

**APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN HACIENDO USO DEL MODELO WEAP COMO
SOPORTE DE DECISIÓN EN LAS MICROCUENCAS LA TEBAIDA, LAS HELECHAS Y BERMÚDEZ DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

Trabajo de Grado

**Presentado como requisito parcial de los requerimientos necesarios para obtener el título de
Magister en Ciencias Ambientales – Modalidad Profundización - de la Facultad de Ciencias
Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira**

Por

MARIA FERNANDA FOLLECO VILLARREAL

Programa de Maestría en Ciencias Ambientales extensión Pasto

Facultad de Ciencias Ambientales

Universidad Tecnológica de Pereira

2017

Jurado:

**PhD. Juan Mauricio Castaño, Director
Juan Camilo Berrío Carvajal, Jurado
Santiago Restrepo Calle, Jurado**

Derechos Reservados

MARIA FERNANDA FOLLECO VILLARREAL

2017

RESUMEN

A lo largo de la historia, las poblaciones se han asentado en áreas cercanas a ríos, embalses, lagunas, lagos, debido a los diferentes beneficios que proporciona el agua, lo cual ha incrementado la presión sobre este recurso, conllevando a una escasez que afecta a millones de personas en todo el mundo y a la pérdida de ecosistemas que dependen del agua. Este estudio se realizó en el municipio de Chachagüí (Nariño) donde la cobertura para abastecimiento municipal y de algunas zonas suburbanas es baja, por lo que se aplicó el modelo de planificación WEAP "*Water Evaluation And Planning System*", el cual se alimentó con diferentes supuestos que dieron pie a escenarios actuales, críticos, factibles e ideales, en un periodo de 25 años (2015 - 2040), permitiendo determinar la vulnerabilidad de la cobertura por abastecimiento para consumo humano, así como la cobertura de los caudales ecológicos en sus actuales, y potencial fuentes hídricas abastecedoras (quebradas la Tebaida, las Helechas y río Bermúdez respectivamente). Se encontró que las principales causas que generan presión sobre el recurso hídrico son las altas pérdidas en el sistema de abastecimiento y el excesivo consumo de agua de la población. De este modo, si se toman las medidas respectivas frente a estos dos problemas, se logrará una cobertura de acueducto para el 100% de la población, mínimo hasta el año 2035, sin la necesidad de concesionar agua de una tercera fuente hídrica (río Bermúdez). Sin embargo, ante fenómenos climáticos extremos ningún escenario cubriría la demanda total, por lo que es necesario que el municipio actualice su plan de contingencia con el fin de minimizar el riesgo por desabastecimiento y afectaciones ambientales severas sobre el recurso. Finalmente, este estudio deja evidenciada la necesidad de gestión y actuación por parte de las instituciones ambientales y territoriales para dar cumplimiento a la normatividad vigente en materia de sostenibilidad ambiental y prestación eficiente del servicio público de acueducto.

Palabras clave: modelación, escenarios, abastecimiento, oferta, demanda, planificación, gestión, fuente hídrica

DEDICATORIA

A Dios por darme el tiempo necesario y poner las personas indicadas en mi camino para poder desarrollar este trabajo.

A mi hija, padres y hermanas por su amor y por alentarme a continuar en la búsqueda de más conocimientos

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor, el doctor Juan Mauricio Castaño por toda la colaboración y orientación brindada en el transcurso de la elaboración de este documento, así como la buena voluntad que ha tenido para apoyarme en el desarrollo del mismo.

A Norma Castro, profesional que hace parte del grupo de investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad de la Universidad Tecnológica de Pereira, quien me orientó a través de sus conocimientos en modelación con WEAP y siempre estuvo presta a colaborar en mis dudas e inquietudes en relación al tema.

A mis hermanas Ángela y Elizabeth Folleco Villarreal por su asesoría, orientación y apoyo para que este trabajo haya podido terminar satisfactoriamente

A mi jefe, el ingeniero Iván Darío Muñoz García, Subdirector de Conocimiento y Evaluación Ambiental de CORPPONARIÑO por creer en que la formación de los profesionales es la base para fortalecer los procesos de la entidad y brindar un mejor servicio a la sociedad.

A mi compañeros y amigos Camilo Caguasango y Juan Gabriel Urrego por toda su colaboración en la búsqueda de información requerida, y orientación para el desarrollo de este documento.

Al resto de personas que contribuyeron de alguna manera con la elaboración y finalización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	3
Problema	4
Justificación	5
MARCO TEÓRICO	7
OBJETIVOS	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos.....	13
1. ÁREA DE ESTUDIO.....	14
2. METODOLOGÍA	23
2.1 Recopilación de información	23
2.2 Oferta Hídrica	25
2.2.1 Análisis hidrometeorológico	26
2.3 Demanda de agua doméstica urbana	31
2.3.1 Población servida	31
2.3.2 Concesiones de agua otorgadas para consumo humano	32
2.3.3 Infraestructura de abastecimiento para consumo humano	32
2.3.4 Dotación de agua	33
2.4 Caudal ecológico.....	33
2.5 Modelación en WEAP.....	34
2.5.1 Esquematización	34
2.5.2 Línea base	35
2.5.3 Generación de Escenarios.....	36
2.5.4 Simulación de escenarios en el modelo.....	41
3. RESULTADOS.....	43

3.1	Línea Base	43
3.1.1	Oferta hídrica	43
3.1.2	Demanda de agua doméstica urbana	44
3.1.3	Cuadal ecológico	46
3.2	Escenarios	47
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
4.1	Oferta hídrica	59
4.2	Cobertura de la demanda doméstica urbana	61
4.3	Cobertura del caudal ecológico	67
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características generales microcuenca de estudio.</i>	14
Tabla 2. <i>Áreas hidrográficas microcuencas de estudio</i>	15
Tabla 3. <i>Documentación consultada</i>	24
Tabla 4. <i>Información obtenida en las salidas de campo</i>	25
Tabla 5. <i>Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca Bermúdez.</i>	26
Tabla 6. <i>Información utilizada en la aplicación de las ecuaciones 1 y 2 en las tres microcuencas</i>	31
Tabla 7. <i>Información sobre las concesiones otorgadas a EMPOCHACHAGÜÍ</i>	32
Tabla 8. <i>Caudales ecológicos calculados para las tres corrientes hídricas de estudio</i>	34
Tabla 9. <i>Información ingresada a WEAP.</i>	36
Tabla 10. <i>Caudales promedio de las tres corrientes hídricas, divididos en dos periodos</i>	37
Tabla 11. <i>Escenarios demanda de agua urbana y rural</i>	38
Tabla 12. <i>Escenarios de crecimiento poblacional</i>	39
Tabla 13. <i>Escenarios de reducción de pérdidas</i>	40
Tabla 14. <i>Escenarios con activación de una tercera concesión</i>	40
Tabla 15. <i>Escenarios con incremento de concesión la Tebaida</i>	41
Tabla 16. <i>Resumen de escenarios planteados.</i>	41
Tabla 17. <i>Condiciones dadas para el escenario tendencial</i>	47
Tabla 18. <i>Condiciones dadas para un escenario crítico</i>	48
Tabla 19. <i>Condiciones dadas para un escenario ideal</i>	49
Tabla 20. <i>Condiciones dadas para un escenario factible</i>	50
Tabla 21. <i>Vulnerabilidad de la cobertura de acueducto</i>	53
Tabla 22. <i>Vulnerabilidad de la cobertura de caudal ecológico en la quebrada la Tebaida</i>	56
Tabla 23. <i>Vulnerabilidad de la cobertura de caudal ecológico en el río Bermúdez</i>	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Régimen de precipitación bimodal	28
Gráfico 2. Comportamiento de caudales de agua en las tres corrientes de estudio en m ³ /s	43
Gráfico 3. Caudal medio mensual multianual en las tres corrientes hídricas de estudio	44
Gráfico 4. Comportamiento del caudal de la quebrada la Tebaida con extracción de agua	44
Gráfico 5. Comportamiento del caudal de la quebrada las Helechas con extracción de agua....	45
Gráfico 6. Extracción de agua en las dos corrientes hídricas abastecedoras	46
Gráfico 7. Porcentaje de cobertura de la demanda para el municipio de Chachagüí.....	46
Gráfico 8. Porcentaje de cobertura de caudal ecológico para las corrientes de estudio	47
Gráfico 9. Cobertura de acueducto bajo un escenario tendencial	48
Gráfico 10. Cobertura de acueducto bajo un escenario crítico.	49
Gráfico 11. Cobertura de acueducto bajo un escenario ideal	50
Gráfico 12. Cobertura de acueducto bajo un escenario factible.....	51
Gráfico 13. Cobertura del caudal ecológico en la quebrada la Tebaida bajo condiciones críticas	54
Gráfico 14. Cobertura de caudal ecológico para la quebrada la Tebaida bajo un escenario factible	55
Gráfico 15. Cobertura del caudal ecológico para el río Bermúdez.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Esquema generado en WEAP de las tres microcuencas de estudio</i>	35
Ilustración 2. <i>Script Excel con escenarios generados</i>	42

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. <i>Zona alta microcuenca la Tebaida</i>	17
Fotografía 2. <i>Zona media microcuenca la Tebaida</i>	18
Fotografía 3. <i>Zona baja microcuenca la Tebaida</i>	18
Fotografía 4. <i>Microcuenca las Helechas</i>	19
Fotografía 5. <i>Parte media microcuenca las Helechas</i>	20
Fotografía 6. <i>Parte alta río Bermúdez</i>	21
Fotografía 7. <i>Parte media río Bermúdez</i>	22
Fotografía 8. <i>Zona baja del río Bermúdez</i>	22

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. <i>Ubicación de microcuencas y corrientes hídricas de estudio</i>	16
Mapa 2. <i>Ubicación de estaciones cercanas a las microcuencas del área de estudio</i>	27
Mapa 3. <i>Isoyetas de las microcuencas de estudio</i>	29

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Caudales diarios río Pasto
- Anexo 2. Caudales medios mensuales multianuales generados con la transposición para las fuentes sin información
- Anexo 3. Información entregada por IDEAM de las estaciones meteorológicas cercanas
- Anexo 4. Modelo WEAP
- Anexo 5. Script y gráficas generadas en el programa TABLEAU

ACRÓNIMOS

<i>CAR</i>	Corporaciones Autónomas Regionales
<i>CGR</i>	Contraloría General de la República
<i>CONPES</i>	Consejo Nacional de Política Económica y Social
<i>CORPOCALDAS</i>	Corporación Autónoma Regional de Caldas
<i>CORPONARIÑO</i>	Corporación Autónoma Regional de Nariño
<i>CRA</i>	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>EMPOCHACHAGÜÍ</i>	Empresa de Servicios Públicos de Chachagüí
<i>EMAS</i>	Empresa Metropolitana de Aseo
<i>ENA</i>	Estudio Nacional del Agua
<i>ERA</i>	Estudio Regional del Agua
<i>FAO</i>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<i>FNR</i>	Fondo Nacional de Regalías
<i>GIRH</i>	Gestión Integral del Recurso Hídrico
<i>GWP</i>	Global Water Partnership
<i>IANC</i>	Índice de Agua No Contabilizada
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>IES</i>	Índice de Escasez
<i>IGAC</i>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<i>IRH</i>	Índice de Retención Hídrica
<i>IUA</i>	Índice de Uso de Agua
<i>IVH</i>	Índice de Vulnerabilidad Hídrica
<i>MADS</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<i>MAVDT</i>	Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>ONU</i>	Organización de las Naciones Unidas
<i>PDA</i>	Planes Departamentales para el manejo empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento
<i>PGIRH</i>	Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico
<i>POFRESCOL</i>	Pollo Fresco Colombiano
<i>POMCH</i>	Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas

<i>PORH</i>	Plan de Ordenación del Recurso Hídrico
<i>PTAP</i>	Planta de Tratamiento de Agua Potable
<i>PUEAA</i>	Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua
<i>RAS</i>	Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico
<i>SGP</i>	Sistema General de Participación
<i>SINA</i>	Sistema Nacional Ambiental
<i>SSPD</i>	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
<i>SUI</i>	Sistema Único de Información
<i>UASB</i>	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor Anaerobio de Flojo Ascendente)
<i>UEA</i>	Unidad Especializada de Atención
<i>UNESCO</i>	Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<i>UNGRD</i>	Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres
<i>USAID</i>	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
<i>UTP</i>	Universidad Tecnológica de Pereira
<i>WEAP</i>	Water Evaluation And Planning System

INTRODUCCIÓN

El suministro de agua potable para las poblaciones ha sido una de las principales prioridades a nivel mundial. A diario las noticias, investigaciones y estudios muestran el desabastecimiento que sufren algunas localidades debido a la contaminación del agua y la sequía; que ha reducido los caudales de las fuentes superficiales, la escasez de recursos necesarios para la construcción de infraestructuras de acueducto, los problemas administrativos, la escasa gestión, el incremento poblacional que aumenta la cantidad de agua demandada y las condiciones topográficas en algunas áreas que limitan la captación del agua.

Para el caso de Colombia, por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, existen poblaciones ubicadas en zonas de baja oferta hídrica, con presencia de ríos contaminados y con altas actividades de origen antrópico sobre el agua que reducen en mayor medida la disponibilidad del recurso (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Este estudio pretende analizar la disponibilidad de agua con que cuenta el municipio de Chachagüí para uso doméstico de sus habitantes, según la oferta hídrica de las quebradas la Tebaida y las Helechas, las cuales han entregado agua a la población desde hace más de 20 años, actualmente se están presentando problemas de abastecimiento por la alta demanda de agua del municipio de Chachagüí, una zona que recibe gran cantidad de población por su cercanía con la capital de Nariño y su clima templado que generan las condiciones ideales para la construcción de viviendas temporales y de veraneo. Los administradores de turno han buscado solventar el déficit a través de una nueva captación proveniente del río Bermúdez, por lo que es importante determinar si se requiere o no de otra fuente hídrica para los fines requeridos.

La primera parte de este documento presenta la descripción del municipio de Chachagüí, de las condiciones de abastecimiento actuales, de las dos microcuencas a las que pertenecen las quebradas que entregan agua a la población, y de la microcuenca Bermúdez cuyo cauce principal presenta condiciones adecuadas de cantidad y calidad para el suministro de agua. Referencias que fueron soportadas con información secundaria y corroborada mediante recorridos de campo.

La segunda parte describe la metodología desarrollada bajo el uso del modelo hidrológico WEAP como modelo de planificación que sirve de apoyo a la toma de decisiones en la asignación de los recursos hídricos a diversos sectores considerando: la oferta y la demanda de agua, los modos de gestión del recurso y las necesidades locales en los planes (Centro de Cambio Global, 2009), con el cual se modeló la cobertura de agua y de caudales ecológicos bajo las actuales condiciones ambientales, de infraestructura y de población que presenta el municipio, el cual permitió determinar aspectos importantes frente al desabastecimiento.

La tercera parte presenta los resultados encontrados bajo la modelación de la línea base y de los posibles escenarios planteados. Analiza las estrategias que se requieren para que el municipio de Chachagüí-Nariño, cuente con una cobertura total de agua potable para uso doméstico

manteniendo los caudales ecológicos de las dos fuentes hídricas abastecedoras, y permite determinar si la oferta es escasa o son las acciones antrópicas que han conllevado a que la cantidad de agua no sea suficiente para los usos requeridos.

JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes

En cumplimiento al decreto 155 del 22 de enero de 2004 y en aplicación de la resolución 865 del mismo año, CORPONARIÑO elaboró los documentos de Índice de Escasez para Fuentes Superficiales (IES) para las cinco cuencas que hacen parte de su jurisdicción mediante los cuales se determinó tanto oferta como demanda hídrica para cada subzona de las cuencas generándose, de igual manera, un índice sectorizado. Para el caso del índice de escasez de la cuenca Pasto calculado en el año 2008, dicha Corporación estableció la subzona microcuenca río Bermúdez con una oferta hídrica neta de 16,84 millones de m³/año y un índice de escasez bajo. Para la microcuenca las Helechas no se hace ninguna mención en el documento pese a que corresponde a la cuenca Pasto, sin embargo, se observa en la cartografía que en la zona de ubicación de esta pequeña fuente hídrica se encuentra con un índice de escasez moderado, debido a la presión que ejerce el municipio de Chachagüí.

Por su parte, no se encuentra información sobre la quebrada la Tebaida en el índice de escasez de la cuenca Juanambú, de otro lado se encuentra la microcuenca el Salado que hace parte de la Tebaida donde se muestra un índice de escasez moderado, según menciona el documento debido a la alta demanda de agua para uso doméstico y agrícola. Se establece además que “durante un año seco o épocas secas intermedias en un año modal, el IES calculado es 29,1% con categoría Medio lo cual pone en alerta el abastecimiento de aproximadamente 5.467 habitantes del casco urbano del municipio de Chachagüí...” (CORPONARIÑO, 2010, p.226). El documento aclara además que 3.417 habitantes de áreas rurales del municipio pertenecientes a diferentes veredas también se ven afectadas en época seca.

Otro estudio desarrollado en la zona es el Plan de Ordenamiento y Mantenimiento Cuenca Hidrográfica río Juanambú (POMCH Juanambú), el cual fue elaborado por CORPONARIÑO en el año 2011 y abarca entre muchas más, las tres microcuencas inmersas en este estudio (las Helechas, la Tebaida y Bermúdez). La información encontrada se orienta en gran parte a determinar la estructura ecológica principal, usos del suelo y áreas protegidas. Frente al recurso hídrico retoma lo mencionado en el índice de escasez de la cuenca Juanambú con los mismos resultados arrojados en el mencionado documento.

En cuanto a usos del agua y residuos líquidos, el decreto 3930 de 2010 resalta la importancia y la necesidad de que las autoridades ambientales competentes formulen los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) con el fin de fijar la destinación a los diferentes usos y sus posibilidades de aprovechamiento. En concordancia con dicho decreto, CORPONARIÑO en el año 2011 formuló el PORH del río Bermúdez, priorizándolo por los conflictos existentes debido a las descargas del relleno sanitario de la Empresa Metropolitana de Aseo (EMAS) y la empresa Pollo Fresco Colombiano (POFRESCOL) y la necesidad del municipio de Chachagüí de captar sus aguas para consumo humano. Este documento establece las estrategias a desarrollar para darle un manejo sostenible al recurso hídrico basadas en un análisis sobre los usos, la cantidad y calidad del río y sus tributarios priorizados, dejando establecidos parámetros de calidad rigurosos

aguas arriba de la futura bocatoma de Chachagüí con el fin de garantizar la disponibilidad de agua para la comunidad.

Sin embargo, no sólo es procedente considerar la oferta hídrica encontrada en la zona en cuanto a calidad y cantidad, sino también analizar las condiciones bajo las cuales el municipio está haciendo uso del agua. El Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) del municipio de Chachagüí, fue aprobado por CORPONARIÑO mediante resolución 011 del 14 de enero de 2010 con un horizonte de planificación de cinco años. Este documento propone diferentes proyectos, obras y actividades orientadas a la reducción de pérdidas, desarrollo de estrategias educativas para reducir el consumo de agua, mejoramiento de las redes e infraestructura y acciones de conservación de las corrientes abastecedoras. Según CORPONARIÑO al año 2015 se verificó una baja ejecución de lo planteado en el documento técnico, lo que supone que no se cumplió con el propósito de hacer un uso eficiente del recurso hídrico ni de garantizar su conservación.

Se ha evidenciado que la implementación de los PUEAA y de otros documentos de planificación del sector agua potable y saneamiento básico, requieren recursos significativos, con los cuales, en la gran mayoría de casos, no cuentan las Empresas de Servicios Públicos. Razón por la cual, el Gobierno Nacional mediante Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES- 3463 de 2007 a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y regulado por el decreto 2300 de 2008 creó los Planes Departamentales para el manejo empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA) buscando una articulación interinstitucional en el manejo de los recursos financieros y la planeación de esquemas eficaces en la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico.

En este marco la Gobernación de Nariño por medio del PDA, en el año 2011 contrató el diagnóstico institucional y técnico de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo de los 64 municipios del Departamento. Para el caso de Chachagüí, en el tema de acueducto, el documento hace un diagnóstico sobre la infraestructura, que deja ver las deficiencias en todo el sistema, incluyendo la prestación del servicio. Este ha sido el soporte que han tenido los municipios para formular proyectos encaminados a mejorar la prestación de los servicios públicos, los cuales deben ser aprobados por el PDA y estar enmarcados en los diferentes proyectos de planificación aprobados por la autoridad ambiental.

Problema

En el año 2010 el MAVDT, a través de su Viceministerio de Ambiente lanza la Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PGIRH), la cual da cuenta en primera instancia del diagnóstico a nivel nacional del recurso hídrico, cuyo panorama en materia de oferta deja ver, entre otros aspectos, que si bien es cierto el territorio nacional cuenta con grandes volúmenes de agua, la mayor parte de esta se encuentra en zonas con baja presión demográfica, de forma que donde la población se encuentra concentrada, en especial en la zona Andina, la escasez del recurso es evidente; adicionalmente la proliferación de actividades mineras, petroleras, y de gran impacto ambiental han contribuido a la degradación de las principales fuentes que se requieren, especialmente para el abastecimiento.

En materia de demanda hídrica, la Política concluye que en Nariño, por ser un territorio de producción primaria, predomina el uso agrícola, siendo así que para épocas secas, se ejerce mayor presión sobre las fuentes hídricas, reduciendo la disponibilidad del recurso para otros

usos, en especial el de consumo humano. Para el caso del municipio de Chachagüí el cual se abastece actualmente de dos corrientes hídricas, las Helechas y la Tebaida, los documentos de índice de escasez establecen un índice “moderado” que se traduce en que la oferta hídrica utilizada de las microcuencas oscila entre el 10-20%, sin embargo en épocas de menor precipitación podría generarse un desabastecimiento, pues el índice sube a “medio” (CORPONARIÑO, 2010)

Se pudo analizar, mediante información primaria levantada, y documentación encontrada, que las microcuencas abastecedoras presentan altos grados de deforestación y quema de áreas verdes, lo cual reduce la retención hídrica y hace que las corrientes tengan exceso de agua cuando hay alta pluviosidad que genera colapso de la infraestructura (redes y Planta de Tratamiento de Agua Potable - PTAP), taponamiento de la bocatoma y deslizamientos que afectan el suministro de agua. Por el contrario, cuando las temperaturas incrementan y hay escasez de lluvias, las corrientes hídricas no llevan el caudal suficiente para abastecimiento, e incluso no garantizan el caudal ecológico aguas abajo de las bocatomas.

Los bajos caudales no solo se deben a la viabilidad climática del lugar y la afectación de la cobertura vegetal, sino también a la alta demanda que los habitantes de Chachagüí hacen sobre el recurso, pues su uso no se limita a las actividades domésticas sino que también es usada para riego de jardines, frutales incluso para llenado de piscinas en la zona rural. Sumado a esto, en el corregimiento de Cimarrones la población está creciendo a tasas elevadas debido a que Chachagüí se ha convertido en un lugar de recreación que posee condiciones estratégicas para que habitantes de Pasto migren hacia dicho sector. Esto implica que la Empresa de Servicios Públicos debe captar cada vez más agua para satisfacer las necesidades de la población.

Basado en lo anterior es importante conocer qué tan vulnerable es el recurso hídrico en la zona de estudio, y si el mismo fuese alto, qué estrategias podrían implementarse para reducir la presión que se ejerce sobre el mismo, de tal manera que se garantice no solo los usos antrópicos, sino los requerimientos ecológicos de la zona.

Justificación

El Código Nacional de Recursos Naturales faculta a las administraciones públicas para proteger las cuencas hidrográficas, evitando la degradación o alteración de sus principales componentes. Así mismo, la Ley 99 de 1993 mediante la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), otorga a este ente público la función de formular políticas nacionales que conlleven a la conservación de los recursos naturales renovables, en especial en materia de recurso hídrico.

Lo anterior, se sustenta en la Política Nacional del Recurso Hídrico, que establece como acciones de ordenación y gestión del recurso el realizar un análisis de la oferta (cantidad y calidad) y demanda (inventario de usuarios del recurso hídrico, vertimientos, proyecciones de demanda), como base para la obtención de un balance hídrico sustentado en la aplicación de modelos que a su vez permitan la toma de decisiones y la proyección de actividades a corto, mediano y largo plazo. Por lo anterior este estudio utilizará el modelo WEAP que permitirá planificar la distribución del recurso hídrico de acuerdo a la demanda doméstica actual del municipio de Chachagüí, considerando aspectos como pérdidas en el sistema de abastecimiento y crecimiento poblacional.

El PUEAA anota que teniendo en cuenta la problemática de abastecimiento del municipio de Chachagüí por la escasez de agua, incremento acelerado de la población y afectación de los ecosistemas en zonas de nacimiento, se ha tomado al río Bermúdez como una fuente alterna de suministro, pues plantea que sus condiciones de disponibilidad y accesibilidad son las ideales.

Por lo tanto, es necesario aplicar un modelo que involucre variables inherentes al recurso hídrico como calidad y cantidad, así como también se requiere involucrar aquellas variables externas que afectan el recurso, tales como la variabilidad climática, las cuales podrían tener una incidencia importante sobre la fuente hídrica. En este sentido, se aplicará el modelo WEAP, el cual además de involucrar dicha variable externa, puede complementarse con otros modelos haciendo que los resultados sean más completos, y por ende, las decisiones puedan ser asentadas sobre la realidad del recurso hídrico.

Los resultados le permitirán a las diferentes instituciones como Alcaldía Municipal de Chachagüí, la empresa de Servicios Públicos de Chachagüí (EMPOCHACHAGÜÍ), CORPONARIÑO, Gobernación de Nariño tomar decisiones en relación al recurso hídrico del área de estudio, ya que si bien es cierto, es una zona que cuenta con objetivos de calidad, índices de escasez, ordenamiento del recurso hídrico y Plan de Uso Eficiente de Agua, es necesario establecer escenarios actuales y futuros, articulando los diferentes instrumentos administrativos y de planeación existentes en la normatividad ambiental y en los estudios ya desarrollados, de tal manera que permitan garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, de los ecosistemas que dependen de él, y el abastecimiento a las comunidades que lo necesitan.

MARCO TEÓRICO

En todo el mundo, la actividad humana y los factores naturales están agotando los recursos hídricos disponibles. La presión sobre este recurso está aumentando, principalmente como resultado de actividades humanas (Green Facts, 2009). Los lineamientos para el uso sostenible no se cumplen, conllevando a la reducción, desaparición o escasez del mismo. Muchos son los factores que están conllevando a su deterioro, el crecimiento poblacional e industrial que cada vez demanda más cantidad y calidad del recurso hídrico para actividades domésticas; la quema, tala y deforestación de ecosistemas estratégicos que están reduciendo los caudales de las corrientes; la disposición inadecuada o sin tratamiento de residuos tanto sólidos como líquidos que restan calidad al agua.

Domínguez, Rivera, Sarmiento y Moreno (2008) establecen que las estimaciones realizadas en los años 70 marcaron a Colombia como una “potencia hídrica” conllevando a una despreocupación por los habitantes y los entes gubernamentales. Sin embargo, los conflictos locales y regionales despertaron la alerta frente a esta problemática. En este ámbito, la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha generado diferentes indicadores como herramientas para determinar la disponibilidad de agua. Fue así, que Falkenmark en 1999 determinó que la escasez de agua se da cuando se tiene menos de 1.000 m³/habitante/año. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a través de sus estudios, determinó que para 1985 se contaba con 60.000 m³/habitante/año, sin embargo, para el año 2000, esta cifra se ha reducido en un 33%, llegando hasta 40.000 m³ por habitante al año, lo que supone que en 40 años se llegará al límite de agua establecido por Falkenmark, lo que indica que Colombia podría enfrentar una crisis en un corto periodo de tiempo (Domínguez, Rivera, Sarmiento, & Moreno, 2008)

Las anteriores cifras podrían ir de la mano con los estudios realizados por Naciones Unidas (2003), quien ha determinado que el ser humano extrae el 8% de del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía a las que tiene acceso. Y que el consumo de agua per cápita aumenta, cuando los niveles de vida mejoran. Por lo tanto, si se suman las variaciones espaciales y temporales de la disponibilidad de agua se puede decir que la cantidad de agua actual para todos los usos está comenzando a escasear, lo cual conlleva a una crisis del agua (Naciones Unidas, 2003)

El recurso agua también se ve disminuido por los efectos del cambio climático o por variaciones climáticas. Los factores que dinamizan el clima y definen la existencia de agua son la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración. Varios modelos muestran que hay un probable aumento de la variabilidad de la precipitación, y una previsible mayor frecuencia de crecidas y sequías. (Bates, Z.W. Kundwics, S. Wu, & J.P. Palutikof, 2008). Las estimaciones recientes apuntan a que el incremento de la escasez global de agua de alrededor del 20% será responsabilidad del cambio climático (Naciones Unidas, 2003). Por su parte, la PGRIH menciona que en Colombia se presentan dos regímenes hidrológicos contrarios que se relacionan con el coeficiente de asimetría (Inundaciones: coeficiente positivo y Sequía: coeficiente negativo), las regiones Orinoquía, Caribe y Andina se relacionan con regímenes hidrológicos de inundación, mientras que Pacífico y Amazonía presentan regímenes hidrológicos de sequía (MAVDT, 2010a)

El documento “Objetivos de Desarrollo del Milenio” (2015) analiza que los sectores que demandan mayor cantidad de agua son las industrias, los municipios y la agricultura (riego, ganado y acuicultura). El porcentaje de agua requerida por cada sector es de 19%, 12% y 69% respectivamente (Naciones Unidas, 2015), con lo cual se puede observar que la cantidad de recurso hídrico para riego es muy significativo. El documento establece además que la escasez de agua afecta a más del 40% de la población, escasez que incrementará por diferentes factores ambientales y antrópicos, lo cual obstaculiza la sostenibilidad de los recursos naturales, así como el desarrollo económico y social de una región. Para el caso de Colombia, la PGIRH involucra las estimaciones realizadas por el IDEAM estableciendo que los principales usos del agua son en su orden, agrícola, doméstico, industrial, pecuario y de servicios con los siguientes porcentajes respectivamente: 54%, 29%, 13%, 35 y 1%. (MAVDT, 2010a)

En noviembre de 2002, la ONU instauró el derecho humano al agua (DHA), el cual es un derecho que insta a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, asequible y accesible para el uso personal y doméstico (Naciones Unidas, 2010). Entendiendo la disponibilidad como la cantidad de agua dulce existente en relación el volumen de la precipitación, la existencia de áreas de conservación como humedales, ciénagas, páramos, lagunas y las condiciones de calidad que presente; la accesibilidad al recurso como la dependencia de la morfología de los territorios y áreas de recorrido de los cauces de agua; de las captaciones y sistemas de conducción y tratamiento de agua; y la asequibilidad a los recursos humanos, técnicos y financieros con que cuenta dicha población. En Colombia, existen patrones discriminativos en cuanto al acceso al agua ya que benefician en mayor medida a los sectores con mayores recursos económicos, dejando de lado a quienes no disponen de los medios suficientes, así lo manifiesta el informe de la Defensoría del Pueblo (2007). Así también lo establece Contreras & González, (2013) que concluyen en su artículo que se presentan patrones de discriminación en cuanto al derecho al agua debido a que los municipios con menos recursos tienen un escaso acceso al agua con bajos niveles de riesgo, esto a su vez se relaciona con la baja capacidad adquisitiva de los habitantes cuyo pago de tarifas no permite el mantenimiento adecuado de la infraestructura.

En Colombia la Ley 142 decreta que es deber de todos los municipios asegurar la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, y telefonía pública básica conmutada, a través de empresas de servicios públicos de naturaleza privada, oficial o mixta o ser prestados directamente por las administraciones municipales en los casos previstos en dicha ley, y que es deber del Estado apoyar administrativa, técnica y financieramente a las empresas prestadoras de servicios públicos o a los municipios que hayan asumido la prestación directa y a las empresas que cuenten con capitales de una o varias cooperativas o empresas asociativas (Ley 142 , 1994). Con esta ley se exhortaba a la creación de empresas de servicios públicos para volver eficiente la prestación de dichos servicios, sin embargo, el CONPES 3463 (2007) aclara que alrededor de 670 municipios continúan prestando los servicios de acueducto y alcantarillado directamente y que al contar con un alto número de empresas (12 mil en todo el país) se atomizan los recursos aportados por el Estado. Advierte además que el uso disperso de las fuentes financiadoras y la falta de pre-inversión integral y regional han limitado la eficiencia en los planes de inversión (Consejo Nacional de Política Económica y Social & Departamento Nacional de Planeación, 2007)

En el marco del CONPES 3463, el 29 de agosto de 2008 mediante decreto 3200 se crean los Planes Departamentales de Agua PDA definidos en el Artículo 1 como:

“un conjunto de estrategias de planeación y coordinación interinstitucional, formuladas y ejecutadas con el objeto de lograr la armonización integral de los recursos, y la implementación de esquemas eficientes y sostenibles en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico”.

Estos esquemas presentan metas durante cada gobierno, buscando incrementar la cobertura en los servicios públicos. Sin embargo, uno de los aspectos negativos es la pérdida de autonomía de los municipios, debido a que los proyectos son presentados por los PDA, así mismo sesgan el acceso equitativo a la financiación de los proyectos, ya que los mismos deben llevarse a audiencias públicas, por lo que los municipios con mayor peso político serán los que tengan aval para su financiación y posterior ejecución (Defensoría del Pueblo, 2012).

Según informe de la Contraloría General de la República ([CGR],2011), para que un municipio se vincule al PDA debe hacerlo a través del Departamento, para lo cual el alcalde debe contar con el aval del Consejo Municipal, una vez vinculado, los recursos serán manejados por el Fondo de Inversiones del Agua, quien administrará los recursos del SGP, regalías y demás recursos provenientes de la Nación, de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y de cualquier fuente de financiación. Una vez los proyectos son priorizados, la gerencia asesora elabora los diseños y los presenta, al MAVDT para obtener la viabilidad, técnica, social, financiera y ambiental. El documento muestra que para el año 2010, en el departamento de Nariño se viabilizaron 16 proyectos, de los cuales fueron devueltos 11 (Contraloría General de la República, 2011). Esto ha generado retrasos en la construcción de infraestructura requerida para agua potable y alcantarillado, evidenciándose problemática en la cobertura, falta de mejoramiento y rehabilitación de los sistemas de tratamiento, las empresas de pequeños municipios no han podido fortalecerse, etc. El informe de la Defensoría del Pueblo (2012) considera que los PDA deben suprimirse por no ser operativos, lo cual permitirá minimizar los costos burocráticos debidos a los altos costos administrativos y de gestión en el desarrollo de dichos planes

La CGR también hace un análisis frente al componente ambiental de los PDA a través de la participación de las CAR. Define que la mayoría de las Corporaciones participan en los PDA con recursos provenientes de tasa retributiva y en menor medida con otros recursos, es decir, que la mayor inversión se concentra en el saneamiento básico a través de la construcción o financiación de plantas de tratamiento de aguas residuales, y la menor inversión está en conservación y reforestación, resultando una baja inversión para el manejo, conservación y mejoramiento de la oferta hídrica, en contraste con la proyectada para la ampliación de redes de distribución y captura, lo cual demuestra la brecha entre las acciones dirigidas a la oferta frente a las de la demanda.

Por lo anterior, “la política pública evaluada evidencia problemas en el diseño relacionadas con el manejo integral de agua, que permita articular las acciones de mejoramiento de la oferta hídrica con la demanda”.(Contraloría General de la República, 2011). En este mismo sentido lo plantea el documento “Objetivos de Desarrollo del Milenio” (2015), el cual establece que la cantidad de recurso hídrico que un país usa se afecta con las políticas y normativa nacional en relación al agua y a su escasez. Esta escasez puede ser física (falta de agua con calidad), económica (carencia de infraestructura óptima por limitaciones financieras, técnicas o de

cualquier índole) o institucional (carencia de instituciones que suministren agua confiable y segura).(Naciones Unidas, 2015).

El capítulo II del Plan de Desarrollo 2006-2010 incluyó la gestión ambiental enfatizada en el desarrollo sostenible, especialmente en condiciones seguras de calidad de vida y en condiciones propicias para el crecimiento económico. Se plantearon seis temas estructurales orientados a la gestión ambiental, dentro de los que se encuentran la planificación ambiental territorial, gestión integrada de recurso hídrico, conservación y uso sostenible de la biodiversidad, promoción de procesos productivos, control de la degradación ambiental y fortalecimiento del Sistema Nacional Ambiental (SINA) para la gobernabilidad ambiental. Desde entonces, el gobierno inició con una serie de acciones orientadas al manejo del agua como recurso, por lo cual en el año 2010 se adopta la PGIRH, la cual surge para generar directrices unificadas para el manejo de agua en todo el país, que apunte a resolver la problemática del recurso hídrico y conlleve a usarlo eficientemente, y preservarlo como una riqueza natural que brinde bienestar a las generaciones actuales y futuras en Colombia (MAVDT, 2010a)). En este sentido la gestión del agua debe enfocarse tanto en la conservación de ecosistemas estratégicos y aumento de los recursos naturales como en desarrollar estrategias para reducir la demanda y las pérdidas de agua en los sistemas de potabilización, de tal manera que exista armonía entre oferta y demanda.

Para el caso de la oferta hídrica la Política hace un diagnóstico analizando que la oferta natural está distribuida en forma dispareja en todo el país, ya que en algunas áreas hay abundancia de agua y en otras se presenta escasez, esto sucede por la alta variabilidad temporal y espacial, por ejemplo, en la región Pacífica la escorrentía puede llegar a ser hasta seis veces la escorrentía de la región Caribe. A esto debe aunarse las actividades económicas y la distribución de la población que conllevan a que la relación oferta-demanda sea menos benéfica en las áreas con escasez de agua y mayores asentamientos poblacionales. Además se presenta una alta vulnerabilidad en el abastecimiento de agua debido a que el 80% de los acueductos municipales captan agua de pequeñas fuentes hídricas, arroyos o quebradas con baja capacidad de regulación hídrica (MAVDT, 2010a)).

Se infiere entonces que el riesgo en la GIRH se articula a la gestión de cuencas hidrográficas afectadas ambientalmente, a la pertinencia de las obras hidráulicas en relación a la variabilidad climática e hidrológica del país, al aumento demográfico no planificado que incrementa la demanda sobre una oferta restringida, a disputas por el uso y accesibilidad al agua potable y a las acciones inadecuadas e insuficientes en relación a la gestión del riesgo que debe desarrollarse para eventos antrópicos y naturales que hacen que el recurso sea más vulnerable (MADO. Es decir que en épocas de sequía se presentarán problemas como desabastecimiento, racionamiento de agua, posible reducción en las concesiones otorgadas, lo que a su vez afectará la calidad de vida de los habitantes que requieren del agua para actividades domésticas. Por otra parte, en épocas de exceso de lluvias conllevaría a problemas como inundaciones, deslizamientos, daños en la infraestructura de los acueductos, contaminación de las corrientes por presencia elevada de sólidos, que a su vez también terminará en racionamientos o cortes de agua al requerir reconstrucción de los sistemas perdidos. Adicional a esto, otros factores que contribuyen al desabastecimiento es la falta de conciencia ambiental de la población y la escasa participación público-privada en iniciativas para impulsar proyectos institucionales orientados al mejoramiento de las condiciones de oferta y demanda de agua.

El diagnóstico de la política en relación a la planificación arrojó resultados como la inexistencia de una línea base que permita establecer el estado real del recurso hídrico, la toma de decisiones mal soportadas por la inexistencia de información, insuficientes indicadores y escaso conocimiento frente a los servicios ambientales asociados al recurso hídrico, e insuficiente desarrollo e implementación de documentos de planificación orientados a la gestión integral del agua. Esta gestión, como lo ha definido “*Global Water Partnership*” (GWP), es un proceso que fomenta la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos que se relacionan, buscando maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, manteniendo la sostenibilidad de los ecosistemas. (Sustainable Sanitation and Water Management, 2013) En este sentido la Política GIRH formula objetivos orientados a conocer el potencial del recurso hídrico, estudiar la problemática hídrica nacional y establecer acciones orientadas a la conservación, reducción de la contaminación, mejoramiento de la disponibilidad del recurso, así como al fortalecimiento institucional en la gestión integral; actividades que se sustentan en una serie de líneas de acción estratégicas que requieren el desarrollo de acciones planificadas que permitan la toma de decisiones a los entes gubernamentales y a los grupos de población civil (MVDT, 2010a) en el marco de la gestión del recurso hídrico, como eje principal del desarrollo sostenible ambiental, tal como lo ha sido definido.

Es importante resaltar que la planificación del recurso hídrico no solo va orientada a los usos antrópicos del mismo, sino que también es necesario tener en cuenta los requerimientos ambientales de las especies hidrobiológicas que se sustentan de las fuentes de agua, especies que se han catalogado como bio-indicadores de calidad. En la mayoría de ríos se ha modificado sustancialmente la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas, que ha alterado a su vez, los parámetros descriptores de calidad de agua (Agirre & Bikuña, 2015). Los mismos autores advierten que los cauces no son simples canales de transporte de agua, si no que estos se ven afectados por las interacciones entre el medio físico y biótico. Por lo tanto, se debe ver el recurso hídrico como un gran sistema, del cual no solo dependen las actividades de las poblaciones, sino que las mismas deben estar en equilibrio con los ecosistemas que necesita el agua como un medio de vida. En este sentido, el caudal ecológico toma importancia, ya que su cálculo debe garantizar que el régimen hidrológico mantenga las condiciones biológicas de la corriente, y a su vez, garantice los usos de la población.

Para administrar el recurso hídrico es importante tener en cuenta la oferta entendida como la cantidad de agua superficial y subterránea, y la demanda entendida como los usuarios que hacen uso del agua (incluyendo el requerimiento hidrobiológico), en lo cual entra a desempeñar un papel importante la modelación hidrológica a partir de la cual se puede evaluar la disponibilidad del recurso. La utilidad de los modelos permite reproducir con precisión series de datos observados, pero se basa aún más en su capacidad predictiva (Camacho & DíasGranados, 1998), lo cual los convierte en excelentes herramientas que soportan la planificación en la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH). Existe una diversidad de modelos del recurso hídrico, sin embargo pueden clasificarse según los tipos de procesos (físicos, químicos, biológicos), tipo de método de solución (empírico, de análisis simplificado o matemáticos), tipo de cuerpo de agua (río, lago, reservorio), estado (estacionario o dinámico), tipo de transporte (advección, dispersión, intercambio béntico) (Lozano, Zapata, & Peña, 2010), sin embargo, los autores mencionan que es importante seleccionar un modelo que sea aplicable al área de estudio, que sea simple y preciso, es decir que los datos de entrada incluyan información hidrométrica, meteorológica y de calidad de agua disponible en forma histórica o actual, lo que a su vez se traduce en viabilidad económica, puesto que se requiere fuentes de financiación.

El ENA (2010) explica la metodología utilizada para el cálculo utilizado para determinación de la oferta a nivel nacional a través de la modelación hidrológica a través del software HidroSIG creado por la Universidad Nacional de Colombia el cual requiere datos de escorrentía, áreas de cuenca, series de caudales y datos hidro-climatológicos con el fin de obtener la oferta hídrica total entendida como el volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo (IDEAM, 2010). Por su parte la metodología para el desarrollo de las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA)- presenta un capítulo orientado a la modelación, pero únicamente de la calidad de agua entendida como una técnica de análisis que permite reproducir en el espacio y en el tiempo una serie de eventos representativos de los componentes de la calidad del agua, mediante el manejo de expresiones matemáticas (IDEAM, 2013), pero no hace énfasis en modelos que permitan relacionar los componentes oferta-demanda.

Sin embargo, en el ámbito de la planificación, uno de los modelos que hoy en día han tomado importancia, y que es objeto de este estudio, es el modelo "*Water Evaluation and Planning System*" (WEAP) desarrollado por el "*Stockholm Environment Institute U.S Center*", el cual requiere la integración de la demanda, la oferta, la calidad del agua y las consideraciones ecológicas, lo que lo hace una herramienta muy completa orientada a la planificación del recurso hídrico. Así mismo, según lo plantea el Centro de Cambio Global (2009), WEAP contribuye a la planificación del recurso hídrico a través del balance oferta-demanda, pero a diferencia de otros modelos WEAP está determinado por variables climáticas (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), además de aspectos como coberturas de uso de suelo, en los que se incluyen escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación.

En Colombia son pocas las experiencias en la utilización de este modelo hidrológico, sin embargo, existen grandes avances en regiones como el eje cafetero donde han participado diferentes instituciones como la Universidad del Quindío, la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle, las Corporaciones Autónomas Regionales de Valle, Quindío y Risaralda, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) entre otras, quienes están avanzando en la aplicación del modelo WEAP en las cuencas de los ríos La Vieja y Otún. A través de la alimentación del modelo con datos reales de series hidrológicas avanzan en la identificación del comportamiento de las variables primordiales relacionadas con la disponibilidad de agua, incluyendo además el factor del cambio climático.

Por otra parte, en el departamento del Huila la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena dentro del Plan Huila 2050 ha incluido medidas de adaptación al cambio climático, dentro de las cuales se incluye la modelación hídrica del Departamento, que estará liderada por el Instituto Ambiental de Estocolmo y USAID a través de la utilización de WEAP. Así también, según lo manifiesta Muñoz Marcela (2014) en el boletín de prensa de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), se iniciará la aplicación del modelo WEAP en la cuenca del río Chinchiná buscando establecer una perspectiva relacionada con la disponibilidad del recurso hídrico pero enmarcado en el cambio climático, la densidad poblacional y las variaciones geográficas (CORPOCALDAS, 2014).

OBJETIVOS

Objetivo General

Aplicar una herramienta de gestión, para la planificación del recurso hídrico a través del balance de la oferta hídrica y demanda doméstica de agua en el municipio de Chachagüí, departamento de Nariño.

Objetivos Específicos

- Estructurar un modelo de gestión, usando el modelo hidrológico WEAP, para modelar las condiciones de abastecimiento de agua en el municipio de Chachagüí, en el departamento de Nariño
- Establecer escenarios, que soporten la gestión integral sobre recurso hídrico para la toma de decisiones por parte de los actores involucrados.
- Proponer los posibles lineamientos de gestión que podrían desarrollarse en busca de un equilibrio entre las necesidades de la población en cuanto a abastecimiento de agua y las condiciones ambientales que deben mantener las fuentes hídricas abastecedoras.

1. ÁREA DE ESTUDIO

La quebrada La Tebaida pertenece al área hidrográfica Pacífico, zona hidrográfica 52 río Patía, cuenca río Juanambú, subcuenca La Tebaida y microcuenca quebrada La Tebaida. Transita por los municipios de Chachagüí y Buesaco, posee un área de 66.51 km² y una longitud aproximada de 20.68 Km. En el sistema de coordenadas Magna Colombia Zona Oeste se establece que la quebrada nace en la Long: 77° 14' 54,0" W, Lat: 1° 17' 31,6" N a una altura de 2298 msnm, y descarga sus aguas en el río Juanambú en las coordenadas Long: 77° 14' 5,3" W, Lat: 1° 27' 7,7" N a una altura de 1408 msnm La quebrada las Helechas pertenece al área hidrográfica Pacífico, zona hidrográfica 52 río Patía, cuenca río Juanambú, subcuenca río Pasto y microcuenca las Helechas. Hace parte del municipio de Chachagüí con una longitud del cauce principal de 4.69 Km y un área de microcuenca de 5.84 Km². En las coordenadas referidas anteriormente, nace en Long: 77° 17' 43,0" W, Lat: 1° 20' 10,9" N a una altura de 2931 msnm, y vierte sus aguas al río Pasto en las coordenadas 77° 17' 34,7" W, Lat: 1° 21' 54,3" N a una altura de 1024 msnm

El río Bermúdez pertenece al área hidrográfica Pacífico, a la zona hidrográfica de orden 1 río Patía, a la subzona hidrográfica de orden 2 río Juanambú, a la cuenca de orden 3 río Pasto y a la subcuenca de orden 4 río Bermúdez. Nace en las coordenadas Long: 77° 15' 1,2" W, Lat: 1° 16' 13,6" N a una altura de 2888 que hacen parte de la jurisdicción del municipio de Pasto, y desemboca en la confluencia con el río Pasto e la Long: 77° 17' 43,0" W, Lat: 1° 21' 44,0" N a una altura de 1440, que forman parte del municipio de Chachagüí. Tiene una longitud aproximada de 16.67 Km en una extensión de 3556 hectáreas (CORPONARIÑO, 2011). La anterior descripción de las corrientes hídricas se plasma en la Tabla 1. Por su parte, en la Tabla 2 se describen las áreas hidrográficas de cada una de las microcuencas.

Tabla 1. Características generales microcuenca de estudio.

<i>Microcuencas</i>	<i>Coordenadas de nacimiento Longitud, Latitud, altitud</i>	<i>Coordenadas de desembocadura Longitud, Latitud, altitud</i>	<i>Área de la microcuenca</i>	<i>Longitud del río</i>	<i>Municipios donde se encuentra</i>
<i>Las Helechas</i>	Long: 77° 17' 43,0" W Lat: 1° 20' 10,9" N 2298	Long: 77° 17' 34,7" W Lat: 1° 21' 54,3" N 1408	5,84 km ²	4,69 km	Chachagüí
<i>La Tebaida</i>	Long: 77° 14' 54,0" W Lat: 1° 17' 31,6" N 2931	Long: 77° 14' 5,3" W y Lat: 1° 27' 7,7" N 1024	66,51 km ²	20,68 km	Chachagüí- Buesaco
<i>Bermúdez</i>	Long: 77° 15' 4,2" W Lat: 1° 16' 9,6" N 2888	Long: 77° 17' 43,0" W Lat: 1° 21' 44,0" N 1440	35,56 km ²	14,67km	Pasto – Chachagüí

Muestra la información básica de ubicación de las microcuencas de estudio

Tabla 2. Áreas hidrográficas microcuencas de estudio

Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca
Pacífico	Patía	Río Juanambú	Río Pasto	Bermúdez
			Río Pasto	Las Helechas
			La Tebaida	La Tebaida

Muestra las áreas según metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

1.1 Características socioeconómicas del municipio de Chachagüí

La cabecera municipal de Chachagüí se encuentra a una altitud de 1980 msnm con una temperatura promedio de 20°C, localizada a una distancia de 28 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto. Es un municipio de sexta categoría con una población aproximada de 13.784 habitantes. El municipio cuenta con seis corregimientos, zona suburbana y cabecera municipal (Chachagüí, 2016)

En Chachagüí aproximadamente el 29% del área se dedica a la explotación agrícola. Este porcentaje es tan bajo debido a que gran parte del territorio tiene grandes pendientes que no permiten ser cultivadas. La producción se da a baja escala, principalmente para autoconsumo. Los cultivos más relevantes son maíz, frijol, café, cítricos, fique, yuca y plátano (Chachagüí, 2016)

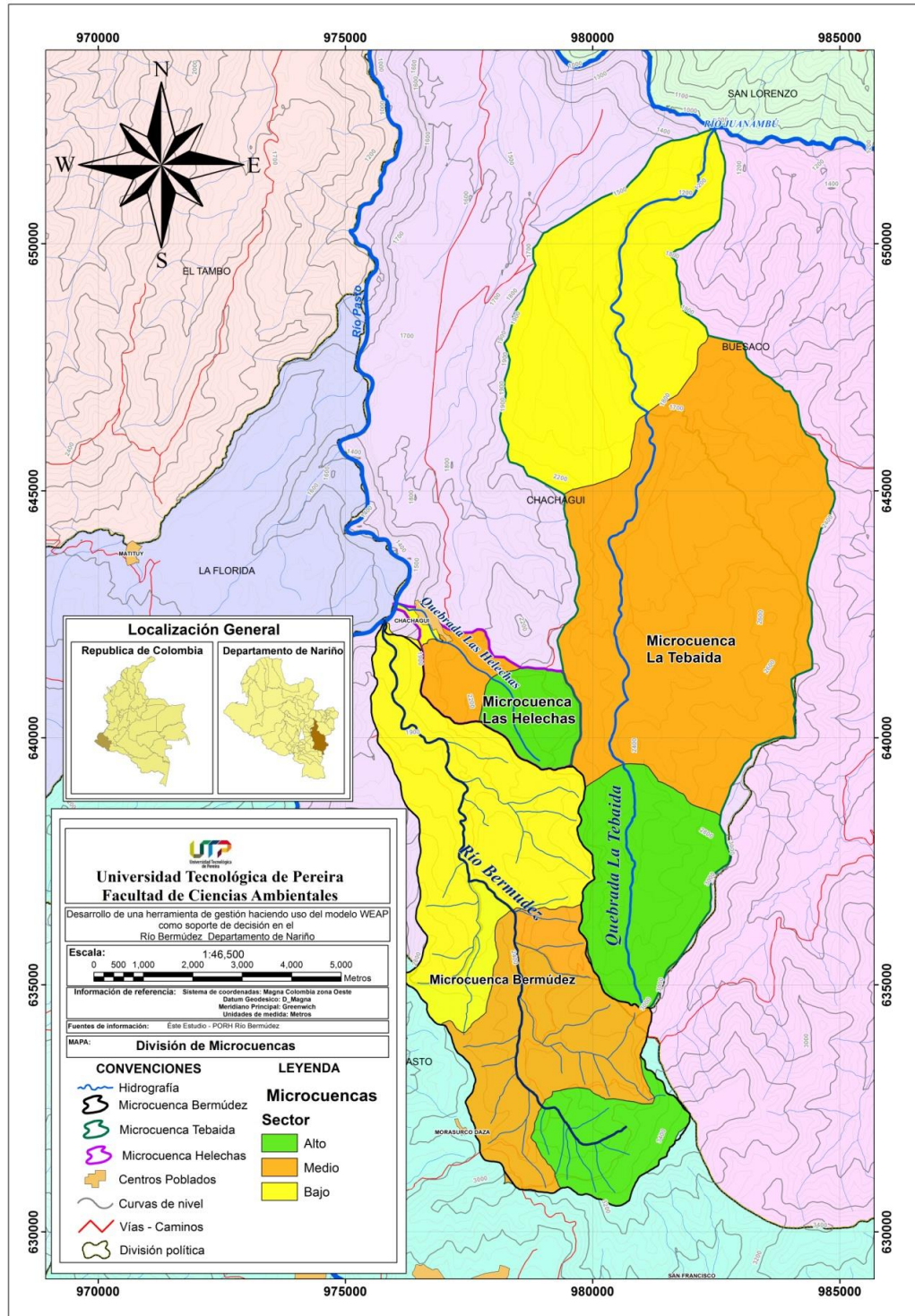
La actividad pecuaria también se orienta al autoconsumo de sus habitantes, especialmente en el sector rural. Se presenta cría de especies menores como aves, porcinos y cuyes, y a muy baja escala especies mayores como bovinos y equinos. Los bovinos principalmente proveen de leche a las viviendas campesinas, y los equinos son utilizados en épocas de cosecha de café, frutales o maíz para el transporte de estos alimentos.

1.2 Descripción de las microcuencas

1.2.1 Microcuenca la Tebaida

- Zona Alta

Nace en el sector conocido como Villa Capri. Su cobertura de suelo es de tipo vegetación primaria (bosque natural) con presencia de vegetación arbustiva y algunos parches de bosque ripario. Según el PUEAA 2010, posee 840 hectáreas de especies nativas y 200 aproximadamente de sistemas silvopastoriles y agroforestales, con especies dominantes como el Roble, Motilón Silvestre y Sindayo; y especies plantadas como Pino Pátula, Eucaliptos Glóbulos y Ciprés.



Mapa 1. Ubicación de microcuencas y corrientes hídricas de estudio

A la izquierda la microcuenca Bermúdez cuya agua aún no ha sido usada para captación, seguido la microcuenca Helechas, y a la derecha la microcuenca Tebaida, principal fuente de abastecimiento para Chachagüí

En esta zona existe la Reserva Forestal el Común con 520 Ha que el municipio reglamentó con el fin de conservar las especies forestales que garantizarían el sostenimiento de los pequeños caudales que conforman el nacimiento de la Tebaida para el abastecimiento para el municipio de Chachagüí (CORPONARIÑO, 2011). Esta es la principal fuente hídrica que supe de agua potable al casco urbano, suburbano y a algunos centros poblados, entre ellos, Cimarrones que se ha catalogado como la zona turística para los habitantes de Pasto y demás municipios aledaños (Chachagüí, 2009)

Al realizar un recorrido por este sector se evidenció, que se presenta escasa protección arbórea (Ver Fotografía 1), por lo que se deduce una explotación forestal, la cual no es la única problemática, ya que además en época seca los habitantes de esta zona sustraen agua para riego, reduciendo el caudal que llega a la bocatoma, por lo que EMPOCHACHAGÜÍ debe captar todo el caudal, dejando sin agua el cauce principal.

En entrevista realizada al señor Leonardo Calvache, quien se viene desempeñando como fontanero de EMPOCHACHAGÜÍ desde hace 30 años manifestó que en este sector se presenta corte de especies vegetales en grandes proporciones para venta de madera y carbón, materiales que son entregados constantemente a los asaderos y restaurantes de la zona y del municipio de Pasto. Al mismo tiempo se presentan quemados de grandes áreas debido a la creencia de sus habitantes de que al prender fuego a la vegetación se atrae la lluvia y la ceniza sirve como abono de los terrenos (L. Calvache, Comunicación personal, 10 de agosto de 2016).



Fotografía 1. *Zona alta microcuenca la Tebaida*

Sin vegetación primaria y excesiva presencia de pastizales

- Zona media

Presenta deforestación en mayor medida. Una gran fracción de la madera es transformada en carbón, y el resto se usa como leña. Hay presencia de grandes áreas de pastizales para el pastoreo de ganado. Se presenta más conglomeración de viviendas rurales. En recorrido de campo se evidenció existencia de problemas ambientales como deforestación, quemados, pérdida de suelo y contaminación difusa por agroquímicos utilizados en cultivos de maíz y papa. Adicionalmente

se encuentran algunas viviendas rurales que descargan sus aguas residuales a la quebrada la Tebaida. Lo anterior se puede observar en la Fotografía 2, cuya información fue levantada en campo.



Fotografía 2. Zona media microcuenca la Tebaida

Parte de la microcuenca intervenida, deforestada y con quema de vegetación

- Zona baja

Presenta grandes extensiones de pastos naturales con presencia de áreas con vegetación arbórea y algunos parches de bosque ripario. En consulta de “google maps” se evidenció que la morfología de terreno va de inclinada a muy inclinada, razón por la cual no se presentan viviendas cercanas. Su desembocadura se realiza a los 1210 smsn sobre el río Juanambú. Lo anterior se puede observar en la Fotografía 3, la cual muestra la descripción antes mencionada.

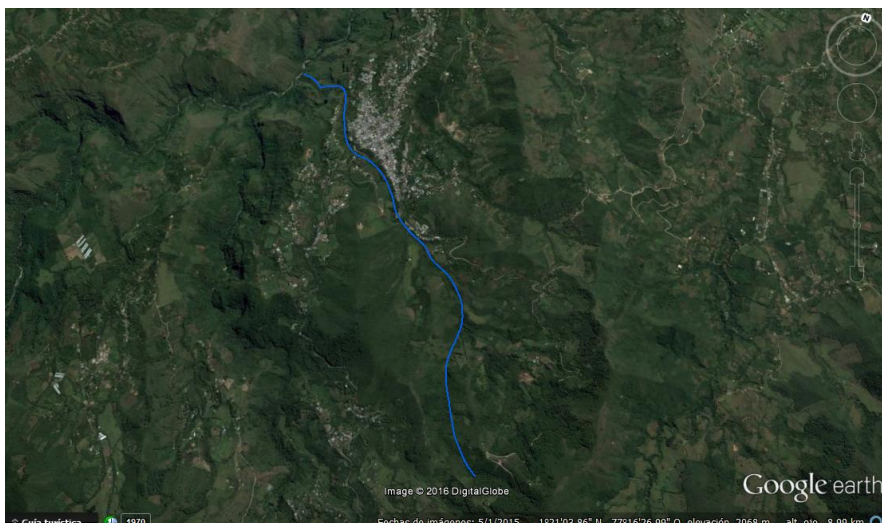


Fotografía 3. Zona baja microcuenca la Tebaida

Fuente: google earth. Microcuenca con escasa vegetación en su desembocadura hacia el río Juanambú

1.2.2 Microcuenca las Helechas

La microcuenca las Helechas, como se pudo observar en la Tabla 1, presenta un área pequeña, al igual que un cauce reducido (5km aproximadamente). La morfología se puede observar a grandes rasgos en la Fotografía 4.



Fotografía 4. Microcuenca las Helechas

Fuente: Google earth. Pequeña microcuenca con escasa vegetación que atraviesa el casco urbano del municipio de Chachagüí hasta desembocar al río Pasto

- Zona Alta

En el recorrido realizado por el área se pudo evidenciar que presenta una cobertura de suelo de tipo vegetación secundaria con presencia de bosque natural, vegetación arbórea (achaparrada), mezclado con áreas de pastos naturales, vegetación arbustiva, así como algunos parches de bosque ripario. Se evidencia una deforestación muy significativa en el nacimiento de la quebrada. Es una fuente hídrica muy pequeña con caudal poco representativo.

El señor Leonardo Calvache, entrevistado el 10 de agosto de 2016, también aseguró que en el nacimiento de la fuente hídrica los dueños de los predios talaron los árboles y vendieron no solo la madera sino también toda la tierra fértil que extrajeron de la zona. Por lo que desde entonces el agua ya no llega a la bocatoma en la cantidad suficiente.

- Zona media

Presenta áreas con vegetación arbustiva, mosaicos de pastos y cultivos y algunos parches de bosque ripario, además de estar ubicado el casco urbano del municipio de Chachagüí. Inmediatamente en el ingreso de la corriente hídrica al municipio, el agua es captada para complementar el caudal que se requiere para abastecimiento de sus pobladores. En la visita realizada se advirtió que se está captando toda el agua de la quebrada, la cual se recupera aguas abajo con los afluentes que descargan a la misma (Ver Fotografía 5).

Hace parte de esta microcuenca, el centro poblado de Chachagüí, zona suburbana y parte de la zona rural. El municipio se encuentra ubicado entre las coordenadas 1°21'36.72" Latitud Norte,

y 77°17'03.01" Longitud Oeste, tiene una altitud promedio de 1.950 msnm, una temperatura media de 20°C y una extensión de 15.200 Ha (Gobernación de Nariño, 2010). Es un municipio de sexta categoría con una población total de 13.784 habitantes (Chachagüí, 2016)



Fotografía 5. *Parte media microcuenca las Helechas*

Parte media donde el municipio capta toda el agua de la quebrada

- Zona baja

Presenta áreas con pastos naturales y vegetación arbustiva. Se caracteriza por presentar una pendiente muy alta.

1.2.3 Microcuenca río Bermúdez

En cuanto a cobertura de suelos, la más representativa es de bosques naturales (21.11%), bosque fragmentado (48.85%) y pastos (19.71%). Los cultivos de la zona, principalmente café, yuca, fique, plátano, frutales, maíz y tomate de árbol ocupan un 0.74% en toda la zona (CORPONARIÑO, 2011). En los recorridos por la microcuenca, corroborado con el Plan de Ordenamiento de este cauce se confirmó que a lo largo del río Bermúdez hay aporte de agua de quince quebradas representativas, siete de ellas con buena calidad y el resto con calidad deficiente por aporte de aguas residuales antes de su confluencia.

- Zona Alta

Se destaca la presencia de bosque primario, bosque secundario y pastos naturales. Es una zona rica en biodiversidad, la cual se está agotando por la construcción de infraestructura de alto calibre como es el caso de la variante que comunica a Pasto con Chachagüí, la cual se desarrolló en el marco de la concesión vial Rumichaca-Chachagüí (Fotografía 6)

Esta obra afectó notoriamente el paisaje y por ende los ecosistemas conllevando a la reducción de coberturas vegetales, afectación del suelo, desvío de corrientes hídricas, cambio de uso del suelo y desaparición de pequeñas fuentes de agua (CORPONARIÑO, 2014b). Actualmente la concesión continúa la apertura de la nueva vía que conecta esta variante con el casco urbano de Chachagüí.



Fotografía 6. Parte alta río Bermúdez

Parte alta de la microcuenca Bermúdez intervenida por grandes obras viales

En Km 2.5 de la corriente hídrica, a 30m del cauce principal se ubica la procesadora de aves POFRESCOL que sacrifica cerca de 6000 aves/día. Su proceso inicia desde el sacrificio hasta la obtención del animal refrigerado para ser comercializado. Las aguas residuales producidas llegan a un sistema de tratamiento muy deficiente compuesto por tamizaje, trampa de grasas, reactor aerobio, sedimentador y dos humedales superficiales. El vertimiento final se descarga al río Bermúdez.

Se ubica también la Empresa EMAS que presta el servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos de 22 municipios del Departamento procesando 240 ton/día. Los residuos son compactados en los vasos habilitados para esta actividad que ocupan 27 Ha. Los lixiviados son tratados en un sistema que consta de laguna de igualación, Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB), laguna facultativa, reactor sulfidogénico, reactor de lodos, tratamiento fisicoquímico y laguna de maduración (CORPONARIÑO, 2011) Los lixiviados tratados son conducidos por una tubería de 10 Km hacia el río Bermúdez y vertidos a 2 km antes de su desembocadura con el río Pasto. Este relleno sanitario ha sido considerado uno de los mejores de Suramérica.

- Zona media

Se destaca la presencia de bosque secundario, bosque ripario y cultivos. Es una zona que recibe agua de una gran cantidad de afluentes, en su mayoría agua de buena calidad, sin afectación antrópica, razón por la cual la recuperación del cauce principal en cuanto a calidad y cantidad es evidente. Aquí el caudal del río incrementa aproximadamente 17 veces con relación al punto inicial. Esto se pudo deducir de los datos de medición de caudales puntuales realizados por la Corporación durante algunas épocas

Se encuentran especies vegetales de alta importancia ubicadas en la reserva ecológica “El Común”, donde nace una de las corrientes hídricas que abastece al acueducto municipal de Chachagüí y a algunos acueductos veredales. Por fuera de la reserva se evidencia tala para generación de leña y producción de carbón. En esta zona la administración municipal de Chachagüí tiene estipulada la construcción de la tercera bocatoma para abastecimiento (ver Fotografía 7) debido a que el caudal que actualmente capta del municipio de las dos fuentes hídricas concesionadas ya no es suficiente para abastecer a toda la población.



Fotografía 7. Parte media río Bermúdez

Zona donde se plantea ubicar la tercera bocatoma de Chachagüí que presenta cobertura vegetal poco intervenida

- Zona baja

Se destaca la presencia de bosque secundario, bosque ripario, pastos naturales y diversidad de cultivos especialmente café, frutales, plátano y fique. Del río Bermúdez no se registra ninguna captación, lo que posiblemente se deba a que presenta altas pendientes (entre 50% y 80%) que dificultan el acceso a esta corriente. Se evidencia una gran intervención antrópica sobre la vegetación (ver Fotografía 8), debido a que hay conglomerados de viviendas campesinas que usan la madera para actividades domésticas. Así mismo se presenta quema, tala y erosión significativa.

En el Km 14+4 se registra el vertimiento de lixiviado tratado proveniente de EMAS que es conducido por manguera desde el relleno sanitario ubicado en la parte alta de la subcuenca hasta esta zona. Es una línea de conducción de lixiviados de 10 Km. Genera un vertimiento promedio de 1.2 l/s durante 24 horas. En este punto se encuentra la reserva forestal “Loma puerta de Páramo” que registra gran variedad de especies vegetales y animales.



Fotografía 8. Zona baja del río Bermúdez

Parte altamente intervenida, con presencia de deforestación, cultivos y quema excesiva

2. METODOLOGÍA

2.1 Recopilación de información

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó la búsqueda de información secundaria tanto de las corrientes hídricas abastecedoras como de las características del acueducto y su demanda, con el fin de obtener datos iniciales que puedan ser ingresados al modelo. Se consultó el Plan de Desarrollo del Municipio de Chachagüí, el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Bermúdez, el Plan de Ordenamiento de la Cuenca Juanambú, los índices de escasez (IES) de las cuencas Juanambú y Pasto, así como el documento preliminar de reglamentación del río Bermúdez que actualmente está en construcción por parte de CORPONARIÑO.

CORPONARIÑO suministró la información sobre los permisos de vertimiento y concesiones de agua otorgados sobre las corrientes hídricas principales (río Bermúdez y quebradas la Tebaida y las Helechas) y el Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua aprobado. La misma Corporación también suministró los datos históricos generados por IDEAM de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la zona de estudio.

Al municipio y Empresa de Servicios Públicos de Chachagüí se solicitó documentación sobre la cobertura de agua potable, suscriptores del área rural y urbana y aforo de caudales del agua que ingresa a la planta de tratamiento de agua potable. Toda la información primaria y secundaria se compila en la Tabla 3.

Así mismo se tuvieron en cuenta diferentes estudios desarrollados con WEAP a nivel nacional e internacional evidenciándose que existen pocas aplicaciones del modelo.

Tabla 3. Documentación consultada

Información solicitada	Entidad que suministró de información	Información entregada
Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019	Administración municipal de Chachagüí	Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019
Suscriptores de agua potable	EMPOCHACHAGÜÍ	Número de suscriptores de agua potable para el periodo 2012-2015
Plan de Ordenamiento del Río Bermúdez	CORPONARIÑO	PORH río Bermúdez formulado en el año 2011
Índices de escasez de las cuencas Pasto y Juanambú.		Índices de escasez de las cuencas Pasto y Juanambú formulados en 2010
Aspectos tenidos en cuenta en la reglamentación del río Bermúdez		Documento preliminar reglamentación río Bermúdez
Concesiones de agua sobre el cauce principal de las corrientes hídricas y las otorgadas a EMPOCHACHAGÜÍ		Listado de concesiones otorgadas en el municipio de Chachagüí y sobre los cauces de estudio.
Datos de estaciones hidrometeorológicas		Base de datos con información con reportes históricos de climatología
Permisos de vertimientos otorgados sobre el cauce principal del río Bermúdez		Base de datos de permisos de vertimientos otorgados sobre el cauce principal.
Datos históricos de calidad del río Bermúdez y de los vertimientos sobre esta fuente		Tabla con resultados históricos de calidad sobre la corriente hídrica y los vertimientos
Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua de EMPOCHACHAGÜÍ		Consulta del documento en la entidad.

Esta tabla recopila la información secundaria adquirida necesaria para este estudio.

Se realizaron cuatro visitas de campo con el fin de corroborar parte de la información primaria encontrada, hacer un reconocimiento de la zona y tener acercamientos con la empresa de servicios públicos que es la entidad que conoce de primera mano el desabastecimiento y los inconvenientes que se han presentado debido a la falta de agua, en la Tabla 4 se evidencian las actividades realizadas en cada una de las visitas

Tabla 4. Información obtenida en las salidas de campo

Fecha de salidas	Objetivo	Resultados
Junio 16 de 2015	Realizar un recorrido por el cauce principal del río Bermúdez	<ul style="list-style-type: none"> • Corroborar la delimitación de la zona alta, media y baja • Georreferenciación de los principales puntos de interés • Registro fotográfico • Identificación de usos de suelo actuales, problemática ambiental, y demás aspectos de interés
Septiembre 6 de 2016	Realizar un acercamiento con EMPOCHACHAGÜÍ para la solicitud de información	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de la documentación requerida para el presente trabajo (plan de desarrollo, suscriptores de agua potable discriminados en sector urbano y rural, aforo de caudales captados) • Entrevista con el fontanero y el gerente de la empresa donde se indagó de la problemática en relación al abastecimiento de agua • Verificación de aspectos encontrados en información secundaria
Septiembre 13 de 2016	Realizar un recorrido por la quebrada las Helechas	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento del lugar de captación de agua de EMPOCHACHAGÜÍ • Identificación de aspectos importantes de la zona alta, media y baja de la microcuenca • Registro fotográfico
Septiembre 20 de 2016	Realizar un recorrido por la quebrada la Tebaida	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento del lugar de captación de agua de EMPOCHACHAGÜÍ • Identificación de aspectos importantes de la zona alta, media y baja de la microcuenca • Registro fotográfico

2.2 Oferta Hídrica

Para desarrollar el presente estudio se hizo necesario calcular la oferta de agua de las dos corrientes hídricas que actualmente abastecen al municipio de Chachagüí (la Tebaida y las Helechas), con el fin de comprobar si el suministro de las mismas es suficiente para la población abastecida, o si definitivamente se requiere hacer uso del agua que corre por el río Bermúdez.

Con la información secundaria, y la recolectada en campo de las visitas y recorridos realizados por las zonas de interés se generó la cartografía requerida en relación a hidrología, delimitación de cuencas, ubicación de estaciones meteorológicas, delimitación del centro poblado Chachagüí, entre otros aspectos. Para tal fin se utilizó el programa ArcGIS versión 10.2. Se trabajó sobre la base cartográfica escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Para el cálculo de la oferta hídrica se hizo necesario ubicar las estaciones hidrometeorológicas dentro del área de estudio, sin embargo, ni en el área de estudio ni en las zonas aledañas se encontraron estaciones hidrológicas ni climatológicas de ningún tipo.

2.2.1 Análisis hidrometeorológico

- Estimación de la precipitación.

Para la determinación de precipitación media de las dos cuencas se tomó la información hidrológica y meteorológica del IDEAM y CORPONARIÑO, tomando datos de precipitación y temperatura de estaciones con periodicidad mensual multianual; Para la selección de las estaciones se tomó como principal parámetro la ubicación más cercana al área de las microcuencas con criterios de selección de registros históricos.

Debido a limitaciones frente a la inexistencia de estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de las microcuencas se toman estaciones circundantes las cuales permiten pronosticar el comportamiento de la precipitación de forma teórica, las estaciones utilizadas se pueden ver en la Tabla 5, y los datos hidrometeorológicos se observan en los Anexos 1 y 3.

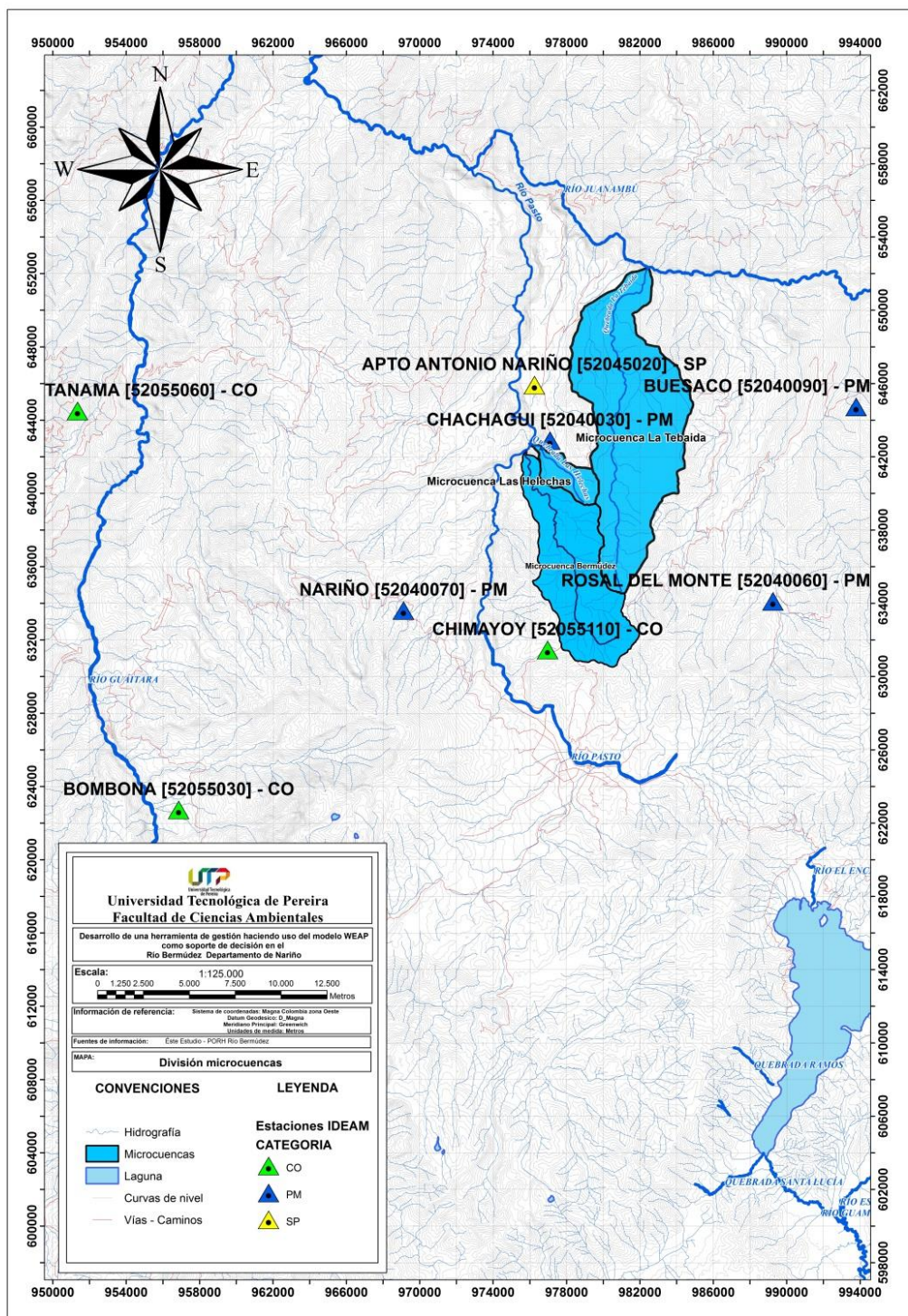
Tabla 5. Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca Bermúdez.

Estación	Código	Categoría	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud	Parámetro
Apto Antonio Nariño	52045020	SP	1.394083	-77.290861	1816	Precipitación-Temperatura
Chachagüí	52040030	PM	1.366667	-77.283333	2000	Precipitación
Buesaco	52040090	PM	1.383333	-77.133333	2932	Precipitación
Rosal del Monte	52040060	PM	1.287306	-77.174056	2576	Precipitación
Bombona	52055030	CO	1.184361	-77.465111	1493	Precipitación-Temperatura
Chimayoy	52055110	CO	1.263333	-77.284444	2745	Precipitación-Temperatura
Nariño	52040070	PM	1.282778	-77.355000	2590	Precipitación
Tanamá	52055060	CO	1.373556	-77.583111	1500	Precipitación-Temperatura

CO: climatológica ordinaria, PM: pluviométrica y SP: sinóptica principal. Estaciones ubicadas en el área cercana a las microcuencas, con códigos del IGAC

La posición geográfica influye en la distribución espacial y temporal de la precipitación en la zona de estudio, la cual está condicionada principalmente por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde interactúan corrientes de aire cálido y húmedo (Guzmán, Ruiz, & Cadena, 2014), determinando el régimen de precipitación presente en la microcuenca.

Para la estimación de la precipitación se tomó con base a los registros hidro-meteorológicos suministrados por el IDEAM de las estaciones mostradas en la Tabla 5, empleando para su análisis los datos mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas cercanas. Con el fin de analizar el comportamiento de la precipitación en la microcuenca se analizaron datos históricos para un periodo de 20 años (1989-2009) de los valores medios mensuales en la estación pluviométrica Chachagüí, debido a que es la estación con mayor cercanía al área de estudio, tal como se observa en el Mapa 2.



Mapa 2. Ubicación de estaciones cercanas a las microcuencas del área de estudio

Muestra que dentro las tres microcuencas de estudio no se encuentra ninguna estación, por lo que se utilizó información de las estaciones más cercanas de tipo CO: climatológica ordinaria, PM: pluviométrica y SP: sinóptica principal

La posición geográfica influye en la distribución espacial y temporal de la precipitación en la zona de estudio, la cual está condicionada principalmente por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde interactúan corrientes de aire cálido y húmedo (Guzmán, Ruiz, & Cadena, 2014), determinando el régimen de precipitación presente en la microcuenca.

Para la estimación de la precipitación se tomó con base a los registros hidrometeorológicos suministrados por el IDEAM de las estaciones mostradas en la Tabla 5, empleando para su análisis los datos mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas cercanas. Con el fin de analizar el comportamiento de la precipitación en la microcuenca se analizaron datos históricos para un periodo de 20 años (1989-2009) de los valores medios mensuales en la estación pluviométrica Chachagüí, debido a que es la estación con mayor cercanía al área de estudio, tal como se observa en el Gráfico 1.

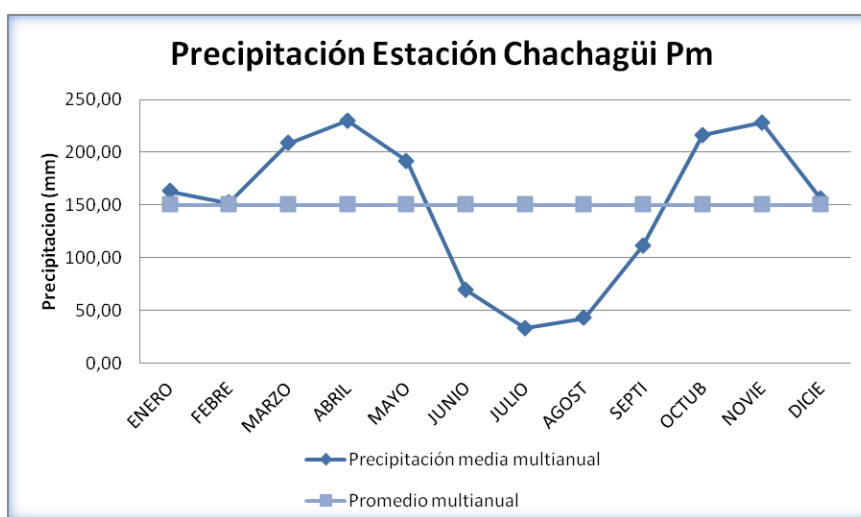


Gráfico 1. Régimen de precipitación bimodal

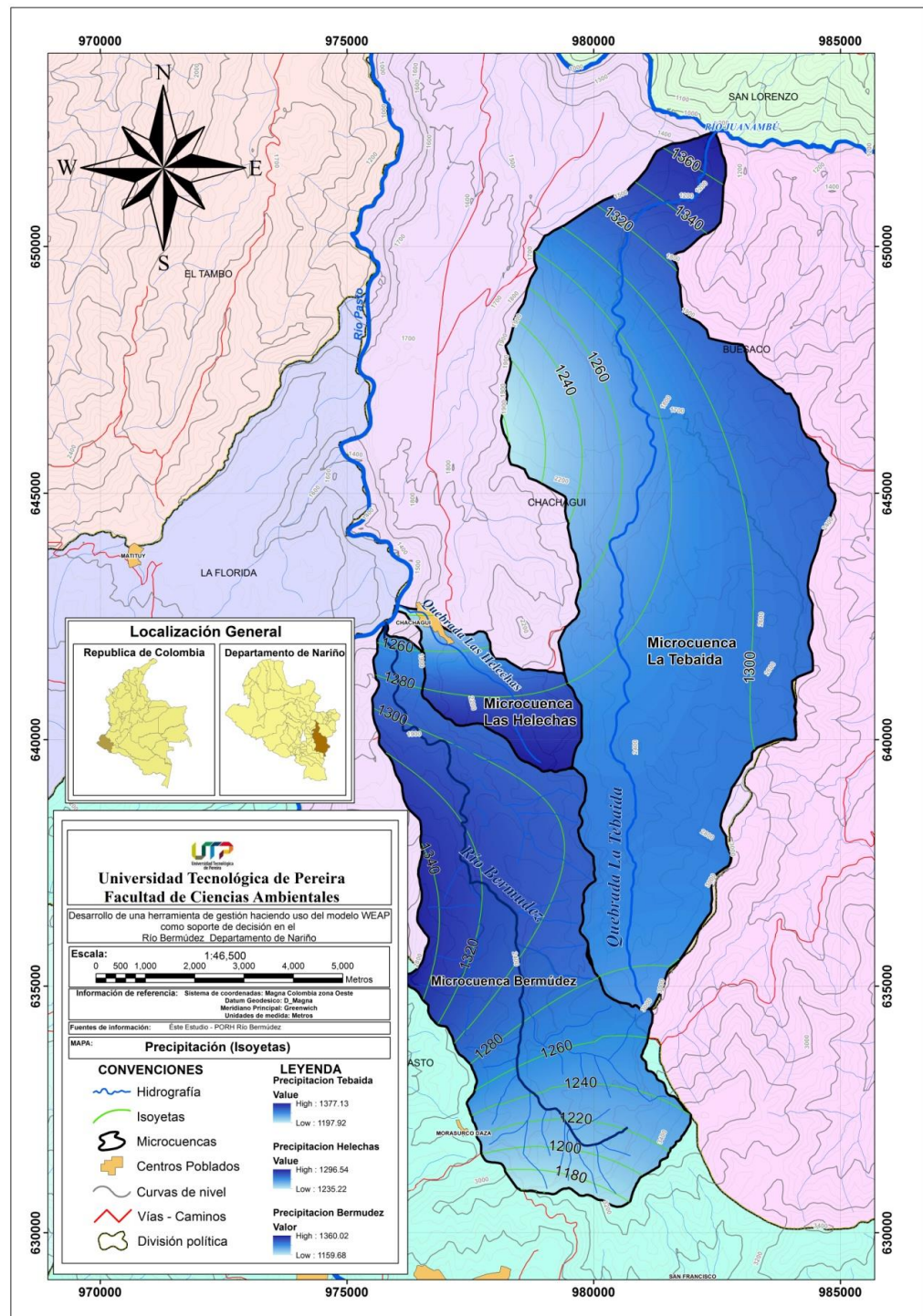
Muestra el comportamiento de la precipitación en la zona de estudio. En los periodos junio-septiembre se presentan los valores mínimos, y los máximos en los periodos marzo-mayo y octubre-diciembre

Con el análisis del hidrograma de precipitación con valores medios mensuales multianuales se determinó que existe un régimen de tipo mono modal con un periodo largo de lluvias entre los meses octubre – mayo; un periodo seco entre los meses de Junio a septiembre, siendo los meses de abril y noviembre los de mayor precipitación, y julio el menos lluvioso con 33,19 mm mensuales.

- Trazado Isoyetas

Para la espacialización de la precipitación y el trazado de isoyetas de las microcuencas se empleó métodos geoestadísticos utilizando técnicas de interpolación y predicción con el uso de la metodología Kriging (modelo estadístico que incluye la variable de autocorrelación espacial), a través de aplicativos SIG; Es decir, la metodología no solo tiene la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporciona una medida de certeza o precisión en las predicciones, razón por la cual, se probó diferentes modelos hasta encontrar el de mayor ajuste

a las condiciones reales del municipio. Los trazados de las isoyetas generadas se pueden observar en el Mapa 3.



Mapa 3. Isoyetas de las microcuencas de estudio

Muestra espacialización de la precipitación y el trazado de isoyetas para las microcuencas de estudio, determinada bajo el modelo método Kriging

Con la información de precipitación generada por las isoyetas se obtuvieron los valores medios de precipitación en cada una de las microcuencas de estudio, los cuales se observan en la Tabla 6. **Información utilizada en la aplicación de las ecuaciones 1 y 2 en las tres microcuencas**

- *Estimación de caudales*

Debido a la inexistencia de estaciones hidro-meteorológicas, fue necesario aplicar el método de transposición de caudales, dicho método consiste en hallar un coeficiente que permita llevar la información de un caudal conocido hasta otro punto sin información; considerando la similitud de las cuencas partiendo de las variables: área de drenaje de la cuenca de interés, área de drenaje de la cuenca de la cual se tiene información, precipitación media ponderada de la cuenca en estudio, precipitación media ponderada de la cuenca de la que se tienen registros, evapotranspiración media de la cuenca en estudio y la evapotranspiración media de la cuenca de la que se tienen registros (Pérez, 2005)

El coeficiente de transposición se obtuvo al aplicar la ecuación 1:

Ecuación 1. Coeficiente de transposición de caudales

$$C = \frac{Ac * Pc}{Ap * Pp}$$

Donde

C =	Coeficiente de transposición de caudales
Ac =	Área de la cuenca sin información
Ap =	Área de la cuenca con información
Pc =	Precipitación media de la cuenca sin información
Pp =	Precipitación media de la cuenca con información

Para obtener el caudal medio del río Bermúdez, es decir, la cuenca sin información se aplica la ecuación 2:

Ecuación 2. Caudal de la cuenca sin información

$$Qc = C * Qp$$

Donde

Qc =	Caudal medio de la cuenca sin información
C =	Coeficiente de transposición de caudales
Qp =	Caudal medio de la cuenca con información

No se tuvo en cuenta los datos relacionados con evapotranspiración debido a que no se conocen dichos datos. Esto puede obviarse según lo establece Mora *et al* (2004).

Para la aplicación de este método se tomaron datos de caudales diarios multianuales desde el año 1988 hasta 2014 del río Pasto suministrados por la empresa de servicios públicos EMPOPASTO E.S.P determinados con la estación limnimétrica perteneciente esta empresa, ubicada aguas arriba de la bocatoma del río Pasto. Se tomó la cuenca Pasto como referente para la transposición de caudales ya que es una cuenca que contiene a las microcuencas del río

Bermúdez y las Helechas y posee condiciones similares de temperatura, altura, precipitación, cobertura vegetal y tipo de suelos.

Con los datos generados de la precipitación, área de la cuenca y caudales históricos del río Pasto se procedió a aplicar el método de transposición de caudales para estimar los valores históricos de caudales para cada microcuenca. Los resultados generales se presentan en la Tabla 6, y la cantidad de datos totales por microcuenca en el Anexo 2.

Tabla 6. Información utilizada en la aplicación de las ecuaciones 1 y 2 en las tres microcuencas

<i>Microcuenca</i>	<i>Qp (m³/s)</i>	<i>Pc (mm/año)</i>	<i>Pp (mm/año)</i>	<i>Ap (Km2)</i>	<i>Ac (km2)</i>	<i>C</i>	<i>Qc (m³/s)</i>
Río Bermúdez	*	1266	1297	482.59	35.56	0.072	**
Quebrada las Helechas	*	1277.62	1297	482.59	8.84	0.018	**
Quebrada la Tebaida	*	1288.35	1297	482.59	66.51	0.1368	**

Qp: caudal medio de la cuenca con información, Pc: Precipitación media de la cuenca sin información, Pp: Precipitación media de la cuenca con información, Ap: Área de la cuenca con información, Ac: Área de la cuenca sin información, C: Coeficiente de transposición, Qc: caudal medio de la cuenca sin información

* se registraron 9446 datos de caudales medios diarios desde agosto de 1988 hasta diciembre de 2014 de la cuenca con información (cuenca Pasto)

** se estimaron 9446 datos de caudales medios para cada una de las tres microcuencas sin información

Es importante aclarar que para algunos meses de los años evaluados no se presentaron datos de caudales de la fuente original, es decir del río Pasto, por lo que al hacer la interpolación a las tres corrientes de estudio también quedaron estos vacíos, sin embargo, WEAP interpola la información generando los datos faltantes.

2.3 Demanda de agua doméstica urbana

2.3.1 Población servida

Según el Plan de Desarrollo municipal, Chachagüí (2016), el municipio tiene una población total de 13.784 habitantes. El servicio de agua potable es prestado por la Empresa de Servicios Públicos EMPOCHACHAGÜÍ E.S.P, quien según último reporte de cobertura cuenta con 3255 suscriptores con corte al mes de agosto de 2016, de los cuales el 40% se encuentran en la cabecera y el resto en la zona rural del municipio. El gerente de EMPOCHACHAGÜÍ, Santiago Enríquez, manifestó que se ha realizado un estimativo que cada suscriptor está integrado por cuatro personas que conforman el núcleo familiar. Es decir, la empresa suministra agua a 5208 habitantes del sector urbano y a 7812 habitantes del sector rural.

El servicio en la zona suburbana incluye los sectores de Santa Mónica, Guairabamba, Cocha Cano, el Pedregal y el Chorrillo; y en la zona rural al corregimiento de Cimarrones conformado por las veredas Cimarrones y Cano Bajo. En el resto del sector rural (5 corregimientos) el servicio de agua es cubierto por las asociaciones o juntas administradoras de agua, las cuales captan el agua

de fuentes hídricas diferentes a las que corresponden a este estudio (Chachagüí, 2016). A esto es importante incrementar la población flotante, estimada en la cantidad de personas que desde el municipio de Pasto están migrando hacia Chachagüí, especialmente a la zona rural, ya que por sus condiciones de clima templado es atractivo para la construcción de viviendas de veraneo, las cuales son habitadas en época de vacaciones y fines de semana

2.3.2 Concesiones de agua otorgadas para consumo humano

CORPONARIÑO informó que las dos corrientes hídricas abastecedoras de agua para el municipio corresponden a las quebradas las Helechas y la Tebaida. Actualmente las dos cuentan con la concesión de agua vencida y la empresa de servicios públicos aún no ha realizado su renovación. La Tabla 7 muestra la información general de las concesiones.

Tabla 7. Información sobre las concesiones otorgadas a EMPOCHACHAGÜÍ

Fuente hídrica	No de Resolución	Fecha	Vigencia	Ubicación	Coordenadas de captación	Caudal aforado (l/s)	Caudal concesionado (l/s)	Uso
Las Helechas	113	22 de marzo 2006	10 años	Vereda Bella Vista	Long: 77° 16' 17,8" W Lat: 1° 20' 44,5" N Altitud: 1947	25	10	Consumo humano
La Tebaida	114	22 de marzo 2006	10 años	Vereda la Tebaida	Long: 77° 15' 3,8" W Lat: 1° 19' 16,6" N Altitud: 2196	Sin aforo	50	Consumo humano

Fuente: CORPONARIÑO. Muestra la información principal establecida en las resoluciones que aprueban las concesiones de agua para EMPOCHACHAGÜÍ

2.3.3 Infraestructura de abastecimiento para consumo humano

La infraestructura para el abastecimiento que administra EMPOCHACHAGÜÍ consta de dos bocatomas de rejilla sumergida (o bocatomas de fondo), una que capta agua de la quebrada la Tebaida, y otra de las Helechas, dichas estructuras conducen el agua por tres líneas de aducción, una de la Tebaida y dos de las Helechas, las cuales llegan a tres desarenadores respectivamente. La línea de aducción de la Tebaida se encuentra en buenas condiciones, mientras que las otras dos presentan deterioro por desgaste. Los desarenadores también presentan problemas debido a la colmatación de lodos por falta de estructuras de by-pass.

Posteriormente se tienen tres líneas de conducción que llevan el agua hacia la planta de tratamiento. Las líneas presentan fugas de agua en todo su recorrido. La planta de tratamiento es de tipo convencional para filtración lenta compuesta por floculación, sedimentación, desinfección y filtración lenta. Una vez tratada el agua pasa a almacenarse en dos tanques que presentan fugas por falta de condiciones técnicas.

Las redes de distribución de agua tienen una longitud de 8.994m (Chachagüí, 2009). Según el PUEAA varios de los sectores por donde atraviesan dichas redes se encuentran en regular estado, lo que significaría pérdidas de agua. Así lo determina la Gobernación de Nariño (2010) cuyas pérdidas totales del sistema se calcularon en 58.38%.

Aclara además el documento que “de 100 unidades que se producen 58,38% se pierden por diferentes causas, incurriendo en costos elevados de operación y mantenimiento, amenazando la sostenibilidad económica de la Empresa prestadora del servicio; además de repercutir directamente sobre el grado de satisfacción del usuario y la disminución en los valores de los estándares como son continuidad y calidad del servicio. De allí la importancia de controlar y reducir el porcentaje de pérdidas” (Gobernación de Nariño, 2010)

2.3.4 Dotación de agua

El Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS Título B) a través de la resolución 2320 de 2009 establece en su numeral 2.5.2 la dotación neta por habitante en función del nivel de complejidad del sistema. Chachagüí, por el número de habitantes que posee y por su clima templado corresponde a un nivel de complejidad medio. Para este nivel, el RAS sugiere que la dotación neta corresponde a 115 l/hab/día.

Sin embargo, el consumo de agua en Chachagüí es mucho más elevado según lo planteado por la Gobernación de Nariño (2010), que hace un cálculo de la dotación neta de acuerdo a la información que fue suministrada por la empresa de servicios públicos en relación al volumen de agua facturado, generándose un valor de 149 l/hab/día, que es lo realmente consumido. En el documento no se analiza este cálculo a nivel rural.

Frente al sector rural, el PUEAA (2010) calcula que la cantidad de agua requerida corresponde a 260 l/hab/día ya que el agua entregada a la comunidad se usa además que para las actividades domésticas, para fines recreativos, agrícolas y pecuarios a menor escala en las viviendas campestres y vacacionales asentadas especialmente en el corregimiento de Cimarrones. En los controles y monitoreos realizados por CORPONARIÑO se ha evidenciado que con el agua potable se hace riego de zonas verdes y de pequeñas parcelas de frutales, pero sobre todo se usa para el llenado de piscinas, lo cual incrementa el consumo en este sector. El RAS por su parte, no establece dotaciones para el sector rural.

2.4 Caudal ecológico

La Resolución 865 de 2004 por medio de la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez establece en el numeral 3.4.2 los diferentes procedimientos para determinar el caudal ecológico. Si bien es cierto la resolución presenta diferentes metodologías para su estimación como la hidrológica, hidráulica, mínimo histórico, entre otras, todas estas requieren una serie de información con la que este estudio no cuenta, razón por la cual se utilizó la metodología denominada “porcentaje de descuento” cuyo caudal ecológico es un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente de estudio (IDEAM, 2004).

Para la obtención de los valores medios multianuales se utilizaron los datos generados con la transposición de caudales desarrollada en el numeral 3.1.1 de este estudio, con lo cual se extrajo el valor correspondiente al 25%, según lo anota la resolución. Estos resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Caudales ecológicos calculados para las tres corrientes hídricas de estudio

Fuente hídrica	Caudal mínimo medio mensual multianual (l/s)	25% del caudal mínimo medio mensual multianual (l/s)
Río Bermúdez	9.39	2.35
Quebrada la Tebaida	17.87	4.47
Quebrada las Helechas	2.36	0.59

Caudales ecológicos determinados mediante el método de porcentaje de descuento establecido en la Resolución 865 de 2004.

2.5 Modelación en WEAP

En la etapa de desarrollo del modelo se busca representar las microcuencas tomando como base la simulación de las condiciones históricas. Para llevar a cabo esta simulación se requiere ingresar al modelo datos de oferta y demanda de agua. Los componentes del balance hidrológico requeridos por el programa WEAP son evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, escorrentía sub-superficial (i.e. *interflow*) y flujo base, esto sumado a los datos climatológicos y de cobertura vegetal. Estas unidades básicas de modelación corresponden a las zonas de captación denominadas en el modelo como catchments (Centro de Cambio Global, 2009)

Con la información anterior y una vez corrido el modelo, se procede a su calibración, la cual busca que la información hidrológica generada se acerque lo más posible a la realidad de la cuenca, a partir de la comparación entre las series de datos de caudales generadas versus las modeladas, fase en la cual se aplican medidas estadísticas para ajustar el modelo para que tenga una mayor precisión. Sin embargo, para el desarrollo de este estudio no fue posible seguir este procedimiento pues además de no contar con estaciones hidro-climatológicas dentro de las microcuencas de estudio, no se cuenta con información de caudales que permitan calibrar el modelo, razón por la cual se aplicó un procedimiento simple de ingreso de información existente en relación a la demanda de agua, y con base a la oferta se aplicó el método de transposición de caudales descrito en el numeral 2.2.1 del presente documento.

2.5.1 Esquematzación

Con la cartografía generada en formato shape en ArcGis 10.1 se procedió a ingresar a WEAP los mapas de la sectorización de las microcuencas la Tebaida, las Helechas y Bermúdez, su hidrografía, ubicación de las tres captaciones y centro poblado de Chachagüí. WEAP sólo utiliza los shapes como estructura esquemática, más no realiza ningún procesamiento adicional, razón por la cual, se procedió a delinear las tres corrientes hídricas de estudio mediante la herramienta

“River”. Se creó el punto de salida de agua y los puntos de caudal ecológico en las tres corrientes hídricas abastecedoras. El software muestra el esquema que se observa en la Ilustración 1.

Es importante aclarar que si bien es cierto se creó el modelo con las tres microcuencas, en la primera corrida únicamente se activaron las Helechas y la Tebaida que son las que actualmente abastecen de agua a Chachagüí. La microcuenca Bermúdez se activa en la corrida de los escenarios cuando se analiza si el municipio requiere o no de otra fuente de abastecimiento.

La imagen permite observar el río Bermúdez, del cual el municipio tiene planeado abastecerse en un futuro cercano, y las quebradas la Tebaida y las Helechas que actualmente son las fuentes de abastecimiento de agua potable para Chachagüí. El punto rojo representa la demanda total municipal al cual confluye el agua de las tres corrientes. Los íconos púrpura representan los caudales ecológicos para cada una de las fuentes hídricas.

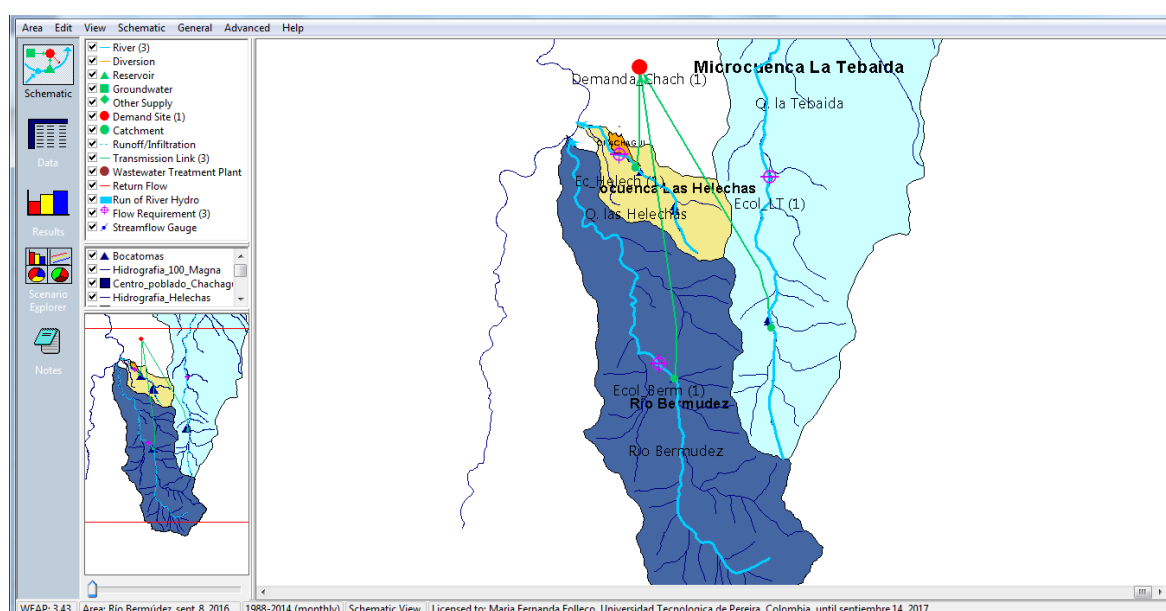


Ilustración 1. Esquema generado en WEAP de las tres microcuencas de estudio

En azul la subcuenca Bermúdez cuya fuente principal presenta la futura bocatoma para el municipio. En amarillo la cuenca las Helechas cuyo cauce principal presenta la primera bocatoma del municipio. En agua marina la microcuenca la Tebaida cuyo cauce principal presenta la segunda bocatoma del municipio. En naranja el centro poblado Chachagüí.

2.5.2 Línea base

En WEAP se crearon y alimentaron con información los siguientes “*Key Assumptions*” (supuestos básicos): oferta hídrica, población, pérdidas, concesiones y demanda. En la función “*supply and resources*” (suministros y recursos) se importaron los datos de caudales diarios de cada corriente para el periodo 1988-2014 generados por transposición de caudales. En la función “*flow requirements*” se ingresaron los datos de caudal ecológico de cada río. En la función “*demand sites*” se ingresó la demanda urbana y rural, así como las pérdidas correspondientes. Se le dio prioridad 1 tanto a la cobertura de acueducto como a la cobertura de caudal ecológico. La

información ingresada al modelo WEAP se puede observar en la Tabla 9, y el modelo en WEAP se presenta en el Anexo 4.

Tabla 9. Información ingresada a WEAP.

Ítem	Información ingresada	Fuente de los datos
Caudales medios diarios (m ³ /s)	9446 registros para cada una de las tres corrientes hídricas: Río Bermúdez y quebradas la Tebaida y las Helechas	Resultados de la transposición de caudales según cálculos realizados con la cuenca Pasto
Población con cobertura de agua potable a septiembre de 2016	Urbana: 1.302 suscriptores equivalente a 5.208 habitantes Rural: 1.953 suscriptores equivalente a 7.812 habitantes	EMPOCHACHAGÜÍ, Plan de desarrollo municipal 2016-2019
Concesiones otorgadas	La Tebaida: 50 l/s Las Helechas: 10 l/s	CORPONARIÑO, tabla de concesiones de agua en el municipio de Chachagüí.
Porcentaje de pérdidas en el sistema	Pérdidas totales del sistema: 58.38%	Gobernación de Nariño, Diagnóstico Institucional y Técnico de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo municipio de Chachagüí Nariño
Caudal ecológico	Río Bermúdez: 2.35 l/s (0.00235 m ³ /s) Q. las Helechas: 0.59 l/s (0.00059 m ³ /s) Q. la Tebaida: 4.47 l/s (0.0047 m ³ /s)	Cálculo según metodología IDEAM (2004)

Recopila la información generada tanto primaria como secundaria que fue ingresada al modelo WEAP

2.5.3 Generación de Escenarios

Ya que WEAP es una herramienta de simulación para la planeación integrada del recurso hídrico, que analiza sistemas de suministro de agua, fue importante plantearse varios escenarios que permitan determinar cuál sería la mejor estrategia para evitar un desabastecimiento de agua en Chachagüí pero manteniendo las condiciones ecológicas de las corrientes hídricas abastecedoras.

- Oferta Hídrica

Varios estudios a nivel nacional e internacional hacen claridad sobre la pérdida o reducción de los caudales de los ríos debido a diferentes factores, principalmente al cambio climático. El libro *“Sostenibilidad de los Sistemas de Producción Campesina”* muestra un análisis sobre la reducción de caudal que han sufrido varios ríos de Colombia, en especial el río Combeima en el departamento del Tolima (Mujica & Rueda, 1997), así también lo manifestó el hidrólogo Germán Poveda Jaramillo profesor e investigador de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, Sede Medellín, quien hizo énfasis en que los caudales de los ríos en Colombia han disminuido entre un 10 y un 15 por ciento a consecuencia del cambio climático, la variabilidad de las lluvias y la deforestación (Universidad Nacional de Colombia, 2015).

Por lo anterior para el caso de las quebradas la Tebaida y las Helechas, una vez obtenidos los caudales medios mensuales multianuales para el periodo de estudio, se observa que desde el año 1988 hasta el 2000 el caudal de las corrientes fue más alto que el presentado desde el año 2001 hasta 2014 por lo que se calculó la disminución del caudal promedio para estos periodos. La Tabla 10, muestra que en un periodo de 12 años se ha reducido el caudal promedio en un 15.7 por ciento. La reducción de los caudales en estas fuentes no solo puede deberse al cambio climático y a la deforestación, sino también a la quema de la vegetación, las captaciones ilegales de agua, la erosión generada por los cultivos en las zonas de nacimiento y las malas prácticas de la comunidad como la extensión de la frontera agrícola, deforestación para usos domésticos y/o comerciales, entre otras

Tabla 10. Caudales promedio de las tres corrientes hídricas, divididos en dos periodos

Fuente Hídrica	Q promedio Total años de estudio		Q promedio periodo 1988-2000		Q promedio periodo 2001-2014		Porcentaje de reducción de caudales
	(l/s)	m ³ /s	(l/s)	m ³ /s	(l/s)	m ³ /s	
Bermúdez	108	0.108	118	0.118	99	0.099	15.7%
La Tebaida	206	0.206	225	0.225	189	0.189	
Las Helechas	27	0.027	29	0.029	25	0.025	

Promedio de los caudales para el periodo 1988-2000 y 2001-2014 que corrobora la reducción de caudales en el tiempo.

Por esta razón se plantearon dos escenarios, el primero es un escenario actual orientado a mantener la oferta hídrica de la Tebaida bajo los caudales obtenidos para el periodo de estudio. El segundo es un escenario crítico de reducción de oferta en un 25% pensando en que los problemas ambientales de la cuenca empeoren. Dentro de los escenarios de oferta únicamente se trabajará con la quebrada la Tebaida, ya que las Helechas posee una cantidad de agua muy baja que no le da objetividad al estudio si se analiza la reducción de su oferta.

Tampoco se plantea incremento de la oferta, ya que de acuerdo a las fuentes consultadas, no existen estudios que demuestren que algún tipo de acción incremente el caudal de una corriente. El libro Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical establece que se estudió el cambio de caudal por reforestación en una cuenca de Colombia cuyos análisis hidrológicos evaluados por medio de curvas de regresión y correlación simple, no indicaron cambios significativos en los caudales promedios. Pero aclara, que es un tema que debe estudiarse más a fondo (Gonzalo de las Salas, 1987)

Los procesos de reforestación en las cuencas contribuyen a regular los picos de caudales, es decir, mantienen ciertos niveles de agua en época de bajas lluvias y reducen los fenómenos de inundaciones. Adicionalmente la reforestación genera beneficios como la reducción de la pérdida de suelo y de los sedimentos transportados por el agua, la recuperación de la biodiversidad, restauración del paisaje, captura de CO₂, entre otros (Alejandro Iza & Marta B. Rovere, 2006). Por lo que no podría tomarse la reforestación como una actividad que incremente los caudales.

- Dotación de agua

Debido a la cantidad de agua que oferta la quebrada la Tebaida, Chachagüí ha sido un municipio que se ha visto ampliamente beneficiado con el recurso hídrico, razón por la cual se presenta un consumo por encima del promedio planteado en el RAS en la mayoría de hogares, pero en especial en la zona rural. Es muy común que en las visitas realizadas por CORPONARIÑO para hacer seguimiento a los permisos ambientales, se encuentren usuarios lavando los vehículos, regando los jardines o sus parcelas de frutales y/o café, así como llenando las piscinas que son usadas en las casas de veraneo ubicadas en Cimarrones. Para todas estas actividades hacen uso del agua que la empresa de servicios públicos les suministra, pues no existen fuentes de agua cercanas que puedan concesionarse por la autoridad ambiental directamente a los usuarios.

Con base en estas circunstancias se plantearon dos escenarios, uno con la demanda actual para el sector urbano y rural, y otro escenario con 115 l/hab/día tal como lo establece el RAS para un sistema de complejidad medio y clima templado (MAVDT, 2009). Esta normatividad no menciona la dotación para el sector rural, sin embargo, teniendo en cuenta que en este sector el uso del agua debe estar bajo las mismas condiciones de los centros urbanos, es decir sólo orientado a actividades domésticas, se tomará la misma dotación exigida para el sector urbano (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Escenarios demanda de agua urbana y rural

Demanda	Demanda actual (l/hab/día)	Demanda RAS (l/hab/día)
Urbana	149	115
Rural	260	115*

* El RAS no establece demanda rural, por lo que se toma la máxima para sector urbano

- Crecimiento poblacional

El municipio de Chachagüí se ha caracterizado por recibir gran parte de la población de Pasto ha comprado terrenos, en especial en Cimarrones para la construcción de casas campestres y de recreación debido a la cercanía entre los dos municipios y al clima favorable que presenta.

Para determinar la rata de crecimiento del municipio se tuvo en cuenta las metodologías establecidas en el RAS, calculando el crecimiento poblacional mediante los métodos aritmético y geométrico con base en los dos últimos censos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para los años 1993 y 2005 ya que no se encontraron censos anteriores para Chachagüí. Al aplicar el método aritmético se encuentra que la rata de crecimiento para el casco urbano es del 5.7%, y con el método geométrico el resultado es del 5.5%, valores extremadamente altos que no son acordes a la realidad del municipio.

Para el sector rural, según los dos últimos censos del DANE se presenta un fenómeno de decrecimiento desde el año 1993 hasta el año 2011. La bibliografía consultada no justifica esta situación. A partir del año 2011 en adelante este fenómeno desaparece e inicia el crecimiento de la población rural pero a una baja tasa. Se aplicaron las dos metodologías RAS pero en este

caso con datos de 2011 como población inicial y 2015 como población final, lo cual generó que tanto para el método aritmético como para el geométrico se tenga una tasa de 0.17% de crecimiento. Valor que tampoco es acorde a la realidad del sector, debido al incremento poblacional ocasionado por la alta compra de predios y construcción de viviendas campestres.

Las cifras de proyección poblacional desarrolladas por el DANE no son coherentes con lo encontrado en el municipio cuyo valor de población es más alto a nivel rural que urbano, lo cual se comprueba con el número de suscriptores con que cuenta la Empresa de Servicios Públicos de Chachagüí, quienes reportan un número más alto de suscriptores a nivel rural (1953), que a nivel urbano (1302), esto sin contar que a nivel rural existen muchos corregimientos cuyo abastecimiento depende de las Juntas Administradoras de Acueducto.

Ya que no se cuenta con estudios que evidencien el incremento poblacional real en los últimos años, se trabajaron dos escenarios, el primero con el porcentaje de crecimiento poblacional para el departamento de Nariño correspondiente a 1.2% calculado por el DANE, y el segundo con un valor asumido del 2% justificado en el aumento demográfico debido a la migración de los estratos altos desde la ciudad de Pasto (Ver Tabla 12). No se tuvo en cuenta los cálculos según procedimiento RAS debido a las inconsistencias en los resultados explicadas en el segundo párrafo de este numeral

Tabla 12. Escenarios de crecimiento poblacional

Tipo de Población	Crecimiento según DANE para el Departamento	Crecimiento estimado por inmigración de población
Urbana	1.2%	2%
Rural	1.2%	2%

Se plantean escenarios similares de crecimiento poblacional para el área urbana y rural

- Pérdidas en el Sistema

El título B, numeral 2.6 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico 2010 establece las pérdidas máximas aceptadas en el sistema de acueducto. Define las pérdidas como “la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen de agua entregado a la población y que ha sido medido en las acometidas domiciliarias del municipio”(MAVDT, 2010b)

Por lo anterior el RAS 2010 menciona que el porcentaje de pérdidas comerciales admisibles en la red de distribución debe ser de máximo 7%, y que para un sistema de complejidad media las pérdidas totales no deben superar el 25%. Teniendo en cuenta esto se plantean tres escenarios, uno con tendencia de pérdidas actuales, otro con reducción de pérdidas según porcentaje máximo exigido por el RAS, y un tercer escenario asumiendo unas pérdidas máximas del 35%, ya que si bien es cierto no cumpliría con la norma (ver Tabla 13), debe tenerse en cuenta los altos costos que involucra la reducción de pérdidas para estas pequeñas empresas.

Tabla 13. Escenarios de reducción de pérdidas

Tipo de pérdidas	Pérdidas actuales	Pérdidas máximas aceptadas según RAS para nivel de complejidad medio	Reducción de pérdidas con base a los recursos de la empresa
En el sistema	58.38%	25%	35%

Se plantean tres escenarios de pérdidas, el primero con las actuales, el segundo bajo norma RAS y el tercero con base a la disponibilidad de recursos de la E.S.P

- Activación concesión río Bermúdez

Parte de la importancia de este estudio es analizar si el municipio requiere o no tomar agua de una tercera fuente hídrica, para lo cual se tuvo en cuenta el río Bermúdez, el cual es la corriente más cercana al municipio; posee condiciones de calidad buenas, ya que en el punto donde el municipio busca implementar la bocatoma no existe afectación por vertimientos cercanos evidenciado en los monitoreos realizados por CORPONARIÑO en esta zona del río; y presenta caudales de agua óptimos para complementar el agua que requiere el municipio (ver Tabla 14). Por lo tanto, se plantearon dos escenarios; el primero sin la activación de una tercera concesión, y otro con una concesión de agua de 30 l/s extraída del río Bermúdez (ver Tabla 14), aclarando que dicha concesión iría orientada a complementar el agua necesaria para el abastecimiento, más no a ser la única fuente de captación.

Tabla 14. Escenarios con activación de una tercera concesión

Tercera concesión	Concesión actual	Futura concesión
Río Bermúdez	0 l/s	30 l/s

Escenario basado en no activar la concesión Bermúdez, y en activarla con un caudal considerable para la población

- Concesión la Tebaida

CORPONARIÑO otorgó en el año 2005 una concesión de la quebrada la Tebaida por 50 l/s con uso exclusivo para consumo humano y actividades domésticas, sin embargo en la visita realizada se observó que una vez captada el agua, el remanente era mínimo, razón por la cual se supondría que se está extrayendo más agua de la concesionada.

Se plantearon entonces tres escenarios, el primero tendencial con la concesión autorizada por CORPONARIÑO; el segundo asumiendo que se está captando un 25% más de agua, es decir, 62.5 l/s; y un tercer escenario considerando un incremento del 50% sobre la concesión inicialmente otorgada, es decir 75 l/s (ver Tabla 15)

Tabla 15. Escenarios con incremento de concesión la Tebaida

Concesión	Concesión actual	Concesión con incremento del 25%	Concesión con incremento del 50%
Quebrada la Tebaida	50 l/s	62.5 l/s	75 l/s

Se presentan escenarios con variaciones en la concesión otorgada por la Corporación

2.5.4 Simulación de escenarios en el modelo

WEAP permite simular diversos escenarios a través del uso de un “script” automatizándolo a través de su interfaz de programación de aplicaciones con la cual se realiza una secuencia de acciones. Para tal fin, en el programa Excel se ingresan los escenarios en una hoja diferente, y este se automatiza en WEAP a través de la herramienta “scripting”, la cual se sincroniza con la herramienta “macros” de Excel, en la cual se ingresa la programación respectiva. En este estudio se analizaron 288 escenarios basados en la combinación de los supuestos establecidos en la Tabla 16.

Tabla 16. Resumen de escenarios planteados.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Oferta quebrada la Tebaida	Tendencial sin reducción oferta	Reducción del 25% de la oferta	NA
Población total	Incremento poblacional 1.2% según DANE	Incremento poblacional del 2%	NA
Pérdidas del sistema	Tendencial sin reducción de pérdidas	Pérdidas del 35%	Pérdidas del 25%
Consumo de agua urbano	Tendencial sin reducción en el consumo	Reducción del consumo según RAS	NA
Consumo de agua urbano	Tendencial sin reducción en el consumo	Reducción del consumo según RAS	NA
Concesión del río Bermúdez	Sin uso de agua del río Bermúdez	Con uso de agua del río Bermúdez	NA
Concesión quebrada la Tebaida	Uso de la concesión actual de 50 l/s	Aumento de la concesión en un 25%	Aumento de la concesión en un 50%

La información de los escenarios se ingresó al programa Excel y con ayuda de la herramienta “macros” fue posible programar las corridas en sincronización con WEAP. Los 288 escenarios se corrieron para los 25 años siguientes a partir del 2015, es decir, hasta el 2040 obteniéndose un total de 93.313 datos a ser analizados.

WEAP permite graficar una serie de escenarios, dependiendo del estudio que se esté realizando, los cuales pueden incluir: demanda, recursos y suministros, calidad de agua, aspectos financieros y datos básicos de entrada. Estos a su vez se subdividen en otros, de los cuales pueden ser seleccionados sólo algunos del interés del modelador. Esta selección se incluye en la herramienta “favoritos”. Para que la corrida de WEAP sea correcta a través del Script de Excel es necesario

seleccionar en WEAP los gráficos “favoritos”. Para el caso de este estudio, los “favoritos” tenidos en cuenta fueron: cobertura de la demanda, cobertura del caudal ecológico de Bermúdez y la Tebaida, y caudales de las dos corrientes antes y después de la extracción de agua. Dentro de los escenarios no se tuvo en cuenta la quebrada las Helechas por ser una fuente hídrica muy pequeña cuyo caudal aportante es poco significativo para el abastecimiento.

El modelo generó los escenarios (288 en total) con base a los “favoritos” seleccionados, cuyos datos se cargaron en el archivo Excel (ver Ilustración 2, recuadro verde), mismo en el cual fueron corridos los “macros”. Aquí se crearon tres columnas adicionales (ver Ilustración 2, recuadro púrpura) a las que se les denominó “fallos”, los cuales son una condición dada de cada cobertura en relación a si es menor que 100% se marque como uno (1), o de lo contrario se marque como cero (0), a través de la fórmula de condición en el programa Excel.

	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
	Concesion_Bermudez	Concesion_Tebaida	xxx	Fecha	Cobertura_Demanda	Cobertura_Q_Eco_Bermudez	Cobertura_Q_Eco_La_Tebaida	Q_Bermudez_Antes_Captacion	Q_Bermudez_Despues_Captacion	Q_La_Tebaida_Antes_Captacion	Q_La_Tebaida_Despues_Captacion	Fallos_Acueducto	Fallos_Qec_Bermudez	Fallos_Qec_Tebaida		
1																
2	nacion_ActActual_50_ips			01/01/2014	76.861	100	100	0.092226	0.092226	0.17554	0.12554	1	0	0		
3	nacion_ActActual_50_ips			01/02/2014	66.752	100	66.9	0.025759	0.025759	0.049029	0.0029891	1	0	1		
4	nacion_ActActual_50_ips			01/03/2014	76.861	100	100	0.046326	0.046326	0.088177	0.038177	1	0	0		
5	nacion_ActActual_50_ips			01/04/2014	75.893	100	100	0.038664	0.038664	0.073593	0.023593	1	0	0		
6	nacion_ActActual_50_ips			01/05/2014	76.861	100	100	0.12642	0.12642	0.24063	0.19063	1	0	0		
7	nacion_ActActual_50_ips			01/06/2014	76.861	100	100	0.16631	0.16631	0.31655	0.26655	1	0	0		
8	nacion_ActActual_50_ips			01/07/2014	76.861	100	100	0.16927	0.16927	0.32218	0.27218	1	0	0		
9	nacion_ActActual_50_ips			01/08/2014	76.861	100	100	0.089906	0.089906	0.17112	0.12112	1	0	0		
10	nacion_ActActual_50_ips			01/09/2014	76.861	100	100	0.04298	0.04298	0.081806	0.031806	1	0	0		
11	nacion_ActActual_50_ips			01/10/2014	76.861	100	100	0.048477	0.048477	0.09227	0.04227	1	0	0		
12	nacion_ActActual_50_ips			01/11/2014	76.861	100	100	0.099215	0.099215	0.18884	0.13884	1	0	0		
13	nacion_ActActual_50_ips			01/12/2014	76.861	100	100	0.098803	0.098803	0.18806	0.13806	1	0	0		
14	nacion_ActActual_50_ips			01/01/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		
15	nacion_ActActual_50_ips			01/02/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		
16	nacion_ActActual_50_ips			01/03/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		
17	nacion_ActActual_50_ips			01/04/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		
18	nacion_ActActual_50_ips			01/05/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		
19	nacion_ActActual_50_ips			01/06/2015	100	100	100	0.1313	0.1023	0.24991	0.19991	0	0	0		

Ilustración 2. Script Excel con escenarios generados

La imagen muestra los resultados generados en “script”, una vez simulados los escenarios en WEAP

Los “fallos” generados en Excel sirvieron para graficar las coberturas tanto de acueducto como de caudal ecológico en el programa “Tableau”, que es una herramienta de análisis estadístico que ayuda a la toma de decisiones, la cual está basada en el mismo sistema operativo que Excel y permite realizar diferentes combinaciones de escenarios de manera gráfica, facilitando el análisis de los resultados.

En el programa estadístico Tableau se crearon tres campos calculados, uno para cada tipo de vulnerabilidad (de la cobertura de acueducto, del caudal ecológico Tebaida y del caudal ecológico Bermúdez). Mediante este cálculo, el programa generó un porcentaje sobre los fallos calculados inicialmente en excel, lo cual arrojó una tabla con los porcentajes de vulnerabilidad para cobertura de acueducto y cobertura de caudal ecológico para las dos fuentes analizadas (río Bermúdez y quebrada la Tebaida). El Script en Excel y las gráficas en Tableau se presentan en el Anexo 5.

3. RESULTADOS

3.1 Línea Base

3.1.1 Oferta hídrica

Con la transposición de caudales se puede observar en WEAP el comportamiento que tuvieron los caudales medios mensuales desde el año 1988 hasta el 2014 de las tres corrientes de estudio. En el Gráfico 2 se observa que en entre octubre de 1999 y mayo del 2000 se presentó el pico más alto de caudal, mientras que entre mayo de 2009 y septiembre de 2010 las corrientes hídricas quedaron con los mínimos niveles de agua. Los resultados de la transposición de caudales se pueden observar en el Anexo 2.

Otro aspecto que se puede observar es que la quebrada las Helechas posee la menor cantidad de agua debido a la reducida área de la cuenca. En épocas de sequía o estiaje, las tres corrientes bajan ostensiblemente el caudal, sin embargo, la única que llega a niveles de cero es las Helechas, cuyo caudal promedio rodea los 30 l/s ($0.03 \text{ m}^3/\text{s}$). El río Bermúdez por su parte presenta un caudal promedio de 100 l/s ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$), y la Tebaida de 200 l/s ($0.2 \text{ m}^3/\text{s}$)

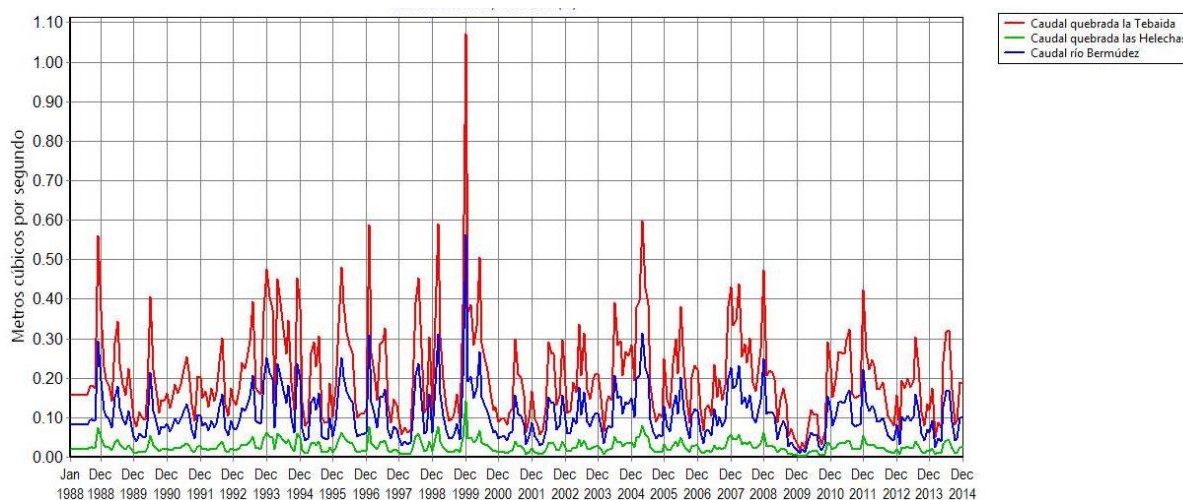


Gráfico 2. Comportamiento de caudales de agua en las tres corrientes de estudio en m^3/s

En azul el río Bermúdez. En rojo la quebrada la Tebaida y en verde la quebrada las Helechas. En el eje Y se presentan los valores de caudales siendo mínimo cero y máximo 1100 l/s ($1.10 \text{ m}^3/\text{s}$), y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014

Es importante también tener en cuenta el comportamiento mensual del caudal. El Gráfico 3 muestra este comportamiento, donde se observa que los niveles de agua se mantienen en promedio entre los meses de enero a mayo, me a partir del cual empieza a subir hasta llegar a su pico en junio, para iniciar un descenso significativo hasta octubre, donde nuevamente los caudales vuelven a subir hasta diciembre.



Gráfico 3. Caudal medio mensual multianual en las tres corrientes hídricas de estudio

En rojo el caudal de la quebrada la Tebaida, en azul del río Bermúdez y en verde de la quebrada las Helechas. En el eje Y se presentan los valores de caudales siendo mínimo cero y máximo 270 l/s ($0.27 \text{ m}^3/\text{s}$), y en el eje X los meses de enero a diciembre.

3.1.2 Demanda de agua doméstica urbana

Los gráficos 4 y 5 muestran el caudal remanente en la quebrada la Tebaida y las Helechas respectivamente una vez extraída la cantidad de agua concesionada por la Corporación. En la Tebaida debido al área de la cuenca que a su vez se traduce en un mayor caudal, se observa que para los periodos septiembre de 1997 - abril de 1998 y enero de 2002 - abril de 2002 la corriente queda con un caudal promedio de 1.5 l/s ($0.015 \text{ m}^3/\text{s}$). Sin embargo, el periodo más crítico es septiembre de 2009-octubre de 2010 donde la corriente queda con caudales de hasta 0.1 l/s ($0.001 \text{ m}^3/\text{s}$), al igual que en febrero de 2014

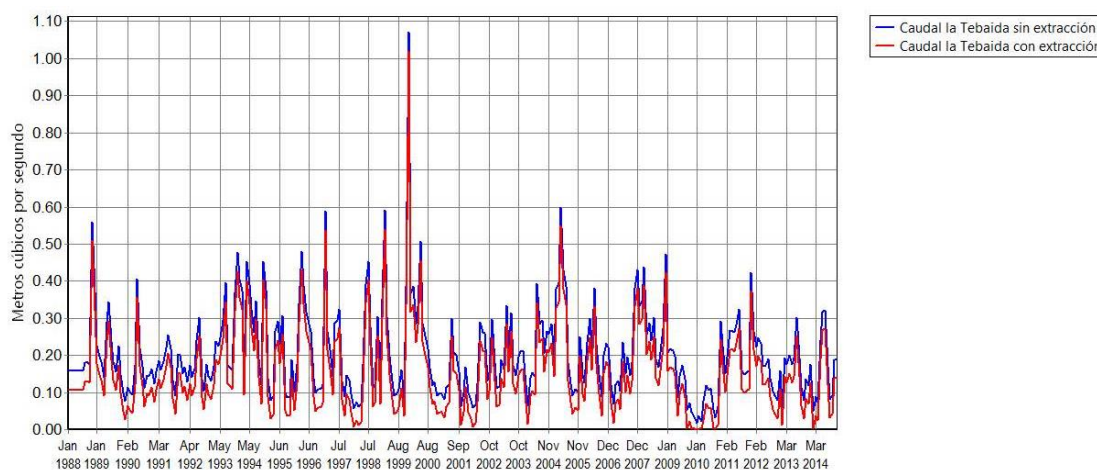


Gráfico 4. Comportamiento del caudal de la quebrada la Tebaida con extracción de agua

En azul el caudal de agua inicial. En rojo el caudal de agua una vez extraída la requerida para abastecimiento del municipio. En el eje Y se presentan los valores de caudales siendo mínimo cero y máximo 1100 l/s ($1.10 \text{ m}^3/\text{s}$), y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014

Para la quebrada las Helechas, como lo muestra el Gráfico 5, de los 25 años incluidos en este estudio, en diferentes épocas (de casi 10 años) la corriente bajó sus niveles de agua ostensiblemente una vez extraída la necesaria para el abastecimiento. Se observa que adicional a los periodos de sequía que presenta la quebrada la Tebaida, también están los periodos diciembre de 1989 – abril de 1990 cuyo caudal promedio fue de 0.9 l/s (0.0009 m³/s), para el año 1995 en el lapso febrero-marzo y agosto-octubre se presentan caudales de 0.8 (0.0008 m³/s) en promedio, al igual que para diciembre de 2000 - marzo de 2001. Sin embargo, existen meses en que los caudales estuvieron por debajo de 0.2 l/s (0.0002 m³/s)

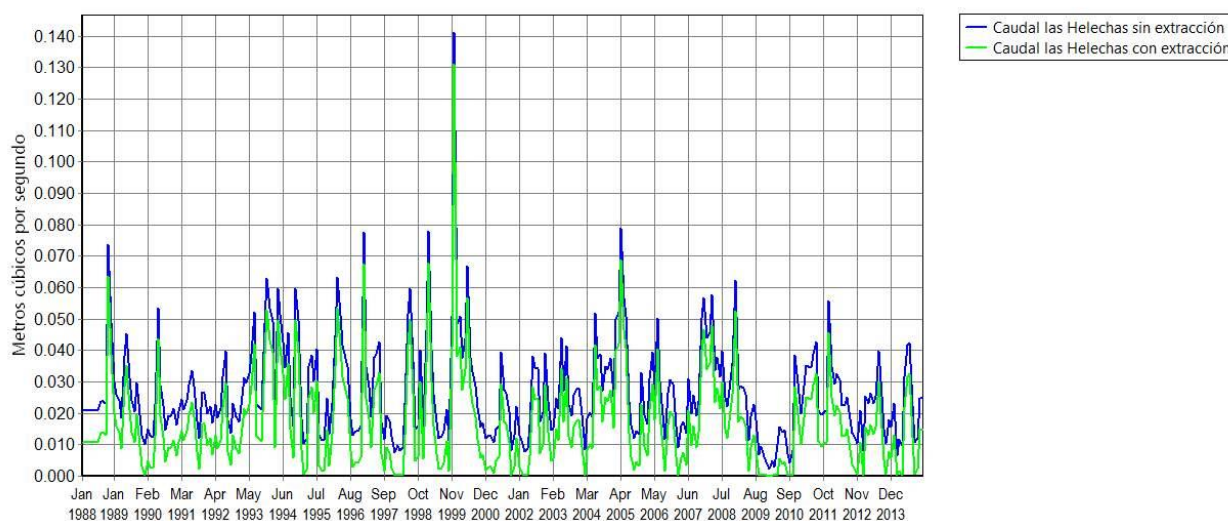


Gráfico 5. Comportamiento del caudal de la quebrada las Helechas con extracción de agua

En azul el caudal de agua inicial. En verde el caudal de agua una vez extraída la requerida para abastecimiento del municipio. En el eje Y se presentan los valores de caudales siendo mínimo cero y máximo 145 l/s (0.145m³/s), y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014

Lo anterior es coherente con lo evidenciado en el Gráfico 6, el cual advierte la cantidad de agua extraída de las dos corrientes según las concesión otorgada. Es así que para las épocas donde se presentó escasez (años 2009, 2010 y parte del 2014), las fuentes no alcanzaron a suministrar el agua requerida. Esto es más acentuado en la quebrada las Helechas que al poseer bajos caudales, la cantidad de agua no fue la suficiente para el suministro.

Haciendo una relación oferta-demanda, en el Gráfico 7 se observa que existe una baja cobertura de agua para la población, en promedio del 76%. El historial muestra que entre septiembre de 2009 y octubre de 2010 la cobertura llegó a bajar hasta el 25%, lo cual se traduce en un desabastecimiento. En estas mismas épocas, según lo señala el Gráfico 2, se presentaron los caudales más bajos registrados en los últimos 25 años para las tres corrientes hídricas.

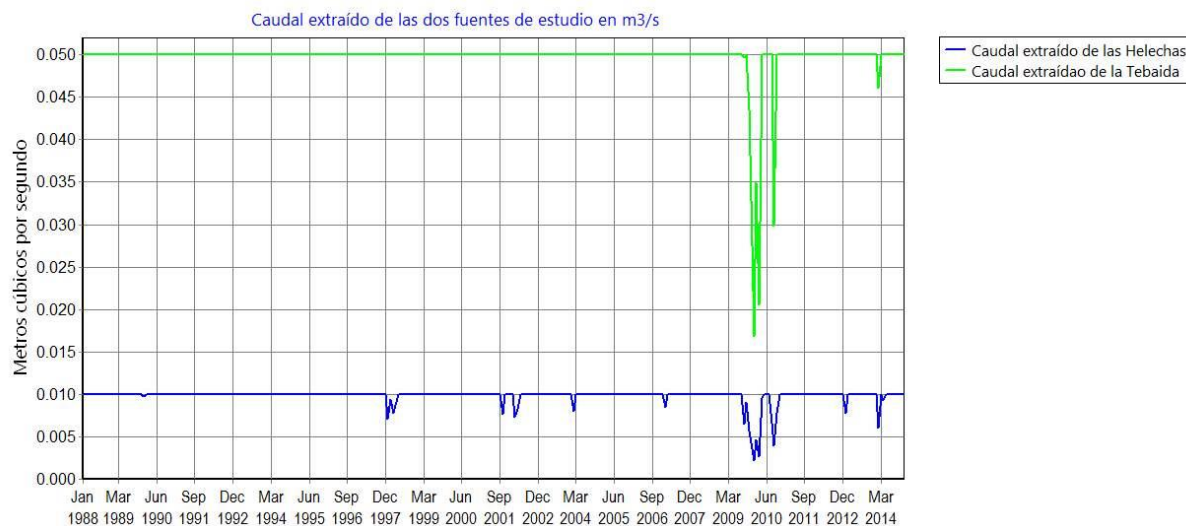


Gráfico 6. Extracción de agua en las dos corrientes hídricas abastecedoras

En azul el agua extraída de la quebrada la Tebaida. En amarillo el agua extraída de la quebrada las Helechas. En el eje Y se presentan los valores de caudales, y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014.

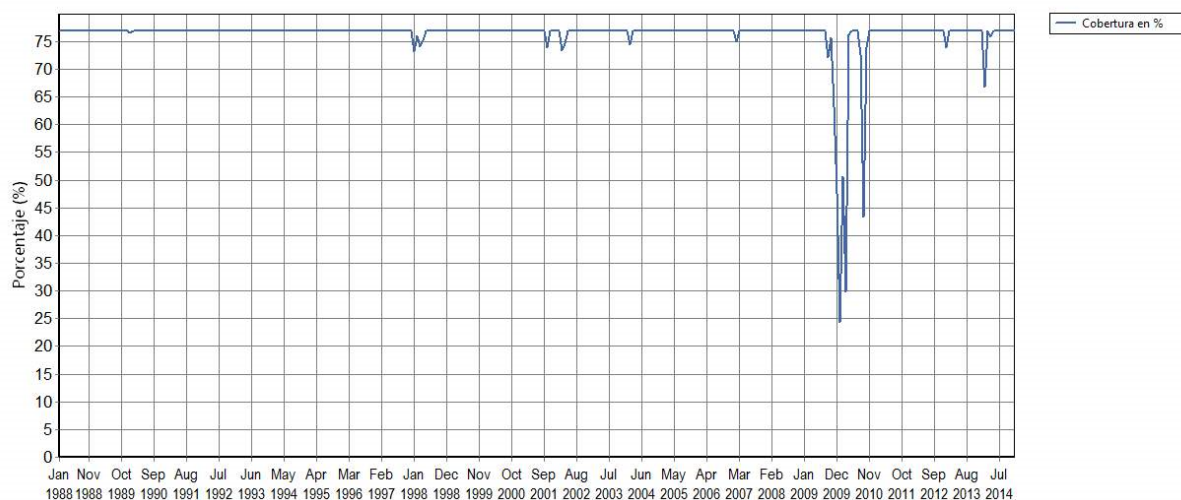


Gráfico 7. Porcentaje de cobertura de la demanda para el municipio de Chachagüí.

En el eje Y se presentan los valores en porcentaje, y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014.

3.1.3 Cudal ecológico

El Gráfico 8 muestra que no se cumple con este parámetro para algunos periodos, en especial por la quebrada las Helechas que durante varias épocas durante los 25 años no tuvo agua suficiente para mantener este criterio, mientras que para la Tebaida solo en algunos meses del 2009, 2010 y 2014 cuyos años fueron de fuerte periodo seco, no fue posible cumplir con el caudal

ecológico. Para el río Bermúdez el gráfico muestra que se mantuvo un 100% de dicho caudal debido a que esta fuente aún no se ha activado en el modelo, es decir que el municipio no hace extracción de agua por el momento.

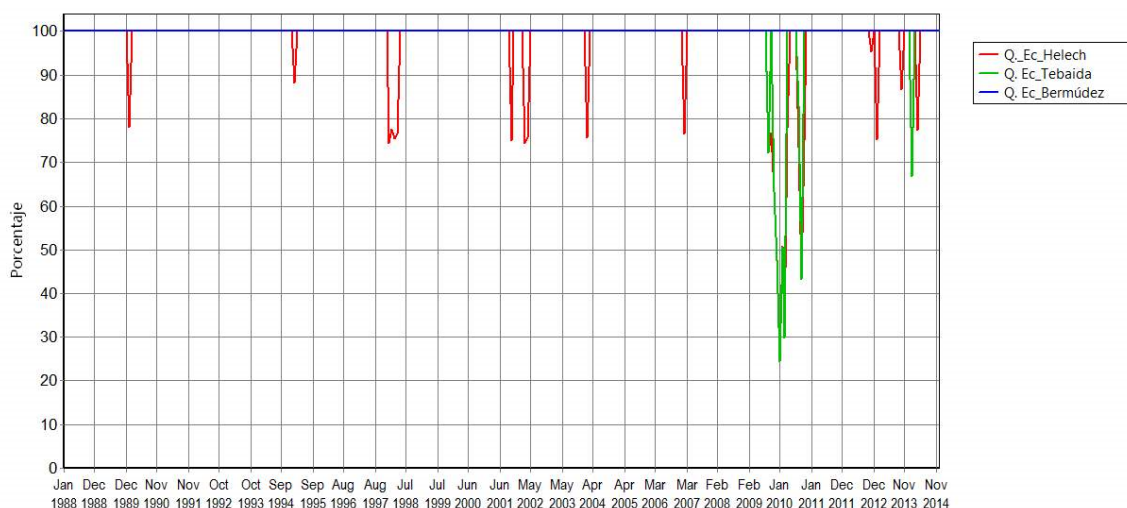


Gráfico 8. Porcentaje de cobertura de caudal ecológico para las corrientes de estudio

En rojo quebrada las Helechas. En verde quebrada la Tebaida. En azul río Bermúdez. En el eje Y se presentan los valores en porcentaje, y en el eje X el tiempo desde 1988 hasta 2014.

3.2 Escenarios

Una vez corridos los escenarios a través de Script en sincronización con WEAP se generaron 288 alternativas, las cuales se analizaron en el programa estadístico Tableau, que a través de diversas gráficas mostró las posibles opciones, de las cuales en este estudio únicamente se mencionarán las críticas, óptimas e ideales para cada caso según corresponda.

3.2.1 Cobertura de la demanda

- Escenario tendencial

En cuanto a la cobertura de la demanda bajo el escenario tendencial dado por las condiciones actuales que se establecen en la Tabla 17, la cobertura inicial de acueducto sería del 76% tal como lo modeló WEAP en la línea base, y a partir de 2014 se empieza a generar un decaimiento en dicha cobertura, debida al incremento de la población hasta finalizar con un 56,2% de cobertura en el año 2040.

Tabla 17. Condiciones dadas para el escenario tendencial

Pérdidas actuales (%)	Oferta la Tebaida	Concesión la Tebaida (l/s)	Concesión las Helechas (l/s)	Consumo urbano (l/hab/día)	Consumo rural (l/hab/día)	Crecimiento poblacional anual (%)
58.38	Actual	50	10	149	260	1.2

Condiciones actuales del abastecimiento de Chachagüí

Sin embargo, si bajo las condiciones mencionadas se activa una tercera concesión, que en este caso sería del río Bermúdez con una oferta doméstica de 30 l/s (0.03 m³/s), la cobertura de acueducto se mantendría en el 100% únicamente hasta el año 2024, y posteriormente también iniciaría un descenso hasta finalizar en una cobertura del 84,37% en el año 2040. Adicionalmente las coberturas en los años 2035 a 2037 bajarían ostensiblemente de volverse a presentar un fenómeno climático como el presentado en los años 2009 y 2010 (Ver Gráfico 9)

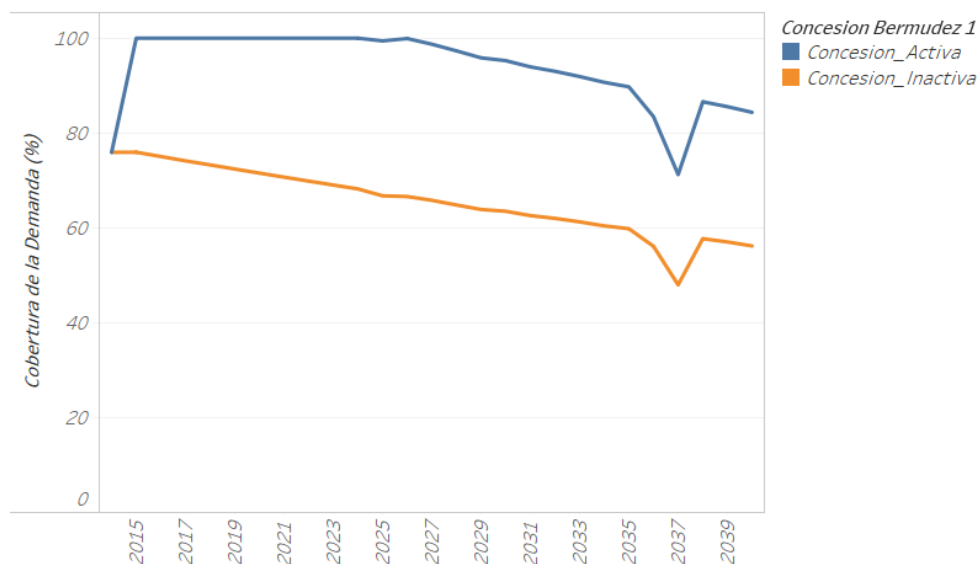


Gráfico 9. Cobertura de acueducto bajo un escenario tendencial

En azul comportamiento de la cobertura con la concesión Bermúdez activa y en naranja con la concesión inactiva bajo la situación actual presentada en la tabla 17. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040.

- Escenario Crítico

Se plantea un escenario crítico donde se mantengan las pérdidas actuales del sistema, los consumos de agua continúen igual para el sector urbano y rural, concesión las Helechas de 10 l/s, pero que la oferta de agua de la Tebaida disminuya en un 25% y la tasa de crecimiento poblacional sea del 2% anual, tal como se muestra en Tabla 18

Tabla 18. Condiciones dadas para un escenario crítico

Pérdidas actuales (%)	Oferta la Tebaida	Concesión la Tebaida (l/s)	Concesión las Helechas (l/s)	Consumo urbano (l/hab/día)	Consumo rural (l/hab/día)	Crecimiento poblacional anual (%)
58.38	Reduce un 25%	50	10	149	260	2

Condiciones bajo las cuales el abastecimiento empeoraría

Bajo estas condiciones, en el Gráfico 10, se observa cómo la curva de la cobertura es más pronunciada que el anterior escenario. La cobertura únicamente con las dos corrientes hídricas que actualmente abastecen al municipio inicia en 76% para el año 2014, pero al año 2040 finaliza

en 45,4%, mientras que si se activa la tercera concesión del río Bermúdez con 30 l/s, habría una cobertura del 100% que se mantendría únicamente hasta el año 2021, a partir de cuando empieza a descender, hasta finalizar en 68,3% en el último año de proyección.

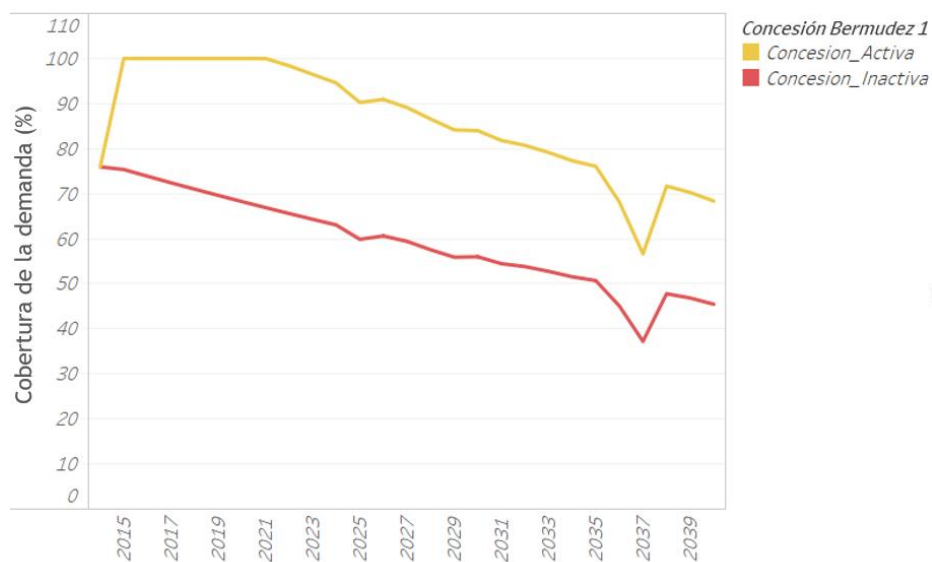


Gráfico 10. Cobertura de acueducto bajo un escenario crítico.

En amarillo el comportamiento de la cobertura de acueducto con la concesión Bermúdez activa y en rojo con la concesión inactiva bajo las condiciones críticas presentadas en la tabla 18. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040

- Escenario ideal

Se plantea un escenario ideal basado en mantener la oferta hídrica de las dos fuentes abastecedoras, y dar cumplimiento total a la normatividad RAS, es decir, reducir las pérdidas a un 25%, reducir el consumo de agua en el sector urbano y rural de acuerdo a los límites permitidos en la resolución 2320 de 2009 a 115 l/hab/día y captación del caudal exclusivamente autorizada por CORPONARIÑO, tal como se plantea en la Tabla 19.

Tabla 19. Condiciones dadas para un escenario ideal

Pérdidas (%)	Oferta la Tebaida	Concesión la Tebaida (l/s)	Concesión las Helechas (l/s)	Consumo urbano (l/hab/día)	Consumo rural (l/hab/día)	Crecimiento poblacional anual (%)
25	Actual	50	10	115	115	1.2

Condiciones ideales bajo las cuales el abastecimiento sería el óptimo

Bajo estas condiciones el Gráfico 11 muestra que para los años de proyección se mantiene la cobertura de acueducto en un 100% sin necesitar una tercera fuente hídrica. Sólo para los años que se presentan condiciones de fenómenos extremos la cobertura bajaría a un mínimo de 93%.

Incluso entregando agua del río Bermúdez en esta época seca no se alcanzaría la cobertura total, pero sí incrementaría al 98%

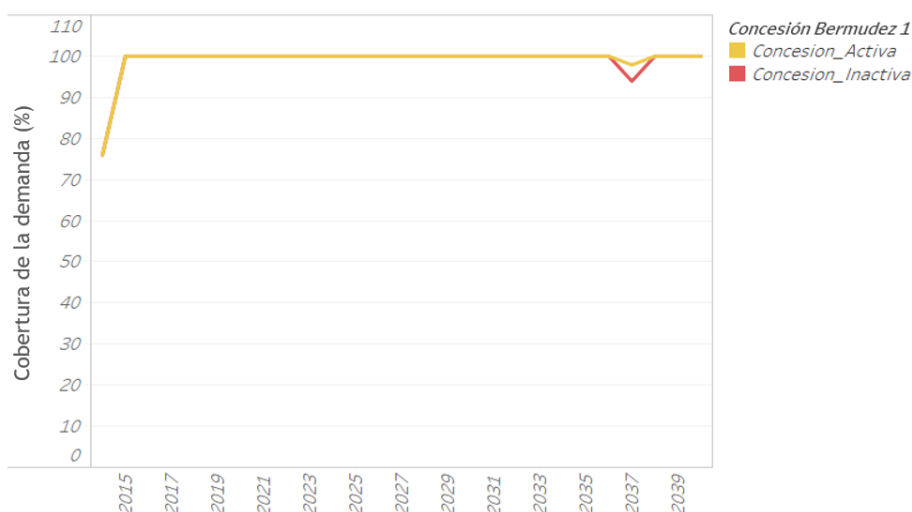


Gráfico 11. Cobertura de acueducto bajo un escenario ideal

En amarillo el comportamiento de la cobertura con la concesión Bermúdez activa y en rojo con la concesión inactiva bajo las condiciones ideales presentadas en la tabla 19. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040

- Escenario factible

Entre todas las posibilidades de gestión municipal se seleccionó un escenario factible dado por las condiciones planteadas en la Tabla 20: mantener la oferta de las dos corrientes abastecedoras; captar los caudales autorizados por la CORPPONARIÑO; disminuir el consumo de agua según resolución 2320/09 únicamente para el casco urbano, dejando los actuales consumos que tiene el sector rural, reduciendo las pérdidas solo hasta un 35%; y buscando que el incremento poblacional se mantenga en un máximo del 1.2% como lo ha establecido el DANE para el Departamento. Esta última acción se podría lograr a través de la expedición de normas municipales que reorienten el actual uso de suelo, teniendo en cuenta la escasez de agua que se presenta, pues como se mencionó anteriormente, el crecimiento se presenta por la migración de personas desde el municipio de Pasto.

Tabla 20. Condiciones dadas para un escenario factible

Pérdidas (%)	Oferta la Tebaida	Concesión la Tebaida (l/s)	Concesión las Helechas (l/s)	Consumo urbano (l/hab/día)	Consumo rural (l/hab/día)	Crecimiento poblacional anual (%)
35%	Actual	50	10	115	260	1.2

Condiciones factibles a implementar por la empresa de servicios públicos, bajo las cuales el abastecimiento sería el adecuado

Bajo estas condiciones, el Gráfico 12, permite observar que se tendría una cobertura del 100% hasta el año 2035. Posteriormente bajaría la cobertura hasta finalizar con un 93,6% en el año 2040. En el caso de activar la concesión Bermúdez, esta se requeriría únicamente a partir del año 2035 para mantener una cobertura total sobre la población abastecida, dejando claro que en épocas de extrema sequía no se alcanzaría bajo ninguna condición una cobertura del 100%

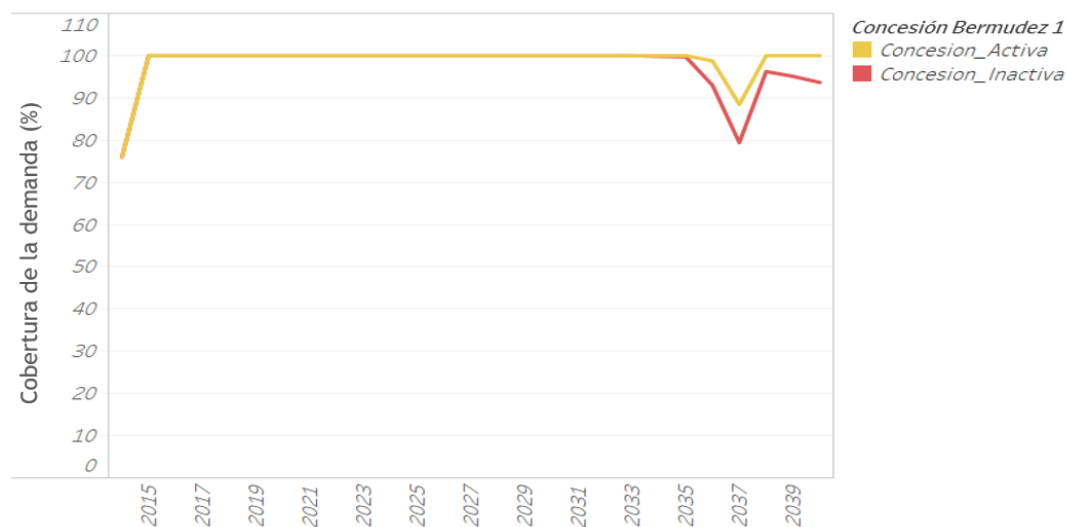


Gráfico 12. Cobertura de acueducto bajo un escenario factible

En amarillo el comportamiento de la cobertura de la demanda con la concesión Bermúdez activa y en rojo con la concesión inactiva bajo las condiciones factibles presentadas en la tabla 20, que pueden ser cumplidas inicialmente por la empresa de servicios públicos. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040

- Vulnerabilidad en la cobertura de acueducto

La Tabla 21, generada en “Tableau” contiene en la parte de arriba las estrategias dadas con la activación o no de la concesión Bermúdez, las pérdidas y la concesión de la Tebaida. En las filas presenta las incertidumbres dadas por la población, los consumos rural y urbano, y la oferta de la quebrada la Tebaida. Se generaron 18 columnas y 16 filas que al combinarse representan el porcentaje de la vulnerabilidad en la cobertura de acueducto para los 288 escenarios. La tabla genera los resultados en una escala de colores que va desde verde, pasando por amarillo y naranja hasta llegar a rojo. El verde representa los mínimos porcentajes de vulnerabilidad, el color rojo los máximos, y el naranja y amarillo los medios.

La mitad de la tabla, en su parte izquierda (9 primeras columnas) presenta la vulnerabilidad en la cobertura dada con la concesión Bermúdez activa, la cual permite observar que en un gran porcentaje de combinación de escenarios la vulnerabilidad es baja, y solo existen ocho escenarios con una vulnerabilidad media. Mientras que en la mitad derecha de la tabla (9 últimas columnas), es decir, sin contar con una tercera concesión, se observa que existen 18 escenarios que generan una vulnerabilidad crítica y 14 con una vulnerabilidad media.

En la Tabla 21, en el cuadrante columna 9 y 10, y filas 1 a 4 está planteado el escenario actual, el cual deja claro que la vulnerabilidad en este momento es crítica, pues se demarcan todas las casillas con color rojo. Más aún sucede en los cuadrantes donde se plantea un peor escenario que el actual (columnas 9 y 10, filas 10 a 12). Sin embargo, existen muchos planteamientos donde aún sin contar con el río Bermúdez puede mantenerse una cobertura de acueducto adecuada.

Los valores más bajos de vulnerabilidad sin activación de una tercera concesión se dan cuando se reducen las pérdidas. La Tabla 21 permite observar en las columnas 13 a 15 que si se cumple con las pérdidas máximas exigidas en RAS (25%) la vulnerabilidad en la mayor parte de escenarios es baja, es decir, sin importar si la población tenga un alto crecimiento, o el consumo siga siendo excesivo, se garantizará la cobertura. Sin embargo, teniendo en cuenta que los costos para reducir pérdidas a este nivel podrían ser significativos, aún reduciendo las pérdidas a 35% (columnas 16 a 19) la vulnerabilidad podría continuar siendo baja siempre y cuando se combine como mínimo con la reducción del consumo de agua en el sector rural (bajando el consumo de 260 a 115 l/hab/día), según se observa en las filas 5 a 8. Esto de igual manera, sin importar si la población continúa su incremento y el sector urbano mantiene los consumos actuales.

Tabla 21. Vulnerabilidad de la cobertura de acueducto

Población Total	Consumo Rural	Consumo Urbano	Oferta Tebaida 1	Concesión Bermúdez 1 / Pérdidas Distrib / Concesión la Tebaida																		
				Concesión Activa									Concesión Inactiva									
				Pérdidas Actuales 58.38%			RAS_25%			Reducc_35%			Pérdidas Actuales 58.38%			RAS_25%			Reducc_35%			
Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)	Conces Actual	Conces 25%(+)	Conces 50%(+)		
Incremento DANE 1.2%	Consumo Actual 149L	Consumo Actual 260L	Oferta (-25%)	60,19	22,53	11,11	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,56	100,00	100,00	75,31	8,33	8,33	8,33	46,30	10,49	10,4	
			Oferta Actual	60,19	20,37	7,41	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	100,00	100,00	74,07	6,48	6,17	6,17	45,68	6,79	6,7	
	RAS_115	Oferta (-25%)	38,89	10,19	10,19	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,56	100,00	100,00	60,49	7,41	7,41	7,41	28,09	9,26	9,2		
		Oferta Actual	37,65	6,79	6,79	4,94	4,94	4,94	5,25	5,25	5,25	100,00	100,00	56,79	5,56	5,56	5,56	26,23	6,17	6,1		
	Consumo Actual 149L	RAS_115	Oferta (-25%)	5,56	5,56	5,56	4,32	4,32	4,32	4,63	4,63	4,63	24,38	9,26	9,26	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,5	
			Oferta Actual	5,25	5,25	5,25	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	22,53	6,17	6,17	4,63	4,63	4,63	5,25	5,25	5,2	
	RAS_115	Oferta (-25%)	5,25	5,25	5,25	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	7,72	7,72	7,72	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,2		
		Oferta Actual	5,25	5,25	5,25	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	5,56	5,56	5,56	4,32	4,32	4,32	4,94	4,94	4,9		
	Incremento población 2%	Consumo Actual 149L	Consumo Actual 260L	Oferta (-25%)	74,07	53,09	33,33	5,86	5,86	5,86	6,48	6,48	6,48	100,00	100,00	86,73	42,28	10,19	10,19	66,67	36,11	12,0
				Oferta Actual	74,07	52,47	31,48	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,56	100,00	100,00	85,49	41,36	7,10	6,79	66,67	34,57	8,6
RAS_115		Oferta (-25%)	62,96	39,81	23,77	5,56	5,56	5,56	6,17	6,17	6,17	100,00	100,00	75,00	31,48	10,19	10,19	56,48	22,53	11,1		
		Oferta Actual	62,96	38,27	21,30	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,56	100,00	100,00	74,07	29,63	6,48	6,48	56,17	20,06	7,1		
Consumo Actual 149L		RAS_115	Oferta (-25%)	6,17	6,17	6,17	4,63	4,63	4,63	5,25	5,25	5,25	56,48	22,53	11,11	5,56	5,56	5,56	6,48	6,48	6,4	
			Oferta Actual	5,56	5,56	5,56	4,32	4,32	4,32	4,63	4,63	4,63	56,17	20,06	7,10	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,2	
RAS_115		Oferta (-25%)	5,56	5,56	5,56	4,32	4,32	4,32	4,63	4,63	4,63	35,19	10,19	10,19	5,25	5,25	5,25	5,56	5,56	5,5		
		Oferta Actual	5,25	5,25	5,25	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	33,64	6,79	6,79	4,94	4,94	4,94	5,25	5,25	5,2		

Vulnerab Acued

4,32 100,00

Presenta el porcentaje de vulnerabilidad en la cobertura de acueducto. Cada valor es el resultado de la combinación de diversas condiciones. En verde se encuentran los mejores escenarios y en rojo los que más afectarían la cobertura de acueducto. En el recuadro azul se presenta la vulnerabilidad con la concesión Bermúdez activa, y en el cuadrante rosa la vulnerabilidad con la concesión inactiva.

3.2.2 Cobertura del caudal Ecológico

- *Quebrada la Tebaida*

- Escenario crítico

El Gráfico 13, permite observar la cobertura del caudal ecológico basado en las mismas condiciones que el escenario crítico para cobertura de acueducto (numeral 3.2.1 de este documento), pero tomando un 50% más de la concesión otorgada por la Corporación, es decir, 75 l/s. Se observa entonces que durante varios periodos de tiempo hasta el año 2040 no se cumpliría con el caudal ecológico de la corriente, situación que sólo puede ser mitigada en cierta medida con la entrada de la concesión del río Bermúdez. Más sin embargo aún bajo esta condición, la cobertura del 100% sólo se daría hasta el año 2024, y en épocas secas bajaría ostensiblemente.

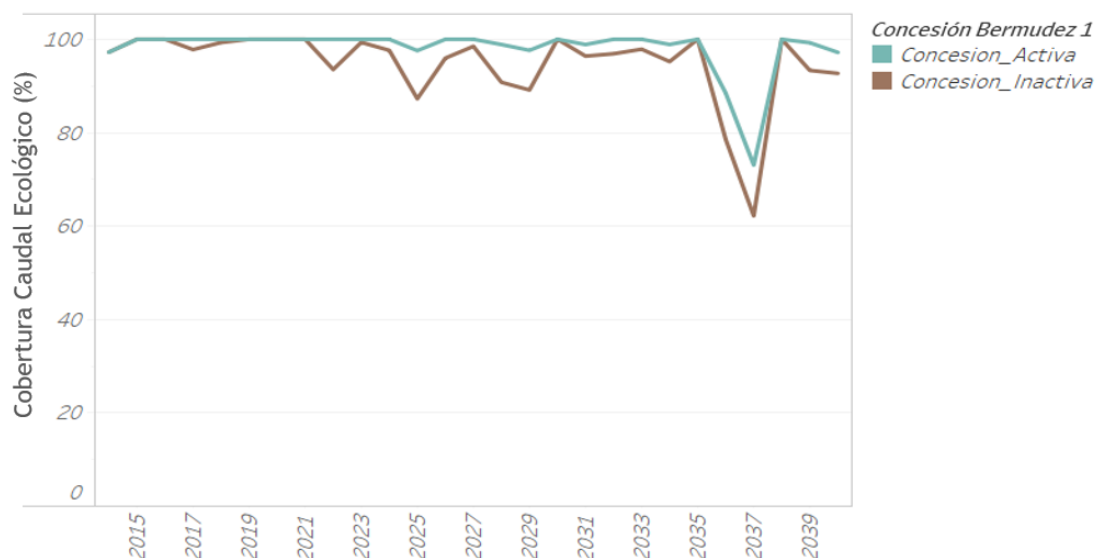


Gráfico 13. Cobertura del caudal ecológico en la quebrada la Tebaida bajo condiciones críticas

En azul el comportamiento de la cobertura del caudal ecológico con la concesión Bermúdez activa y en marrón con la concesión inactiva bajo las condiciones críticas presentadas en la tabla 18 y un 50% adicional del caudal concesionado actualmente. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040

- Escenario factible

Se plantea con las mismas condiciones que el escenario factible para cobertura de acueducto (ver Tabla 20), bajo las cuales el caudal ecológico para la Tebaida se mantendría en un 100 (ver Gráfico 14). A excepción del periodo 2036-2037 en el cual se asume se presentará un fenómeno climático extremo.

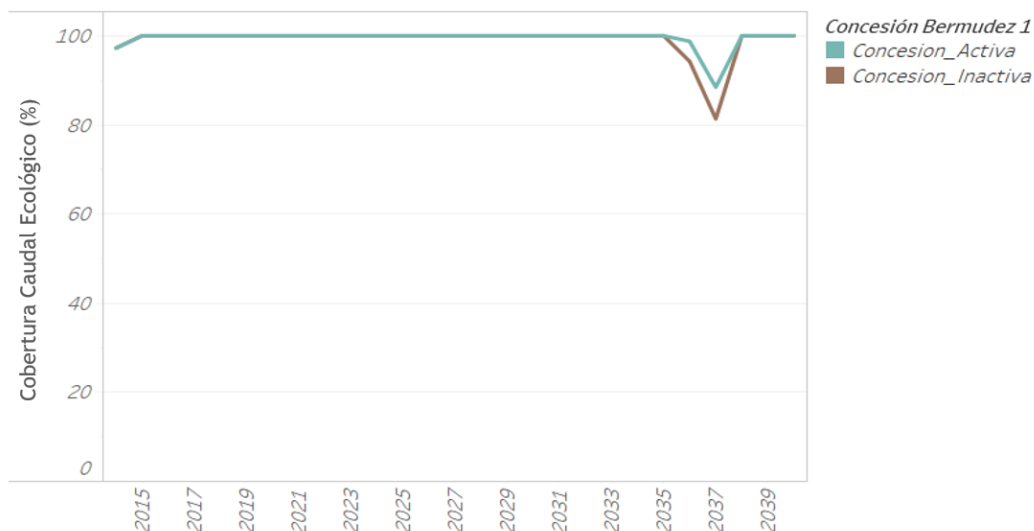


Gráfico 14. Cobertura de caudal ecológico para la quebrada la Tebaida bajo un escenario factible

En azul el comportamiento de la cobertura de caudal ecológico con la concesión Bermúdez activa y en marrón con la concesión inactiva bajo las condiciones factibles presentadas en la tabla 20, que pueden ser cumplidas inicialmente por la empresa de servicios públicos. En el eje Y cobertura de la demanda en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040

Es importante mencionar que no se plantea escenario tendencial debido a que su comportamiento es similar al crítico, y tampoco se plantea escenario ideal, ya que su comportamiento es semejante al factible.

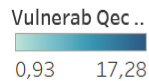
- Vulnerabilidad de la cobertura del caudal ecológico en la quebrada la Tebaida

Para comprender estos resultados, la Tabla 22, sigue el mismo esquema que la Tabla 21 es decir, que el primer cuadrante (demarcado en amarillo) corresponde a los escenarios bajo la concesión del río Bermúdez inactiva, y el segundo cuadrante (marcado en fucsia) corresponde a la concesión activa. Entre más intenso es el color azul, más alta es la vulnerabilidad en la cobertura del caudal ecológico para la quebrada la Tebaida. Como se observa, ante cualquier escenario, la vulnerabilidad es baja, los mayores valores se presentan ante continuar con las actuales circunstancias frente a las pérdidas en la distribución y el consumo elevado de agua por parte de la población (columna 14, filas 1 y 2)

Las filas 1-2 y 9-10 presentan las diferentes combinaciones de escenarios bajo el entendido de que la oferta de la quebrada se reduzca en un 25%. Como se evidencia, en las cuatro filas en mención se presentan los valores más altos, lo que se traduce en una mayor vulnerabilidad en la cobertura del caudal ecológico, más aún si las actuales pérdidas (58.38%) continúan.

Tabla 22. Vulnerabilidad de la cobertura de caudal ecológico en la quebrada la Tebaida

Población Total	Oferta Tebaida 1	Consumo Rural	Consumo Urbano	Concesión Bermudez 1 / Concesión la Tebaida / Pérdidas Distrib																	
				Concesión_Activa									Concesión_Inactiva								
				Conces 25%(+)			Conces 50%(+)			Conces Actual			Conces 25%(+)			Conces 50%(+)			Conces Actual		
				Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas (-35%)	Pérdidas Actuales 58.38%	Pérdidas RAS 25%
Crecim Poblac Alto 2%	Oferta (-25%)	Consumo Actual 260L	Consumo ..	3,09	8,64	2,47	3,09	9,88	2,47	3,09	6,17	2,47	8,33	10,49	6,79	8,64	17,28	6,79	6,17	6,17	5,86
		RAS_115	RAS_115	2,78	8,02	2,16	2,78	8,95	2,16	2,78	6,17	2,16	7,41	10,49	6,79	7,72	16,36	6,79	6,17	6,17	5,86
		Consumo ..	Consumo ..	1,85	2,78	1,23	1,85	2,78	1,23	1,85	2,78	1,23	3,09	7,41	2,16	3,09	7,72	2,16	3,09	6,17	2,16
		RAS_115	RAS_115	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	2,16	6,79	1,85	2,16	6,79	1,85	2,16	5,86	1,85
	Oferta Actual	Consumo Actual 260L	Consumo ..	2,16	5,25	1,85	2,16	6,17	1,85	2,16	2,78	1,85	4,63	5,25	3,40	5,25	6,79	3,40	2,78	2,78	2,78
		RAS_115	RAS_115	2,16	4,63	1,85	2,16	5,56	1,85	2,16	2,78	1,85	3,70	5,25	3,09	3,70	6,79	3,09	2,78	2,78	2,78
		Consumo ..	Consumo ..	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	1,85	3,70	1,85	1,85	3,70	1,85	1,85	2,78	1,85
		RAS_115	RAS_115	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	1,85	3,40	1,54	1,85	3,40	1,54	1,85	2,78	1,54
Crecim Poblac. DANE 1.2%	Oferta (-25%)	Consumo Actual 260L	Consumo ..	2,16	7,41	1,85	2,16	7,72	1,85	2,16	6,17	1,85	7,10	10,49	4,63	7,10	16,67	4,63	6,17	6,17	4,63
		RAS_115	RAS_115	2,16	6,79	1,85	2,16	6,79	1,85	2,16	5,86	1,85	5,86	10,49	4,01	5,86	15,43	4,01	5,86	6,17	4,01
		Consumo ..	Consumo ..	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	1,23	2,16	0,93	2,16	5,86	1,85	2,16	5,86	1,85	2,16	5,86	1,85
		RAS_115	RAS_115	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	1,85	4,32	1,85	1,85	4,32	1,85	1,85	4,32	1,85
	Oferta Actual	Consumo Actual 260L	Consumo ..	1,85	4,01	1,85	1,85	4,01	1,85	1,85	2,78	1,85	3,40	5,25	2,78	3,40	6,79	2,78	2,78	2,78	2,78
		RAS_115	RAS_115	1,85	3,40	1,54	1,85	3,40	1,54	1,85	2,78	1,54	2,78	5,25	2,16	2,78	6,79	2,16	2,78	2,78	2,16
		Consumo ..	Consumo ..	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	1,85	2,78	1,23	1,85	2,78	1,23	1,85	2,78	1,23
		RAS_115	RAS_115	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	0,93	1,85	0,93	1,54	2,16	0,93	1,54	2,16	0,93	1,54	2,16	0,93



Presenta el porcentaje de vulnerabilidad en la cobertura del caudal ecológico de la quebrada la Tebaida. Cada valor es le resultado de la combinación de diversos escenarios. Entre más oscuro el recuadro la vulnerabilidad es más alta. En el recuadro amarillo se presenta la vulnerabilidad con la concesión Bermúdez activa, y en el recuadro rosa la vulnerabilidad con la concesión inactiva.

- Río Bermúdez
 - Escenario crítico

Este se plantea bajo los mismos criterios que el escenario crítico para cobertura de acueducto, para lo cual el [Gráfico 15](#) advierte que para el año 2025 tendría una cobertura del 98% y para el año 2029 bajaría a 97%. En la época de fenómeno climático extremo dicha cobertura estaría en el 72%, y para el resto de años se cumpliría con el caudal ecológico requerido. Ahora bien, si la concesión está inactiva, es decir, no se toma agua del río Bermúdez, para cualquier época del año se cubrirá dicho caudal al 100%.

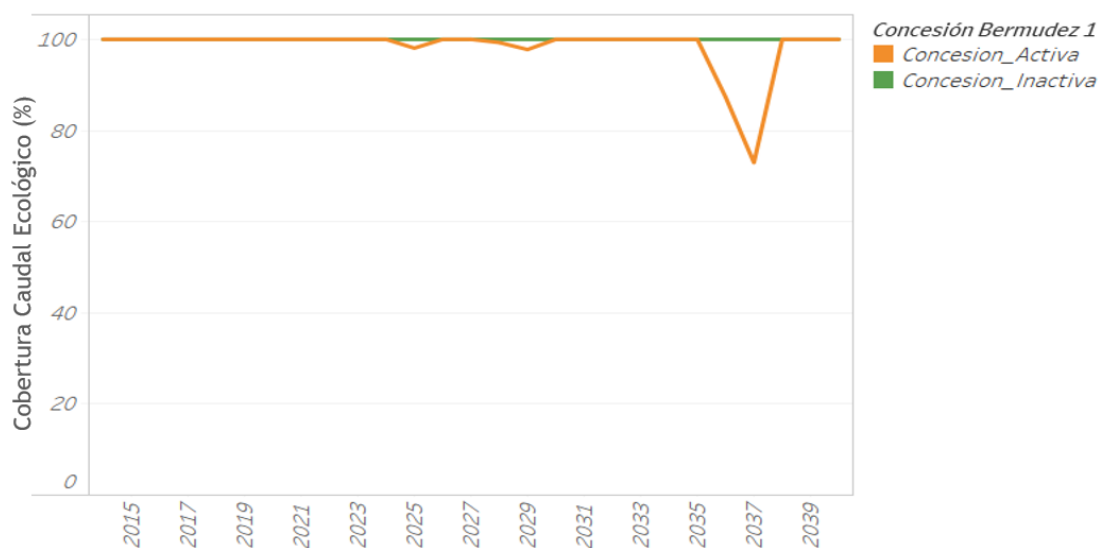


Gráfico 15. Cobertura del caudal ecológico para el río Bermúdez

En naranja el comportamiento de la cobertura de acueducto con la concesión Bermúdez activa y en verde con la concesión inactiva bajo las condiciones críticas presentadas en la tabla 18. En el eje Y cobertura del caudal ecológico Bermúdez en porcentaje, y en el eje X, años proyectados de cobertura desde 2015 a 2040.

No se presentan escenarios tendencial, factible ni ideal debido a que el análisis con el escenario crítico permite evidenciar que la cobertura en general es buena, por lo tanto, no se requieren de más análisis.

- Vulnerabilidad de la cobertura del caudal ecológico del Río Bermúdez

Para estimar la vulnerabilidad en la cobertura del caudal ecológico de este río, al igual que la quebrada la Tebaida se cruzaron todos los posibles escenarios, sin embargo, la Tabla 23 únicamente muestra los resultados bajo la concesión Bermúdez activa, pues estando inactiva no se afectará en ninguna medida este criterio ambiental.

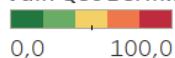
Bajo todas las combinaciones de escenarios, la vulnerabilidad en el caudal ecológico es reducida, aún continuando bajo circunstancias críticas como continuar con las pérdidas en la distribución actuales,

siguiendo con el alto consumo de agua, e incluso reduciendo la oferta de la quebrada la Tebaida, el caudal se mantendría en la fuente aguas abajo de la posible bocatoma.

Tabla 23. Vulnerabilidad de la cobertura de caudal ecológico en el río Bermúdez

Oferta Tebaida 1	Población Total	Consumo Rural	Consumo Urbano	Concesion la Tebaida / Concesión Bermudez 1 / Pérdidas Distrib								
				Conces 25%(+)			Conces 50%(+)			Conces Actual		
				Pérdidas Actuale..	Pérdidas (-35%)	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas Actuale..	Pérdidas (-35%)	Pérdidas RAS 25%	Pérdidas Actuale..	Pérdidas (-35%)	Pérdidas RAS 25%
Oferta (-25%)	Crecim Poblac Alto 2%	Consumo	Consum..	3,395	2,469	2,160	3,395	2,469	2,160	3,395	2,469	2,160
		Actual 2..	RAS_115	3,395	2,469	1,852	3,395	2,469	1,852	3,395	2,469	1,852
		RAS_115	Consum..	2,469	1,543	0,926	2,469	1,543	0,926	2,469	1,543	0,926
		RAS_115	Consum..	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617
	Crecim Poblac. DANE 1.2%	Consumo	Consum..	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543
		Actual 2..	RAS_115	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543
		RAS_115	Consum..	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617
		RAS_115	Consum..	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617
Oferta Actual	Crecim Poblac Alto 2%	Consumo	Consum..	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543
		Actual 2..	RAS_115	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543	3,395	1,852	1,543
		RAS_115	Consum..	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617	1,852	0,926	0,617
		RAS_115	Consum..	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617
	Crecim Poblac. DANE 1.2%	Consumo	Consum..	3,086	1,543	1,543	3,086	1,543	1,543	3,395	1,543	1,543
		Actual 2..	RAS_115	2,469	1,543	1,235	2,469	1,543	1,235	2,778	1,543	1,235
		RAS_115	Consum..	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617
		RAS_115	Consum..	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617	1,543	0,617	0,617

Vuln Qec Berm..



0,0 100,0

Presenta el porcentaje de vulnerabilidad en la cobertura del caudal ecológico del río Bermúdez. Cada valor es el resultado de la combinación de diversos escenarios. No se presenta bajo ningún escenario una vulnerabilidad alta de este caudal.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Oferta hídrica

El resultado mencionado en el numeral 3.1.1 muestra el comportamiento de los caudales de las tres corrientes hídricas, el cual se corrobora con el estudio realizado por IDEAM, en el año 2011 que describe el comportamiento de la precipitación, temperatura y caudales de los principales ríos del país desde el punto de vista hidroclimático. Este documento analiza no solo el periodo en mención, sino desde 2008 hasta 2010 por haber registrado una serie de eventos consecutivos, la “Niña” Ago/09, el “niño” Sept/10, y nuevamente “la niña” Oct/11. Según IDEAM, la presencia de estos fenómenos (Niño y Niña) difiere en cada región. Mientras en unas regiones se presenta exceso de lluvias, en otras se presentan escasez. La cuenca Pasto de donde se obtuvieron los caudales iniciales se ubica en la región Andina y tiene influencia de los vientos de la región Amazónica por su cercanía con la cuenca Guamués. Para el primer trimestre del año 2010, la región Andina presentó deficiencias de lluvia, como producto de la etapa final del evento “El Niño”, en cambio en la región Caribe, en el mismo trimestre acumulado se vio dominada por los excesos en las lluvias que se presentaron durante el mes de marzo (Euscátegui & Hurtado, 2011).

El ENA (2010) calculó la oferta hídrica en fuentes abastecedoras de cabeceras municipales encontrando que el 67% de estas en el área geográfica del Pacífico se concentran en la zona geográfica del Patía, especialmente en las cuencas Guaitara y Juanambú. Analiza también que el rendimiento disponible, y por ende, la oferta disponible en época seca para esta área hidrográfica se reduce en promedio en un 36%, pero la reducción más significativa está en la cuenca del río Patía con un 51%, concluyendo que el caudal disponible depende de los meses de estiaje, en el marco de los regímenes hidrológicos específicos de cada una de las subzonas hidrográficas (IDEAM, 2010). Esto se ratifica con los resultados de la figura 6, pues las áreas de estudio hacen parte de la cuenca Juanambú y a su vez de la zona geográfica Patía, que dejan ver que en época seca los caudales se ven extremadamente reducidos. El señor Montero, exfuncionario de la administración ratificó que entre los años 2009 y 2010 la administración expidió una resolución mediante la cual se decretaba racionamiento durante cuatro horas al día, manifestó que fue una situación muy complicada para los responsables de la administración del acueducto, pues no contaban con el agua suficiente para suministrar a la población (A. Montero, Comunicación personal, 7 de septiembre de 2016). Este fue uno de los motivos para que la alcaldía decidiera formular el proyecto para realizar un acueducto alterno el cual captaría agua del río Bermúdez.

Por otra parte, analizando el comportamiento de la precipitación media de un año normal, el IDEAM ha subdividido las cinco regiones del país por estacionalidad de la precipitación, generando 17 zonas a lo largo del país, ubicando a la cuenca Pasto en la región número 9 sur de Huila y Putumayo. Debido a las particularidades topográficas del sistema montañoso, se desarrolla una transición entre los regímenes monomodales y bimodales de la precipitación que se presentan en regiones aledañas a esta. La variabilidad en el comportamiento de la precipitación en el ciclo anual, se genera por la influencia de la Zona de Convergencia Inter Tropical ZIT. (Guzmán et al., 2014). El documento del IDEAM muestra que para la zona 9 durante el año entre los periodo Marzo - Mayo y Octubre - Noviembre se presentan temporadas lluviosas; a diferencia de la zona norte, donde la temporada seca no se ve tan marcada

debido a que no presenta diferencias altitudinales considerables y estas permiten la entrada de masas húmedas provenientes de la Orinoquía y la Amazonía. Establece además que es durante el mes de septiembre en donde se registran los menores volúmenes de precipitación debido a que los sistemas sinópticos de la Amazonia han empezado a desplazarse hacia el sur, ocasionando disminución en la humedad proveniente del Meta (Guzmán et al., 2014). Este comportamiento coincide en las microcuencas estudiadas en este documento expuesto en el Gráfico 1, donde se observa que entre los meses de junio y septiembre se presentan los mínimos caudales, y de noviembre a diciembre los máximos.

Ahora bien, otro aspecto a tener en cuenta es el cambio climático que ha afectado la cantidad, y por ende la disponibilidad de agua en todo el mundo. Se espera que el cambio global y la variabilidad climática afecten la magnitud y los ritmos de la escorrentía superficial y la humedad del suelo (Bates et al., 2008). Las implicaciones de este hecho son importantes para el balance hidrológico y los recursos hídricos, así como para el futuro manejo y planificación ambiental (IDEAM, 2010). El ENA predice que para el periodo 2070-2100 habrá una disminución de la precipitación entre el 10 y el 30% respecto al promedio 1970-2000, especialmente en el alto Magdalena, Cauca y Patía. Enfáticamente para el periodo 2011-2040 la temperatura habrá aumento entre dos y tres grados por lo que se esperan impactos importantes sobre la zona hidrológica del Patía en las cuencas del Juanambú y Guachicono (IDEAM, 2010). Este comportamiento es un insumo para que la empresa de servicios públicos pueda tomar las decisiones necesarias para enfrentar la situación, ya que en tierras de aptitud forestal en áreas cercanas a nacimientos, la cobertura forestal es estratégica para la regulación del ciclo hidrológico, pues esto permite mantener el caudal a lo largo del año, e incluso asegurar la calidad de agua y evitar desastres (Urquijo R. & Trueba J., 2003). Los gráficos incluidos en el numeral 3.1.2 permiten observar los “picos” de caudal, los cuales probablemente podrían suavizarse a través de acciones que conlleven a la regulación hídrica.

Frente a las variaciones extremas de caudales, la revista ambiental virtual Mongaba establece que:

Quando se pierde la cubierta del bosque, el agua fluye rápidamente hacia los arroyos, lo que eleva los niveles de los ríos y deja expuestas a aldeas, ciudades y campos agrícolas ante las inundaciones, especialmente durante la época de lluvias. Durante la época de secas, las corrientes son susceptibles los largos meses de sequía, lo que causa estragos en los cultivos e interrumpe las operaciones industriales. (MONGABAY.COM, 2009)

Otro estudio realizados en las cuencas del centro-sur de Chile muestra que al realizar cambios en los usos de suelo, tales como deforestación y/o cambio de cobertura nativa se presenta una disminución de los caudales al disminuir la escorrentía en verano evidenciando modificaciones en el régimen (Little, Lara, J, & R, 2009). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) por su parte enfatiza que las coberturas forestales en áreas próximas a los nacimientos o riveras de los ríos regulan el ciclo hidrológico sosteniendo el caudal a lo largo del año, lo cual se traduce en un desarrollo sostenible ya que hace frente a las situaciones de escasez como de abundancia de agua. Aclara además que las cuencas con buenas coberturas de bosques son sistemas hidrológicos muy estables debido a descargan agua de máxima calidad, permiten regular el volumen de agua generado por las precipitaciones, moderan la variación entre caudales mínimos y máximos, y reducen la cantidad de sedimentos en el agua (Urquijo, Ignacio, & Jainaga, 2003)

El PUEAA (2010) establece dos proyectos en relación a la compra de predios y reforestación en zonas de nacimiento, el primero se denomina “compra de tierras para el programa de reforestación,

protección y mantenimiento de áreas de interés forestal y ambiental en las microcuencas abastecedoras de agua para los acueductos en el municipio” y el segundo “establecimiento forestal con especies protectoras productoras en la microcuenca del río el Salado y río Bermúdez”. En revisión al cumplimiento de estos proyectos, se tiene que para la vigencia 2011 se adquirieron 5ha en la microcuenca la Tebaida. El resto de predios adquiridos no corresponden a las áreas de este estudio. Con respecto a la reforestación, en el año 2011 se contó con \$556.000.000 destinados por el municipio, bienes y servicios de la comunidad y Fondo Nacional de Regalías a través del MAVDT, los cuales debían destinarse a reforestación, sin embargo se ejecutó el 50% pues los predios no eran suficientes, por lo que en el año 2012 se adquirieron 26ha en las microcuencas del Salado (también llamada la Tebaida) y Bermúdez, pero hasta el momento no se reporta reforestación en los mismos. Este panorama permite observar que la gestión del municipio es deficiente. No se cuenta con un plan de compra de predios, por lo que la destinación de los recursos puede no ser la adecuada según las necesidades ambientales de las microcuencas.

La ley 1450 en su artículo 111 obliga a los acueductos municipales, distritales y regionales a que de sus ingresos corrientes se asigne un porcentaje no menor al 1% para la adquisición y mantenimiento de áreas para la conservación del recurso hídrico que los surta de agua. Estas áreas prioritarias a ser adquiridas serán definidas por las autoridades ambientales y su administración corresponderá al respectivo distrito o municipio. Los municipios, distritos y departamentos garantizarán la inclusión de los recursos dentro de sus planes de desarrollo y presupuestos anuales respectivos. La misma Ley, en su artículo 216, obliga a las CAR a destinar en la protección, recuperación y monitoreo de cuencas, los recursos recaudados por concepto de uso de agua, los cuales son pagados por los usuario que extraigan el agua de un cauce superficial o subterráneo para cualquiera de los usos existentes. (República de Colombia, 2011)Es decir, que bajo estas dos premisas, el municipio debe garantizar la destinación de los recursos necesarios para la compra y recuperación de las zonas de importancia estratégica que surtan de agua al mismo. Y del mismo modo, realizar las gestiones pertinentes para la búsqueda de más recursos, pues los mencionados anteriormente no son suficientes. Con esto se mitigará de alguna manera la deforestación y degradación ambiental que hoy en día se presenta en la Tebaida y las Helechas.

4.2 Cobertura de la demanda doméstica urbana

La cobertura de la demanda se ha visto afectada por tres factores importantes: 1. El cambio climático, regímenes de variación del clima y fenómenos de clima extremo como la niña y el niño que afectan la oferta hídrica. 2. Las altas pérdidas que presenta el sistema de acueducto. 3. Los altos consumos de agua, especialmente en el sector rural del municipio. El primer factor ya ha sido abordado en el numeral 4.1.1 de este documento, por lo tanto es importante analizar los dos siguientes.

En cuanto a las pérdidas de agua, se presentan en todos los sistemas de acueducto pero con características diferentes de acuerdo a factores como el dimensionamiento del sistema, características de las redes, procedimientos operativos del prestador del servicio, nivel de tecnología y conocimiento que se tenga para controlar y reducir las mismas (CRA & Minvivienda, 2013). Según la resolución CRA 287/04 se establece un nivel máximo de pérdidas aceptables del 30%, pero la resolución 2320/09 reguló el valor máximo de acuerdo al clima y al nivel de complejidad del sistema. En el diagnóstico realizado por el Plan Departamental de Aguas (2010) se acredita que las pérdidas de agua en el sistema de acueducto de Chachagüí corresponden al 58.38%, es decir, “de cada 100 unidades que se producen, 58,38 unidades se pierden por diferentes causas, incurriendo en costos elevados de operación y mantenimiento, amenazando la sostenibilidad económica de la empresa prestadora del servicio; y que

repercuten directamente sobre el grado de satisfacción del usuario y sobre la disminución en los valores de los estándares como son continuidad y calidad del servicio” (Gobernación de Nariño, 2010), además de que estas pérdidas son transferidas a la corriente, siendo necesario captar más agua para solventar el caudal faltante que garantice el abastecimiento de la población El PUEAA establece que las pérdidas en el año 2010 hacían un 60% aclarando que el mayor problema son las conexiones no autorizadas por la empresa y la capacidad de recepción de caudal en la PTAP. Siendo idealistas se esperaría que los prestadores del servicio de agua potable eliminen las pérdidas, que se traducen en desperdicio o ineficiencia, sin embargo, esto dependerá de las limitantes técnicas o económicas para su reducción.

El plan de uso eficiente de agua (2010) presenta una serie de actividades orientadas a la reducción de pérdidas, a ser desarrolladas en cinco años, tal como lo establece la Ley 373, que menciona que dicho programa se presentará cada cinco años y deberá basarse en el diagnóstico de la oferta hídrica de todas las fuentes abastecedoras y en la demanda de agua, dicho plan deberá contener metas anuales en relación a la reducción de pérdidas” (República de Colombia, 1997), sin embargo al consultar en la Corporación frente al cumplimiento del plan aprobado para Chachagüí, se encontró que hasta el año 2014 el municipio no reportó ningún avance para esta actividad (CORPONARIÑO, 2014a), por lo que se presume, el porcentaje continúe igual. Según la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) al presentar altas pérdidas se incrementan los costos por la búsqueda de fuentes alternativas y por la pérdida de oportunidades de usos alternativos como riego, recreación o insumo industrial. Así mismo, los costos económicos para la empresa son más elevados ya que se requieren recursos financieros para la captación, conducción, tratamiento de agua, almacenamiento de la misma y bombeo que en última instancia no son consumidos por el usuario ni facturados por el prestador (CRA & Minvivienda, 2013). Además el agua no contabilizada tiene incidencia sobre las fuentes abastecedoras debido a que pueden sufrir sobreexplotación conllevando al deterioro de los sistemas asociados a ellas, que en muchos casos no se pueden recuperar (García, Vargas, & Grandos, 2013). Estas han sido las razones para que la CRA obligue a los prestadores de servicios a calcular el índice de agua no contabilizada (IANC), sin embargo, esto se queda en un reporte, más que en las medidas que deben tomar las empresas. Existen muchas acciones que la empresa podría implementar, todo dependerá de los recursos con que se cuenten y que sean gestionados, por ejemplo, podría realizarse un monitoreo constante en los medidores de agua de las viviendas para reemplazar los obsoletos y/o ampliar los no existentes; mejorar la infraestructura de acueducto (bocatoma, planta de potabilización, redes de aducción y distribución); identificación de fugas; mantenimiento preventivo y correctivo en instalaciones y equipos, entre otros (Fuquene, 2013)

Sumado a lo anterior, los usuarios tampoco cuentan con sistemas de reúso o reducción de consumo. El PUEAA (2010) anota que solo un porcentaje de usuarios cuenta con micromedidores, lo que conlleva a que el consumo de agua no sea eficiente pues no es posible cuantificar la cantidad de agua utilizada. La ley 142 de 1994 en sus artículos 9 y 146 establece la medición del consumo de agua como un deber y un derecho tanto de usuarios como de empresas prestadoras de acueducto. Esta actividad tiene los plazos vencidos desde 2005 de acuerdo al artículo 2.1.1.2 Resolución CRA 151 de 2001. Por su parte, la Ley 373/97 en su artículo 6° le otorga un año a las empresas prestadoras de acueducto para adelantar un programa orientado a instalar medidores de consumo a todos sus usuarios. Propósito que en la gran mayoría de acueductos pequeños no ha sido cumplido como es el caso de Chachagüí. En revisión del Sistema Único de Información (SUI) se evidenció que para el año 2009, la empresa de servicios públicos reportó que el 85% de la población contaba con micromedición, cifra que es estimada ha decrecido hasta el momento pues existe debilidad en la empresa de servicios públicos para exigir a sus usuarios la implementación del contador de agua.

El desperdicio de agua es más notorio en el sector rural, especialmente en el corregimiento de Cimarrones, donde se presenta una alta afluencia de personas provenientes de la ciudad de Pasto que compran lotes o fincas de veraneo para pasar los fines de semana, época de vacaciones o disfrutar los días de jubilación. En su gran mayoría son viviendas pertenecientes a propietarios de altos niveles económicos que poseen pequeñas parcelas de café o frutales y además cuentan con una o más piscinas para recreación familiar, haciendo uso del agua potable no sólo para actividades domésticas sino también para riego de cultivos a menor escala, así como para el llenado de piscinas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que cada persona necesita entre 50 y 100 litros/día para cubrir sus necesidades básicas sin afectar la salud (Naciones Unidas, 2010). En Colombia por su parte, la resolución 2320/09 anota que la dotación neta máxima es “la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto”, y para un municipio con las características de Chachagüí no debe superar los 115 l/hab/día.

Ahora, si se combinan las altas pérdidas de agua que presenta el sistema de abastecimiento y los excesivos consumos de agua de la población se obtiene una baja cobertura en el sistema de acueducto (76% actualmente) tal como lo muestra la figura 11. La ONU enfatiza que la gestión de los recursos hídricos debería centrarse más en aumentar los recursos naturales existentes y en reducir la demanda y las pérdidas de agua (Green Facts, 2009). Por lo tanto, es urgente desarrollar las acciones para reducir la cantidad de pérdidas de agua y para desincentivar el excesivo consumo de la misma. El artículo 7° de la ley 373 *ibídem* menciona que es deber de la CRA y de las CAR establecer consumos básicos en función de los usos del agua, desincentivando consumos máximos de cada usuario y estableciendo procedimientos, tarifas y medidas a tomar para los usuarios que sobrepasen los límites máximos permisibles. Así, la CRA, mediante resolución 695 de 2014 generó las reglas para desestimar el consumo excesivo de agua, pero solo en algunas regiones del país de acuerdo a los reportes de IDEAM, donde no se encuentra la cuenca Patía. Por lo tanto, al no haber un factor que afecte la economía de los usuarios no se logrará de ninguna manera una reducción en el consumo de agua. No obstante, el Gobierno Nacional, preocupado por el uso irracional del agua, a través de la Unidad Especializada de Atención (UEA) de la CRA realizó un estudio en 18 ciudades de Colombia donde constató que el consumo promedio de los suscriptores había reducido en un periodo de 10 años, con base en lo cual en febrero de 2016, dicha Comisión expidió la resolución 750 que aplica a todas las empresas prestadoras del servicio de acueducto en todo el territorio nacional, orientada a modificar el rango de consumo básico, y definir el consumo complementario y suntuario de tal manera que se oriente al uso eficiente y ahorro del agua (Ministerio de Vivienda, 2016). El artículo 3 se enmarca en que el consumo para municipios entre 1000 y 2000 msnm (caso Chachagüí que se ubica en 1950 msnm) se fija de la siguiente manera: 13m³/suscriptor/mes (108 l/hab/día) para consumo básico, entre 13m³ y 26 m³ (216 l/hab/día) para consumo complementario, y por encima de los 26m³ para consumo suntuario.

Si se tiene en cuenta que cada suscriptor está conformado por 4 personas en promedio, para Chachagüí se traduce en que el consumo actual por suscriptor es de 17 m³/mes en el sector urbano y 31m³/mes en el sector rural, cifra bastante elevada para los límites que establece la resolución. Ahora bien, el decreto 394 de 1987 en su artículo 6° define los conceptos para cada tipo de consumo, aclarando que el consumo básico es el destinado a satisfacer las necesidades esenciales de las familias, el consumo complementario es el que se encuentra ubicado en la franja entre uno y dos veces el nivel de consumo básico, y el consumo suntuario es el que está por encima de dos veces por encima del consumo básico, y que las tarifas serán mayores de acuerdo a cada tipo de consumo. El informe de facturación presentado por la EMPOCHACHAGÜÍ al SUI en el año 2013 reporta que para los estratos 4 a 6 se presenta una sola tarifa en los tres tipos de consumo, y para los estratos 1 a 3 hay un pequeño

incremento solo entre consumo básico y complementario (SSPD, 2016). El reporte también muestra que los costos por metro cúbico consumido son irrisorios, lo que no genera solvencia económica para la empresa. Por ejemplo, según último reporte SUI del año 2005, el valor mensual facturado asciende a 25 millones mensuales en promedio, de los cuales recaudaron 21 millones aproximadamente, cifra que solo alcanza para cubrir gastos administrativos y que por ningún motivo desestimula el consumo de agua en la población, por el contrario, al ser tan bajo, incentiva el derroche.

Conexo a lo anterior, en el año 2013, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) mediante resolución motivada descertificó al municipio de Chachagüí en relación con la administración de los recursos del Sistema General de Participaciones SGP, por lo que la administración de dichos servicios pasó a ser función de la Gobernación de Nariño en el marco del artículo 4° de la Ley 1176 de 2007, función que hasta el momento continúa bajo la responsabilidad de la Gobernación. Es decir, que el municipio además de no poseer un esquema tarifario adecuado, no cuenta con recursos provenientes de SGP para agua potable y saneamiento básico, por lo tanto, no puede hacer inversiones en este ámbito. Es importante anotar que estas intervenciones no han dado resultado de acuerdo a las experiencias vividas en el país, así lo manifiesta Garcia et al., (2013) que hacen un análisis con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cúcuta, la cual fue intervenida en los años 1998 a 2006, periodo en el que no tuvo un avance en la reducción del IANC, pues evidentemente la función de las Gobernaciones no se orientan a este tipo de actividades. Complementario a esto, el municipio al hacer parte del PDA pignoró gran parte de sus recursos provenientes del SGP, con los cuales ha cofinanciado un único proyecto, el cual se orientó a desarrollar los diseños para un nuevo acueducto municipal en el año 2008.

El señor Montero manifestó que en el año 2008 el PDA contrató el proyecto “Construcción del acueducto municipal Chachagüí” cuyo objeto era la construcción de un nuevo acueducto que abasteciera a una población futura de 25 mil habitantes pertenecientes al casco urbano y algunas veredas, cuya agua se extraería exclusivamente del río Bermúdez ubicando la bocatoma en la parte baja de la microcuenca antes de la desembocadura con el río Pasto. Involucraba la construcción de redes de aducción, conducción, desarenadores, PTAP, tanques de almacenamiento y redes de distribución. Dicho proyecto fue finalizado en el año 2009 y presentado al MAVDT para su aprobación y posterior ejecución, pero tras varias correcciones solicitadas por esta entidad, el proyecto no fue viabilizado (A. Montero, Comunicación personal, 7 de septiembre de 2016). Es decir, que en el momento el municipio no maneja los recursos del SGP por estar descertificado, una parte de dichos recursos están pignorados al PDA, y con los recaudos de la facturación generada no alcanza a cubrir proyectos destinados a la reducción de pérdidas o fortalecimiento institucional que conlleve a tener un correcto esquema tarifario que desestime el consumo de agua en los usuarios del acueducto. Esta es una muestra de las deficiencias en la administración del recurso hídrico y de los costos burocráticos que conlleva el PDA, tal como lo sustentó la Defensoría del Pueblo (2012), pues antes que buscar nuevas fuentes de agua, se requiere desarrollar acciones para fortalecer las pequeñas empresas y optimizar la infraestructura que ya existe.

El Gráfico 12 muestra que sólo con la reducción de pérdidas a un 35% y reducción del consumo de agua únicamente en el área urbana a 115 l/hab/día o 13 m³/suscriptor/mes se tendría una cobertura del 100% hasta el año 2034 sin requerir agua de una tercera fuente hídrica, razón por la cual, los esfuerzos de la empresa de servicios públicos deben orientarse principalmente a estos dos propósitos. La tarea no es fácil pues requiere una inversión importante de recursos. p (Cali pierede tanta agua como la que consume, 2014). Si bien es cierto esta cifra es bastante onerosa pues corresponde a una de las principales ciudades del país, también puede ser un referente para pequeñas empresas sobre los costos

que involucra esta tarea, ya que se necesitan medidas como mantenimiento correctivo y preventivo del sistema, control de presiones, detección de fugas no visibles (la actividad más costosa), instalación de micro y macromedidores, ampliación de redes, identificación de usuarios conectados ilícitamente y optimización del sistema de acueducto; y ya que el municipio ni la empresa de servicios públicos cuenta con los recursos suficientes, es urgente que se realicen gestiones para la búsqueda de los mismos a través de otros medios como el Fondo Nacional de Regalías (FNR) o entidades internacionales presentes en el Departamento. Por lo cual, es necesario el apoyo de las gobernaciones departamentales y del gobierno nacional para subsidiar la instalación, mantenimiento y optimización de acueductos, en los municipios que por falta de capacidad financiera y técnica no pueden suministrar agua de buena calidad por su propia cuenta o por cuenta de empresas privadas o mixtas. (Contreras & González, 2013).

A la vez, la administración municipal debe propender por que la SSPD vuelva a certificar al municipio, con el fin de que a través del PDA se desarrollen proyectos orientados a estos dos fines, pues de continuar con el escenario actual, se generará una escasez significativa debido a que la vulnerabilidad por desabastecimiento es muy alta según lo muestra la Tabla 21. Con esto no solo se vulnera el derecho de los usuarios a contar con un servicio óptimo en cuanto a cantidad, calidad y continuidad de agua potable, sino que se afectan los ecosistemas de las corrientes que actualmente abastecen al municipio. Es más, aun captando agua del río Bermúdez, si se continúa bajo las actuales cifras de consumo y pérdidas, la cobertura para el 100% de la población solo se mantendrá hasta el año 2026 (Gráfico 9), y si las fuentes continúan bajando su oferta, esta cobertura permanecerá únicamente hasta 2021 (Gráfico 10). Por lo tanto, es urgente desincentivar el excesivo consumo de agua, podría ser a través del incremento en los costos por metro cúbico suministrado y las campañas educativas que cambien en la comunidad los hábitos que generan altos consumos. El artículo 12 de la ley 373 ibídem, aclara que las entidades “deben incorporar en su presupuesto los gastos de las campañas educativas a la comunidad para el uso racional y eficiente del recurso hídrico”, menciona además que el MADS podrá celebrar convenios con las empresas para lograr una efectiva concientización en el uso racional del agua. El PUEAA (2010) cuenta con un proyecto de educación ambiental pero dirigido únicamente a la protección de zonas de nacimiento, es decir, no se orienta en ningún aparte a reducir el gasto, a desestimar el uso excesivo o a propiciar el uso de tecnologías de bajo consumo. Por lo tanto, es necesario que el municipio desarrolle campañas efectivas en este aspecto. Un estudio en la ciudad de Zaragoza (España) mostró que la prohibición en de ciertos usos de agua como el lavado de andenes y el riego de jardines generó un 29% de reducción en el consumo; la imposición de sanciones por exceder el límite máximo permitido, un 19%; y las campañas de información masiva motivando al uso eficiente del agua, un 8%. (Manco S., Guerrero E., & Ocampo C., 2012). Ya en el ámbito nacional, un estudio realizado en la vereda Mundo Nuevo de la ciudad de Pereira, arrojó los resultados de eficiencia de diferentes estrategias utilizadas para moderar el consumo de agua. La eliminación de goteos y fugas la interior de las viviendas generó un 43% de reducción; el uso de teconologías de bajo consumo, un 49%; y las campañas educativas, un 7% (Jimenez & Arias Marín, 2007). Como se observa, existen diferentes acciones que pueden implementarse, y sus resultados podrían depender de muchos factores, entre estos, la cultura de las poblaciones, el nivel educativo que posean, los recursos con que se cuente, empero, siempre los resultados serán positivos.

En este contexto, es importante que el municipio propenda por reducir el consumo en sus usuarios, para lo cual debe tener una ruta clara con las actividades que desarrollará al interior de la comunidad y mantenerla en el tiempo. Para bajar los consumos, la Resolución CRA ibídem, otorga unos periodos perentorios, hasta el 1 de mayo de 2016 el consumo máximo para municipios como Chachagüí deberá ser de 18 m³/suscriptor/mes (150 l/hab/día); hasta el 1 de enero de 2017, de 16 m³ (133 l); hasta el 1

de julio de 2017, de 13 m³ (108 l); y hasta el 1 de enero de 2018, de 13m³ (108 l). Estima que en caso contrario, se perderá los subsidios y se deberá pagar tarifa plena. Por lo tanto, es urgente incentivar la instalación de sistemas de ahorro de agua en las viviendas, lo cual garantiza un uso eficiente del recurso de forma continua, y genera beneficios al usuario reduciendo el costo en la factura de agua, lo cual a su vez contribuye con los beneficios ambientales, al evitar la sobreexplotación del recurso, pues esto conllevará a utilizar un menor caudal, debido a que reducirá en cierta medida, la presión sobre las corrientes abastecedoras. Así lo requiere el decreto 3102 de 1997 que obliga a las entidades prestadoras de servicio a autorizar las conexiones de agua sólo cuando se verifique que los domicilios tengan equipos de bajo consumo, divulgar los programas y sus resultados, sobre la reducción del índice de agua no contabilizada, acordar con los usuarios los plazos dentro en los que deben reemplazar o arreglar los equipos, o implementos de bajo consumo que causen fugas, aspectos que también son requeridos a través de la resolución 532 de 2009 expedida por CORPONARIÑO. Cabe aclarar que es necesario que el municipio verifique los usos que se le está dando al recurso hídrico, pues las resoluciones por medio de las cuales se otorgaron las concesiones a EMPOCHACHAGÚÍ determinan que son exclusivas para consumo humano incluyendo las actividades domésticas, por lo tanto, los usos que difieran de este deben prohibirse y sancionarse, ya que esto está incrementando la presión sobre las corrientes hídricas abastecedoras y poniendo en riesgo el abastecimiento para el consumo de los habitantes. Así también CORPONARIÑO debe ejercer su rol de autoridad ambiental, a través de las facultades que la Ley 99/93 le ha otorgado, con el fin de preservar el recurso. Para el caso de riego y necesidades recreativas, los usuarios deberán buscar fuentes alternas, y solicitar la debida autorización ambiental a la Corporación, quien determinará la viabilidad o no de acceder a dicho requerimiento.

Ahora bien, si se tiene en cuenta todos los resultados generados en el numera 3.2.1, se observa que ante fenómenos extremos ningún escenario cubre el 100% de la demanda, aún si se utilizará agua de una tercera fuente hídrica, por lo tanto, es fundamental que el municipio desarrolle un plan de contingencia para el abastecimiento de la comunidad ante la presencia de fenómenos climáticos. Según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria (ACODAL), en los 32 departamentos los planes de contingencia no son suficientes en relación a sequía que se harán evidentes de aquí al 2100 en el Caribe y la Orinoquía. Tampoco hay mapas de vulnerabilidad de los sistemas de acueducto frente al cambio climático, regímenes de variación del clima y fenómenos de clima extremo como la niña y el niño (El país no aguanta su sostenibilidad ambiental, 2015). Además de estos eventos, hay que reconocer que existe baja capacidad técnica en el ámbito municipal en gestión del riesgo y manejo integral del recurso hídrico, así como, un reducido conocimiento de las amenazas y vulnerabilidades, lo cual no permite analizar la condición de riesgo frente al recurso hídrico. (MADS, 2010a). Para poder determinar la vulnerabilidad, es importante analizar la presión versus la regulación hídrica a través del índice de vulnerabilidad hídrica IVH, el cual fue calculado en el ENA (2014) para la mayoría de cabeceras municipales. Este índice se define como “el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño)– podría generar riesgos de desabastecimiento”. Este índice se calcula mediante la relación del Índice de Regulación Hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA). Para la subzona hidrográfica Río Juanambú donde se encuentra el municipio de Chachagúí, tanto para condiciones hidrológicas medias como secas, se presenta un IUA muy alto y un IRH bajo lo que da como resultado un Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) Alto (IDEAM, 2014). Este resultado es fácilmente observable en campo, donde las corrientes hídricas en época de estiaje bajan sus caudales notoriamente, debido no solo a los fenómenos climáticos sino al alto consumo de agua que se presenta en el municipio. Por consiguiente, el municipio debe ajustar su plan de gestión del riesgo y las estrategias de respuesta ante emergencias en relación a los fenómenos climáticos, en coordinación con la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD) a través de la red de coordinadores

municipales, departamentales y nacionales de gestión del riesgo, y ponerlo en marcha en épocas de ocurrencia de este fenómeno. (UNGRD, 2014)

La ONU ratifica que la crisis del agua es esencialmente una crisis de gestión de los asuntos públicos, o en otras palabras, de gobernabilidad, esta “pensada como una propiedad de los sistemas políticos definida por su capacidad para alcanzar objetivos prefijados al menor costo posible” (Mayorga & Córdova, n.d.), buscando que el sistema tenga la suficiente capacidad para adaptarse a los desafíos que se generan en su entorno (Mayorga & Córdova, n.d.). Las causas son diversas, falta de instituciones adecuadas, debilidad de las estructuras institucionales, contradicción de intereses en torno al agua, mecanismos inapropiados de participación pública en la toma de decisiones, transferencia inadecuada de recursos e imprevisibilidad en la aplicación de las leyes. La gobernabilidad ineficiente en torno al agua ha obstaculizado el avance hacia un desarrollo sostenible y hacia el fundamental equilibrio entre necesidades socioeconómicas y el sostenimiento ambiental. “La gestión integral del recurso hídrico busca actuar sobre las causas de esta gestión deficiente como son la ineficiencia, los conflictos crecientes y el uso no coordinado del recurso hídrico” (MAVDT, 2010a). “Queda claro que los principios básicos de una gestión efectiva de los asuntos hídricos incluyen la participación de todos los interesados, la transparencia, la equidad, la responsabilidad financiera, la coherencia, la capacidad de reacción, la integración y las cuestiones éticas” (Naciones Unidas, 2003). Razones relevantes para que la administración y EMPOCHACHAGÜÍ fortalezcan su gobernabilidad, ya que se necesario aunar esfuerzos con otras instancias de orden departamental, nacional, e incluso, internacional para hacerle frente a la problemática que hoy vive el municipio, pero que puede solucionarse con acciones efectivas como se ha mencionado a lo largo de este capítulo.

4.3 Cobertura del caudal ecológico

El ENA (2010) define el caudal ecológico como “aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales tales como: purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación y pesca, entre otros” (IDEAM, 2010). La resolución 865 de 2004 presenta varias metodologías para estimar este valor, dependiendo de la información con que se cuente, sin embargo, todas difieren entre sí, lo cual “no garantiza ni la vida acuática, ni la sostenibilidad del ecosistema, ni los servicios ambientales que presta el recurso hídrico” (Castro Heredia, Carvajal Escobar, & Monsalve Durango, 2006), pues para esto sería necesario contar con información continua de caudal ecológico que dependa del régimen hidrológico que presente la fuente. Para el caso de las dos corrientes hídricas abastecedoras, una vez realizado el recorrido de campo se evidenció que aguas abajo de la captación, el agua que permanece en el cauce de la Tebaida es mínima, y nula para las Helechas (ver Fotografía 5) donde se advirtió que solo queda una acequia con piedras, afectando con esto el funcionamiento de los ecosistemas. Este panorama es más notorio en época de estiaje, es decir, durante los meses de enero a marzo, y junio a septiembre, o cuando se presentan fenómenos climáticos de sequía extrema como se observa en la figura 12. La situación se presenta a nivel mundial en la mayoría de ríos intervenidos donde la biodiversidad de las aguas está reduciendo cada vez más debido principalmente a que los caudales son interrumpidos por alguna estructura hidráulica que genera alteraciones del hábitat, a lo cual se considera como una degradación del ecosistema (Naciones Unidas, 2003).

Una de las funciones de las CAR, creadas bajo la Ley 99 de 1993, es el hacer evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables,

lo cual comprende todas aquellas acciones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. Sin embargo, ante tantas funciones que tienen las Corporación, muchas de ellas no cuentan con presupuestos adecuados para su cumplimiento tácito. Esta misma ley en su artículo 43, reglamentado por el Decreto 155 de 2004, obliga a las Corporaciones a cobrar la Tasa por Utilización de Agua TUA, que es el cobro que se hace a todas las personas naturales o jurídicas por el uso del agua, aplicando una metodología ya establecida, y cuya destinación se debe orientar al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídrico. Para EMPOCHACHAGÜÍ, por el uso del agua de la Tebaida y las Helechas CORPONARIÑO cobró \$2.560.000 para toda la vigencia 2015. Como se puede observar, es un valor ínfimo que no le permite a la Corporación hacer un seguimiento efectivo sobre su recurso hídrico, y mucho menos proteger o renovar. Ligado a esto, CORPONARIÑO no cuenta con estaciones hidrológicas en el Departamento que le permitan conocer el comportamiento de los caudales en las fuentes de agua, y por ende, no puede estimar caudales ecológicos, conllevando a una incorrecta administración del recurso.

La tabla 21 revela que la vulnerabilidad de la cobertura del caudal ecológico de la quebrada la Tebaida es baja, aún en condiciones críticas de reducción de la oferta e incremento de la concesión a un 50% más del valor actual autorizado. En este sentido, pueden suceder dos cosas, la primera, que efectivamente aguas abajo de la bocatoma se mantenga el valor de caudal ecológico calculado, pero que el mismo no sea suficiente para mantener los ecosistemas; o que los resultados de la figura 21, estén subestimados, ya que la empresa de servicios públicos puede estar tomando una concesión aún mayor al escenario crítico proyectado, pues el remanente de agua observado a simple vista podría suponer que con dicho caudal no se está garantizando la sostenibilidad de los posibles ecosistemas que allí se encuentren. Ahora bien, con este estudio no se puede inferir con certeza que el remanente de agua no satisfaga las necesidades de los ecosistemas, pues para esto se requiere un estudio más detallado. Castro Heredia et al., (2006) advierte que muchas de las metodologías para estimar caudales ecológicos han surgido en otros países donde los ríos y ecosistemas presentan características particulares, lo cual debe tomarse sólo como un referente para Colombia, ya que “es necesario que para su aplicación se realice una adaptación adecuada al contexto regional, donde se evalúen las condiciones de hábitat de las especies dominantes en el río y las condiciones hidrológicas propias de la corriente”

Cabe aclarar que no se incluyó en los escenarios la quebrada las Helechas debido al bajo nivel de agua que posee (figura 6), sus condiciones son las más críticas, pues en algunos periodos secos, la misma baja sustancialmente su caudal, conllevando a que la empresa capte todo el líquido y vulnere las condiciones ambientales de la corriente aguas abajo de la captación. Por lo tanto, se reitera en que de acuerdo a la figura 18 el municipio debe buscar reducir las pérdidas de agua y bajar los consumos en sus usuarios con el fin de garantizar el remanente requerido aguas abajo de las bocatomas, así se cubrirá tanto la cobertura de la demanda como la de los caudales ecológicos de las fuentes hídricas involucradas. En cuanto al río Bermúdez, la tabla 22 presenta el escenario de vulnerabilidad del caudal ecológico del mismo una vez este sea activado, evidenciándose que dicha vulnerabilidad es muy baja ante cualquier escenario, lo cual se debe al caudal que el mismo posee y a su escaso grado de afectación, por lo tanto, no será objeto de análisis, pues el caudal ecológico se cumple perfectamente.

La política GIRH presenta varios objetivos, estrategias y metas que deben ser alcanzadas en el corto, mediano y largo plazo. Para el objetivo 1 relacionado con la oferta, se propone una estrategia de conservación orientada a mantener el caudal ecológico en las corrientes superficiales para garantizar el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos asociados, requiriéndose en primera instancia la

definición de los caudales mínimos. En este marco de la Política hídrica, CORPONARIÑO podrá gestionar recursos ante el MADS con el fin de realizar los estudios pertinentes orientados a definir el caudal mínimo aguas abajo de las captaciones, principalmente municipales que son las que mayor presión están ejerciendo sobre el recurso, para lo cual también podrá apoyarse en la academia. Una vez esto se defina, deberá comunicarlo a los prestadores de servicios públicos y realizar el seguimiento a esta variable según lo ordenado por las leyes ambientales. “En relación con los instrumentos normativos se prevé que las normas base para la gestión integral del recurso hídrico están expedidas y que salvo algunos desarrollos particulares, la Política Nacional para la GIRH promueve la articulación de las normas existentes, su divulgación y el desarrollo de protocolos que garanticen su implementación unificada a nivel nacional” (MAVD, 2010a) Esto ratifica lo señalado a nivel internacional frente a la normatividad Colombiana, pues en el área ambiental bases sólidas, y se está fortaleciendo aún más lo relacionado al recurso hídrico. Por consiguiente, CORPONARIÑO como máxima autoridad ambiental del Departamento deberá propender por que dichas normas se cumplan, o en caso contrario, aplicar las medidas correctivas, preventivas o sancionatorias del caso según corresponda, ya que los resultados generados en este documento dejan ver la falta de cumplimiento de las funciones de todos los involucrados, del municipio, de la empresa de servicios públicos, de la Gobernación, de la CAR, e incluso de las instituciones nacionales que pese a conocer las falencias que se presentan, no toman acciones al respecto, conllevando a generar conflictos sociales, económicos y ambientales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El excesivo consumo de agua de la población de Chachagüí y las altas pérdidas en el sistema de abastecimiento están generando una fuerte presión sobre las dos corrientes hídricas abastecedoras, quebradas la Tebaida y las Helechas y generando una cobertura del 76% de la demanda. Por lo tanto, al bajar las pérdidas a un 35% y la demanda en el sector urbano a 13 m³/suscriptor/mes se logrará tener una cobertura del 100% hasta el año 2035, sin el uso del agua del río Bermúdez

Ya que el municipio hace parte del Plan Departamental de Aguas, este debe propender por buscar la financiación de un proyecto orientado a la reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento, y dejar de lado el proyecto para la construcción de un nuevo sistema de acueducto con extracción de agua del río Bermúdez. Este proyecto podría retomarse posterior al año 2035.

Para periodos de sequía extrema, aún bajo un escenario ideal de cumplimiento normativo y con el uso de una tercera corriente hídrica no se alcanzará a cubrir la demanda, por lo que es necesario que el municipio actualice su plan de gestión del riesgo, planteando alternativas adecuadas que eviten el desabastecimiento y la afectación del recurso hídrico por sobreexplotación.

El municipio, en conjunto con otras entidades, incluso con los Ministerios de Ambiente y de Vivienda deberá desarrollar estrategias que desincentiven el uso excesivo del recurso, a través de campañas educativas, incrementos en el cobro de las tarifas, implementación de micro y macromedidores, y las demás que sean convenientes.

La deforestación, la quema de vegetación, el uso ilegal del agua en las microcuencas de estudio, aunado al régimen climático de la zona y a la presencia de fenómenos climáticos extremos han conllevado a que el caudal promedio de las corrientes se reduzca en un 15% en un periodo de 10 años, por lo que es necesario que la Alcaldía, la Gobernación y CORPONARIÑO aúnen esfuerzos en la recuperación ambiental de las microcuencas, especialmente en las partes altas, ya que si bien es cierto, esto no aumentará el caudal, lo regulará, haciendo que los “picos” de mínimos y máximos se “suavicen”. Esto a su vez puede reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos como remociones en masa, al estabilizar algunas zonas de ladera. Sin embargo, son acciones cuyos resultados se generan a mediano y largo plazo, pues se requiere una serie de acciones como: ubicación de zonas estratégicas para reforestación, compra de predios, siembra de especies, mantenimiento de las mismas; o incluso, implementar proyectos de pago por servicios ambientales e incentivos de conservación, en el marco del decreto 870 de 2017.

CORPONARIÑO en ejercicio de su función de autoridad ambiental debe otorgar las concesiones bajo el conocimiento del estado del recurso hídrico (oferta, demanda, riesgo, calidad) y hacer seguimiento al mismo, garantizando su conservación y el mantenimiento de los ecosistemas que depende de ella. Para el caso, debe soportar la viabilidad o no de autorizar una tercera concesión al municipio sobre el cauce del río Bermúdez, pues según se demostró con los escenarios planteados, no es necesaria una tercera captación si se realiza una gestión eficiente sobre el recurso que actualmente está concesionado. Así mismo, debe aplicar las medidas preventivas, correctivas y sancionatorias del caso frente al uso indiscriminado del recurso o a la afectación que impida otros usos potenciales.

Para determinar los caudales ecológicos adecuados que deben mantenerse una vez se realicen las captaciones es necesario hacer un estudio que incluya, los ecosistemas encontrados en la zona, las características de las fuentes, los regímenes hidrológicos, y otros aspectos de importancia que soportarán los resultados.

El desconocimiento del estado del recurso hídrico a nivel nacional es evidente, por lo que se requiere implementar estaciones hidro-meteorológicas a nivel de microcuencas, especialmente donde se ubiquen las fuentes hídricas abastecedoras, con el fin de tener datos certeros en el tiempo que permitan una mejor toma de decisiones

Teniendo en cuenta que la información DANE generada en los censos poblacionales no es coherente con la realidad encontrada en el municipio, por lo cual no pudo aplicarse ningún método establecido por el RAS, se recomienda realizar un censo, el cual será la base para que el municipio planifique adecuadamente los recursos que está entregando a la población, no solo en relación al recurso hídrico, sino también al suelo, pues una sobrepoblación generaría mayor presión sobre los ecosistemas, mayor desabastecimiento y acarrearía problemas sociales y económicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agirre, A., & Bikuña, B. G. (2015). CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LOS RÍOS IBÉRICOS, (January 2001).
- Alejandro Iza, & Marta B. Rovere. (2006). *Gobernanza del agua en América del Sur: dimensión ambiental - Marta Brunilda Rovere - Google Books*. (UICN, Ed.). Suiza y Cambridge, Reino Unido. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=xC2gsSf-JXgC&pg=PA190&dq=aumento+de+caudal+con+reforestación&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiL1_C_8Y_QAhUBI2MKHcCpC6UQ6AEILTAC#v=onepage&q=aumento+de+caudal+con+reforestación&f=false
- Bates, B. ., Z.W. Kundwics, S. Wu, & J.P Palutikof. (2008). *EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- Camacho, L. ., & DíasGranados, M. (1998). METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO DE TRANSPORTE DE SOLUTOS Y DE CALIDAD DEL AGU EN RÍOS - CASO RÍO BOGOTÁ, 0, 10.
- Castro Heredia, L. ., Carvajal Escobar, Y., & Monsalve Durango, E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería Y Universidad*, 10(2), 179–196. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2265552>
- Centro de Cambio Global, U. de C. (2009). Modelación Hidrológica Y De Recursos Con El Modelo Weap. *Universidad Catolica de Chile*, 86.
- Chachagüí. (2009). *PLAN DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA “PUEAA.”* Chachagüí. Colombia.
- Chachagüí. (2016). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL*. Chachagüí. Colombia.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, & Departamento Nacional de Planeación. (2007). CONPES 3463. Bogotá. Colombia.
- Contraloría General de la República. (2011). Evaluación de la Política de Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento PDA. Bogotá. Colombia. Retrieved from <http://www.contraloria.gov.co/documents/10136/44701101/Evaluacion-Politica-Planes-Dptales-Manejo-Empresarial-Servicios-Agua-y-Saneamiento-PDA.pdf/ffda68e9-74f3-41e3-a6d5-b4a1540afdf3>
- Contreras, M. Y., & González, K. A. (2013). EL ACCESO AL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA. *Revista de Economía Institucional*, 15(29), 125–148.
- CORPOCALDAS. (2014). En la Cuenca del Chinchiná se aplicará modelo weap para tomar decisiones frente a escenarios de cambio climático. Manizales. Retrieved from <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1425/BoletinPrensaCorpocaldas011-05-05-2014.pdf>
- CORPONARIÑO. (2010). *INDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL CUENCA DEL RÍO JUANAMBÚ Y RÍO PASTO*. San Juan de Pasto. Colombia.
- CORPONARIÑO. (2011). *PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO - PORH DEL RIO BERMUDEZ*. San Juan de Pasto. Colombia: 2011.
- CORPONARIÑO. (2014a). Informe de Control y Monitoreo No. 501 de 2014. San Juan de Pasto.
- CORPONARIÑO. (2014b). Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento de Nariño PGAR 2015-2032 - Primera Versión. San Juan de Pasto. Retrieved from

- <http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/pgar20152032/diagnosticoPGAR20152032-parte1.pdf>
- CRA, & Minvivienda. (2013). *Nivel de pérdidas aceptable para el cálculo de los costos de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado*. Bogotá. Colombia.
- Defensoría del Pueblo. (2012). Decimonoveno Informe del Defensor del Pueblo al Congreso de la República de Colombia. Segunda Parte. Bogotá. Colombia. Retrieved from http://www.defensoria.gov.co/public/pdf/02/19_informe_congreso_II.pdf
- Diario EL TIEMPO. (2015). Objetivos del Milenio: El país aún no garantiza su sostenibilidad ambiental. Retrieved October 15, 2016, from <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15768644>
- Domínguez, E. C., Rivera, H. G., Sarmiento, R. V., & Moreno, P. M. (2008). RELACIONES DEMANDA-OFFERTA DE AGUA Y EL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO COLOMBIANO, (February 2014).
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). *Análisis del impacto del fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Ideam*.
- Fuquene, D. (2013). Análisis de Pérdida de Agua en los Sistemas de Abastecimiento de Agua. *Módulo Didáctico*. Retrieved from http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contenido_en_linea/leccin_1_1_red_de_distribucin.html
- García, M., Vargas, C., & Grandos, M. (2013). Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011 Comparative study of non-revenue water index in Colombia for the period 1995-2011. *Tecnogestión*, 10(1), 26–35.
- Gobernación de Nariño. (2010). *DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL Y TÉCNICO DE LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO MUNICIPIO DE CHACHAGÜÍ – NARIÑO*. Chachagüí, Colombia.
- Gonzalo de las Salas. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América tropical - Gonzalo de las Salas - Google Books*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=hC4Fdd-LhNsC&pg=PA417&dq=aumento+de+caudal+con+reforestación&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKewjB4qnCzY3QAhUOxGMKHaw2Cr0Q6AEIjAA#v=onepage&q=aumento+de+caudal+con+reforestación&f=false>
- Green Facts. (2009). *Recursos Hídricos. Resumen del 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Retrieved from <http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>
- Guzmán, D., Ruiz, J., & Cadena, M. (2014). *REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)*. Bogotá. Colombia.
- IDEAM. (2004). Resolución 865 de 2004, por medio de la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá. Colombia.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua -ENA-*. Bogotá. Colombia.
- IDEAM. (2013). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA-. Bogotá. Colombia.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua. Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Jimenez, A., & Arias Marín, M. (2007). Diseño de un Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua para el Acueducto “ASAMUN” de la Vereda Mundo Nuevo de la Ciudad de Pereira, 105. Retrieved from

- <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/853/36361J37d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ley 142 Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. (1994). Bogotá. Colombia, Colombia.
- Little, C., Lara, A., J. M., & R, U. (2009). *Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile* (Journal of). Chile.
- Lozano, G., Zapata, M. A., & Peña, L. E. (2010). SELECCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN EL PROYECTO “MODELACIÓN DE CORRIENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO,” 6(5), 49–56.
- Luyith Melo García. (2014). Cali pierde tanta agua como la que consume en todo un año - Cali - El País. Retrieved November 11, 2016, from <http://www.elpais.com.co/elpais/cali/noticias/cali-pierde-tanta-agua-como-consume-todo-ano>
- Manco S., D. G., Guerrero E., J., & Ocampo C., A. M. (2012). Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16.
- Mayorga, F., & Córdova, E. (n.d.). GOBERNABILIDAD Y GOBERNANZA EN AMERICA LATINA. Retrieved from <http://www.institut-gouvernance.org/docs/ficha-gobernabilida.pdf>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). *Resolución 2320 del 27 de noviembre de 2009*. Bogotá. Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá. Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS. Título B. Sistemas de Acueducto. Bogotá. Colombia.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. (2016). Resolución CRA 750 de 2016- Por la cual de modifica el rango de consumo básico. Retrieved from https://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/admon1202/files/Resolucion_CRA_750_de_2016-Edicion_y_copia.pdf
- MONGABAY.COM. (2009). Los bosques lluviosos: Oportunidades en desaparición. Retrieved September 15, 2016, from <http://global.mongabay.com/es/rainforests/0902.htm>
- Mujica, E., & Rueda, J. L. (1997). *La Sostenibilidad de Los Sistemas de Produccion Campesina en Los Andes - Google Books*. (CODESAN, Ed.) (Primera Ed). Lima. Perú. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=jCBOs1uRSdUC&pg=PA40&dq=reduccion+del+caudal+d+e+los+rios&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi6jJeGxo3QAhVQ4mMKHffLCuIQ6AEIJjAB#v=onepage&q=reduccion+del+caudal+de+los+rios&f=false>
- Naciones Unidas. (2003). *Agua para todos. Agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo*. Paris. Francia. Retrieved from <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- Naciones Unidas. (2010). El derecho humano al agua y al saneamiento. Retrieved from http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2015*. Nueva York.
- Pérez, D. (2005). *DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA NETA DEL CAÑO LA CEIBA EN LA VEREDA LA CEIBA (MUNICIPIO DE PUERTO SALGAR – CUNDINAMARCA). ESTUDIO DE CASO: DESARROLLO DE UN PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Colombia.
- República de Colombia. (1997). Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Bogotá. Colombia. Retrieved from <http://www.emdupar.gov.co/emd/index.php/la->

- entidad/normatividad/normatividad/normatividad-general/ley-373-de-1997-pdf/download
República de Colombia. (2011). Ley 1450 de 2011. Bogotá. Colombia. Retrieved from
http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3821_documento.pdf
- SSPD. (2016). Acto Aprobación de Tarifas / Comerciales / Reportes / Acueducto / Inicio - Sistema Único de Información Superservicios. Retrieved October 31, 2016, from
<http://www.sui.gov.co/web/acueducto/reportes/comerciales/acto-aprobacion-de-tarifas>
- Sustainable Sanitation and Water Management. (2013). Gestión del Agua y Saneamiento Sostenible en América Latina. Retrieved October 15, 2016, from <http://www.sswm.info/ar/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano>
- UNGRD. (2014). *Plan Nacional de Contingencia ante fenómeno del Niño 2014-2015*. Bogotá. Colombia.
- Universidad Nacional de Colombia. (2015). Caudales de ríos bajan 10 % por cambio climático - UNIMEDIOS: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved October 23, 2016, from <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/caudales-de-rios-bajan-10-por-cambio-climatico.html>
- Urquijo, J., Ignacio, J., & Jainaga, T. (2003). Servicios y Beneficios Ambientales, 122.
- Urquijo R., J., & Trueba J., J. I. (2003). Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenible en Zonas Marginales de Guatemala. *FAO*, 120.