

**APLICACIÓN DEL MODELO WEAP (WATER EVALUATION AND PLANNING
SYSTEM) COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS Y SUS APORTES EN SISTEMAS PRODUCTIVOS**

LEYDY BIVIANA ESTUPIÑAN BETANCOURTH

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

**APLICACIÓN DEL MODELO WEAP (WATER EVALUATION AND PLANNING
SYSTEM) COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS Y SUS APORTES EN SISTEMAS PRODUCTIVOS**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero
Agrónomo-Modalidad Monografía**

LEYDY BIVIANA ESTUPIÑAN BETANCOURTH

Presidente de Monografía

PAULO CESAR CABRERA MONCAYO M.Sc.

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

2018

Contenido

INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVOS	9
1.1 Objetivo general	9
1.2 Objetivos específicos	9
2. ANTECEDENTES	10
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 Modelo WEAP (sistema de evaluación y planeación del agua)	16
3.1.1 Características del Modelo WEAP	23
3.1.2 Ventajas y desventajas del modelo WEAP	24
3.2 Gestión de los Recursos Hídricos (RH)	25
3.2.1 Principios esenciales de la GIRH	26
3.3 Herramientas de apoyo a la planificación del RH	26
3.4 Ciclo Hidrológico	17
3.4.1 El Agua importante recurso de vida	18
3.4.2 Cuenca Hidrográfica.....	18
3.4.3 Alteraciones del RH y cambio climático	18
3.4.4 Calentamiento Global y sus efectos en el agua.....	20
3.4.5 Gestión Integral de los recursos hídricos	21
3.5 Sistemas de producción agropecuarios	27
3.5.1 Características de los sistemas de producción agropecuaria	28
4. MARCO NORMATIVO	12
5. METODOLOGÍA	29
5.1 Tipo de Investigación	29
5.1.1 Investigación Descriptiva	29
5.1.2 Método lógico Inductivo	30
6. MARCO REFERENCIAL	33
6.1 Descripción de la cuenca en estudio	33
6.1.1 Localización	33
6.1.2 Área de estudio.....	35

7.	PROCESO METODOLÓGICO DEL MODELO WEAP EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RH.....	31
7.1	Implementación del Modelo	33
8.	IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DEL MODELO WEAP EN LA GENERACIÓN DE	
	ESCENARIOS DEL RH.....	39
8.1	Alternativas de adaptación agrícola para el manejo del cambio climático	41
8.2	Escenarios de gestión del agua mediante la aplicación de WEAP.....	45
8.2.1	Escenario de cambio de usos y aumento de población	55
8.2.2	Escenario de impacto de cambio climático en cuencas hidrográficas usando WEAP	47
8.2.3	Escenarios de gestión del RH de WEAP con la programación de sistemas productivos	50
9.	CONCLUSIONES	54
10.	RECOMENDACIONES	55
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones del modelo WEAP en diferentes estudios a nivel mundial	10
Tabla 2. Marco normativo	12
Tabla 3. Componentes del Ciclo Hidrológico.....	16
Tabla 4. Instrumentos de gestión del agua a nivel teórico	27
Tabla 5. Instrumentos de gestión del agua a nivel teórico	28
Tabla 6. Etapas del desarrollo del modelo WEAP según Boston.....	33
Tabla 7. Componentes para la aplicación del modelo WEAP	38
Tabla 8. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP	40
Tabla 7. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP	51
Tabla 8. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso WEAP.....	31
Figura 2. Mapa de Colombia – Departamento del Huila.....	34
Figura 3. Modelo Esquemático de la cuenca Rio Baché.....	35
Figura 4. Modelación hidrológica de la cuenca del Rio Baché.....	37
Figura 5. Escenarios de cambio climático para el departamento del Huila.....	48
Figura 6. Calibración 1997 - 1985.....	48
Figura 7. Calibración 1997 – 1985.....	49

Introducción

Esta propuesta fue motivada por la preocupación por el continuo desgaste de uno de los recursos naturales más importantes de la humanidad que es el agua. Las condiciones desfavorables que abordan la disponibilidad del limitado Recurso Hídrico (RH) en la comunidad de la cuenca hidrográfica del río Baché ubicado en el departamento del Huila y en otras regiones del país, afecta el óptimo funcionamiento de las diferentes actividades como la agricultura, supervivencia de los ecosistemas y los seres humanos, entre otras. En la actualidad, los fenómenos extremos de cambio climático y manejo inadecuado de este recurso por parte de la comunidad, hace pensar en la necesidad del diseño de estrategias para la sostenibilidad del uso del agua.

Se debe tener en cuenta que la incompreensión del hombre frente al uso de los recursos naturales causa gran preocupación ante todas las personas interesadas en su conservación, así como a las autoridades encargadas del control y la supervisión del buen uso del patrimonio natural, ya que continuar con este ritmo acelerado en cuanto al uso irracional de la naturaleza, seguirá contribuyendo en gran medida al cambio climático y con ello la disponibilidad del RH en cuanto a calidad y cantidad (Samboní, Reyes y Carvajal, 2011). Teniendo en cuenta la importancia que tiene este tema para el ser humano, se puede resaltar que las cuencas hidrográficas son vitales para el abastecimiento de agua, y con ello la importancia que cobra su gestión adecuada para la comunidad en general.

Es por esto que el principal objetivo de este estudio, se fundamentó en la aplicación del modelo Water Evaluation and Planning System (WEAP) como herramienta para la gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Baché y su aporte en los sistemas productivos, ya que esta es una de las principales actividades económicas de la región que forma parte del aprovechamiento del agua. Este modelo contribuye satisfactoriamente a mejorar el sistema de gestión integral del RH, además de apoyar la toma de decisiones, a través del conocimiento confiable de cómo responden las cuencas en términos hidrológico ante distintos escenarios climáticos y de demanda hídrica (Labrador, Zúñiga y Romero, 2016, p.11).

En este sentido, para el cumplimiento de esta propuesta investigativa se desarrollaron pasos sistemáticos, los cuales fueron: la identificación del proceso metodológico del modelo WEAP en

la gestión integral del RH; establecer la importancia de la aplicación de este modelo en la generación de escenarios del RH y con base en esto determinar la programación de sistemas productivos de la región, en el especial los sistemas productivos de café.

Para llevar a cabo esto, fue necesario acudir al método de investigación inductivo, partiendo de lo particular como lo son las etapas mencionadas anteriormente a lo general que es el abordaje pleno e integral del diseño del modelo WEAP en la cuenca hidrográfica del departamento del Huila, actuando bajo la investigación descriptiva, mencionada por Moguel (2005) *“la cual consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento”* (p.22).

En primera instancia se hizo una revisión bibliográfica para determinar la metodología de aplicación del Modelo WEAP para lo que se encontraron diversos autores y conceptos (abordados en todo el documento), de los cuales, se logró determinar que la importancia de la aplicación de este modelo como herramienta de planeación estratégica del aprovechamiento del RH en producciones artesanales de café, aporta al desarrollo sostenible de las regiones apartadas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Aplicación del modelo Water Evaluation and Planning System WEAP como herramienta para la gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Baché y su aporte en los sistemas productivos en el departamento del Huila.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar el proceso metodológico del modelo WEAP en la gestión integral del agua.
- Establecer la importancia de la aplicación del modelo WEAP en la generación de escenarios del RH.
- Relacionar dos escenarios de Gestión del Recurso Hídrico de WEAP con la programación de sistemas productivos del estudio de caso cuenca hidrográfica Río Baché en el Departamento del Huila Colombia.

2. Antecedentes

Tabla 1. Aplicaciones del modelo WEAP en diferentes estudios a nivel mundial

CONTEXTO	TITULO-AUTOR	RESULTADOS
INTERNACIONAL	Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades la paz y el alto, Bolivia. (Escobar, Lima, Purkey, Yates y Forni, 2013)	Se utilizó el modelo WEAP para evaluar cuales podrían ser las implicaciones del cambio climático futuro en el abastecimiento de agua para los años 2011-2050 bajo condiciones de incertidumbres, para contribuir a la toma de decisiones frente al problema de escases de agua en estas ciudades.
INTERNACIONAL	Simulación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y estrategias de adaptación, usando el modelo WEAP, en la cuenca de la región ya que del norte de la república dominicana Febrillet, Clases, Bello, y Chalas, 2014	Se utilizó el modelo WEAP, para evaluar tres escenarios: que todo permanezca igual a través del tiempo, hasta el 2050; que se produzca una mejora en la eficiencia del riego, por adaptación gradual de tecnología que ahorre el recurso agua; y de cambio climático alterando la precipitación, temperatura y humedad relativa a largo plazo; y por tanto apoyar la toma de decisiones para contribuir al amortiguamiento de la alteración de los recursos hídricos en esta región.
INTERNACIONAL	Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP. Chile Mena, 2009	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.
INTERNACIONAL	Implementar el sistema de modelación WEAP como herramienta que determine el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del río Machángara. Ecuador Parra, 2016	Se utilizó el modelo WEAP como herramienta, para obtener resultados a los cambios producidos por las variaciones de clima sobre el suministro del agua, así los gestores de agua podrían definir y formular estrategias futuras para una planificación y gestión del agua a corto y mediano plazo. Así tomar una decisión sustentada en un mejor uso posible del RH actual y futuro y su correcta administración en la permanente búsqueda de un desarrollo sostenible de la población de la cuenca del río Machángara.

Fuente: Este estudio con base en (Escobar, Lima, Purkey, Yates & Forni, 2013); (Febrillet, Clases, Bello & Chalas, 2014); (Mena, 2009) & (Parra, 2016)

CONTEXTO	TITULO-AUTOR	RESULTADOS
	Desarrollo de un modelo para la planificación integral del RH en la cuenca hidrográfica del Río Aipe, Huila, Colombia. (Labrador, Zúñiga, y Romero 2016)	Se desarrolló el modelo WEAP para conocer el impacto de los escenarios de cambio climático sobre la oferta hídrica para el periodo (2011-2050) como herramienta para apoyar la toma de decisiones en planificación integral del RH en la cuenca del Río Aipe.
	Escenarios de alteración regional del régimen hidrológico en la cuenca magdalena-cauca por intensificación de la demanda para hidroenergía. (Angarita, Delgado, Escobar, y Walschburger, 2015)	Se utilizó WEAP para determinar posibles impactos sobre los recursos hídricos y determinar caudales ambientales para la hidroeléctrica en la cuenca Magdalena-Cauca.
NACIONAL	Evaluación de las garantías de suministro del RH en la provincia del Tequendama por medio de la herramienta WEAP. (Leguizamón, 2017)	Se utilizó el modelo WEAP con el propósito de modelar el comportamiento del RH y evaluar las garantías de suministro en la provincia Tequendama en eventos de variabilidad climática Niña, Niño y condiciones normales; empleando el método escurrimiento de lluvia (modelo coeficiente simplificado).
NACIONAL	Integración de los modelos WEAP y qual2k para la simulación de la calidad agua de fuentes superficiales. caso de estudio: cuenca del río la vieja, Colombia. (Jaramillo, et. al, 2016)	Se utilizó el modelo WEAP para evaluar el impacto de las aguas residuales domésticas y agroindustriales en la cuenca del río La Vieja, Colombia; considerando factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo agroindustrial y los efectos de la variabilidad y el cambio climático.
LOCAL	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. (Folleco, 2017)	Se utilizó el modelo WEAP como soporte de decisión para la aplicación de una herramienta de gestión del RH, se analizó la disponibilidad de agua con que cuenta el municipio de Chachagüí para uso doméstico de sus habitantes, ya que se está presentando escases por el aumento de la demanda por sus características de zona turística debido a su clima templado y su cercanía con la capital de Nariño; se implementó el modelo para predecir si es necesario una o más fuentes de abastecimiento para un buen servicio.

Fuente: este estudio con base en (Labrador, Zúñiga, y Romero 2016); (Angarita, Delgado, Escobar, y Walschburger, 2015); (Leguizamón, 2017); (Jaramillo, et. al, 2016); (Folleco, 2017)

3. Marco Normativo

Tabla 2. Marco normativo

Tipo de Norma	Título del documento	Emisor	Principal observación
Ley 23 de 1973	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.	Congreso de la República	Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional. El medio ambiente es un patrimonio común; por lo tanto, su mejoramiento y conservación son actividades de utilidad pública, en las que deberán participar el Estado y los particulares. Para efectos de la presente Ley, se entenderá que el medio ambiente está constituido por la atmósfera y los recursos naturales renovables. Las disposiciones de esta parte regulan el aprovechamiento de las aguas no marítimas en todos sus estados y formas, como: a. Las meteóricas, es decir las que están en la atmósfera; b. Las provenientes de lluvia natural o artificial; c. Las corrientes superficiales que vayan por cauces naturales o artificiales; d. Las de los lagos, ciénagas, lagunas y embalses de formación natural o artificial; e. Las edáficas; f. Las subterráneas; g. Las subálveas; h. Las de los nevados y glaciares; i. Las ya utilizadas, servidas o negras
DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Presidencia de la República	El MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE formulará, junto con el Presidente de la República y garantizando la participación de la comunidad, la política nacional ambiental y de recursos naturales renovables, de manera que se garantice el derecho de todas las personas a gozar de un medio ambiente sano y se proteja el patrimonio natural y la soberanía de la Nación. Corresponde al MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE coordinar el Sistema Nacional Ambiental.
LEY 99 DE 1993	Gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables	Ministerio de Ambiente	Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del RH.
LEY 373 DE 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	Congreso de la República	

Tipo de Norma	Título del documento	Emisor	Principal observación
DECRETO 216 DE 2003	Estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y se dictan otras disposiciones	Presidencia de la República	El Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, tendrá como objetivos primordiales contribuir y promover el desarrollo sostenible a través de la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación en materia ambiental, recursos naturales renovables, uso del suelo, ordenamiento territorial, agua potable y saneamiento básico y ambiental, desarrollo territorial y urbano, así como en materia habitacional integral.
DECRETO NUMERO 3440 DE 2004	El Presidente de la República de Colombia, en uso de sus facultades constitucionales y legales, en especial las conferidas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y el artículo 42 de la Ley 99 de 1993.	Presidencia de la republica	Proyectos de inversión en descontaminación hídrica. Son todas aquellas inversiones cuya finalidad sea mejorar la calidad físico química y/o bacteriológica de los vertimientos o del RH. Incluyen la elaboración y ejecución de los Planes de Ordenamiento del RH. Igualmente, comprende inversiones en interceptores, emisarios finales y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y, hasta un 10% del recaudo de la tasa podrá utilizarse para la cofinanciación de estudios y diseños asociados a los mismos.
DECRETO NUMERO 4742 DE 2005	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Presidencia de la República	El valor a pagar por cada usuario estará compuesto por el producto de la tarifa unitaria anual de la tasa por utilización de agua (TU), expresada en pesos/m ³ , y el volumen captado (V), expresado en metros cúbicos (m), corregido por el factor de costo de oportunidad. En los casos que el sujeto pasivo no presente los reportes sobre los volúmenes de agua captada, el cobro se realizará por el caudal concesionado y la autoridad ambiental para efectos de aplicar la fórmula contenida en el presente artículo en lo referente al volumen de agua.
DECRETO NÚMERO 2570 DE 2006	En uso de sus facultades constitucionales y legales, en especial las conferidas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y en el artículo 4 de la Ley 99 de 1993.	Presidencia de la República	Durante doce (12) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto, se aceptará la información cuantitativa física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes, e información de carácter oficial relacionada con el recurso agua, generada por laboratorios ambientales que se encuentren inscritos en el proceso de acreditación ante el IDEAM y tengan aprobados y vigentes los resultados de la Prueba de Evaluación de Desempeño realizada por este Instituto.
Ley 1151 de 2007	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010	Congreso de la República	Declárense de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales. Los departamentos y municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales. Los recursos de que trata el presente artículo, se destinarán prioritariamente a la adquisición y mantenimiento de las zonas. La administración de estas zonas corresponderá al respectivo distrito o municipio, en forma conjunta con la respectiva Corporación Autónoma Regional y con la participación opcional

Tipo de Norma	Título del documento	Emisor	Principal observación
DECRETO NUMERO 3930 DE 2010	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"	Presidencia de la República	<p>de la sociedad civil y de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, cuando corresponda</p> <p>La constitución política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece que es deber del Estado proteger la integridad y diversidad del ambiente, conservar las áreas de importancia ecológica y fomentar la educación ambiental, entre ello garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Así mismo, regular entre otros aspectos, la clasificación de las aguas, señalar las que deben ser objeto de protección y control especial, fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento, estableciendo la calidad de las mismas y ejerciendo control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que éstas no se conviertan en focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua.</p>

Fuente: (Congreso de la República, 1993); (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005); (Ministerio de Ambiente, 2018)

En términos generales los Recursos Naturales se han visto amenazados debido a la intervención de la humanidad, mediante su aprovechamiento en forma inadecuada sin evaluar las medidas de afectación, en este sentido se dio origen a la necesidad de incrementar normas de conservación, preservación y mantenimiento de estos recursos; por tal razón:

La planificación del manejo y aprovechamiento de los Recursos Naturales Renovables es una obligación constitucional del Estado Colombiano y busca orientar de manera coordinada su administración para contribuir desde lo ambiental a la consolidación de alternativas de desarrollo sostenible en el corto, mediano y largo plazo, acordes con las características y dinámicas biofísicas, económicas, sociales y culturales, regionales y nacionales (CAM., 2011, p.21).

Así mismo, en Colombia el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) por medio de la Resolución 0865 del 2004 determina que a la oferta hídrica superficial se le aplican dos factores de reducción del 25% por caudal ecológico y un 25% por calidad del agua. Metodología aplicada a la oferta hídrica neta definida como: “la cantidad de agua disponible para diferentes usos en una cuenca o unidad hidrológica;” la cual sirve para determinar el índice de escases para aguas superficiales (Samboni et al. 2011).

En lo establecido en la Asamblea Nacional Constituyente (1991) *“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”* (Art. 79). La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Este contexto se debe tener en cuenta al momento de tomar iniciativas de producción, respetar las leyes y políticas ambientales, para preservar en el tiempo los recursos naturales y evitarse inconvenientes de tipo lega.

4. Marco Teórico

4.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico, proceso a través del cual se abastecen de agua los seres vivos, constituye una de las partes más importantes de las condiciones naturales de las cuencas hidrológicas; también se define como un modelo de circulación general que implica un despliegue complejo de los movimientos y transformaciones del agua. Una definición más detallada y completa es la que proponen Andrade y Navarrete (2004) como:

Un sistema que presenta entradas de agua en forma líquida y sólida a través de los fenómenos de precipitación (nieve y cristales de hielo) y salidas de la misma en estado gaseoso a través de los fenómenos de evaporación y evapotranspiración. Es el movimiento del agua dentro de la biósfera, desplazándose constantemente desde la atmósfera a la tierra y a los mares, para luego regresar nuevamente a la atmósfera. Este movimiento modifica continuamente la superficie de la tierra, permitiendo su moldeamiento a través de procesos hidromorfodinámicos y logrando que en todos los ecosistemas terrestres y acuáticos se generen procesos biológicos productivos. (p.59)

Teniendo en cuenta lo anterior se puede definir como el proceso por el que pasa el agua al transitar de la tierra a la atmósfera y volver, evaporación, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Ordoñez, 2011).

Según Ordoñez (2011):

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento) (p. 10).

Tabla 3. Componentes del Ciclo Hidrológico

Sistema Hidrológico	Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema (González & Cartaya, 1991). En síntesis, el sistema es el conglomerado de fases diferentes que interactúa de manera sinérgica.
----------------------------	--

Precipitación	Según Musi (2001) corresponde a la caída de agua a la superficie terrestre en forma líquida, sólida y en precipitaciones ocultas (rocío, helada blanca, etc.), provocadas por cambios en la temperatura o presión. La precipitación puede ser: convectiva, orográfica y frontal o del tipo ciclónico.
Evaporación	Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación más).
Condensación	El cambio en el estado de la materia de vapor a líquido que se produce con el enfriamiento. Normalmente se utiliza en meteorología cuando se habla de la formación de agua líquida en vapor. Este proceso libera energía de calor latente para el medio ambiente.
Transpiración	Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración.
Intercepción	Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.
Escorrentía superficial	Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso.
Escorrentía subsuperficial	Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto debe ser considerada como parte de la escorrentía.

Fuente: este estudio con base en Ordoñez (2011)

4.2 Recurso Hídrico

La realidad de los recursos hídricos superficiales es que sufren una alta presión antrópica debido a las transformaciones de los bosques y el alto uso de agua por las actividades socioeconómicas. Frente a esta problemática, la modelación integrada de los recursos hídricos se convierte en una herramienta necesaria para evaluar y predecir las consecuencias de las transformaciones del paisaje sobre los elementos del ciclo hidrológico (Burbano, Domínguez, y Barón, 2016, p. 1).

De hecho, el clima y el ciclo hidrológico están tan íntimamente relacionados que es difícil definir las fronteras entre ellos; el clima depende de variables relevantes del ciclo hidrológico, tales como la humedad ambiente y la precipitación.

Adicionalmente, también existen tres contornos del ciclo hidrológico los cuales los describe Heredia (2017) de la siguiente manera:

El escurrimiento superficial, en el que el agua de lluvia se desplaza por el suelo y se convierte en parte del sistema de aguas superficiales; Evapotranspiración, en el que el agua se infiltra, se retiene como agua capilar y regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal; Aguas freáticas, en el que el agua se infiltra, circula por conductos acuíferos y sale por manantiales, fuentes o pozos, donde se une al agua superficial. (p.48)

4.2.1 El Agua importante recurso de vida

De acuerdo con diferentes estudios relacionados con el agua se evidencia su importancia para el sustento de la vida, y como este se ve alterado por el aumento en la demanda produciendo escases para las actividades de uso primordial, tal como lo afirma Parra (2016), también se ve afectado por los cambios climáticos por los cuales estamos enfrentando.

4.2.2 Cuenca Hidrográfica

La base del asentamiento del hombre en la tierra es el agua, la vida en general en el planeta tierra está ligada al RH, en este contexto se ha denominado un término representativo como lo es Cuenca hidrográfica donde la Normativa Colombiana por medio del Decreto 1729 del 2002, nos da a entender por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales y subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, pueda desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Moreno, 2013).

Según (Sepúlveda y Rojas, 2002; Jouravlev, 2003) citado en (Barrientos, 2006), en las cuencas hidrográficas se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos. Los distintos componentes de una cuenca interactúan entre sí, formando un gran sistema natural. Actualmente se les considera un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas.

4.2.3 Alteraciones del Recurso Hídrico y Cambio Climático

En el presente el RH, viene presentado diversas alteraciones que han generado su disminución y afectación en cuanto a la oferta para satisfacer la demanda hídrica. Fenómeno que es relacionado con el incremento poblacional, al desarrollar cambios drásticos en el uso del RH potable como lo

es el caso de la ganadería extensiva, agricultura intensiva y semi-intensiva, la hidroeléctrica, la industria, el uso doméstico y social entre otros factores que permiten evidenciar la escasez del agua tanto para consumo humano, como para su correcto uso potencial en diferentes ámbitos (Lema, y Plaza, 2009).

Al tiempo Villa (2013) manifiesta que la problemática que presenta el agua es causada en mayor medida por la alteración de la temperatura causando con este aumento el deshielo de los glaciares de manera acelerada causando inundaciones, cambios en las precipitaciones y en menor medida sequias.

Finalmente, el IV Informe del IPCC (2007) señala que “la adaptación al cambio climático requiere un enfoque integral considerando las visiones de todos los actores comprometidos a fin de remodelar los procesos de planificación coordinando los recursos con el proceso de cambio climático de una forma que asegure la toma de decisiones consensuadas (locales, regionales estatales).

Según Lema, y Plaza (2009):

Durante varios años (IPCC) ha realizado informes sobre la problemática más hablada hoy en día a nivel mundial como lo es el cambio climático y ha realizado definiciones, la primera realizada en el año 1992, lo define como el cambio de clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y la variabilidad natural del clima, la mayoría de ellas producidas por las alteraciones en el aumento de la temperatura, desordenes en las precipitaciones, los gases efecto invernadero que son la gran causa al cambio climático y como resultado más notorio es las alteraciones que sufre el RH.

Estas consecuencias se producen en gran parte debido al crecimiento poblacional a nivel mundial, se hacen necesarios cambios drásticos en el uso del RH potable como lo es el caso de la ganadería extensiva, agricultura intensiva y semi-intensiva, la hidroeléctrica, la industria, el uso doméstico y social entre otros factores que permiten evidenciar la escasez del agua tanto para consumo humano, como para su correcto uso potencial en diferentes ámbitos.

En este sentido es de gran importancia el esclarecimiento del término cambio climático, según Villa (2013), la modificación del clima con respecto al historial climático a escalas globales y

regionales causadas por razones naturales y/o antropogénicas. Cambios producidos por las variaciones de las concentraciones de los GEI, y radiación solar en la atmósfera y en la cubierta terrestre que afectan a parámetros meteorológicos como: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones y nubosidad.

Por otra parte, Parra (2016) manifiesta que *“Un aspecto que cada vez tiene más relevancia en las instituciones académicas y las instituciones encargadas de la gestión del RH es el cambio climático, y como éste impactará en la cantidad y calidad del recurso en el futuro”* (p.10).

A su vez, (Gallardo, 2013) (citado por Caraballo, y Plata, 2017) afirma que *“existen dos causas del cambio climático global: naturales (como cambios en la energía recibida del sol o la actividad volcánica) y Antrópicas (generadas por actividad humana como quema de combustibles fósiles o tala de árboles)”* (p. 23).

4.2.4 Calentamiento Global y sus efectos en el agua

Hoy por hoy aún existe falta de conciencia en muchas regiones del mundo sobre la gran problemática que enfrentamos en cuanto a la disponibilidad del agua, el hombre ha generado un desequilibrio en el medio ambiente mediante la deforestación de selvas, contaminación de los ríos, mares, lagunas, humedales y todas las diferentes fuentes hídricas, incrementando los factores que producen los efectos de cambio climático y un término muy discutido y utilizado hoy en día como lo es el calentamiento global.

Este es consecuencia de las emisiones de gases efecto invernadero produciendo un aumento en el nivel del mar, una disminución de las precipitaciones y por ende un notable escasez del agua (Caraballo, y Plata, 2017).

Este fenómeno es el resultado de malas prácticas y decisiones que el hombre en su naturaleza de dominar todo a su alrededor, provoca. La humanidad empezó a tener en cuenta la falta de disponibilidad de los recursos hídricos cuando logro evidenciar la consecuencia de estos problemas en las cuencas hidrográficas de las cuales se toma el fluido vital para beneficio y bienestar de la sociedad, por tal motivo desde hace unos años se están realizando diferentes estudios para tratar de pronosticar el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas

para así, determinar los factores más vulnerables y minimizar las causas del detrimento del fluido vital, y en un futuro restablecer las condiciones óptimas para la manutención y equilibrio de las cuencas hidrográficas así como asignar un correcto uso para las mismas asegurando el bienestar de la población y el correcto funcionamiento del sistema (Esteli, 2012).

Al respecto Geler T., Toruño, P., Marinero, E., & Gutiérrez E., (2014) Manifiestan que:

El agua es un recurso vulnerable y finito, esencial para la conservación de la vida, el desarrollo y el medio ambiente, con gran valor social y económico en todos sus usos, los que pueden ser diferentes: para la agricultura, para la supervivencia de los ecosistemas y los seres humanos. En este contexto, la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados permiten maximizar, de manera equitativa, el bienestar social y económico resultante, sin comprometer la sostenibilidad del medio ambiente. (p.7)

4.2.5 Gestión Integral de los recursos hídricos

Para entender la gestión del RH se debe entender el concepto de La gestión ambiental el cual es definido por Cevallos, Gómez, y Roldan (2015):

En el proceso orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, cual propósito es lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y el espacio (p.5).

El Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por su sigla en inglés) la define como "un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas" (Geler T., Toruño, P., Marinero, E., & Gutiérrez E., 2014, p.78).

Ahora bien, una definición de GIRH con mayor aceptación es la realizada por la Asociación Mundial del Agua (2000) donde la define como: "El proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el

bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Heredia, 2017, p.51).

4.3 Modelo WEAP (sistema de evaluación y planeación del agua)

El modelo WEAP, fue creado en 1988 por Jack Sieber, con el patrocinio de Stockholm Environment Institute (SEI). Se trata de un modelo de planeamiento y gestión integrado del RH, que opera bajo el modelo de balance hídrico y puede ser aplicado a los sistemas agrícolas y municipales, a cuencas pequeñas o grandes. El modelo tiene la capacidad de simular procesos como: lluvia escorrentía, flujo base, recarga subterránea, etc. De igual manera, tiene capacidad para hacer análisis sectoriales, de conservación de agua, derechos de agua, operación de embalses, generación hidroeléctrica, rastreo de contaminantes, calidad de agua, valoración de vulnerabilidad y mantenimiento de los requerimientos de los ecosistemas, también cuenta con un módulo de análisis financiero que permite hacer comparaciones beneficio-costos de diferentes proyectos o alternativas y explorar escenarios alternativos de largo alcance (Geler T., Toruño, P., Marinero, E., & Gutiérrez E., 2014, p. 8).

Por otro lado, WEAP requiere información tanto meteorológica, así como parámetros definidos para cada cuenca que se desee planificar o modelar. Entre la información que se requiere se incluye: los parámetros generales del tiempo de horizonte (periodo de modelación) y el área de la cuenca, precipitación y temperatura espacial de la cuenca, latitud, humedad, velocidad del viento y los parámetros de uso de los suelos (Lema y Plaza, 2009, p.68).

Este modelo también evalúa los procesos hidrológicos y planifica el uso de los recursos hídricos, para lo cual es necesario obtener la información hidrometeorológica, información de tipos y usos del suelo y concesiones de agua, entre otras.

La primera aplicación importante de WEAP se realizó en la región del Mar de Aral, en 1989. A través de los años, WEAP se ha aplicado en muchos países y cuencas. El software ha sido transferido a planificadores de recursos hídricos alrededor del mundo. (Geler et. al, 2014, p.8)

Es crucial para el desarrollo del modelo WEAP tener toda la información posible frente a diferentes alternativas que presenta el modelo, por tal motivo entre mas información se obtenga

sobre la cuenca hidrográfica a estudiar el modelo podrá referenciar mejores y más completos pronósticos y resultados dependiendo del uso final que tendrá dicho resultado.

Bajo este concepto WEAP apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de sub-cuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). WEAP emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible (UC & SEI, 2009).

4.3.1 Características del Modelo WEAP

Según lo establecido por SEI (2018), el modelo muestra algunas características que serán abordadas a continuación:

WEAP es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado. Proporciona un marco comprensivo, flexible y de fácil uso para la planificación y análisis de políticas.

Complementando lo anterior Paz & Salinas (2011) consideran que:

WEAP posiciona las condiciones del lado de la demanda de agua, tales como patrones de uso del agua, eficiencias de equipos, estrategias de la reutilización, costos, y esquemas de asignación del agua en una misma línea con los temas del lado de la oferta de agua tales como caudal, recursos de agua subterránea, embalses, y transferencia de agua. También se distingue por su enfoque integral al simular tanto los componentes naturales (ej. las demandas por evapotranspiración, escorrentía, flujo base, etc.) como los componentes humanos (ej. embalses, bombeo de agua subterránea, plantas hidroeléctricas y otros) de los sistemas de agua, permitiendo el acceso del planificador a una vista más comprensiva de la amplia gama

de factores que deben ser considerados en el manejo de los recursos hídricos para el uso presente y futuro (párr. 8).

El modelo WEAP sirve como un instrumento útil en la toma de decisiones, porque permite contemplar una amplia gama de problemas en cada uno de los escenarios que se desee plantear, teniendo en cuenta factores como: la variabilidad del clima, las condiciones de las cuencas, las demandas previstas, las necesidades eco-sistémicas, los objetivos operativos, entre otros (Chamorro, Paz Enríquez, Realpe, & Cardenas, 2016).

El resultado del modelo WEAP es el aprovechamiento de una herramienta eficaz para examinar opciones de alternativas del desarrollo y manejo del agua, además, es fundamental para evaluar la vulnerabilidad y comportamiento de los recursos hidrológicos apoyando la toma de decisiones y planificación de este.

4.3.2 Ventajas y desventajas del modelo WEAP

Como lo señalan Yates, et al. (2005) (citado por Angarita, Delgado, Escobar y Walschburger, 2015), WEAP tiene una ventaja muy importante frente a otros modelos únicamente hidrológicos, ya que permite incluir las demandas hídricas en los balances hídricos y considerar los efectos de almacenamiento, desviaciones y demás infraestructura.

Adicionalmente, Villafañe y Rada, 2011(citado por: Mafla, Paz, Realpe y Cárdenas, 2016) afirma que “La principal ventaja de este modelo es que facilita la generación de diferentes escenarios, permitiendo así al planificador, elegir la complejidad según la información con la que cuenta” (p.231).

Ahora bien, el modelo WEAP es uno de los modelos hidrológicos más simples y accesible, permite estudiar o modelar cuestiones simples hasta complejas, en este sentido permite simular predicciones a corto, mediano y largo plazo; con los resultados que brinda WEAP a los tomadores de decisiones ofrece alternativas de gestión de los recursos hídricos y estimar incertidumbres y el riesgo de la toma de cualquier decisión. En las desventajas que se han descrito del modelo WEAP está el requerimiento de conocimiento técnico para realizar su

modelación, requiere un equipo de computación con gran capacidad y acceso a internet (UC., y SEI., 2009).

Sin embargo, una de las ventajas que posee el modelo WEAP, es la capacidad de contribuir a la gestión integrada del RH mediante la planificación de los recursos con una visión a largo plazo por sus alternativas de evaluación y de gestión; puede también por su diseño ser integrado con otros modelos de simulación permitiendo realizar análisis robustos (Jaramillo, Galvis, Escobar, Forni, Purkey, Siebel, Lozano, Rodríguez, Castaño y Sabas, 2016).

4.4 Gestión de los Recursos Hídricos (RH)

Ante la demanda cada vez mayor de agua y el riesgo potencial de contaminarla, hace necesaria una gestión integrada de los recursos hídricos tanto a nivel estatal como de cuenca hidrográfica. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership – GWP, por sus sigla en inglés) como: Un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (Geler, Marmol, Batista Silva, & Carmona, 2016).

Según la (ONU, 1992) (citada en Valdés & Villalejo, 2017), la GIRH, considerada desde una perspectiva multidisciplinaria, comprende el manejo del agua superficial y subterránea, en sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico, y vincula sus disponibilidades con las necesidades y las demandas de la sociedad relacionadas con el agua. En tal sentido está orientada a la construcción de una plataforma común, en la que todos los sectores que usan el agua vinculen sus intereses, en un plano de coordinación transversal de asignación de agua y supediten sus propuestas de intervención al contexto global.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), es un proceso social que fomenta desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

4.4.1 Principios esenciales de la GIRH

Según (Valdés & Villalejo, 2017), los principales postulados de la gestión integral del RH, son los siguientes:

- La integración de la gestión del agua para todos sus usos, con el objetivo de maximizar los beneficios globales y reducir los conflictos entre los usuarios.
- La integración en la gestión de intereses económicos, sociales y ambientales, tanto de los usuarios directos del agua como de la sociedad en su conjunto.
- La integración de la gestión de todos los aspectos del agua (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia) que tengan influencia en sus usos y usuarios.
- La integración de la gestión de las diferentes fases del ciclo hidrológico.
- La integración de la gestión a nivel de cuencas, acuíferos o sistemas hídricos interconectados.
- La integración de la gestión de la demanda de agua con la gestión de la oferta.
- La integración de la gestión del agua y de la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados

4.5 Herramientas de apoyo a la planificación del RH

La planificación del RH es la base para el aprovechamiento de cualquier fuente de agua, por lo tanto, la implementación de herramientas es fundamental en el desarrollo de la gestión de este recurso, puesto que permiten estudiar, caracterizar y contemplar las diferentes alternativas, tanto de uso como de manejo actual y futuro (Chamorro, Paz Enríquez, Realpe, & Cardenas, 2016).

Una de las herramientas para la toma de decisiones y a la que muchas veces se le ha restado importancia, es el ordenamiento de cuencas hidrográficas, cuyo enfoque sistémico es un instrumento útil para la planificación de proyectos estratégicos en cada territorio (López, 2014).

Tabla 4. Instrumentos de gestión del agua a nivel teórico

Clasificación de instrumento	Tipo de instrumento
Instrumentos económicos	Tasas por uso del agua Tasas por vertimientos de aguas residuales Tarifas por concesión del agua Subsidios Fondos de promoción de tecnologías y procesos más limpios Mercados de agua
Gastos gubernamentales	Fortalecimiento institucional Obras de infraestructura Provisión de servicios públicos o de bienes meritorios
Uniciativas de interés colectivos amparado por la ley	Acciones populares Tutelas Conformación de comités ambientales/organizaciones de vigilancia y control/asociaciones de usuarios
Mecanismos voluntarios	Referendos Educación ambiental Ahorro de agua Consumo responsable Recurso del agua
Comando y control	ISO para mejorar gestión empresarial Información Permisos Licencias Concesiones del agua Planes de ordenamiento de cuencas Creación de comités de cuenca (cuando es obligatoria)

Fuente: (Padilla, y otros, 2013)

4.6 Sistemas de producción agropecuarios

Los sistemas de producción agropecuarios se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios (Jouve, 1988). Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas, por lo que facilitan la evaluación ex ante de inversiones y políticas concernientes con la población rural (Domínguez & Cotler , s.f.).

Según Aguirre & Castillo (2018) los sistemas de producción agropecuarios son un conglomerado de acciones cíclicas ajustables a las necesidades de cada negocio, en las que se incluyen escogencia de proveedores (semillas, insumos, genética), aplicación de diferentes técnicas en campo, inversión en tecnologías y que incluye la escogencia de las condiciones de almacenaje e inventariado.

4.6.1 Características de los sistemas de producción agropecuaria

Un sistema agropecuario, por su parte, se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones de la familia agropecuaria similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares. La caracterización de sistemas de producción agropecuaria provee un marco en el cual se pueden definir tanto estrategias de desarrollo agrícola como intervenciones apropiadas; ya que, por definición, agrupan a los hogares agropecuarios con características y limitaciones similares (FAO, 2011).

Tabla 5. Instrumentos de gestión del agua a nivel teórico

Características	Definición
Flexibilidad	Como se conoce, los cambios climáticos impulsan el desarrollo de sistemas flexibles en los que la adaptación juega un papel importante para el desarrollo efectivo de las producciones. La flexibilidad obedece a la capacidad que tiene un sistema para modificarse según las variables del entorno, que vienen de la mano con la innovación.
Efectividad	Es una característica resultado de los nuevos modelos administrativos de la filosofía de la Mejora Continua, siendo la mezcla de la eficiencia y eficacia en la manera de administrar: insumos, semillas y genética de forma responsable y consciente por el cuidado del Medio Ambiente, en función de la Mano de Obra.
Responsabilidad Ambiental	Es la manera en que desde la fase de iniciación del sistema se tienen en cuenta factores ambientales tales como: deposición de residuos y desechos, buen aprovechamiento del recurso hídrico, plan de reciclaje, entre otras incluidas en las Buenas Práctica Ganaderas (BPG) y Buenas Práctica Agrícolas (BPA).
Innovación	Los avances tecnológicos permiten fortalecer las características mencionadas anteriormente por lo tanto se convierte en un apoyo transversal, que además reduce costos de producción. Son inversiones aplicables a todos los puntos de la cadena productiva que garantizan la calidad de los productos ofrecidos.

Fuente: este estudio con base en Aguirre & Castillo (2018)

En este punto es importante resaltar el papel del agua, su cantidad, calidad y flexibilidad en la distribución, para la definición de los cultivos y sistemas productivos es muy importante, de ahí nace la gran importancia de planificar el uso de este RH para fortalecer estos sistemas en el largo plazo.

5. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizó una revisión bibliográfica de varias fuentes digitales de artículos científicos, revistas, tesis, libros, sobre la aplicación del modelo WEAP como herramienta para la gestión y planificación de cuencas hidrográficas provenientes de diferentes plataformas académicas como: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Redalyc.org.

Se recopiló documentación de diferentes fuentes de información en cuanto a estudios realizados en diferentes cuencas hidrográficas y localidades como parte importante de antecedentes y sobre todo para obtener los parámetros acordes con los objetivos propuestos en la presente propuesta investigativa.

En este enfoque, la metodología se orientó a un proceso de análisis de toda la información secundaria de organizaciones y entidades tales como: el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), Estudio Nacional del Agua (ENA); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), Plan de Gestión de Recursos Hídricos (PGRH), Políticas Nacional para la Gestión del RH (PNGIRH), Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCH), como entes importantes para los fines investigativos.

En este sentido, una vez realizada la revisión bibliográfica del material pertinente al tema, se realizó un análisis frente al uso del modelo WEAP como una herramienta adecuada para realizar los pronósticos del comportamiento hidrológico de los afluentes hídricos en la cuenca Río Baché del departamento del Huila y su relación con el establecimiento de sistemas productivos.

5.1 Tipo de Investigación

5.1.1 Investigación Descriptiva

Para fines de la presente propuestas fue necesario acudir a la investigación descriptiva, la cual consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento (Moguel, 2005, p.22).

En el presente trabajo la investigación descriptiva se hará en base al análisis de diferentes variables relacionadas directamente con el diseño del sistema de modelación weap (water evaluation and planning system) como herramienta para la gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Baché en el departamento del Huila y su aporte en la agricultura por medio de estudios previos, cuyos resultados son explicados de manera cualitativa a través de las inferencias y análisis que se hizo.

Para llevar a cabo la investigación descriptiva se llevaron a cabo las siguientes etapas:

- Selección de la situación-problema.
- Revisión de las principales características del problema seleccionado.
- Selección de temas y fuentes oportunas.
- Descripción y análisis e interpretación de los datos obtenidos en términos claros y precisos.

5.1.2 Método lógico Inductivo

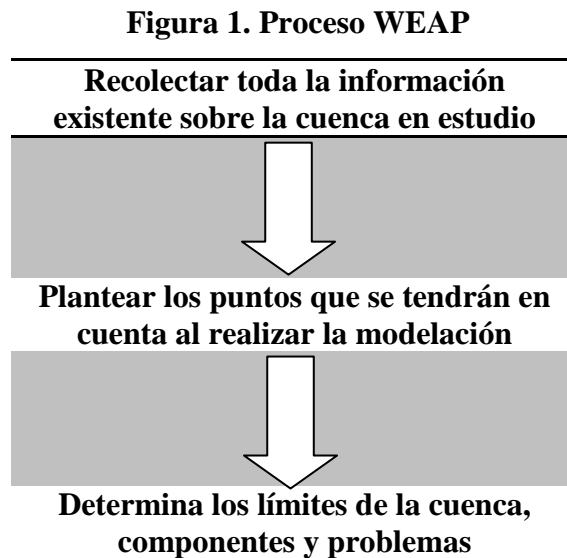
Según Bacon citado en (Newman, 2006) las observaciones se hacen sobre fenómenos particulares de una clase, y luego a partir de ellos se hacen inferencias acerca de la clase entera. Este procedimiento se denomina razonamiento inductivo. Para lo cual se hará la respectiva revisión bibliográfica y observación del medio en el que se encuentran los jóvenes infractores.

Este parte del estudio de lo general a lo particular, ya que se observa la importancia del análisis de cada una de las herramientas que facilitan la planificación del RH, el proceso metodológico para el diseño del modelo WEAP, así como su importancia en diferentes escenarios y su influencia y relación en los sistemas productivos.

6. Proceso metodológico del modelo WEAP en la gestión integral del RH

En este capítulo se realizó una revisión bibliográfica en el que se incluyen apreciaciones de Centro de Cambio Global (UC) & Stockholm Environment Institute (SEI), entre otros, en los que se determinan diferentes aspectos estratégicos para el desarrollo de este estudio. Según UC & SEI (2009) se debe hacer un estudio previo relacionado con el punto de equilibrio entre la oferta y la demanda de RH, tal como se menciona a continuación:

WEAP apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta) (p. 6).



Fuente: este estudio con base en (UC & SEI, 2009)

Es importante la recolección de datos para obtener los mejores resultados al realizar la modelación; ingreso de datos en el modelo corridas iniciales para calibrar o eliminar posibles inconsistencias; se evalúa la oferta y demanda, las entradas de contaminantes, las cargas y descargas de fuentes hídricas; y lo más importante es la exploración de distintos escenarios (UC & SEI, 2009, p. 7), por otro lado cabe resaltar que se debe realizar un análisis focalizado en el

planteamiento de los puntos destinados para la modelación, con el fin de que los datos obtenidos sean más precisos y de que se ocasionen inconsistencias, además evita calibraciones innecesarias.

El modelo WEAP es un modelo hidrológico que brinda una herramienta computacional flexible y de fácil manejo y a su vez muy diversa en cuanto a las simulaciones que se pueden realizar con su implementación permite basándose en el SIG al usuario generar un diagrama esquematizado utilizando el mouse para arrastrar y soltar los elementos (líneas y nodos) que se requiere construir, mover o modificar; entre los nodos Demand Sites que comprende los derechos de agua consultivos y no consultivos, y los Catchment que corresponden a los nodos donde se ingresan los parámetros meteorológicos y características del suelo de la cuenca; los datos del uso del suelo se ingresa como una constante mientras que los datos de meteorología y pluviométricos deben ser ingresados mensualmente. WEAP tiene tres métodos para simular la escorrentía de una cuenca con los datos meteorológicos precipitación – escorrentía; demandas de riego; humedad del suelo (Mena, 2009).

Conforme a lo planteado anteriormente, el modelo WEAP permite modelar los “*Catchments*” en donde tienen lugar los procesos de evapotranspiración, escorrentía, infiltración y la demanda de riego, (método de lluvia escorrentía-método coeficiente simplificado; método de demanda de irrigación-método de coeficiente simplificado; método de lluvia de escorrentía-método de la humedad del suelo y método MABIA, de los cuales se utilizó el método de lluvia de escorrentía con la humedad del suelo es el más complejo puesto que representa las aéreas de captación en dos capas del suelo simulando en la capa superior la evapotranspiración teniendo en cuenta los parámetros climatológicos y de usos del suelo y en la capa inferior, el flujo base del río y los cambios en la humedad del suelo (Castro, 2014).

Los aportes planteados anteriormente son un fundamento teórico-conceptual que aporta de manera consistente en la manera de abordar o desarrollar el modelo. Estos aportes, sirven también como soporte a lo planteado por diversos autores entre los que se destaca Boston (2010), quien afirma que el desarrollo de un modelo WEAP incluye generalmente las siguientes etapas:

Tabla 6. Etapas del desarrollo del modelo WEAP según Boston

Etapas	Descripción
Definición del estudio	En esta etapa se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.
Búsqueda de información	En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido. Esta etapa puede ser iterativa, y generalmente se realiza en dos partes: una etapa de recolección de datos generales, y una etapa de recolección de datos específicos una vez se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.
Desarrollo del modelo	En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.
Calibración	Aquí se desarrolla una caracterización de la oferta y demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema.
Uso del modelo, generación de escenarios	Una vez que el modelo está calibrado, se pueden explorar los impactos que tendría una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, costos, y clima, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua, hidrología y contaminación.

Fuente: este estudio con base en (Boston, 2010)

6.1 Marco Referencial modelo WEAP

El primer paso para la óptima implementación del modelo es la definición del estudio, aquí es donde el área de estudio y el sistema de los componentes espaciales de la zona de interés se definen y el horizonte de tiempo del análisis se establece, para ello es importante hacer una delimitación geográfica como se describe a continuación.

6.1.1 Descripción de la cuenca en estudio

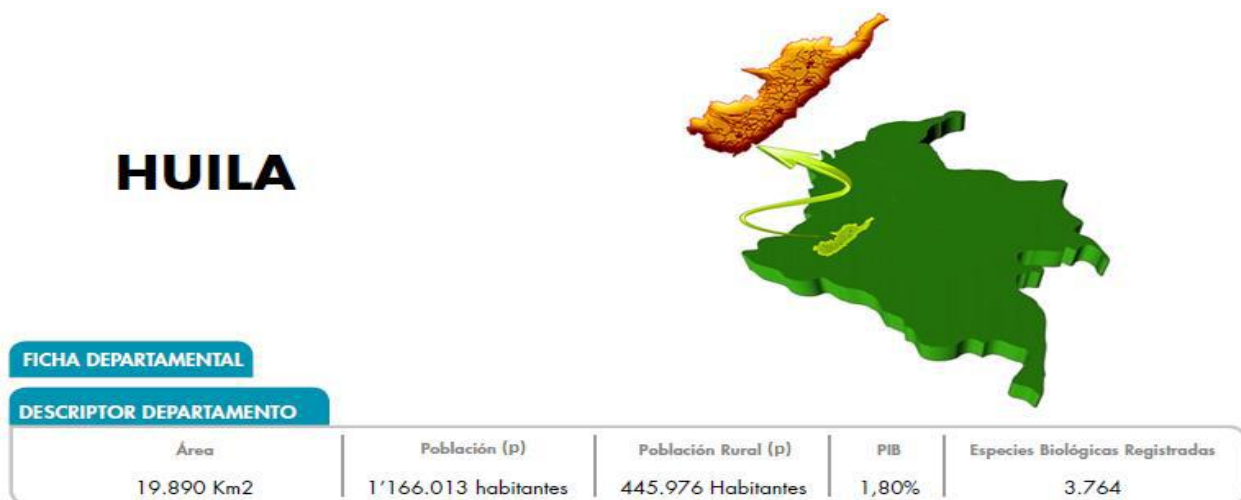
6.1.1.1 Localización

En Colombia se ha empezado a promover la gestión ambiental establecidos en la Ley 99 de 1993, según la cual “la acción para la protección y la recuperación ambiental del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado” (CAM, 2011, p.26).

Colombia es reconocida a nivel mundial por su gran disponibilidad de agua; pero esta no se encuentra homogéneamente distribuida en todo el territorio nacional. El departamento del Huila se ubica al sur de la Región Andina Colombiana; forma parte integral de la cuenca alta del Río Magdalena (la principal de Colombia) y el Macizo Colombiano lugar que constituye la estrella hídrica más importante del país; con lo anterior el Huila cuenta con reservas de agua como extensos páramos, en los cuales nace el Río Magdalena y el Nevado del Huila, en el cual año tras año pierde masa glaciar. La cuenca del Magdalena abarca casi todo el departamento del Huila; este posee muchas subcuencas hidrográficas que proporcionan en promedio una oferta hídrica máxima de 555 m³/s y una oferta mínima de 215m³/s durante la época seca (Moncayo, Losada y Cruz, 2016, p. 12).

El Huila se localiza sobre el 1° 33'08'' y 3° 47' 32'' de latitud norte y los 76° 36' 46'' y 74° 28' 32'' de longitud occidental, con altitudes entre 350 msnm en el valle del Magdalena, en límites con Tolima, y 5750 msnm en el Pico del Nevado del Huila en límites con el departamento del Cauca. Cubre 1.895.286 ha** que representan el 1,74% del territorio del país, con presencia de 37 municipios, que se distribuyen en cuatro subregiones: Norte, Centro, Occidente y Sur, cuyas ciudades sedes son Neiva, Garzón, La Plata y Pitalito (CAM, 2011).

Figura 2. Mapa de Colombia – Departamento del Huila



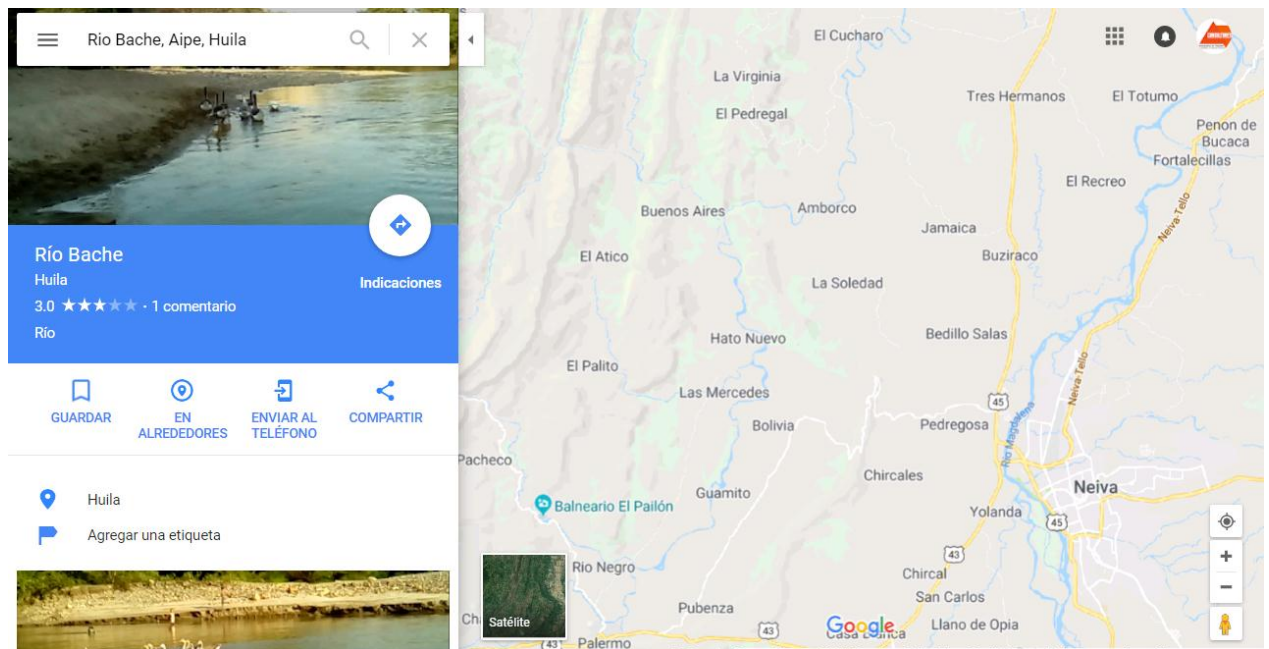
Fuente: Caraballo, y Plata, 2017

Como se muestra en la figura anterior, el departamento del Huila tiene un área de 19.890 km², con una población de 1'166.013 habitantes (urbana) y 445.976 (rural), cuyo producto interno bruto (PIB) equivale al 1,8%, encontrando una cantidad considerable de especies biológicas.

6.1.1.2 Área de estudio

La ubicación de la cuenca del Río Baché, presenta un extenso territorio, que abarca espacios de los municipios Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel (Huila). Se localiza al noroccidente del departamento del Huila, al lado oriental de la cordillera Central; limita al noroccidente con la cuenca del río Aipe; al nororiente con la cuenca de Fortalecillas Villa vieja, 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 (Moncayo, Losada y Cruz, 2016, p. 22).

Figura 3. Modelo Esquemático de la cuenca Rio Baché

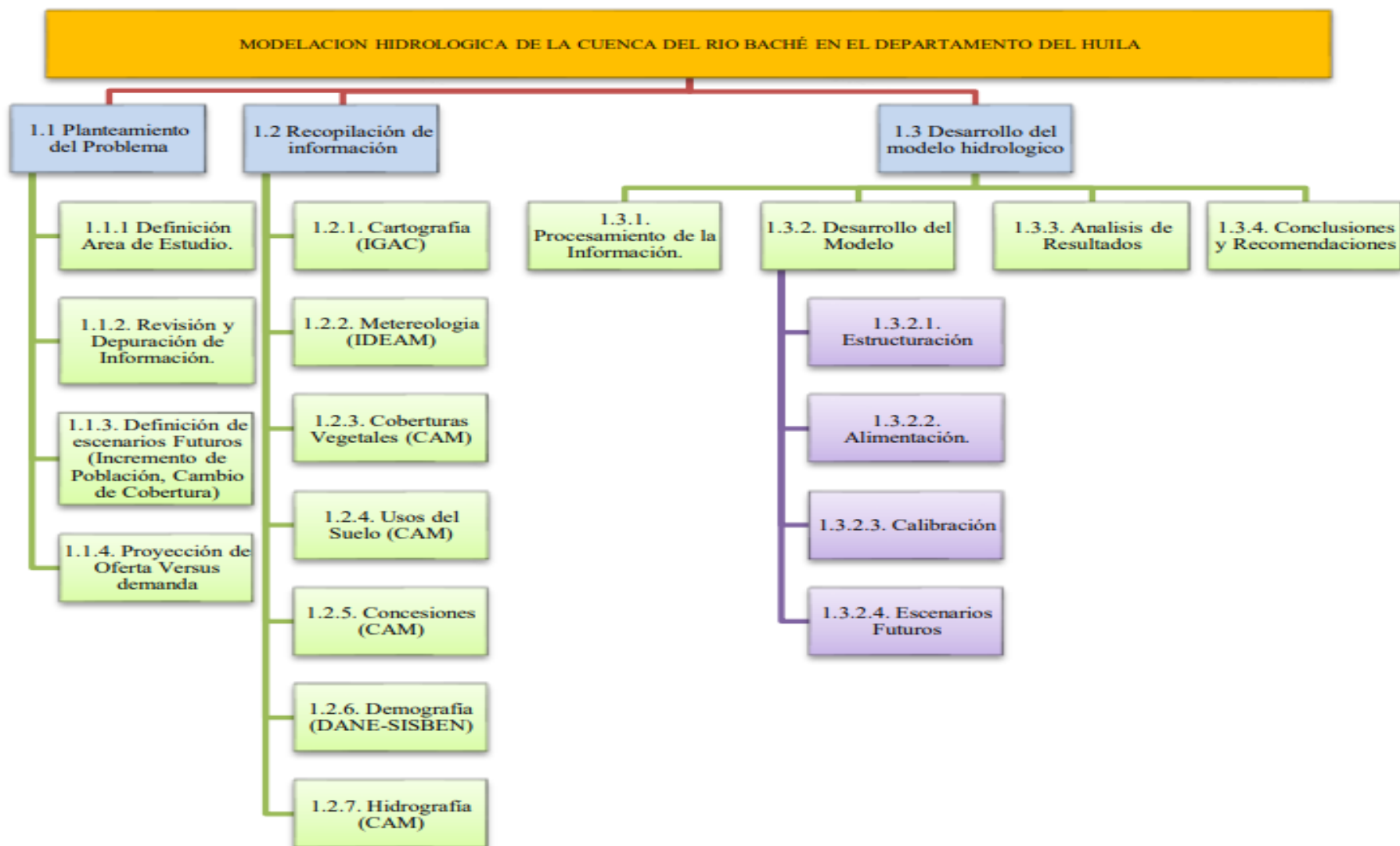


Fuente: Google maps.

6.2 Implementación del Modelo

En la siguiente figura se describe el proceso metodológico del modelo WEAP desarrollado en el estudio de caso de la cuenca Río Baché en el departamento del Huila bajo escenarios de aumento de población y cambios de usos del suelo.

Figura 4. Modelación hidrológica de la cuenca del Rio Baché



Fuente: (Moncayo, Losada y Cruz, 2016, p. 23)

La implementación de este caso se realizó a partir de agrupar los diferentes componentes en cuencas, cobertura vegetal, demanda de agua e hidroclimatología, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Componentes para la aplicación del modelo WEAP

Componentes	Descripción
Cuenca	Se debe tener en cuenta el estudio de zonificación y clasificación de cuencas (base de datos cartográficos de la CAM), se deben identificar las corrientes tributarias directas e indirectas al cause principal, ubicar el punto o puntos de monitoreo, además del área de drenaje, se finaliza ubicando los catchments que alimentan el sistema.
Cobertura vegetal	Se deben identificar si la cuenca presenta: aguas abiertas, bosque, café, pastos, zona urbana, entre otras.
Demanda de agua	Estos datos pueden ser estimados usando registros históricos, cambios de uso del suelo, distribución de la población, censos, etc. Estos datos son importantes para la modelación de los escenarios, tanto para población urbana, como población rural y específicamente la población asociada a una producción específica.
Hidroclimatología	Es importante establecer si la cuenca tiene variaciones considerables de relieve o altimétricas, con el fin de establecer el régimen de distribución de lluvias, temperatura, condiciones de humedad ambiental y acción de los vientos. Determinar la precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar, entre otras (red de estaciones IDEAM).
Hidrología	WEAP presenta varios métodos, de los que se recomienda Soil-Moisture Method, el cual es semi-empírico y consiste en dividir el suelo en dos capas o baldes para el cual se deben identificar: área, coeficiente de cultivo (KC), capacidad de almacenamiento de aguas en primer balde (SWC), capacidad de almacenamiento de aguas en segundo balde (DWC), factor de resistencia (RRF), conductividad hidráulica del estrato superior (RZC), conductividad hidráulica del estrato inferior (DC), flujo preferente (PFD), porcentaje de humedad del suelo superior Z1 y porcentaje de humedad del suelo inferior Z2.

Fuente: este estudio con base en Moncayo, Losada y Cruz (2016)

7. Importancia de la aplicación del modelo WEAP en la generación de escenarios del RH.

El uso inadecuado de los recursos hídricos superficiales y de sus afluentes ha ocasionado una problemática ambiental que debe ser manejada desde toda perspectiva, por lo tanto, la aplicación de este sistema puede generar una solución sostenible y que le permitirá generar conciencia ambiental en las futuras generaciones rurales y urbanas para el buen uso de este recurso. Según Moncayo, Losada y Cruz (2016) lo anterior se debe al mal uso del RH en general, como se muestra a continuación:

En el Departamento del Huila en especial en la zona norte, una de las grandes problemáticas entre los usuarios del recurso hídrico es el derivado por el uso inadecuado de las aguas de las corrientes hídricas superficiales y las de sus afluentes debido a la captación excesiva, las derivaciones no autorizadas y la infiltración y percolación en canales, que han ocasionado una disminución relevante de su caudal que afecta el desarrollo de los ecosistemas naturales que dependen de su oferta hídrica. Esta situación genera adicionalmente conflictos sociales internos entre los usuarios de la corriente los cuales se intensifican en los periodos secos o de verano (p. 14).

La estimación de los escenarios se genera por el análisis de las diferentes variables que se presentan en el sistema con el que se desarrolla, por lo tanto, cabe resaltar que la aplicación exitosa del modelo WEAP depende de la cantidad de variables que se presenten para su análisis (escatimar todas las posibles).

La estimación de los valores de oferta mediante la utilización de la herramienta de modelación hidrológica enfocada a la planificación de recursos hídricos WEAP, permite abordar una amplia gama de situaciones del estilo y puede ser empleado para el análisis hidrológico en todos los tamaños de cuencas, permitiendo evaluar las consecuencias de los cambios no deseados en el sistema y la manera cómo estos cambios pueden ser mitigados mediante la aplicación de políticas y/o intervenciones técnicas como tomando como base una serie de escenarios futuros en los cuales se modifica la presión sobre el recurso hídrico teniendo en cuenta cambios en la demografía, el uso del suelo y el clima (Moncayo, Losada y Cruz, 2016, p. 15).

Por su lado Labrador, et al. (2016) mencionan que el modelo WEAP es un modelo conceptual semi-distribuido, que puede utilizar multi-criterios lo cual le permite realizar el estudio de cuencas hidrográficas incorporando acueductos, sistemas de riego, hidroeléctricas y demás acciones del uso del RH; a su vez realiza funciones como cálculos en la oferta y demanda del agua, escurrimiento, infiltración, requerimiento hídrico de cultivos, sistemas de riegos y embalses, aumento de la población, potabilización y/o plantas de tratamiento de aguas residuales, fuentes de contaminación de las aguas, calidad de las aguas para sus diferentes usos y el régimen de diferentes políticas; basándose en una interfaz gráfica de sistemas de información geográfica (SIG) como mapas, gráficas y tablas; en el estudio realizado por los autores se utilizó el método de humedad del suelo, que simula el proceso de lluvia-escurrimiento en unidades de respuesta hidrológicas (URH), por medio de dos tanques, los cuales pretenden estimar los flujos superficiales y subterráneos; este método unidimensional se basa en funciones empíricas que describen la evapotranspiración, escurrimiento, flujo sub-superficial y percolación profunda.

Tal como se evidencia en la siguiente tabla, las proyecciones del comportamiento del RH en diferentes escenarios, generan un principio de gestión en una cuenca hidrográfica.

Tabla 8. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP

Localización	Estudio-autor	Escenarios evaluados
Huila-Colombia	Desarrollo de un modelo para la planificación integral del RH en la cuenca hidrográfica del Río Aipe, Huila, Colombia. (Labrador, Zúñiga, y Romero, 2016)	Escenarios de aumento de población y cambio climático
Cundinamarca - Colombia	Evaluación de la contaminación difusa en la parte alta y media de la microcuenca quebrada el Cune mediante el modelo WEAP. (Lamprea, y Betancourt, 2015)	Escenarios de disponibilidad de precipitación (año húmedo, medio y seco)
Huila - Colombia	Modelación hidrológica de la cuenca del Río Baché en el departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos. (Moncayo, Losada, y Cruz, 2016)	Escenarios de cambio demográfico, escenarios dinámicas agrícolas y escenarios climáticos.

Localizacion		Estudio-autor	Escenarios evaluados
Magdalena Colombia	Cauca	– Escenarios de alteración regional del régimen hidrológico en la cuenca Magdalena-Cauca por intensificación de la demanda para la hidroenergía. (Angarita, Delgado, Escobar, y Walschburger, 2013)	Escenarios de generación hidroeléctrica.

Fuente: este estudio con base en (Labrador, Zúñiga, y Romero, 2016); (Lamprea, y Betancourt, 2015); (Moncayo, Losada, y Cruz, 2016) & (Angarita, Delgado, Escobar, y Walschburger, 2013).

Como se muestra en la tabla anterior, los diferentes escenarios son: aumento de población, cambio climático, disponibilidad de precipitación, cambio demográfico, dinámicas agrícolas y de generación hidroeléctrica. Por otro lado, se observa que para Huila se han desarrollado dos proyectos relacionados con el tema, de los cuales uno está diseñado para la cuenca del Rio Baché.

7.1 Alternativas de adaptación agrícola para el manejo del cambio climático

La Federación Nacional de Cafeteros en sus diferentes investigaciones por brindar alternativas para obtener mayores rendimientos a bajos precios de costo y desafiando las condiciones climáticas adversas producidas por el cambio climático ha logrado desarrollar el programa de renovación de cafetales emprendido por los cafeteros, “cuyo objetivo es elevar la productividad y mejorar la sanidad vegetal de los cafetales ya que contar con cafetales más jóvenes permite enfrentar el desafío del cambio climático que actualmente se vive a nivel mundial” (Federación Nacional de Cafeteros, 2013) (citado por Olarte, 2015, p.86).

Si bien se ha evidenciado en los diversos estudios realizados a nivel mundial que una de las principales causas del cambio climático en la agricultura son el aumento del ataque de plagas y enfermedades a los cultivos; por tal razón se buscan alternativas de adaptación entre ellas están la adopción de variedades mejoradas con mayores resistencia a enfermedades tales es el caso de la Roya Amarilla del Café, considerada está en el mundo como la principal enfermedad del Café llegando a ocasionar hasta un 40% de las perdidas en la producción (Rivillas *et al*, 2011) (citado por Quispe, Mansilla, López, Espejo, Villanueva, y Monzón, 2017).

La mejor alternativa de manejo frente a estas enfermedades es la variedad mejorada ya que el tratamiento con fungicidas es muy costoso y sobre todo causa alteraciones negativas en el medio ambiente sobre todo en los recursos hídricos y el patógeno termina desarrollando resistencia a los componentes químicos debido al uso constante de los mismos; esta alternativa requiere del conocimiento de fuentes de resistencia y de diversidad del patógeno (Quispe et al, 2017).

En Colombia La Federación Nacional de Cafeteros, con la Resolución 03 del 13 de mayo de 2005, liberó la Variedad Castillo y sus compuestos regionales con resistencia cruzada a la Roya del café; la cual fue desarrollada en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) siendo el resultado de una selección de componentes específicos (líneas), que tienen un comportamiento agronómico y productivo sobresaliente en determinadas zonas cafeteras con clima y suelo similares; la Variedad Castillo es una variedad compuesta de líneas mejoradas, que difieren por sus genes de resistencia contra la roya y por su adaptación (Cortina, Moncada, y Herrera, 2012, p. 1)

Para enfrentar las disminuciones en los ingresos obtenidos con el cultivo de café se pueden implementar “las buenas prácticas que incluyen un plan de aseguramiento de la calidad y sobre todo el cuidado del medio ambiente pero garantizando la calidad del producto en todos los procesos agronómicos, beneficio, secado, almacenamiento, transporte, tostación y preparación” (Puerta, González, Correa, Álvarez, Ardila, Girón, Ramírez, Baute, Sánchez, Santamaría, y Montoya, 2016).

Se hace evidente con los resultados obtenidos en diferentes estudios sobre las alteraciones que sufre el medio ambiente y en primera instancia el RH, que el sector productivo a nivel nacional es uno de los más afectados en cuanto a la reducción de la producción, el aumento de las plagas, el déficit de agua, las inundaciones por otra parte, el detrimento en los precios en los mercados, y el departamento del Huila está afectado directamente con esta problemática.

El Huila es un departamento en el cual, la principal actividad económica es la agricultura siendo el cultivo de café su principal producto, además de cultivar caña de azúcar, banano, frutas y hortalizas, este departamento ha venido desarrollando planes y alternativas para ser una región de emprendimiento para enfrentar las alteraciones de cambio climático.

El manejo adecuado de estos agro-ecosistemas puede preservar o aumentar la producción alimentaria de forma sostenible y se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente y sobre los agricultores (Moreno, 2013).

Una de las alternativas para este cultivo es la utilización de tecnologías que colaboren con el uso eficiente del RH, ya que este cultivo requiere agua para su beneficio; una estrategia de manejo es la tecnología de bajo impacto ambiental propuesta por CENIFACE (2013) denominada BECOLSUB (Beneficio Ecológico con manejo de Subproductos), empleando solamente de 0,7 a 1,0 L.kg-1 de café pergamino seco (c.p.s.). El beneficio tradicional del café consiste en:

El beneficio húmedo del café es un proceso en el cual se retiran dos estructuras que cubren las semillas, la pulpa y el mucílago, las cuales en la variedad Colombia representan el 43,58% y 14,85% del peso fresco del fruto, respectivamente. El mucílago se remueve utilizando procesos de degradación por fermentación natural, dejando el café despulpado en el tanque durante 14 a 20 h, o aplicando enzimas pectinolíticas, y lavándolo con agua limpia. Con fermentación natural, el volumen específico de agua empleado (VEA) varía de 4,17 a 20 L.kg-1 de café pergamino seco (9, 12). Las aguas residuales de lavado (ARL), presentan alta carga orgánica por lo cual se requiere tratarlas para disminuir el impacto ambiental (CENICAFE, 2013).

Con la tecnología propuesta se emplean solamente de 0,7 a 1,0 L.kg-1 de café pergamino seco (c.p.s.). En este caso las Aguas residuales del lavado - ARL se mezclan con la pulpa del café, logrando retener del 60% al 65% de volumen adicionado, y controlar del 90% al 91% de la contaminación generada en el proceso. Esta tecnología se utiliza exitosamente en Colombia y en otros países productores de café suaves lavados, siendo amigable con el medio ambiente. (CENICAFE, 2013, p. 2). Con estas medidas se puede llevar a cabo un sistema productivo rentable y amigable con el medio ambiente y esencialmente el RH.

Por tanto en la sociedad actual, se debería utilizar este modelo para fomentar o reestructurar las actividades de producción agrícola, dándoles un enfoque de conservación del recurso fluvial, para minimizar los daños que ocasionan estas prácticas como son: las preparaciones de suelo excesivas que ocasionan erosión de los suelos y por ende contaminación de las aguas de escorrentía con residuos de insumos (abonos, pesticidas); riegos excesivos o innecesarios al provocar la alteración en la cantidad y en la calidad del agua; el uso inescrupuloso del agua para

el proceso de industrialización de productos agrícolas (extracción de aceite, despulpado del café, extracción de azúcares, aromáticas, fritos, entre otras). WEAP brinda una gran oportunidad de cambiar la perspectiva frente al uso de las cuencas hidrográficas.

8. Escenarios de gestión del agua mediante la aplicación de WEAP

La herramienta WEAP es un modelo de planificación hidrológica de usos diversos, ya que permite estudiar las cuencas hidrológicas en varios escenarios y plantear muchas alternativas de manejo y de toma de decisiones para garantizar la disponibilidad del RH con respecto a sus alteraciones debidas al cambio climático; la agricultura enfrenta estas alteraciones mediante mejoramiento genético buscando variedades con características genéticas de tolerancia al calor, menor requerimiento hídrico, mayor rendimiento en la producción; también se tiene en cuenta la variación en la época de plantación, vulnerabilidad a pestes y sensibilidad a pesticidas. Por su lado (Rosensweig *et, al.*) (citados en Rodríguez, 2007), mencionan que cuando se planea la adaptación al cambio climático desde una perspectiva de recursos genéticos, es importante tomar en cuenta tanto la productividad como el uso del agua. En ese mismo sentido, se puede destacar la necesidad de conservación y manejo consiente de la diversidad genética.

Los avances tecnológicos le permiten al investigador analizar datos de manera rápida y precisa, además de que la recolección de información se hace mucho más eficiente teniendo en cuenta una red de internet, además, le permite indagar sobre metodologías, software, avances, enfoques, etc., que arrojarán como resultado una modelación confiable, de lo cual radica la exactitud de los resultados arrojados en cada uno de los escenarios propuestos.

Moncayo, Losada y Cruz (2016) recomiendan el uso de la herramienta de modelación WEAP para realizar estudios de seguimiento en los cambios de coberturas por medio de imágenes satelitales, con fin de enriquecer la información histórica para previos estudios con la utilización de WEAP basados en el cambio y crecimiento poblacional. Por otro lado, Cárdenas (2012) menciona que “*el modelo WEAP puede ser una herramienta útil para el saneamiento de los RH si se cuenta con la información histórica necesaria*” (p. 1).

Lo anteriormente mencionado, da la certeza de que el modelo WEAP puede ser utilizado como una herramienta de uso psicosocial ya que permite realizar un enfoque de predicción y obtener resultados confiables que permitirán a las autoridades competentes o entidades ambientales promover el uso racional, cuidadoso, conservativo las fuentes de agua.

Los escenarios evaluados a continuación, son los más utilizados en la aplicación y desarrollo del modelo, por lo tanto, se han determinado como los más relevantes teniendo en cuenta la región donde se aplicaron las modelaciones, entre otras que serán descritas a continuación.

8.1.1 Escenario de Cambio de Usos

Según Moncayo, Losada, y Cruz (2016) para el cambio de uso en el suelo se deben tener en cuenta este aspecto en general sobre los requerimientos hídricos de los cultivos a implementar en una zona determinada.

Además de lo anterior, se pueden observar diferentes modelos de apoyo para calcular el cambio de usos como plantea (Cusgüen, 2013) (citado en Moncayo, Losada, y Cruz, 2016): *“Entre los modelos que permiten evaluar influencia en cambio de uso del suelo y cobertura vegetal, se tienen HEC-HMS, LASCAM, MIKESHE, PRMS, SLURP, SWIM, WEAP, HSPF, SWAT, HSPF, WMS8, HIDROSIG, CREAMS, SWRRB, WASIM (LOGREIRA RENTERIA, 2008)”* (p. 25).

Por su lado, Castro (2014) considera que *“La asignación de los recursos limitados de agua entre los usos agrícola, municipales y ambientales requieren ahora de la completa integración de la oferta, demanda, calidad de agua y consideraciones ecológicas”* (p. 27).

8.1.2 Escenario de Aumento de Población

En el estudio que se realizó con el modelo WEAP se obtuvieron resultados donde se evidencio que la oferta hídrica de la cuenca del Río Baché disminuye tanto para crecimiento poblacional como para uso agrícola con unos valores de 50.4% y 30.9% respectivamente; aportando así el conocimiento necesario para mejorar la toma de decisiones en cuanto a la gestión y planificación del recurso en la zona según lo afirman (Moncayo, Losada, y Cruz, 2016).

Por su lado, (Paz & Salinas, 2011) describe un escenario de crecimiento de población

En este caso los valores se incrementan mucho más, notándose la escasez de agua a partir del año 2016, esto es ocho años antes de lo esperado en la modelación base por lo que se aprecia un manejo más exacto de las proyecciones poblacionales por el método logístico utilizado en la modelación base -

que según la función (Growthfrom) predeterminada por WEAP, la cual, sobre estimaría estos valores, siendo sin embargo útil para estimaciones a priori en distintas modelaciones (p.32).

Esta variable influye en el análisis de la oferta y la demanda tal como lo menciona Castro (2014) en su investigación:

Teniendo en cuenta la información que se ha mencionado de las corrientes hídricas de las que se surte la población de la vereda La Bella tanto para su consumo como para el riego, se realizó un análisis detallado de cada una de ellas, así como la descripción de los usuarios que captan el recurso de las mismas (p. 10).

8.1.3 Escenario de Impacto por Cambio Climático

En diferentes estudios que se han venido realizando a nivel mundial con este modelo en cuanto a la situación de cambio climático se evidencia en los resultados que nos veremos enfrentando a la falta en la disponibilidad del RH.

La sociedad es despreocupada sobre la problemática que se presenta por el impacto que ocasiona el cambio climático en nuestros recursos naturales y en gran medida en los recursos hídricos en los últimos años, no obstante, la falta de conciencia por preservarlos para las nuevas generaciones; lo cual nos deja como resultados afectaciones en el medio ambiente, perjudicando a la humanidad, su economía y bienestar en general (Caraballo, y Plata, 2017).

Colombia, además de ser un gran exportador de productos primarios como café, algodón, la caña de azúcar, el maíz, el sorgo, arroz, cacao, el banano, leguminosas, las flores entre otras; es también un país reconocido por su riqueza en la flora, fauna. Los sectores productivos y la sociedad común han acelerado los efectos negativos del cambio climático en el medio ambiente ya que en Colombia no existen políticas sostenibles y comprometidas realmente con el bienestar del medio ambiente (Caraballo, y Plata, 2017).

Figura 5. Escenarios de cambio climático para el departamento del Huila

TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100					
2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)
0,8	16,52	1,4	17,74	2,1	17,24

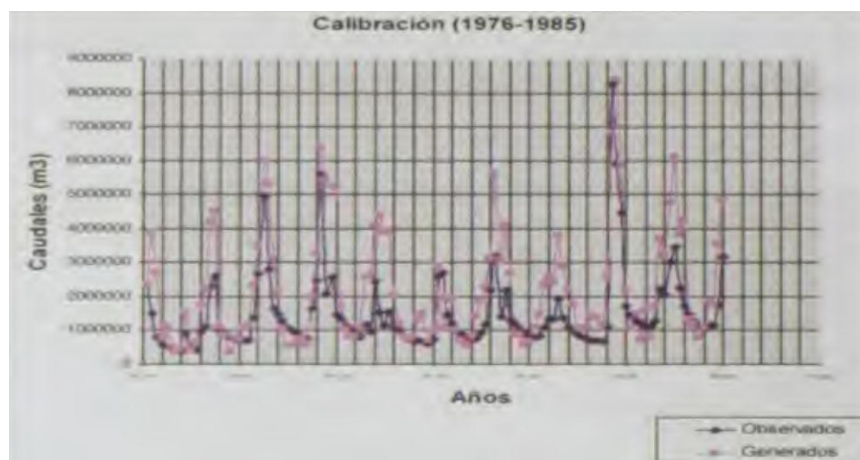
Fuente: (Ruiz et al, 2015) (citados en Carabello & Plata, 2017)

8.1.4 Escenario de Calibración

Este escenario supone unas implicaciones técnicas: la racionalización de acueducto, su administración, definición de objetivos y campañas (Castro, 2014, p. 39). Por lo anterior se puede establecer que este escenario funciona como correctivo inmediato en condiciones de fenómenos naturales y otros que se puedan presentar en una región, por lo que exija una constante calibración, se puede estimar la variación estándar y redefinir los datos ingresados en el sistema, tal como lo muestra Paz & Salinas (2011):

Como resultado de un proceso de varios análisis valorando las diferentes variables, se pudo obtener caudales calibrados en el punto de la obra de 29 Universidad Mayor de San Andrés Carrera de Ingeniería Civil toma de la cuenca Palcoma con un coeficiente de correlación igual a 0,83 (p. 29).

Figura 6. Calibración 1997 - 1985



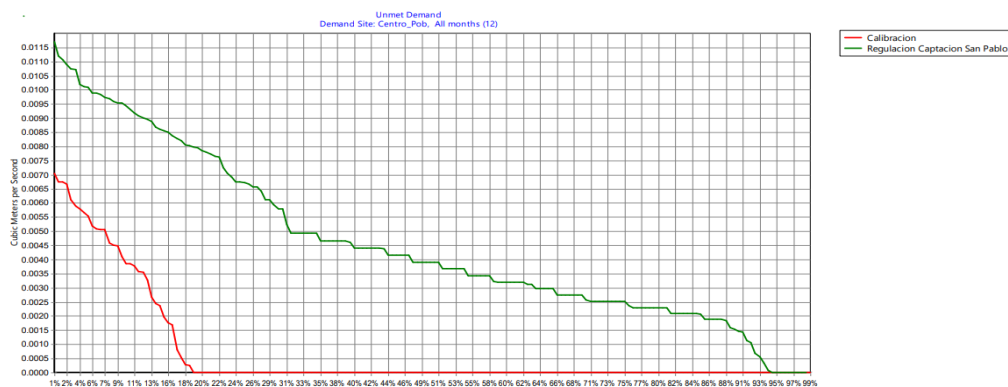
Fuente: Paz & Salinas (2011)

8.1.5 Escenario Regulación Captación

Este escenario supone en sequías la recolección de agua en fuentes cercanas, en los que se estiman alianzas estratégicas con municipios del mismo departamento o regiones. En la siguiente figura se muestra uno de los resultados obtenidos de una modelación, en el que se muestra el porcentaje de demanda insatisfecha.

Figura 7. Calibración 1997 – 1985

Gráfica 11. Porcentaje Demanda Insatisfecha Acueducto. Escenario Regulación Captación San Pablo



Fuente: Paz & Salinas (2011)

8.1.6 Escenario de Caudales Ecológicos

Al igual que el anterior escenario se genera en un supuesto de sequía, para el cual se recomienda el cambio de cultivo por otro. Situación, que según Paz & Salinas (2011), se deben manejar de la siguiente manera.

Para la falta de agua en el proyecto se deberán considerar las siguientes opciones: 1. Efectuar el estudio de trasvase de cuencas vecinas. 2. Realizar un tratamiento profundo y adecuado del Río Karpani (cercano a la obra de toma) para considerar la opción de futuras ampliaciones con aguas de este río. 3. Finalmente el estudio de la construcción de una represa a fin de incrementar los caudales de abastecimiento.

8.1.7 Escenario de Gestión del Recurso Hídrico (Programación de Sistemas Productivos)

Existen diferentes estudios realizados empleando el sistema de modelación hidrológica de cuencas hidrográficas donde se evidencia la eficacia de este en la planificación del RH; en los resultados obtenidos se garantiza su utilidad al predecir o simular las afectaciones que ocurren con los diferentes escenarios planteados con respecto a la disponibilidad de agua y a su vez la calidad de este recurso.

Según este contexto, el sector agrícola se ve directamente afectado por los cambios que se han estado presentando en las últimas décadas en el clima, se están haciendo necesarias tomar medidas de manejo para mitigar los cambios en la disponibilidad de agua, el aumento de la temperatura, irregularidades en la precipitación; causando dificultades en la implementación de sistemas productivos.

Para implementar un sistema productivo se pueden considerar todos los factores que dificultan la rentabilidad del mismo, una estrategia para tener presente podría ser la adoptada por el CIAT para afrontar las adversidades que se presentan por el fenómeno de cambio climático que afectan directamente la agricultura:

- Implementar las variables mejoradas genéticamente, con cualidades de adaptación a los nuevos retos del medio ambiente, en especial a la baja disponibilidad de agua (menor requerimiento hídrico)
- Revertir la degradación del medio ambiente, buscar alternativas de manejo agronómico que no sean desfavorables para los recursos hídricos, el suelo, la vegetación y los animales del ecosistema agrícola
- Mejorar la calidad de los productos y/o disminuir el uso de malas prácticas en la producción
- Obtener orientación de las entidades pertinentes a los problemas de origen agrícola, hoy en día están al alcance de toda la comunidad, (capacitaciones, talleres, asistencia técnica)
- Buscar semillas que proporcionen mayores rendimientos a bajos requerimientos.

8.2 Análisis de dos escenarios de Gestión del Recurso hídrico en WEAP

Conforme a lo establecido por (Paz & Salinas, 2011), (Castro, 2014) y por (Moncayo, Losada, y Cruz (2016), se puede observar que existen escenarios con propósitos específicos que pueden variar según la necesidad de la investigación. Del análisis de cada uno de los escenarios descritos anteriormente, se proponen los dos siguientes escenarios; se debe tener en cuenta que los estos aglomeran diferentes variables las cuales serán descritas a continuación:

8.2.1 Escenario 1: Aumento de temperatura, proyectos, control institucional y proyectos agropecuarios.

Tabla 9. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP

Variable	Observación
Temperatura (+3 grados)	Puede ocasionar un impacto negativo sobre el ciclo hidrológico debido a la sequía.
Proyectos petroleros, mineros y extractivos (+)	Puede ocasionar un impacto negativo sobre el ciclo hidrológico debido a la sequía.
Proyectos urbanísticos y sociales (+)	Un aumento de estos proyectos en la región pueden generar un impacto negativo en el ciclo hídrico, debido a que estos por lo general requieren de una fuente solvente de agua
Control Institucional	Un aumento en el control podría beneficiar la buena utilización de los recursos hídricos.
Proyectos Agrícolas	Un aumento de proyectos agropecuarios generaría un impacto positivo, en comparación a los de las otras variables, el costo es mínimo frente al beneficio social y ambiental que la modulación genera.

Fuente: este estudio

Resultado: Negativo para la cuenca hidrográfica, el modelo en su aplicación genera una visión del impacto, sin embargo, no cabe duda que complementado con un investigación desde la Política Pública, la Academia y demás organizaciones involucradas con proyectos civiles, de concesiones, urbanísticos, y sobre todo agropecuarios, entre otros, puede llegar a ser la mejor herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones.

8.2.2 Escenario 2: Aumento de temperatura, control institucional, proyectos agrícolas y nulidad de proyectos petroleros, mineros, extractivos, urbanísticos y sociales.

Tabla 10. Escenarios descritos en la utilización del modelo WEAP

Variable	Observación
Temperatura (+3 grados)	Genera un impacto negativo sobre el ciclo hidrológico debido a la sequía, desencadenante de una alta precipitación.
Proyectos petroleros, mineros y extractivos (nulidad a cero)	Nulidad de estos proyectos en la región, podría ser considerablemente positivo para el ciclo hidrológico del Río.
Proyectos urbanísticos y sociales (nulidad a cero)	Nulidad de estos proyectos en la región pueden generar un impacto positivo en el ciclo hídrico, debido a que estos por lo general requieren de una fuente solvente de agua.
Control Institucional	Un aumento en el control podría beneficiar la buena utilización de los recursos hídricos.
Proyectos Agrícolas	Un aumento de proyectos agropecuarios generaría un impacto positivo, en comparación a los de las otras variables, el costo es mínimo frente al beneficio social y ambiental que la modulación genera.

Fuente: este estudio

Resultado: Positivo para la cuenca hidrográfica. En este escenario se puede observar que el impacto ambiental generado por los proyectos mineros y de explotación, son negativos en relación a la cuenca hidrográfica del río Baché. El modelo en este caso funciona de una manera más exacta definiendo parámetros a considerar un posible cambio de cultivos por cultivos más atractivos económicamente hablando.

Otro aspecto importante, es el tema de vigilancia tecnológica en función de generación de ambientes para otros cultivos mediante la aplicación de innovaciones tecnológicas del sector.

De lo anterior se puede establecer el segundo escenario sería muy beneficioso para la manutención efectiva de la cuenca en perspectiva de producción agrícola, lo cual beneficiaría especialmente la producción primaria de café al garantizar el RH para largos periodos,

acompañado de un cambio eventual de cultivo sistemático de cada una de las áreas dispuestas para el proyecto.

Los sistemas productivos son un factor determinante en el desarrollo sustentable y gestión integral de los recursos naturales; de ahí la necesidad de caracterizarlos y realizar propuestas de manejo y mejoras, que logren un impacto sustancial en el RH, del cual dependerá su disponibilidad. En la medida que se evite la transformación fuerte de los paisajes que se requieren proteger, permitiendo la implementación de proyectos y procesos productivos sostenibles, aprovechando de manera adecuada especies, ecosistemas o recursos genéticos, hídricos o edáficos de la cuenca, será posible lograr el objetivo propuesto de aumentar cantidad y mejorar la calidad del RH, en las mismas (Moreno, 2013).

9. Conclusiones

- El modelo WEAP es una herramienta fundamental para la planificación integrada de recursos hídricos, que además proporciona un marco comprensivo, flexible y de fácil uso para la planificación y análisis de políticas en la gestión de cuencas hidrográficas, además permite predecir, considerar, evaluar y planificar todos los aspectos que se desarrollan en el contorno de estas como base del desarrollo.
- El proceso metodológico y ordenado que se contempla en el modelo hidrológico WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación del Agua) como un instrumento para la gestión de cuencas hidrográficas permite obtener expectativas sobre las consecuencias del uso que se le da al RH las cuales pueden llegar a ocasionar desordenes en la disponibilidad de este y en su calidad para sus diferentes usos y con base a ello tomar medidas preventivas.
- Mediante la aplicación de estrategias para la planificación del RH se puede asegurar para las generaciones futuras una buena calidad de vida mediante el abastecimiento continuo de agua potable en el largo plazo.
- La gestión del modelo frente a la implementación de sistemas productivos se da de forma predictiva debido a que permite explorar posibles cambios en la disponibilidad del RH siendo este uno de los fundamentos claves de la producción, brindando además apoyo para implementar las buenas prácticas agronómicas desde un enfoque más ambiental.

10. Recomendaciones

- Se debe generar conciencia en la comunidad sobre el estado finito y vulnerable de los recursos hídricos ante el manejo inadecuado y el cambio climático como factores que alteran la disponibilidad del RH a través de capacitaciones del cuidado de este recurso y de los agro-ecosistemas.
- Efectuar la adopción de variedades mejoradas en el sector agrícola que produzcan bajo pocos requerimientos del RH.
- Implementar tecnologías que ayuden a conservar, preservar y cuidar las fuentes de agua para garantizar a las futuras generaciones un hábitat digno y sustentable.
- Continuar con el desarrollo del presente proyecto, diseñando un estudio del uso sobre los recursos naturales, enfocado a evitar desastres ambientales en la comunidad.

11. Referencias bibliográficas

- Aguirre U. Carlos & Castillo G. Maritza. (2018). Sistemas de Producción Agropecuaria. Consultores Asociados de Nariño CAN-SAS. San Juan de Pasto, Colombia: Recuperado de: <https://publicaciones-can-sas.blogspot.com/2018/09/sistemas-de-produccion-agropecuarios.html>
- Andrade, A., y Navarrete, F., (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque eco sistémico a la gestión integral del RH. México D.F, México Recuperado de: <http://www.pnuma.org/educamb/documentos/Lineamientos.pdf>
- Angarita, H., Delgado J., Escobar, M., y Walschburger, T., (2015). Escenarios de alteración regional del régimen hidrológico en la cuenca magdalena-cauca por intensificación de la demanda para hidroenergía. Cauca, Colombia: Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/278633700>
- Barrientos, F. R. (2006). Cuencas Hidrograficas, descentralización y desarrollo regional participativ. *Inter. Sedes*, 113-125.
- Boston, S. (2010). *Guia. Metodologica, modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP*. Obtenido de www.mpl.ird.fr: <https://www.mpl.ird.fr/divha/aguandes/doc/ref-cur/Guia%20modelacion%20WEAP%20Espanol-borrador-2009-04.pdf>
- Burbano, J., Domínguez, E., Barón, O., (2016). Análisis de la relación entre variables morfométricas y biofísicas en la estimación de características probabilísticas para la oferta hídrica superficial en Colombia. *Revista Académica de Ciencias*, 40, (156), 514-526. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n156/v40n156a13.pdf>
- Caraballo, M., y Plata, M., (2017). Análisis de los efectos Ambientales, económicos, políticos y sociales del Calentamiento Global, vulnerabilidad y adaptación en sectores productivos del Huila. Universidad EAN. Bogotá, Colombia: Recuperado de: <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/8966/CaraballoMyriam2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cárdenas, N., (2012). Análisis a la gestión del plan de saneamiento hídrico de Pereira desde la perspectiva integral del recurso, haciendo uso de WEAP como sistema soporte de decisión. Pereira, Tesis para optar al título de administrador ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia: Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2896/36361C266.pdf?sequence=1&isAllowed=y.g>

Castro, N., (2014). Implementación del sistema de modelación WEAP como herramienta para la gestión integral del RH en la vereda La Bella. Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración del Medio Ambiente. Pereira - Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4468/3339116C355.pdf?sequence=>

CENICAFE, Federación Nacional de Cafeteros, (2013). ECOMIL Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del Café. Avances Técnicos Cenicafe. FNC. Bogotá, Colombia: Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0432.pdf>

Cevallos, E., Gómez, L., y Roldán, A., (2015). Análisis de los problemas ambientales en el Cartón La Concordia, Providencia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes, IV (1), páginas 1-16. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Gabriel_Cevallos_Uve/publication/309458055_ANALISIS_DE_LOS_PROBLEMAS_AMBIENTALES_EN_EL_CANTON_LA_CONCORDIA_PROVINCIA_SANTO_DOMINGO_DE_LOS_TSACHILAS_ECUADOR_ANALYSIS_OF_ENVIRONMENTAL_PROBLEMS_EN/links/58111bc208aee15d491504eb/ANALISIS-DE-LOS-PROBLEMAS-AMBIENTALES-EN-EL-CANTON-LA-CONCORDIA-PROVINCIA-SANTO-DOMINGO-DE-LOS-TSACHILAS-ECUADOR-ANALYSIS-OF-ENVIRONMENTAL-PROBLEMS-EN.pdf

Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de 1991, Bogotá, Colombia: Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125#>

Congreso de la República. (1993). *Gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables*. Obtenido de www.humboldt.org.co:

<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), (2011). Plan de Gestión Ambiental Regional del departamento del Huila 2011 - 2023. Huila, Colombia.

Cortina, H., Moncada, M., y Herrera, J., (2012). Variedad Castillo preguntas frecuentes. Avances técnicos Cenicafé. Fondo Nacional de Café, Caldas, Colombia: Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/410/1/avt0426.pdf>.

Chamorro, F. M., Paz Enríquez, P., Realpe, J., & Cardenas, G. (2016). Estrategias de la planificación del recurso hídrico con fines de abastecimiento para consumo humano. *UNIMAR*, 221-238.

Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas, R. y Moreno, P., (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del RH en Colombia, *Revista Academia Colombiana de Ciencia*, 32(123), 195-212. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Efrain_Dominguez_Calle/publication/228463075_DEMANDA-OFFERTA-DE-AGUA-Y-EL-INDICE-DE-ESCASEZ-DE-AGUA-COMO-HERRAMIENTAS-DE-EVALUACION-DEL-RECURSO-HIDRICO-COLOMBIANO/links/00b4952f3daff28cd2000000/DEMANDA-OFFERTA-DE-AGUA-Y-EL-INDICE-DE-ESCASEZ-DE-AGUA-COMO-HERRAMIENTAS-DE-EVALUACION-DEL-RECURSO-HIDRICO-COLOMBIANO.pdf.

Domínguez, A. F., & Cotler, H. (s.f.). *Sistemas de producción agropecuaria*. Recuperado de www.emapas.inecc.gob.mx:

http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_sistemas_de_produccion.pdf

Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., & Forni, L., (2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades la paz y el alto, Bolivia. *Revista Aqua-LAC*, 5(2), 23 – 34. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/marisa_escobar/publication/306013913_modelacion_hidr

ologica_y_escenarios_de_cambio_climatico_en_cuencas_de_suministro_de_agua_de_las_ciudades_la_paz_y_el_alto_bolivia_hydrologic_modeling_and_scenarios_of_climate_change_on_water_supply_ca/links/57aa6fe308ae3765c3b4d9ef/modelacion-hidrologica-y-escenarios-de-cambio-climatico-en-cuencas-de-suministro-de-agua-de-las-ciudades-la-paz-y-el-alto-bolivia-hydrologic-modeling-and-scenarios-of-climate-change-on-water-supply-c.pdf.

Esteli, S. N. (2012). *Educación ambiental con enfoque en manejo de cuencas y prevención de desastres*. Obtenido de [www.bvsde.paho.org: http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf)

FAO. (2011). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza*. Obtenido de [www.fao.org/: http://www.fao.org/3/a-ac349s.pdf](http://www.fao.org/3/a-ac349s.pdf)

Febrillet, J., Clases, J., Bello, L., y Chalas, J., (2014). Simulación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y estrategias de adaptación, usando el modelo Water Evaluation and Planning (WEAP), en la cuenca de la región Yaque del Norte de la República Dominicana. *Revista Aqua-LAC*, 6(2), 21 – 36. Recuperado de <http://www.cedaf.org.do/intranet/resena/articulos/2014/simulacion.pdf>.

Heredia, G., (2017). *Gestión integrada del RH en la cuenca baja del Río Zaña*. Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias con medición de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú: Recuperado de: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/1440/BC-TES-TMP-274.pdf?sequence=1>

Geler, T., Toruño, P., Marinero, E., & Gutiérrez E., (2014). Servicios ambientales y gestión de los recursos hídricos utilizando el modelo WEAP: casos de estudio en Iberoamérica. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1 2015), 72-87. Recuperado de <https://www.lamjol.info/index.php/RIBCC/article/view/2142/1928>.

Geler, T., Marmol, E., Batista Silva, J. L., & Carmona, C. (2016). *Gestión de los recursos hídricos utilizando el modelo WEAP (Water Evakuatión And Planning System)*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/308036325_GESTION_DE_LOS_RECURSOS

_HIDRICOS_UTILIZANDO_EL_MODELO_WEAP_WATER_EVALUATION_AND_PLANNING_SYSTEM

- Jaramillo, M., Galvis, A., Escobar, M., Forni, L., Purkey, D., Siebel, J., Lozano, G., Rodríguez, C., Castaño, J., y Sabas, C., (2016). Integración de los modelos *WEAP* y *qual2k* para la simulación de la calidad agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: cuenca del río la vieja, Colombia, *Revista Agua-LAC*, 8(2). 14-24.
- Labrador, A. F., Zúñiga, J. M. y Romero, J., (2016). Desarrollo de un modelo para la planificación integral del RH en la cuenca hidrográfica del Río Aipe, Huila, Colombia. *Revista Ingeniería y Región*, 15(1), 23-35. Recuperado de <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1176/2294>.
- Lamprea, C., y Betancourt, J., (2015). Evaluación de la contaminación difusa en la parte alta y media de la microcuenca Quebrada el Cune mediante el modelo WEAP. Trabajo de grado para optar al título Ingeniero Ambiental. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18082>.
- Leguizamón, C., (2017). Evaluación de las garantías de suministro del RH en la provincia del Tequendama por medio de la herramienta WEAP. Trabajo de Grado para optar al título de ingeniero ambiental, Universidad Santo Tomas. Bogotá. Recuperado de: <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/2507>
- Lema, M., y Plaza, V., (2009). Modelación hidrológica de la cuenca (alta y Media) del Río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP (Water Evaluation and Planning system). Proyecto de titulación previa a la obtención del título de ingeniero civil. Escuela politécnica nacional. Quito, Ecuador: Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1780/1/CD-2366.pdf>
- Mafla, F., Paz, P., Realpe, D., y Cárdenas, G. (2016). Estrategias de la planificación del RH con fines de abastecimiento para consumo humano. *Revista UNIMAR*, 34(2), 221-238.

Recuperado de: <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/unimar/article/view/1252/pdf>

Mena, D., (2009). , usando el modelo WEAP. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2018). *Legislación del agua Normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua*. Bogotá, Colombia: Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/407-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-14>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). "Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas". Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/407-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-14#decretos>

Moncayo, O., Losada, I. y Cruz, J., (2016). Modelación hidrológica de la cuenca del Río Baché en el departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos. Trabajo para obtener el título de especialista en recursos hídricos, Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Recuperado de: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13997/4/TG%20oscar_lindon_johana.pdf.

Moreno, L., (2013). Gestión integral del agua en la cuenca Alta del Río Pasto mediante un esquema de pago de Servicios Ambientales. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en producción de cultivos, Universidad de Nariño. Recuperado de: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89542.pdf>

Olarte, M., (2015). Análisis del perfil de las cadenas productivas del café, el cacao, la pitahaya y los cítricos desde un enfoque de internacionalización, innovación y responsabilidad social empresarial en Bucaramanga. *I+D Revista de Investigaciones*, 6(2), 76-99.

- Padilla, J. H., Perez Rincón, M., Malherios, T., Madera Parra, C., Guimarães Prota, M., & Dos Santos, R. (2013). Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Revista ambiente & Agua*, 73-97.
- Parra, M., (2016). Implementar el sistema de modelación WEAP como herramienta que determine el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del río Machángara. Tesis de grado a la obtención de título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Paz, O., & Salinas, A. (2011). *Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas Weap al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata*. *Revista Tecnología, Investigación y Docencia. La Paz, Bolivia*:. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2012-22222011000200004&script=sci_arttext
- Puerta, G., González, F., Correa, A., Álvarez, I., Ardila, J., Girón, O., Ramírez, C., Baute, J., Sánchez, P., Santamaría, M., y Montoya, D., (2016). Diagnóstico de la calidad del café según altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Revista Cenicafé*, 67(2),15-51. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/727/1/arc067%2802%2915-51.pdf>.
- Quispe, C., Mansilla, R., López, C., Espejo, R., Villanueva, J., y Monzón, C., (2017). Diversidad genética de *Hemileia vastratrix* de dos zonas productoras de café en el Perú. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(3),418-436.
- Rodríguez, A., (2007). Cambio climático, agua y agricultura. *Revista Desarrollo Rural Sostenible*. Recuperado de: pyrargentina.com.ar/imagenes/galerias/61-201104291240381.pdf.
- Samboni, N., Reyes, A., y Carvajal, Y., (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y Competitividad*, 13(2),49-60. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323530004.pdf>.

SEI. (2018). WEAP. Recuperado de <https://www.weap21.org/index.asp?action=201&NewLang=ES>

UC., SEI., (2009). Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada con contribuciones del PACC (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador), Ministerio del Ambiente de Ecuador, y PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo) de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperada de http://weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf.

Valdés, Y. M., & Villalejo García, V. (2017). La gestión integrada de los recurso hidricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 58-72.

Villa, E., (2013). Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y sus efectos sobre los usos del agua en la cuenca del Río Elqui, Memoria para optar al título de ingeniera civil, Universidad de Chile.

Villafañe, A. A., & Paz Rada, O. (2016). Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas Weap al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. *Ingeniería Civil*, 27-38.