	0.8
Concepción (4)	1.05	4.32	1.59	0.7	2388.0	1873.0	2130.5	32.4	0.4	1.77	1.18	1.5
Santo Domingo (1)	0.53	3.77	1.34	0.4	2103.0	1955.0	2029.0	11.0	0.3	2.68	1.45	2.5
Santo Domingo (2)	0.12	1.50	0.43	0.3	2189.0	2060.0	2124.5	30.0	0.6	1.43	1.23	3.6
Santo Domingo (3)	0.19	1.82	0.54	0.4	2203.0	2060.0	2131.5	26.5	0.6	1.35	1.15	2.8

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

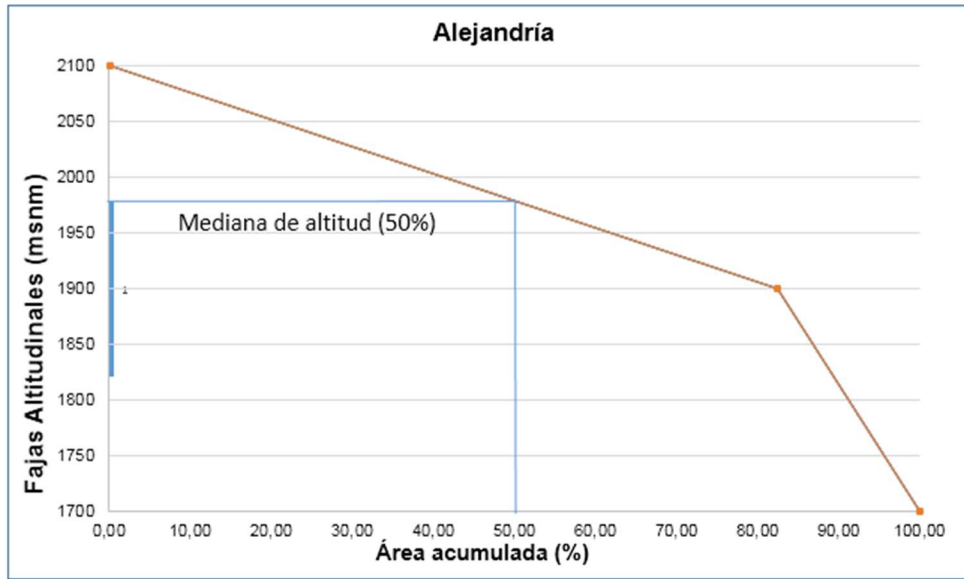


Figura 103. Curva hipsométrica microcuenca Alejandria (1).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

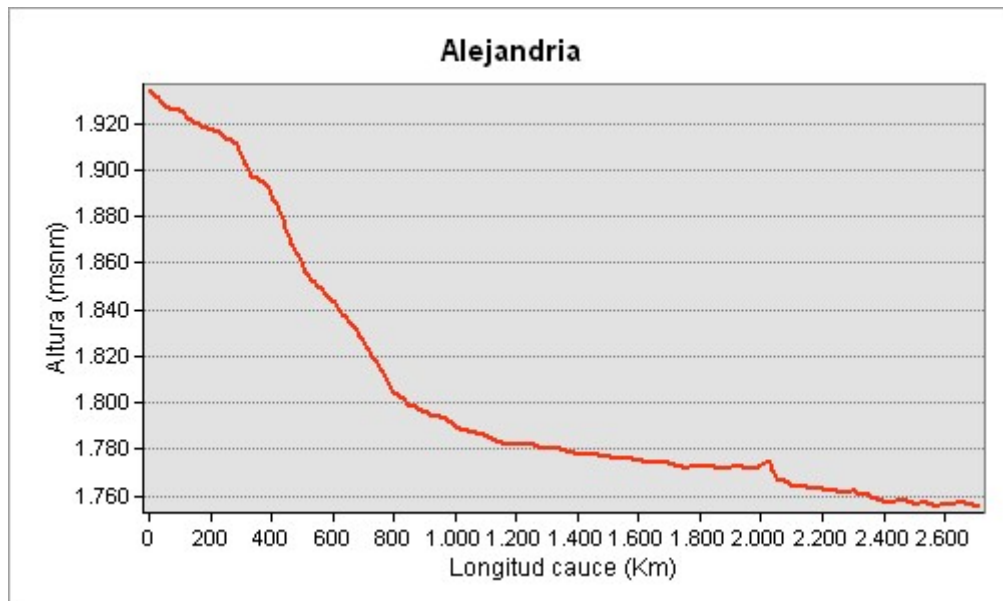


Figura 104. Perfil altimétrico quebrada Alejandria.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.6 PENDIENTES

Se refiere al grado de inclinación del terreno expresado en porcentaje; los rangos de pendientes son variables dentro de una región o una cuenca hidrográfica. Con la ayuda del sistema de información geográfica (SIG), y a partir del modelo digital del terreno (DEM) se estiman las pendientes. En la Tabla 70 se presentan para los rangos de pendiente dados por la guía metodológica, la relación de área en dicho rango para la cuenca del río Nare. De los resultados mostrados, se observa que el rango que representa la mayor área (43.41%) es el que se encuentra entre 25-50% con 409.92 Km² y sus pendientes promedios entre 18.5, 37.5 y 87.5%. La pendiente promedio para la cuenca del Río Nare se estima en 37.5%.

Tabla 70. Resultados análisis de pendientes para la cuenca del Río Nare.

Pendiente	Rango	Área mt2	Área km2	Área ha	%
A nivel	0 - 1	12.944.744,81	12,94	1.294,47	1,37
Ligeramente plana	1 - 3	8.416.555,16	8,42	841,66	0,89
Ligeramente inclinada	3 - 7	17.923.687,99	17,92	1.792,37	1,90
Moderadamente inclinada	7 - 12	27.835.001,52	27,84	2.783,50	2,95
Fuertemente inclinada	12 - 25	114.260.059,96	114,26	11.426,01	12,10
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	25 - 50	409.915.175,98	409,92	40.991,52	43,41
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	50 - 75	295.923.021,32	295,92	29.592,30	31,34
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	75 - 100	50.364.605,09	50,36	5.036,46	5,33
Totalmente escarpada	> 100	6.745.658,31	6,75	674,57	0,71
			944,33		100,00

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

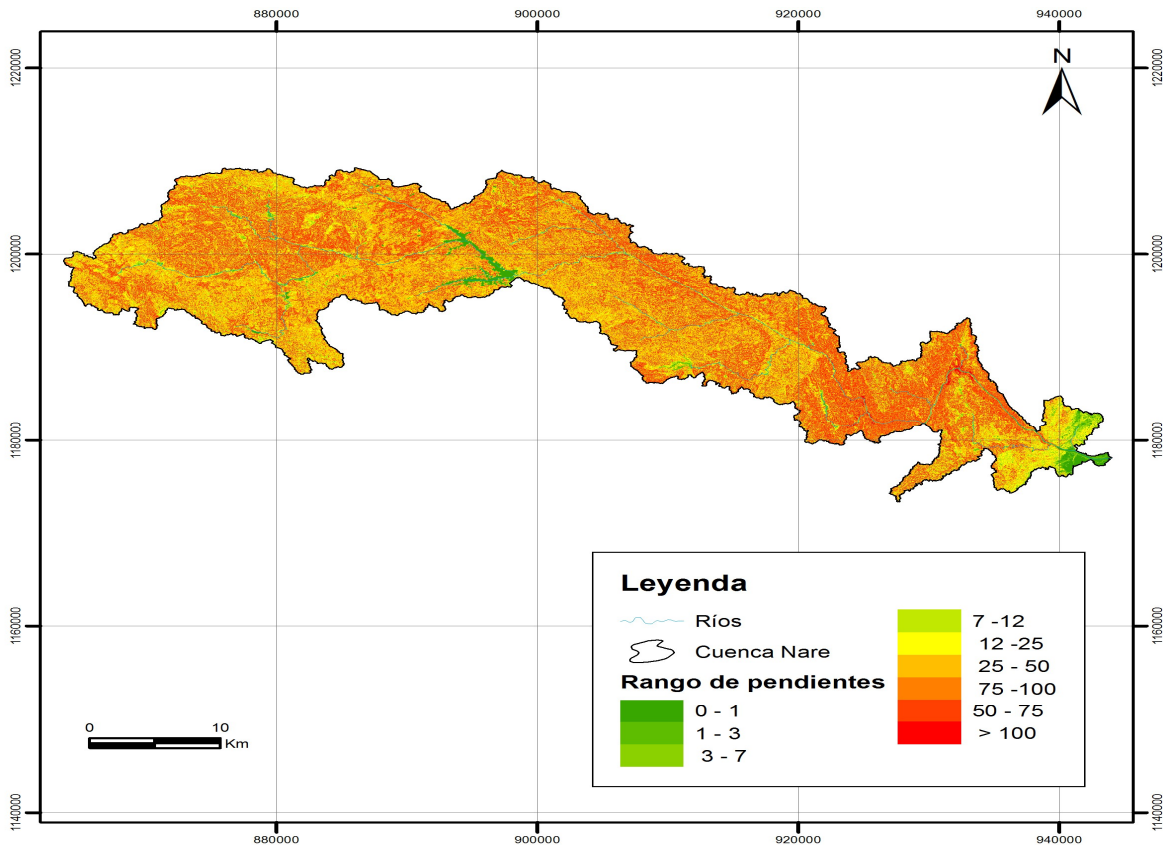


Figura 105. Mapa de pendientes de la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7 HIDROLOGÍA

4.7.1 Análisis de la red de estaciones hidrométricas

4.7.1.1 Información disponible

Se recopilieron las series de caudales medios diarios de 3 estaciones hidrométricas situadas en la cuenca del Río Nare. Dicha información ha sido solicitada y suministrada por los siguientes organismos: IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), CORNARE (Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los Ríos Negro y Nare) y EPM (Empresas Públicas de Medellín).

A partir de dicha información se realizaron los tratamientos informáticos necesarios para la conversión de los archivos suministrados por los distintos organismos y su incorporación a un banco de datos tanto a nivel diario como a mensual.

En la Figura 107 y en la Tabla 71 se muestran las estaciones hidrométricas disponibles en la cuenca del Río Nare con registros de caudal, así como su localización geográfica, río o quebrada en la que se ubica, la fuente y el período de registro de las estaciones. Así mismo, a continuación de la tabla se muestra en la Figura 106, lo que se ha denominado como el listado de existencias de las series, que muestra el estado de las mismas, respecto a datos faltantes y cantidad de registros. En dicha figura se especifica para cada estación hidrométrica y período de registro, los años que disponen de todos los datos, aquellos otros que disponen de algunos datos parciales y, por último, los que no disponen de ningún dato.

Tabla 71. Estaciones hidrométricas con datos de caudal en la cuenca del Río Nare.

Código	Nombre	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)	Municipio	Corriente	Fuente	Período registro
2308718	SIRPES LOS	1196876	880112	1571	CONCEPCION	QDA LA CONCEPCION	IDEAM	1973-2011
ISAG001	CHARCO NEGRO	1204819	889102	1753	SANTO DOMINGO	NUSITO	ISAGEN	1991-2015
ISAG002	EL VIENTO (ISAGEN)	1199261	887252	1455	ALEJANDRIA	NARE	ISAGEN	1987-2015

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Las estaciones hidrométricas disponibles se encuentran ubicadas en la cuenca alta del Río Nare, aguas arriba del embalse de San Lorenzo, por lo que aguas abajo del mismo, en una superficie de aproximadamente 512 km² (más de un 54 % de la superficie de la cuenca del Río Nare) no se dispone de ninguna estación hidrométrica para el control de los caudales. Las estaciones hidrométricas existentes se distribuyen como sigue:

- En el cauce principal del **Río Nare** únicamente se cuenta con la estación hidrométrica denominada *ISAG002- El Viento*, proporcionada por ISAGEN. Dicha estación registra el aporte de la parte alta de la cuenca del Río Nare, justo a su entrada al embalse de San Lorenzo. La superficie de cuenca vertiente a dicha estación es de aproximadamente 300 km², lo que supone un 32 % de la superficie total de la cuenca del Río Nare, estimada en 948 km². El período de datos disponible comienza en el año 1987 y finaliza en el año 2015.
- En el otro afluente al Embalse de San Lorenzo, el **Río Nusito**, se sitúa la estación *ISAG001- Charco Negro*, proporcionada por ISAGEN. El período disponible de datos de la estación abarca desde el año 1991 hasta el año 2015.
- Finalmente, la estación *2308718- Los Sirpes*, con una cuenca de 119 km², se encuentra ubicada en la desembocadura de la **Quebrada La Concepción**. La serie disponible de esta estación presenta un período de registro que inicia en el año 1973 y finaliza en el año 2011.

TIPO DE ESTACION: De aforo; TIPO DE DATOS: Caudal
 PROCESO: Original; PERIODICIDAD: Diaria

CODIGO: 2308718; SIRPES LOS										
73	78	83	88	93	98	03	08	13		

CODIGO: ISAG001; CHARCO NEGRO										
73	78	83	88	93	98	03	08	13		

CODIGO: ISAG002; EL VIENTO (ISAGEN)										
73	78	83	88	93	98	03	08	13		

ESTADO DE CADA UNO DE LOS AÑOS DE LA SERIE: Completo Incompleto Vacio

Figura 106. Listado de existencias de las series de caudales medios diarios de las estaciones hidrométricas de la cuenca de Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

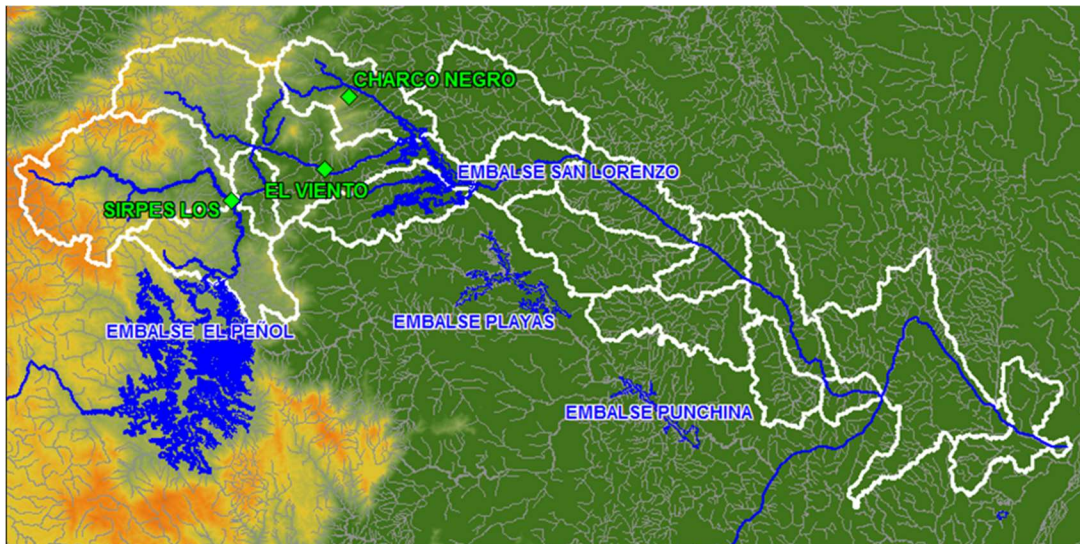


Figura 107. Mapa de localización de las estaciones hidrométricas de la cuenca de Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.1.2 Análisis de las series de caudales

En este apartado, se analiza la información de caudales de las estaciones disponibles en la cuenca del Río Nare. Los registros de caudal medio mensual de dichas estaciones se presentan en el numeral 1 Anexo 4.4.

En primer lugar, se analizaron de forma visual las series de caudal medio mensual para el período completo de datos de cada estación hidrométrica. Este gráfico sirve para analizar la consistencia de la información hidrológica en forma visual, e indicar el período o períodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se puede reflejar como “picos” muy elevados o valores muy bajos, saltos y/o tendencias. En la Figura 108 se muestran los gráficos citados. También se elaboró para cada estación el ciclo anual de caudales medios, máximos y mínimos, en la Figura 109 se observa la estación *ISAG002- Viento* y se puede apreciar el carácter bimodal de las precipitaciones, que se traduce en la generación de dos máximos de caudales, uno en el mes de mayo y otro en el mes de octubre. Las gráficas del resto de estaciones pueden consultarse en el numeral 2 del Anexo 4.4.

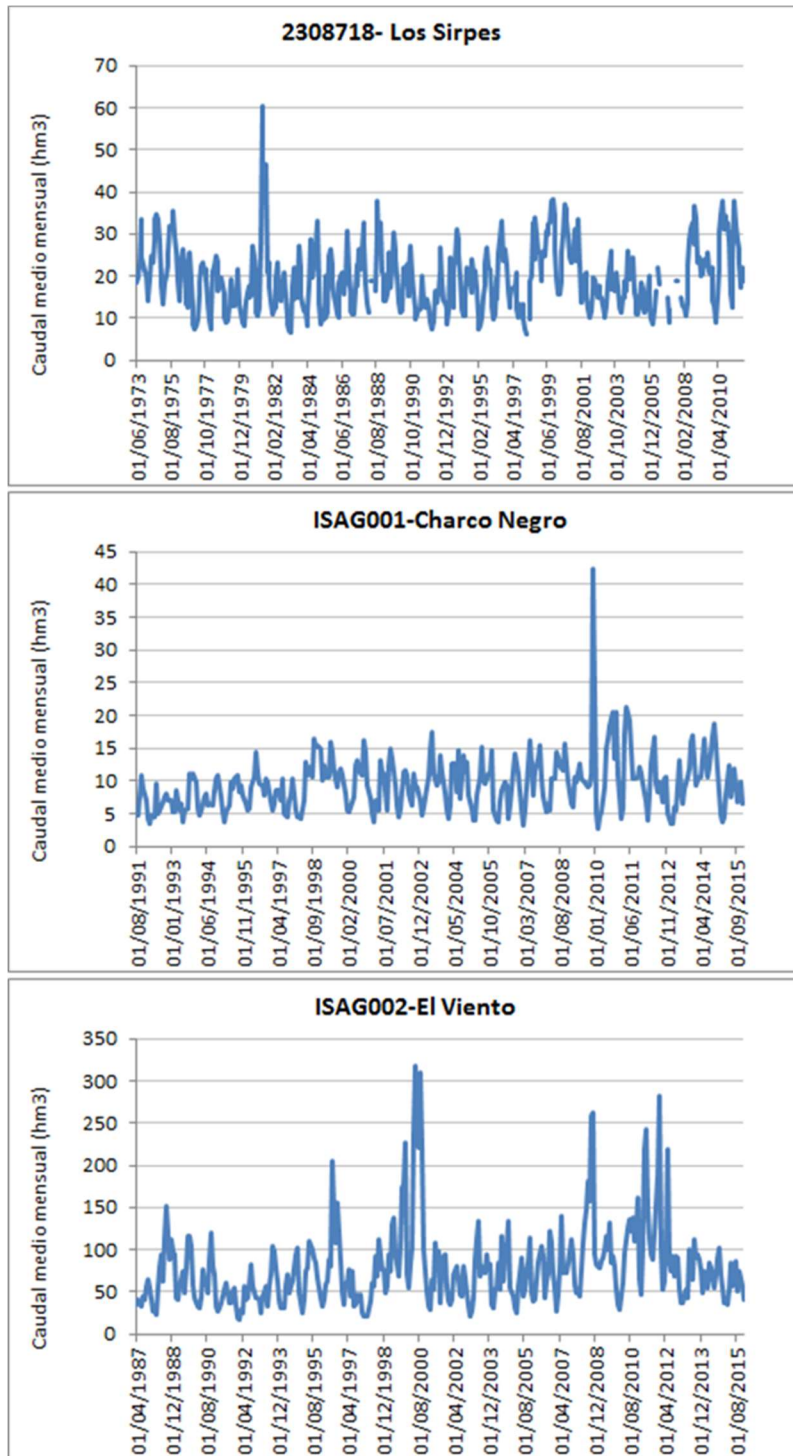


Figura 108. Caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas 2308718- Los Sirpes (Q Concepción), ISAG001- Charco Negro (Río Nusito) y el ISAG002- Viento (Río Nare).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

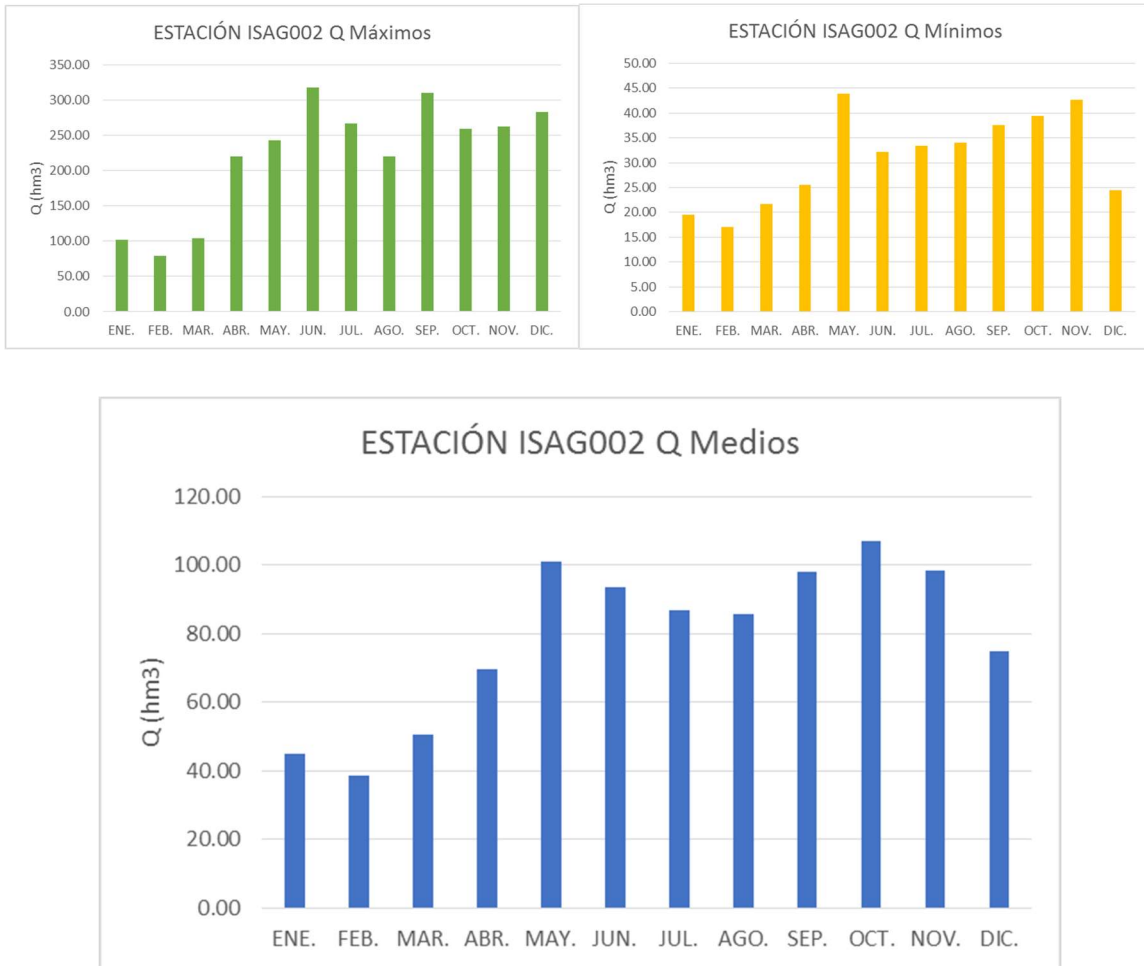


Figura 109. Ciclo anual de caudales en la estación ISAG002- Viento (Río Nare).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En el gráfico de los caudales mensuales de de ISAG001- Charco Negro se observa un valor fuera de rango en el mes de diciembre de 2009. Graficando las series diarias de la estación (Ver Figura 110), se aprecia un error de medida en el período comprendido entre los días 07 y 31 de diciembre de 2009, que origina este pico para el año 2009.

En la estación ISAG002- El Viento, también se aprecian algunos valores puntuales de caudales muy elevados. Este hecho puede ser debido a una falta de ajuste en las curvas de calibración de las estaciones para caudales altos.

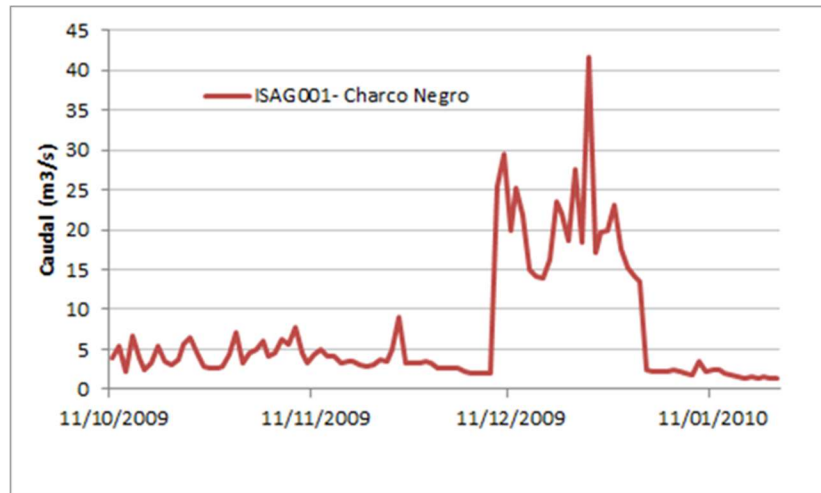


Figura 110. Caudales medidos diarios en la estación hidrométrica ISAG001- Charco Negro (Río Nusito) en el período octubre de 2009 – enero 2010.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Finalmente, se calculó para cada una de las estaciones hidrométricas el caudal específico en función de los datos de caudal medio del período disponible. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 72. Se observa un valor excesivamente elevado de caudal específico en la estación hidrométrica de ISAG001- Charco Negro (138.6 l/s/km²). Este hecho puede ser debido a un error en la localización del emplazamiento de la estación, lo que conlleva a una infravaloración de la superficie de cuenca vertiente a dicho punto y por tanto a un caudal específico excesivo.

Así mismo, en la estación de ISAG002- El Viento, se ha obtenido un caudal específico muy elevado (98.7 l/s/km²), que como se ha mencionado anteriormente podría ser debido al empleo de curvas de calibración de la estación poco ajustadas para caudales altos y por consiguiente a la sobrevaloración de dichos caudales.

Tabla 72. Resumen de caudales observados en cada estación hidrométrica analizada y caudales específicos.

Código	Nombre	Corriente	Cuenca (km ²)	Período	Caudal		Caudal específico (l/s/km ²)	Escorrentía (mm/año)
					hm ³ /año	m ³ /s		
2308718	SIRPES LOS	QDA LA CONCEPCION	119.0	1973-2011	230.7	7.3	61.5	1939.0
ISAG001	CHARCO NEGRO	NUSITO	25.8	1991-2015	112.8	3.6	138.6	4371.2
ISAG002	EL VIENTO (ISAGEN)	NARE	299.5	1987-2015	949.5	30.1	98.7	3170.1

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

4.7.2 Caudales característicos

Las estaciones de aforo tienen como finalidad permitir observar, los caudales escurridos en puntos característicos del río en una serie de años tan larga como sea posible. Cuando estas estaciones no existen en la densidad deseada, es necesario recurrir a métodos aproximados para la estimación de los caudales de diseño, como son los métodos de regionalización.

El objeto de toda estación de aforo es poder establecer la curva de caudales contra el tiempo por medio de la cual se definen los caudales característicos, en la tabla a continuación se pueden ver los caudales característicos hallados para la estación 23087180-Los Sirpes. El resto de estaciones se pueden consultar en el numeral 4 del Anexo 4.4.

Tabla 73. Caudales característicos de la estación 23087180-Los Sirpes.

AÑO	Q80	QMED	10% QMED	Q330	AÑO	Q80	QMED	10% QMED	Q330
1974	12.28	9.35	0.94	5.38	1975	12.47	9.66	0.97	5.49
1976	8.51	7.07	0.71	4.19	1977	7.33	5.96	0.60	2.65
1978	8.44	6.55	0.65	2.91	1979	6.58	5.57	0.56	3.24
1980	6.90	5.88	0.59	2.72	1981	16.85	10.56	1.06	3.81
1982	6.68	5.89	0.59	3.44	1983	7.34	5.88	0.59	2.54
1984	10.04	7.51	0.75	3.10	1985	8.05	6.06	0.61	2.90
1986	8.24	6.87	0.69	3.85	1987	10.53	7.76	0.78	3.86
1989	9.48	7.83	0.78	4.75	1990	8.59	6.66	0.67	3.99
1991	5.63	5.24	0.52	3.61	1992	7.00	5.53	0.55	2.79
1993	9.74	7.64	0.76	3.54	1994	7.72	6.56	0.66	3.96
1995	7.80	6.05	0.61	2.77	1996	10.18	8.10	0.81	3.61
1997	6.16	5.42	0.54	3.36	1999	13.42	11.28	1.13	6.38
2000	12.20	9.73	0.97	5.28	2001	9.93	8.50	0.85	5.26
2002	6.40	5.78	0.58	4.00	2003	7.31	6.60	0.66	3.88
2004	8.47	7.00	0.70	4.38	2005	6.08	5.46	0.55	3.88

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

A continuación, se define los parámetros mostrados en la Tabla 73:

Q80: para un año determinado, el caudal mostrado es igualado o superado en 80 días.

QMED: caudal promedio de todo el año

10% QMED: el 10% del valor promedio de todo el año

Q330: para un año determinado, el caudal mostrado es igualado o superado en 330 días.

4.7.3 Inventario de infraestructuras hidráulicas en la cuenca del Río Nare que afectan la oferta hídrica

El inventario de estructuras hidráulicas para la cuenca del Río Nare se realizó teniendo en cuenta como datos de entrada la información suministrada por Cornare y Corantioquia, en las tres bases de datos: Concesiones 1 información 2006-2014, Concesiones 2 información 2013 y Concesiones 3 Información 2014-2015. De estas tres bases, se tomó como estructura principal la base de datos 1: Concesiones 1 información 2006-2014, realizando sobre esta la unión de información con las demás bases. Se creó una sola base de datos, descartando las concesiones ya vencidas o los registros sin datos principales como caudal y coordenadas (X, Y). En estas fuentes de información se identificaron los siguientes usos: Doméstico/comercial, Energía hidroeléctrica, Industrial, Riego/ornamental/otros, Pecuario, Piscícola y Recreativo. Al tener una sola base de datos estructurada, se trasladó esta información al programa de información geográfica (ArGIS) realizando la unión con la capa Shp (Cuenca Río Nare); esto para realizar un segundo filtro e identificar los puntos que no se encontraban dentro de la cuenca para ser eliminados y no ser tenidos en cuenta al momento de realizar el análisis correspondiente, generando un inventario estructurado únicamente con los registros de caudal para uso doméstico, agrícola pecuario y generación de energía hidroeléctrica. En el numeral 6 del Anexo 4.4, se presenta el inventario de todas las captaciones registradas en las bases de datos de concesiones de CORNARE.

Las concesiones para acueductos municipales encontradas en las bases de datos, corresponden con los puntos marcados en verde sobre la Figura 111 y se especifican en la tabla Tabla 74. Los acueductos municipales de Alejandría, Concepción y Santo Domingo son los que cuentan con concesión en la cuenca, con un total de 9 concesiones, cuatro para Santo Domingo, cuatro para Concepción y una para Alejandría.

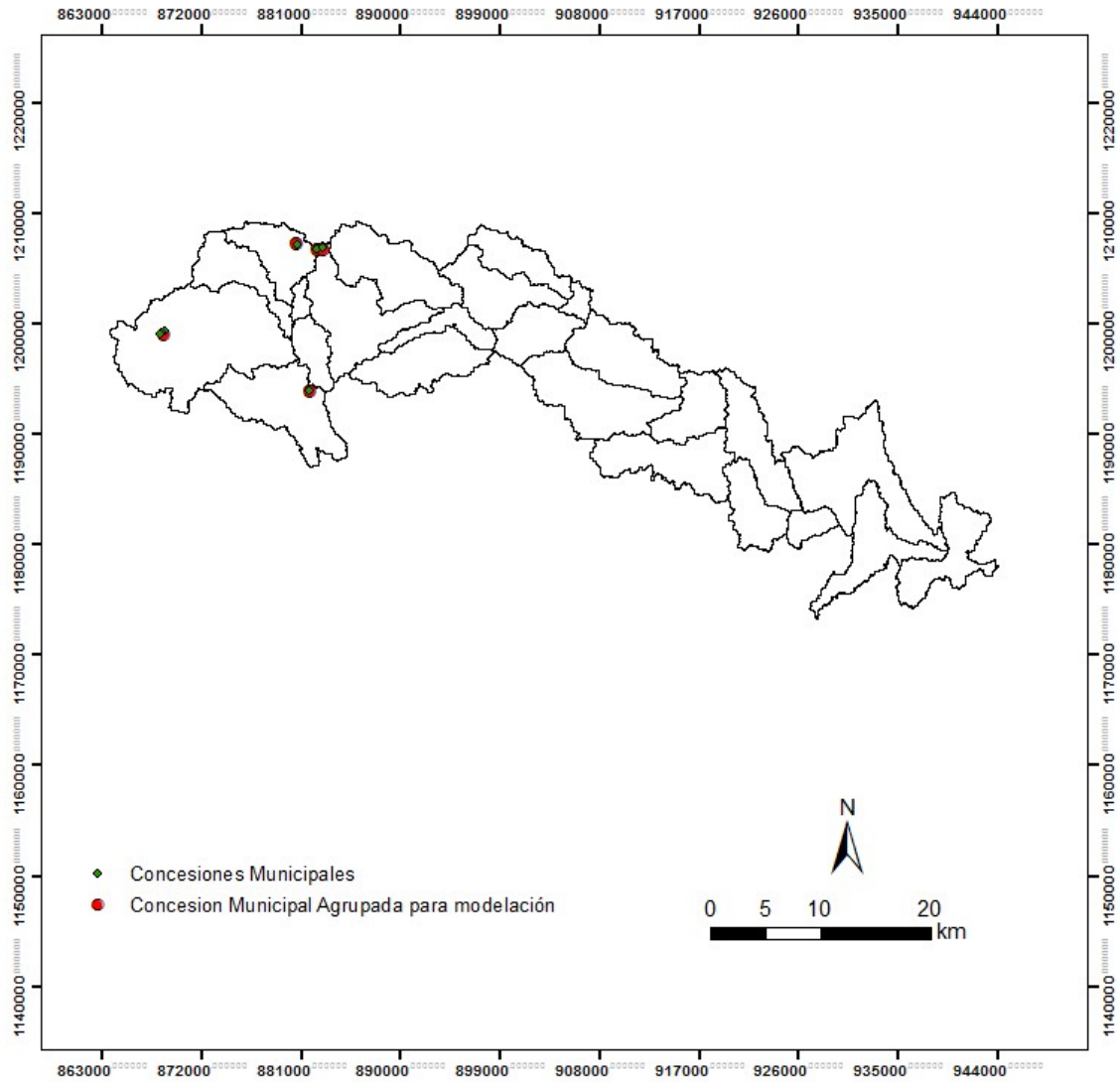


Figura 111. Localización de las concesiones para acueducto municipal en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 74. Concesiones para acueductos municipales en la cuenca del Río Nare.

No	Municipio	X	Y	Z	X CIERRE	Y CIERRE	Caudal Concesionado [l/s]	Usos Aprobados	Nombre
1	Alejandría	881808	1193900	1729	881812	1193896	9.313	Doméstico	Alejandría (1)
2	Concepción	868754	1199351	1960	868612	1198996	3.5	Doméstico	Concepción (4)
3		868722	1199298	1960			2.3	Doméstico	
4		868413	1199226	2000			6	Doméstico	
5		868241	1199120	2050			3	Doméstico	
6	Santo Domingo	880697	1207081	1900	880612	1207246	3	Doméstico residencial	Santo Domingo 1
7	Santo Domingo	882504	1206805	2090	882412	1206796	0.73	Doméstico residencial	Santo Domingo 2 (2)
8		882504	1206805	2090			0.52	Doméstico institucional	
9	Santo Domingo	882973	1206843	2080	883012	1206796	0.2	Doméstico comercial	Santo Domingo 3

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El grado de afectación que representan las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales respecto al área total de la cuenca se presenta en la Tabla 75. Como puede observarse el grado de afectación de estas microcuencas respecto al total de la cuenca es mínimo, en cuanto a que entre todas no suman ni el 0.5% del área de la cuenca.

Tabla 75. Porcentaje de afectación del área de la microcuenca abastecedora municipal respecto al área total de la cuenca.

Municipio	Nombre	Área km ²	% de afectación respecto al área total de la cuenca
Alejandría	Alejandría (1)	22.798	0.24
Concepción	Concepción (4)	0.0535	0.01
Santo Domingo	Santo Domingo 1	0.5302	0.06
Santo Domingo	Santo Domingo 2 (2)	0.1151	0.01
Santo Domingo	Santo Domingo 3	0.1918	0.02

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.4 Análisis de la incidencia del embalse San Lorenzo en el régimen de caudales del Río Nare

En la parte media alta de la cuenca se encuentra el embalse de San Lorenzo, el cual desde el punto de vista hidrológico parte la cuenca en dos, ya que toda la escorrentía producida aguas arriba del

embalse queda contenida en el mismo. No se tienen registros de caudales de descarga de dicho embalse al Río Nare. Se conoce que las descargas de las aguas turbinadas se hacen al Río Guatapé para continuar la cadena de aprovechamiento hidroeléctrico del oriente.

El área que drena al embalse es de 434.23 km² que representa el 45.97% del área total de la cuenca del Río Nare. El aporte de esta área al embalse es de un caudal promedio multianual de 37.41 m³/s, según la simulación hidrológica explicada posteriormente. Este aporte es el 60.17% del caudal promedio multianual a la salida de la cuenca en régimen no alterado, que corresponde aproximadamente a 62.17 m³/s, según la simulación hidrológica (sin considerar los aportes del Río Nus y del Río Samaná Norte). Dado este porcentaje tan alto de influencia del embalse en el sistema hidrológico del río, los caudales del Río Nare aguas abajo del embalse se consideran en régimen alterado para todos los análisis realizados en este POMCA.

4.7.5 Caracterización de lo sistemas lénticos naturales en la cuenca del Río Nare

En la cuenca del Río Nare no se encuentran sistemas lénticos naturales que influyan en el ciclo hidrológico de la cuenca.

4.7.6 Análisis de la información y ciclo de Sedimentos

Tal como se evidencia en el análisis de la red de estaciones en la cuenca, no se tuvo disponibilidad de las series de aforos sólidos, concentración de sedimentos o transporte de sedimentos en las corrientes de la cuenca, que permitieran hacer un análisis de la dinámica de los sedimentos en la cuenca del Río Nare.

4.7.7 Estimación de la oferta Hídrica Total y Disponible

Para obtener la oferta hídrica, se pueden utilizar tres aproximaciones según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2014). A partir de series de caudales medios, modelos lluvia escorrentía y Balance Hídrico. La oferta hídrica debe realizarse a nivel de cuenca y subcuencas. La primera aproximación en el caso de la cuenca del Río Nare no es adecuada, ya que no existen estaciones de caudal medio en cada una de las subcuencas. La segunda aproximación, requiere información de la cuenca, como tipo de suelos, geología, coberturas y topografía, requiere de algunas estaciones de aforo de caudal medio diario en la parte alta, media y baja de la cuenca y de estaciones de precipitación con datos diarios, en un período simultáneo de tal manera que pueda calibrarse y validarse el modelo. Para el caso del Río Nare, esta información está disponible y se decide entonces realizar la oferta hídrica total superficial a través de un modelo-lluvia escorrentía.

4.7.7.1 Oferta Hídrica superficial total a partir de la modelación lluvia – escorrentía

Para la estimación de la oferta hídrica en la cuenca del Río Nare, se utilizó el modelo hidrológico distribuido TETIS (UPV, 2012). La conceptualización del modelo TETIS, define que la producción de la escorrentía parte de un balance hidrológico en cada celda (la cuenca es dividida en celdas o pixeles), asumiendo que el agua se distribuye en seis niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí (UPV, 2012). En la Figura 112, se presenta el esquema conceptual del modelo para generar los caudales a nivel de celda y de cuenca.

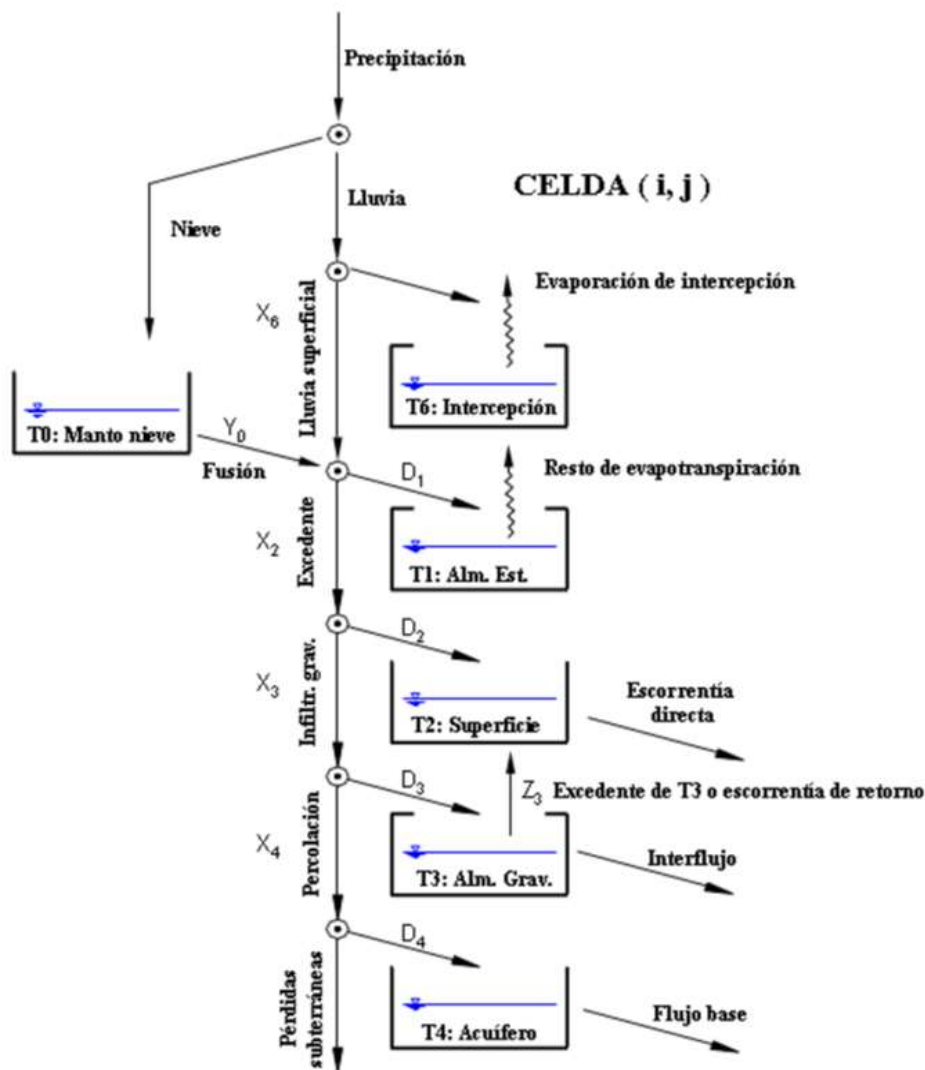


Figura 112. Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS.

Fuente: UPV. (2012).

Los requerimientos de información del modelo se clasifican en dos categorías, la información relacionada a la climatológica – hidrológica y la información que da cuenta de las condiciones físicas de la cuenca. En la Tabla 76 se presenta la información mínima para aplicar el modelo TETIS.

Los mapas de dirección de flujo, flujo acumulado y pendientes se obtienen del MED para la cuenca, el cual como se ha mencionado anteriormente es de resolución 10x10 obtenido por la componente SIG del proyecto a partir de la información base proporcionada por CORNARE. El mapa de Hu se obtiene a partir de la información de suelos proporcionada por esta componente dentro del POMCA. La capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu) se obtiene para cada celda según el tipo de suelo en cada asociación y la profundidad de cada horizonte dentro de cada asociación. A partir de la textura del suelo, es decir los porcentajes de arena, limo, arcilla y grava, se obtiene el Hu, y se ajusta en función de la profundidad de dicho horizonte. Finalmente se obtiene el mapa presentado en la Figura 113. La Capacidad de infiltración del estrato superficial del suelo (Ks) se obtiene de manera similar, a partir de la textura de suelo, dando como resultado el mapa presentado en la Figura 114. La Capacidad de percolación del substrato (Kp) se obtiene a partir del tipo de roca descrito en el mapa de geología para la cuenca, proporcionado por esta componente del POMCA. El resultado se observa en la Figura 115.

Tabla 76. Información base para la ejecución del modelo TETIS.

Información climatológica - hidrológica	Información físico – espacial
Precipitación (estaciones) Evaporación (estaciones) Caudales (estaciones para calibración y validación)	Modelo Digital de Elevación Dirección del flujo Flujo acumulado Pendientes Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu) Capacidad de infiltración del suelo (Ks) Capacidad de percolación del substrato (Kp) Coberturas

Fuente: UPV (2012).

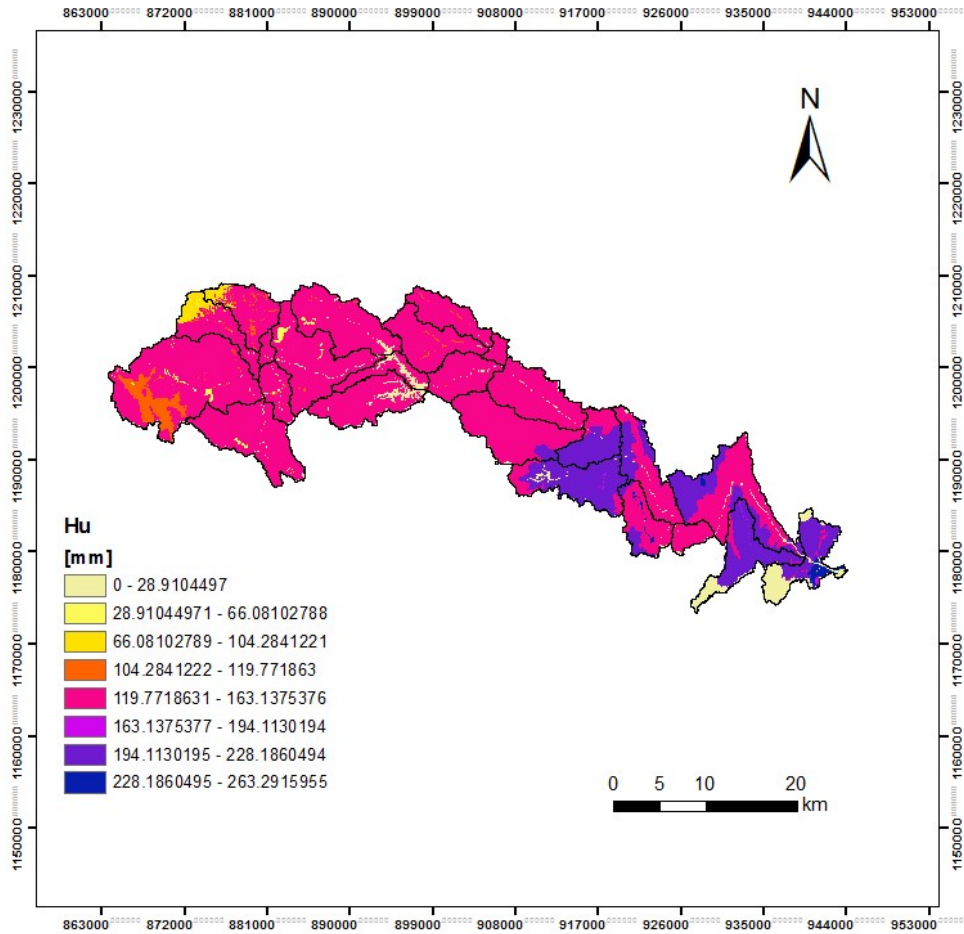


Figura 113. Mapa de Hu para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

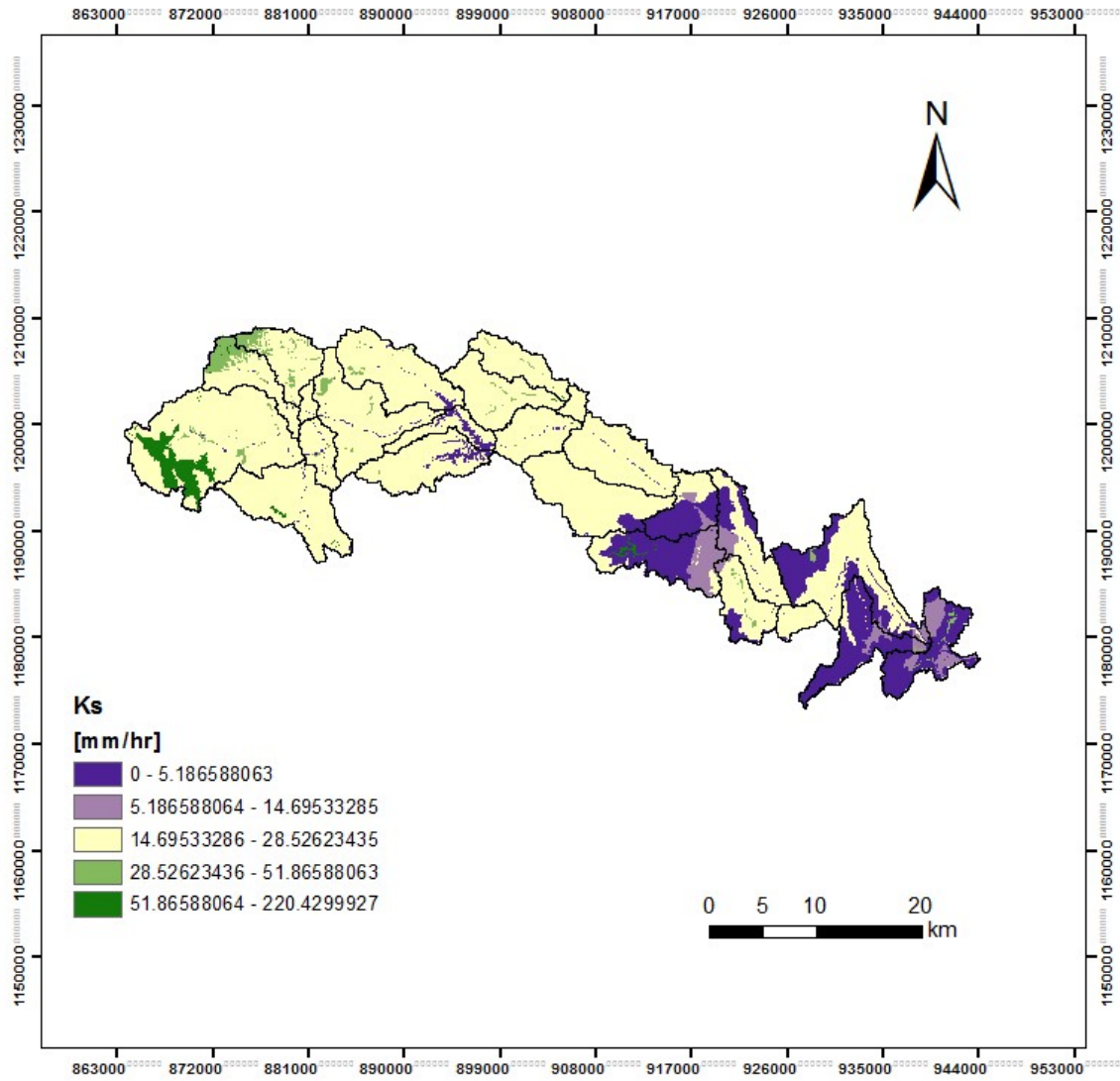


Figura 114. Mapa de Ks para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

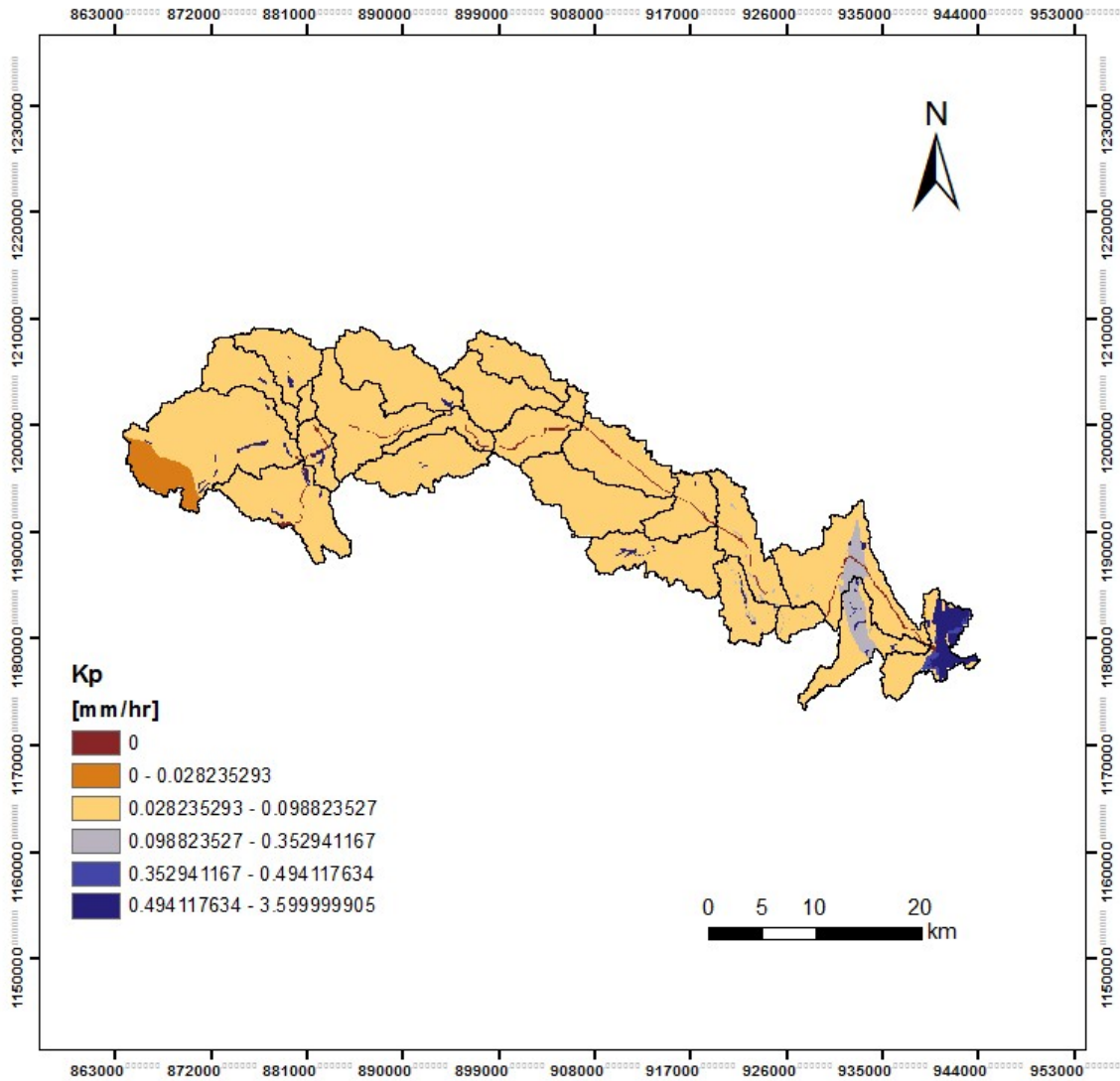


Figura 115. Mapa de Kp para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Para la implementación del modelo hidrológico en la cuenca del Río Nare, fue necesario hacer varias consideraciones respecto al funcionamiento hidrológico real y actual de la cuenca. A partir del embalse, el Río Nare se considera que no recibe aportes aguas arriba de este. Para la simulación hidrológica, se realizaron las simulaciones aguas arriba del embalse, en régimen natural, y aguas abajo del mismo en régimen alterado, restando el aporte simulado hasta el embalse.

En la Tabla 77 se presentan las estaciones de caudal, precipitación y evaporación definidos para realizar el proceso de calibración y simulación de las series de caudal en la cuenca del Río Nare, y en la Figura 116 se observa la ubicación de las estaciones en la cuenca. Se elige la estación El Viento como la única estación de aforos para utilizar en el proceso de calibración ya que como parte del análisis de consistencia realizado y expuesto en la sección 4.7.1, se establece que es la única con registros de buena calidad y longitud adecuada para dicho proceso.

Tabla 77. Estaciones empleadas para la modelación.

Estación	Código	Variable
El Viento	2308747	Caudal
El Pital	2308057	Precipitación
Santa Rita	2308505	Precipitación
Presa San Lorenzo	2308094	Precipitación
Palmas San Roque	2308087	Precipitación
Las Violetas	2308521	Evaporación

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

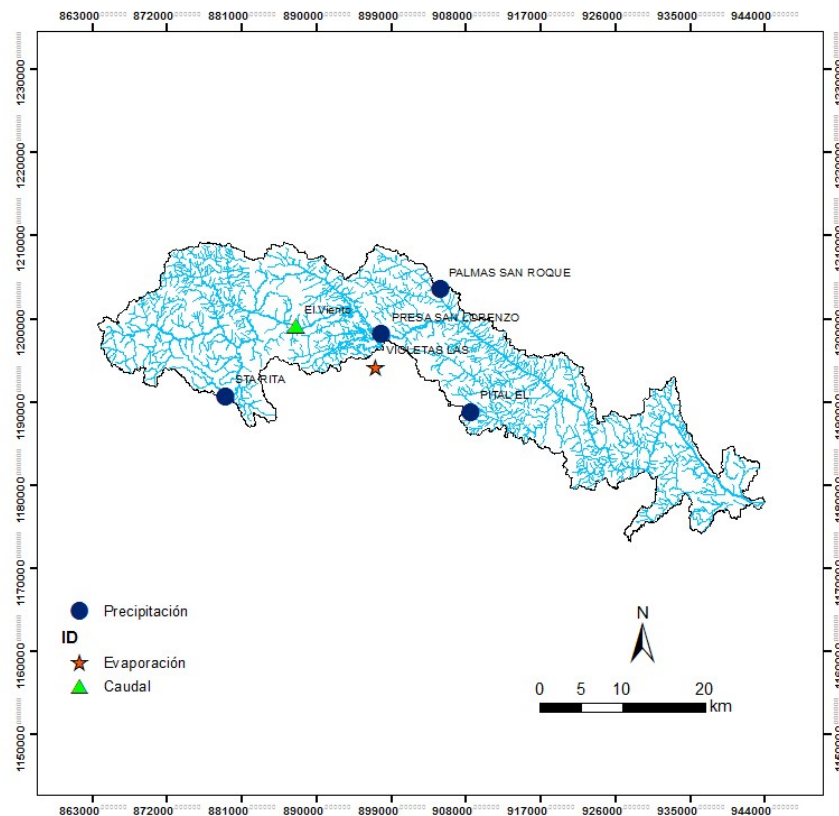


Figura 116. Ubicación de las estaciones de calibración y simulación en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.7.1.1 Proceso de calibración del modelo.

La información base para el modelo TETIS, tal como se mostró en la Tabla 76, consiste en una serie de mapas que caracterizan la cuenca desde lo topográfico hasta la constitución del suelo y sus características hidráulicas que permiten modelar a su vez el flujo subsuperficial y el flujo base. Estos mapas son tipo raster, con información de Hu , Ks y Kp a nivel de celda, que constituyen los parámetros del modelo, es decir hay un valor del parámetro por cada celda. Sin embargo para corregir la incertidumbre propia al obtener estos parámetros, cada mapa está corregido dentro de la estructura del modelo por un factor, cuyo valor se obtiene al calibrar el modelo. En total el modelo TETIS tiene ocho factores correctores: FC_1 un factor corrector que multiplica de forma directa el almacenamiento estático Hu , FC_2 es un factor corrector que corrige el factor de vegetación o cubierta del suelo que modifica la ETP , FC_3 afecta de forma directa al parámetro del suelo de la conductividad hidráulica saturada del suelo Ks , FC_4 es el factor corrector correspondiente a la velocidad del flujo en la ladera, FC_5 corrige la conductividad hidráulica saturada de la roca Kp , FC_6 es un factor corrector de la velocidad de infiltración o conductividad horizontal saturada Ks^* la cual el modelo TETIS supone como $Ks^*=Ks$. FC_7 , modifica la velocidad de percolación en la zona profunda del suelo Kpp , la cual se asume en el modelo como $Kpp=0.1 Kp$, FC_8 corrige la conductividad hidráulica horizontal saturada del substrato Kp^* , la cual el modelo TETIS supone como $Kp^*=Kp$ y FC_9 corrige la velocidad del flujo en el canal. El valor óptimo de estos factores se obtiene mediante la reducción del error entre los caudales simulados con el modelo y los caudales observados a escala diaria, en los puntos donde se dispone de dicha información. El error se estima por varios métodos, entre ellos el índice Nash, el error en el volumen y el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en inglés). En el caso de la cuenca del río Nare se decidió utilizar como indicadores estadísticos de la calibración el índice Nash y el error en el volumen.

El proceso de calibración en la cuenca del Río Nare se realizó en la estación El Viento, la cual se ubica sobre el cauce principal (Río Nare) y el período seleccionado fue del 25 de diciembre de 2004 al 24 de diciembre de 2005, este período garantizó que se incluyera, para un año típico, el ciclo anual de la precipitación. En la Tabla 78 se observan los factores correctores definidos en la calibración y los estadísticos obtenidos. En la Figura 117 se observa el comparativo entre los caudales simulados y medidos en la estación El Viento.

Tabla 78. Factores de calibración y parámetros estadísticos de ajuste para la estación El Viento.

Factores correctores	Valor	Índice Nash	Error en el volumen
FC1 Almacenamiento estático	10,5928	0,60	-0,52%
FC2 Evaporación	3,7117		
FC3 Infiltración	0,4815		
FC4 Escorrentía	10,199		
FC5 Percolación	41,5246		

Factores correctores	Valor	Indice Nash	Error en el volumen
FC6 Flujo subsuperficial	91,5265		
FC7 Pérdidas	1,0463		
FC8 Flujo base	146283,578		
FC9 Velocidad del flujo	0,2368		

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

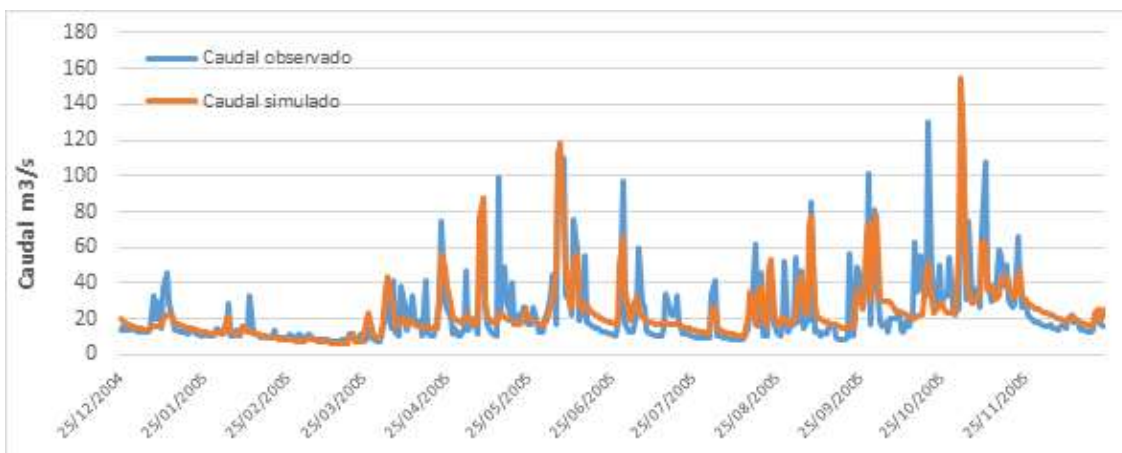


Figura 117. Caudales simulados para calibración, estación El Viento.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.7.1.2 Proceso de validación del modelo.

La validación de un modelo, consiste en simular los caudales en otros sitios o en otro período de tiempo, sin modificar los parámetros de calibración, con el fin de determinar la validez de los parámetros encontrados. Para la cuenca del Río Nare, no fue posible realizar una validación de los parámetros calibrados del modelo, ya que no se disponía de una serie de caudales medidos con la suficiente longitud para garantizar buenos resultados en la validación. Adicional a la estación de caudal El Viento, se identificaron sobre el Río Nare las estaciones de Los Sirpes y Canteras, sin embargo, ninguna de las dos se podía utilizar para la validación ya que en el caso de Los Sirpes la información era muy segmentada y no se disponía de un período relevante para hacer una validación. La estación Canteras por su parte, está ubicada aguas abajo de la descarga del Río Nus el cual no fue considerado en la delimitación de la cuenca del Río Nare para la formulación del POMCA, por lo tanto, en términos hidrológicos no era pertinente utilizar una estación que registraba caudales para una cuenca aferente que no correspondía con la delimitada para este estudio.

4.7.7.1.3 Generación de series de caudal en la cuenca del Río Nare y subcuencas.

El proceso de modelación finaliza con la simulación de las series de caudal en los puntos definidos para la cuenca del Río Nare. En total, a partir de la Morfometría (Ver numeral 4.5) se identificaron 24 subcuencas para las cuales se generó una serie de caudal. En la Figura 118 y Figura 119 se presentan las subcuencas para las cuales se generaron series de caudales para el período 01/08/1992 – 31/12/2014, y el caudal medio para condiciones de año medio, simulado para cada una de ellas.

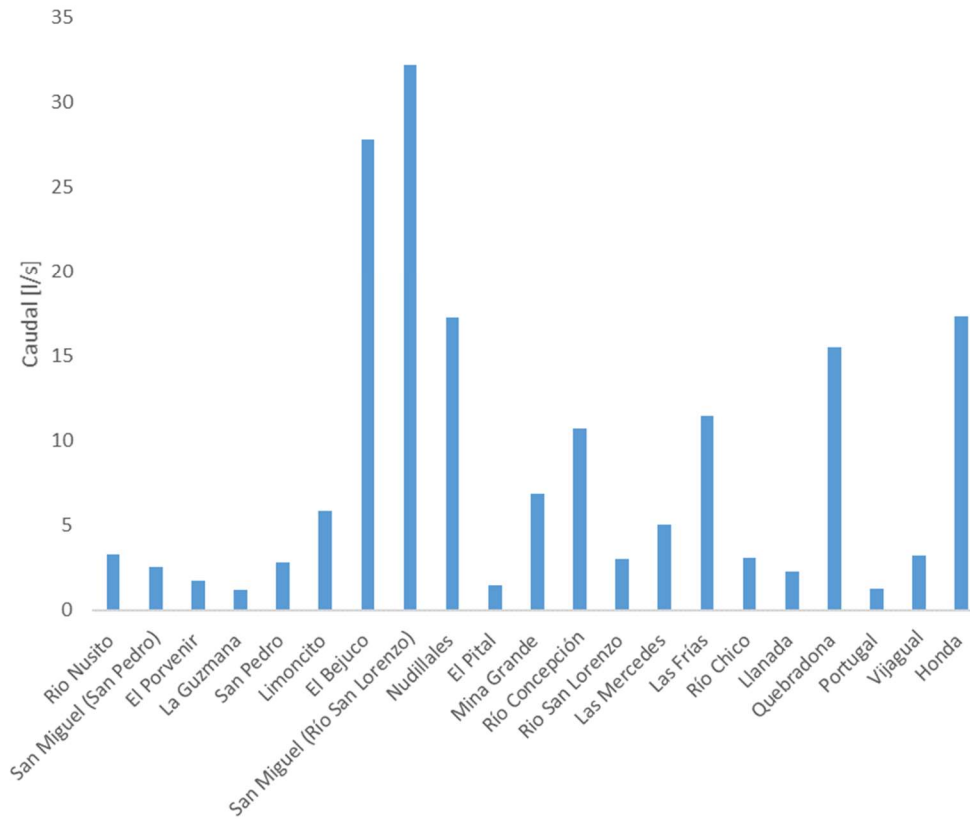


Figura 118. Caudales promedios simulados por subcuenca, cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

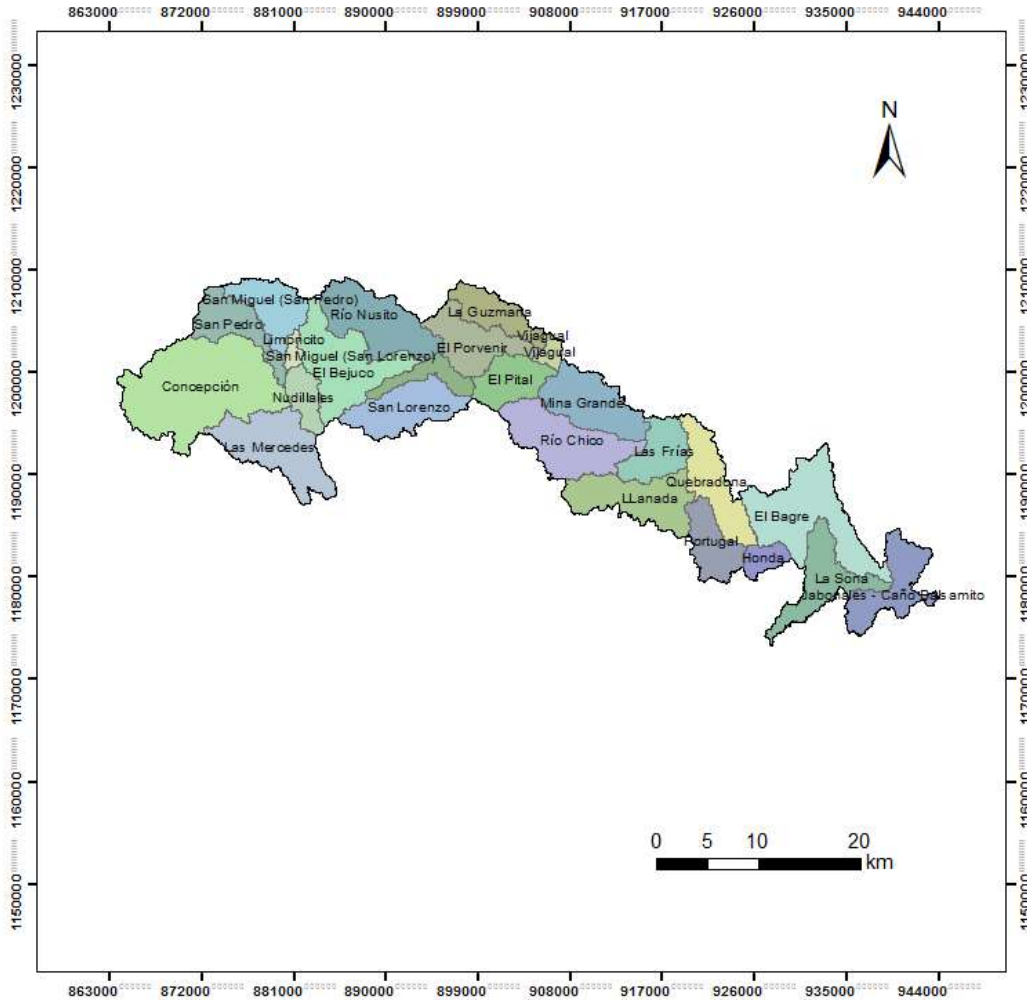


Figura 119. Subcuencas simuladas en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

A partir de los caudales simulados en todos los puntos de cierre de las subcuencas se obtiene el caudal promedio multianual, y se establece como la oferta hídrica superficial total. Es necesario aclarar que esta oferta se acumula en el sentido hidrológico, y que se establecen dos tipos de subcuencas, las que constituyen por si solas una subcuenca hidrológica, es decir de afluentes y lo que se denomina intercuenas. Estas últimas son tramos del río, entre un afluente y otro. La oferta en estas intercuenas se calcula como la oferta total acumulada hasta ese punto, es decir el agua que aporta toda el área de la cuenca del Río Nare acumulada hasta el punto de cierre de la intercuenca. La oferta total aguas abajo del embalse San Lorenzo, a partir de la subcuenca de la quebrada El Pital, corresponde a la oferta total real con la que se cuenta actualmente, es decir, no

se tiene en cuenta el aporte que hace la parte alta de la cuenca del Nare, ya que toda el agua producida en esa zona se recoge en el embalse, y este no tiene descargas al río. En la Tabla 80, se presenta la oferta hídrica para la cuenca del Río Nare. La oferta para las subcuencas de La quebrada La Sona y de La Quebrada Jabonales - Caño Balsamito no corresponde con la oferta real. El Río Samaná Norte desemboca en el Nare justo antes de la subcuenca La Sona, por lo tanto, la oferta presentada en este estudio, es inferior a la oferta real para dicha subcuenca y para el tramo del Río hasta su desembocadura, ya que no tiene en cuenta los caudales aportados por la cuenca del Samaná Norte, la cual no es objeto de ordenación en este POMCA. Adicionalmente la subcuenca de la Quebrada Jabonales – Caño Balsamito, se ubica aguas abajo de la desembocadura del Río Nus, el cual hace parte de la cuenca del Nare, pero no fue incluido como parte de la cuenca para el establecimiento del POMCA. La oferta que se presenta para la zona aguas abajo de la desembocadura del Nus, está muy por debajo de lo que realmente es, ya que le faltan los aportes del Río Nus y del Río Samaná Norte. Adicionalmente, se han calculado las ofertas totales para año húmedo, año seco, año neutro, año Niño y año Niña. Estos resultados se presentan en el siguiente apartado.

El caudal ambiental se define como el volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual depende tales ecosistemas (MAVDT, 2010) decreto 3930. En la literatura, se encuentran diferentes metodologías para la estimación del caudal ambiental, que van desde los métodos puramente hidrológicos, pasando por los de simulación del hábitat y los holísticos que consideran el río de manera global. Para este plan de ordenamiento de la cuenca del río Negro, se estimarán los caudales ambientales desde el enfoque hidrológico, considerando los resultados previos obtenidos de oferta hídrica a partir de los modelos lluvia escorrentía. Para la estimación de los caudales ambientales, se han implementado cuatro metodologías ampliamente utilizadas en el país, con el fin de presentar a la Corporación un abanico de resultados y permitir que sea esta entidad la que determine con cual de los caudales ambientales se calculará la oferta disponible

4.7.7.2 Determinación de los caudales ambientales

Según la Resolución 865 de 2004, puede utilizarse como una aproximación al caudal ambiental, el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de alguno de estos métodos:

- Mínimo histórico: a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual que permanece el 97.5% del tiempo.

- Porcentaje de descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.
- Reducción por caudal ambiental: el caudal ecológico en esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

La cuarta metodología implementada, es la propuesta por el ENA, 2014, (IDEAM, 2014), basada en el Índice de Retención Hídrica (IRH). El valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, este valor característico se aplica para un IRH superior a 0,7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios.

La quinta metodología consiste en utilizar el caudal 7Q10. Se debe estimar el índice 7Q10 utilizando toda la serie histórica sin discriminar por mes ni condición hidrológica y el Q95% discriminado por mes y para cada una de las tres condiciones hidrológicas (húmeda, promedio y seca). El caudal ambiental resultará para cada uno de los 36 (3 condiciones hidrológicas x 12 meses) como el valor máximo entre el 7Q10 y el Q95% para el correspondiente mes y condición hidrológica Finalmente los caudales ambientales calculados deben expresarse como una fracción del caudal medio mensual multianual correspondiente (Pinilla-Agudelo et al. 2014).

El caudal ambiental para las subcuencas del Río Nare se estima mediante las metodologías mencionadas anteriormente, con el fin de proporcionar a La Coporación un abanico de posibilidades y elegir entre todas, la que mejor se ajuste a las políticas de gestión y ordenamiento del recurso hídrico que pretende implementar La Coporación. Así pues, para todas las subcuencas se obtuvieron cinco caudales ambientales por mes, cada uno obtenido mediante las metodologías descritas anteriormente. En la Figura 120 y Figura 121 se presentan los resultados de los caudales ambientales para 2 de las subcuencas del Río Nare. Todos los resultados para las otras subcuencas se presentan en el numeral 3, Anexo 4.4, resultados de Oferta para Río Nare. El único caudal ambiental que según la metodología diferencia las condiciones de año seco es el obtenido con la metodología del 7Q10. Todos los valores de caudales ambientales se presentan en el numeral 3, Anexo 4.4, resultados de Oferta para Río Negro y se omiten en este informe por ser un volumen considerable de información que en realidad es un paso intermedio realizado para la definición del caudal ambiental a utilizar.

Al comparar los resultados de los caudales ambientales (Ver para ejemplo Figura 120 y Figura 121) se puede concluir que el valor mas alto para todos los meses es el que se obtiene con la metodología

7Q10, es decir que esta metodología es la más restrictiva en términos del caudal que hay que garantizar en el río. En segundo lugar se encuentran los caudales obtenidos con la metodología sugerida por el ENA, 2014. Los caudales obtenidos como el caudal que permanece el 97.5% del tiempo (Q97.5) y el 25% del Caudal Medio (metodologías de la Resolución 865 de 2004), son menos restrictivos para el uso del recurso hídrico, considerando que son hasta en un 50% menores que los obtenidos con las dos primeras metodologías. Por último, se encuentra el valor más permisivo, obtenido como el 25% del caudal mas bajo de la serie histórica.

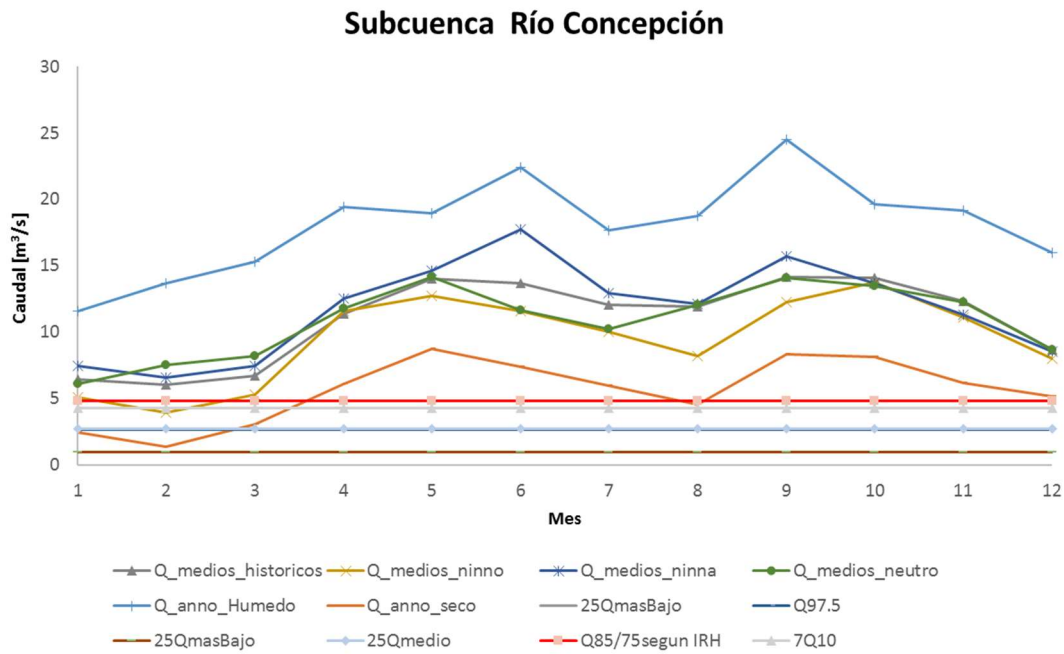


Figura 120. Resultados Caudales medios año medio, húmedo, seco, neutro, Niña y Niño y Caudales ambientales según diferentes metodologías, para la subcuenca del Río Concepción.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

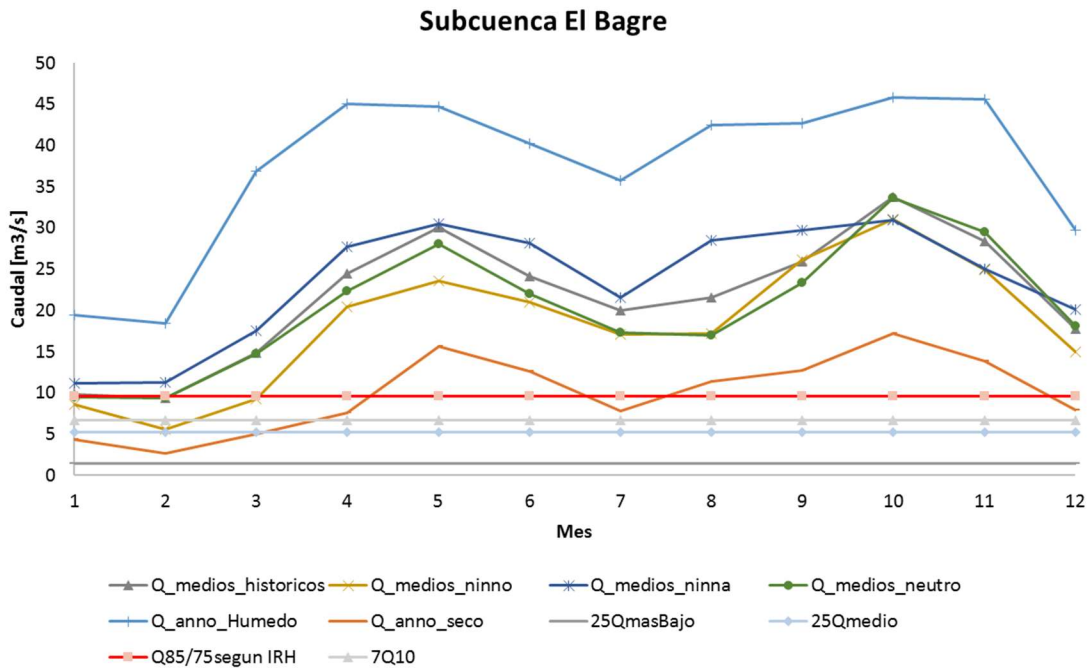


Figura 121. Resultados Caudales medios año medio, húmedo, seco, neutro, Niña y Niño y Caudales ambientales según diferentes metodologías, para la subcuenca de El Bagre

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.7.2.1 Caudal ambiental adoptado por La Corporación para las subcuenca del Río Nare

A partir del análisis de los diferentes caudales ambientales obtenidos mediante las cinco metodologías expuestas, La Corporación decide adoptar como el caudal ambiental, el definido según la metodología explicada ampliamente en el ENA 2014, que consiste en el caudal que permanece el 85% ó el 75% del tiempo en la corriente, según el IRH de la cuenca. En la Tabla 79 se presentan los caudales ambientales para cada subcuenca

Tabla 79. Caudal ambiental subcuenca del Río Nare (m³/s)

Subcuenca	Caudal ambiental (m³/s)
Río Nusito	1.369
Quebrada San Miguel	14.434
Quebrada El Porvenir	0.651
Quebrada La Guzmaná	0.455
Quebrada San Pedro	1.314
Quebrada Limoncito	2.676
Quebrada El Bejuco (Quebrada El Rosario)	12.491
Quebrada San Miguel	1.165

Quebrada Nudillales	7.592
Quebrada El Pital	0.715
Quebrada Mina Grande	2.456
Río Concepción	4.779
Río San Lorenzo	1.220
Quebrada Las Mercedes	2.577
Quebrada Las Frías	4.153
Río Chico	1.282
Quebrada Llanada	0.673
Quebrada El Bagre	9.618
Quebrada Quebradona	7.235
Quebrada Portugal	0.478
Quebrada Honda	8.149
Quebrada La Sona	0.261
Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	10.554
Quebrada Vijagual	1.209

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla Tabla 80 se presentan para todas las subcuencas del Río Nare la oferta hídrica total para condiciones de año medio, seco y húmedo.

4.7.7.3 Oferta Hídrica superficial disponible

Restando de la oferta hídrica superficial total los caudales ambientales se obtiene la oferta hídrica superficial disponible, tanto para año medio, como para año seco. Este resultado se entrega a escala mensual, ya que la oferta varía con el ciclo anual, aunque los caudales ambientales permanecen constantes durante el año, según la metodología adoptada para su cálculo. En la

Tabla 80, se presenta un consolidado de la oferta total, el caudal ambiental y la oferta disponible para año medio y en la Tabla 81 para año seco, a nivel mensual, para las subcuencas en las que se ha dividido el territorio de la cuenca del Río Nare. Estos mismos resultados y En la Figura 122 y Figura 123 se presentan los resultados de la oferta disponible para año medio y seco para dos de las subcuencas del Río Nare.

Tabla 80. Oferta hídrica total, caudal ambiental y oferta hídrica disponible para condiciones de año medio por subcuenca del Río Nare (m³/s)

MES	Caudal	Río Nusito	Quebrada San Miguel	Quebrada El Porvenir	Quebrada La Guzmaná	Quebrada San Pedro	Quebrada Limoncito	Quebrada El Bejuco (Quebrada El)	Quebrada San Miguel	Quebrada Nuclillales	Quebrada El Pital	Quebrada Mina Grande	Río Concepción	Río San Lorenzo	Quebrada Las Mercedes	Quebrada Las Frías	Río Chico	Quebrada Llanada	Quebrada El Bagre	Quebrada Quebradona	Quebrada Portugal	Quebrada Honda	Quebrada La Sona	Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	Quebrada Vijagual
ENERO	OHT	1.800	19.378	0.852	0.574	1.707	3.515	17.025	1.534	10.662	0.843	3.518	6.461	1.616	3.241	5.630	1.606	0.864	9.846	7.377	0.598	8.278	0.361	10.857	1.543
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.431	4.945	0.201	0.119	0.393	0.839	4.534	0.369	3.070	0.128	1.062	1.682	0.396	0.664	1.477	0.323	0.191	0.228	0.142	0.120	0.130	0.101	0.303	0.333
FEBRERO	OHT	1.695	18.045	0.779	0.526	1.561	3.239	15.760	1.426	9.883	0.773	3.115	6.004	1.604	2.988	5.213	1.415	1.103	9.411	7.113	0.521	7.873	0.505	10.852	1.407
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.326	3.611	0.128	0.072	0.247	0.563	3.269	0.261	2.291	0.058	0.659	1.225	0.384	0.411	1.060	0.132	0.430	0.000	0.000	0.042	0.000	0.244	0.299	0.198
MARZO	OHT	2.013	20.110	1.060	0.737	1.760	3.621	17.340	1.594	10.829	1.022	4.478	6.720	1.922	3.170	7.852	2.178	1.859	14.876	11.027	0.898	12.319	0.863	17.264	1.963
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.644	5.676	0.409	0.283	0.446	0.945	4.849	0.429	3.237	0.307	2.022	1.941	0.702	0.593	3.699	0.895	1.186	5.258	3.792	0.419	4.171	0.602	6.710	0.754
ABRIL	OHT	3.539	34.173	1.983	1.392	2.934	6.102	29.323	2.707	18.293	1.814	7.890	11.355	3.321	5.337	13.263	3.393	3.038	24.430	18.339	1.408	20.294	1.665	28.634	3.691
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	2.169	19.739	1.332	0.937	1.620	3.426	16.833	1.542	10.701	1.099	5.434	6.576	2.102	2.760	9.110	2.110	2.365	14.812	11.104	0.930	12.145	1.404	18.080	2.482
MAYO	OHT	4.294	41.813	2.352	1.663	3.662	7.564	35.986	3.337	22.301	2.205	9.750	14.032	3.959	6.353	16.133	4.119	3.324	30.031	22.121	1.799	24.733	1.755	34.668	4.419
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	2.925	27.379	1.701	1.209	2.348	4.888	23.496	2.172	14.709	1.490	7.294	9.253	2.739	3.777	11.980	2.836	2.651	20.413	14.886	1.320	16.584	1.494	24.115	3.210
JUNIO	OHT	4.019	40.706	2.049	1.448	3.605	7.432	35.397	3.266	22.023	1.925	8.431	13.695	3.600	6.441	13.582	3.542	2.378	24.172	18.038	1.473	20.174	1.140	27.260	3.843
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	2.650	26.273	1.398	0.994	2.291	4.756	22.907	2.101	14.431	1.210	5.975	8.916	2.380	3.864	9.429	2.259	1.706	14.554	10.803	0.995	12.025	0.879	16.706	2.634
JULIO	OHT	3.343	35.551	1.673	1.197	3.131	6.458	31.091	2.836	19.452	1.642	7.025	12.057	3.052	5.715	11.267	2.878	1.895	19.947	14.892	1.179	16.644	0.876	22.493	3.152
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209

MES	Caudal	Río Nusito	Quebrada San Miguel	Quebrada El Porvenir	Quebrada La Guzmaná	Quebrada San Pedro	Quebrada Limoncito	Quebrada El Bejuco (Quebrada El)	Quebrada San Miguel	Quebrada Nudillates	Quebrada El Pital	Quebrada Mina Grande	Río Concepción	Río San Lorenzo	Quebrada Las Mercedes	Quebrada Las Frías	Río Chico	Quebrada Llanada	Quebrada El Bagre	Quebrada Quebradona	Quebrada Portugal	Quebrada Honda	Quebrada La Sona	Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	Quebrada Vijsual
AGOSTO	OHD	1.973	21.118	1.022	0.742	1.817	3.782	18.600	1.671	11.860	0.927	4.569	7.278	1.832	3.138	7.114	1.596	1.223	10.329	7.657	0.701	8.495	0.615	11.939	1.943
	OHT	3.510	35.864	1.828	1.314	3.108	6.449	31.127	2.846	19.435	1.776	7.565	11.948	3.259	5.778	12.161	3.060	2.203	21.603	16.197	1.233	18.005	1.083	24.680	3.446
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
SEPTIEMBRE	OHT	4.153	42.058	2.172	1.538	3.660	7.572	36.485	3.338	22.837	2.015	8.754	14.135	3.868	6.737	14.382	3.735	2.853	25.955	19.419	1.553	21.617	1.474	29.838	4.064
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	2.783	27.625	1.521	1.083	2.346	4.896	23.995	2.173	15.245	1.300	6.298	9.356	2.648	4.160	10.229	2.453	2.180	16.337	12.184	1.074	13.468	1.213	19.284	2.855
OCTUBRE	OHT	4.608	42.690	2.602	1.761	3.737	7.739	36.391	3.426	22.249	2.368	10.516	14.071	4.259	6.253	18.088	4.928	4.078	33.766	25.117	2.033	28.023	2.012	38.916	4.753
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	3.239	28.256	1.951	1.307	2.423	5.063	23.901	2.261	14.657	1.653	8.060	9.292	3.039	3.676	13.935	3.646	3.405	24.148	17.882	1.554	19.875	1.752	28.362	3.544
NOVIEMBRE	OHT	4.034	37.466	2.309	1.574	3.289	6.808	32.003	3.007	19.537	2.080	9.319	12.303	3.640	5.538	15.579	4.219	3.065	28.357	21.130	1.727	23.638	1.489	32.154	4.231
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	2.665	23.032	1.658	1.119	1.975	4.132	19.513	1.843	11.945	1.365	6.863	7.524	2.420	2.961	11.426	2.937	2.392	18.739	13.895	1.249	15.490	1.228	21.601	3.022
DICIEMBRE	OHT	2.890	26.831	1.635	1.107	2.358	4.919	22.987	2.181	13.933	1.476	6.478	8.685	2.564	4.011	10.316	2.807	1.547	17.774	13.385	1.083	14.990	0.689	19.552	2.981
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	1.520	12.397	0.984	0.653	1.044	2.243	10.496	1.017	6.341	0.761	4.022	3.906	1.344	1.434	6.163	1.524	0.874	8.156	6.150	0.605	6.841	0.428	8.998	1.771

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla: OHT = Oferta Hídrica Total (m³/s), CA = Caudal Ambiental (m³/s), OHD = Oferta Hídrica Disponible (m³/s).

Tabla 81. Oferta hídrica total, caudal ambiental y oferta hídrica disponible para condiciones de año seco por subcuenca del Río Nare (m³/s)

MES	Caudal	Subcuencas																							
		Río Nusito	Quebrada San Miguel	Quebrada El Porvenir	Quebrada La Guzmaná	Quebrada San Pedro	Quebrada Limoncito	Quebrada El Bejuco (Quebrada El Rosario)	Quebrada San Miguel	Quebrada Nudillales	Quebrada El Pital	Quebrada Mina Grande	Río Concepción	Río San Lorenzo	Quebrada Las Mercedes	Quebrada Las Frías	Río Chico	Quebrada Llanada	Quebrada El Bagre	Quebrada Quebradona	Quebrada Portugal	Quebrada Honda	Quebrada La Sona	Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	Quebrada Vijagual
ENERO	OHT	0.860	8.480	0.381	0.275	0.726	1.575	7.113	0.717	4.049	0.354	1.596	2.419	0.741	1.225	2.564	0.659	0.352	4.342	3.327	0.225	3.695	0.172	4.738	0.737
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FEBRERO	OHT	0.519	4.767	0.241	0.164	0.400	0.883	4.072	0.406	2.347	0.226	0.904	1.354	0.491	0.744	1.519	0.440	0.307	2.660	2.050	0.138	2.251	0.150	3.067	0.428
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MARZO	OHT	1.005	9.566	0.442	0.288	0.818	1.676	7.837	0.748	4.790	0.525	1.823	3.051	1.121	1.337	3.162	0.775	0.580	4.970	4.042	0.268	4.385	0.170	5.803	0.810
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ABRIL	OHT	1.297	16.705	0.562	0.385	1.616	3.172	14.809	1.358	9.473	0.676	2.758	6.103	1.419	2.641	4.495	1.055	0.714	7.561	5.819	0.382	6.399	0.214	8.824	1.049
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.000	2.271	0.000	0.000	0.302	0.496	2.319	0.194	1.881	0.000	0.302	1.324	0.199	0.064	0.342	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAYO	OHT	2.563	26.011	1.107	0.880	2.353	4.751	22.069	2.076	13.763	1.335	5.659	8.768	2.459	3.864	8.715	2.047	0.978	15.683	11.270	0.976	12.831	0.439	17.468	2.250
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	1.194	11.578	0.456	0.426	1.039	2.075	9.578	0.912	6.171	0.620	3.203	3.989	1.239	1.287	4.562	0.764	0.305	6.066	4.036	0.498	4.682	0.178	6.914	1.041
JUNIO	OHT	2.434	22.394	1.087	0.743	2.097	4.261	19.194	1.858	11.666	1.206	4.542	7.395	2.071	3.233	7.342	1.925	1.126	12.625	9.489	0.746	10.587	0.402	14.235	1.987
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	1.064	7.961	0.436	0.289	0.783	1.585	6.704	0.693	4.074	0.491	2.086	2.616	0.851	0.656	3.189	0.643	0.454	3.007	2.254	0.267	2.439	0.141	3.681	0.778
JULIO	OHT	1.566	17.696	0.732	0.520	1.682	3.409	15.496	1.470	9.206	0.731	3.002	5.938	1.594	2.455	4.831	1.294	0.565	7.824	6.015	0.447	6.690	0.178	8.680	1.347
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.197	3.263	0.081	0.066	0.368	0.733	3.005	0.306	1.614	0.016	0.546	1.159	0.374	0.000	0.678	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138

MES	Caudal	Caudales por Quebrada																							
		Río Nusito	Quebrada San Miguel	Quebrada El Porvenir	Quebrada La Guzmaná	Quebrada San Pedro	Quebrada Limoncito	Quebrada El Bejuco (Quebrada El Rosario)	Quebrada San Miguel	Quebrada Nudillales	Quebrada El Pital	Quebrada Mina Grande	Río Concepción	Río San Lorenzo	Quebrada Las Mercedes	Quebrada Las Frías	Río Chico	Quebrada Llanada	Quebrada El Bagre	Quebrada Quebradona	Quebrada Portugal	Quebrada Honda	Quebrada La Sona	Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	Quebrada Vijagual
AGOSTO	OHT	1.507	14.211	0.864	0.567	1.141	2.349	11.843	1.025	6.982	1.124	4.281	4.515	1.371	1.764	6.429	1.333	0.659	11.402	8.319	0.530	9.331	0.273	12.641	1.552
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.137	0.000	0.213	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.409	1.825	0.000	0.151	0.000	2.276	0.051	0.000	1.784	1.084	0.051	1.182	0.012	2.088	0.343
SEPTIEMBRE	OHT	2.246	25.862	1.112	0.820	2.264	4.645	21.420	2.059	12.987	1.030	4.588	8.323	2.243	3.571	7.532	1.966	1.173	12.765	9.726	0.742	10.805	0.469	14.548	2.112
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.877	11.428	0.461	0.366	0.950	1.969	8.929	0.894	5.395	0.315	2.132	3.544	1.023	0.994	3.378	0.683	0.500	3.147	2.491	0.263	2.656	0.208	3.995	0.903
OCTUBRE	OHT	2.572	25.107	1.407	1.012	2.186	4.449	21.119	1.931	12.977	1.371	6.253	8.157	2.572	3.684	9.761	2.383	1.351	17.176	12.669	1.002	14.210	0.636	19.219	2.724
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	1.203	10.673	0.756	0.557	0.872	1.773	8.629	0.767	5.385	0.656	3.797	3.378	1.352	1.107	5.608	1.101	0.679	7.558	5.434	0.524	6.061	0.375	8.666	1.515
NOVIEMBRE	OHT	1.378	17.424	0.636	0.551	1.604	3.167	15.620	1.334	10.229	0.611	3.495	6.192	1.174	3.216	6.994	2.165	1.076	13.897	10.269	0.874	11.577	0.352	15.982	1.330
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.008	2.991	0.000	0.097	0.290	0.491	3.130	0.170	2.637	0.000	1.039	1.413	0.000	0.639	2.841	0.883	0.403	4.279	3.034	0.396	3.428	0.092	5.429	0.121
DICIEMBRE	OHT	1.430	15.495	0.615	0.486	1.415	2.910	13.492	1.272	8.143	0.687	2.990	5.136	1.300	2.265	4.774	1.370	0.556	7.899	6.006	0.482	6.731	0.231	8.555	1.206
	CA	1.369	14.434	0.651	0.455	1.314	2.676	12.491	1.165	7.592	0.715	2.456	4.779	1.220	2.577	4.153	1.282	0.673	9.618	7.235	0.478	8.149	0.261	10.554	1.209
	OHD	0.061	1.062	0.000	0.031	0.101	0.234	1.001	0.108	0.551	0.000	0.534	0.357	0.080	0.000	0.621	0.087	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla: OHT = Oferta Hídrica Total (m³/s), CA = Caudal Ambiental (m³/s), OHD = Oferta Hídrica Disponible (m³/s).

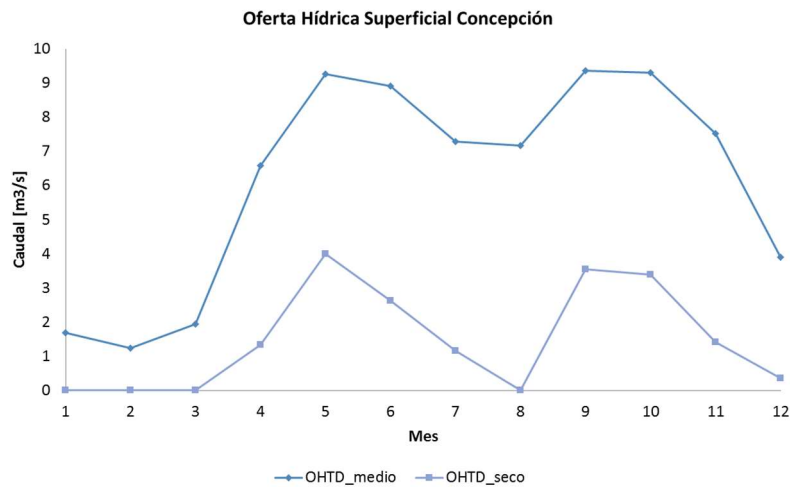


Figura 122. Oferta Disponible mensual multianual para año medio y para año seco para la subcuenca del Río Concepción.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

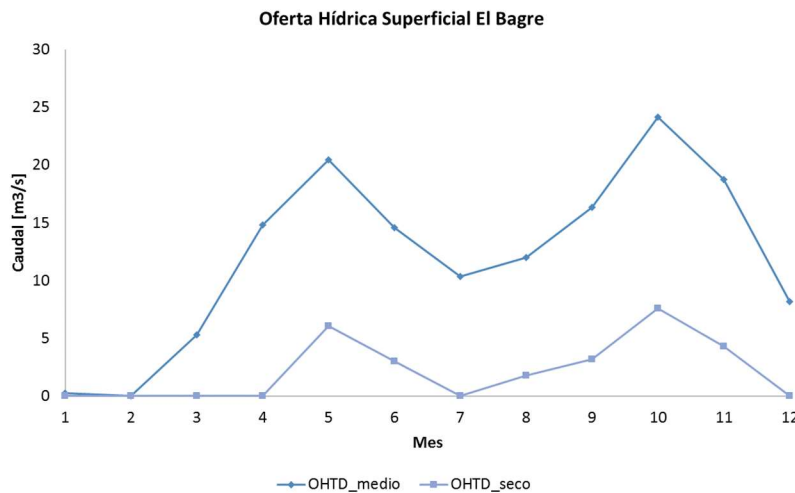


Figura 123. Oferta Disponible mensual multianual para año medio y para año seco para las subcuencas Río Nusito y el Río Chico.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En promedio la reducción de la oferta entre año medio y año seco es del 53%. Siendo la subcuenca de La Sona y Llanada las que presentan una reducción mayor del orden del 73% y 66% respectivamente. El aumento de caudal en año húmedo respecto a las condiciones de año medio es de aproximadamente 70%

4.7.8 Oferta hídrica total y disponible para las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales.

Para determinar la oferta en las microcuencas abastecedoras se simularon series de caudal diario para el período 28/08/1996 – 31/12/2014 utilizando el modelo TETIS implementado en la cuenca, tal como se describió en la sección 4.7.7.1.1. Tal como se describió en los apartados de Hidrografía y Morfometría, la delimitación de estas microcuencas se realizó apartir de la base de datos de concesiones de La Coporación, agrupando en algunos casos varias concesiones muy cercanas y con dificultades para la modelación, en un punto más aguas abajo, que englobara el área afluente de estas concesiones. En estos casos, el caudal que se fija en dicho punto como el caudal otorgado, se determina como la suma de lo concesionado, cuando se evidencia que son concesiones diferentes, o se toma el mayor caudal cuando se evidencia que proceden de una actualización de la concesión.

Los caudales medios para año medio y seco para cada una de las microcuencas se presentan en la Tabla 82. Adicionalmente en la misma tabla, en la tercera columna se relaciona el caudal concesionado en el cierre, lo que permite verificar que en ningún caso el caudal otorgado excede el caudal medio de año medio y seco de la fuente. Los resultados completos de oferta para año medio, seco y húmedo y los caudales ambientales de las microcuencas abastecedoras se presentan en el numeral 7 del Anexo 4.4.

Tabla 82. Oferta Hídrica superficial total para años medios, secos y húmedos simulados para las microcuencas abastecedoras municipales y caudal otorgado por concesión.

Municipio	Nombre	Caudal Concesionado [l/s]	OHT año medio [l/s]	OHT año seco [l/s]
Aleandría	Aleandría (1)	9.3	214.20	99.82
Concepción	Concepción (4)	14.8	37.36	18.95
Santo Domingo	Santo Domingo 1	3.0	17.49	8.22
Santo Domingo	Santo Domingo 2 (2)	1.3	9.29	4.70
Santo Domingo	Santo Domingo 3	0.2	7.62	3.84

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.8.1 Caudales ambientales para microcuencas abastecedoras de acueductos municipales

Para las microcuencas abastecedoras se siguió la misma metodología presentada en la sección 4.7.7.2 para obtener los caudales ambientales. En el numeral 3 del Anexo 4.4 se presentan los

resultados de los caudales ambientales para estas microcuencas, obtenidos por las diferentes metodologías explicadas.

Como se explicó anteriormente, el caudal ambiental adoptado para obtener la oferta hídrica disponible es el caudal obtenido por la metodología utilizada en el ENA 2014, definido como el caudal excedido el 85% o 75% del tiempo, según el IRH de la microcuenca, dado que es la metodología que decide adoptar La Corporación Ambiental con jurisdicción en las microcuencas. Esta metodología entrega un único caudal para todos los meses e independiente de la condición húmeda, media o seco. En la Tabla 83 se presenta el caudal ambiental para las microcuencas abastecedoras.

Tabla 83. Caudal ambiental microcuencas abastecedoras, Río Nare (l/s)

Microcuenca abastecedora	Caudal ambiental (l/s)
Alejandría (1)	100.40
Concepción (4)	16.30
Santo Domingo 1	7.30
Santo Domingo 2 (2)	4.20
Santo Domingo 3	3.60

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.8.2 Oferta Hídrica superficial Disponible para microcuencas abastecedoras de acueductos municipales

Tal como se explicó en el numeral 4.7.7.3 la oferta disponible resulta de restar a la oferta hídrica superficial total los caudales ambientales para la fuente en cuestión. En la Tabla 84 se muestra un consolidado de la oferta total, oferta disponible y caudal ambiental, a nivel mensual para año medio para las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales y en la Tabla 85 para año seco.

En el numeral 3 del Anexo 4.4, se entrega la oferta total, y disponible de año húmedo, medio, seco, Niño, Niña y Neutro, para las 5 microcuencas abastecedoras.

Tabla 84. Oferta hídrica total, caudal ambiental y oferta hídrica disponible para condiciones de año medio por microcuenca abastecedora, Río Nare (l/s)

MES	Caudal	Alejandría (1)	Concepción (4)	Santo Domingo 1	Santo Domingo 2 (2)	Santo Domingo 3
ENERO	OHT	133.30	21.10	10.40	5.00	4.50
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	32.90	4.80	3.10	0.80	0.90
FEBRERO	OHT	124.60	19.60	9.50	4.40	3.90
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	24.20	3.30	2.20	0.20	0.30

MARZO	OHT	131.40	22.50	10.20	5.40	4.50
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	31.00	6.20	2.90	1.20	0.90
ABRIL	OHT	226.60	38.40	17.70	9.10	7.50
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	126.20	22.10	10.40	4.90	3.90
MAYO	OHT	265.30	48.40	22.00	12.00	9.80
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	164.90	32.10	14.70	7.80	6.20
JUNIO	OHT	267.70	47.30	21.90	12.00	9.70
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	167.30	31.00	14.60	7.80	6.10
JULIO	OHT	237.10	41.40	18.90	10.20	8.20
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	136.70	25.10	11.60	6.00	4.60
AGOSTO	OHT	243.30	40.50	19.00	9.90	8.00
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	142.90	24.20	11.70	5.70	4.40
SEPTIEMBRE	OHT	283.10	48.30	22.30	11.80	9.50
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	182.70	32.00	15.00	7.60	5.90
OCTUBRE	OHT	261.30	48.60	22.80	12.60	10.20
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	160.90	32.30	15.50	8.40	6.60
NOVIEMBRE	OHT	229.40	42.60	20.20	11.10	9.10
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	129.00	26.30	12.90	6.90	5.50
DICIEMBRE	OHT	167.30	29.70	15.10	7.90	6.50
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	66.90	13.40	7.80	3.70	2.90

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla: OHT = Oferta Hídrica Total (m³/s), CA = Caudal Ambiental (m³/s), OHD = Oferta Hídrica Disponible (m³/s).

Tabla 85. Oferta hídrica total, caudal ambiental y oferta hídrica disponible para condiciones de año seco por microcuenca abastecedora, Río Nare (l/s)

MES	Caudal	Alejandría (1)	Concepción (4)	Santo Domingo 1	Santo Domingo 2 (2)	Santo Domingo 3
ENERO	OHT	51.10	7.80	5.00	2.20	1.90
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FEBRERO	OHT	31.50	4.00	3.10	0.90	0.80

MES	Caudal	Alejandro (1)	Concepción (4)	Santo Domingo 1	Santo Domingo 2 (2)	Santo Domingo 3
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	OHT	53.80	9.90	4.40	2.20	1.90
MARZO	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ABRIL	OHT	101.30	20.80	7.30	4.90	4.00
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.90	4.50	0.00	0.70	0.40
MAYO	OHT	158.80	30.00	12.30	7.70	6.20
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	58.40	13.70	5.00	3.50	2.60
JUNIO	OHT	125.50	25.80	10.90	7.20	5.90
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	25.10	9.50	3.60	3.00	2.30
JULIO	OHT	95.90	20.50	8.80	5.70	4.60
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	4.20	1.50	1.50	1.00
AGOSTO	OHT	68.10	15.20	6.30	3.90	3.10
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEPTIEMBRE	OHT	145.70	28.50	12.70	7.10	5.70
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	45.30	12.20	5.40	2.90	2.10
OCTUBRE	OHT	151.80	26.70	11.80	6.30	5.20
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	51.40	10.40	4.50	2.10	1.60
NOVIEMBRE	OHT	123.40	20.60	8.00	4.40	3.60
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	23.00	4.30	0.70	0.20	0.00
DICIEMBRE	OHT	91.10	17.70	8.20	3.90	3.20
	CA	100.40	16.30	7.30	4.20	3.60
	OHD	0.00	1.40	0.90	0.00	0.00

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla: OHT = Oferta Hídrica Total (m³/s), CA = Caudal Ambiental (m³/s), OHD = Oferta Hídrica Disponible (m³/s).

4.7.9 Estimación de la demanda hídrica sectorial para la cuenca del Río Nare

La demanda multisectorial para la cuenca del Río Nare es analizada desde dos ópticas: la primera en estimar lo que se denomina demanda real o concesionada, a partir de las bases RURH de

CORNARE, las cuales contienen información de expedientes a partir del año 2006. La segunda estimar la demanda potencial, mediante la propuesta matemática y metodológica que realiza el Estudio Nacional de Agua –ENA (2014), fundamentado en registros de población, número de animales presentes en los municipios vinculados a la cuenca, análisis de cobertura, volumen útil de embalses multipropósito e información de las industrias.

En resumen, la estimación de la demanda hídrica multisectorial para la cuenca del río Negro se realiza de dos formas:

1. Demanda Real o Concesionada: Mediante la sumatoria de las concesiones otorgadas por CORNARE a los usuarios/expediente, lo cual se definirá como demanda por concesiones
2. Demanda potencial: Se estimará en función de la metodología propuesta por el Estudio Nacional del Agua 2014, módulos de consumo Resolución 112-2316 de Cornare y título B del RAS 2009 para estimación de la demanda del sector doméstico.

4.7.9.1 Demanda Real o Concesionada para la cuenca del Río Nare:

Con base en la información consignada en la base de datos de concesiones, se obtuvieron datos de los caudales por destinación para la cuenca del Río Nare. Para el análisis por concesiones se toman en cuenta los permisos vigentes al año 2014. Como primer paso se hace una revisión de la información y ajuste de los campos de las bases: Expediente, coordenadas, usos, vigencia, caudal concesionado, subcuenca, municipio, código y tipo de resolución (ver Figura 124). Posteriormente se espacializa la información, lo cual permitió corroborar que la información de las bases correspondiera con la cuenca, subcuencas y la red hidrográfica (ver Figura 125).

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE "CORNARE"															
CONCESIONES DE AGUA															
Expediente	Municipio de las Concesión	Cuenca/ Subcuenca / Microcuenca	Codigo Cuenca/ Subcuenca / Microcuenca	Coordenadas sitio de captación		Fecha de Vencimiento de la Concesión	Caudal Concedido (L/seg)	Uso Domestico	Uso Pecuario	Uso Psicológico	Riego	Uso Generación Hidroeléctrica	Uso Generación Cinética	Recreación	Uso Industrial
				COORD. X	COORD. Y										
67 05615020667	RIONEGRO	LA MOSCA	23080114275	857102	1175768	31/01/2018	10,000	0,220							9,780
68 17027134	EL PEÑOL	LA HONDA	23080121005	870479	1179363	11/08/2018	24,870	24,870							
69 050911020259	EL RETIRO	S.N	23080107066	833616	1168981	19/08/2018	0,010	0,010							
70 053180201345	GUAPINE	LA CLARA	23080114134	851710	1185244	10/02/2018	0,025	0,025							
71 053180201893	GUAPINE	SAN JOSE	23080114144	848467	1181442	20/01/2018	0,010	0,010							
72 053180201628	GUAPINE	S.N	23080114203	854256	1179814	21/02/2018	0,008	0,008							
73 056150202378	RIONEGRO	LA LEONERA EL RINCON	23080112054	848341	1178253	14/02/2018	0,160	0,160							
74 056070201757	EL RETIRO	EL VERGEL	23080102084	846314	1158958	06/02/2018	0,049	0,010	0,004		0,035				
75 053180201090	GUAPINE	LA HONDA	23080114114	846430	1180100	04/02/2018	0,021	0,010			0,011				
76 053180201856	GUAPINE	LA HONDA	23080114114	847426	1181200	05/02/2018	0,021	0,010			0,011				

Figura 124. Base de datos ajustada- Cuenca del Río Nare.

Fuente: CORNARE.

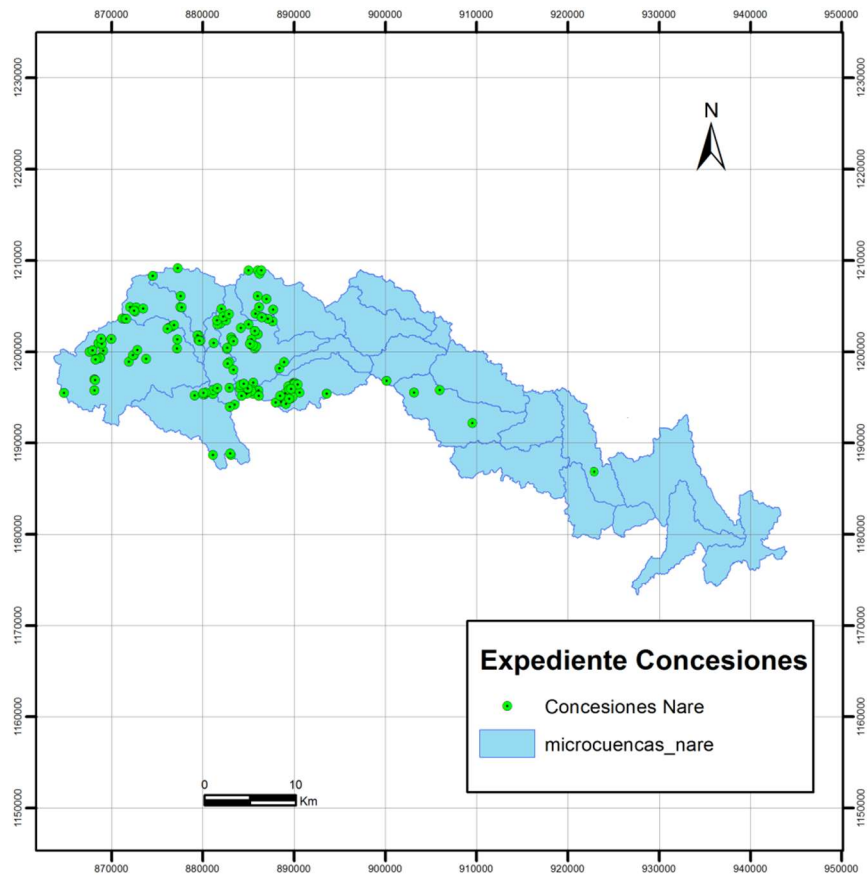


Figura 125. Esquema de la ubicación de los usuarios con base en la información sobre la corriente del Río Nare

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Una vez realizado el filtro se procede a efectuar una sumatoria por uso y totalizar los caudales concesionados, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

Ecuación 1.
$$Caudal_domestico = \sum usuarios_vigentes (l/s)$$

4.7.9.1.1 Análisis Sectorial de la demanda real para las subcuencas

Para el análisis de demanda multisectorial, fundamentado en las bases de datos se identificó que La autoridad ambiental CORNARE, define las siguientes destinaciones del recurso para asignar concesiones de agua en la cuenca del río Nare:

- Domestico
- Comercial
- Energía hidroeléctrica

- Energía cinética
- Industrial
- Riego/ornamental/otros
- Pecuario
- Piscícola
- Recreativo

De análisis de la base de datos de concesiones, se encontraron algunos aspectos que determinarán los resultados obtenidos:

- En la información disponible se encontraron algunos registros que cuyas coordenadas no se encontraban al interior de la cuenca, razón por lo cual no se tuvieron en cuenta.
- Se presentó en la mayoría de los casos que a los usuarios/expedientes se le asignaba renovación por días para luego otorgarla por un periodo mayor, lo cual afectó los cálculos de sumatoria, situación que conllevó a una depuración de la información.

Los resultados de la demanda real para la cuenca y subcuencas del Río Nare se presentan en la Tabla 86. Agrupando por sectores la demanda a nivel de cuenca se aprecia en la Figura 126, que el sector que mayor cantidad de agua demanda es el sector de generación hidroeléctrica con un caudal de 30380 l/s. Otro sector que adquiere relevancia, está relacionado con el uso pecuario, el cual presenta una variedad de especies menores, estabuladas e intensivas como aves, bovinos, caballos, cabras y cerdos, con un caudal concesionado de 30,84 l/s, distribuido en el área de influencia directa de la quebrada el Bejuco. Según la información suministrada no se encuentran volúmenes concesionados para uso de tipo recreativo e industrial. Al realizar el análisis por subcuencas en función de las destinaciones del recurso,

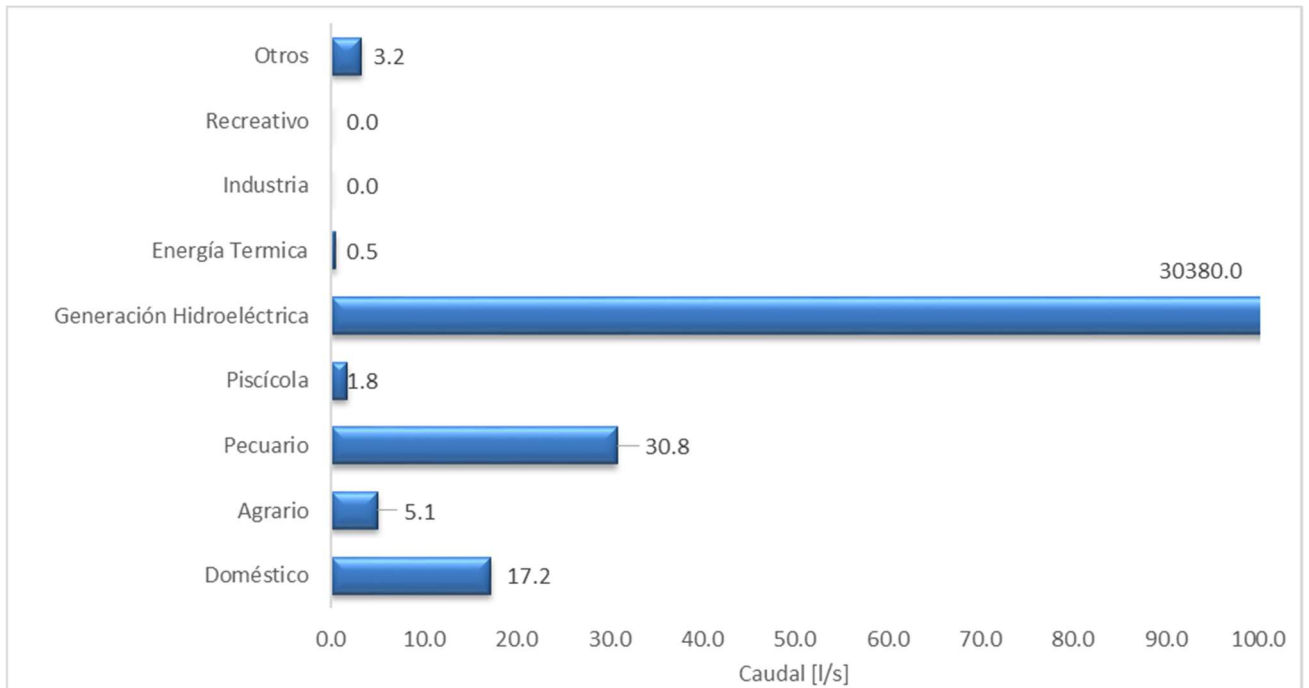


Figura 126. Demanda Real a partir de concesiones discretizada por sector [l/s].

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Realizando el análisis por subcuencas se puede observar en la Figura 127 que las subcuencas con mayor demanda total son El Bejuco y en La Quebradona, las cuales corresponden a concesiones para Generación Hidroeléctrica. Las subcuencas con menor presión son las de menor extensión, como en el caso de la subcuenca San Miguel (San Lorenzo), El porvenir, La Guzmaná, Vijagual, Mina Grande, Las Frías, Llanadas, Portugal, El Bagre, La Sona y Jabonales-Caño Balsamito.

Del análisis de la información, se identificó como sector productivo con mayor demanda, el sector de generación de energía Hidroeléctrica, distribuido principalmente en la quebrada El Bejuco y la quebrada Quebradona, siendo estas dos las microcuencas que generan mayor presión de consumo del recurso hídrico en la cuenca del Río Nare.

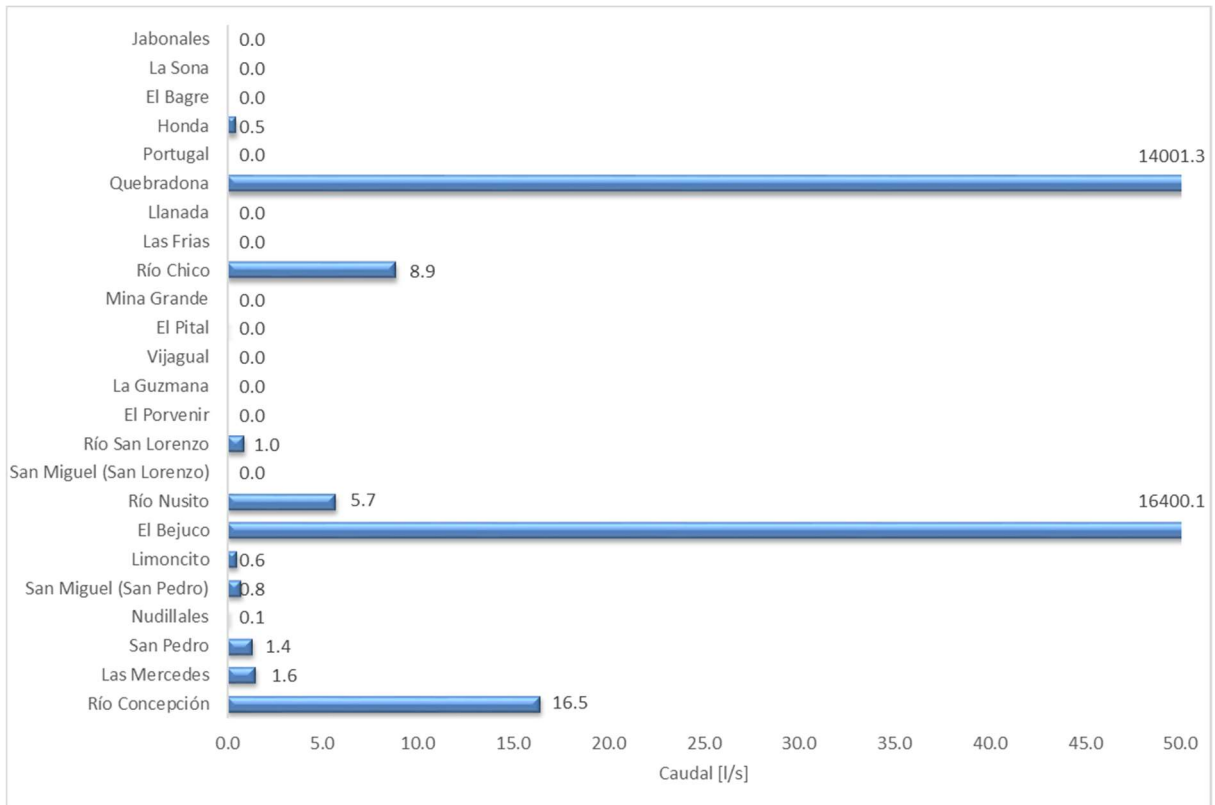


Figura 127. Demanda Real o por Concesiones por subcuencas en l/s.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 86. Demanda concesionada o real por subcuencas y sectores para el Río Nare

Subcuenca	Doméstica	Agrícola	Pecuaria	Piscícola	Generación Hidroeléctrica	Industrial	Térmica	Comercial	Recreativa	Total [l/s]
Río Concepción	15.09	0.79	0.28	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.5
Las Mercedes	0.10	0.05	0.42	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.6
San Pedro	0.10	1.13	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.4
Nudillales	0.03	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1
San Miguel (San Pedro)	0.32	0.16	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.8
Limoncito	0.01	0.05	0.02	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.6
El Bejuco	0.50	0.74	15.29	0.35	16380.00	0.00	0.00	0.00	3.23	16400.1
Río Nusito	0.32	0.07	5.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.7
San Miguel (San Lorenzo)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Río San Lorenzo	0.15	0.71	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
El Porvenir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
La Guzmaná	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Vijagual	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
El Pital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Mina Grande	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Río Chico	0.02	0.00	8.92	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	8.9
Las Frias	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Llanada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Quebradona	0.01	1.30	0.01130	0.00	14000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14001.3
Portugal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Honda	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5
El Bagre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
La Sona	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Jabonales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Total Por Sector	17.2	5.1	30.8	1.8	30380.0	0.5	0.0	0.0	3.2	

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.9.1.2 Análisis Sectorial de la demanda real para microcuencas abastecedoras de acueductos municipales

Para las microcuencas abastecedoras de acueductos municipales se analiza la demanda a partir de las concesiones reportadas. En este caso, es de interés conocer la relación que existe entre la oferta en el sitio de la concesión y el caudal allí otorgado.

A partir de la base de datos de las concesiones para acueductos municipales, proporcionada por CORNARE, se identificaron 9 concesiones, las cuales abastecen los municipios de Alejandría, Concepción y Santo Domingo. En la Figura 128, se presenta para cada municipio el total de caudal concesionado en la cuenca.

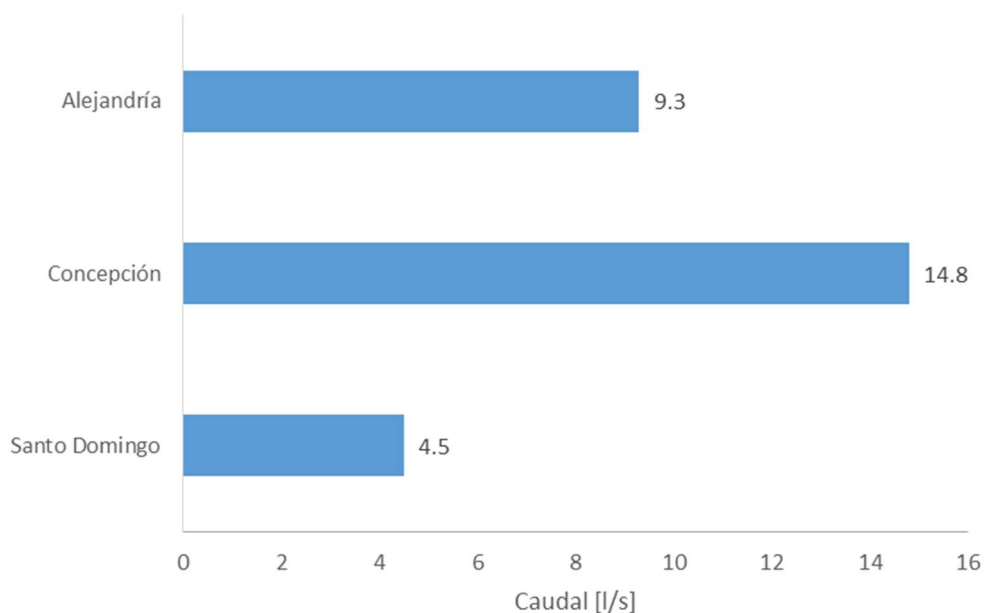


Figura 128. Caudal concesionado por acueducto municipal, en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El municipio que mas caudal tiene concesionado dentro de la cuenca es Concepción, que representa el 52% de todo el caudal concesionado para acueductos municipales, seguido de La Alejandría con el 32% y finalmente Santo Domingo con el 16% restante (Ver Figura 129).

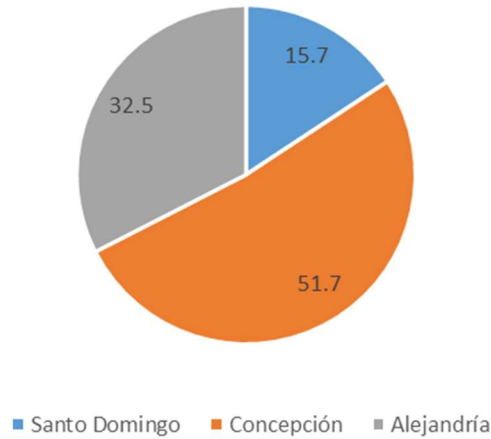


Figura 129. Porcentaje de caudal concesionado para cada municipio, en relación al caudal concesionado total en la cuenca para acueductos municipales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.10 Demanda Potencial para la cuenca del Río Nare

La demanda potencial multisectorial de la cuenca del Río Nare, se estima a través de las ecuaciones definidas en el título B del Reglamento de Agua Potable (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico 2009), Estudio del Nacional del agua (2014) y mediante los módulos de consumo adoptados por la Corporación en el 2012. (CORNARE 2012).

El Estudio Nacional del Agua- (IDEAM, 2014), define la demanda como un volumen de agua que se extrae, se almacena y limita otros usos, la cual cumple funciones de insumo, materia prima en los sectores doméstico y producción, finalmente el líquido es retornado a los cuerpos de agua, en esta definición el ENA hace énfasis en que los ecosistemas también demandan agua para sus sostenibilidad ecológica (IDEAM, 2014).

De acuerdo con el artículo 9 y subsiguiente del decreto 3930 de 2010¹, se definen los diferentes usos, los cuales extraen o demandan agua para su sostenibilidad, fijando un punto de partida para el análisis multisectorial, adicionalmente el ENA incluye los procesos productivos del sector minería,

¹ Artículo 2.2.3.3.2.1 Usos del Agua. Decreto Único Ambiental. 1076 de 2015

hidrocarburos, generación de energía hidroeléctrica y termoeléctrica los cuales demandan una cantidad de agua importante que es necesaria tenerla en cuenta. (IDEAM 2014)

En la siguiente tabla se referencian los modelos de cálculo utilizados para la estimación de la demanda potencial, según los diferentes sectores y se presenta la fuente de consulta que lo sustenta. Como se observa para los sectores Piscícola, Recreativo y Comercial no se utilizará ningún modelo de cálculo, ya que no se cuenta con la información básica, como cantidad de producción de las empresas del sector, necesaria como insumo de los modelos existentes. De esta forma para estos tres sectores la demanda potencial será igual a la demanda real o concesionada.

Tabla 87. Modelo de cálculo para la estimación de la demanda potencial multisectorial de la cuenca del Río Nare.

Sector	Modelo cálculo	Referencia
Doméstico	$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P}$ $Q_{md} = \frac{Población \times d_{bruta}}{86400}$ $QMD = Q_{md} \times k_1$ $QMH = QMD \times k_2$	Título B RAS. (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico 2009)
Agrícola	$DA = zona_floricultivo[ha] * modulo[l - ha / día]$	Resolución Cornare 2012
Generación Hidroeléctrica	$D_GEH = prom_anual_vol_util_diario$	ENA_IDEAM (2014)
Industrial	$DI = Base_RUA$	Cornare
Pecuaria	$DP = Numero_animales * modulo[l - animal / día]$	Resolución Cornare 2012 Anuario
Piscícola	Sumatoria concesiones	Cornare
Recreativo	Sumatoria concesiones	Cornare
Comercial	Sumatoria concesiones	Cornare

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

4.7.10.1.1 Análisis Sectorial de la demanda potencial para las subcuencas

Con base en los modelos de cálculo planteados en la Tabla 87, se estimó la demanda del sector doméstico, pecuario, agrícola y de generación hidroeléctrica. Dentro del sector de la generación hidroeléctrica tienen demanda potencial los proyectos que embalsan el agua, dada la definición de demanda en este sector encontrada en el ENA, 2014, en la cual la demanda se estima a partir del

volumen útil promedio anual del embalse. En el caso de proyectos de generación a filo de agua, o de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), no existe un embalse, y por lo tanto el recuso no se extrae de la fuente, ya que retorna a la misma después de la generación, lo que ocurre generalmente a una corta distancia del punto de captación. Por lo anterior, los proyectos de generación reportados como PCH o a Filo de Agua, no se deben considerar en el cálculo de la demanda potencial en este sector.

Para el embalse San Lorenzo se realiza una estimación de la demanda, con base en el volumen útil promedio diario, obtenido entre los meses de enero a diciembre del año 2014. Para el sector agrícola, se realiza el análisis teniendo en cuenta las coberturas de la cuenca del Rio Nare, la cual presenta cultivos permanentes intensivos de (pan coger, maíz, frijol, yuca, caña y plátano) y áreas destinadas al pastoreo – pastos, explotación del bosque, cría de animales domésticos y ganadería extensiva. Como puede observarse en la Figura 130, la demanda calculada para el sector agrícola y de Energía Hidroeléctrica exceden en orden de magnitud al resto de demandas, y por lo tanto su valor corresponde al de la etiqueta al lado de la barra. La escala del eje vertical en dicha figura corresponde al resto de demandas. El cálculo del sector agrícola está condicionado por la gran cantidad de pastos que se presentan en la cuenca. Para el cálculo de la demanda por uso doméstico se generalizaron los datos de población, suministrados en el archivo de veredas, por lo cual no fue posible identificar del total de la población las veredas distribuidas en las microcuencas, cuantos pertenecían a la parte urbana y cuantos a la parte rural. El cálculo pecuario está distribuido únicamente para datos de animales tipo bovinos ya que la información existente frente a los otros tipos de animales, no es suficiente a nivel de confiabilidad y validación; por lo que se hace una única relación de pastos y ganadería.

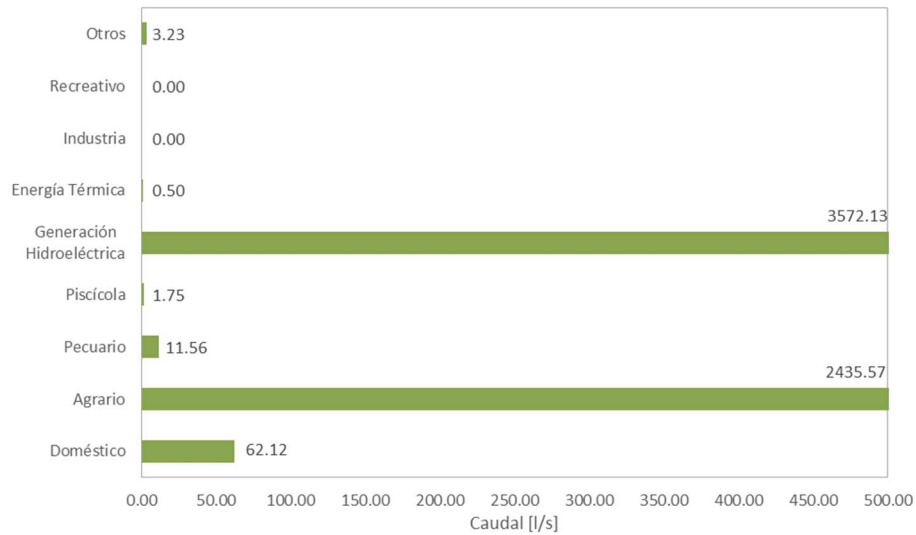


Figura 130. Demanda Potencial por sector [l/s].

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La demanda real o concesionada está por debajo de la potencial para el uso doméstico, en el cual se registra una demanda concesionada de 17,20 l/s, y una demanda potencial de 62,12 l/s. El uso agrario registra un caudal concesionado de 5,05 l/s y la demanda potencial se estima en 2435,57 l/s. Para el sector pecuario, ocurre lo contrario, presentando un caudal concesionado de 30,83 l/s, superior al potencial estimado de 11,56 l/s.

El análisis por subcuenca, se realizó a partir de la distribución de las coberturas y la población en cada una de las subcuencas establecidas. Los resultados de la demanda potencial estimada se presentan en la Tabla 88 y Figura 131. Los archivos que soportan los cálculos de estos valores se encuentran en el Anexo 4.4 en el numeral 9 Memoria de cálculo de la demanda hídrica.

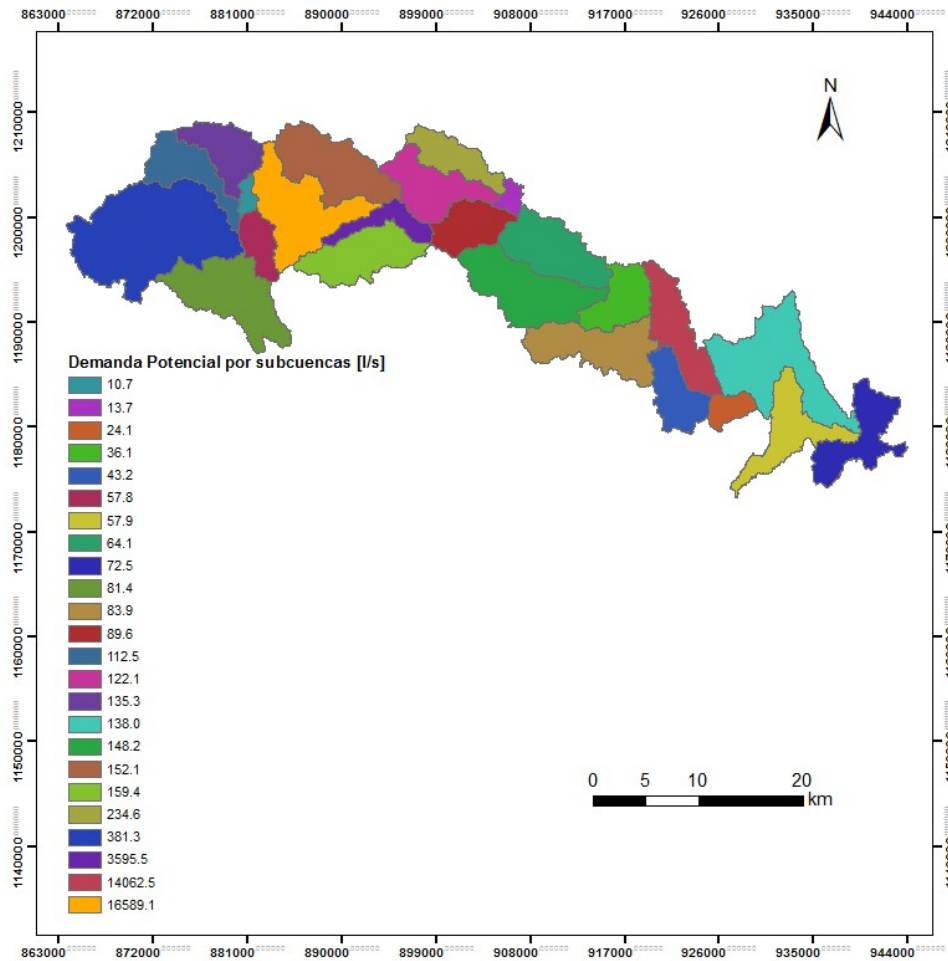


Figura 131. Mapa distribución de Demanda calculada por Subcuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 88. Demanda potencial multisectorial estimada por subcuencas en l/s- Calculada.

Subcuenca	Domestico	Agrario	Pecuario	Piscícola	Generación Hidroeléctrica	Energía Térmica	Industria	Recreativo	Otros	Total Demanda
Río Concepción	15.68	363.68	1.67	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	381.37
Las Mercedes	0.37	79.69	0.41	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.47
San Pedro	0.79	111.29	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112.58
Nudillales	6.81	50.80	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.84
San Miguel (San Pedro)	10.36	124.26	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.33
Limoncito	0.37	9.57	0.35	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	10.78
El Bejuco	2.76	202.07	0.75	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	16589.15
Río Nusito	3.39	147.89	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.15
San Miguel (San Lorenzo)	1.34	22.04	0.02	0.00	3572.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3595.53
Río San Lorenzo	2.10	157.23	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	159.45
El Porvenir	1.53	120.29	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	122.17
La Guzmaná	1.68	232.70	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	234.66
Vijagual	0.47	13.25	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.77
El Pital	1.94	87.50	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.69
Mina Grande	1.72	62.26	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.15
Río Chico	2.60	145.54	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	148.26
Las Frias	0.45	35.54	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.17
Llanada	0.73	83.07	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.98
Quebradona	0.83	61.53	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14062.56
Portugal	0.45	42.65	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.24
Honda	0.00	24.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.17
El Bagre	1.87	134.02	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	138.00
La Sona	0.85	56.26	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.91
Jabonales	3.03	68.36	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.50

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Comparando la demanda concesionada con la potencial, se encuentra un incremento en la demanda por subcuencas, siendo representativo en la subcuenca de la quebrada San miguel (Rio San Lorenzo), con 3595,53 l/s, seguido por la subcuenca del Río Concepción con 381,37 l/s. La subcuencas El Bejuco y Quebradona, continúan siendo el sector geográfico que mayor cantidad de agua requiere para la sostenibilidad de las diferentes actividades que confluyen en la cuenca.

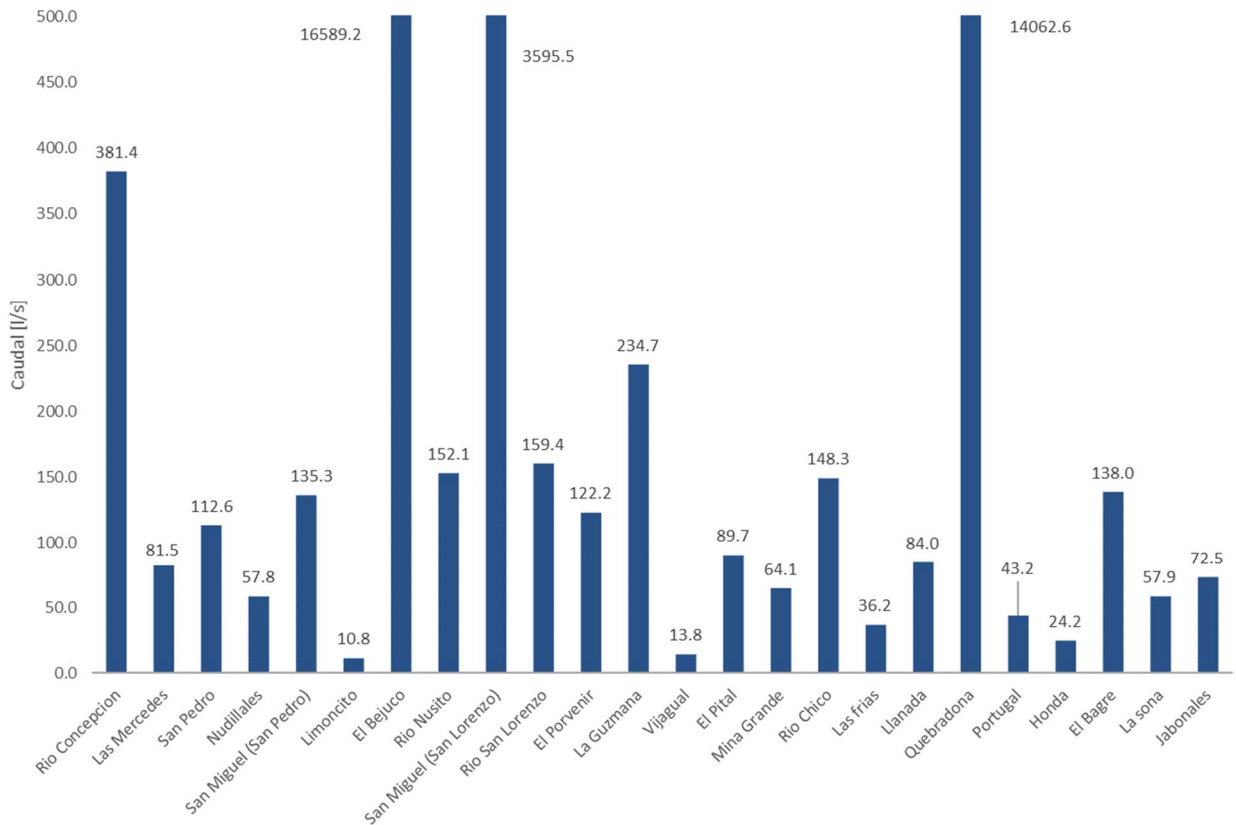


Figura 132. Demanda potencial estimada por subcuenca [l/s].

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.10.1.2 Análisis Sectorial de la demanda potencial para las microcuencas

Para estimar la demanda potencial de las microcuencas abastecedoras, se parte de la capa de cuencas abastecedoras entregada por La Corporación, en la cual el punto de cierre de las microcuencas no coincide con el punto de la concesión, por lo que el número de microcuencas en este análisis difiere de lo anteriormente presentado. La demanda potencial por sectores en estas microcuencas se muestra en la Figura 133.

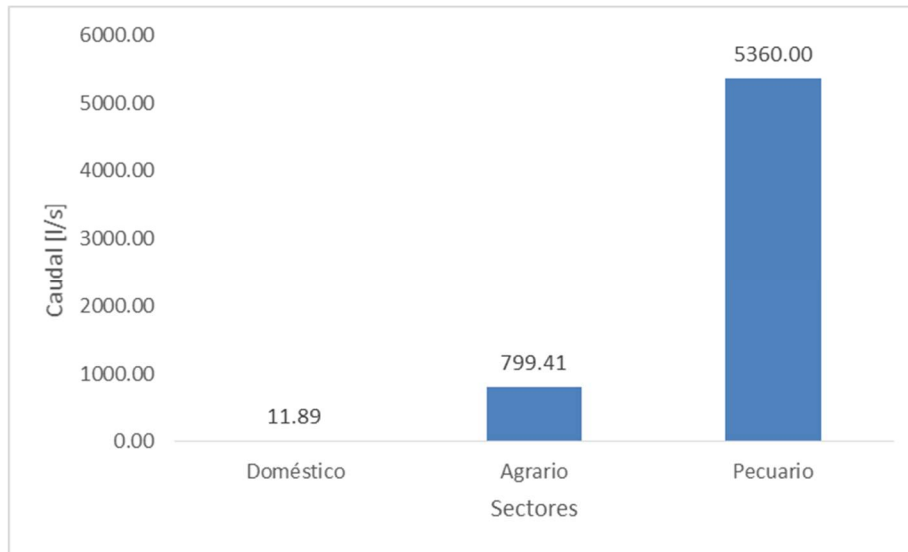


Figura 133. Distribución de Demandas por Sectores en fuentes abastecedoras.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Se identifica una mayor demanda para el sector pecuario con un caudal de 5360 (l/s) seguido del sector Agrícola- riego con un caudal de 799.41l /s. Se identifica un máximo caudal incluyendo usos doméstico, agrícola y pecuario para la microcuenca CORNARE San pedro, con un caudal de 1783.19 l/s y la quebrada La Sona con un caudal de 1146,49 l/s; siendo estas las 2 más representativas de la zona (Figura 134).

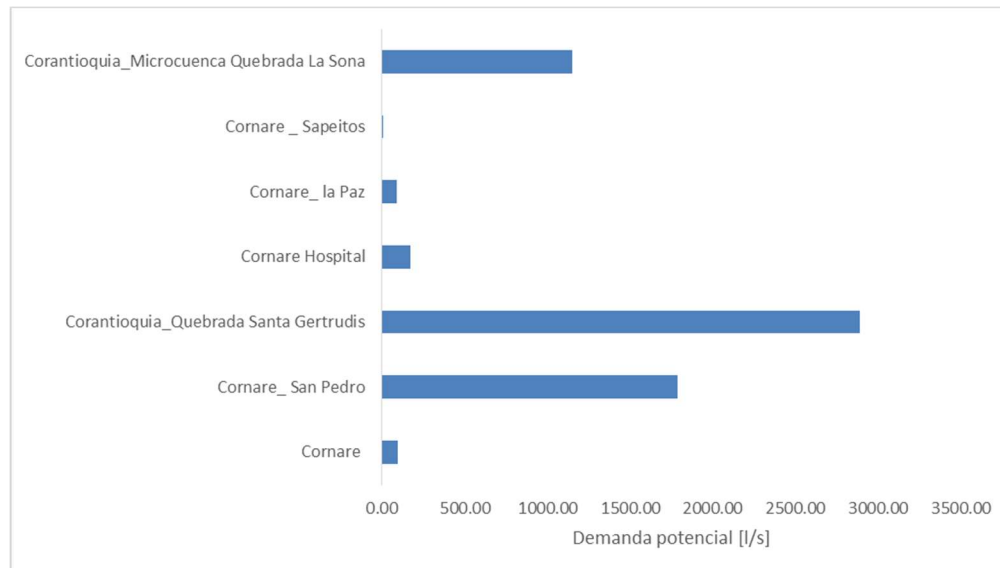


Figura 134. Demanda potencial para microcuencas abstededoras [l/s].

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Respecto a la demanda hídrica en la cuenca del Río Nare se puede concluir que los usos de agua asignados y/o concesionados, hacen parte de los usos no consuntivos ya que se identifica la fuerte existencia del sector de generación de energía Hidroeléctrica. Al realizar la comparación de los caudales concesionados, se identifica que las necesidades del territorio hacen referencia a un consumo mayor de tipo pecuario. Las demandas fueron calculadas (modelo de cálculo) solo para los sectores doméstico, agrícola y pecuario; para los demás sectores se contó con información adicional como registros de pequeñas centrales hidroeléctricas, y los caudales otorgados en las concesiones.

4.7.11 Indicadores de la presión sobre el recurso hídrico en la cuenca

La comparación entre los recursos hídricos disponibles (oferta hídrica) y la demanda, nos muestra el grado de presión a la que está sometida la cuenca en relación a este recurso. Para poder evaluar esta relación se estiman un conjunto de indicadores que muestran de forma muy gráfica la disponibilidad de recurso, la presión al que está sometido y la vulnerabilidad del medio.

Por orden estos indicadores son el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice de Uso de Agua (IUA), y el Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH). A continuación, se presentan los resultados de la obtención de cada uno de estos índices.

En el caso de microcuencas abastecedoras estos índices se obtienen con la demanda estimada por concesiones y por consiguiente el indicador está mostrando la relación entre el caudal otorgado en la fuente en el sitio de la concesión, con la oferta disponible allí mismo.

4.7.11.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

Este indicador muestra las condiciones del medio para retener o regular el agua, se calcula según la ecuación 2.

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

Donde V_p es el volumen por debajo del caudal medio (área bajo la curva de duración de caudales desde el caudal medio hacia abajo y V_t es el volumen total (área total por debajo de la curva de duración de caudales). En la Figura 135 se presenta a manera de ejemplo la curva de duración de caudales para la subcuenca El Porvenir, en donde se ha sombreado el área por debajo del valor medio. De esta forma el valor de V_t será el volumen obtenido como el área bajo la curva total y el área sombreada corresponden con un valor de volumen igual a V_p .

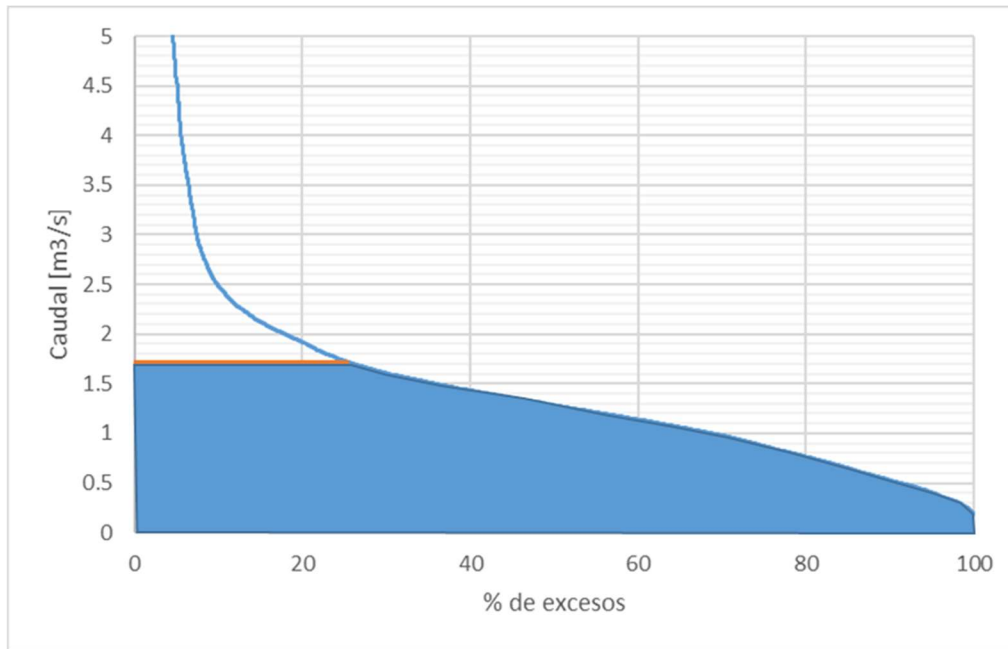


Figura 135. Ejemplo de curva de duración de caudales y área bajo el caudal medio para obtener el Vp.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Tabla 89 se presenta la descripción y clasificación de este índice según la guía metodológica para la realización de los POMCAS (Ministerio de Medio Ambiente, 2013)

Tabla 89. Descripción y Clasificación del IRH.

Descripción	Rango	Valor
Muy baja retención y regulación de humedad	<0.5	Muy baja
Baja retención y regulación de humedad	(0.5 – 0.65)	Baja
Media retención y regulación de humedad	(0.65 – 0.75)	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	(0.75 – 0.85)	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	>0.85	Muy alta

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, (2013)

Los valores de Vp, Vt e IRH para cada una de las subcuencas se presentan en la Tabla 90 y para cada una de las microcuencas abastecedoras en la Tabla 91. En la Figura 136 se presenta el resultado distribuido espacialmente para la cuenca.

Tabla 90. Valores intermedios e IRH para las subcuencas del Río Nare.

Subcuenca	Vp [m ³]	Vt [m ³]	IRH (Numérico)	IRH Valor
Río Nusito	237.4	325.4	0.73	Moderado
San Miguel (San Pedro)	192.0	256.3	0.75	Moderado
El Porvenir	121.9	171.7	0.71	Moderado
La Guzmaná	85.4	119.2	0.72	Moderado
San Pedro	215.8	281.1	0.77	Alto
Limoncito	440.0	581.4	0.76	Alto
El Bejuco (Qda. El Rosario)	2078.7	2777.7	0.75	Moderado
San Miguel (San Lorenzo)	192.0	256.3	0.75	Moderado
Nudillales	1277.5	1723.4	0.74	Moderado
El Pital	108.6	161.7	0.67	Moderado
Mina Grande	502.6	701.4	0.72	Moderado
Río Concepción	812.5	1071.2	0.76	Alto
Río San Lorenzo	212.4	298.7	0.71	Moderado
Las Mercedes	349.6	502.2	0.70	Moderado
Las Frías	824.8	1159.9	0.71	Moderado
Río Chico	223.2	306.5	0.73	Moderado
LLanada	118.5	228.0	0.52	Bajo
El Bagre	1454.6	2104.0	0.69	Moderado
Quebradona	1084.5	1569.7	0.69	Moderado
Portugal	90.4	125.2	0.72	Moderado
Honda	1218.9	1751.1	0.70	Moderado
La Sona	48.7	111.8	0.44	Bajo
Jabonales - Caño Balsamito	1621.2	2403.4	0.67	Moderado
Vijagual	227.9	318.0	0.72	Moderado

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 91. Valores intermedios e IRH para las Microcuencas abastecedoras del Río Nare.

Microcuenca	Vp [m ³]	Vt [m ³]	IRH (Numérico)	IRH Valor
Santo Domingo 2 (2)	0.708	0.909	0.78	Alto
Santo Domingo 3	0.584	0.744	0.78	Alto
Santo Domingo 1	1.209	1.706	0.71	Moderado
Concepción (4)	2.797	3.653	0.77	Alto
Alejandría (1)	13.778	20.963	0.66	Moderado

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

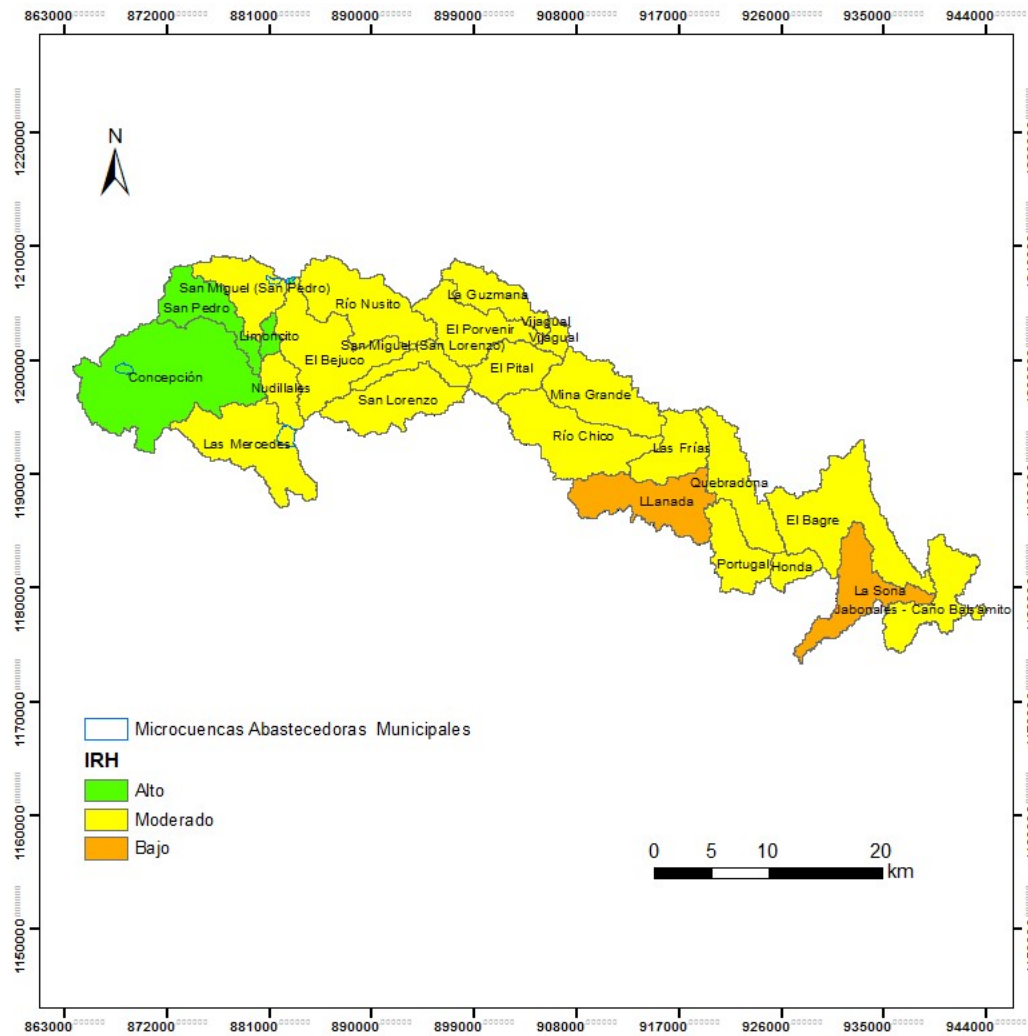


Figura 136. Índice de Retención Hídrica para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Como puede observarse, la mayoría de la cuenca presenta un índice moderado, con un 74.18% del área en este valor. La quebrada Llanadas y la quebrada La Sona, presentan un IRH bajo, representando un 16.5% de la cuenca y las subcuencas del Río Concepción, San Pedro y Limoncito en la parte alta presentan un valor alto de IRH. Este resultado muestra que en general la cuenca presenta una variación moderada de sus caudales entre los meses más húmedos y más secos, lo que podrá influir en la vulnerabilidad al desabastecimiento la cual se presentará mas adelante. Para las microcuencas abastecedoras de Alejandría (1) y Santo Domingo 1 el IRH es moderado, mientras que para las tres restantes el IRH es alto.

4.7.11.2 Índice de Uso del Agua Superficial (IUA):

Este índice se define como la relación porcentual entre la demanda y la oferta hídrica disponible, según la ecuación siguiente:

$$IUA = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

Donde Dh es la oferta disponible y Oh es la oferta total.

Los valores que puede tomar este índice se presentan en la Tabla 92. Para la cuenca del río Nare el resultado del IUA se puede ver en la Tabla 93 y Tabla 94 donde se presenta el resultado para subcuencas y microcuencas respectivamente y en la en la Figura 137y Figura 138 se presenta este índice consolidado para la cuenca para año medio seco.

Tabla 92. Descripción y Clasificación del IUA.

Descripción	Rango	Valor
La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta	>50	Muy alto
La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta	(20.1 - 50)	Alto
La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta	(10.01 - 20)	Moderado
La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta	(1 - 10)	Bajo
La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta	≤ 1	Muy bajo

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, (2013)

Tabla 93. Valores numéricos y calificación del IUA para año seco y medio en las subcuencas del Río Nare.

Subcuenca	IUA medio (Numérico)	IUA medio	IUA seco (Numérico)	IUA seco
Río Concepción	6	Bajo	26	Alto
Las Mercedes	3	Bajo	21	Alto
San Pedro	7	Bajo	29	Alto
Nudillales	5	Bajo	23	Alto
San Miguel (San Pedro)	9	Bajo	40	Alto
Limoncito	8	Bajo	33	Alto
El Bejuco (Qda. El Rosario)	109	Muy Alto	481	Muy Alto
Río Nusito	8	Bajo	39	Alto
San Miguel (San Lorenzo)	114	Muy Alto	495	Muy Alto
Río San Lorenzo	9	Bajo	36	Alto

El Porvenir	11	Moderado	61	Muy Alto
La Guzmaná	30	Alto	145	Muy Alto
Vijagual	18	Moderado	92	Muy Alto
El Pital	9	Bajo	42	Alto
Mina Grande	11	Moderado	41	Alto
Río Chico	8	Bajo	42	Alto
Las Frías	9	Bajo	36	Alto
LLanada	5	Bajo	42	Alto
Quebradona	166	Muy Alto	972	Muy Alto
Portugal	5	Bajo	26	Alto
Honda	150	Muy Alto	876	Muy Alto
El Bagre	125	Muy Alto	699	Muy Alto
La Sona	6	Bajo	69	Muy Alto
Jabonales - Caño Balsamito	107	Muy Alto	592	Muy Alto

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 94. Valores numéricos y calificación del IUA para año seco y medio en las Microcuencas abastecedoras del Río Nare.

Microcuenca	IUA medio (Numérico)	IUA medio	IUA seco (Numérico)	IUA seco
Santo Domingo 2 (2)	26	Alto	112	Muy Alto
Santo Domingo 3	5	Bajo	24	Alto
Santo Domingo 1	29	Alto	167	Muy Alto
Concepción (4)	70	Muy Alto	295	Muy Alto
Alejandría (1)	8	Bajo	55	Muy Alto

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

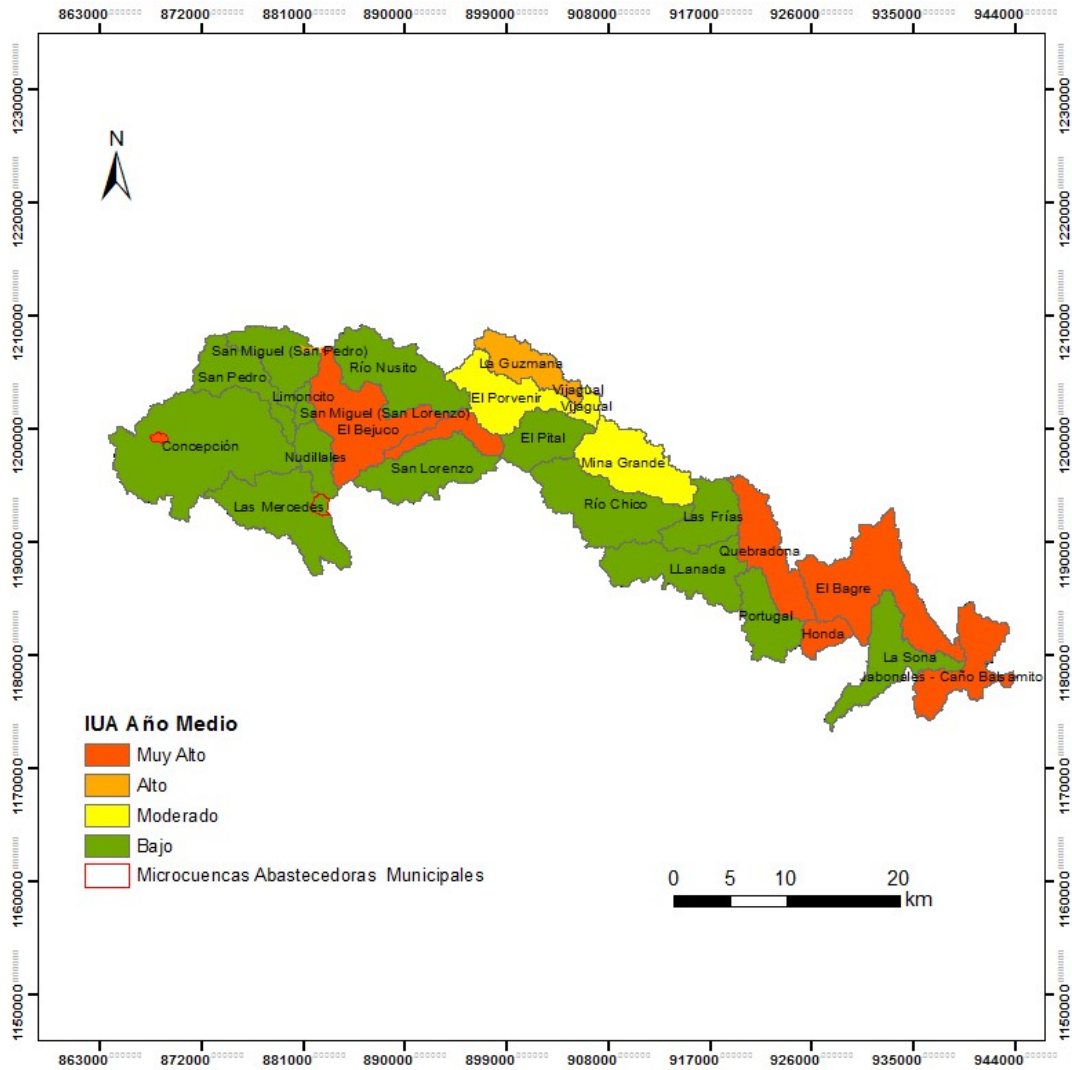


Figura 137. Índice de uso del agua para año medio.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

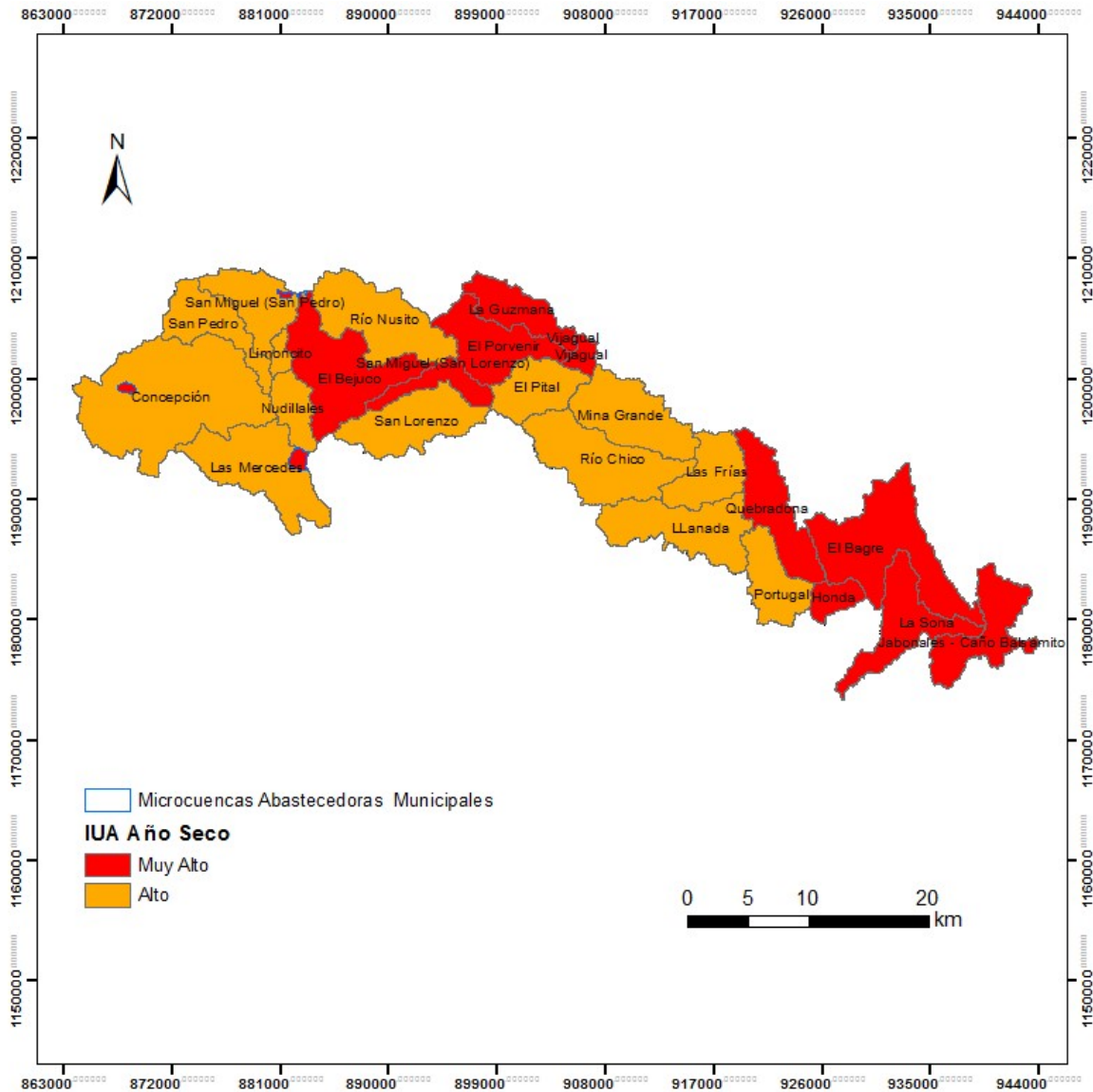


Figura 138. Índice de uso del agua para año seco.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En condiciones de año medio la mayoría de la cuenca con un 62.3% presenta un IUA bajo. El valor muy alto de este índice se concentra en la parte aguas arriba del embalse, en las intercuenas de El Bejuco-El Rosario y San Miguel San Lorenzo, debido a que es a estas subcuencas a las cuales se les asigna el valor de la demanda calculada por el embalse San Lorenzo por estar ubicado allí. Aguas abajo del embalse, el valor del IUA es muy alto para las subcuencas de la parte baja de la cuenca: Quebrada Quebradona, La Honda, El bague, La Sona y Jabonales. Es importante recordar que este índice se calcula con la demanda acumulada de igual forma que la oferta acumulada en el

sentido hidrológico. Esto implica que no necesariamente la demanda es muy alta en estas últimas subcuencas, sino que la demanda acumulada de toda la cuenca con cierre en cada una de ellas es mayor al 50% de la oferta disponible de toda la cuenca con el mismo punto de cierre. Para año seco, las subcuencas con el IUA muy alto permanecen casi invariables, sólo se adiciona a este valor las subcuencas El Porvenir, La Guzmán y Vijagual completando así un área de 37% en IUA Muy Alto. El restante 63% presenta un IUA Alto para año seco, lo que significa una alta presión sobre el recurso cuando se dan condiciones climatológicas de estiaje severo. A nivel de microcuencas, para condiciones de año medio, la concesión para el municipio de Concepción presenta ya un índice Muy Alto y dos de las tres concesiones del municipio de Santo Domingo presentan un IUA Alto.

4.7.11.3 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH):

Este índice es el resultado de combinar cualitativamente el IRH y el IUA. Expresa según la guía la vulnerabilidad de la cuenca a sufrir desabastecimiento en función de su capacidad reguladora y de la presión sobre el recurso. En la Tabla 95 se presenta la matriz metodológica para la construcción de este índice según la guía de los POMCAS (Ministerio del Medio Ambiente, 2013) y en la Tabla 96 y Tabla 97 los valores de este índice para las subcuencas y microcuencas respectivamente.

Tabla 95. Matriz Metodológica del IVH

Índice del Uso del Agua	Índice de Regulación Hídrica	Valor
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy Bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy Bajo	Muy alto
Muy Alto	Alto	Medio

Muy Alto	Moderado	Alto
Muy Alto	Bajo	Alto
Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, (2013)

Tabla 96. Valores del IVH para año medio y seco en las subcuencas del Río Nare.

Subcuenca	IVH medio	IVH seco
Río Concepción	Bajo	Medio
Las Mercedes	Bajo	Alto
San Pedro	Bajo	Medio
Nudillales	Bajo	Alto
San Miguel (San Pedro)	Bajo	Alto
Limoncito	Bajo	Medio
El Bejuco (Qda. El Rosario)	Alto	Alto
Río Nusito	Bajo	Alto
San Miguel (San Lorenzo)	Alto	Alto
Río San Lorenzo	Bajo	Alto
El Porvenir	Medio	Alto
La Guzmán	Alto	Alto
Vijagual	Medio	Alto
El Pital	Bajo	Alto
Mina Grande	Medio	Alto
Río Chico	Bajo	Alto
Las Frías	Bajo	Alto
LLanada	Bajo	Alto
Quebradona	Alto	Alto
Portugal	Bajo	Alto
Honda	Alto	Alto
El Bagre	Alto	Alto
La Sona	Bajo	Alto
Jabonales - Caño Balsamito	Alto	Alto

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 97. Valores del IVH para año medio y seco en las Microcuencas abastecedoras del Río Nare.

Microcuenca	IVH medio	IVH seco
Santo Domingo 2 (2)	Medio	Medio
Santo Domingo 3	Bajo	Medio
Santo Domingo 1	Alto	alto
Concepción (4)	Medio	Medio
Alejandro (1)	Bajo	Alto

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Figura 139 y Figura 140 se presentan los resultados de este índice para año medio y año seco respectivamente. El consolidado de este índice para toda la cuenca se ha realizado superponiendo los índices obtenidos para las microcuencas, sobre los índices obtenidos para las subcuencas. En aquellos casos donde ambos índices sean diferentes, se deja como valor para este territorio el índice que corresponde a la microcuenca.

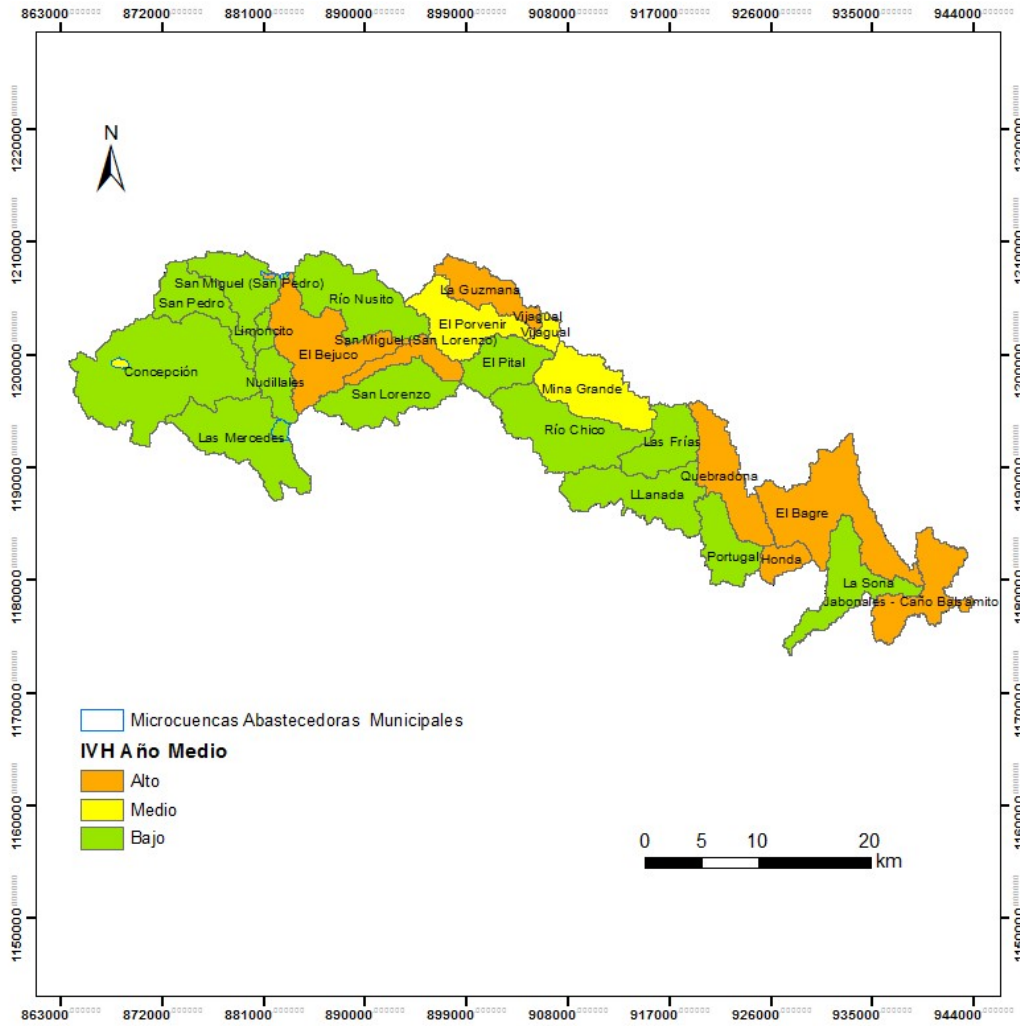


Figura 139. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento para año medio para las subcuencas del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

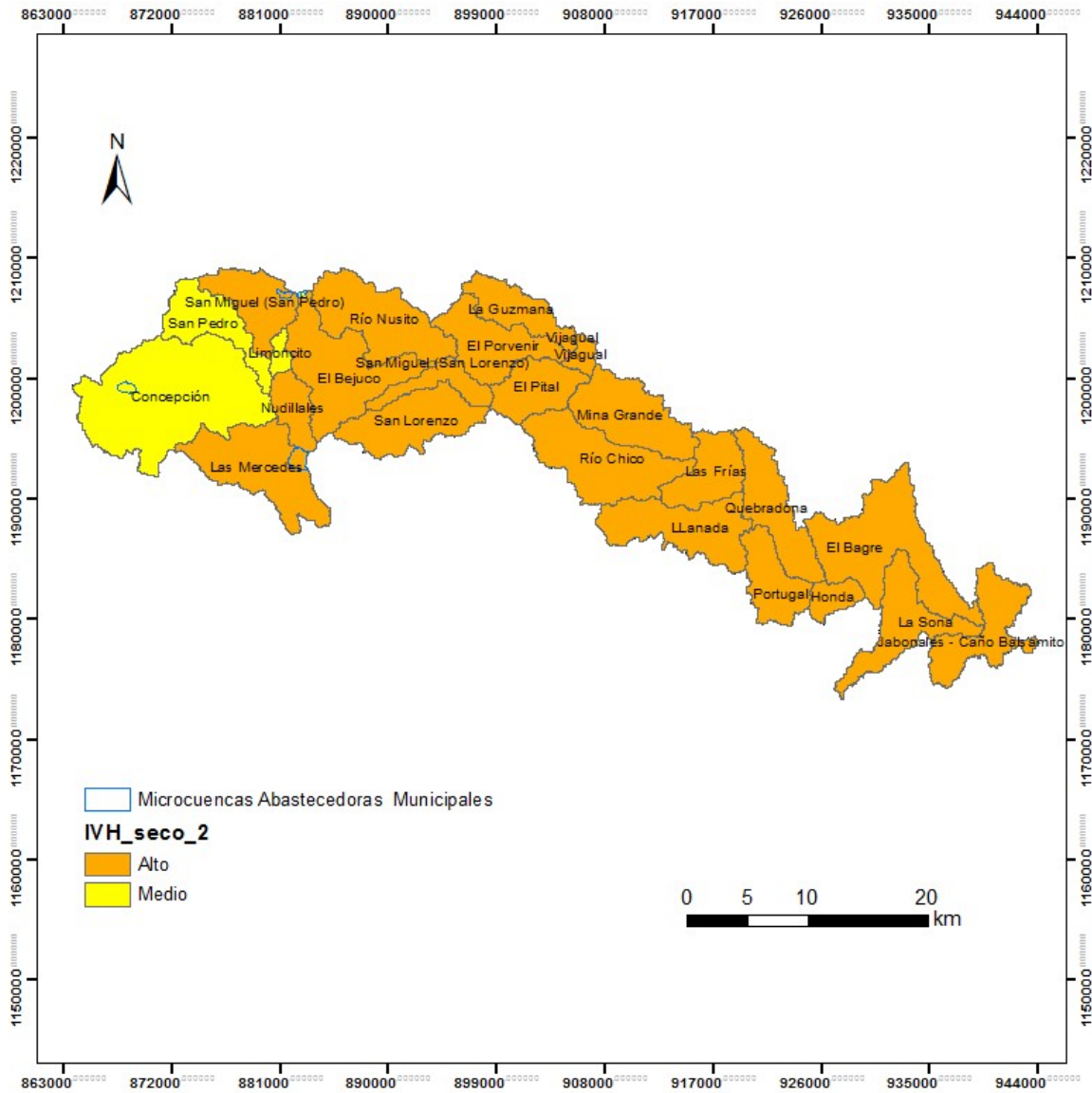


Figura 140. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento para año seco para las subcuencas del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Como se observa de las figuras anteriores, la mayoría de la cuenca presenta una vulnerabilidad baja al desabastecimiento en condiciones de año medio, con un 62.3 % del área. Este resultado se debe a que esta gran mayoría de la cuenca tiene un IRH moderado, y un IUA bajo para año medio, lo que representa que la presión sobre el recurso aún es baja como para tener un territorio con vulnerabilidad al desabastecimiento. En condiciones de año seco, la vulnerabilidad al desabastecimiento se vuelve alta, ya que la capacidad moderada de retención que tiene en su mayoría la cuenca no es capaz de compensar un incremento del IUA a un valor Alto. Las únicas

subcuencas que presentan una vulnerabilidad media al desabastecimiento son aquellas que presentaron un IRH Alto en la parte alta de la cuenca, con un 16.5% del territorio. En una de las microcuencas que abastecen el municipio de Santo Domingo, denominada Santo Domingo 1, la vulnerabilidad al desabastecimiento es alta para condiciones de año medio, lo cual debe ser tomado por la Autoridad Ambiental como una alerta para dirigir hacia esta microcuenca planes de conservación o bien buscar fuentes alternativas de abastecimiento par este municipio. Se resalta también el caso de la cuenca abstedora del municipio de Concepción, ya que para año medio presenta ya una vulnerabilidad al desabastecimiento media, derivada del valor Alto del IUA, lo cual evidencia la necesidad o de controlar la demanda o de generar fuentes alternativas para abastecer el municipio de Concepción.

4.7.11.4 Rendimientos

El rendimiento de una cuenca, expresa la cantidad de agua por unidad de área que produce dicha zona. Para la cuenca del Nare, se calcularon los rendimientos por subcuencas (Ver Figura 141). Como se observa los mayores rendimientos se encuentran en las subcuencas de la parte alta, antes del embalse San Lorenzo.

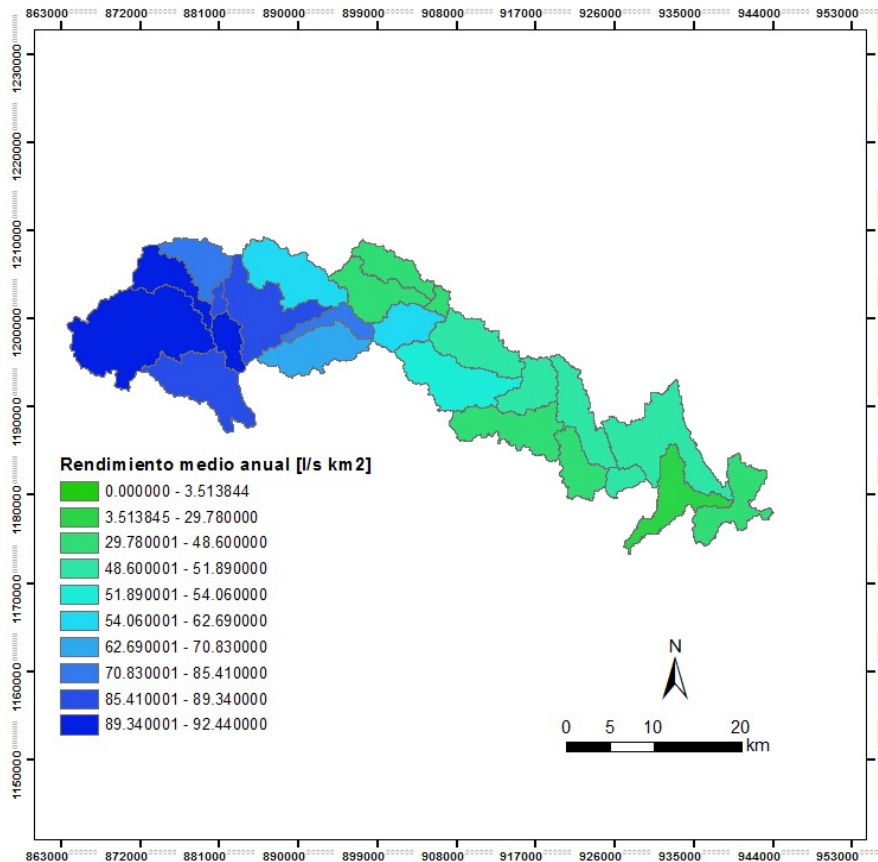


Figura 141. Rendimientos medios anuales para la cuenca del Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.12 Análisis del régimen de caudales extremos

4.7.12.1 Estimación de caudales máximos

El presente estudio hidrológico tiene por objeto determinar los caudales de avenida representativos al conjunto territorial formado por la Cuenca del Río Nare. En el ámbito territorial que nos ocupa se han obtenido caudales de avenida para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años tomando en consideración un conjunto de 18 subcuencas. Para ello se ha establecido una metodología que permite establecer una serie de parámetros hidrológicos para toda la zona de estudio.

La obtención de estos caudales es necesaria para poder definir el diseño de las obras hidráulicas de drenaje y obtener las zonas inundables de los principales ríos que discurren por la cuenca para de

esta forma realizar un adecuado análisis de riesgo de las zonas adyacentes a los cursos fluviales de la cuenca.

Para realizar este trabajo se considera en primera instancia el estudio de los caudales registrados en las estaciones hidrométricas y en función de su idoneidad se obtienen los caudales para diferentes períodos de recurrencia considerando aquel método que mejor refleje la respuesta de la cuenca a eventos extremos.

En este sentido los pasos a seguir para definir los caudales de diferente período de retorno se muestran a continuación:

- Análisis de los caudales máximos registrados en las diferentes estaciones de aforo presentes en la cuenca.
- Cálculo mediante métodos indirectos de los caudales para diferente período de retorno en los diferentes puntos de interés o de cálculo.

4.7.12.1.1 Análisis de las estaciones de aforo

A partir del Banco de Datos Hidrológico (BDH) desarrollado por INCLAM se localizan la estación *23087180-Los Sirpes*, situada al cierre de la subcuenca del Río Concepción, como puede apreciarse en la siguiente figura:

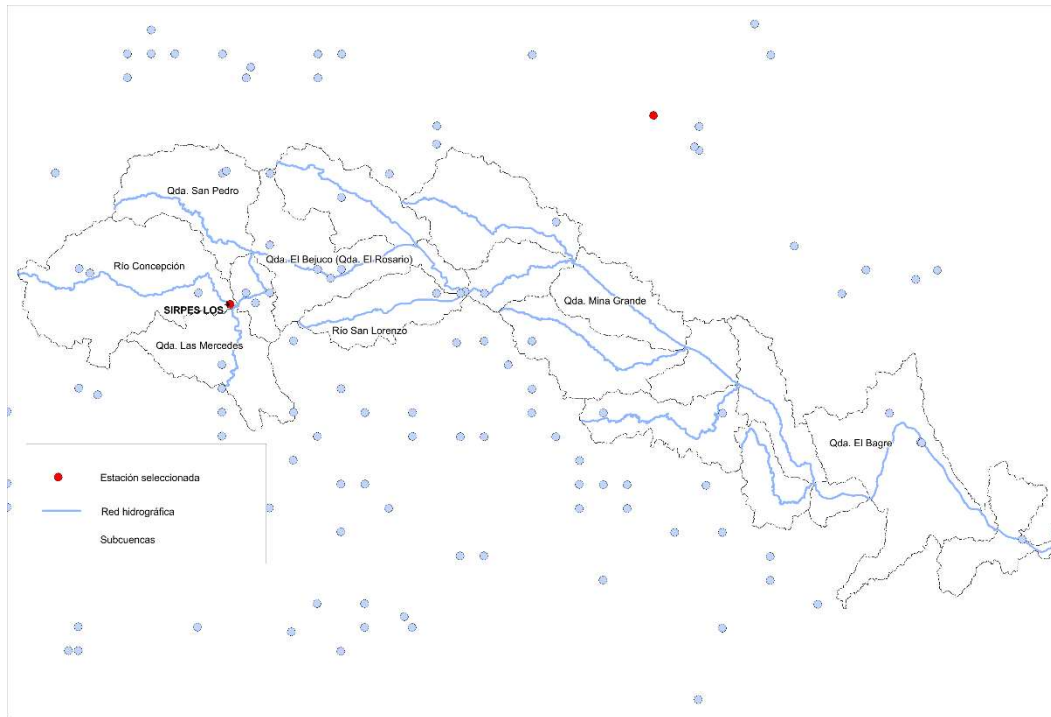


Figura 142: Situación de la estación Los Sirpes en la cuenca de Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En base a los datos registrados en estas estaciones se realizó un análisis de frecuencia de valores máximos, después de analizar el resultado de diferentes distribuciones de probabilidad, se seleccionó aquella que mejor resultado ofrece en el análisis de bondad del ajuste, el cual se muestra en la gráfica de ajuste de la Figura 143:

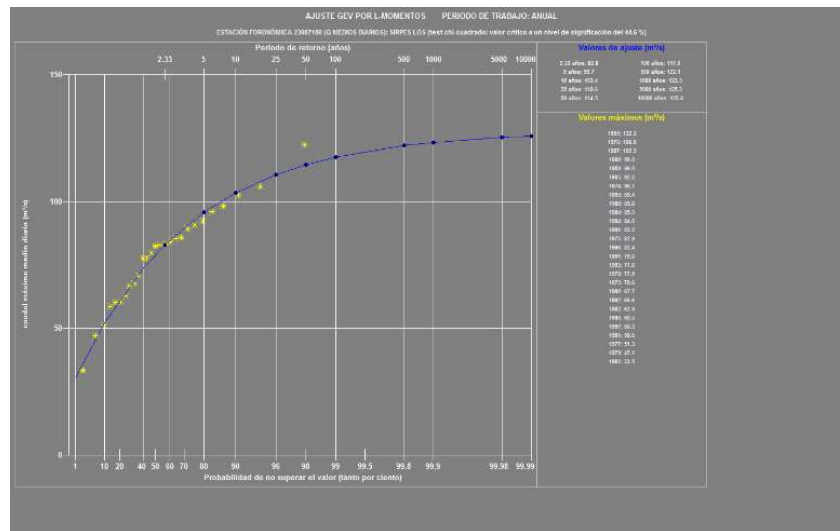


Figura 143: Ajustes obtenidos a través de la ley de frecuencia GEV con L-Momentos de la estación Los Sirpes en la cuenca de Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Para los distintos períodos de retorno los valores son los siguientes:

Tabla 98: Valores de ajuste aplicando la ley de frecuencia GEV con L-Momentos.

Estación	Valores de ajuste (m³/s)									
	Q2.33	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q500	Q1.000	Q5.000	Q10.000
Los Sirpes	82.8	95.7	103.4	110.6	114.5	117.5	122.1	123.3	125.3	125.8

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la tabla anterior se puede observar cómo los valores obtenidos a partir del período de retorno de 25 años hasta 10.000 años son del mismo de orden de magnitud, seguramente debido a los pocos datos de caudal registrados por la estación de Los Sirpes durante episodios extremos. Esto hace pensar que los valores ajustados aplicando la ley de frecuencia GEV con L-Momentos sean muy inferiores a lo que sería previsible en una cuenca de similares características.

Los caudales específicos obtenidos para los distintos períodos de retorno son los siguientes:

Tabla 99: Caudales específicos a partir de los valores de ajuste obtenidos.

Estación	Valores de ajuste (m³/s)									
	Q2.33	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q500	Q1.000	Q5.000	Q10.000
Los Sirpes	0.691	0.798	0.862	0.922	0.955	0.980	1.018	1.028	1.045	1.049

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En general los resultados obtenidos en el ajuste GEV presentan ciertas incoherencias que manifiestan que las series de caudales máximos disponibles son poco fiables. Esto se confirma cuando se analiza los caudales específicos obtenidos en la tabla anterior, donde los valores que presentan la cuenca de la Concepción no son del todo creíbles.

Debido a la mala distribución que presentan las estaciones de aforo en la cuenca y los resultados inadecuados, no es posible hacer un análisis adecuado mediante el ajuste GEV por L-Momentos, y es necesario recorrer a métodos indirectos que permitan obtener caudales máximos fiables para diferentes períodos de recurrencia.

4.7.12.1.2 Métodos indirectos de obtención de caudales máximos

Existen diferentes métodos indirectos que permiten estimar los caudales máximos para distintos periodos de retorno, en este trabajo se ha decidido utilizar el un modelo lluvia-escorrentía y una metodología de regionalización, que función de su idoneidad se obtendrán los caudales para diferentes períodos de recurrencia considerando aquel método que mejor refleje la respuesta de la cuenca a eventos extremos.

Definición de los caudales a partir de un modelo lluvia-escorrentía

Modelo lluvia-escorrentía

La escasez de datos de caudales instantáneos distribuidos de forma homogénea en el conjunto de la cuenca obliga a realizar una estimación de los caudales máximos circulantes mediante la aplicación de modelos de transformación lluvia-escorrentía, los cuales se obtienen en cada punto de interés de la cuenca.

La construcción de estos modelos necesita la utilización de información base generada durante la elaboración de la caracterización y el diagnóstico del POMCA. Geología, uso actual del suelo, mapas de pendientes y los datos climáticos son unos insumos indispensables con los que construir este tipo de modelos.

Cálculos de la lluvia efectiva

De los diferentes métodos habituales para representar el comportamiento hidrológico del terreno se ha escogido el método del Número de Curva, propuesto en su momento por el Soil Conservation Service (actual Natural Resources Conservation Service. NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Se ha optado por este método teniendo en cuenta que:

- Es uno de los métodos más utilizados y cuenta con una amplia información bibliográfica que permite establecer correlaciones fiables que ligan las características de un terreno determinado en función de su tipo de suelo, cubierta vegetal, uso al que se destina, condiciones hidrológicas y condiciones antecedentes de humedad, con el valor del número de curva del S.C.S que le corresponde
- Parte de suponer un comportamiento hidrológico del complejo suelo - vegetación variable a lo largo de la tormenta, por lo que el coeficiente de escorrentía vaya aumentando en paralelo con el grado de saturación del terreno. Evidentemente , este planteamiento está más cerca de la realidad que el de otros métodos en los que este coeficiente es constante

Los elementos esenciales del método del número de curva del S.C.S , que permite cuantificar la interceptación, la retención, la infiltración y, en último lugar, la escorrentía, son la permeabilidad del terreno -dependiendo sobre todo de sus características litológicas y edafológicas- y las características de la cubierta vegetal , esencialmente la vegetación y uso al que se destina el terreno. En ese respecto se utilizó la información de geología descrita en el apartado 3.2.3 así como la referida a vegetación y usos del suelo recogida en el apartado 3.10.4 y 3.10.6 respectivamente.

La relación entre precipitación y escorrentía directa se obtiene de forma empírica después de que en su día el S.C.S realizara el estudio de un gran número de cuencas en los Estados Unidos. Donde se pudo analizar las características de pendiente, uso de suelo y tipo de suelo de cada una llegando a la clasificación de cada una de las curvas que contiene el método.

Es por este motivo que el motivo que el método consiste en reclasificar las pendientes, uso y tipo de suelo, tal y como lo contempla el método original para poder asignar el número de curva pertinente.

Tabla 100. Tipos de uso del suelo usados para hallar el número de curva.

TIPO	km ²	Usos del suelo
1	0.02	Otros cultivos transitorios
5	0.06	Cultivos permanentes
6	3.15	Cereales
8	17.25	Pastos enmalezados
10	69.65	Cultivos confinados/ mosaico de cultivos
11	207.41	Construcciones rurales/ Herbazal/ Vegetación secundaria o en transición
12	4.62	Pastos arbolados
13	15.12	Pastos limpios/ Mosaico de pastos y cultivos
15	368.84	Cultivos agroforestales
18	137.81	Bosque fragmentado
19	88.49	Mosaico de pastos y/o cultivos con espacios naturales/ Arbustal
20	0.32	Mosaico de cultivos y espacios naturales/ Bosque/ Plantación forestal
22	2.82	Bosque denso
23	2.59	Tejido urbano discontinuo/ Zonas de extracción minera o de desposición de residuos/ Zonas pantanosas/ Ríos (50m)/ Lagunas, lagos, ciénagas y cuerpos de agua artificiales
24	26.29	Tejido urbano continuo/ Zonas industriales o comerciales/ Red vial, ferroviaria y terrenos asociados Aeropuertos/ Obras hidráulicas/ Instalaciones recreativas/ Tierras desnudas y degradadas/ Zonas quemadas

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Por otra parte, resulta también esencial, para la aplicación del método en una tormenta dada, el conocimiento del estado de saturación del suelo al inicio de esta tormenta, a cuyos efectos se consideran tres condiciones características, llamadas respectivamente tipo I, II y III. De ellas, la condición I, equivalente a un suelo muy seco, no es en absoluto habitual en estudios de avenidas, ya que reduce extraordinariamente el coeficiente de escorrentía, situando los coeficientes del lado de la inseguridad. Por ello, el análisis se ha centrado en las condiciones II y II, medio y húmedo respectivamente.

La ecuación básica que define la relación precipitación - escorrentía en el método del S.C.S. es la siguiente:

$$\frac{R}{S} = \frac{E}{P - P_0}$$

Siendo **S** la máxima retención posible, **E** la parte de la precipitación que produce escorrentía, **R** la parte de precipitación retenida, **P** la precipitación y **P₀** el umbral de escorrentía.

La precipitación retenida en cada instante se define como:

$$R = (P - P_0) - E$$

La máxima retención posible **S**, obtenida de análisis empíricos realizados por S.C.S, es

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

Se considera el valor de las pérdidas iniciales como:

$$Ia = 0,2 \cdot S$$

O bien:

$$Ia = \frac{5080}{NC} - 50.8$$

Siendo **NC** el número de curva explicado con anterioridad

Hietograma de diseño

Se analizaron las precipitaciones máximas, para diferentes duraciones de lluvia, en el conjunto de estaciones pluviométricas existentes en la cuenca. Transformando los datos disponibles de lluvia diarios en 24 horas para cada una de las estaciones y duraciones de lluvia consideradas se realizó un ajuste de valores extremos tipo GEV (ajuste Generalizado de Valores Extremos) mediante el método de los L-Momentos tal y como se explica en el apartado 3.1.4.1 del presente documento; con estos datos se creó un grid de Isomáximas para cada subcuencas a través de los cuales se obtuvo la precipitación media para cada periodo de retorno en cada subcuenca.

Por otra parte, mediante el método Kirpich, se calculó el tiempo de concentración (T_c) para cada subcuenca mediante la fórmula:

$$t_c (hs) = 3.978 \cdot L (km)^{0.77} \cdot S (m/m)^{-0.385}$$

Donde:

T_c es el tiempo de concentración de la subcuenca (horas)

L es la longitud del cauce principal (km)

S la pendiente del cauce principal (m/m) = $\Delta H/L$

Así pues, el tiempo de concentración dio los siguientes resultados para cada subcuenca se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 101. Datos utilizados para calcular el tiempo de concentración de cada subcuenca.

Subcuenca	H max	H min	Longitud (m)	Tc (h)
Q. El Porvenir	1665.81	688.95	18917.53	2.00
Q. El Bagre	138.73	127.08	19024.45	11.05
Q. Honda	179.53	138.73	5276.09	1.55
Q. Jabonales - Caño Balsamito	127.08	124.86	5112.52	4.58
Q. Llanada	1319.78	475.64	21641.12	2.47
Q. Nudillales	1613.19	1496.20	6582.05	1.33
Q. Quebradona	475.64	179.53	12532.14	1.96
Q. San Pedro	2173.76	1496.20	18703.38	2.27
Río Chico	1376.02	515.62	19887.23	2.22
Río Concepción	2480.39	1613.19	24895.18	2.87
Q. Vijagual	1246.61	688.95	11935.99	1.45
Río Musito	2052.31	1240.39	16315.19	1.81
Q. El Bejuco (Q. El Rosario)	1496.20	1246.61	22145.53	4.05
Q. Portugal	869.63	179.53	14882.42	1.73
Q. Mina Grande	688.95	515.62	11945.40	2.28
Q. Las Frías	515.62	475.64	5277.86	1.56
Q. Las Mercedes	1881.41	1613.19	9428.82	1.47
Río San Lorenzo	1836.70	1246.61	14930.71	1.84

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

A partir de las curvas IDF (curvas de intensidad/duración/frecuencia) realizadas por EPM para cada una de las estaciones, se determinó el hietograma tipo para la cuenca de Río Nare mediante el método de bloques alternos. El método de los bloques alternos permite obtener hietogramas a partir de curvas IDF con el que poder representar la distribución de la precipitación en una serie de intervalos temporales a lo largo del tiempo en el que dura la lluvia. De todas las curvas IDF disponibles se seleccionó la más representativa para cada subcuenca

Tabla 102. Estación de referencia escogida para representar a cada subcuenca mediante su curva IDF.

Subcuenca	Área	IDF de referencia
Q. El Porvenir	69.96	2308087PalmasSanRoque
Q. El Bagre	114.82	2308057EIPital
Q. Honda	10.92	2308057EIPital
Q. Jabonales - Caño Balsamito	37.73	2308057EIPital
Q. Llanadas	49.43	2308057EIPital
Q. Nudillales	16.95	2308505SantaRita
Q. Quebradona	39.36	2308057EIPital
Q. San Pedro	67.09	2308044Corrientes
Río Chico	58.63	2308523Playas
Río Concepción	119.86	2308044Corrientes
Q. Vijagual	28.43	2308087PalmasSanRoque
Río Musito	53.20	2308087PalmasSanRoque

Q. El Bejuco (Q. El Rosario)	77.90	2308505SantaRita
Q. Portugal	28.06	2308057EIPital
Q. Mina Grande	45.80	2308087PalmasSanRoque
Q. Las Frías	28.52	2308057EIPital
Q. Las Mercedes	57.65	2308505SantaRita
Río San Lorenzo	43.31	2308523Playas

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

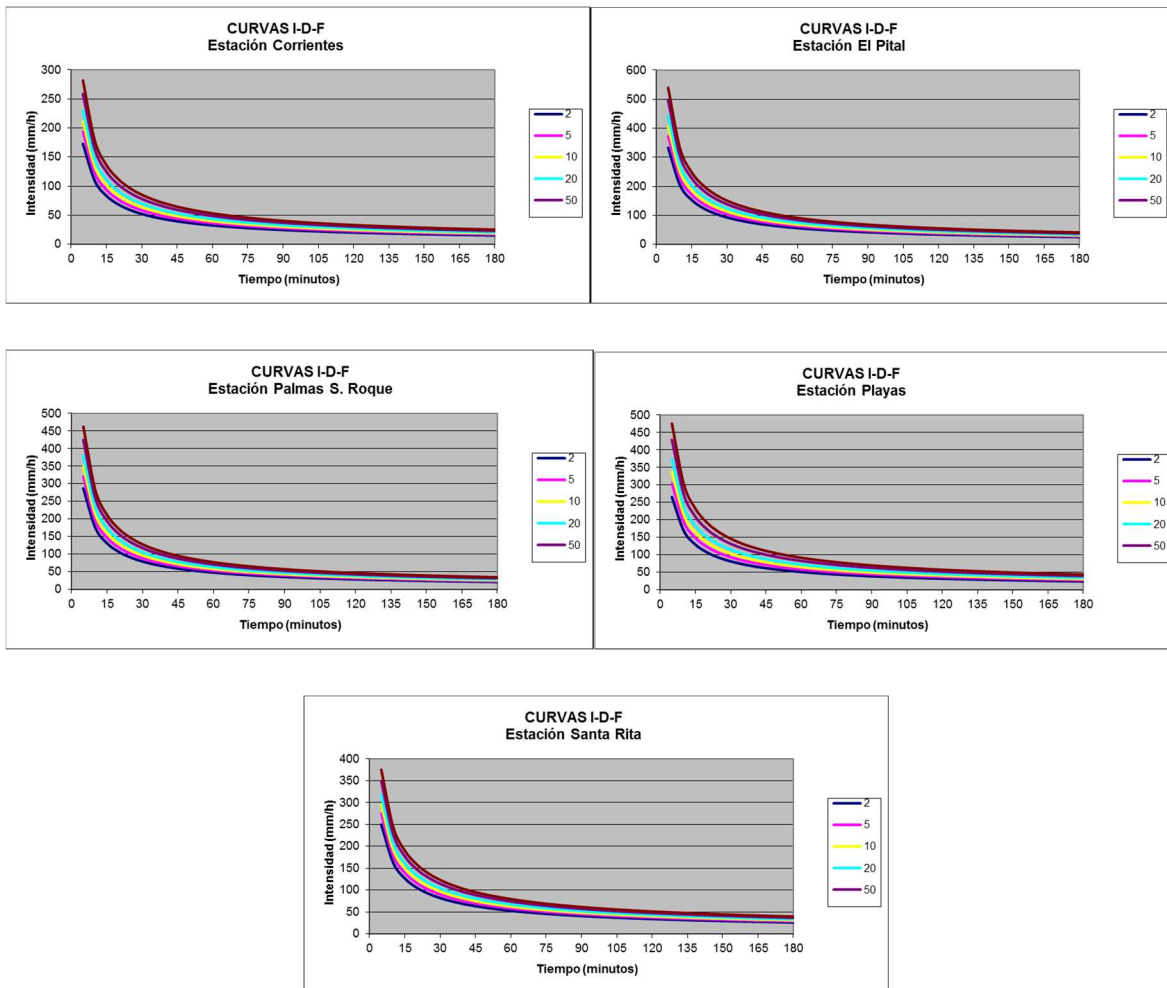


Figura 144: Curvas IDF representativas para las 18 subcuencas de la cuenca Río Nare.

Fuente: EPM.

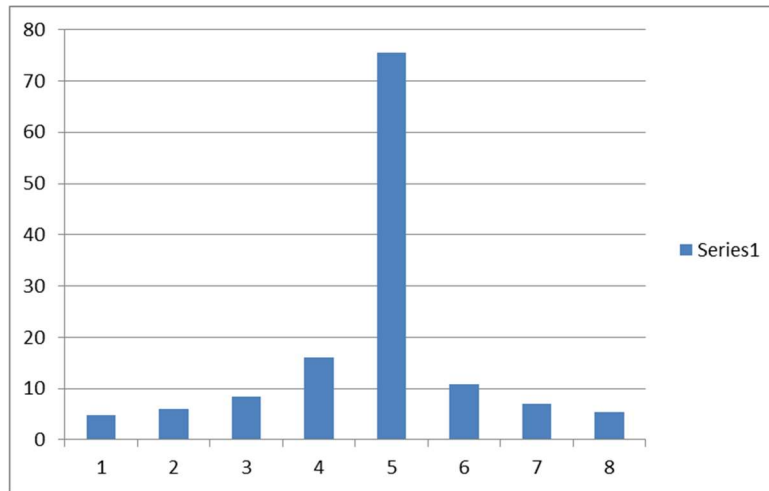


Figura 145. Hietograma tipo.

Fuente: EPM.

Una vez establecido el hietograma tipo se procedió a obtener de los hietogramas de entrada para diferentes periodos de retorno y subcuencas consideradas.

Hidrograma Unitario Sintético

El método del Hidrogrma Unitario Sintético utilizado se basa en la hipótesis: de que el caudal de desagüe de una cuenca es el resultado de una traslación del volumen neto precipitado y de una laminación para almacenamiento en la cuenca.

Para la distribución en el tiempo de la escorrentía, se procede así: se hace uso del hidrograma unitario adimensional desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos cuya forma está predeterminada. La escala de tiempo del hidrograma se expresa en unidades del período de ascenso (T_p) del mismo y los caudales de escurrimiento se expresan en unidades del caudal de escurrimiento de punta (q_p).

Para convertir las ordenadas adimensionales del hidrograma en valores reales, debe conocerse el período de elevación (T_p) y el caudal pico o de punta (q_p). Este último se obtiene utilizando la relación obtenida del hidrograma triangular sintético, como se muestra en el paso siguiente:

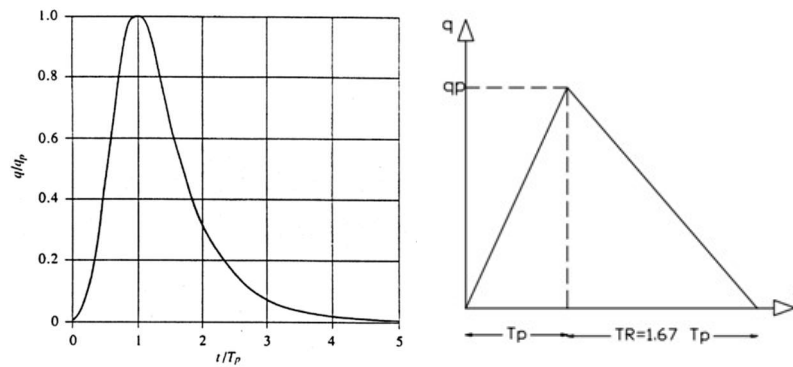


Figura 146: Hidrograma Unitario adimensional del Soil Conservation Service.

Fuente: CEDEX.

$$q_p = \frac{2Q}{T_p + T_R}$$

q_p = caudal pico o de punta;

Q = volumen de escurrimiento directo (mm)

T_p = período de elevación o tiempo hasta el caudal pico;

T_R = tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo - recesión.

Analizando un gran número de hidrogramas se encontró que en general se verifica ($T_R = 1.67 T_p$), de manera que si se lo introduce en la ecuación anterior, queda:

$$q_p = 0.75 \frac{Q}{T_p}$$

Introduciendo el área de aporte en Km^2 , de manera de llevar el valor puntual a un valor representativo para toda la cuenca, el escurrimiento directo en mm, el tiempo de elevación en horas, el caudal de punta queda expresado en m^3/s , de la siguiente forma:

$$q_p = 0,208 \frac{A \times Q}{T_p} (m^3/s)$$

Dentro, de esta metodología, se toma normalmente como período de tiempo unitario

$$t_u = \frac{T_p}{4}$$

El periodo de elevación puede estimarse a partir del tiempo de concentración, según la relación empírica $T_p = 0.7 \cdot T_c$, siendo T_c el tiempo de concentración calculado anteriormente.

Con todos los valores ya calculados, se gráfica finalmente el hidrograma de escurrimiento directo producido por la tormenta dato, quedando una representación como la siguiente:

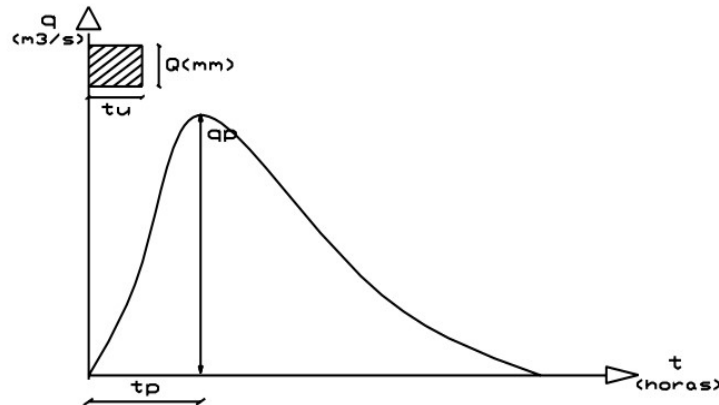


Figura 14. Hidrograma de escurrimiento directo.

Fuente: <http://ing.unne.edu.ar/>

Traslación del frente de avenida

De los diferentes métodos existentes se considera que es más idóneo utilizar, por su generalidad que se ajusta a las diferentes tipologías de subcuencas, el de MUSKINGUM.

Para aplicar este método se requieren dos parámetros:

- **K**, factor de proporcionalidad que se corresponde al tiempo de tránsito de una onda de avenida y
- **X** un factor de ponderación en función de la forma del almacenamiento, que oscila entre 0 y 0.5, y en ríos naturales es un parámetro que está entre 0.2 y 0.3. Tomando como valor 0.25, este parámetro es muy poco sensible al resultado final del procedimiento.

Para el cálculo del tiempo de tránsito -K- Cunge (1969) determinó que considerando **K** y Δt constantes se puede considerar que $K = \Delta X / c_k$ siendo c_k la celeridad de la onda cinemática.

Generación del modelo de simulación HEC-HMS

Para poder transformar la precipitación y escorrentía directa, se construyó un modelo numérico de simulación basado en el programa de cálculo HEC – HMS (versión 3.5), desarrollado y mantenido por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Ejército de los Estados Unidos.

El programa permite simular la respuesta de una cuenca frente a una precipitación dada, determinando dicha respuesta a través de una combinación de mecanismos hidráulicos e hidrológicos interconectados. Cada uno de estos mecanismos constituye uno de los componentes del programa y se refiere a un aspecto del proceso precipitación-escorrentía. Cada módulo del programa requiere de la definición de un conjunto de parámetros específicos, que se determinan en función de las características particulares de las diferentes subcuencas. Estos parámetros son de aplicación a las relaciones matemáticas que describen los diferentes procesos físicos que tienen lugar. El resultado final consiste en la obtención del hidrograma de avenida en los puntos de cálculo definidos.

La cuenca total se simula a través de un conjunto de zonas interconectadas, de tal manera que cada una se puede representar a través de parámetros que reflejan sus condiciones medias.

En síntesis, los procesos que tiene en cuenta el programa son:

Generación de escorrentía. Para lo cual es necesario definir el hietograma de la tormenta de cálculo, que es el dato de entrada para la determinación de la escorrentía en una subcuenca parcial. La escorrentía superficial se obtiene sustrayendo del volumen total precipitado, en cada intervalo de tiempo, los volúmenes derivados de los efectos de infiltración, retención e interceptación. En este caso, las pérdidas por evapotranspiración no se han tenido en cuenta en el cálculo de la lluvia limpia.

Una vez determinado el volumen de lluvia neta, **se genera el hidrograma de escorrentía para cada subcuenca** mediante la aplicación del método del hidrograma unitario. Los caudales provenientes de la infiltración que retornan al cauce por flujo subsuperficial no se han considerado en la obtención del hidrograma.

Propagación de los hidrogramas generados a través de los cauces. Una vez definido el hidrograma para cada subcuenca, producto de la convolución de todos los hidrogramas resultante de cada bloque del hietograma, el programa realiza el traslado del mismo a través de los cauces, obteniendo en los puntos de unión entre subcuencas, el hidrograma resultante de la suma de estas. El esquema del modelo generado se pudo observar en la siguiente figura:

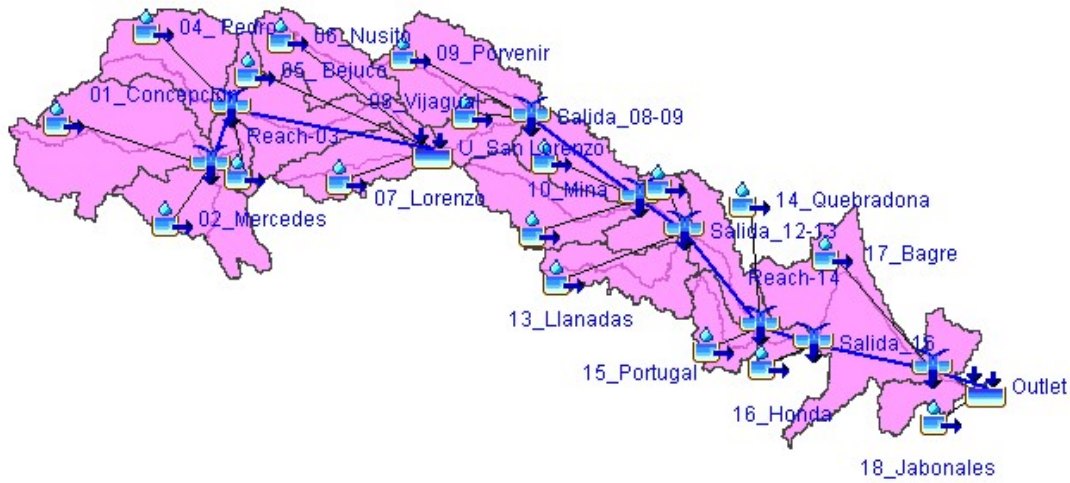


Figura 147. Esquema de la Cuenca Río Nare modelizada con HEC-HMS.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El modelo se ha construido en régimen real, considerando la presencia de las infraestructuras de la cuenca aunque su efecto laminador es prácticamente nulo.

Resultados de la simulación

Previamente a la obtención de los resultados definitivos del modelo lluvia-escorrentía, es conveniente calibrar el modelo. Aunque es una labor siempre complicada, debido a que los datos de registros de caudal durante una avenida son muy complejos de obtener, la mejor opción es mediante un evento en el que se haya registrado tanto la precipitación acaecida sobre la cuenca y el caudal medido en un punto de control de la cuenca donde se sitúa una estación hidrométrica. En el caso que nos ocupa, debido a la inexistencia de una serie de caudal medido durante los eventos registrados, se han modificado algunos parámetros del modelo a partir de la información disponible en cuencas cercanas y con características similares.

Finalmente, y después de realizar todas las pasadas a los modelos por los diferentes periodos de retorno que son objeto de estudio, se presentan los resultados de los caudales de avenida calculados.

Tabla 103. Caudales de avenida (m³/s) de la cuenca de Río Nare.

	Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
Río Concepcion	45.3	71	93.2	104.1	115.6	128.2	136.1	163	191	277.2
Q. Las Mercedes	241.9	313	366	388.5	410.8	434.1	445.6	483.5	531	685.9
Salida_01-02	264.9	350.2	415.6	444.2	473.1	503.5	519.6	573.6	637.5	843.4
Reach-03	255.2	337.7	401	428.8	456.8	486.4	502.1	554.7	616.9	817.1
Q. San Pedro	65.9	95.4	118.7	129.3	140.1	151.3	157.1	178.3	203.2	268.9
Q. Nudillales	86.8	112.9	132.7	141.2	149.8	158.5	162.7	177.6	195.9	245.5
Salida_03-04	367.4	492.3	588.6	631	673.7	718.6	741.8	821.8	917.1	1205.1
Reach-05	335.4	450.5	539.5	578.7	618.4	660	681.6	756.1	844.7	1112
Q. El Bejuco (Q. El Rosario)	112.4	149.1	175.8	187.1	198.5	210	215.1	235.2	259.7	316.9
Río Nusito	130.2	177.8	211.4	225.5	239.9	254.4	260.8	286.1	316.2	391.4
Río San Lorenzo	161.3	203.7	233.1	245.5	257.8	270.2	275.6	297.4	323.6	377.4
U_San Lorenzo	470.3	627.9	747.3	799.2	851.7	906.1	933.2	1029.8	1145.6	1475
Q. El Porvenir	75.3	111.9	141.3	153.7	166.4	179.4	185	207.7	239	309.7
Q. Vijagual	50.1	70.3	87.2	94.8	102.6	110.8	114.5	129.3	150.2	209.2
Salida_08-09	119.9	174.3	218.9	238.1	257.8	278	286.9	322.7	372.8	496.7
Reach-10	113.1	164.5	206.5	224.6	243.2	262.3	270.6	304.4	351.5	468.2
Río Chico	109.0	154.5	194.9	214.4	234.5	255.1	264.9	304.6	358.6	514.6
Q. Mina Grande	41.1	63.8	84.4	94.5	104.8	115.3	120.3	140	165.6	235.2
Salida_10-11	238.4	346.3	439.1	482.1	526.2	571.5	592.4	676.3	790.6	1100.1
Reach-12	234.4	340.4	431.8	474.1	517.4	561.9	582.5	665.3	777.8	1082.8
Q. Llanada	85.1	129.3	161.8	175.1	188.4	202.1	208.2	232.6	263.6	336.8
Q. Las Frías	93.3	136.5	168.8	182.1	195	208.5	214.5	238	267.9	340.2
Salida_12-13	329.9	484.2	611.4	668.8	727	786.9	814.4	924.6	1071.7	1461.5
Reach-14	322.6	473.7	598.1	654.1	710.9	769.4	796.2	903.8	1047.3	1427
Q. Quebradona	84.4	127.6	158.2	170	181.9	194.1	199.3	219.5	245	299.2
Q. Portugal	74.7	110.2	134.2	142.9	151.7	160.7	164.2	178.3	194.6	225
Salida_14-15	347.6	511.6	644.6	703.7	763.7	825.4	853.6	966.5	1116.2	1509
Reach-16	345.6	508.8	640.9	699.6	759	820.3	848.2	960.2	1108.5	1497.5
Q. Honda	43.0	58.9	68.8	72.1	75.5	78.9	80.2	85.3	90.8	100.2
Salida_16	347.5	511.4	643.9	702.7	762.3	823.7	851.7	963.8	1112.4	1501.5

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El Río Samaná Norte desemboca en el Río Nare a la altura de la subcuenca Q. La Sona por el margen derecho, así mismo el Río Nus desemboca al Río Nare a la altura de la subcuenca Q. El Bagre por el margen izquierdo. Dado que ninguno de estos dos ríos han sido considerados para la

modelización de la cuenca del Río Nare, se ha decidido no mostrar los resultados de las subcuencas Q. La Sona, Q. El Bagre y Q. Jabonales - Caño Balsamito (situada aguas debajo de las dos subcuencas anteriores) ya que estarían infradimensionados por faltar estos aportes.

Definición de los caudales a partir de una regionalización del ámbito de estudio

Otra manera de estimar los caudales extremos con diferente periodo de retorno en cualquier sitio de la red hidrográfica es utilizando un método novedoso desarrollado por el equipo de investigación que ha desarrollado en “Atlas Hipológico de Colombia (HydroSIG). Éste método consiste en estimar los caudales extremos a partir de la combinación de la teoría clásica de Chow (1951) con ideas de escalamiento de caudales máximos o mínimos con el caudal medio multianual de la cuenca y con su área de drenaje.

Existen claras relaciones potenciales entre los caudales medios y los caudales máximos o mínimos anuales, a través de relaciones bien conocidas que vinculan los caudales medios con el área de la cuenca. La estimación de caudales máximos $Q_{max}(T_r)$, con distinto período de retorno (T_r), definido como el inverso de la probabilidad de excedencia para caudales máximos (Poveda, y otros, 2007), se estima mediante,

$$Q_{max(T_r)} = Q_{max} + K_{T_r} D_s(Q_{max})$$

Donde Q_{max} representa el valor promedio de la serie de caudales máximos anuales, K_t representa el factor de frecuencia, que depende de la función de distribución de probabilidades supuestas para los caudales máximos y del período de retorno (T_r), y además $D_s(Q_{max})$ representa la desviación típica de la serie de caudales máximos anuales.

Para nuestro caso, se usó la distribución lognormal que ofrece buenos ajustes en la región y que se acostumbra a utilizar en estudios precedente en la región (Jaime et al., 2007). La media Q_{max} y la desviación típica, $D_s(Q_{max})$, se estimaron a través de una relación potencial con el caudal medio multianual del ámbito de estudio, como:

$$Q_{max} = C_m Q^\alpha$$

$$D_s(Q_{max}) = C_d Q^\beta$$

En donde C_m y C_d son prefactores y α y β exponentes que se estiman a partir de los datos muestrales.

En este trabajo se efectúa una estimación de los exponentes, usando los registros de 27 estaciones de medición de caudales.

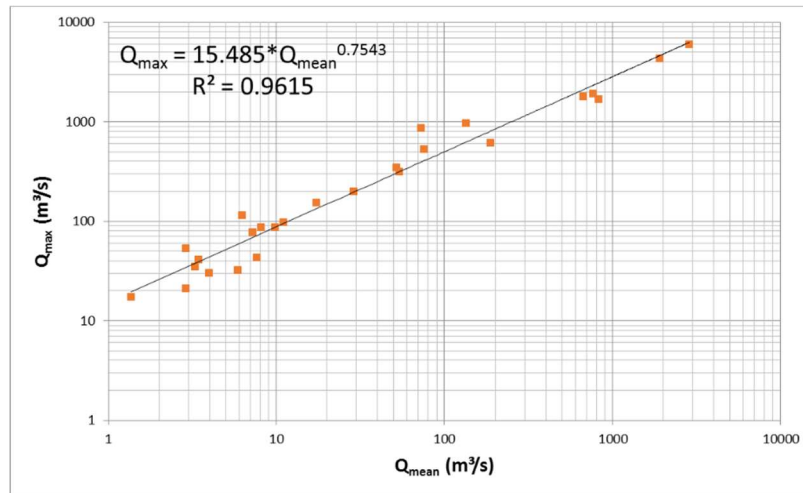


Figura 148. Relación potencial entre los promedios de caudales medios y caudales máximos anuales en ríos del ámbito de estudio.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

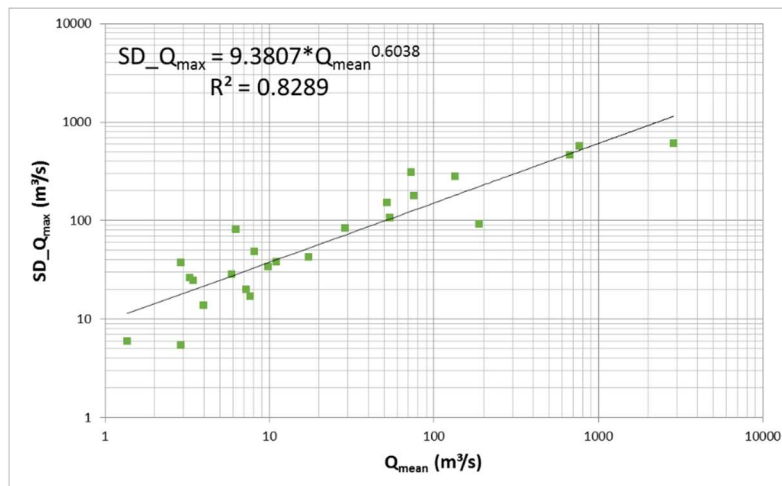


Figura 149. Relación potencial entre los promedios de caudales medios y la desviación típica de los caudales máximos anuales en ríos del ámbito de estudio.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Los resultados obtenidos a partir de la metodología de regionalización fueron los presentados en la tabla siguiente.

Tabla 104. Caudales máximos (m³/s) en el cierre de las subcuencas de Río Nare a partir del análisis de regionalización. Entre paréntesis el código del modelo HMS (en algunos casos se han agregado subcuencas en el modelo lluvia-escorrentía).

Subcuenca	Q= Tr 2 años	Q= Tr5 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años

Río Concepción (01_Concepcion)	79.64	113.02	141.12	158.39	170.97	180.91	189.13	212.67	245.70	326.70
Q. El Bagre (Salida_17)	135.09	185.37	227.69	253.70	272.65	287.61	300.00	335.45	385.20	507.19
Q. El Bejuco (Q. El Rosario) (Reach-05)	166.44	225.57	275.35	305.94	328.22	345.82	360.39	402.09	460.59	604.07
Q. El Pital (Reach-08)	18.28	29.04	38.10	43.67	47.73	50.93	53.59	61.18	71.83	97.95
El Porvenir (09_Porvenir)	19.25	30.44	39.87	45.66	49.89	53.22	55.98	63.87	74.95	102.13
Q. Honda (16_Honda)	117.24	162.28	200.19	223.49	240.47	253.87	264.97	296.73	341.29	450.58
Q. Jabonales - Caño Balsamito (Outlet)	149.70	204.15	249.99	278.16	298.68	314.89	328.31	366.70	420.58	552.71
Q. El Porvenir (09_Porvenir)	14.48	23.49	31.08	35.74	39.14	41.82	44.04	50.40	59.32	81.19
Q. La Sona	13.77	22.44	29.74	34.23	37.50	40.08	42.22	48.34	56.92	77.97
Q. Las Frias (Salida_12)	85.22	120.40	150.01	168.21	181.47	191.94	200.61	225.41	260.22	345.58
Q. Las Mercedes (02_Mercedes)	44.16	65.33	83.15	94.11	102.09	108.39	113.61	128.54	149.49	200.87
Q. Limoncito (Salida_04)	49.57	72.72	92.20	104.18	112.90	119.79	125.50	141.82	164.72	220.89
Q. Llanada (13_Llanadas)	23.99	37.25	48.41	55.27	60.26	64.21	67.48	76.82	89.94	122.11
Q. Mina Grande (Salida_10)	57.71	83.74	105.65	119.12	128.93	136.67	143.09	161.44	187.19	250.35
Río Nusito (06_Musito)	31.48	47.80	61.54	69.98	76.13	80.99	85.01	96.52	112.67	152.28
Q. Nudillales (Salida_03)	115.07	159.47	196.84	219.80	236.54	249.75	260.69	291.99	335.91	443.64
Q. Portugal (15_Portugal)	14.99	24.25	32.05	36.84	40.32	43.08	45.36	51.89	61.05	83.51
Q. Quebradona (Salida_14)	107.72	149.91	185.41	207.23	223.13	235.68	246.08	275.82	317.55	419.90
Río Chico (11_Chico)	30.22	46.05	59.36	67.55	73.51	78.22	82.12	93.28	108.93	147.32
Río San Lorenzo (07_Lorenzo)	29.46	44.98	58.04	66.07	71.92	76.53	80.36	91.30	106.65	144.30
Q. San Miguel (San Lorenzo) (Salida_05_06)	186.35	250.91	305.26	338.66	362.99	382.20	398.11	443.64	507.51	664.17
Q. San Miguel (San Pedro) (04_ Pedro)	26.16	40.32	52.25	59.57	64.91	69.13	72.62	82.60	96.62	130.99
Q. San Pedro (04_ Pedro)	28.10	43.06	55.66	63.40	69.04	73.49	77.18	87.73	102.53	138.83
Q. Vijagual (09_Porvenir)	31.23	47.45	61.11	69.50	75.61	80.44	84.44	95.88	111.93	151.29

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.12.1.3 Selección de los caudales definitivos por los distintos períodos de retorno

Tal y como se ha visto en los apartados anteriores, las series de aforo disponibles en el ámbito de estudio son escasas y presentan una mala distribución. Además, se tiene que considerar que las mediciones tomadas durante avenidas extraordinarias tienen poca fiabilidad. Estas problemáticas hacen que los caudales máximos obtenidos a partir del ajuste probabilístico sobre los datos registrados en las estaciones hidrométricas ofrezca una fiabilidad limitada.

De las otras dos metodologías (modelo lluvia-escorrentía y método de la regionalización) se obtiene resultados superiores en el modelo lluvia-escorrentía. Estas diferencias se deben, en gran medida, a que el proceso de regionalización parte de los datos de caudales medios y extremos disponibles

en el ámbito de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare, CORNARE, y como hemos visto, en la cuenca del Río Nare dispone de pocos registros, por tanto, los resultados de caudales máximos obtenidos en la cuenca de estudio están influenciados por las mediciones realizadas en estaciones de otras cuencas de la región. En cambio, el modelo lluvia-escorrentía se ejecuta a partir de datos reales de precipitación registrados en la cuenca del Río Nare, que tal y como se comenta en el apartado de climatología, presenta registros más elevados otras cuencas vecinas.

4.7.12.2 Caudales mínimos

La obtención de los caudales mínimos para diferentes períodos de retorno se ha realizado mediante el ajuste estadístico de los caudales obtenidos de la aplicación del modelo hidrológico implementado para la obtención de la oferta hídrica.

Este modelo ofrece un registro en continuo de los caudales medios diarios en cada cierre de subcuenca, sobre estos datos se han seleccionado los caudales mínimos circulantes para cada año simulado, obteniendo una información indispensable para poder realizar este ajuste estadístico de forma confiable en cada punto de cálculo. Habitualmente la ley de frecuencia que mejor se ajusta a los caudales mínimos es la EV1, más conocida por la distribución de Gumbel. .A modo de ejemplo se presenta en la Figura 150 el ajuste que se obtiene en el cierre de la cuenca de Río Nare, el conjunto de los ajustes realizados para cada subcuenca se puede consultar el numeral 5 del Anexo 4.4.

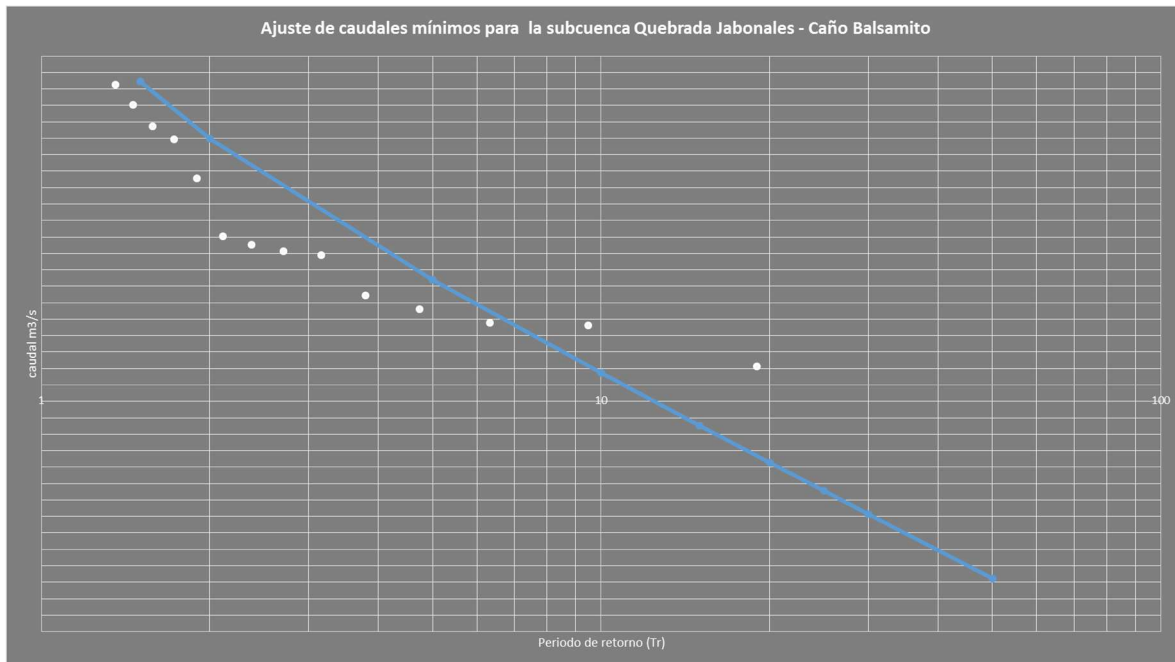


Figura 150. Ajuste de caudales mínimos para la cuenca de cierre de Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Este es un método complementario a la obtención de los caudales ecológicos que se presentan en el apartado 3.5.3

El resultado para cada subcuenca se presenta en la Tabla 105, donde se muestran los valores para cada periodo de retorno, cuando la distribución estadística ofrece valores negativos, ese periodo de muestra valores plausibles y no se muestran en la tabla.

Tabla 105. Caudales mínimos (m³/s) en el cierre de las subcuencas de Río Nare a partir del análisis de regionalización.

Subcuenca	Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
Río Nusito	0.95	0.65	0.45	0.34	0.26	0.20	0.15	0.01	-	-
Quebrada San Miguel (San Pedro)	0.76	0.56	0.43	0.35	0.30	0.26	0.23	0.14	0.02	-
Quebrada El Porvenir	0.44	0.29	0.20	0.14	0.10	0.07	0.05	-	-	-
Quebrada La Guzmaná	0.29	0.20	0.13	0.09	0.07	0.05	0.03	-	-	-
Quebrada San Pedro	0.82	0.59	0.44	0.36	0.30	0.25	0.21	0.11	-	-
Quebrada Limoncito	1.72	1.26	0.95	0.78	0.66	0.57	0.49	0.28	0.00	-
Quebrada El Bejuco (Quebrada El Rosario)	7.89	5.77	4.37	3.58	3.02	2.60	2.25	1.28	-	-
Quebrada San Miguel (San Lorenzo)	9.18	6.70	5.06	4.14	3.49	2.99	2.58	1.45	-	-
Quebrada Nudillales	4.65	3.38	2.54	2.07	1.74	1.48	1.28	0.70	-	-

Subcuenca	Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
Quebrada El Pital	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada Mina Grande	0.53	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-
Río Concepción	2.78	1.99	1.47	1.18	0.97	0.81	0.68	0.32	-	-
Río San Lorenzo	0.80	0.56	0.39	0.30	0.24	0.19	0.14	0.03	-	-
Quebrada Las Mercedes	1.41	1.04	0.80	0.66	0.57	0.49	0.43	0.27	-	-
Quebrada Las Frías	0.60	0.31	0.12	0.01	-	-	-	-	-	-
Río Chico	0.80	0.55	0.38	0.29	0.22	0.17	0.13	0.01	-	-
Quebrada LLanada	0.38	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.13	-	-
Quebrada El Bagre	1.23	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada Quebradona	1.09	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada Portugal	0.27	0.16	0.09	0.05	0.03	0.01	-	-	-	-
Quebrada Honda	1.15	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada La Sona	0.18	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.08	0.06	0.02
Quebrada Jabonales - Caño Balsamito	1.50	0.64	0.07	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada Vijagual	0.79	0.53	0.35	0.25	0.18	0.13	0.09	-	-	-

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

4.7.13 Necesidades de información y conocimiento

Es necesario densificar la red de estaciones de caudal a lo largo del río principal, ya que actualmente la cuenca cuenta sólo con dos estaciones de registros suficientemente largos y confiables para hacer un análisis de calidad de los caudales. Esta cuenca al estar hidrológicamente dividida en dos, necesita tener un buen registro de caudales aguas arriba y aguas abajo del embalse, de tal manera que se pueda evaluar realmente la influencia que tiene este embalse para la oferta disponible aguas abajo del mismo. En la parte baja de la cuenca, es necesario tener estaciones que permitan monitorear los caudales del río antes de la desembocadura del Samaná Norte y del Nus, ya que la información que se tiene sobre oferta para las subcuencas aguas abajo de esta confluencia es muy poca, y resulta especialmente útil ya que en esa zona se presenta una demanda de recreación y un aspecto importante respecto a inundaciones en la zona de desembocadura del Río Nare en el Magdalena. Aunque la cuenca presenta unos índices de uso actuales moderados, es un territorio que aparece interesante para prácticas agrícolas, pecuarias y de recreación que indica que es posible que se presenten solicitudes de concesión en este sentido y es necesario que las corporaciones con jurisdicción sobre la cuenca cuenten con las herramientas de gestión necesarias para responder acertadamente a dichas solicitudes. Estas herramientas comprenden modelos de gestión que para su implementación requieren de datos de caudal y clima.