

**OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA MEDIANTE ESCENARIOS DE GESTIÓN A  
PARTIR DEL MODELO WEAP**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO  
2018**

**OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA MEDIANTE ESCENARIOS DE GESTIÓN A  
PARTIR DEL MODELO WEAP**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero  
Agroforestal**

**YEISON DAVID ROSERO LUNA**

**Presidente de Monografía**

**PAULO CESAR CABRERA. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2018**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>9</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Marco Conceptual</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.1 Cuenca hidrográfica.</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.2 Recurso hídrico.</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.3 Oferta y disponibilidad del recurso hídrico.</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.3.2 Agua subterránea.</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1.3.3 Agua marino-costera.</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1.4 Gestión del recurso hídrico.</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1.5 Escenarios de gestión del recurso hídrico</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1.6 Modelo.</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.7 Modelo hidrológico.</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.8 Modelo WEAP.</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2 Marco Referencial</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.1 Antecedentes.</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Marco Normativo</b> .....	<b>25</b>
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	<b>30</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1 Comparación de experiencias de aplicación del modelo WEAP</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1.1 Estudio de caso: Río Baché, Departamento del Huila.</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1.2 Estudio de caso: Río Aipe, Departamento del Huila.</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1.3. Estudio de caso: Microcuencas La Tebaida, Las Helechas y Bermudez.</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2 Determinación de las ventajas del modelo WEAP</b> .....	<b>46</b>
<b>5.3 Identificación de la viabilidad del modelo WEAP en el contexto local</b> .....	<b>49</b>
<b>5.3.1 Localización microcuenca Dolores.</b> .....	<b>50</b>
<b>5.3.2 Aspectos biofísicos microcuenca Dolores.</b> .....	<b>52</b>

5.3.3 Aspectos socioeconómicos microcuenca Dolores. ....	60
5.3.4 Matriz FODA microcuenca Dolores. ....	62
6. CONCLUSIONES .....	71
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Objetivos de la Política Nacional Para la Gestión Integral del recurso Hídrico.....</i>	<i>143</i>
<i>Cuadro 2. Antecedentes de aplicación del Modelo WEAP a nivel internacional. ....</i>	<i>19</i>
<i>Cuadro 2. Antecedentes de aplicación del Modelo WEAP a nivel nacional. ....</i>	<i>2022</i>
<i>Cuadro 3. Marco normativo para el manejo de recursos hídricos en Colombia. ....</i>	<i>2524</i>
<i>Cuadro 4. Estudios de caso modelo WEAP. ....</i>	<i>4138</i>
<i>Cuadro 5. Lista de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas microcuenca Dolores ...</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 6. Matriz FODA microcuenca Dolores .....</i>	<i>63</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación microcuenca Dolores .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2. Precipitación estación Botana, Pasto.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. Temperatura estación Botana, Pasto.....</i>	<i>540</i>
<i>Figura 4. Humedad Relativa estación Botana, Pasto.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5. Brillo solar estación Botana, Pasto.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 6. Evaporación estación Botana, Pasto.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7. Recorrido del viento estación Botana, Pasto.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 8. Balance hídrico climático promedio (P = 75%).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 9. Caudal L/seg de las siete estaciones en época de alta y baja precipitación, microcuenca dolores. ....</i>	<i>55</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

América Latina es una de las regiones del mundo con más recursos hídricos. Sin embargo, su distribución espacial y temporal provoca escasez de agua en extensas zonas del continente, como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, México y Perú (CEPAL, 2007). Esta situación se acentúa aún más cuando se presenta al mismo tiempo la convergencia de otros elementos como la distribución poblacional, la contaminación de fuentes y la creciente demanda de agua por todos los sectores de consumo, entre otros. Consecuentemente, todos los países se encuentran ante el inevitable reto de la planificación para ejercer una eficiente y efectiva administración de este valioso recurso natural (Guzmán y Calvo, 2013, p. 4).

Por otra parte, en Colombia la presión insostenible sobre el agua, debida a la creciente demanda, la contaminación y el crecimiento demográfico han llevado a un deterioro sostenido del recurso hídrico que se explica en gran medida por la falta de gobernabilidad y la gestión inadecuada (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010).

En esa medida en esta revisión se habla del modelo hidrológico *Water Evaluation And Plannig System* (WEAP) como una herramienta para la gestión del recurso hídrico, con base en el análisis de su importancia y la contribución de este software en el manejo del recurso hídrico, mediante la exploración bibliográfica de algunos estudios realizados con dicho modelo. El modelo WEAP junto con los sistemas de información geográfica utiliza diferentes modelos matemáticos enfocados al análisis biofísico de la tierra; que han sido de gran ayuda para la toma de decisiones en la planificación y gestión integrada del agua, tomando gran importancia en los últimos años.

WEAP es sin duda una gran herramienta que mediante la relación de oferta y demanda hídrica proporciona información que permite a los analistas hacer simulaciones de posibles escenarios futuros de escasez de agua para una población o sequías que tengan grandes repercusiones a nivel ecológico, así como también la viabilidad de proyectos de aprovechamiento de agua. Algunos países, como México Colombia y Ecuador, presentan experiencias exitosas conducentes, sin embargo, aún requieren la continuidad necesaria en el tiempo de las investigaciones.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar la disponibilidad del recurso hídrico mediante escenarios de gestión a partir del modelo WEAP.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Comparar experiencias de aplicación del modelo WEAP.
- Determinar ventajas de la aplicación del modelo WEAP.
- Identificar la viabilidad de aplicación del modelo WEAP en el contexto local.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Marco Conceptual

**3.1.1 Cuenca hidrográfica.** Según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), la Gestión Integral del Recurso Hídrico define la cuenca hidrográfica como la unidad fundamental de análisis para el desarrollo de los procesos de planificación y administración. Definido mediante el Decreto 1076 de 2015, título 3, sección 5, coherente con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) de 2010.

La cuenca es un sistema de captación y concentración de aguas superficiales en el que interactúan recursos naturales y asentamientos humanos dentro de un complejo de relaciones, donde los recursos hídricos aparecen como factor determinante. Menciona también que, el concepto de cuenca hidrográfica posee connotaciones amplias dependiendo de los objetivos que se persiga. Los intereses perseguidos determinan, de algún modo, su definición y caracterización, y por consiguiente su planificación y manejo (García, 2007, p. 1).

En general, para efectos de la gestión y administración de los recursos naturales, la cuenca hidrográfica se ha entendido como una fuente de recursos hidráulicos, un espacio ocupado por un grupo humano, que genera una demanda sobre la oferta de los recursos naturales renovables y realiza transformaciones del medio, y como un sistema organizado de relaciones complejas, tanto internas como externas. Por estas razones se convierte en un espacio natural (un conjunto de sistemas entrelazados) idóneo para llevar a cabo la labor conjunta de la gestión y manejo de los recursos naturales (García, 2007, p. 1).

**3.1.2 Recurso hídrico.** El agua es un recurso finito, se recicla permanentemente en lo que se denomina el ciclo hidrológico o ciclo del agua. Esta constante renovación que realiza el ciclo hidrológico conduce a dos supuestos que a la larga se han mostrado negativos. Por una parte, el agua ha sido frecuentemente considerada un bien público o libre, o de acceso libre; por otra, hasta fechas recientes se ha tomado conciencia de su escasez, a tal punto que hoy es uno de los factores limitantes en ciertas actividades económicas fundamentales para el desarrollo, en particular para la agricultura.

Para la CRC (2015), El agua es el elemento más importante para la vida en la Tierra. El 70 % del planeta está formado por agua. A su vez, el ser humano y la mayoría de los animales están constituidos por un 70% de agua. Este dato pone en evidencia la importancia biológica que tiene el agua para todos los seres vivos que habitamos la Tierra.

Además, la “crisis global del agua” se manifiesta en las consecuencias sociales y políticas. Más de un tercio de la población mundial – alrededor de 2,4 mil millones de personas viven en países con escasez de agua, y se espera que ese número alcance los dos tercios para el 2025 (Vogel, 2007 p. 17).

**3.1.3 Oferta y disponibilidad del recurso hídrico.** De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2012) la oferta hídrica se define como las variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos. (p. 171)

El 97.5% del agua del planeta es salada y está en los océanos, lo cual deja apenas 2.5% de agua dulce, pero desgraciadamente 79% de ésta está congelada en casquetes polares, mientras que 20% son aguas subterráneas, lo cual dejaría 1% del 2.5% de agua del planeta como disponible para uso humano. Esta cifra es también engañadora ya que 38% está incorporada como humedad en los suelos, 8% es vapor de agua atmosférico y 1% es parte de los organismos vivos, 52% en lagos y 1% en ríos. En síntesis, sólo la centésima parte de 1% del agua del planeta es asequible para uso humano.

**3.1.3.1 Agua superficial.** La oferta hídrica superficial se refiere al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo, se cuantifica a través de la esorrentía y rendimientos hídricos (l/s – km<sup>2</sup>) en las unidades espaciales de análisis definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, clasificada en tres niveles; áreas, zonas y subzonas hidrográficas (IDEAM, 2011, p.54).

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo, se estima un rendimiento hídrico a nivel nacional de 56 l/s-km<sup>2</sup> que supera el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km<sup>2</sup>) y el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km<sup>2</sup>). (IDEAM, 2011, p 69).

Del volumen total anual de precipitación en Colombia que se tomó para el Estudio Nacional de Agua (ENA) de 2014 (3.267 km<sup>3</sup>), el 62% se convierte en esorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 63.789 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un volumen de 2.025 km<sup>3</sup> al año. Se asume a la esorrentía superficial como la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje para un intervalo de tiempo dado.

**3.1.3.2 Agua subterránea.** El almacenamiento y flujo del agua en el subsuelo están determinados por las condiciones geológicas del suelo y subsuelo además de las características físicas, químicas, hidrológicas y climáticas que intervienen en la dinámica de recarga, tránsito y descarga de los sistemas acuíferos presentes en las diferentes regiones (IDEAM, 2015).

**3.1.3.3 Agua marino-costera.** Hace referencia al borde costero de Colombia, que se define como la franja de anchura variable de tierra firme y espacio marítimo en donde se presentan procesos de interacción entre el mar y la tierra con características naturales, demográficas, sociales, económicas y culturales propias y específicas (Steer, Arias, Ramos, Sierra y Alonso., 1997 citado por INVEMAR, 2015, p. 18).

De igual manera se tiene en cuenta la jurisdicción marina que desde la perspectiva biogeográfica, se diferencian la región del Atlántico Tropical y la región del Pacífico Este Tropical, dentro de

las cuales se encuentran tres provincias: Provincia Océano Pacífico Tropical, Provincia Mar Caribe y la Provincia Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (INVEMAR, 2012).

**3.1.3.4 Agua glaciar.** En un glaciar las entradas de agua se obtienen a través de la precipitación sólida o líquida en forma de nieve o lluvia respectivamente y también la neblina que choca frente a la masa de hielo del glaciar. Sobre la capa del glaciar ocurren procesos de sublimación (paso del estado sólido a gaseoso) y de fusión (sólido a líquido) (IDEAM, 2011).

En el territorio colombiano persisten seis pequeñas masas glaciares, conocidas comúnmente como nevados (cuatro volcanes-nevados: Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Huila, y dos sierras nevadas: Santa Marta y El Cocuy o Güicán), los cuales ocupan actualmente un área aproximada entre 43 y 45 Km<sup>2</sup>. Su posición geográfica entre los 3 y 11° de latitud norte aproximadamente los clasifica como glaciares ecuatoriales (IDEAM, 2011).

**3.1.4 Gestión del recurso hídrico.** La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico tiene un horizonte de 12 años (2010- 2022) y para su desarrollo se establece ocho principios y seis objetivos específicos. Para alcanzar dichos objetivos se han definido estrategias en cada uno de ellos y directrices o líneas de acción estratégicas que definen el rumbo hacia donde deben apuntar las acciones que desarrollen cada una de las instituciones y de los usuarios que intervienen en la gestión integral del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018).

Esta política fue proyectada como el instrumento direccionado de la gestión integral del recurso, incluyendo las aguas subterráneas, establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018).

El principal instrumento con el que cuenta el país es la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, expedida en el año 2010 donde se establecen los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de este recurso en el país. Esta Política tiene como objetivo orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional bajo un criterio de gestión integral. La Política establece objetivos orientados a atender las diferentes problemáticas que afronta el recurso hídrico en el país (IDEAM, 2015, p. 9).

*Cuadro 1. Objetivos de la Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*

Objetivo 1. Oferta	Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
Objetivo 2. Demanda	Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua del país.
Objetivo 3. Calidad	Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
Objetivo 4. Riesgos	Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad de agua.
Objetivo 5. Fortalecimiento Institucional	Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
Objetivo 6. Gobernabilidad	Consolidar y fortalecer la Gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

Fuente: IDEAM (2015)

Las orientaciones metodológicas para la planificación del recurso hídrico están conformadas por guías, metodologías e instrumentos que se utilizan para conocer, ordenar y gestionar de forma adecuada el recurso.

**3.1.5 Escenarios de gestión del recurso hídrico.** El cambio climático y otros factores externos a la gestión de los recursos hídricos (como la demografía, la tecnología, la política, los valores sociales, la gobernabilidad y la ley) experimentan una aceleración de las tendencias o perturbaciones. No obstante, a pesar de estos desafíos y de la creciente complejidad que supone afrontarlos, cada vez tenemos menos información sobre los recursos hídricos y cómo se utilizan. Esto crea nuevos riesgos e incertidumbres para los gestores del agua y para aquellos que determinan las acciones que se emprenden en materia hídrica (UNESCO, 2017).

También se ha examinado una cantidad significativa de escenarios relacionados con los recursos hídricos a nivel mundial, además de otros ámbitos geográficos, para determinar los motores de cambio que se debían revisar a fin de entender cómo podrían evolucionar tomando el año 2050 como horizonte. Se identificaron diez escenarios con el objetivo de investigar y describir los posibles futuros según el contexto de cada contexto. A partir de esta investigación se extrajo una lista de posibles futuros de cada contexto y teniendo en cuenta las interrelaciones existentes entre algunos de los otros motores seleccionados UNESCO (2017).

A continuación, se enumeran los diez motores identificados que se han investigado, analizado y revisado exhaustivamente:

- Agricultura
- Cambio climático y variabilidad
- Demografía
- Economía y seguridad
- Ética, sociedad y cultura (incluye cuestiones de igualdad)
- Gobernanza e instituciones (incluye el derecho al agua)
- Infraestructura
- Política
- Tecnología
- Recursos hídricos, incluyendo aguas subterráneas y ecosistemas

Mediante la creación de estos escenarios se pretende apoyar los vínculos existentes entre la toma de decisiones anticipada a nivel socioeconómico y el sistema mundial del agua, incluyendo la identificación de los principales riesgos y oportunidades y de futuros alternativos. Proporcionar una articulación interdisciplinaria respecto de la comprensión científica actual del sistema mundial del agua, incluidas las principales incertidumbres y áreas de acuerdo, utilizando descripciones cualitativas y proyecciones cuantitativas, opiniones de expertos y análisis de la información disponible (UNESCO, 2017).

Según el Centro de cambio Global (2009) con el modelo WEAP se pueden realizar una serie de estudios específicos WEAP. Una clase de estos estudios corresponde a la evaluación de diferentes escenarios potenciales futuros. Los escenarios futuros pueden ser de diferentes tipos:

- Escenarios de crecimiento o cambio en la población
- Escenarios de uso de suelo
- Escenarios de clima

En general, los escenarios de crecimiento o cambio de población pueden diseñarse considerando las tasas de crecimiento de población proyectadas hacia futuro, así como el cambio en la proporción de población rural y urbana, o el aumento de población dada por un evento específico dentro del modelo como la construcción de una represa.

Los escenarios de uso de suelo pueden considerar aspectos de cambio en la cobertura vegetal dada por tendencias futuras como por ejemplo disminución o aumento de zonas forestales, o cambio en tipos de cultivos por tendencias económicas. Todas estas consideraciones deben estudiarse de forma que al implementar el escenario se sepa con claridad que variables y funciones se van a tener en cuenta al definir el escenario.

Los escenarios de clima constituyen uno de los aspectos de mayor uso en un modelo agregado como WEAP. Existen diferentes maneras de implementar proyecciones climáticas dentro de un modelo, incluyendo incorporación de deltas de temperatura y/o precipitación con base en proyecciones de modelos climáticos (p, 80).

**3.1.6 Modelo.** En general un modelo puede ser entendido como una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. Mediante el modelado se busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema y el sistema como un todo (UTADEO, 2017).

Un modelo es entonces una representación esquemática o conceptual de un fenómeno, que representa una teoría o hipótesis de cómo dicho fenómeno funciona. Los modelos normalmente describen, explican y predicen el comportamiento de un fenómeno natural o componentes del mismo. Los modelos que simulan fenómenos relacionados con recursos hídricos se pueden clasificar en tres grandes categorías: hidráulicos, que corresponden a aquellos que simulan el comportamiento de flujos en los cauces para distintos escenarios; hidrológicos, que simulan la relación entre las características meteorológicas y la escorrentía de una cuenca; y de planificación, que modelan la operación de los sistemas de recursos hídricos de una cuenca (Mena, 2009, p. 9).

**3.1.7 Modelo hidrológico.** Teniendo en cuenta la importancia de los modelos en la simulación y predicción de los fenómenos físicos a corto, mediano y largo plazo. A través de los modelos podemos obtener relaciones causa-efecto, sin haber realizado cambios en los sistemas reales. Un modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica (Chavarri, 2008, p. 6).

En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente se representa es la cuenca hidrográfica y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático ayuda a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo de la realidad. La salida de los modelos hidrológicos varía dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las

tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma o hidrograma de escurrimiento (IDEAM, 2014).

Según Argota (2011) el modelo hidrológico es una aplicación de los modelos matemáticos estocásticos, se utilizan para estudiar situaciones extremas, difícilmente observables en la realidad, como por ejemplo los efectos de precipitaciones muy intensas y prolongadas en cuencas hidrográficas, en su estado natural, o en las que ha intervenido la mano del hombre con la construcción de obras como canales, represas, caminos, puentes, etc. La cuenca hidrográfica es dividida en sub cuencas consideradas homogéneas desde el punto de vista: del tipo de suelo, de la declividad, de su cobertura vegetal, etc. El número y tipo de las variables hidrológicas que intervienen en el modelo son función del objetivo específico para el cual se elabora el mismo. (p.16)

**3.1.8 Modelo WEAP.** Reyes (2012) manifiesta que “WEAP es una herramienta computacional desarrollada por *Stockholm Environment Institute* (SEI), que provee una orientación integral a la planificación de recursos hídricos”.

Leguizamón (2017) añade que WEAP es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos, funciona usando el principio básico del balance hídrico, puede ser aplicado en sistemas municipales y agrícolas, en una sola cuenca o en complejos sistemas de cuencas transfronterizas. (p.15)

Por otra parte, y de manera similar otros modelos de recursos hídricos, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua entre diferentes tipos de usuarios desde una perspectiva humana y ecosistémica. Estas características convierten a WEAP en un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático, en los que es importante estimar cambios en la oferta de agua y en la demanda de agua, los cuales producirán un balance de agua diferente a nivel de cuenca (Purkey, Joyce, Vicuna, Hanemann, Dale, Yates y Dracup, 2007, p. 14).

En general, este modelo hidrológico es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca

de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es utilizado en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. Es un modelo casi físico unidimensional, con dos receptáculos de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, reparte el agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación (Centro de Cambio Global, 2009, p. 7).

## **3.2 Marco Referencial**

**3.2.1 Antecedentes.** Los conflictos vinculados al recurso hídrico se han aumentado en los últimos tiempos, parece que en algunos países de la región se ha reducido la capacidad relativa que existía para solucionarlos, debido, entre otras razones, a la acelerada modificación del contexto socioeconómico y político y la creciente demanda del recurso. Ante este escenario, es difícil mejorar los sistemas de planificación y gestión del agua, más si se agrega la falta de experiencias positivas para diseñar las estrategias que impulsen un modelo de planificación del recurso hídrico (Guzmán, et al, 2013, p. 4).

En el contexto nacional en Colombia a pesar de su abundancia hídrica, durante las últimas décadas el volumen de agua en el país ha disminuido, teniendo en cuenta que el rendimiento hídrico, el cual representa la cantidad de agua por unidad de superficie en un intervalo de tiempo dado, pasó de 60 litros por segundo por kilómetro cuadrado (l/s/km<sup>2</sup>) en el año 1990 a 56 l/s/km<sup>2</sup> en el 2014 (Campuzano, Roldán, Guhl y Sandoval, 2012, p. 195).

Además, en la actualidad, la población mundial sigue careciendo de facilidades para la provisión de agua, la demanda de ésta es mayor que nunca. Para Dagnino, Sturzenegger, Charreau, Varde, Bauer, Corado y Bereciartúa (2012) el consumo de agua dulce en el mundo se ha multiplicado por seis en el último siglo, mientras que la población lo ha hecho por tres. Lo anterior sin duda incide en la oferta de agua, afectando a los ecosistemas y la agricultura, pudiendo observar a futuro cambios en la calidad del agua de los ríos, lagos, humedales, entre otros.

*Cuadro 2. Antecedentes de aplicación del Modelo WEAP a nivel internacional.*

Título	Autores	Resultados
<p>Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP. Curicó, Chile.</p>	<p>Diego Ignacio Mena Pardo (2009)</p>	<p>Este estudio brinda información necesaria para comprender los alcances del cambio climático, en términos de vulnerabilidad del sector de los recursos hídricos en la cuenca. Para lo cual se usó un modelo de simulación hidrológica conocido como WEAP el cual fue calibrado y validado a partir de datos históricos mensuales entre abril de 1975 y marzo de 2005. Los resultados muestran que se presentó una disminución de los caudales medios mensuales futuros del Río Teno de un 30% y 40% para los periodos 2036-2065 y 2071-2100 respectivamente y un aumento en el número y prolongación de periodos secos en la cuenca, causados principalmente por la disminución de la precipitación anual y del aumento de la temperatura anual..</p>
<p>Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas WEAP al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. Bolivia.</p>	<p>Angela Andrea Salinas Villafañe Oscar Paz Rada (2011)</p>	<p>Este proyecto utilizó WEAP para la planificación del recurso hídrico mediante generación de escenarios que permitieran simular las posibles respuestas del río frente a diferentes variaciones. Los resultados del Escenario 1 o modelación base muestran que la demanda de agua alcanzará su máximo valor en 2034. En el escenario 2 se evaluó el crecimiento poblacional notándose la escasez de agua a partir del año 2016, esto es ocho años antes de lo esperado en la modelación base. Para el escenario 3 se contempla la introducción de demandas agrícolas por lo cual se presenta un déficit de agua en el año 2015. En el escenario 4 se clasificaron según el agua para consumo, aseo y limpieza se obtuvo como resultado que los porcentajes no satisfechos comienzan en 2029. El escenario</p>

		<p>5 se demuestra que el uso de nuevas tecnologías beneficiaría al proyecto pues supone un déficit de agua menor. Para el escenario 6 se plantea la variación del clima y cómo este afecta en la demanda y los cuerpos de agua que servirán de suministro para las distintas poblaciones, los escenarios de variación climática optimista y pesimista presentan la carencia de agua en el mismo periodo que el escenario de referencia presentando pequeñas variaciones en los caudales. El</p> <p>escenario 7 fue creado a partir del tercero se presenta una carencia de agua a partir del año 2024 en las poblaciones del escenario. Para el escenario 8 se tiene en cuenta la calidad del agua, se obtuvo claramente que los sitios más contaminantes serán aquellos con mayor población en el proyecto. En el escenario 9 se consideró los costos para mostrar la rentabilidad del proyecto se obtuvo que en el año de inicio de operaciones 2009 la inversión por costos de operación será mayor a los beneficios, pero en el 2034 el porcentaje de los beneficios se acerca a los costos de inversión.</p>
<p>Implementación y uso del modelo WEAP en cuencas nivales de la IV región para el análisis del cambio climático</p>	<p>Gabriel Antonio Mardones Morales (2009)</p>	<p>En este trabajo se aplicó el modelo WEAP para simular los caudales futuros en los periodos 2036 –2065 y 2071 –2100 en las cuencas se logró obtener una buena modelación para los caudales medios mensuales en ambas cuencas estudiadas. Para simular las condiciones meteorológicas futuras se han desarrollado posibles escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y aerosoles se utilizaron los resultados del modelo PRECIS para el escenario A2. Las correcciones a los datos meteorológicos del modelo PRECIS muestran una</p> <p>disminución en las precipitaciones medias anuales. En la 21cuenca Elqui en Algarrobal de 140 mm/año entre los años 1979-2005 a 130 mm/año entre los</p>

		<p>años 2071-2100, y en la cuenca Hurtado en San Agustín de 175 mm/año entre los años 1977-2005 a 125 mm/año entre los años 2071-2100 y un aumento de 6°C en la temperatura media anual para el periodo 2071-2100, lo que se traduce en una disminución de los caudales futuros en ambos periodos analizados (aproximadamente 30% menos en el periodo 2071-2100), y lo que es aún más grave, es el aumento del estrés hídrico y periodos más prolongados de sequías, debido principalmente a un cambio de régimen hidrológico en ambas cuencas, originado por el derretimiento de nieve.</p>
<p>Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y El Alto, Bolivia</p>	<p>Marisa Escobar, Nilo Lima, David Purkey, David Yates y Laura Forni (2013)</p>	<p>En este artículo se presenta un enfoque útil para la modelación hidrológica de cuencas de suministro de agua potable incluyendo incertidumbres como el cambio climático. Por el crecimiento acelerado de la población existen problemas en el abastecimiento de agua, y esto podría exacerbase por los impactos negativos del cambio climático por ejemplo el retroceso de los glaciares. Existe una necesidad urgente de conocer los posibles impactos del cambio climático, para esto es necesario tener un mayor conocimiento del potencial hídrico de las cuencas. Se utilizo el modelo WEAP ya que es una herramienta útil para la planificación de recursos hídricos bajo la incertidumbre de datos históricos y futuros. Los resultados para los años 2010-2050 muestran que los glaciares podrían desaparecer en los próximos 30 años, y esto podría tener implicaciones en la respuesta hidrológicas de las cuencas con la reducción de la oferta de agua. La ciudad de El Alto sería la más afectada, ya que se advierten serios problemas en el abastecimiento de agua.</p>

*Cuadro 3. Antecedentes de aplicación del Modelo WEAP a nivel nacional.*

Título	Autores	Resultados
<p>Modelación hidrológica de la cuenca del río Baché en El Departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos</p>	<p>Oscar Javier Moncayo Calderón Lindón Losada Palacios y Johana Cruz Padilla (2016)</p>	<p>En este trabajo se propone la modelación hidrológica como herramienta en los procesos de planificación de cuencas, analizando el comportamiento actual de la cuenca y la generación de distintos escenarios de uso que permitan determinar la oferta y la demanda hídrica. Mediante la utilización de la herramienta WEAP y la generación de escenarios para el crecimiento de la población del municipio y el cambio en las coberturas de la cuenca, se obtuvo que el comportamiento de la oferta hídrica de la cuenca disminuye tanto para el escenario de crecimiento poblacional como para uso agrícola del municipio, en 50.4% y 30.9% respectivamente. Además, la concesión de la captación para el acueducto es de 7.0 l/s y proyectado al año 2050 un caudal de 13.04 l/s, y de acuerdo con los resultados de la modelación el valor del caudal actual es 8.84 l/s y el proyectado promedio de 14.56 l/s, lo que indica que la herramienta WEAP reproduce en buena medida las demandas de la cuenca.</p>

<p>Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena En Colombia, “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas</p>	<p>Carlos Vargas Luisa Cusgüen (2015)</p>	<p>Aplicando la herramienta WEAP, se modelaron 35 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal de la cuenca del río Magdalena. El modelo consideró 42 demandas de agua para consumo humano en las principales ciudades y centros poblados asentados en las veredas de la cuenca, la demanda para generación de energía hidroeléctrica sobre el río Magdalena, y las demandas agrícolas, principalmente para el cultivo de café y arroz en zonas de captación. Para la modelación hidrológica se utilizó el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo, se identificaron 4 incertidumbres y a partir de ellas se proyectaron 48 diferentes niveles de cambios posibles; también se formularon 5 estrategias de adaptación con 9 diferentes niveles de incidencia, las cuales, al 23combinarse, generaron 432 escenarios para el periodo 2015-2050</p>
<p>Implementación del sistema de modelación WEAP como herramienta para la gestión integral del recurso hídrico en la Vereda la Bella</p>	<p>Norma Lili Castro Giraldo (2014)</p>	<p>Este trabajo de investigación tiene como objetivo modelar el comportamiento hidrológico de las corrientes de las que se abastece la Vereda para el servicio de riego, aplicando el método Lluvia Escorrentía de la FAO que ofrece WEAP. Entre los resultados obtenidos se encontró la insuficiencia de las corrientes para cubrir la demanda de los usuarios en la vereda y éstos fueron contrastados con la realidad percibida en las visitas a la zona de estudio, demostrando así, entre otras cosas, la viabilidad de la aplicación de herramientas de modelación a escalas tan reducidas como la de una vereda.</p>

### 3.3 Marco Normativo

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es un concepto que ha surgido en los últimos tiempos como respuesta a la crisis del agua (generada por la presión del crecimiento poblacional y la contaminación), que parte de asumir que las decisiones sobre cómo los recursos hídricos son protegidos, manejados, utilizados, asignados y conservados, son decisiones de gobierno, por lo cual se cree que la crisis del agua es en realidad una crisis de gobernabilidad (Water Governance Facility, citado por Zamudio, 2012, pp. 99-112).

En el siguiente cuadro se muestran los marcos legales y constitucionales vigentes para el manejo de los recursos hídricos en Colombia.

*Cuadro 4. Marco normativo para el manejo de recursos hídricos en Colombia.*

Norma	Número	Año	Epígrafe
Decreto	1076	2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución	0631	2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Resolución	1207	2015	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
Decreto	1640	2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones".
Decreto	303	2012	"Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64

			del Decreto -Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Resolución	075	2011	Por el cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimientos puntual al alcantarillado público.
Decreto	4728	2010.	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.
Decreto	3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI- Parte III- Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución	2115	2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto	1575	2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la calidad del agua para consumo humano.
Ley	1151	2007	Plan Nacional de Desarrollo. Modifica los artículos 42, 44, 46, 111 de la Ley 99 de 1993.
Decreto	1323	2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH.
Decreto	1324	2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Decreto	1480	2007	Por el cual se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones.
Resolución	872	2006	Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras

			disposiciones.
Decreto	1900	2006	Por el cual se reglamenta el párrafo del artículo 43 de la ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Decreto	2570	2006	Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones
Resolución	2145	2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
Decreto	4742	2005	Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 y se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
Resolución	865	2004	Por 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
Resolución	240	2004	Por la cual se de finen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.
Decreto	1443	2004	Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos y se toman otras determinaciones.
Decreto	155	2004	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto	3440	2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 en aspectos de la implementación de la tasa retributiva.
Resolución	104	2003	Por la que se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.

Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones
Decreto	1604	2002	Por el cual se reglamenta el párrafo 3o. del artículo 33 de la Ley 99 de 1993 de las comisiones conjuntas.
Decreto	1729	2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Ley	373	1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto	1933	1994	Por el cual se reglamenta el artículo 45 de la Ley 99 de 1993 relacionado con energía hidroeléctrica o termoeléctrica.
Decreto	1600	1994	Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental -SINA- en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental
Ley	99	1993	Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA- y se dictan otras disposiciones
Decreto	1594	1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto- Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Parcialmente vigente
Decreto	1875	1979	Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.

Decreto	1541	1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974. "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Ley	10	1978	Por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones
Decreto	1449	1977	Por el cual se reglamentan parcialmente el [Inciso 1 del Numeral 5 del Artículo 56 de la Ley 135 de 1961] y el [Decreto Ley No. 2811 de 1974], parcialmente derogado Ley 79 de 1986, ley 373 de 1997 y el decreto 1791 de 1996.
Decreto	2811	1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley	23	1973	Plantea la necesidad de proteger los recursos naturales renovables, fija límites mínimos de contaminación y establece sanciones por violación de las normas. Se faculta al presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.

#### 4. METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo general propuesto se empleó la metodología con un enfoque cualitativo planteada por Sampieri & Quintana (2010), la cual fue adaptada para el análisis de algunas experiencias de gestión integrada del recurso hídrico a través a partir de modelo WEAP. Dentro de este contexto se llevaron a cabo cuatro fases metodológicas.

FASE I: Recopilación: detectar, consultar y obtener la bibliografía y otros materiales que sean útiles para extraer información relevante y necesaria, mediante una búsqueda, documentación y análisis, en medios tanto físicos como electrónicos, para encontrar referencias de estudios tanto cuantitativos como cualitativos, que se relacionen de manera estrecha con los objetivos.

En este sentido, la metodología se orientó a un proceso de análisis de información secundaria de diversas bases de datos tal como:

ScienceDirect, Scientific electronic library online (SciELO), Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc).

Institutos y entidades: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM); Ministerios: de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), de Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

FASE II: Delimitación de información: Se identificaron algunas características que podrían considerarse importantes para el desarrollo de la investigación y se determinan dos filtros de restricción:

El primero con el fin de seleccionar estudios de caso representativos que describan procesos de aplicación del modelo WEAP y su importancia gestión integral del recurso hídrico, teniendo en objetivos y conclusiones en cada estudio.

El segundo corresponde a la selección de una cuenca a nivel local que contenga información requerida para una posible aplicación del modelo WEAP. Dentro de esta información se tiene en cuenta aspectos como: área de la cuenca, registros climatológicos, cartografía, hidrología, demografía y uso del suelo.

FASE III: Análisis: Relacionar las referencias bibliográficas, para mostrar los resultados encontrados, mediante la lectura minuciosa de estas con el fin de determinar la información más sobresaliente y así identificar ventajas de aplicación el modelo WEAP en la gestión del recurso hídrico.

FASE IV: Elaboración: Sintetizar la información, se realiza mediante una descripción de los aspectos más relevantes de los estudios consultados y se construye una matriz FODA (IPN, 2002) que represente la viabilidad de aplicar el modelo WEAP en un contexto local teniendo en cuenta una cuenca hidrográfica de la región y con base en los datos de entrada que se requiere en la elaboración del modelo. Por último, se describen las ventajas del modelo WEAP en la gestión del recurso hídrico.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Comparación de experiencias de aplicación del modelo WEAP

Con base en la revisión y análisis de información secundaria se presentan algunas experiencias de aplicación del modelo WEAP en Colombia y a partir de esto, se permite conocer los avances de modelación hídrica con esta herramienta teniendo en cuenta la metodología y los resultados de cada estudio.

#### 5.1.1 Estudio de caso: Río Baché, Departamento del Huila.

**5.1.1.1 Localización.** la cuenca del Río Baché, presenta un extenso territorio, que abarca espacios de los municipios de Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel (Huila). Según el sistema de información ambiental (SINA), tiene un área total aproximada de 153.452,52 hectáreas. Se localiza al noroccidente del departamento del Huila, en el flanco oriental de la cordillera Central; presenta los siguientes límites: al noroccidente con la cuenca del río Aipe; al nororiente con la cuenca de Fortalecillas Villavieja, la cual está separada por un tramo del río Magdalena; al sur con la cuenca del río Yaguará; al suroccidente con la cuenca del río Pérez y al occidente con el municipio de Planadas, departamento del Tolima, en inmediaciones al parque natural Nevado del Huila. (Municipio de Aipe, 2014).

**5.1.1.2 Metodología.** Se recopiló la información relacionada con la administración del recurso hídrico, información climatológica de la zona, información cartográfica de la cuenca del Río Baché y su respectiva demografía en entidades como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM, Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios para Programas Sociales SISBEN, entre otras (Moncayo, Losada y Cruz, 2016, p. 23).

Con la información obtenida se definió el área de estudio teniendo en cuenta la cartografía, curvas de nivel, divisoria de aguas. Se realizó la depuración de la información con el ánimo de

obtener resultados de calidad. Se definieron escenarios futuros de oferta vs demanda teniendo en cuenta el aumento de población y cambio de cobertura vegetal (Moncayo et al, 2016, p.23).

**5.1.1.3 Escenarios.** Una vez obtenido lo más cercanamente posible el correspondiente caudal simulado con respecto al observado y verificado sus métricas, se logró obtener la representación de la dinámica hídrica de la cuenca del Río Bache, este paso de calibración es fundamental para realizar el estudio específico correspondiendo a la evaluación de diferentes escenarios potenciales futuros, en este caso se tuvo en cuenta variables de cambio demográfico y dinámica agrícola, adicionalmente con escenarios de cambio climático (Moncayo et al, 2016 p.34).

**5.1.1.4 Resultados.** el comportamiento de la oferta hídrica de la Cuenca del río Baché disminuye tanto para el escenario de crecimiento poblacional como para uso agrícola del municipio de Santa María en el departamento del Huila, en 50.4% y 30.9% respectivamente, en este sentido se da alcance al propósito de conocer en qué medida se modifican las condiciones actuales con respecto a la disponibilidad hídrica dentro la cuenca. Además, las variaciones de cobertura vegetal generan alteraciones en la oferta hídrica (Moncayo et al, 2016, p.50).

## **5.1.2 Estudio de caso: Río Aipe, Departamento del Huila.**

**5.1.2.1 Localización.** La Cuenca hidrográfica del río Aipe está localizada en el noroccidente del departamento del Huila, sur de Colombia. Se localiza con las coordenadas 3° 13'N y 75°14'O, cubre un área de 688.9 Km<sup>2</sup> y se extiende entre los municipios de Aipe, Neiva y Palermo.

**5.1.2.2 Metodología.** A nivel climático la cuenca del río Aipe esta monitoreada por 12 estaciones pluviométricas y dos estaciones climatológicas ordinarias (San Alfonso y Santa María) las cuales tienen registros diarios desde 1970 - 2011. Además, en el punto de cierre de la cuenca se utilizaron los registros de caudales diarios desde 1980 - 2011. Todas las estaciones hidrometeorológicas utilizadas son administradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Labrador, Zúñiga y Romero, 2005, p.28).

**5.1.2.3 Escenarios.** La primera hipótesis plantea la creación de un escenario base de referencia para el cálculo de la oferta hídrica asociado a un incremento poblacional. Actualmente y de acuerdo con los registros del municipio la población de referencia es 23.513 habitantes. Luego esa población de referencia se incrementa un 2% a partir de una proyección geométrica (escenario I, 23.983 habitantes) y luego se incrementa un 10% (escenario II, 25.864 habitantes), estos incrementos de la población tienen un impacto directo sobre la demanda y la oferta hídrica los cuales serán representados por el modelo hidrológico (Labrador et al, 2005, p.28).

La segunda hipótesis hace referencia a un cambio del clima. Esta hipótesis es más complicada dada la incertidumbre que manejan los escenarios de cambio climático, la variedad de modelos climáticos y las posibilidades de los escenarios. En este sentido, se utilizó una herramienta basada en múltiples modelos y escenarios, para ilustrar el rango de los cambios posibles en el clima durante el siglo 21 (Angarita, 2014, p.47).

**5.1.2.4 Resultados.** Para los escenarios de incremento de la población se asume que, la población del municipio de Aipe continúa su crecimiento y por tanto su demanda de agua potable también incrementa. Este crecimiento no necesariamente tiene que ser por incremento de la tasa de natalidad, también puede obedecer a procesos de migraciones o incremento de población flotante debido a una apuesta de las actividades turísticas (Labrador et al, 2005, p. 32).

La variación de la oferta hídrica de la cuenca del río Aipe en relación a la línea base (1980 - 2011) para la simulación del escenario I (+2%) muestra una disminución de 0.43 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y para el escenario II (+10%) de 4.44 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (figura 6). De estos resultados se puede deducir que la fuente será suficiente para abastecer de agua potable al municipio de Aipe. Sin embargo, aparte de estos procesos antrópicos, se deben considerar los impactos naturales debidos a eventos de sequías y variaciones de precipitaciones en espacio y tiempo (Labrador et al, 2005, p.33).

Por otro lado, teniendo en cuenta los escenarios de clima, se muestran dos series de clima MPI-ESM-MR, que hacen referencia a un clima húmedo y seco. Con respecto a los datos históricos de la estación Puente Carretera cuando el clima es húmedo hay un aumento de 3.67 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, lo que indica que el caudal en la cuenca del río Aipe incrementa un 23.97% para el período (2011 -

2050). Por el contrario, cuando el clima es seco el caudal disminuye  $10.07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , mostrando una reducción muy marcada del 65.77% (Labrador et al, 2005, p.33).

Los escenarios mantienen la estacionalidad de la climatología característica de los Andes Colombianos, pero con diferente orden de magnitud. En general se observan dos períodos marcados de lluvias a finales de los meses de abril y noviembre, lo que es característico de los climas tropicales como los de Colombia. Esto se debe a la influencia de los dos océanos que rodean el país, como lo son el océano Pacífico, el Atlántico y la Amazonia (funcionando como un tercer océano) (Labrador et al, 2005, p 33).

### **5.1.3. Estudio de caso: Microcuencas La Tebaida, Las Helechas y Bermúdez.**

**5.1.3.1 Localización.** 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  $66.51 \text{ km}^2$  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:  $77^\circ 14' 54,0'' \text{ W}$ , Lat:  $1^\circ 17' 31,6'' \text{ N}$  a una altura de 2298 msnm, y descarga sus aguas en el río Juanambú en las coordenadas Long:  $77^\circ 14' 5,3'' \text{ W}$ , Lat:  $1^\circ 27' 7,7'' \text{ N}$  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  $5.84 \text{ Km}^2$ . En las coordenadas referidas anteriormente, nace en Long:  $77^\circ 17' 43,0'' \text{ W}$ , Lat:  $1^\circ 20' 10,9'' \text{ N}$  a una altura de 2931 msnm, y vierte sus aguas al río Pasto en las coordenadas  $77^\circ 17' 34,7'' \text{ W}$ , Lat:  $1^\circ 21' 54,3'' \text{ N}$  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:  $77^\circ 15' 1,2'' \text{ W}$ , Lat:  $1^\circ 16'$

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 en 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).

**5.1.3.2 Metodología.** 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. Además de información suministrada por el municipio y empresas de servicios públicos presentes en la zona (Folleco, 2017, p. 23).

**5.1.3.3 Escenarios.** 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 (Folleco, 2017, p. 36).

Para la demanda 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 Reglamento técnico de Agua Saneamiento (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 (Folleco, 2017, p 36).

Para la variable de población, debido que no se encontraron 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 (Folleco, 2017, p36).

Finalmente 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%. Adicionalmente, se plantearon dos escenarios de una posible activación de una tercera concesión; el primero sin la activación de una tercera concesión, y otro con una concesión de agua de 30 l/s extraída del río Bermúdez (Folleco, 2017, p 37).

**5.1.3.4 Resultados.** En cuanto a la cobertura de la demanda bajo el escenario tendencial dado por las condiciones actuales, 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 (Folleco, 2017, p. 43).

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 m<sup>3</sup>/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 (Folleco, 2017, p.43).

Para el escenario crítico de pérdidas del sistema en caso de una disminución de la oferta hídrica en un 25% con una tasa de crecimiento de población de 2% anual; 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 cuándo empieza a descender, hasta finalizar en 68,3% en el último año de proyección (Folleco, 2017, p.44).

Además, 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. Bajo estas condiciones 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% (Folleco, 2017, p. 64).

Entre todas las posibilidades de gestión municipal se seleccionó un escenario factible dado por las siguientes condiciones: 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 (Folleco, 2017, p 65).

Con estas condiciones se pudo 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% (Folleco, 2017, p 66).

En cuanto al caudal ecológico bajo el escenario crítico permitió observar que la cobertura del caudal ecológico 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 (Folleco, 2017, p 69).

Cuadro 5. Estudios de caso modelo WEAP.

Estudio	Metodología.	Escenarios	Resultados	Aportes hacia la monografía
Desarrollo de un modelo para la planificación integral del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del Río Aipe, Huila, Colombia	Registros de estaciones pluviométricas desde 1970-2011.  Calibración, Validación y evaluación del modelo.  Generación de escenarios	Escenario +2% población.  Escenario +10% población.  Escenario clima húmedo.  Escenario clima seco.	El modelo puede predecir el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Aipe.  A pesar de los problemas asociados a la disponibilidad y la calidad de la información ambiental, el modelo mostró un buen desempeño y la representación de la dinámica hidrológica de la cuenca del río Aipe se puede considerar confiable.	El modelo hidrológico representa una herramienta útil que asiste el proceso de planeamiento hidrológico a partir de escenarios multicriterio.  El modelo calibrado y validado con las condiciones ambientales de la cuenca contribuye a mejorar el sistema de gestión integral del recurso hídrico y apoyar la toma de decisiones, a través de conocimiento confiable de cómo responden las cuencas en términos hidrológico ante distintos escenarios climáticos y de demanda hídrica.
Modelación Hidrológica de la	Planteamiento del problema.	Cambio demográfico.	La oferta hídrica de la Cuenca del río Baché	La modelación hidrológica del río Baché, en el departamento del Huila,

<p>cuenca del Río Baché en el departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos Hídricos.</p>	<p>Recopilación de la información.</p> <p>Desarrollo del modelo hidrológico.</p>	<p>Dinámica agrícola.</p> <p>Cambio climático.</p>	<p>disminuye tanto para el escenario de crecimiento poblacional como para uso agrícola del municipio de Santa María en el departamento del Huila, en 50.4% y 30.9% respectivamente.</p> <p>En este sentido se dio alcance al propósito de conocer en qué medida se modifican las condiciones actuales con respecto a la disponibilidad hídrica dentro la cuenca</p>	<p>mediante el uso de la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos WEAP, aporta el conocimiento de la oferta hídrica bajo escenarios de cambios de uso y crecimiento poblacional de la zona y mejora el apoyo a la toma de decisiones, especialmente en instrumentos de planeación regional e integral del recurso hídrico.</p> <p>Con el modelo de la cuenca del Rio Bache se representa las capacidades de la plataforma de manejo integral de recursos hídricos WEAP, como aplicación específica puede ayudar a entender las dinámicas de un sistema complejo e interconectado como una cuenca y brinda nociones de operación junto con la implementación de incertidumbres en escenarios a modelar</p>
--	--	--	---	--

				para determinar la respuesta a cambios potenciales.
<p>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.</p>	<p>Recopilación de la información.</p> <p>Visitas de campo.</p> <p>Calculo de oferta hídrica, demanda hídrica y caudal ecológico.</p> <p>Modelación den WEAP.</p>	<p>Manteniendo los caudales de oferta hídrica.</p> <p>Reducción de oferta en un 25%.</p> <p>Manteniendo la demanda hídrica.</p> <p>Demanda hídrica de 115 l/hab/día.</p> <p>Aumento de población 1.2%</p> <p>Aumento población de 2%.</p>	<p>La cobertura inicial de acueducto sería del 76% tal, 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.</p> <p>En un escenario crítico para el año 2040 finaliza en 45,4%, mientras que, si se activa la tercera concesión, habría una cobertura del 100% que se mantendría únicamente hasta el año 2021, a partir de cuándo empieza a</p>	<p>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.</p>

		Pérdidas del sistema y concesiones.	descender, hasta finalizar en 68,3% en el último año de proyección	
--	--	-------------------------------------	--	--

Teniendo en cuenta los estudios consultados se puede decir que, en Colombia, como en otros países ha tomado gran importancia el tema de la gestión y aprovechamiento adecuado del recurso hídrico con el fin de generar una sostenibilidad entre su utilización y la conservación de este recurso. En donde el modelo WEAP hace parte de esos procesos de gestión.

Además, en Colombia, se han realizado estudios en cuencas de los ríos La Vieja (Figueroa y Escobar, 2015b), río Otún (Figueroa y Escobar, 2015a) y Alto Magdalena (Escobar et al., 2014); así como también se ha estudiado la relevancia y utilidad del sistema WEAP para formulación de planes de ordenamiento y planes de manejo de cuencas (Purkey y Mendoza, 2015).

Cabe mencionar que no solo en Colombia se han realizado estudios con el modelo WEAP sino también en otros países como Chile, donde se planteó un escenario a futuro para predecir los caudales en los periodos 2036-2065 y 2071-2100, además de calcular el estrés hídrico presente y futuro (Mena, 2009).

Para realizar dicho estudio, se utilizaron las temperaturas mensuales de 5 estaciones desde 1976 a 2007, demanda de agua, precipitación media anual, caudal promedio (simulado y observado) e información proyectada de escenarios climáticos para las regiones de Chile para el periodo 2071-2100, donde se tuvo como resultado una disminución en los caudales del 30% y 40% para los periodos 2036-2065 y 2071-2100 respectivamente (Mena, 2009).

Xue, Yue, Chundi, Jiam Zhong-Liang y Yuqiu. (2015) menciona que el modelo WEAP cuenta con muchas implementaciones en diferentes partes del mundo, como California, Massachusetts, Georgia, Sur y Norte de África, varios países asiáticos. Mientras que hablando en la región Andina se encuentran aplicaciones en Chile, Bolivia, Colombia. Se han realizado simulaciones mediante el uso del modelo, en Chile específicamente, se implementó el modelo WEAP en cuencas Nivales para simular los caudales futuros de acuerdo con las proyecciones de cambio climático para los periodos 2036-2065 y 2071-2100 (Mardones, 2009).

De igual forma, en la cuenca Andina del río Teño en Chile se utilizó el modelo WEAP para evaluar la vulnerabilidad del sector de los recursos hídricos, con el fin de contribuir al proceso de

toma de decisiones sobre medidas de adaptación frente al cambio climático (Mena, 2009). Por otro lado, en Ecuador, en la cuenca del río Pastaza, se utilizó el modelo WEAP para conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca (Lemay Plaza, 2009).

Por otro lado, un estudio realizado con el modelo WEAP en Bolivia, contempló un horizonte de tiempo entre los años 2010 y 2050, y mostró la desaparición total de los glaciares, lo cual puede llegar a afectar en especial la población de El Alto, llevando a contemplar una alternativa de almacenamiento de agua como medida de adaptación al cambio climático (Escobar et al., 2014)

El software WEAP también se ha aplicado junto con otro tipo de métodos y modelos como el método FAO para simular la precipitación escurrentía, encontrando la oferta (escurrentía) y la demanda. En Kenia fue utilizada esta metodología con el fin de estabilizar el flujo y mejorar la cobertura de la demanda entre un 60% y 100%, mediante la construcción de dos represas. A pesar de contemplar esta alternativa, en aguas abajo la cobertura de demanda disminuyó entre un 45% y 100% (Akivaga, 2010).

Teniendo en cuenta la aplicación del modelo WEAP en la gestión del recurso hídrico se puede destacar su importancia como una herramienta computacional que busca apoyar y brinda asistencia a los planificadores experimentados del recurso hídrico lo que puede generar una serie de ventajas en la toma de decisiones que conlleven a un manejo sostenible de este recurso natural.

## **5.2 Determinación de las ventajas del modelo WEAP**

A partir de la información y estudios consultados, se evidencia que el modelo WEAP es de gran relevancia en la gestión del recurso hídrico, por lo cual es necesario conocer las ventajas que este ofrece a los planificadores en la toma de decisiones. A continuación, se muestran algunas ventajas que son apoyadas por algunos autores.

Mediante WEAP es posible evaluar los impactos futuros de un sistema a través de la modelación de escenarios. Esta capacidad de WEAP contribuye a enfrentar uno de los retos más complejos

de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que es la planificación de los recursos con una visión a largo plazo y mediante una evaluación integrada de diferentes alternativas de gestión. Esta visión de WEAP ha permitido apoyar la planificación de los recursos hídricos, proporcionando un análisis común y un marco de gestión de información que permite involucrar a diferentes actores y tomadores de decisiones en un proceso de planificación abierto (Phurisamban, 2014)

El modelo WEAP es considerado como una herramienta de planificación integrada de recursos hídricos, que puede ser implementada para representar las condiciones actuales de un sistema hídrico (superficial o subterráneo) en un área determinada. WEAP es usado para evaluar la demanda y opciones de suministro incorporando los objetivos ambientales y normativos del contexto específico de análisis (Yates et al., 2005).

La herramienta WEAP, también ha sido diseñada para ser integrada con otros modelos de simulación, permitiendo con esto realizar análisis de tipo robusto. Por ejemplo, para la calidad del agua, el modelo WEAP puede modelar contaminantes conservativos y no conservativos. Contaminantes conservativos son modelados a través de un balance de masa y los contaminantes no conservativos son modelados con diversos métodos que son incorporados en WEAP.

Al respecto Yates et al. (2005) menciona que los parámetros que son posibles modelar con WEAP son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura (T), sales y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Además, el modelo WEAP puede a través de la conexión con modelos hidrológicos como QUAL2k, es posible modelar un grupo al menos 20 parámetros de calidad de agua de forma simultánea.

El IRD (2009) menciona que el modelo WEAP Provee una estructura común y transparente para organizar la información de recursos hídricos a cualquier nivel deseado por ejemplo cuenca local, regional o río internacional, además permite que se pueda desarrollar escenarios para explorar posibles futuros comportamientos del agua lo que permite evaluar la implicación de las distintas políticas de agua.

Burbano (2009) menciona que el modelo WEAP permite una planificación a alto nivel, a escalas locales o regionales, manejo de demanda distribución de agua y evaluación de infraestructuras.

Además, una ventaja de este modelo es que integra sin quiebres los procesos hidrológicos en la cuenca con el sistema de manejo de recursos hídricos, de tal forma que puede recibir directamente información climática, y está basado en una visión holística e integrada del manejo de los recursos de agua en la oferta y demanda de agua (Burbano, 2009).

El modelo WEAP también se puede hacer predicciones a futuro. Con respecto a esto Labrador (2015) encontró que el modelo tiene la habilidad predecir para predecir el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Aipe, cuenca de clima tropical con heterogeneidad y anisotropía en los suelos y la vegetación que introducen una complejidad natural en la forma hidrológica de la cuenca.

Yates et al (2005) mencionan que el modelo WEAP sirve como un instrumento útil a la hora de tomar decisiones, porque permite contemplar una amplia gama de problemas en cada escenario que se quiera plantear, teniendo en cuenta: la variabilidad del clima, las condiciones de las cuencas a estudiar, las demandas previstas, las necesidades ecosistémicas, los objetivos operativos, etc.

Por otro lado, WEAP trabaja con una interfaz SIG que permite trazar la cuenca con su respectivo esquema, para así poder estimar el comportamiento de oferta y demanda en diferentes escenarios (Vicuña et al. 2009).

El modelo WEAP tiene también ventajas sobre otros modelos. Al respecto, Castro (2014) menciona que una de las ventajas del uso del modelo WEAP, frente a otros, es que permite manejar niveles de incertidumbre en cuanto a los datos necesarios, a diferencia de otro tipo de modelos, que demandan mayor cantidad de información como es el caso del modelo SWAT.

Además, con WEAP puede aprovechar datos de otros sistemas de información geográfica SIG, al respecto el Centro de Cambio Global Universidad de Chile, (2009), menciona que puede ser desarrollado en cualquier escala, desde pequeños cuerpos de agua hasta grandes cuencas; este

software es de fácil acceso y permite al usuario utilizar mapas creados en ArcGis para los límites de la cuenca y su esquema.

Este modelo permite completar datos faltantes lo cual lo convierte en una ventaja muy importante como lo menciona Alcamo et al, (2003) el modelo WEAP tiene capacidad de completar datos faltantes mediante distintos métodos como: interpolar, reemplazar, repetir o interpolar con el método de año agua, en aquellos casos donde la información hidrometeorológica se encuentra incompleta.

WEAP permite crear condiciones actuales y futuras para observar el comportamiento de las fuentes hídricas. Para Villafañe y Rada (2011), esta es una ventaja principal del modelo WEAP, porque facilita la generación de diferentes escenarios, permitiendo así al planificador, elegir la complejidad según la información con la que cuente.

Estas ventajas hacen que WEAP sea un modelo ideal para realizar estudios de estimación de cambios en la oferta de agua, así como también como cambios en la precipitación, temperatura, uso de suelo entre otros y en la demanda de agua los cuales generan un balance de hídrico a nivel de cuenca hidrográfica.

### **5.3 Identificación de la viabilidad del modelo WEAP en el contexto local**

El desafío del manejo de los recursos hídricos es cada vez más grande. La asignación del recurso para diversos usos requiere de una visión integral que unifiquen de manera eficaz los procesos de oferta, demanda, calidad del agua y consideraciones ecológicas.

Con relación a esto dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Pasto “Renace río Pasto” (2009) en su del programa Gestión Integral del Recurso hídrico se encuentra un proyecto denominado Modelación de Oferta vs. demanda de las microcuencas aportantes a la subcuenca del río Pasto cuyo objetivo es establecer los diferentes escenarios a presentarse bajo diferentes condiciones de oferta y demanda hídrica en las microcuencas.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante conocer posibilidades de aplicación un modelo hidrológico como el WEAP en el ámbito local. En este caso el análisis de viabilidad de aplicación del modelo WEAP se realizó teniendo en cuenta datos sobre la microcuenca Dolores, cuenca alta del río Pasto, la cual forma parte de las microcuencas aportantes a la subcuenca del río Pasto.

**5.3.1 Localización microcuenca Dolores.** La microcuenca Dolores está ubicada al suroriente del municipio de Pasto, departamento de Nariño, limita al norte con el río Pasto, al noreste con Pejendino, al oeste con Caserío El Rosario y Caserío Jamondino y al sur con Loma Peña Blanca. Tiene un área de 838,94 Ha y un perímetro de 15,3 Km; se encuentra entre los 2.700 y 3.400 msnm. Comprende los sectores de Dolores Centro, Mocondino Alto, Mocondino Medio y Mocondino Bajo (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008). En la siguiente figura se puede observar en mayor detalle donde se encuentra ubicada.

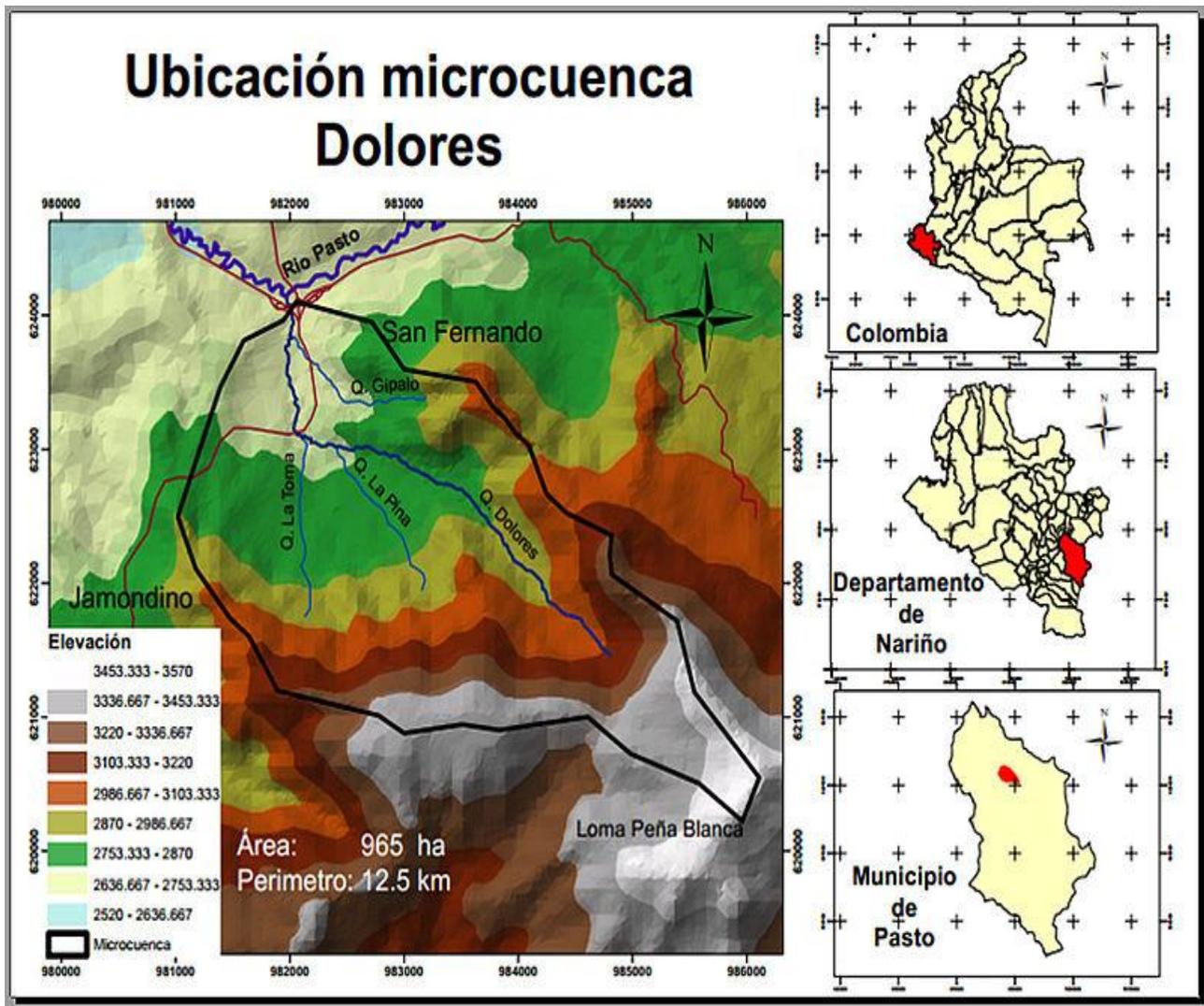


Figura 1. Ubicación microcuenca Dolores

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2015)

Según la metodología del Centro de Cambio Global (2009) para la aplicación del modelo WEAP se necesita la recopilación de algunos datos que tienen que ver con clima, uso del suelo, sitios de demanda, ríos, reservorios entre otros. A continuación, se mencionan algunos de estos datos existentes en la microcuenca Dolores cuenca alta del río Pasto.

### **5.3.2 Aspectos biofísicos microcuenca Dolores.**

**Precipitación:** En la zona de influencia de la cuenca alta del río Pasto se presentan dos condiciones que explican el patrón de comportamiento de las lluvias en la zona. El paso de la denominada Zona de Convergencia Intertropical de su posición meridional (sobre el Ecuador a comienzos del año) a su posición más septentrional desde junio a septiembre, lo que origina dos estaciones de lluvias (Corponariño, 2005).

La otra condición, más de comportamiento regional, se refiere a la circulación atmosférica de las masas de aire por sitios de diferente temperatura a nivel microregional, causando el ascenso de los vientos desde el fondo del valle del río Pasto hacia las laderas en las horas de la mañana, con el consecuente enfriamiento de las masas de aire y la condensación del vapor del agua en abundante nubosidad hacia las partes más altas, que luego se convierte en la precipitación sobre las laderas medias y altas de la cuenca del río Pasto (Corponariño, 2005).

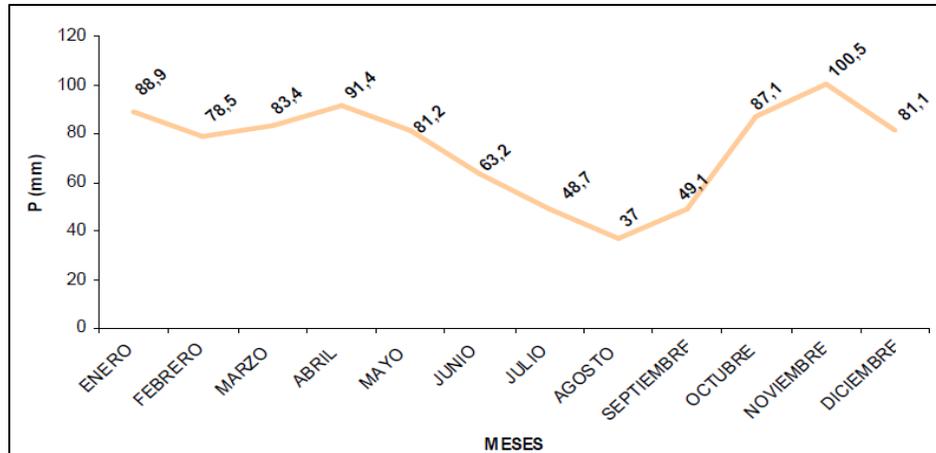
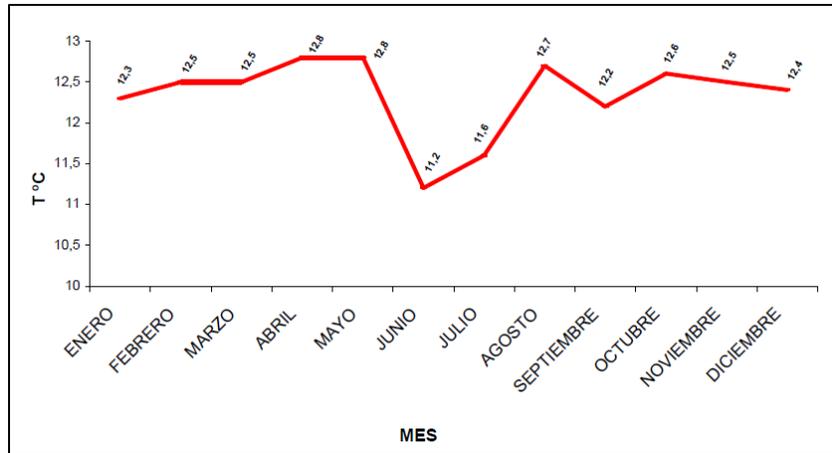


Figura 2. Precipitación estación Botana, Pasto

Fuente IDEAM (2007)

En la figura anterior se puede observar que los valores medios mensuales de precipitación se presentan de forma bimodal, el primero comprendido entre los meses de octubre, noviembre y diciembre y el segundo entre marzo, abril y mayo siendo su máximo en el mes de noviembre con 100,5 mm y un mínimo en el mes de agosto de 37,0 mm (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

**Temperatura:** A través de la microcuenca pasa una línea de isoterma que divide el área en dos polígonos, uno en la parte alta de la microcuenca entre los 3000 y 3400 msnm, con una temperatura promedio de 7°C, que tiene un área de 510,54 (60,85%), siendo la de mayor extensión; y el otro por debajo de los 3000 msnm, hacia el sur, cuya temperatura promedio es de 12°C y tiene un área de 328,40 Ha (39,15%) (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).



*Figura 3. Temperatura estación Botana, Pasto*

Fuente: IDEAM (2007)

La figura anterior indica la temperatura para la zona de estudio se comporta de manera homogénea, las variaciones son mínimas en el año, presentando un máximo para los meses de abril y mayo con una temperatura de 12,8°C y una mínima para los meses de junio y julio con 11,2°C y 11,6°C respectivamente (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

**Humedad Relativa:** La siguiente figura muestra la distribución anual de humedad relativa indica al mes de noviembre como el de mayor humedad con un valor máximo de 81%; los meses de menor expresión son agosto y septiembre, que muestran una humedad relativa de 74%, para cada uno de ellos (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

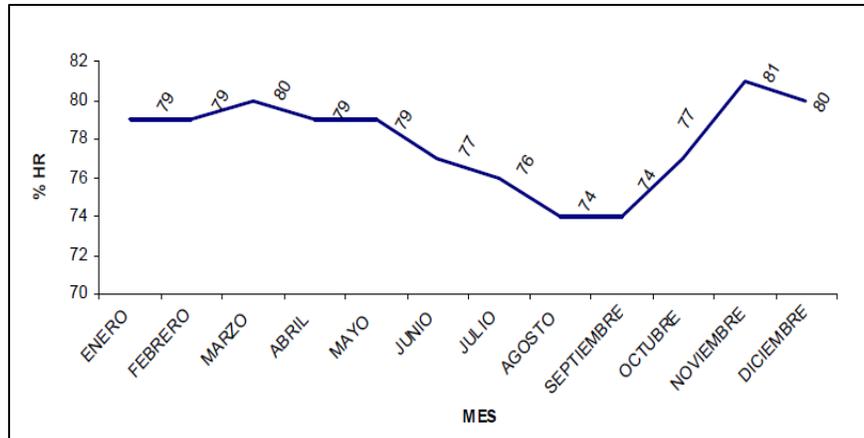


Figura 4. Humedad Relativa estación Botana, Pasto

Fuente: IDEAM (2007)

**Brillo solar:** Se registra un valor máximo en época de verano específicamente para el mes de agosto con 125,3 h/día y un mínimo en época de lluvias que corresponde al mes de marzo de 73,4 h/día lo cual se puede observar en la siguiente figura (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008)..

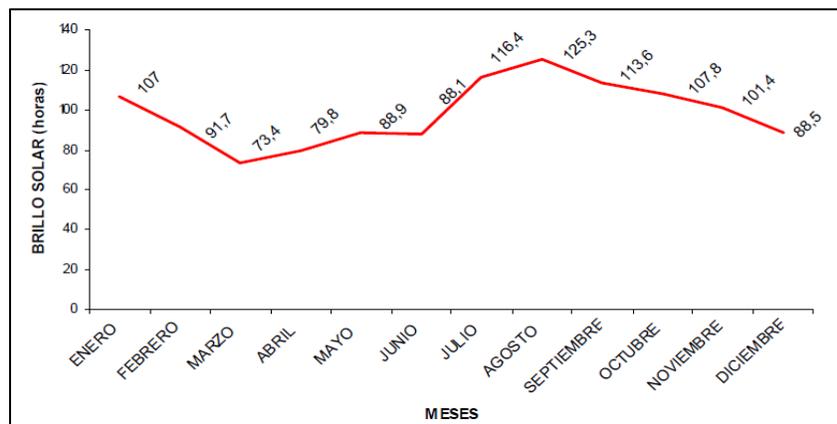
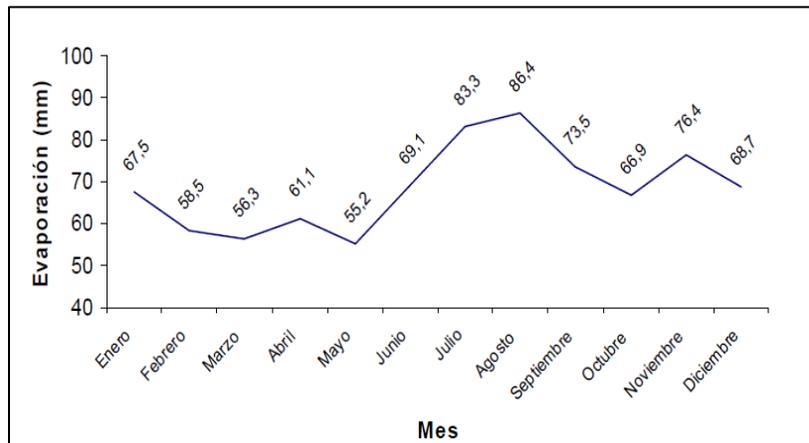


Figura 5. Brillo solar estación Botana, Pasto

Fuente: IDEAM (2007)

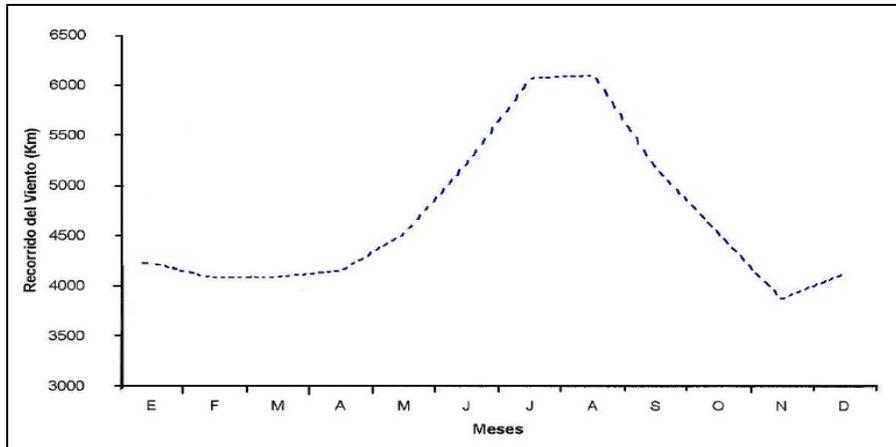
**Evaporación:** A partir del mes de junio se empieza a incrementar la evaporación en la zona de estudio, es así como de 69,1 mm correspondiente al mes de junio asciende a 86,4 mm en el mes de agosto que es el valor máximo; por otra parte, los valores mínimos se presentan en los meses de mes de marzo y mayo con 56,3 mm y 55,2 mm como se observa en la siguiente figura (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).



*Figura 6. Evaporación estación Botana, Pasto*

Fuente: IDEAM (2007)

**Vientos:** Presentan sus mayores valores en el mes de agosto con 6107 Km, y un mínimo en el mes de noviembre de 3878 Km como se observa en la siguiente figura (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).



*Figura 7. Recorrido del viento estación Botana, Pasto*

Fuente: IDEAM (2007)

**Hidrología microcuenca Dolores:** La quebrada Dolores nace a 3350 msnm en el sector de Peña Blanca, haciendo un recorrido de 5092 m desembocando en el río Pasto a una altura de 2570 msnm. El cauce principal es abastecido por cinco quebradas, ubicadas en el margen izquierdo: Quebrada Motilón 1, Quebrada Motilón 2, Quebrada Chorrera Negra, Quebrada Tambillo y Quebrada Toma Alta (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

Esta microcuenca posee un patrón de drenaje pinado, ya que los tributarios de segundo orden están distribuidos en forma paralela, lo cual es indicativo de una pendiente aproximadamente uniforme, los tributarios de primer orden espaciados uniformemente interceptan los tributarios secundarios en ángulos agudos (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

El Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de 1.16 significa que se encuentra ubicada en el rango de 1.0 a 1.25 ( $k_{c1}$ ), es decir que la microcuenca posee una forma casi redonda a oval- redonda, aumentando la peligrosidad a las crecidas, porque las distancia relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a un punto central no presenta diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto las crecidas serán más continuas (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

El Coeficiente de sinuosidad (Cs) de 1.2 permite entender el comportamiento del agua en esta microcuenca, porque en general casi siempre lleva material en suspensión, además, aunque se observa procesos erosivos en la parte alta por lo general en la parte media y baja son muy pocas las áreas propensas a este tipo de proceso e incluso casi no existen áreas de acumulación de materiales (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

El resultante de la pendiente media al ser de 19%, establece que el tipo de relieve es variado, puede encontrarse pendientes desde el 3% a mayores de 75%. Permittedole tener alternativas de uso de suelo (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

**Balance Hídrico:** La demanda de agua para los cultivos de la zona se presenta en los meses de febrero, agosto, septiembre y octubre y el caudal requerido por hectárea es de 0,08 litros/segundo. Siguiendo la metodología para la obtención del balance hídrico, se observa un déficit anual de 48,6 mm/m<sup>2</sup> como se observa en la siguiente figura (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

ESTACIÓN:	5205504 BOTANA				Prof. Radic. Media:	45 cm							
LATITUD:	01 10 N				DEPARTAMENTO:	Nariño		f.v.a.a:	1,35 mm/cm				
LONGITUD:	77 16 W				MUNICIPIO:	Pasto		Capacidad almacenam:	60,75 cm				
ELEVACIÓN:	2820 m.s.n.m												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Precip. (P75) (mm)	48,0	37,1	52,1	60,2	52,8	44,5	38,7	26,5	28,2	48,6	55,2	49,2	541,1
Prec.efect. (mm)	43,2	33,4	46,9	54,2	47,5	40,1	34,8	23,9	25,4	43,7	49,7	44,3	487,0
ETP (mm)	59,8	58,3	57,2	56,1	56,0	56,7	52,5	69,5	70,3	71,0	61,7	61,0	
Kc(Promedio)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Uso cons.(mm)	38,9	37,9	37,2	36,5	36,4	36,9	34,1	45,2	45,7	46,2	40,1	39,7	474,6
Delta.	9,0	-4,5	9,7	17,7	11,1	3,2	0,7	-21,3	-20,3	-2,4	9,6	4,6	
Almacenamiento(mm)	9,0	0,0	9,7	17,7	11,1	3,2	0,7	0,0	0,0	0,0	9,6	4,6	
Déficit (mm)	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	20,3	2,4	0,0	0,0	48,6
Excesos (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso cons.(mm/día)	1,3	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	
Riego (mm/día)	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,1	0,0	0,0	

ESTIMACIÓN DE CAUDALES:		AREA DE RIEGO CONOCIDA:	
Mes con mayor Necesidad de Riego:	Febrero, agosto, septiembre y octubre.	Area:	1 Has.
Necesidad neta de riego: (NRn)	0,41 mm/día	Jornada de Riego:	18 horas
Necesidad bruta de riego: (NRb)	0,51 mm/día	Caudal/Ha.: (Q)	0,08 Lt/Seg. Ha.
Porcentaje de reposición: (%R)	30,00 %	Caudal Total: (Qt)	0,08 Lt/Seg.
Lamina neta de reposición: (Ln)	18,23 mm		
Lamina bruta de reposición: (Lb)	22,78 mm		
Frecuencia de Riego (FR):	45 días		
Tiempo de Riego: (t)	18 Horas		

Figura 8. Balance hídrico climático promedio (P = 75%)

Fuente: Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores (2008)

**Caudal:** La disponibilidad del recurso hídrico es una de las problemáticas más trascendentales en diversas comunidades del mundo. La microcuenca Dolores a pesar de presentar seis bocatomas para abastecer a un importante número de habitantes del Municipio de Pasto, no presenta un volumen importante de agua para este fin. Realizado el aforo en cada una de las bocatomas se observa que el caudal excedente es reducido y en otros casos es cero en épocas de baja precipitación, es decir que el caudal ecológico desaparece (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

Los valores de caudales se pueden observar en la siguiente figura (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

Estaciones	Periodo de baja precipitación			Periodo de alta precipitación			
	Caudal entrante	Caudal saliente	Captación	Caudal entrante	Caudal saliente	captación	
Estacion 1 (Desembocadura)	148.3		0	156.4		0	
2 (Tambillo)	2,12	0	2,12	10,32	5.8	3,52	
3 (Motilón 1)	0,823	0,709	0,114	1,97	1,54	0,44	
4 (Motilón 2)	4,56	1,474	3	6,58	2,28	4,3	
5 (Chorrera Negra)	1,278	0	1,278	2,43	1,3	1,13	
6 (Toma Alta)	3,812	0	3,812	4,44	1,19	3,25	
			10,41				12,64
	Periodo de alta precipitación						
7 (Bocatoma Popular)	342,4	324,6	17,8	432,5	413,8	18,7	
7 (Bocatoma Las Brisas)	207,5	198,1	9,4	232,5	221,7	10,6	
<b>Total</b>				<b>27,6</b>			<b>29,3</b>
<b>Caudal total</b>				<b>38,01</b>			<b>41,94</b>

Figura 9. Caudal L/seg de las siete estaciones en época de alta y baja precipitación, microcuenca dolores.

Fuente: Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores (2008)

Además, en los meses de diciembre y enero correspondientes a un periodo de alta precipitación, se obtuvo un caudal captado total en las 6 las bocatomas de 41.9 litros/segundo, registros

similares a la época de baja precipitación. En general la cantidad de bocatomas y el caudal total captado, el volumen es reducido lo cual pone en evidencia la poca disponibilidad del recurso hídrico (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

### **5.3.3 Aspectos socioeconómicos microcuenca Dolores.**

**Uso de suelo microcuenca dolores:** El área total de la microcuenca Dolores es de 838,94 hectáreas, distribuidas de la siguiente manera:

**Bosque:** 3238.10 ha de bosque, que corresponde al 39,11% del total de la microcuenca, se encuentra entre los 3000 y 3400 msnm. Sin embargo, dentro de esta área se observan parches, donde se deforesta para implementar posteriormente pasturas, degradando de esta manera, la oferta ambiental de la microcuenca.

**Cultivos:** La microcuenca presenta 28,20 Ha con agroecosistemas donde en una misma área se cultivan diferentes especies de cultivos, es así como se encuentran asociaciones de cebolla y mora, o de cebolla, papa y hortalizas, o de zanahoria, papa, pastos y lechuga. Por otra parte, se observan parcelas de tamaño significativo con monocultivos de papa, cebolla y zanahoria, los cuales cubren un área de 14 Ha.

**Vegetación en regeneración y matorrales bajos:** Se presentan especies de porte bajo y en grados más avanzados de sucesión natural con el respectivo desarrollo de especies subarborescentes y leñosas, tiene un área de 1,78 Ha.

**Pasturas:** posee 466,86 Ha de pasturas, constituidas por pastos naturales (462,16 ha), que presentan un alto grado de procesos erosivos que iniciaron con la pérdida superficial del suelo, la destrucción de los agregados naturales, la formación de terracetos, continuando con la apertura de grietas. El manejo inadecuado de los suelos (sobrepastoreo, talas, ausencia de prácticas de conservación) la topografía, el tipo de suelos y el clima, son factores que precipitan la erosión de los suelos en aquellas zonas más susceptibles a este tipo de procesos. Además, se observa la implementación de pastos mejorados con un área de 1,8 Ha y parches dentro de la zona de bosque, (2,9 Ha), donde se tala el bosque para establecer pastos.

De esta manera, la cobertura de suelo con pasturas es la de mayor extensión en la microcuenca, y por consiguiente uno de los factores que alteran el ecosistema, especialmente con malas prácticas de manejo como las que actualmente se realizan en la región (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

**Ingresos económicos:** Un 48% de la población encuestada tiene ingresos que oscilan entre los \$ 200000 y 400000, un 29% tiene ingresos menores a \$ 200000, el 18% tiene ingresos entre \$ 400000 y 600000 y el 5% restante tiene ingresos mayores a \$ 600.000 (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

La falta de sensibilización de los pueblos ante el desarrollo de su región ha generado mayor presión sobre los recursos naturales, afectando significativamente la calidad de vida de ellos mismos. Los habitantes no realizan un buen manejo de los recursos que los rodean, trayendo como consecuencia el agotamiento de estos y a futuro el abandono total de las actividades agrícolas, generando emigración en busca de otras fuentes de sustento para sus familias.

En cuanto a las principales fuentes de ingresos, el (29%), se dedica a actividades diferentes a los cultivos y ganadería, esto demuestra que la gente busca oportunidades diferentes al campo, quizás por falta de conocimiento sobre otras actividades que se pueden llevar a cabo en su mismo entorno y que a la vez les generen una mayor rentabilidad. Por otra parte, el 21% de la población encuestada, obtiene ingresos por jornales, el 20% se dedica a labores agrícolas dentro de sus parcelas, y el 30% realiza labores diferentes a actividades agropecuarias (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

En cuanto al área de propiedad se destaca por tener minifundios en donde un 48% de la población, cuenta con propiedades, que se encuentran entre 0 y 0.25 Has, el 36% siguiente tiene propiedades entre 0.25 y 0.5 Has. De los cuales el 89% son terrenos propios lo q indica poca inmigración en la microcuenca (Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Dolores, 2008).

### **5.3.4 Matriz FODA microcuenca Dolores.**

Con el fin de identificar algunas características relevantes de la cuenca para la aplicación del modelo WEAP se realizó la matriz FODA con base en información secundaria obtenida en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca Dolores, Cuenca Alta Del Rio Pasto, Municipio De Pasto (2008).

Primero se identificaron las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y amenazas, las cuales se enlistan a continuación:

- **Fortalezas**

F1. Existen mapas temáticos de la microcuenca.

F2. Existe una base de datos con información biofísica económica y social generada en el plan de manejo de manejo de la microcuenca.

F3. Conectividad ecológica entre las diferentes áreas de la cuenca alta del río Pasto.

F4. Presencia de áreas de bosque en las partes altas, que sirven como reguladoras de caudales hídricos y oferta de bienes y servicios ambientales

F5. Existencia de una buena red hídrica.

F6. Potencial paisajístico, teniendo en cuenta la presencia de un área boscosa considerable.

F7. Comunidad organizada en juntas de acueductos.

- **Oportunidades**

O1. Fácil acceso a la microcuenca.

O2. Presencia de autoridades ambientales.

O3. Presencia de instituciones académicas.

O4. Área y forma de la cuenca.

O5. Leyes de protección del recurso hídrico.

O6. Contribución del medio ambiente sostenible al desarrollo de la región.

- **Debilidades**

D1. Existen conflictos de uso del suelo.

D2. Baja dotación en sistemas de saneamiento básico ambiental.

D3. La susceptibilidad del suelo a la remoción en masa

D4. Vulnerabilidad del suelo a los asentamientos humanos.

D5. Baja participación comunitaria y de gestión.

D6. Escasa articulación con entidades y autoridades ambientales.

- **Amenazas**

A1. Los procesos de planificación territorial y los programas de educación formal, planteados por las diferentes instituciones, no responden a la realidad local.

A2. Procesos de urbanización.

A3. Ampliación de la frontera agrícola.

A4. Introducción de especies exóticas.

A5. Áreas boscosas altamente intervenidas.

A6. Contaminación del agua por desechos sólidos, líquidos y coliformes totales, fecales y sólidos en suspensión.

A7. Fragmentación de predios

A8. Disminución del caudal hídrico.

A9. Procesos de remoción en masa.

A10. Erosión hídrica y laminar en el suelo

En el siguiente cuadro se muestra la lista de aspectos identificados en la microcuenca Dolores con base en información secundaria.

*Cuadro 6. Lista de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas microcuenca Dolores*

<p><b>Fortalezas</b></p> <p>F1. Existen mapas temáticos de la microcuenca.</p> <p>F2. Existe una base de datos con información biofísica económica y social generada en el plan de manejo de manejo de la microcuenca.</p> <p>F3. Conectividad ecológica entre las diferentes áreas de la cuenca alta del río Pasto.</p> <p>F4. Presencia de áreas de bosque en las partes altas, que sirven como reguladoras de caudales hídricos y oferta de bienes y servicios ambientales</p> <p>F5. Existencia de una buena red hídrica.</p> <p>F6. Potencial paisajístico, teniendo en cuenta la presencia de un área boscosa considerable.</p> <p>F7. Comunidad organizada en juntas de acueductos.</p>	<p><b>Debilidades</b></p> <p>D1. Existen conflictos de uso del suelo.</p> <p>D2. Baja dotación en sistemas de saneamiento básico ambiental.</p> <p>D3. La susceptibilidad del suelo a la remoción en masa</p> <p>D4. Vulnerabilidad del suelo a los asentamientos humanos.</p> <p>D5. Baja participación comunitaria y de gestión.</p> <p>D6. Escasa articulación con entidades y autoridades ambientales.</p>
<p><b>Oportunidades</b></p> <p>O1. Fácil acceso a la microcuenca.</p> <p>O2. Presencia de autoridades ambientales.</p>	<p><b>Amenazas</b></p> <p>A1. Los procesos de planificación territorial y los programas de educación formal, planteados por las diferentes instituciones, no responden a la realidad local.</p>

<p>O3. Presencia de instituciones académicas.</p> <p>O4. Área y forma de la cuenca.</p> <p>O5. Leyes de protección del recurso hídrico.</p> <p>O6. Contribución del medio ambiente sostenible al desarrollo de la región.</p>	<p>A2. Procesos de urbanización.</p> <p>A3. Ampliación de la frontera agrícola.</p> <p>A4. Introducción de especies exóticas.</p> <p>A5. Áreas boscosas altamente intervenidas.</p> <p>A6. Contaminación del agua por desechos sólidos, líquidos y coliformes totales, fecales y sólidos en suspensión.</p> <p>A7. Fragmentación de predios</p> <p>A8. Disminución del caudal hídrico.</p> <p>A9. Procesos de remoción en masa.</p> <p>A10. Erosión hídrica y laminar en el suelo</p>
---	---

Fuente: Este estudio (2018)

Posteriormente se realizó la matriz FODA para identificar estrategias y analizar si mediante el modelo WEAP se puede ayudar a minimizar las debilidades y amenazas y maximicen las oportunidades fortalezas identificadas previamente y determinar si es viable su aplicación en la Microcuenca Dolores. La matriz FODA obtenida se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Matriz FODA microcuenca Dolores

<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 50px; margin: 20px auto; text-align: center;">FACTORES INTERNOS</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 50px; margin: 20px auto; text-align: center;">FACTORES EXTERNOS</div>	<p><b>Fortalezas</b></p> <p>F1. Existen mapas temáticos de la microcuenca.</p> <p>F2. Existe una base de datos con información biofísica económica y social generada en el plan de manejo de manejo de la microcuenca.</p> <p>F3. Conectividad ecológica entre las diferentes áreas de la cuenca alta del río Pasto.</p> <p>F4. Presencia de áreas de bosque en las partes altas, que sirven como reguladoras de caudales hídricos y oferta de bienes y servicios ambientales</p> <p>F5. Existencia de una buena red hídrica.</p> <p>F6. Potencial paisajístico, teniendo en cuenta la presencia de un área boscosa considerable.</p> <p>F7. Comunidad organizada en juntas de acueductos.</p>	<p><b>Debilidades</b></p> <p>D1. Existen conflictos de uso del suelo.</p> <p>D2. Baja dotación en sistemas de saneamiento básico ambiental.</p> <p>D3. La susceptibilidad del suelo a la remoción en masa</p> <p>D4. Vulnerabilidad del suelo a los asentamientos humanos.</p> <p>D5. Baja participación comunitaria y de gestión.</p> <p>D6. Escasa articulación con entidades y autoridades ambientales.</p>
<p><b>Oportunidades</b></p> <p>O1. Fácil acceso a la microcuenca.</p> <p>O2. Presencia de autoridades ambientales.</p> <p>O3. Presencia de instituciones académicas.</p> <p>O4. Área y forma de la cuenca.</p> <p>O5. Leyes de protección del recurso hídrico.</p> <p>O6. Contribución del medio ambiente sostenible al desarrollo de la región.</p>	<p><b>Estrategia FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corroborar datos en campo de la información a ingresar en WEAP.</li> <li>• Acceder a registros sobre oferta y demanda en las instituciones presentes en la microcuenca Dolores para ingresar a WEAP.</li> <li>• Utilizar los mapas temáticos de la microcuenca Dolores para modelar diferentes aspectos de la microcuenca.</li> <li>• Utilizar la base de datos de la microcuenca Dolores</li> </ul>	<p><b>Estrategia DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el estado actual del uso de suelo con modelo WEAP y generar escenarios que permitan a las autoridades ambientales tomar medidas para contrarrestar los conflictos de uso de suelo</li> <li>• Obtener información primaria para el modelado en WEAP a través de las comunidades para que participen en el proceso de gestión del recurso hídrico.</li> </ul>

	<p>como punto de partida para la elaboración del modelo WEAP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelar oferta y demanda de la red hídrica en la microcuenca en WEAP como parte de otro modelo mas grande de la cuenta alta del rio Pasto.</li> <li>• Generar pautas de conservación de los bosques y belleza paisajística a partir del modelo WEAP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar escenarios de gestión hídrica con WEAP que permita a las entidades y autoridades ambientales una articulación para lograr un desarrollo sostenible en la microcuenca Dolores.</li> </ul>
<p><b>Amenazas</b></p> <p>A1. Los procesos de planificación territorial y los programas de educación formal, planteados por las diferentes instituciones, no responden a la realidad local.</p> <p>A2. Procesos de urbanización.</p> <p>A3. Ampliación de la frontera agrícola.</p> <p>A4. Introducción de especies exóticas.</p> <p>A5. Áreas boscosas altamente intervenidas.</p> <p>A6. Contaminación del agua por desechos sólidos, líquidos y coliformes totales, fecales y sólidos en suspensión.</p> <p>A7. Fragmentación de predios</p> <p>A8. Disminución del caudal hídrico.</p> <p>A9. Procesos de remoción en masa.</p> <p>A10. Erosión hídrica y laminar en el suelo</p>	<p><b>Estrategia FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar información actual sobre el estado del recurso hídrico por medio del modelo WEAP para fortalecer los procesos de planificación y programas de educación formal en la microcuenca.</li> <li>• Generar a través de WEAP escenarios futuros a partir de la información existente de la microcuenca que permitan conocer datos acerca de la gravedad de los fenómenos de contaminación, disminución de caudal, remoción en masa, erosión hídrica.</li> <li>• Generar escenarios con el modelo WEAP que muestren lo que pasaría con la oferta hídrica si no se toman medidas frente a las amenazas presentes en la microcuenca dolores.</li> </ul>	<p><b>Estrategia DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar escenarios de gestión teniendo en cuenta con el modelo WEAP que faciliten la planificación territorial por parte de las instituciones presentes en la región.</li> <li>• Modelar la oferta hídrica y su relación con el uso del suelo a partir del modelo WEAP para observar su relación y comportamiento para tomar medidas de mitigación de los conflictos.</li> <li>• Modelar la contaminación de las fuentes hídricas con el modelo WEAP que permita identificar zonas críticas y se pueda hacer un control de residuos y lixiviados.</li> <li>• Realizar la modelación de oferta y demanda que permita observar la disminución de los caudales en el tiempo identificar posibles causas naturales o antrópicas de este fenómeno.</li> </ul>

Fuente: Este estudio (2018)

Teniendo en cuenta que el modelo WEAP es una herramienta que puede contribuir positivamente en la disminución de las debilidades y amenazas presentadas en la matriz FODA, su aplicación dentro de la microcuenca dolores es viable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que para realizar el modelo es necesario generar las series sintéticas de precipitación y temperatura que representarán los diferentes escenarios meteorológicos a lo largo de varios años.

Así como también la demanda de agua generada por el consumo de los habitantes y sus actividades agrícolas. Como lo menciona SEMARNAT (2015) el modelo WEAP tiene un módulo de asignación del agua que toma en cuenta las demandas de agua, las necesidades de flujo en las corrientes superficiales para navegación o aspectos ambientales y el funcionamiento de los vasos de almacenamiento

Esta información puede ser suministrada algunas instituciones que hacen presencia en la zona y que se encargan de hacer estudios y prestar servicios de acueducto.

También se puede realizar la actualización de datos de demanda mediante módulos de riego por cultivo y por sector hidráulico ( $m^3/ha/año$  ó  $m^3/ha/mes$ ), los cuales ya son definidos por las juntas de usuarios de los distintos sectores hidráulicos de la cuenca CHP, en función a su experiencia de manejo de agua (Huerta, 2016).

Esto servirá para elaborar el Plan de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas (PADH) de la cuenca, y ayudará en la gestión de los recursos hídricos. Además, ello servirá para contrastar las demandas que actualmente las juntas de usuarios utilizan y las demandas calculadas por el modelo WEAP en base a la información climática de Precipitación y Temperatura, coeficientes de cultivos, parámetros de suelo, etc. (Huerta, 2016).

Según el IDR (2009) algunas variables que se deben tener en cuenta para el modelado son: diferentes sistemas de riego (Públicos y Privados), concesiones, acequias, canales, tomas de agua, derivaciones entre subcuencas. Así como también la Recopilación de los datos existentes: infraestructura, caudales derivados, características de usos; verificando la información mediante recorrido de campo y Análisis de imágenes satelitales, observación de los caudales derivados

realmente en bocatomas Instalación de regletas a la entrada de los perímetros de riego y Aforos simultaneo en tramos representativos.

En caso de que no se cuente con la información se puede recurrir a otros estudios, al respecto León (2017) menciona que se lograron determinar parámetros de suelos existentes que requiere el WEAP en la cuenca alta del río Pativilca, para cada catchment y cada tipo de cobertura vegetal, tomándolos de otros estudios, que tenían cuencas con características similares a la cuenca alta del río Pativilca.

Por último, Labrador et al. (2015) menciona que, a pesar de los problemas asociados a la disponibilidad y la calidad de la información ambiental, el modelo desarrollado mostró un buen desempeño y la representación de la dinámica hidrológica de la cuenca del río Aipe se puede considerar confiable. Sin embargo, respecto a los escenarios, los relacionados con el ensamble de cambio climático, es necesario tratar estos resultados con un grado de incertidumbre. Lo que puede indicar que el modelo funcione a pesar de la falta de información.

## 6. CONCLUSIONES

Los tres estudios de caso comparados indican un resultado positivo del modelo WEAP y destacan su utilidad en la gestión integral del recurso hídrico, así como también el apoyo en la toma de decisiones dentro de las cuencas y los escenarios que se pueden generar con el modelo permiten una respuesta a posibles cambios futuros dentro de un sistema complejo como es la cuenca. También destacan la carencia de estaciones meteorológicas en el país que permitan hacer un estudio más acertado de sus cuencas.

El modelo hidrológico WEAP brinda muchas ventajas en la gestión del recurso hídrico representando el comportamiento del agua en un área de estudio. Sin embargo, la principal ventaja es que permite generar escenarios que exploran diferentes posibilidades en el manejo del recurso hídrico dentro de una cuenca. Lo anterior hace que este modelo sea de gran importancia para la formulación de estrategias de gestión del recurso hídrico frente al calentamiento global y al crecimiento de poblacional a futuro.

Pese a la carencia de información primaria confiable la aplicación del modelo WEAP en la microcuenca Dolores es viable teniendo en cuenta que se puede obtener información referente a climatología, caudales, demografía y de consumo de agua, a través de instituciones presentes en la región y otras fuentes secundarias como estudios que tengan características similares a las de la microcuenca Dolores. Desde el punto de vista de la gestión del recurso hídrico esta herramienta permitiría una mejor toma de decisiones en la microcuenca. Además, la aplicación del modelo a una escala mayor en este caso a nivel de la cuenca alta del río Pasto brindaría mayor disponibilidad de información para la modelación hidrográfica.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Municipal de Pasto, Corporación autónoma regional de Nariño CORPONARIÑO (2004). Agenda Ambiental Municipal de Pasto. P 45
- Angarita, H., 2014. Metodología para incluir variabilidad climática y escenarios de cambio climático en el modelo WEAP de la macro cuenca del Magdalena y resultados de las simulaciones. The Nature Conservancy. Bogotá. 47p.
- Akivaga, M. (2010). Simulation and scenario analysis of water resources management in Perkerra catchment using WEAP model. School of Engineering of Moi University. Recuperado de [http://www.weap21.org/Downloads/Final\\_Thesis\\_Eric%20Akivaga.pdf](http://www.weap21.org/Downloads/Final_Thesis_Eric%20Akivaga.pdf)
- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T. & Siebert, S. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. Hydrological Sciences.
- Argota, T. (2011). Simulación hidrológica de la cuenca del río Amajac, Estado de Hidalgo aplicando el modelo SWAT. Instituto Politécnico Nacional.
- Burbano, N. (2009). Métodos de Evaluación de los Recursos Hídricos. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Ecuador. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/Santiago/pres/7%20Ecuador%20-%20Burbano%20-%20Evaluacion%20de%20RH.ppt>
- Campuzano, C., Roldán, G., Guhl, E. y Sandoval, J. (2012). “Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia” (pp.195-225).

- Castro, N. (2014). Implementación del sistema de modelación WEAP como herramienta del recurso hídrico en la vereda La Bella. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Centro de Cambio Global (2009). Guía Metodológica, Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP Universidad Católica de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2007). CEPAL advirtió sobre la escasez de agua en América Latina. Recuperado de [http://www.cooperativa.cl/p4\\_noticias/site/artic/20070322/pags/20070322125247.html](http://www.cooperativa.cl/p4_noticias/site/artic/20070322/pags/20070322125247.html)
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (2015). Recurso Hídrico. Recuperado de <http://www.crc.gov.co/index.php/ambiental/recursos/recurso-hidrico>
- Corporación autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO (2009) Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Pasto POMCA “Renace Río Pasto”.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO (2005). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Pasto.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC (1995). Procedimientos Metodológicos De Planificación en Cuencas Hidrográficas. Cali. p25
- Cruz, J., Losada, L., Moncayo, O. (2016). Modelación hidrológica de la cuenca del río Baché en el Departamento del Huila desde la herramienta de planificación Integrada de recursos hídricos. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. 58 p.
- Chavarrí, E. (2008). El Ciclo Hidrológico e Introducción a Modelos Hidrológicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de [http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarrí/clase\\_ii\\_met\\_el\\_ciclo\\_hidrologico\\_y\\_modelos\\_def.pdf](http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarrí/clase_ii_met_el_ciclo_hidrologico_y_modelos_def.pdf)

- Cusgüen, L., Vargas, C. (2015). Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena en Colombia, “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas. Recuperado de <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Water-sanitation/SEI-USAID-FS-2015-modelacion-hidrologica-Alto-Magdalena.pdf>
- Dagnino, J., Sturzenegger, A., Charreau, E., Varde, O., Bauer, C. y Bereciartúa. (2012) “El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina. La cuestión del Agua”. (pp. 19-73)
- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D. y Yates, D. (2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades de La Paz y El Alto. *Aqua-LAC*, 5, 2-4.
- Espina, Luis (1990). Zonas de Vida de Colombia. Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín, Facultad de Ciencias, Departamento de ciencias de la tierra; Medellín. p.99.
- Figueroa, C. y Escobar, M. (2015a). Forjando capacidad de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Otún.
- Figueroa, C. y Escobar, M. (2015b). Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia.
- Folleco, M. (2017). 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. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Gallopín, Gilberto (2011). Five Stylized Scenarios. United Nations World Water Assessment Programm. UNESCO.

García, W. (2007). El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. Universidad Nacional de Medellín. Recuperado de [http://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi\\_Cuencas\\_Pregrado/Sistema%20CuencaHidrogr%E1fica.pdf](http://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/Sistema%20CuencaHidrogr%E1fica.pdf)

Organización Meteorológica Mundial. (2012). Glosario Hidrológico Internacional. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>

Guzmán, I., Calvo, J. (2013). Planificación del recurso hídrico en América Latina y el Caribe. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 4.

Huerta, R. (2016). Actualización del modelo WEAP aplicado a la cuenca Chira Piura. Proyecto para la Adaptación y la Resiliencia, Agua de USAID.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2011). Estudio Nacional del Agua 2010.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2015). Estudio Nacional del Agua 2014.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2011). Informe de Gestión. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR (2012). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia Año 2011. Santa Marta. 206 p.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR (2015). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia Año 2015. Santa Marta. 206 p.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2004). Estudio General de Suelos Y Zonificación. Capítulo III. Descripción de Suelos. Pasto, Nariño. p. 125
- Instituto Politécnico Nacional IPN (2002). Metodología para el análisis FODA. Dirección de planeación y organización. México.
- Organización Meteorológica Mundial, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2012). Glosario Hidrológico Internacional.
- Labrador, A., Zúñiga, J. y Romero, J. (2005). Desarrollo de un modelo para la planificación integral del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del Rio Aipe, Huila, Colombia. *Revista Ingeniería y Región 15(1)* pp. 23-35
- Leguizamón, C. (2016). Evaluación de las garantías de suministro del recurso hídrico en la provincia del Tequendama por medio de la herramienta WEAP (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2507/Leguizamoncamilia2017.pdf?sequence=>
- León, Juan (2017). Estudio de Balance Hídrico con Modelamiento WEAP en la Cuenca Alta Del Río Pativilca, Distrito De Aquia, Bolognesi, Ancash. Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo Internacional USAID, Instituto de Montaña. Proyecto asegurando el agua y los medios de la vida en la montaña.
- Mardones, G. (2009). Implementación y Uso del Modelo WEAP en Cuencas Nivales de la IV Región para el Análisis del Cambio Climático. Universidad de Chile.
- Mena, D. (2009). Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP. Universidad de Chile.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional Para La Gestión del Recurso Hídrico. Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas - Grupo de Recurso Hídrico.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). Resolución 2320 del 27 de noviembre de 2009. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Medio ambiente y desarrollo sostenible. (2018). Política Nacional para la Gestión del Recurso hídrico. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/direccion-integral-de-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>

Moncayo, O., Losada, L. y Cruz, J. (2016). Modelación hidrológica de la Cuenca Alta del Rio Baché en el Departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos. Universidad Católica de Colombia.

Municipio de Aipe. (2014). POT - Plan de Ordenamiento Territorial.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2017). Escenarios hidrológicos mundiales en el 2050: explorar los futuros alternativos de los recursos hídricos del planeta y su uso en el 2050.

Phurisamban, R. (2014). Addressing Climate Change Adaptation in Water Resource Management: A Case Study of the Sacramento Region. University of California, Berkeley.

Purkey, D. y Mendoza, T. (2015). Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia (POMCAs y PORHs).

- Purkey, D., B. Joyce, S. Vicuna, M. Hanemann, L. Dale, D. Yates and J.A. Dracup (2007). “Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley”. *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-007-9375-8
- Reyes, C. (2012). Proyección de variables hidrológicas diarias a largo plazo en la cuenca del río Tinguiririca en bajo los briones, bajo escenarios A1B y A2 de cambio climático (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112018/cf-reyes\\_cb.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112018/cf-reyes_cb.pdf?sequence=1)
- Salinas, A. y Paz, O. (2011). Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas Weap al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. *Revista Técnicas de Investigación Documental* 6(6), 27-38. Recuperado de <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtid/v6n6/v6n6a04.pdf>
- Sampieri, R., Fernández, C & Baptista L. (2010). Metodología de la investigación. México: Editorial Mc Graw Hill. Sexta edición.
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales SEMARNAT, Instituto Mexicano de Tecnología de Agua IMTA (2015). Proyecto “Análisis Económico Integral En Un Sistema Hídrico” DP1503. Informe final. México. Recuperado de <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1792/DP-1503.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Steer, R., F. Arias, A. Ramos, P. Aguirre, P. Sierra y D. Alonso (1997). Documento preliminar de políticas de ordenamiento ambiental de las zonas costeras colombianas.
- Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (2017). Maestría en Modelado y Simulación. Recuperado de <https://www.utadeo.edu.co/es/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms>

- Vicuña, S., Coello, C. & Cisneros, F. (2009). Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos de la cuenca del Río Paute. Ecuador 14 p.
- Villafañe, A. & Rada, O. (2011). Aplicación del modelo de planificación hídrica de cuencas WEAP al proyecto: Aducción de recursos hídricos Murata. Técnicas de Investigación Documental, La Paz, Bolivia.
- Vogel, M. (2007). La utilidad de aproximaciones Globales para la solución de la “Crisis del agua”: Ejemplo del Perú. Fundación CIDOB.
- Xue, L., Yue, Z., Chunli S., Jian S., Zhong-Liang, W, Yuqiu W. (2015). Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, Chia Ocean & Coastal Management.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., y Huber-Lee, A. (2005). WEAP21. A demand, priority, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International* 30(4), 487-500.
- Zamudio, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia. *Gestión y Ambiente* 15(3), 99-112