



DESARROLLAR EL ALCANCE TÉCNICO DE LA REGLAMENTACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS DEL RÍO **APARTADÓ Y PRINCIPALES TRIBUTARIOS**

CAPÍTULO 3: OFERTA HÍDRICA TOTAL Y CAUDAL AMBIENTAL

PHMet - Proyectos Hidrometeorológicos S.A.S. NIT: 900.689.679-2





TABLA DE CONTENIDO

3.	OF	ERT	A HÍDRICA TOTAL Y CAUDAL AMBIENTAL	6
	3.1	ΑN	IÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA EXISTENTE	7
	3.2	AN 9	IÁLISIS DE HOMOGENEIDAD RETOMADO DEL PORH DEL RÍO APARTA	DÓ
	3.2	.1	Resultados obtenidos al presentarse cambios en la varianza	9
	3.2	.2	Resultados obtenidos al presentarse cambios en la media	10
	3.2	.3	Resultados obtenidos al presentarse tendencia en la media	11
	3.2	.4	Detección de datos anómalos «outliers»	12
	3.3	ΑN	IÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA	13
	3.4	ВА	LANCE HIDROCLIMÁTICO	14
	3.4	.1	Balance hídrico de Largo Plazo	14
	3.4	.2	Precipitación media anual	15
	3.4	.3	Estimación de los campos de evapotranspiración	17
	3.5	MC	DDELO LLUVIA ESCORRENTÍA	20
	3.5	.1	Descripción del Modelo	20
	3.5	.2	Información de entrada	22
	3.5	.3	Parámetros y calibración del modelo	22
	3.5	.4	Resultados de la calibración	24
	3.5	.5	Validación de los resultados de los parámetros de calibración	25
	3.6	SIN	MULACIÓN DE SERIES DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS	25
	3.6	.1	Influencia de las estaciones de precipitación	26
	3.6	.2	Parámetros de simulación	30
	3.7	OF	ERTA HÍDRICA TOTAL	33
	3.8	ÍNE	DICE DE ARIDEZ E ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA	33
	3.8	.1	Índices de retención y regulación	33
	3.8	.2	Índice de Aridez	35
	3.9	CA	UDAL AMBIENTAL	37





	3.9.1	Caudales ambientales según la Resolución 865 de 2004	37
		Estimación de los caudales ambientales según la propuesta del al de Agua – ENA-2010	
	3.9.3	Índices hidrológicos 7Q10 y Q95%	37
3	.10 CA	UDALES MÍNIMOS	41
3	11 DIS	SPONIBILIDAD HÍDRICA	43







LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1. Estaciones hidrometeorológicas ubicas dentro o en las cercanías de la zona de estudio
Tabla 3-2. Estaciones Hidrometeorológicas seleccionadas para la calibración y validación del modelo lluvia escorrentía
Tabla 3-3. Resultados del análisis de estabilidad en la varianza
Tabla 3-4. Resultados de análisis de cambio en la media
Tabla 3-5. Resultados de análisis de estabilidad en la media
Tabla 3-6. Resultados del análisis en la detección de «outliers»
Tabla 3-7. Intervalos aproximados de variación de los parámetros hidráulicos del modelo
Tabla 3-8. Rango de variación de otros parámetros del modelo de tanques
Tabla 3-9. Condiciones iniciales usadas en cada uno de los tanques
Tabla 3-10. Parámetros de calibración
Tabla 3-11. Indicadores de calibración del modelo de tanques
Tabla 3-12. Definición de los usuarios de la cuenca del río Apartadó
Tabla 3-13. Codificación y subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-14. Parámetros de interpolación de lluvia para modelo de tanques para los usuarios
del río Apartadó
Tabla 3-15. Parámetros de interpolación de lluvia para modelo de tanques para las
subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-16. Caudales promedio a partir de las series sintéticas para los usuarios de la
cuenca del río Apartadó
Tabla 3-17. Caudales promedio a partir de las series sintéticas para las subcuencas del río
Apartadó
Tabla 3-18. IRH de los usuarios del río Apartadó
Tabla 3-19. IRH de las subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-20. Caudales ambientales para los usuarios de la cuenca del río Apartadó 40
Tabla 3-21. Caudales ambientales para las subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-22. Caudales mínimos (en LPS) para los usuarios de la cuenca del río Apartadó
Tabla 3-23. Caudales mínimos (en LPS) para las subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-24. Oferta disponible para las subcuencas del río Apartadó
Tabla 3-25. Oferta disponible para los usuarios del río Apartadó
Tabla 3-23. Oferta disportible para los usuarios del 110 Apartado43
LISTA DE FIGURAS
Figura 3-1. Localización Estaciones Hidrometeorológicas en las cercanías de la cuenca del
río Apartadó
Figura 3-2. Efecto de la variabilidad climática sobre los caudales en el río Apartadó 14
Figura 3-3. Esquema de Balance hídrico para una cuenca
Figura 3-4. Mapa de precipitación para la cuenca del río Apartadó
Figura 3-5. Validación del modelo de balance hídrico para la zona de estudio
rigara o o. validación del modelo de balanos muntos para la zona de estudio





Figura 3-6. Mapa de Evapotranspiración real, ETR, para la zona de estudio	19
Figura 3-7. Descripción conceptual del modelo de tanques agregado lineal (Vélez J., 2	2001)
	21
Figura 3-8. Curva de duración de caudales estación 12017060 Apartadó	24
Figura 3-9. Serie de caudales observados y simulados estación 12017060 Apartadó	25
Figura 3-10. Polígonos de Thiessen la influencia de precipitación para el Modelo L	luvia-
Escorrentía	27
Figura 3-11. Esquema cálculo del índice de regulación y retención hídrica, IRH	34
Figura 3-12. Índice de Aridez, IA, para la zona de estudio	36
Figura 2-13 Proporción caudal ambiental y eferta hídrica total	30







3. OFERTA HÍDRICA TOTAL Y CAUDAL AMBIENTAL

La caracterización de la oferta hídrica en la cuenca del río Apartadó se fundamenta en información hidrometeorológica representativa de la zona. El propósito central es definir la oferta del recurso agua para la cuenca del río Apartadó y usuarios del recurso hídrico. Para lograr este propósito se empleará un modelo lluvia escorrentía, derivando la oferta hídrica total en cualquier punto de interés de la cuenca de estudio. El modelo lluvia escorrentía empleado será el modelo de Tanques, retomado del PORH río Apartadó 2014, generando 29 años de caudales diarios representados por medio de series sintéticas para cada uno de los puntos de interés en la cuenca del río Apartadó.

Se identificaron en total 23 usuarios, correspondiendo a 24 unidades de análisis con la inclusión del río Apartadó. Los resultados de las series sintéticas nos permiten estudiar la oferta hídrica en diferentes condiciones hidrológicas de la cuenca, como condiciones húmedas, secas o normales. En adición, se construye la curva de duración de caudales a partir de las series sintéticas de caudales diarios. Logrando describir más ampliamente la estructura de los caudales en función de sus frecuencias de excedencia en el tiempo.

En adición se realiza la estimación de los caudales ambientales en los mismos puntos de monitoreo definidos en el modelo lluvia escorrentía. Las metodologías empleadas para el cálculo de los caudales ambientales están basadas en la Resolución 865 del 2004, ENA 2010 y los índices Hidrológicos 7Q10 y Q95%. Estos tres resultados nos permiten contrastar los diferentes enfoques para la estimación de caudales ambientales y poder así seleccionar el más representativo para la cuenca de estudio. Finalmente, los resultados del modelo lluvia escorrentía y caudales ambientales, nos permiten definir la oferta disponible en el punto de captación de usuarios de la cuenca del río Apartadó.







3.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA EXISTENTE

Para la calibración y validación del modelo de tanques realizado en el PORH del río Apartadó se seleccionaron y depuraron estaciones hidrometeorológicas a cercanías de la cuenca (Figura 3-1). En la Tabla 3-1 se enlistan las estaciones consideradas dentro del PORH.

Tabla 3-1. Estaciones hidrometeorológicas ubicas dentro o en las cercanías de la zona de estudio

Código 11120040 11130010 11150020 12010030 12010050 12010060 12010070 12010090 12010100 12010110	Nombre RIOSUCIO UNGUIA TANELA BARRANQUILLITA TOSCANA LA LORENA LA CASCO EL TRIGANA EUPOL	PM PM PM PM PM PM PM	Este 664509 668006 673351 710772 710314 711887	Norte 1315572 1381698 1395635 1329857 1356098	Inicio 1969 1974 1974 1974 1977	Fin 2016 2016 2015 2016	(años) 48 43 42 43
11130010 11150020 12010030 12010050 12010060 12010070 12010090 12010100	UNGUIA TANELA BARRANQUILLITA TOSCANA LA LORENA LA CASCO EL TRIGANA	PM PM PM PM PM	668006 673351 710772 710314	1381698 1395635 1329857	1974 1974 1974	2016 2015 2016	43 42
11150020 12010030 12010050 12010060 12010070 12010090 12010100	TANELA BARRANQUILLITA TOSCANA LA LORENA LA CASCO EL TRIGANA	PM PM PM PM	673351 710772 710314	1395635 1329857	1974 1974	2015 2016	42
12010030 12010050 12010060 12010070 12010090 12010100	BARRANQUILLITA TOSCANA LA LORENA LA CASCO EL TRIGANA	PM PM PM	710772 710314	1329857	1974	2016	
12010050 12010060 12010070 12010090 12010100	TOSCANA LA LORENA LA CASCO EL TRIGANA	PM PM PM	710314				43
12010060 12010070 12010090 12010100	LORENA LA CASCO EL TRIGANA	PM PM		1356098	1077		
12010070 12010090 12010100	CASCO EL TRIGANA	PM	711887			2016	40
12010090 12010100	TRIGANA			1362178	1977	2016	40
12010100			716471	1364507	1977	2016	40
	EUPOL	PM	709301	1349418	1977	2016	40
12010110		PM	719868	1371250	1977	2016	40
	PRADO MAR	PM	717568	1375903	1977	2016	40
12010120	STA MARTHA	PM	716355	1368870	1977	2015	39
12020010	PUEBLO BELLO	PM	730270	1399825	1991	2016	26
13030010	TIERRALTA	PM	782263	1397602	1972	2016	45
12010160 SA	AN JOSE APARTADÓ	PG	721735	1362516	1984	1997	14
12010180 C	CHOROMANDO HDA	PG	723634	1371726	1984	1996	13
13030030	URRA 1	PG	762274	1375194	1984	2005	22
13020020	CIELO EL	PM	741998	1367932	1973	2002	30
13040010	QUIMARI	PM	751293	1384483	1973	2003	31
13020010	DESPENSA LA	PM	754856	1364165	1970	1990	21
12010020	PALMERA LA	PM	720902	1326166	1972	1991	20
12010080	STA ISABEL	PM	714293	1349641	1977	1994	18
13020040	SAIZA	PM	734512	1343988	1990	2000	11
12010010	TORMENTO EL	PM	693481	1351588	1972	2016	45
13040030	PEZVAL	PM	769509	1406025	1990	2015	26
12010170	NUEVO ORIENTE	PG	711576	1317589	1991	2016	26
12015010	VILLARTEAGA	CO	734298	1305247	1972	2016	45
12015020	UNIBAN	AM	716045	1358033	1977	2016	40
12015070 A	APTO LOS CEDROS	SP	708686	1357027	1983	2016	34
13015030	CAMPO BELLO	CP	762274	1375194	1996	2004	9
11117040	MUTATÀ	LG	739223	1291872	1976	2014	39
11147020	BAJIRA	LG	707345	1307436	1997	2015	19
12017070	CERRAZON LA	LG	724245	1346360	1987	2014	28
12017100	VILLARTEAGA	LG	721486	1312314	1990	2015	26
13047030	TIERRALTA	LG	780995	1397653	1992	2010	19
12027010	PUEBLO BELLO	LM	730270	1399814	1977	2014	38
12017010	CHIGORODÓ	LM	712342	1341140	1976	2012	37
	BARRANQUILLITA	LM	709325	1329921	1977	2015	39
12017040	RIOGRANDE	LM	719448	1369294	1978	2015	38
	CARRIZOLA AUTOM	LM	777563	1394759	1993	2015	23

Fuente: PORH río Apartadó 2014.





Figura 3-1. Localización Estaciones Hidrometeorológicas en las cercanías de la cuenca del río Apartadó



Para la construcción del modelo lluvia escorrentía dentro del PORH se seleccionó la estación limnimétrica Apartadó (12017060) y las estaciones pluviométricas El Casco (12010070) y La Lorena (12010060). Las estaciones seleccionadas para el modelo lluvia escorrentía se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Estaciones Hidrometeorológicas seleccionadas para la calibración y validación del modelo Iluvia escorrentía

	navia cocorronta							
Código Cat		Nombre estación	Año inicial	Año final				
12017060	12017060 LM Apartadó		1984	2012				
12010070	PM	El Casco	1977	2016				
12010060 PM		La Lorena	1977	2016				

Fuente: PORH río Apartadó 2014.

Las estaciones de precipitación y caudal identificadas para calibrar y validar el modelo lluvia escorrentía fueron sometidas a un análisis de homogeneidad y calidad de la información hidrológica. Para tal efecto se propuso efectuar los análisis de consistencia, homogeneidad y calidad de los registros diarios disponibles en la cuenca. Para tal efecto se retomarán los resultados del PORH del río Apartadó, resumidos a continuación:





3.2 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD RETOMADO DEL PORH DEL RÍO APARTADÓ

El análisis y modelación de registros hidrológicos a menudo asume que los datos se rigen por la hipótesis de estacionariedad, que implica que la función de distribución de probabilidades no cambia con el tiempo (Poveda & Álvarez, 2012), sin embargo, se sabe que sí existen cambios y/o tendencias en los datos, lo que sugiere el colapso de la hipótesis planteada. Por lo anterior se requiere identificar las variaciones de cada una de las series de precipitación antes de desarrollar cualquier otro tipo de análisis.

El análisis de homogeneidad se realiza para verificar la calidad de la información disponible, consiste en calcular estadísticos de prueba para la media y la varianza del conjunto de datos y posteriormente compararlos con valores críticos teóricos correspondientes a determinadas funciones de distribución de probabilidad, según la prueba usada.

Cuando se observa un cambio significativo en la magnitud de la media de determinada variable, se pueden presentar dos casos: si el cambio es positivo significa que hay incremento en el nivel de la media y si es negativo indica una disminución. Las pruebas estadísticas utilizadas son: la prueba T simple, T modificada y suma de rangos de Wilcoxon o Mann – Whitney; para detectar una posible tendencia en la media de un registro de datos se utiliza la prueba T y para identificar cambios en la varianza se recurre a las pruebas F simple, F modificada y la Ansari - Bradley.

El procedimiento general consiste en verificar si existe un cambio en la varianza de los registros según el resultado de las pruebas, se continúa con el análisis de cambio en la media (la prueba F simple se usa para elegir el estadístico para la prueba T simple, la prueba F modificada se usa para elegir el estadístico para la prueba T modificada), en caso de existir un cambio en la media éste procede a ser removido, ajustando la media de los valores posteriores al salto.

El análisis se practica a escala anual, debido a que la variabilidad intra-anual de la precipitación puede hacer incurrir las pruebas en un error tipo 2, rechazar la hipótesis de homogeneidad sin que en realidad haya cambios significativos en los estadísticos; el análisis se realiza sobre las series reconstruidas y sólo para el periodo de reconstrucción debido a la necesidad de tener los registros completos y consecutivos. Se considera un número significativo de datos (la cantidad de datos mínimos de cada sub-serie sometida al análisis) de 5 años, en el tramo inicial y en el tramo final de las series.

3.2.1 Resultados obtenidos al presentarse cambios en la varianza

Para realizar el análisis de homogeneidad se continuó con la agrupación de estaciones que se determinó con anterioridad. A continuación, en la Tabla 3-3 se consignan los resultados





obtenidos tras realizar las 3 pruebas de hipótesis en los registros de precipitación de las estaciones.

En caso de obtener «Rechaza» significa que la prueba rechaza la hipótesis nula y la diferencia entre varianzas es diferente de cero, por el contrario, si se «Acepta» es un indicador de que la prueba no rechaza la hipótesis nula y existe homogeneidad o igualdad de varianzas. En el caso de que por lo menos dos estaciones coinciden en «Rechaza», significa que la serie de datos en estudio es no homogénea en su varianza y se presenta el año de máximo cambio, en caso contrario sí existe igualdad. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Resultados del análisis de estabilidad en la varianza

Cádigo	Estación	Periodo	F	F	Ansary	Año
Código	ESIACION	análisis	simple	modificada	Bradley	cambio
12020010	Pueblo Bello	1972 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
13020010	La Despensa	1972 - 1990	Acepta	Acepta	Acepta	
13020020	El Cielo	1973 - 2002	Acepta	Acepta	Acepta	
13030010	Tierralta	1972 - 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
13040010	Quimari	1973 - 2003	Rechaza	Acepta	Acepta	
13040030	Pezval	1990 - 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
11120040	Riosucio	1975 - 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
11130010	Unguia	1974 - 2015	Rechaza	Rechaza	Acepta	2001
11150020	Tanela	1974 - 2015	Rechaza	Rechaza	Acepta	2002
12010010	El Tormento	1972 - 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
12010020	La Palmera	1972 - 1991	Acepta	Acepta	Acepta	
12010030	Barranquillita	1974 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010170	Nuevo Oriente	1991 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12015010	Villarteaga	1972 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010050	La Toscana	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	-
12010060	La Lorena	1977 – 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
12010070	El Casco	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010080	Sta Isabel	1977 – 1994	Rechaza	Rechaza	Acepta	1984
12010090	Trigana	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010100	Eupol	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010110	Prado Mar	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010120	Sta Martha	1977 – 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12015020	Uniban	1977 - 2015	Rechaza	Acepta	Acepta	
12015070	Apto Los Cedros	1983 - 2015	Rechaza	Rechaza	Acepta	1991

Fuente: PORH río Apartadó 2014.

3.2.2 Resultados obtenidos al presentarse cambios en la media

Similar al literal anterior se desarrollan los 3 test estadísticos ya descritos con el fin de determinar cuál de estos «Acepta» o «Rechaza» la hipótesis nula, y posteriormente inferir si existe estabilidad o no en el valor de la media. En caso de que dos o más pruebas localicen un cambio se asume que este es significativo y se presenta el año de ocurrencia. Los resultados se presentan en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Resultados de análisis de cambio en la media

Código	Estación	Periodo	Т	Т	Wilcoxon	Año
		análisis	simple	modificada		cambio
12020010	Pueblo Bello	1972 - 2015	Rechaza	Acepta	Rechaza	1992
13020010	La Despensa	1972 - 1990	Acepta	Acepta	Acepta	- S 7 TT 1 D C 1





Código	Estación	Periodo	Т	Т	Wilcoxon	Año
_		análisis	simple	modificada		cambio
13020020	El Cielo	1973 - 2002	Acepta	Rechaza	Acepta	
13030010	Tierralta	1972 - 2015	Rechaza	Rechaza	Acepta	1986
13040010	Quimari	1973 - 2003	Acepta	Acepta	Acepta	
13040030	Pezval	1990 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1995
11120040	Riosucio	1975 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1996
11130010	Unguia	1974 - 2015	Acepta	Acepta	Rechaza	
11150020	Tanela	1974 - 2015	Rechaza	Acepta	Rechaza	2004
12010010	El Tormento	1972 - 2015	Rechaza	Rechaza	Acepta	2005
12010020	La Palmera	1972 - 1991	Acepta	Acepta	Acepta	
12010030	Barranquillita	1974 - 2015	Rechaza	Acepta	Rechaza	2006
12010170	Nuevo Oriente	1991 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12015010	Villarteaga	1972 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	2004
12010050	La Toscana	1977 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1995
12010060	La Lorena	1977 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1994
12010070	El Casco	1977 - 2015	Acepta	Rechaza	Acepta	
12010080	Sta Isabel	1977 - 1994	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1984
12010090	Trigana	1977 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010100	Eupol	1977 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010110	Prado Mar	1977 - 2015	Acepta	Acepta	Acepta	
12010120	Sta Martha	1977 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1986
12015020	Uniban	1977 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1992
12015070	Apto Los Cedros	1983 - 2015	Rechaza	Rechaza	Rechaza	1992

3.2.3 Resultados obtenidos al presentarse tendencia en la media

Se dice que una serie presenta tendencia en la media cuando se presenta un cambio progresivo y gradual en la magnitud o el nivel en este parámetro. Esta tendencia puede ser positiva si hay un incremento gradual de la magnitud de la media o negativa si ocurre lo contrario. A continuación, se detalla si existe una tendencia general para el registro de datos, en caso de que dicha tendencia exista y de haberse identificado un cambio en la media se procede a determinar si la tendencia se conserva en los tramos antes y después del cambio. Los resultados de tendencia en la media se presentan en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5. Resultados de análisis de estabilidad en la media.

Código	Estación	Prueba de tendencias		
		General	Tramo 1	Tramo 2
12020010	Pueblo Bello	No		
13020010	La Despensa	No		
13020020	El Cielo	No		
13030010	Tierralta	No		
13040010	Quimari	No		
13040030	Pezval	No		
11120040	Riosucio	Sí	No	No
11130010	Unguia	No		
11150020	Tanela	No		
12010010	El Tormento	No		
12010020	La Palmera	No		
12010030	Barranquillita	No		
12010170	Nuevo Oriente	No		
12015010	Villarteaga	Sí	No	No
12010050	La Toscana	No		
12010060	La Lorena	Sí	No	No
12010070	El Casco	No		





12010080	Sta. Isabel	No	
12010090	Trigana	No	
12010100	Eupol	No	
12010110	Prado Mar	No	
12010120	Sta. Martha	No	
12015020	Uniban	No	
12015070	Apto Los Cedros	No	

3.2.4 Detección de datos anómalos «outliers»

Los puntos anormalmente extremos u «outliers» son observaciones que se separan de la tendencia general de una serie de datos, pueden ser valores máximos o mínimos localizados por encima o por debajo de la media, incluirlos sin una identificación previa puede llevar a errores de distorsión en la construcción de curvas de frecuencia (Fattorelli & Fernández, 2011). En ocasiones pueden ser causados por errores de medida, calibración o avería de los instrumentos, fenómenos naturales, entre otros.

En este caso se emplean 3 métodos para identificar su existencia: método de detección «de puntos por fuera del rango», método del rango normalizado «rangos normales» y método de «prueba del rango» o Dixon simplificado. Tras la aplicación de cada uno de los métodos descritos en los registros de precipitación según la agrupación con antelación definida y en los registros de caudales que se encuentran dentro de las cuencas de interés. En la Tabla 3-6 se presenta la conclusión que arroja cada método; en caso de que por lo menos dos pruebas detecten «outlier» se procede a identificar el año en que ocurre. Los resultados del análisis de detección de outliers se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. Resultados del análisis en la detección de «outliers»

	Período		Métodos			
Código	Estación	análisis	Puntos	Rango	Dixon	Año
_		anansis	fuera rango	normalizado	simplificado	
13040030	Pezval	1990 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
13040010	Quimari	1973 - 2003	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
13030010	Tierralta	1972 - 2015	Hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
13020020	El Cielo	1973 - 2002	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
13020010	La Despensa	1972 - 1990	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12020010	Pueblo Bello	1972 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
11120040	Riosucio	1975 - 2015	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
11130010	Unguia	1974 - 2015	Hay outliers	Hay outliers	Hay outliers	2001
11150020	Tanela	1974 - 2015	Hay outliers	Hay outliers	Hay outliers	2006
12010010	El Tormento	1972 - 2015	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
12010020	La Palmera	1972 - 1991	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
12010030	Barranquillita	1974 - 2015	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
12010170	Nuevo Oriente	1991 - 2015	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
12015010	Villarteaga	1972 - 2015	No hay outliers	No hay outliers	No hay outliers	
12010050	La Toscana	1977 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12010060	La Lorena	1977 - 2015	Hay outlier	No hay outlier	Hay outlier	1996
12010070	El Casco	1977 - 2015	Hay outlier	Hay outlier	Hay outlier	1996
12010080	Sta. Isabel	1977 - 1994	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12010090	Trigana	1977 - 2015	Hay outlier	Hay outlier	Hay outlier	1988
12010100	Eupol	1977 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12010110	Prado Mar	1977 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12010120	Sta Martha	1977 - 2015	No hav outlier	No hav outlier	No hav outlier	





12015020	Uniban	1977 - 2015	No hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	
12015070	Apto Los Cedros	1983 - 2015	Hay outlier	No hay outlier	No hay outlier	

3.3 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La propuesta metodológica para la estimación de caudales ambientales, presentada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, sugiere clasificar los años en húmedos, promedio y secos, utilizando para ello la Tabla de Consenso Internacional de años Niño y Niña, compilada por Null (2003), a partir de los reportes de cuatro grupos de investigación estadounidenses que investigan el ENSO y que incluyen el Western Regional Climate Center (WRCC-http://www.wrcc.dri.edu/) el ClimateDiagnostic Center (CDChttp://www.cdc.noaa.gov/) ClimatePrediction (CPCel Center http://www.cpc.ncep.noaa.gov/) y el Multivariate ENSO index (propuesto por el CDC http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/). Sin embargo, es de recordar que ambas fases del ENSO inician en la primavera boreal (finales de marzo, comienzos de abril), y por ello que en el presente trabajo se ha considerado el uso del Índice Oceánico Niño

(http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml) en la clasificación de los registros según las diferentes condiciones del ENSO.

En la Figura 3-2 se presentan los resultados de la clasificación de los caudales para la estación limnimétrica Apartadó (12017060) en función de los estados del sistema ENSO (El Niño, Normal, o El Niño), los resultados indican que dicho sistema solo afecta la amplitud, mas no la fase, de los caudales medios mensuales. Los resultados determinan que la influencia del ENSO sobre la zona de estudio es débil, a diferencia de la región Andina y el occidente del país en donde el efecto del fenómeno de La Niña se traduce en una marcada disminución en la magnitud de los caudales, El Niño por su parte aumenta de los caudales.

Comentado [ACZ1]: Verificar







El Niño Neutral La Niffa 9 8 Caudat (m³/s) 0

Figura 3-2. Efecto de la variabilidad climática sobre los caudales en el río Apartadó

3.4 BALANCE HIDROCLIMÁTICO

En el proceso de planificación de los recursos naturales, específicamente en la ordenación del recurso hídrico, es fundamental estimar los caudales que produce naturalmente una cuenca con el menor grado de incertidumbre posible, ya que dichos caudales definen en gran medida las potencialidades y las restricciones en cuanto al aprovechamiento hídrico se refiere.

Los caudales medios definen la oferta del recurso hídrico a largo plazo y por tanto las condiciones promedio de disponibilidad. La evaluación de caudales medios en una cuenca está sujeta a diferentes variables intrínsecas como: la geomorfología, precipitación, evapotranspiración, tipos y usos de suelo, entre otras. El método más utilizado para su estimación es el de balance hidrológico de largo plazo, en el cual la validez y precisión están ligadas a los mapas de precipitación y evapotranspiración, con los cuales se construye dicho balance.

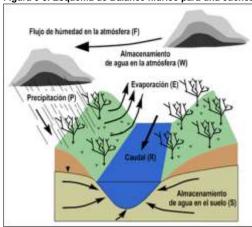
3.4.1 Balance hídrico de Largo Plazo

Para el balance hidrológico se utilizan las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control. En este caso, el volumen de control considerado está conformado por las columnas de agua y suelo, donde la frontera horizontal está definida por la divisoria de la cuenca; el borde inferior de la columna de suelo es un estrato impermeable y el borde superior de la columna atmosférica es su tapa.









La Figura 3-3 muestra un esquema del volumen de control donde se indican las variables del sistema. Las variables P, E, F y R tienen dimensiones de longitud por unidad de tiempo, o caudal por unidad de área; mientras que W y S tienen dimensiones de longitud, o sea, volumen por unidad de área.

Caudal Medio =
$$\int_{Area} [P(x, y) - E(x, y)] dA$$
 (3-1)

El caudal medio se obtiene mediante diferenciales de área del tamaño de los píxeles del MDE. Así, para cada píxel en el interior de la cuenca se estima E y P, se evalúa la ecuación y su resultado se multiplica por el área del píxel, obteniendo así el volumen de agua que el píxel aporta durante el intervalo de tiempo dado, un año en este caso. La integración sobre toda la cuenca estima el volumen total de agua que sale de la cuenca durante el mismo período de tiempo, este valor se convierte finalmente a m³/s para obtener el caudal medio. A continuación, se describe la obtención de los mapas requeridos para la realización del cálculo del balance hidrológico a largo plazo.

3.4.2 Precipitación media anual

A partir de la información de precipitación disponible en la zona de estudio relacionada con la cuenca del río Apartadó, en el PORH del río se realizó la construcción de un campo de precipitación media multianual. Este análisis consistió en realizar la interpolación de los valores de precipitación media multianual en cada una de las estaciones disponibles. En la Figura 3-4 se presenta el campo de precipitación, el cual fue extraído del estudio del Plan de ordenamiento del recurso hídrico de los principales tributarios del río León, de conformidad con la guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso





hídrico (2014), se determina una precipitación media multianual de 2528 mm/año sobre el río Apartadó.

Figura 3-4. Mapa de precipitación para la cuenca del río Apartadó Salida cartográfica: DESARROLLAR EL ALCANCE TÉCNICO DE LA REGLAMENTACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS DEL RÍO APARTADÓ Y PRINCIPALES TRIBUTARIOS PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO APARTADO (1201-09) Escala 1:200 000 1 040 000 1 050 000 1 000 000 LEYENDA Isoyeta (mm/año) UH río Apartadó (1201-09) Drenaje sencillo Drenaje doble Precipitación (mm/año) Máx: 3405 Min: 2087 1 040 000 1 050 000 1 060 000





3.4.3 Estimación de los campos de evapotranspiración

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico. Representa la cantidad de agua saliente del sistema hacia la atmósfera en forma de vapor de agua, por una combinación de la evaporación física y de la transpiración de la vegetación. La evapotranspiración depende fundamentalmente de condiciones climáticas que a su vez son función de las características físicas de la atmósfera que se encuentra cerca al suelo y a la vegetación, además depende de la calidad del agua y área de la superficie del agua.

Para el cálculo de esta variable existen varios métodos empíricos, la mayoría de ellos basados en fórmulas que han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. Para el presente estudio se utilizó el método propuesto por Thornthwaite, dado que presenta los menores errores de balance regional según el estudio del Plan de ordenamiento del recurso hídrico de los principales tributarios del río León, de conformidad con la guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (2014). En dicho estudio se estimó la evapotranspiración por diferentes métodos y se confrontó con la medida a través de las estaciones climatológicas, dicha comparación se presenta en la Figura 3-5, donde se demuestra que el método de Thornthwaite presenta el menor error de balance.

90% 80% 70% E 50% 40% 30% 10% 0% -10% MAETR HIJ THE - CH

Figura 3-5. Validación del modelo de balance hídrico para la zona de estudio

Fuente: PORH río Apartadó 2014.

Ecuación de Thornthwaite

1. Se calcula un "índice de calor mensual" (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

2. Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 12 valores calóricos mensuales:

$$I = \sum_{i} i$$

3. Se calcula la ETP mensual "sin corregir" mediante la siguiente fórmula:





$$ETP_{\sin corregir} = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^a$$

Donde:

ETP sin corregir = ETP mensual mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas

de sol (teóricas)

t = Temperatura media mensual, °C

I = índice de calor anual, obtenido en el punto 2

 $a=(675*10^{-9}*I^3) - (771*10^{-7}*I^2) + (1792*10^{-5}*I) + (0.49239)$

Corrección de la Evapotranspiración

$$ETP = ETP_{\sin corrección} * F$$

Dónde:

ETP = Evapotranspiración corregida F = Factor de corrección de Thornthwaite

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año). La evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, la cual se presenta en la siguiente ecuación.

$$ETR = \left\{ ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right] \right\}^{1/2}$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real (mm/año), ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) P es la precipitación media en la cuenca (mm/año). Los resultados obtenidos para la evapotranspiración real en la cuenca del río Apartadó se presentan en la Figura 3-6. Se obtiene un valor medio de1378 mm/año de evapotranspiración real.

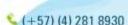


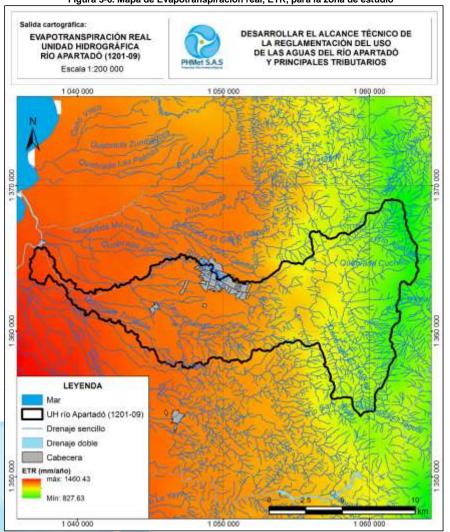








Figura 3-6. Mapa de Evapotranspiración real, ETR, para la zona de estudio







3.5 MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA

La aplicación del modelo de tanques realizada en el PORH del río Apartadó (2014) consistió en procesos de calibración en una cuenca donde se conocen con antelación los valores de precipitación y escorrentía. Para el caso el caso del río Apartadó, se utilizó la estación Apartadó (12017060) como cuenca de calibración. En el análisis realizado en el PORH no fue posible realizar validación del modelo de tanques ya que no existe disponibilidad de otra estación de medición de caudal a cercanías de la cuenca.

A continuación, se presenta la información del modelo de tanques, tomada del del *Plan de* ordenamiento del recurso hídrico de los principales tributarios del río León, de conformidad con la guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (2014)

3.5.1 Descripción del Modelo

Para la simulación de caudales mínimos puntos no instrumentados de las cuencas se utiliza el modelo de tanques agregado lineal (Vélez J., 2001) a escala diaria. Este modelo cuenta con 7 parámetros de calibración, representados en propiedades físicas del suelo; además se considera como parámetro a ser calibrado los tiempos de residencia del agua en las diferentes capas de suelo. Dada la naturaleza de los parámetros de calibración, el ajuste del modelo representa de mejor manera los caudales mínimos, razón por la que se implementa este método para la estimación de estos caudales relacionados con diferentes periodos de retorno.

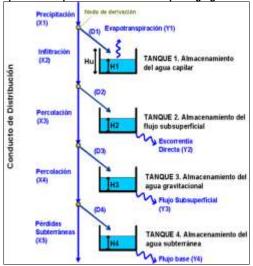
En el modelo, la producción de escorrentía se basa en balance hídrico en la cuenca, asumiendo que el agua se distribuye en cuatro tanques o niveles de almacenamiento conectados entre sí, en donde cada uno de estos tanques representan las diferentes partes del suelo y subsuelo que aportan a la escorrentía, como puede observarse en la Figura 3-7.







Figura 3-7. Descripción conceptual del modelo de tanques agregado lineal (Vélez J., 2001)



Tanque 1: Almacenamiento Capilar en el Suelo: Representa el agua que transita por la cuenca y que sólo sale de ella por evapotranspiración, por lo tanto, no hace parte de la escorrentía. Este almacenamiento se refiere a la interceptación, la detención de agua en charcos y el agua que se retiene en el suelo debido a fuerzas capilares.

Tanque 2: Almacenamiento del Flujo Superficial: En este almacenamiento se representa el agua que es susceptible a infiltrarse a un nivel inferior o que fluye por la ladera (escorrentía directa). Se supone que la capa superior del suelo tiene una conductividad hidráulica Ks representativa o característica y que se asocia al tipo de suelo y a su estructura, lo cual está relacionando la cobertura vegetal, el uso y manejo del suelo.

Tanque 3: Almacenamiento de Agua Gravitacional en la Capa Superior del Suelo: Este almacenamiento representa al agua almacenada en la capa superior del suelo mientras fluye lentamente hacia la red de drenaje, se desarrolla inicialmente sobre una capa delgada que fluye lateralmente hacia abajo por el interior de esta capa hasta que sale a los elementos de la red de drenaje.

Tanque 4: Almacenamiento Subterráneo: Se representa por un tanque donde se considera el almacenamiento del aqua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el acuífero, y donde sale a formar el flujo base.





3.5.2 Información de entrada

La calidad de la información utilizada en el modelo para la calibración de los parámetros repercute directamente en la calidad de los resultados del modelo en cuencas donde no se cuente con registros históricos de caudal. Entre las variables de entrada que el modelo requiere se encuentran: La evapotranspiración potencial, la precipitación diaria, caudal diario, etc. A continuación, se hace una descripción de cómo se obtiene cada una de estas variables.

Área de la cuenca: Conocida la ubicación de cada estación de medición de caudales sobre su respectiva corriente, se hace uso del programa HidroSig 4.0 y las direcciones de flujo para obtener el valor del área de cada cuenca.

Caudal diario: Es una de las variables más importantes en conjunto con la precipitación en la etapa de la calibración del modelo. Aunque para calibrar el modelo no se exige una cantidad mínima de años, cuanto más largo sea el período de calibración serán más confiables los resultados, en este caso la estación 12017060 Apartadó cuenta con una longitud de 29 años (1984-2012). Para realizar la calibración no se requiere completar los datos faltantes en la serie de caudales.

Precipitación diaria: Además de la calidad y longitud de los registros de las series de precipitación, otro criterio para la selección de las series de precipitación utilizadas es la ubicación de las estaciones. Se trata de hacer uso de estaciones ubicadas dentro de la cuenca trazada para cada modelo, sin embargo, esto no es siempre posible por lo que es necesaria la utilización de estaciones en cuencas cercanas que den cuenta de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en la zona.

Evaporación potencial: La evaporación se calcula usando el método de Thornthwaite-Budyko en función de la precipitación media mensual, temperatura media mensual y temperatura media anual de los resultados de la deriva externa Chelsa, la cual permitió obtener las mejores aproximaciones.

3.5.3 Parámetros y calibración del modelo

Parámetros hidráulicos: En cuanto a los parámetros hidráulicos se tienen el almacenamiento capilar del suelo, la conductividad del suelo en su capa superficial e inferior; el tiempo medio de residencia del flujo superficial, subterráneo y del flujo base. Cada uno de estos parámetros tiene un intervalo de variación, el rango de variación de estos parámetros se ha definido con base en trabajos previos y los reportes de la literatura científica (Correa & Vélez, 2001) (Jaramillo, Vélez, & Vélez, 2003), éstos se muestran en la Tabla 3-7.





Tabla 3-7. Intervalos aproximados de variación de los parámetros hidráulicos del modelo

si valos aproximados de variación de los parame	110311	iui auiic
Parámetros Hidráulicos	Min	Max
Almacenamiento capilar [mm]	50.0	250.0
Conductividad capa superior [mm/día]	7.5	30.0
Conductividad capa inferior [mm/día]	2.5	10.0
Perdidas subterráneas [mm]	0.0	0.0
Tiempo medio de residencia flujo superficial [días]	0.5	2.0
Tiempo medio de residencia flujo subsuperficial [días]	2.5	10.0
Tiempo medio de residencia flujo base [días]	50.0	200.0

Otros parámetros del modelo: Son los parámetros correspondientes a la evaporación real y a la infiltración de la cuenca: Exponente de infiltración y de evaporación. A diferencia de los parámetros hidráulicos del modelo, los exponentes de evaporación y de infiltración han sido explorados de manera más amplia por los diferentes autores y el rango de variación de cada uno de éstos no es tan amplio, tal como se observa en la Tabla 3-8, y de los cuales ya algunos autores recomiendan dichos valores.

Tabla 3-8. Rango de variación de otros parámetros del modelo de tanques

Otros parámetros del modelo	Min	Max
Exponente infiltración (Se recomienda 2)	1	3
Exponente evaporación (Se recomienda 0.7)	0,25	1,5

Condiciones iniciales: Las condiciones iniciales de almacenamiento de cada uno de los tanques, se obtienen conociendo las condiciones hidráulicas del terreno, la calidad y textura (Tabla 3-9).

Tabla 3-9. Condiciones iniciales usadas en cada uno de los tanques

Almacenamiento Capilar	T1
Almacenamiento Agua superficial	T2
Almacenamiento Gravitacional Z Superior	T3
Almacenamiento Gravitacional Z Inferior (acuífero)	T4

Para la calibración del modelo se observa la correspondencia entre los datos históricos de caudales y los datos simulados. Durante la calibración se debe entender que la componente fuerte del modelo son los caudales mínimos, los cuales son el objetivo de los análisis presentados en este capítulo, por lo que, al momento de realizar la calibración de cada uno de estos parámetros, las recesiones de ambas series (histórica y simulada) deben ser lo más similares posibles. De la misma manera en la curva de duración de caudales simulada y observada es importante que los caudales correspondientes a probabilidades de excedencia entre 50 y 95 % sean lo más similares posible.

Para la estimación de los errores de calibración de los modelos se calculan cinco indicadores básicos como son: error porcentual en el balance cuyo optimo es 0%, coeficiente de eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe cuyo óptimo es 100%, raíz del error cuadrático medio tradicional (RMSE) cuyo óptimo es 0 m³/s, coeficiente de eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe para la raíz cuadrada de los caudales (que califica mejor los caudales mínimos) cuyo óptimo es 100% y la raíz del error cuadrático medio para la raíz





cuadrada de los caudales (que califica mejor los caudales mínimos) cuyo óptimo es también 0 m³/s (Amaya, Restrepo, Vélez, Vélez, & Álvarez, 2009).

3.5.4 Resultados de la calibración

Los resultados de la calibración para la estación 12017060 Apartadó se muestran en la Tabla 3-10.

Tabla 2-10 Parámetros de calibración

Tabla 3-10. Parametros de calibración						
Río Apartadó						
Periodo de Calibración	1984 - 2012					
Años de calibración	29.00					
Área de la Cuenca [km²]	91.36					
Parámetros de calibración						
Almacenamiento Capilar [mm/día]	58.00					
Conductividad Capa Superior [mm/día]	3.50					
Conductividad Capa Inferior [mm/día]	3.30					
Perdidas Subterráneas [mm]	1.00					
Tiempo Medio de Residencia Flujo Superficial [días]	5.00					
Tiempo Medio de Residencia Flujo Subsuperficial [días]	6.00					
Tiempo Medio de Residencia Flujo Base [días]	150.00					
Condiciones iniciales						
Almacenamiento Capilar – T1	25.00					
Almacenamiento Agua superficial – T2	5.00					
Almacenamiento Gravitacional Z Sup – T3	10.0					
Almacenamiento Gravitacional Z Inf (acuífero) – T4	215.00					
Otros parámetros del modelo						
Exponente infiltración	2.00					
Exponente evaporación	0.80					

En la Figura 3-8 se muestra la serie gráfica real y simulada del caudal medio diario para la estación 12017060 Apartadó y en la Figura 3-9 las curvas de duración correspondientes.

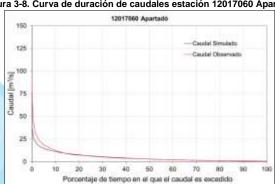


Figura 3-8. Curva de duración de caudales estación 12017060 Apartadó

Fuente: PORH río Apartadó 2014.





Figura 3-9. Serie de caudales observados y simulados estación 12017060 Apartadó Calibración estación 12017060 Apartadó (río Apartadó) 150 125 100 Caudal [m²/s] 75 50 Caudal Observado Caudal Simulado Precipitación Media 400 500 25 31/12/1986 30/12/1987 30/12/1987 30/12/1989 30/12/1991 29/12/1994 29/12/1994 28/12/1995 28/12/1995 28/12/1996 28/12/1999 28/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 27/12/2000 26/12/2009 26/12/2009 26/12/2009 26/12/2009 26/12/2009 26/12/2009 26/12/2009

Los valores calculados para los indicadores básicos de los errores de calibración del modelo de tanques se presentan la Tabla 3-11.

Tabla 3-11. Indicadores de calibración del modelo de tanques

12017060 Apartado
Río Apartadó
9.88
7.33
12.60
7.06
4.56

3.5.5 Validación de los resultados de los parámetros de calibración

Para realizar la validación de los resultados es necesario contar con por lo menos dos (2) estaciones de registro, en este caso no es posible realizar la validación debido a la escaza información disponible, se cuenta únicamente con información histórica de una estación de caudal medio diario (localizada en la parte media de la cuenca), lo que imposibilita llevar a cabo la validación entre estaciones.

3.6 SIMULACIÓN DE SERIES DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS

Con el objeto de estimar la oferta hídrica total y disponible, incluyendo el caudal ambiental, a nivel de cuenca, subcuenca y puntos de monitoreo en la cuenca del río Apartadó, se generan series de caudales a escala diaria utilizando el modelo de tanques calibrado para el río, utilizando los datos de precipitación existentes en las unidades de análisis. La





información necesaria para la generación de las series sintéticas correspondientes a las series de precipitación desde el 01/01/1984 hasta 31/12/2002, contando además con el área aferente de la cuenca, las subcuencas y los diferentes puntos de monitoreo, la altura media sobre el nivel del mar y la precipitación media multianual de cada unidad de análisis.

3.6.1 Influencia de las estaciones de precipitación.

Con el ánimo de tener en cuenta la variabilidad espacial de la precipitación se crearon los polígonos de Thiessen con las estaciones utilizas en la simulación a fin de determinar el área de influencia de cada estación y su efecto sobre las diferentes subcuencas. El peso final que de las diversas estaciones en cada simulación tiene por objeto procurar que el promedio multianual de la precipitación que entra a la cuenca sea igual al valor medio multianual estimado a partir del mapa de precipitación, como se presenta en la Figura 3-10.







Figura 3-10. Polígonos de Thiessen la influencia de precipitación para el Modelo Lluvia-Escorrentía

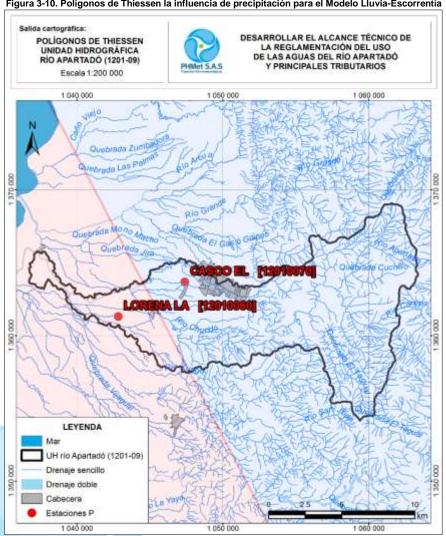






Tabla 3-12. Definición de los usuarios de la cuenca del río Apartadó

ID	Evnodiente	Razón social/	Coord	enadas	Q otorg.	Tipo
ID	Expediente	Nombre	Latitud (N)	Long (W)	LPS	Uso
PJ_01	200-16-51-02-0089-2015	RESCIA S.A.	7° 50' 49.2"	76° 38' 35.6"	0.5	Doméstico
PJ_02	030205/99	Fanny Stella Trujillo Rojas	7° 52' 16.5"	76° 38' 5.8"	5	Industrial
PJ_03	200-16-51-02-0219-2016	INVERAGRO EL cambulo SAS	7° 53' 11.7"	76° 39' 52.6"	3	Industrial
PJ_04	200-16-51-02-0222-2016	AGROPECUARIA GRUPO 20	7° 51' 18.8"	76° 37' 44.3"	3	Industrial
PJ_05	200-16-51-02-0116-2014	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	7° 52' 10.0"	76° 38' 56.0"	2.9	Industrial
PJ_06	200-165101-497/09	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	7° 50' 2.2"	76° 39' 37.5"	-	Sin info.
PJ_07	160101-162/08	Makaira S.A.	7° 52' 10.5"	76° 36' 6.3"	28	Industrial
PJ_08	200-16-51-02-0409-2010	Bananeras La Suiza S.A.	7° 52' 54.8"	76° 38' 54.1"	2.5	Industrial
PJ_09	200-16-51-02-0245-2016	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	7° 52' 10.5"	76° 36' 45.7"	3	Industrial
PJ_10	200165102-059/13	Aguas Regionales EPM S.A.S.	7° 51' 23.8"	76° 35' 44.8"	345	Doméstico
PJ_11	160101-194/07	Plantaciones Churidó Ltda.	7° 52' 48.5"	76° 40' 56.6"	50	Agrícola
PJ_12	Informal	Junta de acción comunal vereda La Balsa	7° 54' 9.0"	76° 33' 39.0"	-	Doméstico
PJ_13	200165102-0184-2016	PLANTIOS S.A.S.	7° 51' 21.4"	76° 39' 8.5"	3	Industrial
PJ_14	200-16-51-02-0292-2016	Agropecuaria Los Cunas SAS	7° 50' 26.2"	76° 40' 25.8"	5	Industrial
PJ_15	200165102-059/14	Agrícola Santamaria SAS	7° 53' 2.0"	76° 43' 57.0"	7	Industrial
PJ_16	200-16-51-02-0329-2018	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	7° 52' 31.3"	76° 37' 58.7"	3	Industrial
PJ_17	200-16-51-02-0137-2018	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	7° 51' 20.0"	76° 41' 45.1"	3.7	Industrial
PJ_18_1	200-16-51-02-0332-2018	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	7° 54' 9.0"	76° 33' 58.0"	4.1	Doméstico
PJ_18_2	Informal	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	7° 54' 9.0"	76° 33' 39.0"	-	Doméstico
PN_01	160101-112/03	Juan Guillermo Mejía Lenz	7° 50' 7.3"	76° 39' 50.1"	4.3	Pecuario
PN_02	200-16-51-02-0123-2013	Jorge Iván Zanches Diez	7° 52' 41.0"	76° 35' 23.0"	1	Industrial
PN_03	200-16-51-02-0298-2016	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre	7° 50' 15.8"	76° 36' 43.7"	10	Sin info.

Comentado [ACZ2]: No se nombran en el texto





Tabla 3-13. Codificación y subcuencas del río Apartadó

Código Subcuenca								
do								







3.6.2 Parámetros de simulación

Los diferentes parámetros necesarios para la generación de las series de caudales medios diarios a nivel de cuenca, subcuencas y puntos de monitoreo se presentan desde la Tabla 3-14 y la Tabla 3-15.

Tabla 3-14. Parámetros de interpolación de lluvia para modelo de tanques para los usuarios del río Apartadó

Usuario	Nombre		ETR	ETP	Р	12010070	12010060
USUATIO	Nottible	(km²)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	El Casco	La Lorena
PJ_01	RESCIA S.A.	13.05	1166	1469	2633	0.94	-
PJ_02	Fanny Stella Trujillo Rojas	0.64	1196	1508	2628	0.93	-
PJ_03	INVERAGRO EL cambulo SAS	0.88	1210	1515	2607	0.91	-
PJ_04	AGROPECUARIA GRUPO 20	0.13	1191	1503	2637	0.93	-
PJ_05	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	1.93	1202	1510	2595	0.91	-
PJ_06	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	0.02	1216	1511	2723	-	0.93
PJ_07	Makaira S.A.	81.12	977	1211	2413	0.93	-
PJ_08	Bananeras La Suiza S.A.	0.72	1202	1511	2614	0.92	-
PJ_09	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	89.83	991	1230	2431	0.93	-
PJ_10	Aguas Regionales EPM S.A.S.	78.08	971	1202	2407	0.93	-
PJ_11	Plantaciones Churidó Ltda.	36.02	1192	1496	2625	0.85	0.09
PJ_12	Junta de acción comunal vereda La Balsa	0.14	1119	1401	2591	0.94	-
PJ_13	PLANTIOS S.A.S.	21.03	1179	1483	2638	0.94	-
PJ_14	Agropecuaria Los Cunas SAS	0.21	1223	1513	2726	-	0.93
PJ_15	Agrícola Santamaria SAS	0.86	1267	1523	2993	-	1.02
PJ_16	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	0.53	1197	1509	2633	0.93	-
PJ_17	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	3.40	1232	1518	2715	-	0.92
PJ_18_1	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	0.06	1038	1513	2591	0.98	-
PJ_18_2	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	1.23	1019	1253	2566	0.97	
PN_01	Juan Guillermo Mejía Lenz	0.14	1217	1511	2730	0.93	-
PN_02	Jorge Iván Zanches Diez	0.14	1119	1401	2591	0.94	-
PN_03	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre	0.19	1143	1436	2640	0.95	-





Tabla 3-15. Parámetros de interpolación de lluvia para modelo de tanques para las subcuencas del río Apartadó

0	Name to an	Área	ETR	ETP	Р	12010070	12010060
Subcuenca	Nombre	(km²)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	El Casco	La Lorena
1201-09-01	Río Apartadó	47.51	1180	1471	2643	0.59	0.36
1201-09-02	Directos del rio Apartado	36.02	1192	1496	2625	0.85	0.09
1201-09-03	Río Churido	19.13	999	1246	2408	0.92	-
1201-09-04	Quebrada El Tagual	17.10	933	1150	2363	0.93	-
1201-09-05	Quebrada NN1	16.44	901	1103	2343	0.93	-
1201-09-06	Quebrada Cuchillo	13.55	957	1176	2431	0.95	-
1201-09-07	Río Apartadó - Alto	5.02	1099	1369	2591	0.95	-
1201-09	Quebrada NN2	154.86	1082	1345	2527	0.82	0.13







La oferta hídrica detallada se presenta en el Anexo 1.

Tabla 3-16. Caudales promedio a partir de las series sintéticas para los usuarios de la cuenca del río Apartadó

Tabia	Tabla 3-16. Caudales promedio a partir de las series sinteticas para los usuarios de la cuenca del no Apartado							
		Usuarios	Oferta hídrica total (LPS)					
Código	Expediente	Nombre	Normal	Seco	Verano	Verano seco		
PJ_01	200-16-51-02-0089-2015	RESCIA S.A.	570.6	446.7	209.6	102.0		
PJ_02	030205/99	Fanny Stella Trujillo Rojas	27.2	21.3	10.0	4.9		
PJ_03	200-16-51-02-0219-2016	INVERAGRO EL cambulo SAS	36.5	28.5	13.5	6.6		
PJ_04	200-16-51-02-0222-2016	AGROPECUARIA GRUPO 20	5.6	4.4	2.1	1.0		
PJ_05	200-16-51-02-0116-2014	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	80.1	62.5	29.6	14.5		
PJ_06	200-165101-497/09	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	0.8	0.6	0.3	0.1		
PJ_07	160101-162/08	Makaira S.A.	3470.4	2714.0	1277.6	623.1		
PJ_08	200-16-51-02-0409-2010	Bananeras La Suiza S.A.	30.1	23.5	11.1	5.4		
PJ_09	200-16-51-02-0245-2016	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	3853.7	3014.2	1418.3	691.5		
PJ_10	200165102-059/13	Aguas Regionales EPM S.A.S.	3340.3	2612.2	1229.7	599.8		
PJ_11	160101-194/07	Plantaciones Churidó Ltda.	1541.2	1204.9	587.9	282.0		
PJ_12	Informal	Junta de acción comunal vereda La Balsa	6.0	4.7	2.2	1.1		
PJ_13	200165102-0184-2016	PLANTIOS S.A.S.	914.2	715.6	336.1	163.6		
PJ_14	200-16-51-02-0292-2016	Agropecuaria Los Cunas SAS	9.9	7.7	4.1	1.2		
PJ_15	200165102-059/14	Agrícola Santamaria SAS	45.2	35.4	18.4	5.2		
PJ_16	200-16-51-02-0329-2018	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	22.7	17.8	8.4	4.1		
PJ_17	200-16-51-02-0137-2018	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	154.0	119.6	63.4	18.5		
PJ_18_1	200-16-51-02-0332-2018	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	2.9	2.3	1.1	0.5		
PJ_18_2	Informal	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	56.8	44.6	20.8	10.0		
PN_01	160101-112/03	Juan Guillermo Mejía Lenz	6.6	5.1	2.7	0.8		
PN_02	200-16-51-02-0123-2013	Jorge Iván Zanches Diez	6.0	4.7	2.2	1.1		
PN 03	200-16-51-02-0298-2016	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre 8.7 6.8 3.2			1.5			

Comentado [ACZ4]: Revisar

Comentado [ACZ5]: No se mencionan en el texto







Tabla 3-17. Caudales promedio a partir de las series sintéticas para las subcuencas del río Apartadó

-	Comentado	[ACZ6]	: No s	se mencionan	en el texto
---	-----------	--------	--------	--------------	-------------

	Oferta hídrica total (LPS)					
Código	Código Nombre		Seco	Verano	Verano seco	
1201-09-01	Directos del rio Apartado	2196.3	1734.2	856.0	375.0	
1201-09-02	Río Churido	1631.6	1270.0	592.0	276.0	
1201-09-03	Quebrada El Tagual	851.8	662.3	298.0	142.0	
1201-09-04	Quebrada NN1	772.6	601.1	270.0	128.0	
1201-09-05	Quebrada Cuchillo	749.6	583.6	262.0	124.0	
1201-09-06	Río Apartadó - Alto	631.0	491.8	220.0	104.0	
1201-09-07	Quebrada NN2	237.0	184.7	83.0	39.0	
1201-09	Río Apartadó	7072.8	5514.7	2593.0	1205.0	

3.7 OFERTA HÍDRICA TOTAL

Según la Resolución 865 de 2004, la oferta hídrica de una cuenca es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas. En tal sentido el caudal medio multianual de cada cuenca representa la oferta hídrica en condiciones normales.

La oferta hídrica superficial para el estudio representa el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco mediante el uso de las series sintéticas de caudales generadas a partir del modelo lluvia escorrentía.

En el Anexo3-1 se presentan los datos de oferta hídrica a nivel de subcuenca y usuarios para el río Apartadó para los 12 meses del año en condiciones contrastantes secas, normales y húmedas. Estos resultados permiten describir el cambio de la oferta hídrica en función del ciclo anual. A nivel de Usuarios, la oferta hídrica en condiciones secas es 23% menor en comparación a condiciones normales y 82% menor en condiciones de un verano seco. Lo cual nos ayuda a entender la variabilidad temporal de la oferta total del recurso agua en la cuenca del río Apartadó.

3.8 ÍNDICE DE ARIDEZ E ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA.

3.8.1 Índices de retención y regulación

La obtención del índice de regulación y retención hídrica (IRH) se basa fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios para los caudales medios diarios. Su estimación resulta de la relación por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y la correspondiente área total por debajo de la curva de duración de caudales diarios. La expresión matemática de cálculo es la siguiente:

Comentado [ACZ7]: Revisar porque no parecer ser coherente dentro del texto.

Comentado [ACZ8]: Verificar que si coincidan los númeross

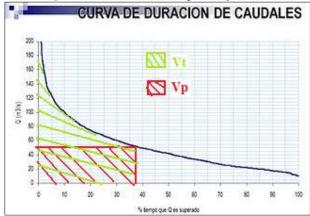




$$IRH = \frac{V_p}{V_T} \qquad (3-21)$$

Siendo $V_{\scriptscriptstyle p}$ el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y $\mathit{V_{\scriptscriptstyle T}}$ el volumen representado por el área bajo la cuerva de duración como se presenta en la Figura 3-11.

Figura 3-11. Esquema cálculo del índice de regulación y retención hídrica, IRH



El resumen el IRH para los usuarios del río Apartadó se presenta en la Tabla 3-18 y para las subcuencas en la Tabla 3-19.

Tabla 3-18. IRH de los usuarios del río Apartadó

	Usuario		IRH
Código	Nombre	Valor	Calificación
PJ_01	RESCIA S.A.	0.589	Bajo
PJ_02	Fanny Stella Trujillo Rojas	0.588	Bajo
PJ_03	INVERAGRO EL cambulo SAS	0.587	Bajo
PJ_04	AGROPECUARIA GRUPO 20	0.588	Bajo
PJ_05	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	0.587	Bajo
PJ_06	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	0.558	Bajo
PJ_07	Makaira S.A.	0.588	Bajo
PJ_08	Bananeras La Suiza S.A.	0.587	Bajo
PJ_09	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	0.588	Bajo
PJ_10	Aguas Regionales EPM S.A.S.	0.588	Bajo
PJ_11	Plantaciones Churidó Ltda.	0.597	Bajo
PJ_12	Junta de acción comunal vereda La Balsa	0.589	Bajo
PJ_13	PLANTIOS S.A.S.	0.588	Bajo
PJ_14	Agropecuaria Los Cunas SAS	0.558	Bajo
PJ_15	Agrícola Santamaria SAS	0.562	Bajo
PJ_16	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	0.588	Bajo





	Usuario					
Código	Código Nombre					
PJ_17	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	0.558	Bajo			
PJ_18_1	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	0.590	Bajo			
PJ_18_2	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	0.590	Bajo			
PN_01	Juan Guillermo Mejía Lenz	0.558	Bajo			
PN_02	Jorge Iván Zanches Diez	0.589	Bajo			
PN_03	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre	0.589	Bajo			

Tabla 3-19. IRH de las subcuencas del río Apartadó

	Subcuenca		IRH
Código Nombre		Valor	Calificación
1201-09-01	Directos del rio Apartado	0.611	Bajo
1201-09-02	Río Churido	0.597	Bajo
1201-09-03	Quebrada El Tagual	0.587	Bajo
1201-09-04	Quebrada NN1	0.588	Bajo
1201-09-05	Quebrada Cuchillo	0.588	Bajo
1201-09-06	Río Apartadó - Alto	0.589	Bajo
1201-09-07	Quebrada NN2	0.589	Bajo
1201-09	Río Apartadó	0.600	Bajo

3.8.2 Índice de Aridez

Se define el índice de Aridez (IA) a nivel de cuenca, subcuenca y usuario. Este índice es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, identificando áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial.

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

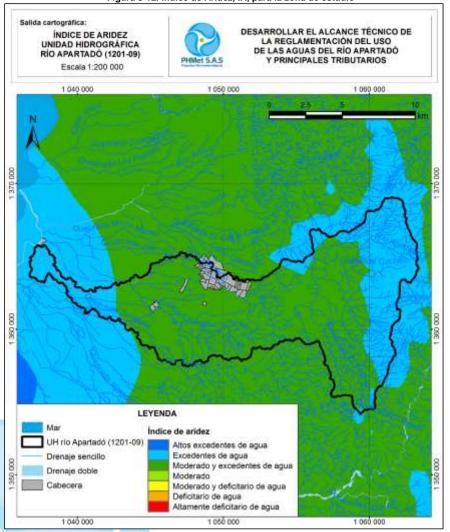
Los resultados del índice para los usuarios se presentan en el Anexo 3-2. Los resultados del Índice de Aridez nos permiten situar a la cuenca del río Apartadó dentro de moderado a excedentes en la mayoría de su extensión, como se presenta en la Figura 3-12. Lo cual refleja disponibilidad del recurso agua en proporción a la evaporación potencial y real de la cuenca para satisfacer de las demandas hídricas ambientales.

Comentado [ACZ9]: Revisar





Figura 3-12. Índice de Aridez, IA, para la zona de estudio







3.9 CAUDAL AMBIENTAL

3.9.1 Caudales ambientales según la Resolución 865 de 2004

Según la Resolución 865 de 2004, 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. Esta será la primera propuesta de caudal ambiental y deberá calcularse a nivel de subcuencas y puntos de monitoreo utilizando los caudales medios diarios simulados mediante el modelo lluvia escorrentía calibrado y validado en el presente capítulo.

3.9.2 Estimación de los caudales ambientales según la propuesta del Estudio Nacional de Agua - ENA-2010

Según el estudio Nacional del Agua-2010, el análisis estadístico y el conocimiento del experto permiten definir el valor característico para la determinación del caudal ambiental. Usando los resultados de 423 curvas de duración de caudales medios diarios en todo el país, se ha desarrollado una metodología para la estimación de los caudales ambientales en Colombia en función de la autorregulación de la cuenca y la variación de los caudales a lo largo del año. El resultados de dicho análisis permite identificar dos esquemas para la estimación del caudal ambiental, un grupo corresponde a cuencas con autorregulación alta y poca variabilidad de caudales, en el cual se considera que el valor típico del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración (caudal igualado o excedido el 85% del tiempo), éste valor característico se aplica a estaciones con un IRH superior a 0,7 (alta retención y regulación), el segundo grupo corresponde a estaciones con valores de IRH inferiores a 0,7, para las cuales se asigna el valor característico Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios en la determinación del caudal ambiental.

3.9.3 Índices hidrológicos 7Q10 y Q95%

Entre los principales indicadores hidrológicos de caudal ambiental están los índices 7Q10 y Q95% estimados a partir de los registros diarios homogéneos, consistentes y casi completos de caudales medios diarios. En Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente ha puesto en consideración del país la "METODOLÓGIA PARA LA ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS QUE REQUIEREN LICENCIA" cuyos criterios y lineamientos proponen la estimación preliminar de los caudales ambientales a partir de las siguientes premisas de cálculo:

Estrictamente hablando el cálculo del índice 7Q10, propuesto por Chiang y Johnson (1976), se realiza a partir de caudales medios mínimos diarios. Sin embargo, y considerando que estos registros normalmente no se encuentran disponibles, se propone realizar su estimación a partir de los datos de caudales medios diarios simulados a nivel de subcuenca y puntos de monitoreo mediante el modelo lluvia escorrentía calibrado y validado para la cuenca. Para ello se debe considerar la totalidad del registro diario homogéneo, consistente





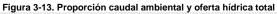
completo, aplicar un promedio móvil de ventana 7 días (fácilmente aplicable usando las herramientas estadísticas de Excel) para estimar el caudal promedio semanal, y luego construir la serie anual de excedencias con los registros mínimos semanales de cada año. Seguidamente, realizar el análisis de frecuencias de eventos mínimos extremos para la serie anual antes construida, para la distribución de probabilidad de mejor ajuste (utilizando por ejemplo software libre de análisis de frecuencias como Distribuciones de Probabilidad Aplicadas en la Hidrología (DISPAH, González, 1998), FREQ (Kite, 1988), entre otros) y seleccionar el caudal correspondiente al período de retorno de 10 años, que resulta ser el 7Q10.

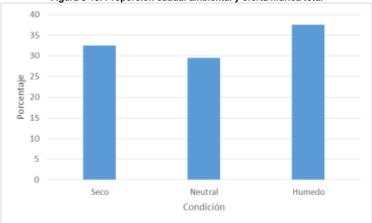
- ii) El cálculo del Q95% usualmente se ha propuesto en la literatura realizarlo a partir de la totalidad del registro histórico diario (caso de la mayoría de las metodologías que adoptan este índice), o calcularlo mes a mes, como lo propone el método del Northern Great Plains ResourceProgram (NGPRP, 1974). En la propuesta aquí presentada, se sugiere adoptar el método NGPRP, con una variación, que incluye el cálculo del índice Q95% a partir de la construcción de las curvas de duración de caudales (CDC) medios diarios (para meses de enero a diciembre) y para cada una de las tres condiciones hidrológicas (húmeda, promedio y seca), agrupando los registros diarios con base en la clasificación propuesta en el Paso 4. La construcción de la CDC es un procedimiento hidrológico rutinario que no se detalla en este documento, y que es descrito en detalle por Searcy (1959) y por Vogel y Fennessey (1995).
- iii) Como resultado del cálculo del 7Q10 y del Q95% se obtiene la primera propuesta de caudales mensuales ambientales, discriminada por mes y para cada una de las tres condiciones hidrológicas (húmeda, promedio y seca), la cual, de acuerdo con el criterio de consistencia con estas dos metodologías internacionalmente aceptadas, resultaría para cada uno de los 36 casos (3 condiciones hidrológicas x 12 meses) como el valor máximo entre el 7Q10 y el Q95% (max (7Q10, Q95%)) para el correspondiente mes y condición hidrológica.

El análisis detallado de los resultados de caudal ambiental derivados de cada una de las metodologías anteriormente explicadas permitió determinar la proporción del caudal ambiental con respecto a la oferta hídrica total para la correspondiente condición, húmeda, seca y neutral, según se presenta en la Figura 3-13.









Los resultados de los caudales ambientales realizados por las tres metodologías a nivel de cuenca, subcuenca y usuarios del río Apartadó se encuentran en la Tabla 3-20 y la Tabla 3-21.





Tabla 3-20. Caudales ambientales para los usuarios de la cuenca del río Apartadó

	Usuarios/subcuencas Caudal ambiental (LPS)					
Código	Expediente	Nombre	Normal	Seco	Verano	Verano seco
PJ_01	200-16-51-02-0089-2015	RESCIA S.A.	195.7	162.5	76.1	80.6
PJ_02	030205/99	Fanny Stella Trujillo Rojas	9.2	7.8	3.7	3.9
PJ_03	200-16-51-02-0219-2016	INVERAGRO EL cambulo SAS	12.3	10.4	5.0	5.3
PJ_04	200-16-51-02-0222-2016	AGROPECUARIA GRUPO 20	1.9	1.6	0.8	0.8
PJ_05	200-16-51-02-0116-2014	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	27.4	22.8	11.0	9.7
PJ_06	200-165101-497/09	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	0.2	0.2	0.1	0.1
PJ_07	160101-162/08	Makaira S.A.	1168.8	989.4	469.9	498.1
PJ_08	200-16-51-02-0409-2010	Bananeras La Suiza S.A.	10.1	8.6	4.1	4.4
PJ_09	200-16-51-02-0245-2016	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	1297.6	1098.6	520.8	552.0
PJ_10	200165102-059/13	Aguas Regionales EPM S.A.S.	1125.0	952.3	452.3	479.4
PJ_11	160101-194/07	Plantaciones Churidó Ltda.	541.6	462.6	226.0	236.5
PJ_12	Informal	Junta de acción comunal vereda La Balsa	2.0	1.7	0.8	0.8
PJ_13	200165102-0184-2016	PLANTIOS S.A.S.	307.9	260.5	122.5	129.7
PJ_14	200-16-51-02-0292-2016	Agropecuaria Los Cunas SAS	2.7	2.2	1.2	1.1
PJ_15	200165102-059/14	Agrícola Santamaria SAS	12.6	10.3	4.9	4.6
PJ_16	200-16-51-02-0329-2018	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	7.7	6.5	3.1	3.3
PJ_17	200-16-51-02-0137-2018	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	42.0	34.4	18.2	16.9
PJ_18_1	200-16-51-02-0332-2018	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	1.0	0.8	0.4	0.4
PJ_18_2	Informal	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	19.3	16.2	7.3	7.7
PJ_19	Informal	Juan Guillermo Mejía Lenz	2.0	1.7	0.8	0.8
PN_01	160101-112/03	Jorge Iván Zanches Diez	1.8	1.5	0.8	0.7
PN_02	200-16-51-02-0123-2013	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre	2.0	1.7	0.8	0.8
PN_03	200-16-51-02-0298-2016	RESCIA S.A.	2.9	2.5	1.1	1.2





Tabla 3-21. Caudales ambientales para las subcuencas del río Apartadó

	Caudal ambiental (LPS)			LPS)	
Código	Nombre	Normal	Seco	Verano	Verano seco
1201-09	Río Apartadó	2374.3	2037.5	981.0	885.0
1201-09-01	Directos del rio Apartado	780.8	668.3	319.0	298.0
1201-09-02	Río Churido	541.7	462.6	224.0	198.0
1201-09-03	Quebrada El Tagual	269.9	229.1	110.0	96.0
1201-09-04	Quebrada NN1	245.4	207.8	99.0	86.0
1201-09-05	Quebrada Cuchillo	237.8	201.4	95.0	83.0
1201-09-06	Río Apartadó - Alto	200.8	169.5	79.0	69.0
1201-09-07	Quebrada NN2	75.3	63.8	29.0	26.0

3.10 CAUDALES MÍNIMOS

La estimación de caudales mínimos a nivel de cuenca y usuarios del caño Maizaro se realizó mediante análisis de frecuencias de las series generadas a partir del modelo de Tanques calibrado para la zona de estudio. Para estimar los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno a partir de la ecuación presentada por Chow et al. (1994), la cual se presenta a continuación:

$$Q_{tr} = \mu_{min} + Ktr * \sigma_{min}$$
 (3-22)

Siendo Q_{Tr} el caudal mínimo para un período de retorno Tr, μ_{min} es la media de los caudales mínimos de cada año simulado, σ_{min} es la desviación estándar de los caudales mínimos de cada año simulado y K_{Tr} recibe el nombre de factor de frecuencia que depende de la función de distribución de probabilidad de valores extremos elegidos y del período de retorno.

Para la estimación del factor de frecuencia, K_{Tr.} se requieren tres funciones de distribución de probabilidades las cuales se describen a continuación:

• Gumbel:
$$Ktr = -0.45 - 0.7797 * ln\{-ln(F(x))\}$$
 (3-23)

• Normal:
$$Ktr = Zt$$
, (3-24)

• Log-Normal =
$$Ktr = \frac{exp\{Zt*\sqrt{[Ln(1+Cvx^2)]}-0.5*Ln(1+Cvx^2)\}-1}{Cvx}$$
 (3-25)

Donde F(x) depende del evento extremo, para mínimos $F(x) = \frac{1}{Tr}$, y Ztes Variable Normal estandarizada asociada a una probabilidad F(x).

A partir de esta ecuación se obtuvieron los caudales mínimos para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, con las 3 distribuciones de probabilidad anteriormente mencionadas. Los resultados se muestran en la Tabla 3-22 y la Tabla 3-23.





Tabla 3-22. Caudales mínimos (en LPS) para los usuarios de la cuenca del río Apartadó
Usuario | Distribución | Caudal según Tr (periodo de retorno) (LPS)

Usuario	Distribución				r (periodo de retorno) (LPS)			
		1.5	2.33	5	10	25	50	100
PJ_01	GUMBEL	68.44	58.23	49.30	44.33	39.68	36.97	34.71
	NORMAL	71.59	60.74	48.94	41.10	32.75	27.35	22.50
	LOGNORMAL	69.27	58.65	48.92	43.38	38.16	35.12	32.60
PJ_02	GUMBEL	3.32	2.82	2.39	2.14	1.92	1.79	1.68
	NORMAL	3.47	2.94	2.37	1.99	1.58	1.32	1.08
	LOGNORMAL	3.36	2.84	2.37	2.10	1.84	1.70	1.57
PJ_03	GUMBEL	4.52	3.84	3.25	2.91	2.60	2.42	2.27
1 0_00	NORMAL	4.73	4.01	3.22	2.70	2.14	1.78	1.46
	LOGNORMAL	4.73	3.87	3.22	2.85	2.51	2.31	2.14
PJ_04	GUMBEL	0.68	0.57	0.49	0.44	0.39	0.36	0.34
FJ_04	NORMAL	0.00		0.49	0.40	0.39	0.30	0.34
		0.71	0.60 0.58	0.48	0.40	0.32	0.27	0.22
PJ 05	LOGNORMAL GUMBEL	9.94	8.45	7.14	6.41	5.73		
PJ_05							5.33	5.00
	NORMAL	10.40	8.81	7.08	5.94	4.71	3.92	3.21
	LOGNORMAL	10.06	8.50	7.08	6.27	5.51	5.07	4.70
PJ_06	GUMBEL	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
	NORMAL	0.10	0.08	0.05	0.04	0.02	0.01	0.00
	LOGNORMAL	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
PJ_07	GUMBEL	422.24	359.04	303.75	272.97	244.17	227.41	213.39
	NORMAL	441.74	374.59	301.48	252.99	201.27	167.86	137.81
	LOGNORMAL	427.32	361.55	301.41	267.14	234.88	216.14	200.56
PJ_08	GUMBEL	3.71	3.15	2.66	2.39	2.14	1.99	1.87
	NORMAL	3.88	3.29	2.64	2.22	1.76	1.47	1.20
	LOGNORMAL	3.75	3.17	2.64	2.34	2.06	1.89	1.76
PJ_09	GUMBEL	468.01	397.99	336.74	302.63	270.73	252.16	236.63
. 0_00	NORMAL	489.61	415.22	334.22	280.50	223.20	186.19	152.90
	LOGNORMAL	473.65	400.78	334.14	296.17	260.41	239.65	222.38
PJ 10	GUMBEL	406.41	345.58	292.36	262.74	235.02	218.89	205.39
1 3_10	NORMAL	425.18	360.55	290.18	243.50	193.73	161.57	132.65
	LOGNORMAL	411.31	348.00	290.10	257.13	226.07	208.04	193.04
PJ_11	GUMBEL	205.85	175.01	148.02	133.00	118.95	110.77	103.92
FJ_II		215.37			123.25	98.01		67.04
	NORMAL		182.59	146.92			81.70	
D 1 40	LOGNORMAL	208.32	176.23	146.88	130.16	114.43	105.29	97.69
PJ_12	GUMBEL	0.72	0.61	0.52	0.47	0.42	0.39	0.36
	NORMAL	0.75	0.64	0.51	0.43	0.34	0.29	0.24
	LOGNORMAL	0.73	0.62	0.51	0.46	0.40	0.37	0.34
PJ_13	GUMBEL	110.07	93.64	79.26	71.26	63.77	59.41	55.77
	NORMAL	115.14	97.68	78.67	66.06	52.62	43.93	36.12
	LOGNORMAL	111.40	94.30	78.65	69.73	61.33	56.45	52.39
PJ_14	GUMBEL	1.11	0.87	0.66	0.54	0.43	0.36	0.31
	NORMAL	1.19	0.93	0.65	0.46	0.26	0.13	0.01
	LOGNORMAL	1.10	0.86	0.66	0.55	0.46	0.40	0.36
PJ_15	GUMBEL	4.72	3.64	2.70	2.17	1.68	1.39	1.15
	NORMAL	5.06	3.91	2.66	1.83	0.95	0.38	-0.14
	LOGNORMAL	4.66	3.60	2.72	2.25	1.85	1.63	1.45
PJ 16	GUMBEL	2.77	2.35	1.99	1.79	1.60	1.49	1.40
. 00	NORMAL	2.90	2.46	1.98	1.66	1.32	1.10	0.90
	LOGNORMAL	2.80	2.37	1.98	1.75	1.54	1.42	1.31
PJ_17	GUMBEL	17.50	13.68	10.33	8.47	6.73	5.71	4.87
F-J_17								
	NORMAL	18.68	14.62	10.20	7.26	4.13	2.11	0.29
D 1 40 1	LOGNORMAL	17.34	13.55	10.36	8.67	7.17	6.34	5.68
PJ_18_1	GUMBEL	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17
	NORMAL	0.36	0.30	0.24	0.21	0.16	0.14	0.11
	LOGNORMAL	0.34	0.29	0.24	0.22	0.19	0.18	0.16
PJ_18_2	GUMBEL	6.58	5.61	4.75	4.28	3.83	3.58	3.36
	NORMAL	6.88	5.85	4.72	3.97	3.17	2.66	2.19
	LOGNORMAL	6.66	5.65	4.72	4.19	3.69	3.39	3.15
PN_01	GUMBEL	0.74	0.58	0.44	0.36	0.28	0.24	0.20





Usuario	Distribución	Caudal según Tr (periodo de retorno) (LPS)						
		1.5	2.33	5	10	25	50	100
	NORMAL	0.79	0.62	0.43	0.31	0.17	0.09	0.01
	LOGNORMAL	0.74	0.57	0.44	0.37	0.30	0.27	0.24
PN_02	GUMBEL	0.72	0.61	0.52	0.47	0.42	0.39	0.36
	NORMAL	0.75	0.64	0.51	0.43	0.34	0.29	0.24
	LOGNORMAL	0.73	0.62	0.51	0.46	0.40	0.37	0.34
PN_03	GUMBEL	1.03	0.88	0.74	0.67	0.60	0.56	0.52
	NORMAL	1.08	0.91	0.74	0.62	0.49	0.41	0.34
	LOGNORMAL	1.04	0.88	0.74	0.65	0.58	0.53	0.49

Tabla 3-23, Caudales mínimos (en LPS) para las subcuenças del río Apartadó

Subcuenca	Distribución	,			(periodo			
		1.5	2.33	5	10	25	50	100
1201-09-01	GUMBEL	307.13	263.13	224.64	203.22	183.17	171.50	161.74
	NORMAL	320.70	273.95	223.07	189.31	153.31	130.05	109.13
	LOGNORMAL	311.16	265.22	222.89	198.61	175.62	162.21	151.02
1201-09-02	GUMBEL	205.85	175.01	148.02	133.00	118.95	110.77	103.92
	NORMAL	215.37	182.59	146.92	123.25	98.01	81.70	67.04
	LOGNORMAL	208.32	176.23	146.88	130.16	114.43	105.29	97.69
1201-09-03	GUMBEL	98.89	84.04	71.05	63.82	57.05	53.11	49.82
	NORMAL	103.47	87.69	70.52	59.12	46.97	39.12	32.07
	LOGNORMAL	100.07	84.62	70.50	62.46	54.89	50.50	46.85
1201-09-04	GUMBEL	88.87	75.56	63.91	57.43	51.36	47.83	44.88
	NORMAL	92.98	78.83	63.43	53.22	42.33	35.29	28.96
	LOGNORMAL	89.94	76.09	63.42	56.20	49.41	45.47	42.19
1201-09-05	GUMBEL	85.70	72.88	61.67	55.42	49.58	46.18	43.34
	NORMAL	89.65	76.03	61.21	51.37	40.88	34.11	28.01
	LOGNORMAL	86.73	73.39	61.19	54.24	47.69	43.89	40.73
1201-09-06	GUMBEL	71.17	60.56	51.28	46.11	41.28	38.47	36.11
	NORMAL	74.44	63.17	50.90	42.76	34.08	28.47	23.43
	LOGNORMAL	72.03	60.99	50.88	45.12	39.69	36.54	33.92
1201-09-07	GUMBEL	26.50	22.56	19.11	17.19	15.39	14.34	13.47
	NORMAL	27.72	23.53	18.96	15.94	12.71	10.63	8.75
	LOGNORMAL	26.82	22.72	18.96	16.82	14.80	13.62	12.65
1201-09	GUMBEL	910.79	775.85	657.80	592.07	530.59	494.80	464.87
	NORMAL	952.42	809.04	652.95	549.41	438.99	367.66	303.50
	LOGNORMAL	922.00	781.46	652.70	579.23	509.96	469.68	436.18

DISPONIBILIDAD HÍDRICA

En el presente estudio, se consideran la oferta hídrica superficial y la oferta hídrica natural disponible. Esta última resulta de sustraer a la primera el agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas, de los sistemas fluviales y -en alguna medida- un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas. Se equipara con el caudal ambiental, que para el presente estudio fue calculado siguiendo los criterios hidrológicos presentados con antelación. En la Tabla 3-24 se presenta la oferta total y disponible para la cuenca, subcuencas y en la Tabla 3-25 a nivel Usuarios de la cuenca del río Apartadó.





Tabla 3-24. Oferta disponible para la cuenca las subcuencas del río Apartadó

	Subcuenca	Oferta hídrica disponible (LPS)			
Código	Nombre	Normal	Seco	Verano	Verano seco
1201-09-01	Directos del rio Apartado	1415.4	1065.8	537.0	77.0
1201-09-02	Río Churido	1089.9	807.4	368.0	78.0
1201-09-03	Quebrada El Tagual	581.9	433.3	188.0	46.0
1201-09-04	Quebrada NN1	527.2	393.3	171.0	42.0
1201-09-05	Quebrada Cuchillo	511.8	382.2	167.0	41.0
1201-09-06	Río Apartadó - Alto	430.2	322.3	141.0	35.0
1201-09-07	Quebrada NN2	161.8	120.9	54.0	13.0
1201-09	Río Apartadó	4698.6	3477.2	1612.0	320.0







Tabla 3-25. Oferta disponible para los usuarios del río Apartadó

Tabla 3-25. Oferta disponible para los usuarios del 110 Apartado								
	Usua	arios/subcuencas	Ofe	erta hidric	a disponil	ole (LPS)		
Código	Expediente	Nombre	Normal	Seco	Verano	Verano seco		
PJ_01	200-16-51-02-0089-2015	RESCIA S.A.	374.8	284.2	133.5	21.4		
PJ_02	030205/99	Fanny Stella Trujillo Rojas	18.0	13.5	6.3	1.0		
PJ_03	200-16-51-02-0219-2016	INVERAGRO EL cambulo SAS	24.2	18.1	8.4	1.3		
PJ_04	200-16-51-02-0222-2016	AGROPECUARIA GRUPO 20	3.7	2.8	1.3	0.2		
PJ_05	200-16-51-02-0116-2014	INVERSIONES CABO DE HORNOS S.A.S.	52.7	39.7	18.6	4.8		
PJ_06	200-165101-497/09	María Magdalena Ochoa Espinal - Finca Don Rafa	0.6	0.4	0.2	0.0		
PJ_07	160101-162/08	Makaira S.A.	2301.6	1724.5	807.6	125.0		
PJ_08	200-16-51-02-0409-2010	Bananeras La Suiza S.A.	20.0	14.9	7.0	1.1		
PJ_09	200-16-51-02-0245-2016	BANANERAS ARISTIZABAL S.A.S.	2556.1	1915.6	897.5	139.5		
PJ_10	200165102-059/13	Aguas Regionales EPM S.A.S.	2215.3	1659.9	777.4	120.3		
PJ_11	160101-194/07	Plantaciones Churidó Ltda.	999.7	742.3	361.9	45.5		
PJ_12	Informal	Junta de acción comunal vereda La Balsa	4.0	3.0	1.4	0.2		
PJ_13	200165102-0184-2016	PLANTIOS S.A.S.	606.4	455.1	213.6	33.9		
PJ_14	200-16-51-02-0292-2016	Agropecuaria Los Cunas SAS	7.2	5.5	2.9	0.1		
PJ_15	200165102-059/14	Agrícola Santamaria SAS	32.6	25.2	13.5	0.6		
PJ_16	200-16-51-02-0329-2018	INVERSIONES GARCIA ZABALA S.A.S	15.1	11.3	5.3	0.8		
PJ_17	200-16-51-02-0137-2018	CULTIVOS TROPICANA S.A.S	112.0	85.1	45.2	1.6		
PJ_18_1	200-16-51-02-0332-2018	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	1.9	1.5	0.7	0.1		
PJ_18_2	Informal	Acueducto multiveredal San José de Apartadó	37.6	28.5	13.5	2.3		
PN_01	160101-112/03	Juan Guillermo Mejía Lenz	4.8	3.7	1.9	0.1		
PN_02	200-16-51-02-0123-2013	Jorge Iván Zanches Diez	4.0	3.0	1.4	0.2		
PN_03	200-16-51-02-0298-2016	Luis Gonzalo Giraldo Aguirre	5.8	4.3	2.0	0.3		





