

**IMPORTANCIA DEL MODELO WEAP EN LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE
CAMBIO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.**

Luisa Fernanda Castillo Moreno

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTADA DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO
2018**

**IMPORTANCIA DEL MODELO WEAP EN LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE
CAMBIO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.**

Luisa Fernanda Castillo Moreno

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Agrónomo -Modalidad Monografía**

Asesor:

Paulo Cesar Cabrea. MsC

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTADA DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2018

Nota de responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Octubre de 2018

Contenido

	Pág.
1. Título.....	12
2. Objetivos.....	13
2.1 General	13
2.2 Específicos	13
3. Marco teórico	14
3.1 Recursos Hídricos	14
3.1.1 Distribución de los Recurso Hídricos.....	14
3.1.1.1 En El Mundo.....	14
3.1.1.2 Colombia.....	14
3.1.1.3 Nariño.....	14
3.1.2 Cuencas Hídricas.....	15
3.1.3 Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos (GIRH).....	15
3.1.4 Balance Hídrico.....	15
3.1.5 Demanda Del Sector Agrícola En Colombia.....	16
3.1.6 Importancia Del Recurso Hídrico.....	16
3.1.7 Estrés Hídrico en los Cultivos.....	16
3.2 Cultivo de Café.....	16
3.2.1 Origen e Importancia.....	16
3.2.2 Proceso de Beneficio.....	17
3.2.3 Lavado de Café.....	18
3.2.3.1 Sistemas de Lavado De Café.....	18
3.2.3.1.1 Agitación manual en el tanque.....	18
3.2.3.1.2 Canal de correteo.....	18
3.2.3.1.3 Motobomba sumergible.....	19
3.2.3.1.4 Becolsub.....	19
3.2.3.1.5 ECOMILL®.....	19
3.3 Cambio Climático	19

3.3.1 Escenarios del cambio climático.	21
3.4 Modelos Hidrológicos.....	22
3.5 Water Evaluation and Planning (WEAP).....	23
3.5.1 Características.....	23
4. Marco de antecedentes.....	24
5. Marco normativo.....	26
6. Metodología.....	27
7. Resultados.....	30
7.1 Objetivo 1.....	30
7.2 Objetivo 2.....	35
7.2.1 Comparación de estudios de caso grupo A.....	39
7.2.2 Comparación de estudios de caso del grupo B.....	42
7.2.3 Comparación de estudios de caso del grupo C.....	45
7.2.4 Comparación de estudios de caso del grupo D.....	48
7.2.5 Comparación de estudios de caso del grupo E.....	51
7.2.6 Matriz DOFA.....	53
7.3 Objetivo 3.....	54
7.3.1 Objetivo del Estudio de Caso en la cuenca del río Baché.....	55
7.3.2 Escenarios Proyectados.....	55
7.3.3 Resultados del estudio de caso.....	56
7.3.4 Conjetura del objetivo 3.....	57
7.3.5 Conversiones y Cálculos.....	58
7.3.6 Diseño del sistema de beneficio.....	60
7.3.7 Resultados de consumo.....	63
7.3.8 Análisis de resultados.....	65
8. Conclusiones.....	68
APENDICES.....	78

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Tabla de antecedentes.....	24
Tabla 2. Normatividad Internacional, Nacional y Regional.....	26
Tabla 3. Escenario proyectadas del estudio de caso en la cuenca del río Bache.....	56
Tabla 4. Parámetros de escenarios futuros Rio Baché.	57
Tabla 5. Factores de Conversión entre los estados del grano de café	59
Tabla 6. Equivalencia de producción para 1 ha.....	60
Tabla 7. Consumo específico de agua y DQO en las tecnologías utilizadas para el lavado de café en Colombia.....	62
Tabla 8. Consumo de agua diario de cada tecnología en el lavado de café.	63
Tabla 9. Escenario agrícola, Oferta vs demanda, más el consumo de agua del lavado de café en m^3/s	63
Tabla 10. Escenario poblacional, Oferta vs demanda, más el consumo de agua del lavado de café en l/s	64
Tabla 11. Aumento en % de la demanda con el uso de cada tecnología de lavado en café en el escenario poblacional.	64

Índice de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación Climática de Caldas	28
Cuadro 2. Resultados del objetivo 1	31
Cuadro 3. Resumen de los estudios de caso del grupo A, de 0 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m.....	36
Cuadro 4. Resumen de los estudios de caso del grupo B, de 1001 m.s.n.m. a 2000 m.s.n.m..	41
Cuadro 5. Resumen de los estudios de caso del grupo C, de 2001 m.s.n.m. a 3000 m.s.n.m..	44
Cuadro 6. Resumen de los estudios de caso del grupo D, de 3001 m.s.n.m. a 3700 m.s.n.m..	47
Cuadro 7. Resumen de los estudios de caso del grupo E, de 3701 m.s.n.m. y superiores	50
Cuadro 8. Matriz DOFA.....	53
Cuadro 9. Porcentaje de aumento o disminución del día pico con relación a la altura sobre el nivel del mar.	61

Índice de Figuras

Pág.

Figura 1. Ilustración esquemática de los escenarios IE-EE.	21
---	----

Índice de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. a. Tanque tina; b. Paleta para agitar la masa de café durante el lavado	78
Apéndice 2. Canal de correteo utilizado para lavado y clasificación de café	78
Apéndice 3. Lavado de café utilizando Bomba sumergible	78
Apéndice 4. Modulo Becolsub con capacidad para 300 kg.h ⁻¹ de café en cereza	79
Apéndice 5. Tecnología ECOMIL® desarrollada por Cenicafé, a. ECOMIL® 500; b. ECOMIL® 1500; c. ECOMIL® 3000.	80

Introducción

El agua es un recurso natural de gran importancia al ser parte de los ecosistemas naturales y ser fundamental para el sostenimiento y desarrollo de la vida, en el mundo la FAO (2002b) afirma que, a finales del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70 por ciento de toda el agua utilizada en el mundo, y estima que el agua destinada al riego aumentará un 14 por ciento para 2030.

A demás de esto se suma los efectos del cambio climático que afectan mayormente los sistemas agrícolas y las fuentes productoras de agua como lo son los páramos y los glaciales, por ejemplo, los páramos en Colombia, los cuales suministran más del 70% del agua usada por la población se encuentran amenazados por el cambio climático, en donde se pronostica un aumento de por lo menos 4°C, por lo cual se establece la alerta roja en el país (Medio Ambiente. 2015), esta misma situación se observa en países como Ecuador y Bolivia donde sus glaciales se ven amenazados por esta misma situación, y para los países situados en Centro América la variación en el régimen de temperatura y precipitación representan un problema para la agricultura principalmente y para otros sectores en menor medida.

Sin embargo trabajar con escenarios de Cambio Climático no es predecir el futuro climático, si no por el contrario evaluar una amplia gama de posibilidades en relación a las incertidumbres generadas por el comportamiento que tiene el clima y de esta manera poder orientar las decisiones que permitan anticiparse a los posibles hechos y generar acciones eficaces los cuales permiten trabajar en los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos que permitan evitar situaciones desfavorables en un futuro cercano o lejano (IDEAM, PNUD, MADS, DNP & CANCELLERÍA, 2015).

Por lo tanto, con la presente monografía se tiene por objetivo dar a conocer diferentes experiencias del uso del modelo WEAP y su importancia en la generación de escenarios de cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en América Latina y el Caribe, y las repercusiones sobre el ámbito ambiental, agronómico, económico y social, relacionando su importancia con el manejo agronómico y el establecimiento de un cultivo de café bajo las condiciones de cambio presentadas en el estudio de caso denominado “Modelación Hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila”

1. Título

“Importancia del modelo WEAP en la simulación de escenarios de cambio en la disponibilidad del recurso hídrico”.

2. Objetivos

2.1 General

Analizar la importancia del modelo Weap en la simulación de escenarios de cambio en la disponibilidad del recurso hídrico.

2.2 Específicos

- Identificar la metodología para la implementación de la modelación y simulación en el programa Weap.
- Comparar experiencias desarrolladas en Weap en la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en Latinoamérica (Suramérica).
- Determinar el impacto de la disminución o aumento del recurso hídrico en el proceso de lavado del cultivo de café estudio de caso “Modelación Hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila”.

3. Marco teórico

3.1 Recursos Hídricos

3.1.1 Distribución de los Recurso Hídricos.

A continuación, se muestra como está distribuida el agua en el mundo, en Colombia y en el Departamento de Nariño.

3.1.1.1 *En El Mundo.*

Según la FAO (2002) se estima que en el mundo existen unos 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales 35 millones (2,5 por ciento) son de agua dulce. La gran cantidad de agua dulce de las capas polares, glaciares y acuíferos profundos no es utilizable. Mientras tanto el agua dulce que puede ser usada procede esencialmente de la escorrentía superficial del agua de lluvia, generada en el ciclo hidrológico cuando el agua se recicla continuamente por la evaporación causada por la energía solar.

El promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza 119 000 km³, de los cuales la gran mayoría se evaporan a la atmósfera y solamente 45 000 km³ fluyen hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el suelo alimentando a los acuíferos. Este volumen de agua se denomina convencionalmente «recursos hídricos», lamentablemente no todos estos recursos son utilizables, porque parte del agua fluye hacia ríos remotos y parte durante inundaciones periódicas. Finalmente se estima que de 9 000 a 14 000 km³ son económicamente utilizables por el hombre, nada en comparación con la cantidad total de agua de la tierra. (FAO. 2002).

3.1.1.2 *Colombia.*

Según estimaciones del IDEAM, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía medial anual de 1830 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en escorrentía superficial generando un caudal medio de 67000 m³/s, equivalente a un volumen anual de 2084 km³ que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia. (Min. Ambiente. 2010).

3.1.1.3 *Nariño.*

Según CORPONARIÑO se han identificado 123 cuencas hidrográficas en el departamento, las cuales fueron zonificadas a través de la metodología establecida por el

IDEAM, las 123 cuencas están ubicadas en 17 subzonas hidrográficas distribuidas en las áreas del Pacífico, compuestas por las subzonas hidrográficas de los ríos Mira-Mataje, Guaitara, Juanambú, Telembí, Mayo, Patía Alto, Medio, Viejo Patía y Patía Magüi, Tapaje, Amarales-La Tola, San Juan de Micay y en el área hidrográfica amazónica por las subzonas de los ríos Putumayo y Napo (CORPONARIÑO, 2009)

3.1.2 Cuencas Hídricas.

Entiéndase por cuenca u hoyo hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Decreto 1640, 2012. Art 3.)

3.1.3 Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos (GIRH).

La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) busca orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recurso hídrico, a través de una combinación de desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas. La GIRH se define como “un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. (Min. Ambiente. 2018a)

3.1.4 Balance Hídrico.

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad. Dicha ecuación, establece que para cualquier volumen arbitrario y durante un período de tiempo, la diferencia entre las entradas y las salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada. (Mendoza. 1996)

La ecuación del balance hídrico, para cualquier región, cuenca natural o masa de agua, incluye los valores de entradas y salidas de flujo y la variación del volumen de agua almacenado. Su expresión más simple es:

$$QA - QE = \Delta R$$

Dónde: QA, caudal afluente;

QE, caudal efluente;

ΔR , variaciones en las reservas.

3.1.5 Demanda Del Sector Agrícola En Colombia.

El volumen de agua utilizado en el sector agrícola en 2008 alcanza un orden de magnitud de 19.386 Mm³, de los cuales el 56,33% [10.920 Mm³] son el consumo efectivo, en tanto el agua extraída no consumida por los cultivos es el 43,67% [8.466 Mm³], y el 0,19% [37 Mm³] corresponde a usos del agua en labores y actividades de postcosecha. (IDEAM, 2010).

3.1.6 Importancia Del Recurso Hídrico.

El agua es esencial para la vida humana, constituye un elemento clave para la seguridad alimentaria y la nutrición, tal como HILPE (2015) afirma:

El agua potable y el saneamiento son fundamentales para la nutrición adecuada, la salud y la dignidad de todas las personas. Según las últimas estimaciones de la Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (OMS/UNICEF), en 2011 el 36 % de la población mundial [2 500 millones de personas] carecía de instalaciones de saneamiento mejoradas, mientras que 768 millones de personas se veían obligadas a usar agua no potable. Contar con agua suficiente y de calidad adecuada es indispensable para la producción agrícola y para la preparación y elaboración de los alimentos, Además la agricultura de regadío es responsable del 70 % de las extracciones mundiales de agua tanto superficial como subterránea. (p.155)

3.1.7 Estrés Hídrico en los Cultivos.

Para Levitt (1980) el estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo.

Por otro lado, Nilsen y Orcutt (1996) también afirman que las plantas a lo largo de su desarrollo experimentan algún grado de estrés por déficit hídrico. En los sistemas naturales, un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores.

3.2 Cultivo de Café

3.2.1 Origen e Importancia.

El café (genero *Coffea*) pertenece a la gran familia de las Rubiáceas y actualmente este género está ampliamente distribuido a nivel mundial. Por otro lado “Se conocen como café los granos obtenidos de unas plantas

perennes tropicales [cafetos], los cuales, tostados y molidos, son usados principalmente para preparar y tomar como una infusión”. (Café de Colombia, 2010, párr. 1), actualmente el alto consumo de esta bebida a nivel mundial, la posicionan en Colombia como un cultivo de importancia económica, sin embargo, el cultivo del café también ha sido catalogado de la misma forma en la antigüedad.

La historia como bebida está ligada a los grandes imperios y mercaderes como los árabes, turcos y europeos en el siglo XV, y en el presente se convirtió en uno de los más importantes detonantes del desarrollo económico de Brasil y de otros países por su importancia en términos de generación de divisas, por los ingresos derivados del producto y las necesidades de procesamiento del mismo facilitó la creación de mercados internos, en Colombia existen alrededor de 560,000 familias productoras de café, y existe un modelo institucional que permite acoger a grandes y pequeños productores y además tiene programas de inversión social y ambiental en pro de la sostenibilidad ((Cenicafé, 2013a).

A pesar de que el cultivo de café representa grandes ingresos para la economía, también es cierto que este cultivo necesita una gran cantidad de insumos y recursos para su manutención y producción, entre ellos están los fertilizantes y productos químicos, la mano de obra y el agua como recurso vital tanto en la etapa de producción como la etapa de postcosecha, en donde se destinan grandes cantidades de agua para que el producto esté listo para ser comercializado.

3.2.2 Proceso de Beneficio.

Cuando el café se cosecha se lleva a cabo el proceso de Benéfico, en donde según Cenicafé (2013c) es:

El proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino de alta calidad física y en taza, el cual, por su estabilidad en un amplio rango de condiciones ambientales, es el estado en el cual se comercializa internamente este producto en Colombia. Además, este proceso lo realizan los caficultores, en su gran mayoría, en las instalaciones que tienen en sus fincas, a las que denominan beneficiaderos, y donde realizan básicamente el recibo, despulpado, remoción de mucilago, lavado, diversas clasificaciones y secado. (p.9)

Cuando el proceso está terminado el café puede ser comercializado, pero hay que resaltar que la etapa donde más se consume agua es el lavado del café.

3.2.3 Lavado de Café.

Una vez despulpado el café y degradado el mucilago se procede con el lavado, en donde la finalidad es remover definitivamente el mucilago del grano, hay que mencionar que la etapa de clasificación se puede realizar en simultaneo con el lavado, por otro lado, es necesario resaltar que esta etapa tiene gran importancia en el proceso porque es donde se puede evitar la aparición de manchas sobre el grano o de defectos que pueden dañar la calidad del café. (Cenicafé 2013c)

Como esta etapa es de suma importancia se tiene mucho cuidado con respecto al agua utilizada tal como lo recomienda Cenicafé (2013c):

En el lavado interviene el agua necesariamente como insumo de proceso, por lo cual se deben considerar dos aspectos fundamentales para que la operación sea eficaz: La calidad y cantidad. En cuanto al primer aspecto se recomienda utilizar agua limpia, no recirculada, de modo que no genere contaminación cruzada al café y no altere su inocuidad final. (p. 32-33)

Con respecto a la cantidad de agua utilizada, depende netamente de la tecnología usada para realizar esta operación, por lo cual hay diferentes modelos, lo cuales se diferencia principalmente por la infraestructura y por el volumen usado por cada uno.

3.2.3.1 Sistemas de Lavado De Café.

Según CENICAFE (2013c) en Colombia existen diferentes sistemas para el beneficio del café, a continuación, se explican cada uno de ellos

3.2.3.1.1 Agitación manual en el tanque.

Se utiliza tanques con bordes redondeados y una paleta (Apéndice 1), denominado tanque tina, para utilizar el menor volumen específico de agua [$4,17 \text{ l.kg}^{-1}$ de c.p.s] se emplean 4 enjuagues, cubriendo totalmente la masa con agua limpia en cada uno, retirando los granos que flotan, de inferior calidad, si se dispone adecuadamente. (Cenicafé, 2013, p.33)

3.2.3.1.2 Canal de correteo.

Es un dispositivo hidráulico, generalmente de sección transversal rectangular y ligera pendiente, empleado para lavar, limpiar y clasificar el café. El café se deposita inicialmente en un tramo de canal, se cubre con una lámina de agua de 2 a 3 cm y se agita con una paleta; al agitar la masa de café y el agua generan fuertes corrientes que arrastran los granos de mayor densidad en el fondo del canal y los de menor densidad y gran parte de la pulpa en la superficie (Apéndice 2). El agua utilizada generalmente no se recircula y el volumen específico es mayor que 20 l.kg^{-1} de c.p.s. (Cenicafé, 2013c, p.33)

3.2.3.1.3 Motobomba sumergible.

Cuando se lava el café pasándolo de un tanque a otro, generalmente cuatro veces, utilizando una motobomba sumergible (Apéndice 3), con una relación café/agua de 2/3 en masa. El agua se recircula solamente en el tercer enjuague. Se estima un volumen específico de 9,0 mg.l⁻¹ de c.p.s. las ventajas de esta tecnología de lavado son la alta capacidad, la remoción del mucilago flotante (café de mala calidad), y no desprendido y la posibilidad de transportar el café a los secadores utilizando la bomba sumergible. Sin embargo, las desventajas son el costo de la bomba, el relativo alto consumo específico de agua y el costo de la planta para el tratamiento de las aguas utilizadas. (Cenicafé, 2013c, p.34)

3.2.3.1.4 Becolsub.

El desarrollo de la tecnología para el desmucilaginado mecánico con muy poca agua dio origen a la tecnología Becolsub, lo cual consiste en procesos en que se integra el despulpado del café sin agua y la remoción mecánica del mucílago del café (Apéndice 4). La alta concentración de mucílago y la viscosidad de la mezcla mucilago-agua, permiten que durante el transporte en un tornillo sinfín se promueva una retención del fluido superior al 50%, lo que hace posible mayor control de la contaminación generada en el proceso con Becolsub, además el consumo específico de agua se disminuye a 1,0 l.kg⁻¹ c.p.s. (Cenicafé, 2013c, p.30)

3.2.3.1.5 ECOMILL®.

La tecnología desarrollada por Cenicafé para remover el mucílago degradado en proceso con fermentación natural con empleo de enzimas pectinolíticas y con bajo impacto ambiental (Apéndice 5). La remoción del mucilago degradado presente en el café al inicio del lavado con los equipos es superior al 95%. Además, el consumo específico de agua varía entre 0,34 y 0,50 l.kg⁻¹ de c.p.s., el cual notoriamente inferior al consumo que se obtienen con las otras tecnologías utilizadas en Colombia para retirar el mucilago. Sin embargo, debido a lo anterior la carga orgánica de las mieles producidas también aumenta, por lo cual se deben manejar o tratar para evitar la contaminación de las fuentes de agua. (Cenicafé, 2013c, p.34)

3.3 Cambio Climático

La disponibilidad de los recursos hídricos en el mundo representa un limitante para la agricultura en muchas regiones, dadas las épocas marcadas de lluvia o sequía, por lo cual se acostumbra a realizar las labores de siembra siempre en los mismo meses para aprovechar el agua disponible, sin embargo la variabilidad climática y el cambio climático afectan este sistema dados los efectos

que generados por la variabilidad interanual, como lo son los fenómenos del Niño y la Niña y la variabilidad interdecadal en donde se producen fluctuaciones del clima a nivel de las décadas (IDEAM, 2014b), como resultado las condiciones climáticas son impredecibles, los métodos tradicionales se vuelven ineficaces.

Dentro de este contexto según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), el cambio climático es: un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable. Esto es el reflejo del interés sobre este tema a nivel mundial desde finales del siglo pasado y desde entonces se ha implementado diferentes estrategias para frenar los daños ocasionados por el cambio climático.

Dentro de los efectos producidos por el cambio climáticos, según la FAO (2018) a nivel mundial la productividad agrícola se ve afectada de forma directa o indirecta por los cambios en los regímenes de precipitación que pueden producir las sequías e inundaciones, mientras por otro lado la variación de la temperatura puede redistribuir las geografía de las plagas y enfermedades, estos son solo algunos de los problemas que deben enfrentar los gobiernos y las entidades en esta nuevo siglo, por lo cual se necesita que cada región y país este a la vanguardia en temas de cambio climático.

Por ejemplo, en Colombia según el Ministerio de ambiente (2018b) se espera que en la zona costera aumente las amenazas de inundaciones sobre las zonas agrícolas, industriales y viales, además el incremento de las precipitaciones puede causar daños irreversibles en los ecosistemas acuáticos y en las cuencas o riveras las avalanchas son un gran riesgo para la agricultura y para la ganadería, otro aspecto que se ve afectado es el régimen hídrico los cuales influyen directamente en la economía, población y el ambiente natural, finalmente la disminución de las coberturas glaciales y por ende la disminución de la disponibilidad hídrica en la cuencas de las cuales se abastecen gran parte de la población en Colombia. Teniendo en cuenta que las consecuencias del cambio climático afectan en mayor medida a habitantes de cada región, es necesario contar con planes y estrategias acordes con los nuevos cambios que se presentan en el mundo para estar preparados para enfrentar cualquier escenario que se avecine.

3.3.1 Escenarios del cambio climático.

El uso de escenarios se originó en la planificación militar y a principios de 1960 se amplió en sector público, cuyo principal no es predecir el futuro, más sí entender las incertidumbres con el fin de llegar a decisiones que sean robustas en una amplia gama de posibles futuros. Por lo tanto, en las últimas décadas la comunidad científica también desarrollo y utilizo escenarios para comprender las interacciones del sistema climáticos terrestres, los ecosistemas y la actividad humana, y con cada escenario se refleja una imagen alternativa de como el futuro puede revelarse (IPCC-DDC, 2013). Sin embargo, con la inmensa cantidad de escenarios que pueden generarse, la agrupación de los escenarios en familias fue de gran importancia para establecer el alcance y las repercusiones de cada uno de ellos, en donde las tendencias de producción y el desarrollo tecnológico fueron las principales características para esta clasificación.

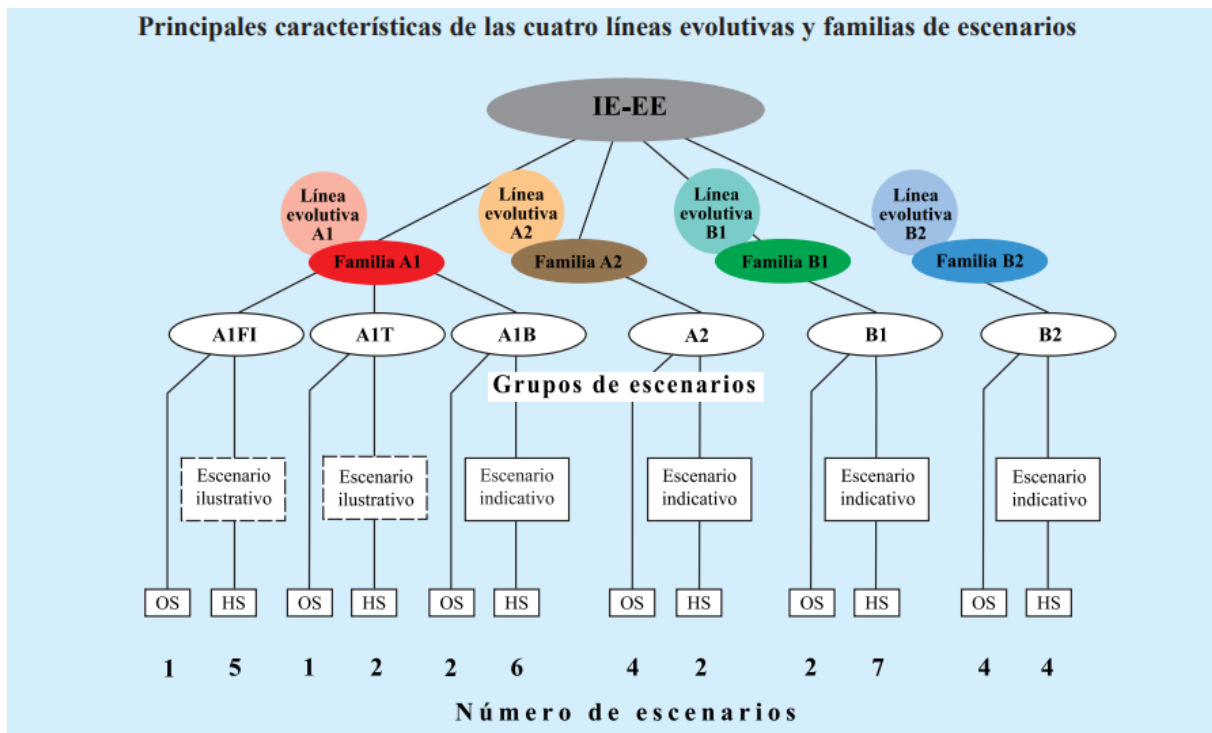


Figura 1: Ilustración esquemática de los escenarios IE-EE.

Fuente: IPCC. 2000

Las familias de escenarios fueron creadas a partir de 4 líneas evolutivas, cada una de ella fue denominada de la siguiente forma A1, A2, B1 y B2, de los cuales se desprenden 3 grupos de la familia A1, y un grupo de cada una de las familias A2, B1 y B2 (Figura 1), dentro de cada familia los supuestos armonizados sobre la población mundial y la energía final se marcan con

las letras “HS” y los supuestos que explorar incertidumbres mas allá de los supuestos armonizados se marcan con las letras “OS”.

Según el IPCC (2000) cada familia de escenario se caracteriza de la siguiente forma: La familia A1 describe un mundo con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su máximo hacia mediados del siglo y su disminución posterior, y una rápida introducción de tecnologías más eficientes, en cuanto a los grupos se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustible de origen fósil (A1FI), utilización de energía de origen no fósil (A1T) utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B); mientras la familia A2 describe un mundo heterogéneo, caracterizado por la autosuficiencia y la conservación de entidades locales, con una población en crecimiento continuo, en cuanto a la tecnología y economía se centran en las personas pero con un cambio más lento con respecto a las demás familias de escenarios; la familia B1 el crecimiento poblacional es igual que en el escenario A1 pero la economía se orienta hacia los servicios y la información y se introducen tecnologías limpias donde se aprovechan de forma eficaz los recursos encaminados al desarrollo sostenible en el mundo, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima; Finalmente la familia B2 predomina la sostenibilidad ambiental, económica y social a nivel local y la B1 a población aumenta a un ritmo menor que en A2, con un desarrollo tecnológico y económico menos diverso y lento con respecto a los demás escenarios y con tendencias a la protección del medio ambiente y la igualdad social. Lo anterior demuestra que los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático y para la creación de modelos del clima, los cuales son de gran importancia para la evaluación de los impactos, los planes de adaptación y las estrategias de mitigación.

3.4 Modelos Hidrológicos

La modelación hidrológica según el IDEAM, (2014a) es una herramienta de gran importancia utilizada en todo el mundo, especialmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea para alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias, o en la ordenación del territorio en torno a los ríos y cuencas.

3.5 Water Evaluation and Planning (WEAP)

El Stockholm Environment Institute's U.S. Center desarrollo el modelo WEAP, el cual es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos. Además, proporciona un marco amplio, flexible y fácil de usar para la planificación y análisis de políticas, y permite la generación de escenarios teniendo en cuenta los usos múltiples de los sistemas hídricos (SEI, 2018a).

3.5.1 Características.

Según el SEI (2018^a) el modelo WEAP ofrece, a través de una interfaz gráfica basado en SIG, una manera simple para construir, visualizar y modificar la configuración, y a continuación, se muestran las principales características:

- Sistema Integrado de Planeación de Recursos Hídricos.
- Incorporación de diferentes modelos: precipitación, escorrentía e infiltración, evapotranspiración, los requerimientos del cultivo y rendimientos, interacción agua superficial/agua subterránea y la calidad del agua dentro de la corriente.
- Capacidad para construir modelos con un número de funciones predefinidas.
- Ecuaciones y variables definidas por el usuario.
- Enlaces dinámicos a hojas de cálculo y otros modelos
- Estructuras de datos flexible y expandible.
- Sistema de reporte de gran alcance que incluye gráficos, tablas y mapas
- Ayuda Contextualizada y Guía del Usuario
- Generación de Escenarios con énfasis en el recurso hídrico.

4. Marco de antecedentes

A continuación, se menciona los antecedentes relacionados con los temas tratados en la presente monografía (Tabla 1).

Tabla 1.

Tabla de antecedentes.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES	
Revolución Verde 1950	La revolución verde: tuvo como finalidad generar altas tasas de productividad agrícola sobre la base de una producción extensiva de gran escala y el uso de alta tecnología, generando el uso intensivo de agroquímicos, fertilizantes y maquinaria agrícola, lo cual generó una explotación sin precedentes de los recursos naturales y la contaminación del medio ambiente (Ceccon, E., 2008)
Inicio de los SIG 1960	Entre los años 1960 y 1964 se desarrolló el Canadian Geographic Information System (C.G.I.S.), con el objeto de gestionar los bosques y superficies marginales de Canadá. En la misma década se desarrolló en el laboratorio de la Universidad de Harvard los sistemas SYMAP y GRID y la Universidad de Yale desarrolla el Map Analysis Package (MAP) de gran trascendencia posterior. En general, se caracterizan por ser sencillos y económicos. (Domínguez, 2000)
SIG 1970	En los años 70 el laboratorio de Harvard desarrolla ODYSSEY y hay que resaltar que buena parte de los investigadores de estos laboratorios son los responsables del desarrollo y auge en los años 80 de los SIG entendidos como productos industriales. (Domínguez, 2000)
Modelo Weap 1988	el Modelo Weap fue creado en 1988, con el objetivo de ayudar a planear de forma integral y evaluar el manejo del recurso hídrico y permitir explorar una infinita gama de escenarios a futuro. Siendo esta herramienta una contribución importante para la gestión del recurso hídrico a nivel mundial (SEI, 2018b)
Uso del modelo Weap 1989	El modelo Weap fue usado por primera vez en la región del Mar Aral (Asia Central) en 1989 con el patrocinio del recién formado Stockholm Environment Institute (SEI), más adelante se reportaron trabajos en Rusia, Asia, África, Estado Unidos, México y Chile. (SEI, 2018b).
Convenciones y Acuerdos	
1990	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD): donde se confirma la preocupación por el medio ambiente y sus habitantes, además se decidió la adopción del Programa 21 (FAO, 1996).
2000	Objetivos de Desarrollo del Milenio: los cuales consistían en 8 metas en donde la salud, igualdad, equidad de género, educación y sostenibilidad ambiental, entre otros, cuya fecha límite era el año 2015, donde se realizó un monitoreo a los países en vía de desarrollo

	con el fin de poder cumplir al ciento por ciento con dichas metas, sin embargo, desde el inicio se sabía que la implementación de estrategias y proyectos para lograrlo y el proceso de adopción sería lento y dispendioso. (CEPAL, s.f.).
2015	Agenda 2030: en el 2015, las naciones se prepararon para enfrentar un planeta con nuevos problemas y desafíos, por lo cual se planteó la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la cual incluye “17 Objetivos, con una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. pone la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente.” (CEPAL, 2018. p. 7),
FAO 2016	Según la FAO, la agricultura es un sector altamente vulnerable a los efectos del cambio climático dado que la variación de temperatura y el aumento o disminución de la precipitación puede alterar las épocas de cultivo e incluso las zonas de producción, o en casos extremos alterar los ciclos de las plagas y enfermedades, lo cual traería como consecuencia producir menos alimentos y a la vez usar más recursos, además de ser una actividad esencial para el ser humano también es el sector que más consume agua en el mundo y es necesario enfocar las acciones a una producción más sostenible en donde se integre tanto el sector ambiental, económico y social (2016a).
FAO 2017	Según el Director General de la FAO, José Graziano da Silva, se debe transformar los actuales sistemas agrícolas y alimentarios, apoyando a los pequeños campesinos y a los agricultores familiares, reduciendo el uso de plaguicidas y productos químicos y mejorando las prácticas de conservación de la tierra, además la intensificación masiva de la agricultura contribuye al aumento de la deforestación y la escasez de agua, del agotamiento del suelo y del nivel de emisiones de gases de efecto invernadero. Porque hoy en día, es fundamental no sólo aumentar la producción, sino hacerlo de manera que no se perjudique al medio ambiente. (FAO, 2017, parr. 1-4)
NACIONALES	
2009	En Colombia los primeros trabajos importantes en donde se usó el programa Weap fueron realizados por Ospina Noreña, Gay García, Conde y Magaña en el año (2009), donde se estudió la vulnerabilidad de la cuenca Sinú-Caribe y se realizaron simulaciones teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático y los efectos sobre la generación de energía hidroeléctrica en la región, y el trabajo realizado por Ospina Noreña, Gay García, Conde también en el año 2009,
2014	Más adelante Cusgüen Castro en el año 2014, implemento el programa para evaluar los efectos del cambio climático sobre la calidad del agua, del estudio se concluyó que los escenarios de cambio climático si influyen de manera tanto positiva como negativa sobre la calidad del agua (Cusgüen Castro, 2013).

5. Marco normativo

A continuación, se menciona la normatividad implicada en los temas tratados en la presente monografía (Tabla 2).

Tabla 2.

Normatividad Internacional, Nacional y Regional.

Normatividad	
Internacional	
Acuerdo de París	Art 2: Reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello se debe mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales. (UNFCCC, 2015, p24)
Objetivos del Desarrollo Sostenible	<p>Objetivo 6- agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. e implementar la gestión integrada de los recursos hídricos (Naciones Unidas,2016, p.20)</p> <p>Objetivo 13 Acción por el Clima: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. e Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales. (UN, 2016, p.33).</p> <p>Objetivo 15 Vida de Ecosistemas Terrestres: Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica. (UN, 2016, p.37)</p>
Nacional	
Constitución Política de Colombia 1991	<p>Art 79 Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. y garantizar la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.</p> <p>Art 80 El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.</p>
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 373, 1997	<p>Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.</p> <p>Art 1: 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 recurso hídrico.</p>
Decreto 1729, 2002	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1640, 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 298 de 2016	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones
Regional	
Decreto No 0489 de 2016, Huila	Por el cual se conforma la mesa temática para la verificación, promoción, conservación y discusión de la protección del medio ambiente, agua y territorio

6. Metodología

Para la monografía se usó una metodología de compilación con un enfoque cualitativo (según Sampieri, Fernández & Baptista, 2010) adaptado para realizar el análisis de las experiencias encontradas del uso del modelo WEAP en la simulación de escenarios de cambio en la disponibilidad del recurso hídrico. Dentro de este contexto se utilizaron 4 etapas para filtrar la información y alcanzar los objetivos fijados por el autor.

ETAPA 1, Recopilación: consultar, y encontrar materiales útiles para investigar y extraer información relevante para el estudio, mediante la búsqueda y análisis de documentos en medios tanto físicos como virtuales, y encontrar bibliografía que conduzca a casos que se relacionen de manera estrecha con los objetivos.

De acuerdo con lo anterior la metodología se enfocó en el análisis de información secundaria obtenida de diversas fuentes de información secundaria como los son revistas, entidades, organizaciones e instituciones tales como: Agrofaz, Aqua-LAC, Avances en Recursos Hidráulicos, Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, Gobernación del Huila, Cenicafé, Ideam, Mett Office Hadley Center, ONU, UNESCO ,Universidad de Chile, Universidad Lasallista, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad de Cuenca, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Escuela Politécnica Nacional, Universidad Católica de Colombia, Universidad de la Salle.

ETAPA 2, Delimitación de la Información: se establecen las características necesarias para realizar las selecciones de documentos, y se usa un filtro para delimitar la información y una clasificación para asegurar un buen análisis de la información.

- a. **Filtro: Disponibilidad de la Información por país:** para categorizar la información primero se establece el tipo de información con la que cuenta cada país, y para clasificar la información se usa una escala del 1 al 6 para establecer en nivel de relevancia de la información encontrada.

- 1- Documento
- 2- Informe
- 3- Artículo
- 4- Tesis
- 5- Libros
- 6- Sitios web

- b. **Clasificación:** Luego de filtrar los estudios de caso según el ítem anterior, se procede a usar la clasificación establecida por Caldas, la cual es aplicada al trópico americano, basando en la temperatura con respecto a su variación altitudinal (IGAC 2014), a continuación, se muestra la clasificación:

Cuadro 1.

Clasificación Climática de Caldas

Piso térmico	Rango de altura en metros	Temperatura en °C	Variación altitudinal por condiciones locales
Cálido	0-1000	T > 24.0	Límite superior +/- 400 mt
Templado	1001-2000	17.6 - 24.0	Límite superior +/- 500 mt Límite inferior +/- 500 mt
Frio	2001-3000	12.1 – 17.5	Límite superior +/- 400 mt Límite inferior +/- 400 mt
Paramo bajo	3200-3700	7.1 - 12.0	
Paramo alto	3701-4200	< 7.0	

Fuente: Instructivo de Zonificación Climática, IDEAM, 2014

Además de esto se tuvo en cuenta que los diferentes cultivos pueden ser sembrados solamente en ciertos rangos altitudinales, de temperatura y precipitación, entre otros factores determinantes, se decidió a agrupar los estudios de caso de la siguiente manera

Grupo A: 0 m.s.n.m.-1000 m.s.n.m.

Grupo B: 1001 m.s.n.m.-2000 m.s.n.m.

Grupo C; 2001 m.s.n.m.-3000 m.s.n.m.

Grupo D: 3001 m.s.n.m.-3700 m.s.n.m.

Grupo E: 3701 m.s.n.m.- >

ETAPA 3, Análisis de la información: se lee detalladamente la información filtrada y clasificada, para ofrecer un punto de vista objetivo, para lograr esto se realizar un análisis de 4 factores que brindaran los diferentes puntos de vista de los sectores involucrados en el uso de recurso hídrico:

1. Factor ambiental.
2. Factor agrícola.
3. Factor social.
4. Factor económico.

Finalmente, hay que dejar en claro que en la realización del tercer objetivo se realizó un análisis de las circunstancias presentadas en el estudio de caso Modelación Hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos, con el fin de hacer inferencias sobre los resultados y los posibles escenarios generados en el estudio relacionado con el establecimiento del cultivo del café en las condiciones de los escenarios de cambios establecidas en dicho estudio para los periodos de modelación al 2050.

ETAPA 4, Elaboración: Redactar un documento con la información obtenida y el análisis realizado de cada caso, para que posteriormente sea usado y consultado por terceros. Se espera que las experiencias presentadas aquí sean un referente para varias zonas en el mundo y para permitir un análisis de comparación de todas ellas

7. Resultados

7.1 Objetivo 1

- Identificar la metodología para la implementación de la modelación y simulación en el programa weap

Según el Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, el Stockholm Environment Institute, (2009) en la Guía Metodológica Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo Weap, cuando se quiere desarrollar un proyecto haciendo uso del modelo WEAP generalmente se incluye las siguientes etapas:

- 1- la definición del estudio en donde se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.
- 2- Búsqueda de información, en esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido y generalmente se realiza en dos partes: primero se recolecta los datos generales, y a continuación se recolectan los datos específicos cuando ya se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.
- 3- El desarrollo del modelo construye el esquema, en donde se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales del modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.
- 4- Calibración y Validación: Aquí se desarrolla una caracterización de la oferta y demanda actual del agua, los recursos y las fuentes para el sistema.
- 5- Uso del modelo y generación de escenarios se realiza una vez que el modelo está calibrado y se pueden explorar los impactos que tendría una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, como clima y aumento de población, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua e hidrología.

Con base en otros estudios realizados se identifica que el weap es una herramienta de gestión, porque permite un proceso metodológico amigable con el planificador, como se lo evidencia en el cuadro 2, a continuación:

Cuadro 2.

Resultados del objetivo 1

Estudio	Resultados
<p>Sánchez <i>et al.</i> (2008)</p>	<p>En su estudio usan la metodología mencionada anteriormente, además solamente usaron la información del año 2005 como año base y realizaron una simulación a 10 años, la etapa de calibración y validación no está descrita en el estudio, pero ellos mencionan que los resultados obtenidos de precipitación y demanda de agua publicados por CONAGUA (2006) se ajustan a los simulados por modelo Weap, por lo cual ellos pueden considerar esto como una especie de validación de sus resultados. Hay que resaltar que el estudio fue publicado como un artículo y no describe detalladamente la metodología por lo cual no se puede realizar un análisis completo de ella. Finalmente cabe mencionar que ellos no hacen uso de ningún coeficiente para comparar los datos reales con los simulados y al usar el Modelo Climático Regional HadRCM, trae como consecuencia que no se cuenta con historial para verificar los resultados, por lo tanto, escenarios simulados no contarían con la precisión necesaria para la toma de decisiones importantes a futuro.</p>
<p>Huertas, Clases, Bello y Chalas. (2014)</p>	<p>En su estudio se observan las 5 etapas para el uso de modelo, incluso mencionan las visitas a campo para la obtención de datos faltantes y la corrección de algunos, también hay que mencionar que para la calibración usaron el periodo 1968 a 1998 obtenido de las estaciones y realizaron un escenario a largo plazo a 2050. Finalmente hay que mencionar que en este estudio el principal objetivo fue dar a conocer las estrategias de mitigación para el recurso hídrico y dada la extensión del documento la etapa de la metodología no está escrita en detalle, por último, hay que mencionar que no usaron ningún tipo de coeficiente para verificar la correlación de los datos, al igual que Sánchez <i>et al</i> (2008) en el anterior estudio.</p>
<p>Parra (2016)</p>	<p>En su tesis de implementación de modelo para determinar lo impactos del cambio climático, describe de forma detallada la metodología usada en el estudio, en donde recomienda usar un periodo de tiempo en donde la información disponible este completa para obtener mayor precisión en los resultados, en este caso se usó el periodo de 20 años (1988 a 2008) para la calibración y validación del modelo, la cual es menor a la usada por Huertas <i>et al</i> (2014) y mayor a la usada por Sánchez <i>et al</i> (2008). También se usó el modelo regional PRECIS-ECHAM para la obtención de los datos oficiales de escenarios de cambio climático en la zona y reducir la grilla de espaciamiento a 25 km lo cual permite obtener resultados a nivel diario y mensual, y así los resultados sean más específicos para la zona de estudio. También se realizaron tres pruebas para poder analizar los datos simulados vs los reales, estas fueron el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el sesgo porcentual (PBIAS) y la Raíz del error cuadrático medio, los cuales ayudan a verificar la correlación de los datos, la sobreestimación o subestimación de los datos y el ajuste del modelo, en este caso los resultados indican un buen ajuste al modelo</p>
<p>Duque Yanguache (2013)</p>	<p>En su estudio realizo las 5 etapas mencionadas anteriormente realizando una descripción detallada de la zona de estudio y un análisis sobre la problemática de la zona, además se usó la información de 1979 a 2000 como línea base, pero para la calibración y validación se usaron los periodos de 1986 a 2005 y 20005 a 2011 respectivamente, a diferencia de Huertas <i>et al</i></p>

	<p>(2014) y Parra (2016) donde usaron el periodo base para la calibración y validación.</p> <p>También hay que mencionar que al igual que Parra (2016) usaron el modelo regional PRECIS-ECHAM para obtener datos que se ajusten mejor a la zona de estudio, y usaron el coeficiente de Nash-Sutcliffe obteniendo como resultado un buen ajuste del modelo, permitiendo así que los resultados simulados sean lo más cercanos posibles a la realidad</p>
Pérez Hernández (2017)	<p>En su estudio uso el programa WEAP para conocer si un embalse puede satisfacer la demanda de una población en Cuba, pero a diferencia de los otros estudios solo realiza la simulación para un año (2017) y en este caso se realizó la definición del problema, recolección de datos y desarrollo del modelo, pero al igual que Sánchez-Treviño et al (2008) no realizo ni calibración ni validación del modelo, lo cual representa una incertidumbre con respecto a los resultados obtenidos por el estudio, pues no hay forma de saber si estos representan la situación real de la cuenca y la simulación generada no ayudaría en la planificación del recurso hídrico.</p>
Monteagudo 2017; Hernández 2017; Díaz 2017.	<p>Por otro lado, en el proceso de búsqueda de información se encontró el caso de tres estudios similares realizados en un mismo municipio en Cuba, pero para diferentes cuencas y cada estudio conto con algunas coincidencias y diferencias, por ejemplo:</p> <p>Los tres usaron la metodología descrita por Escobar and Vicuña, la cual describe las misma 5 etapas mencionamos al inicio y además el periodo simulado en los tres casos de 2010-2017, siendo este un periodo de tiempo muy parecido al usado por Sánchez-Treviño et al (2008) pero a diferencia de este y en concordancia con Parra (2016); Huertas et al. (2014); Duque (2013) usaron periodos de tiempo de 10 a 15 años para la calibración y validación.</p> <p>Por último, en los tres estudios se realizaron pruebas como el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y el BIAS obteniendo un buen ajuste del modelo en todos los estudios.</p> <p>Las diferencias encontradas en cada uno de los estudios radican en los escenarios generados, pues para cada cuenca hay diferentes condiciones sociales y económicas y en el análisis de los resultados obtenidos.</p> <p>Hay que resalta que en los 4 estudios encontrados en cuba no se hace uso de escenarios de cambio climático como tal (A1, B2, entre otros), pero hacen uso de escenarios de precipitación para el análisis de los resultados.</p>
Becerra Valladares (2010)	<p>En este estudio se utilizó la metodología citada anteriormente obteniendo la información de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la zona de estudio y realizando la calibración, validación y las pruebas de correlación, pero el inconveniente fue la falta de estaciones en las zonas del glacial, por lo cual tuvo que recurrir al uso de bandas de altura para determinar la temperatura y la precipitación en esta zona, lo cual puede ocasionar sobreestimación de los resultados, por lo cual se recomienda usar factores de corrección para obtener datos confiables.</p> <p>Además, en este estudio también utilizo el modelo regional PRECIS simulando el periodo 2071 -2100, y utilizando el escenario A2 y los escenarios de año húmedo, normal y seco sobre la influencia del glacial en la cuenca.</p>
Escobar, Lima, Purkey, Yates y Fomi (2013)	<p>En este estudio se presentó una situación muy particular porque usaron el programa WEAP en conjunto con el modelo gradomes Ice-KISS el cual ayuda a medir la extensión de la superficie glacial y aporte de agua a la cuenca, manifestando que el modelo es dinámico y permite la integración con otros modelos, esto también lo demuestra Jaramillo et al (2016),“La cuenca como unidad de análisis representa un sistema complejo, que mediante la integración de los modelos WEAP y QUAL2K puede ser analizada de forma sistémica.” (p. 10). Dando como resultado mayor precisión a la hora de tomar decisiones y desarrollar estrategias para la mitigación de los problemas presentes en la cuenca</p>
Lema	<p>En el estudio realizado en Ecuador utilizaron la metodología mencionada al inicio, pero ellos se enfrentaron a diferentes</p>

<p>Changoluisa y Plaza Quezada (2009)</p>	<p>problemas durante el desarrollo del trabajo, por ejemplo: En la segunda etapa donde se recolecta la información encontraron algunas estaciones donde faltaban datos en el registro y en algunos casos había un solo dato por mes, por lo cual para rellenar los datos usaron el método de curva de doble masa, en donde se usan datos de una subcuenca para completar los de otra, lo cual genera que el modelo arroje datos poco precisos y/o erróneos. El siguiente problema encontrado fueron los resultados de los coeficientes de correlación en la calibración y validación, siendo estos muy desfavorables para el estudio y en consecuencia decidieron modificar algunos de los parámetros de suelo usados en la calibración y realizaron hasta 10 pruebas en la calibración y 6 en la validación para lograr obtener resultados favorables, y a diferencia de los trabajos anteriores ellos determinan el comportamiento hidrológico de la cuenca con los escenarios A1 y B2 del modelo regional PRECISI-ECHAM para el periodo 1986-2005. Finalmente, en este estudio recomiendan realizar la calibración con un periodo no mayor a tres años para obtener resultados más precisos, contradiciendo lo recomendado por Huertas et al. (2014), Parra (2016) Duque Yanguache (2013) Becerra Valladares (2010) y Escobar et al. (2013) donde afirman que para la calibración y validación es necesario usar series de tiempo entre 10 y 20 años para obtener mejores resultados.</p>
<p>Mena Pardo (2009) y Villa Olivares (2013)</p>	<p>En los estudios realizados en Chile demuestran el uso de las cinco etapas mencionadas al inicio, completando la formulación del problema, la recolección de datos, desarrollo del programa, calibración y validación, y la generación de escenarios sin ningún inconveniente y obteniendo resultados favorables en los índices de correlación. Al igual que estudios anteriores usan el modelo regional PRECIS para mejorar los resultados obtenidos en la simulación, sin embargo Mena Pardo (2009) “menciona que el escenario base del modelo regional corresponde al periodo 1960-1990” (p. 44), lo cual trae como consecuencia que los resultados obtenidos dada la sobreestimación de los caudales generados y genera inconvenientes al momento de desarrollar el modelo, lo cual no es mencionado en ninguno de los estudios donde también usan este modelo regional. Sin embargo, en la Página oficial del modelo, mencionan que “hay una nueva versión (PRECIS 2.0) lanzada en 2016, y las actualizaciones incluyen modelos más rápidos con nuevos GCM y otras mejoras” (Met Office Hadley Center, 2017, párr. 2), esto abre la posibilidad de que alguna de las mejoras realizadas sea una ampliación en el periodo del escenario base y brindar más precisión al momento de usar el modelo para la generación y análisis de escenarios de cambio climático en el futuro.</p>
<p>Reyes Benavides (2012)</p>	<p>En el estudio realizado en Chile aplico las 5 etapas mencionadas anteriormente, sin embargo, su mayor inconveniente fue completar la información necesaria para desarrollar el modelo usando gradiente de temperatura y precipitación, lo cual trae como consecuencia la obtención de escenarios sobreestimados los cuales son poco confiables para tomar decisiones. además de esto la mayor diferencia con los estudios anteriores es el uso del modelo ECHAM5 y no el modelo PRECIS, aunque los dos son modelos regionales que permiten trabajar el modelo Weap a escala diaria por lo cual brinda mayor ajuste en la zona de estudio. Otro aporte del estudio es la modificación de algunos parámetros de suelo en el modelo lo cual influye directamente en el resultado de los coeficientes de correlación (NS), al igual que lo reportado por Lema Changoluisa y Plaza Quezada (2009), indicando la sensibilidad del modelo, causada por la alteración o modificación de los parámetros en el modelo, y como consecuencia en este caso no mejoro los coeficientes si no por el contrario arrojó resultados desfavorables para el estudio.</p>
<p>Ovalle,</p>	<p>En este estudio se desarrollan las 5 etapas para aplicación del modelo WEAP, pero en este caso los autores en la segunda etapa</p>

<p>Mayorga y Londoño (2015)</p>	<p>decidieron realizar encuestas para obtener información detallada del sector socioeconómica, ambiental y cultural, lo cual permitió realizar un análisis más detallado dentro de la investigación, y al igual que Sánchez et al (2008) usan como año base el 2005 y además no mencionan los periodos usados para el proceso de calibración y validación, Para la generación de escenarios se basó en la asignación de recursos teniendo en cuenta la prioridad, el balance hídrico y el cambio climático, sobre la posibilidad de presentación de un año húmedo, medio y seco, escenarios muy parecidos a los utilizados en cuba (Monteagudo,2017; Hernández, 2017; Díaz, 2017). Además, al igual que en los estudios anteriores también utilizo los índices en la calibración y validación con lo cual se obtiene un buen ajuste del modelo, pero una sobre estimación del caudal.</p>
<p>Flores Marin (2014)</p>	<p>Este estudio contiene una caracterización completa y detallada de la cuenca de estudio y cumple con las cinco etapas necesarias para la aplicación del modelo WEAP. además también menciona la integración del modelo con la metodología de Gestión integrada de los Recursos Hídricos en cuencas, implicando la participación de diferentes actores dentro de la cuenca como lo es las entidades ambientales, los organismos del estado y la misma comunidad para determinar la distribución del recurso hídrico en la cuenca, esto está acorde con la definición de la GIRH brindada por la ONU en donde se determina que “Es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (ONU-Water, 2014, párr. 7), como consecuencia nos brinda herramientas a la comunidad y el estado para mejorar la calidad de vida y hacer más eficiente y productiva la agricultura y economía de la zona.</p>
<p>Castro Giraldo (2014)</p>	<p>Finalmente en el estudio realizado por realizado en Colombia, desarrolló las 5 etapas encontrado un problema ya reportado anteriormente por Lema Changoluisa Y Plaza Quezada (2009), en donde la falta de datos en las estaciones perjudica los resultados obtenidos, generando sobrestimación del caudal al momento de aplicar el modelo, para estos casos Esquivel Arriaga et al (2013) recomienda utilizar el generador climático ClimGen, para completar la información mensual de las variables de temperatura y precipitación, o utilizar los métodos para completar los datos mencionados anteriormente, además en este estudio no se reporta el uso de coeficientes que determinen el ajuste del modelo y la relación de los datos simulados vs reales al igual que Sánchez et al (2008) y Huertas et al (2014), esto está en desacuerdo con lo dicho por Sánchez et al, 2011 (citado por Esquivel Arriaga et al, 2013 p. 115) “En modelación hidrológica, durante el proceso de calibración, el contar con el análisis de sensibilidad del modelo usado coadyuva a dirigir la modificación de parámetros de manera certera y eficaz restando tiempo de análisis”. Demostrando que los estudios donde se usan los índices pueden realizar un análisis más certero de la situación simulada en la cuenca. Finalmente al igual que el Flores Marin (2014) su objetivo fue utilizar el modelo para integrarlo con la GIRH en la zona, cuyos escenarios fueron la implementación del caudal ecológico y el monitoreo a las concesiones otorgadas para acueducto y distritos de riego, de esta manera brinda otra perspectiva de los usos y herramientas que tiene disponible el modelos WEAP.</p>

Para acabar como comentario final, hay que destacar que cada autor(es) trabajaron con la información y recursos disponibles en su país o zona de estudio por lo cual la aplicación de las cinco etapas mencionadas al inicio solo es una guía la cual puede ser modificada de acuerdo a las condiciones que cada caso presente, por lo cual no hay que desmeritar los resultados obtenidos en cada uno de los trabajos mencionados anteriormente, por otro lado también hay que considerar que a medida que pasa el tiempo la tecnología mejora ofreciendo la oportunidad de aumentar la

exactitud de los datos obtenidos y por lo tanto de los resultados y recomendaciones que genere.

7.2 Objetivo 2

- Comparar experiencias desarrolladas en Weap en la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en Latinoamérica (Suramérica)

Con base a la información secundaria encontrada y analizada, a continuación, se presentan las experiencias desarrolladas en weap en la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico.

A continuación, daremos a conocer el objetivo de cada estudio, los datos relevantes de la metodología, los resultados obtenidos de cada trabajo y finalmente se dará a conocer un análisis comparativo de los trabajos de cada grupo, teniendo en cuenta la clasificación establecida por Caldas basada en la temperatura y la variación altitudinal, lo cuales son importantes para determinar el tipo de cultivo que se puede establecer en el área y las respectivas practicas a realizar, finalmente se describe como están conformados cada grupo:

- Grupo A de 0 m.s.n.m.-1000 m.s.n.m.: Duque Yanguache L.F. (2013), Pérez Hernández N. (2017), Monteagudo A. (2017), Hernández Camps R. (2017), Díaz García R. (2017).
- Grupo B de 1001 m.s.n.m.-2000 m.s.n.m.: Mena Prado D.I. (2009), Castro Giraldo N.L. (2014), Flores Marín M.A. (2014).
- Grupo C de 2001 m.s.n.m.-3000 m.s.n.m.: Villa Olivares E. A. (2013), Reyes Benavides C.A. (2013), Ovalle Cifuentes *et al* (2015).
- Grupo D de 3001 m.s.n.m.-3700 m.s.n.m.: Sánchez *et al* (2008), Huertas *et al* (2014), Parra M. (2016).
- Grupo E de 3701 m.s.n.m.- >: Lema Changoluisa y Plaza Quezada (2009), Becerra Valladares R.A. (2010), Escobar *et al* (2013).

Cuadro 3.

Resumen de los estudios de caso del grupo A, de 0 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m.

TITULO – AUTORES – AÑO	LOCALI-ZACION	MODELO	RESULTADOS
Análisis De La Vulnerabilidad Y Medidas De Adaptación De Un Proyecto De Regadío Frente Al Cambio Climático. Caso Proyecto Lonquén. 2013 Duque Yanguache, L., F.	Chile, Región Biobío, Provincia de Ñuble, Río Lonquén Área: 1177 km2 Altura: 173 m.s.n.m. T:12°C P:1000-3000	Modelo usado en el trabajo fue el PRECIS-ECHAM (regional) además, se simularon diferentes escenarios teniendo en cuenta el cambio climático Escenarios, variación en la demanda, superficie de riego y la capacidad del embalse. Para el periodo 2012-2079)	Los resultados obtenidos en el estudio son los siguientes: La demanda aumenta 4,5%, es decir 0,88 Hm3. la precipitación disminuye 20,3% (167.mm), el Caudal medio anal disminuye 37%, (1,1 m3/s), la evaporación aumenta 1,2% y la temperatura aumenta 0,6°C Escenarios (capacidad útil del proyecto (Ca); la seguridad de riego (SR)) En la actualidad el área de riego (AR) es de 2315 ha, la capacidad útil (Ca) del proyecto es de 40,9 Hm3 y la seguridad de riego (SR) es de 86,08% Si hay variación en la demanda el Ca aumenta, el SR varía un punto Si se modifica la superficie de riego baja el AR y el Ca, y el SR permanece igual Si hay variación del embalse se mantiene el AR, baja el Ca y sube el SR Demanda Satisfecha: disminución del área de riego para alcanzar un SR de 100%, en este caso el escenario con menor disminución son los ECCY ECC7, los demás están por encima del 20% y 30%
Aplicación del modelo WEAP para obtener una política de operación óptima de un sistema de embalses. 2017 Pérez Hernández, N.	Cuba, Provincia Santiago de Cuba, Santiago de Cuba Área: 5 embalses Altura: 300-2000 m.s.n.m. T: 25.2°C P:1278 mm	En este estudio se aplicó el modelo weap con el fin de simular las condiciones en un embalse (volumen y demanda) a lo largo de un año (2016) y además se realizó una comparación con el Modelo weap HEC-PRM	Los resultados obtenidos por el estudio fueron: Los embalses alcanzan sus mayores volúmenes de almacenamiento entre jun-nov, pero en abril los embalses alcanzan su menor volumen Uso del sistema de trasvase en el periodo seco, cumpliendo así la primera premisa. El índice de la satisfacción de la demanda obtenida para los usuarios está por encima del 90%, cumpliendo así el segundo objetivo. La comparación entre los dos modelos da como resultado valores similares en la entrega neta, volúmenes,
Calibración del modelo WEAP como herramienta de planificación hidrológica en la	Cuba, provincia de Pinar del Río, municipio Los Palacios, cuenca Bacunagua.	En este estudio los escenarios de precipitación usados fueron: Año húmedo (25%); Año medio (50%); Año	Los resultados obtenidos en el estudio son: -Balance Oferta-demanda: ninguno de los escenarios la demanda fue satisfecha completamente. En el cultivo de arroz en ningún mes se satisface completamente la demanda de riego. -Caudales por tramo de río: en jun y oct se observan diferencias, donde el año húmedo alcanza los mayores caudales (3 y 2,7 m3/s), el resto de los

<p>cuenca Bacunagua. 2017 Monteagudo Alberto. A.</p>	<p>Área: 153,25 km² Altura:0-500 m.s.n.m. T: 24,9°C P: 1353 mm</p>	<p>medio seco (75%); Año seco (95%) Y para estos escenarios se evaluó: - Balance oferta - demanda (2017) - Caudales por tramo de río. - Estado de las fuentes. - Gasto ecológico.</p>	<p>meses no se observan diferencias -Estado de las fuentes: en todos los escenarios el embalse se vacía completamente, dado que no existen políticas claras con respecto a su operación. -Gasto Ecológico: con prioridad 5 en el consumo agrícola se observa que en todos los escenarios en el mes de abril no será posible entregar el Q_{eco}, pero con prioridad 1 en el consumo agrícola se observa que en el año húmedo entrega el Q_{eco} es satisfecha en 100%, y en los otros años existen más déficit Se mostró que el modelo es capaz de representar la variación real de los volúmenes de agua del embalse en un 76%.</p>
<p>Calibración del modelo WEAP como herramienta para la planificación hidrológica en la cuenca Los Palacios- 2017 Hernández Camps, R.</p>	<p>Cuba, provincia Pinar del Río, municipio Los Palacios, cuenca los Palacios Área: 245,15 km² Altura: 125 T: 24,9°C P: 1353mm</p>	<p>En este estudio se definieron 4 escenarios de precipitación, los cuales fueron: Año húmedo (25%); Año medio (50%); Año medio seco (75%); Año seco (95%) Para los escenarios se evaluará -Balance Oferta-Demanda (2017) -Balance Oferta-Demanda de las empresas de arroz, considerando aumento y reducción de pérdidas y aumento el Reusó del agua -Caudal no Regulado -Balance de agua del embalse</p>	<p>Los resultados obtenidos en el estudio fueron los siguientes: -Balance Oferta-demanda: para un año 2017 medio seco de jul a oct se satisface 100% la demanda, el resto del año presenta déficit. -En un año medio seco: si hay +10% en las pérdidas significa un aumento de 9 MMC en la demanda, si hay -10% en las perdidas se tiene 4 MMC disponibles y si con el reúso de agua incrementa a 7MMC -Demanda no Cubierta (DNC): un aumento de las perdidas provoca un aumento de 2 MMC en la demanda, si las pérdidas se reducen la demanda se reduce 15MMC y si se incrementa el reúso del agua la reducción puede ser de 17 MMC -Esguerrimiento no Regulado (ENR): Para un año 2017 medio seco, el ENR es de 7,1 MMC en el periodo húmedo y de 0,22 MMC en el periodo seco, volúmenes que se pueden aprovechar para sembrar 504 ha de arroz. -Finalmente se demostró que el modelo es capaz de representar un 62% del ajuste observado</p>
<p>Calibración del modelo WEAP para la planificación</p>	<p>Cuba, Provincia de Pinar del Rio, Municipio Los Palacios,</p>	<p>En este estudio se definieron 4 escenarios de precipitación, los cuales fueron:</p>	<p>Los resultados obtenidos fueron: -Balance oferta-demanda: para todos los escenarios solo los meses de ene-mar y ago-oct la demanda fue satisfecha. En el año medio seco en primavera hay un déficit de 10,4 MMC y una</p>

<p>hidrológica de la cuenca San Diego. 2017 Díaz García, R.</p>	<p>Cuenca San Diego Área: 441,75 km² Altura:0-700 m.s.n.m. T:24,9°C P:1353 mm</p>	<p>Año húmedo (25%); Año medio (50%); Año medio seco (75%); Año seco (95%) Para los escenarios se evaluará: -Balance Oferta-Demanda (2017) -Estado de las Fuentes -Balance Oferta-Demanda en empresas de arroz (2017), considerando -Escorrentamiento no regulado y por tramo de río</p>	<p>cobertura del 51% -Estado de la fuente: en el escenario húmedo las demandas están cubiertas todo el año, mientras que en el año seco durante todo el año hay déficit -balance oferta oferta-demanda (arroz): entre 1250 y 5555 ha se ven afectadas por el déficit causado por la precipitación. Además, en un año seco se pueden producir pérdidas de hasta 6400 ton de arroz no producidas. Escorrentamiento no regulado y por tramo de río: para un año medio seco se podrían sembrar 788 ha de arroz en primavera y 714 de arroz frío Se demostró que el programa es capaz de representar en un 85% las variaciones del embalse</p>
---	--	--	---

7.2.1 Comparación de estudios de caso grupo A.

En este grupo se caracteriza porque todos los autores realizaron simulaciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico sobre un embalse, a corto y largo plazo con el fin de conocer las consecuencias de los escenarios planteados, sin embargo, hay que resaltar que solo Pérez Hernández (2017) realiza una comparación con otro modelo con el fin de velar los resultados obtenidos, mientras tanto Duque Yanguache (2013), se enfocó en establecer las consecuencias de los escenarios sobre la disponibilidad de agua dentro de un embalse, por otro lado Monteagudo Alberto (2017) analiza la priorización del recurso hídrico y el uso de caudales ecológicos en los escenarios con lo cual la planificación de siembra adquiere mayor importancia dentro del estudio, también Hernández Camps (2017) evalúa el aumento o disminución de pérdidas dentro de un sistema y analiza los efectos sobre el cultivo de arroz y medidas para reducir las pérdidas económicas que pueden generarse, Finalmente Díaz García (2017) utilizó escenarios de déficit hídrico sobre el cultivo de arroz para realizar recomendaciones para planificar las siembras de cultivo teniendo en cuenta la disponibilidad hídrica a lo largo del año y tomar medidas para reducir las pérdidas del cultivo

Como todo el mundo lo sabe el agua hasta hace unas décadas era considerada un recurso ilimitado y de libre uso, pero en la actualidad la meta de ahora en adelante es mejorar la eficiencia de los sistemas lo cual se logra con “El aumento de la productividad del agua, es decir, producir más cosechas por volumen de agua empleado. Esto es posible gracias a la combinación de un mejor control del agua, una mejor ordenación de tierras y mejores prácticas agrícolas.” (UNESCO. 2015. p.6). sin embargo como la distribución de agua alrededor del mundo no es equitativa en muchos países se sufre de escases, por lo cual se debe utilizar diferentes estructuras para disponer del agua en pro del desarrollo, así mismo en países como Cuba o en zonas donde no disponen de afluentes que representan una fuente de agua constante los embalses han proporcionado una solución al problema tal como lo describe Pérez Hernández (2017) donde la poca disponibilidad de ríos caudalosos en su país genera que el agua superficial necesaria para consumo humano y agricultura se obtenga a través del sistema de embalses que hay en Cuba,

sin embargo este tipo de estructuras son muy sensibles a los cambios climáticos y también se debe considerar los efectos secundarios generados por su construcción tal como lo describe Hernández Fernández (2002) estas estructuras pueden ocasionar un aumento en la temperatura del agua y un aumento en la evaporación con respecto a un río natural, además que

esto genera una inundación de cauces y valles afectando el territorio y los ecosistemas fluviales, estos efectos representan una nueva problemática teniendo en cuenta los efectos del cambio climático, los cuales pueden generar un aumento de temperatura y una disminución de la precipitación, lo cual influye directamente en el aumento en la evaporación y en el nivel de agua del embalse.

Por otra parte, los embalses “permiten tener una reserva de agua para su uso posterior y que el agua esté disponible en épocas en las que, en su ausencia, no estaría disponible, por lo tanto, se incrementan los recursos hídricos renovables y aprovechables.” (FAO, 2016b. párr. 1). Esto permite mayor disponibilidad del recurso hídrico beneficiando a diferentes sectores como la agricultura, en donde el agua es un recurso imprescindible para la producción de alimentos y según la UNESCO (2016) “se reconoce el papel del agua en la esfera laboral, el acceso de agua potable y el saneamiento facilita la creación de empleo y contribuye a tener plantillas en buen estado de salud, instruidas y productivas, necesarias para el crecimiento económico” (párr. 19), esto nos muestra la importancia de la planeación para usar y distribuir el recurso del cual depende en gran medida el desarrollo de la región e incluso del país,

Por otro lado, se considera un recurso susceptible la intervención antrópica y además paso a ser considerado no solo como un factor de producción, sino también como un activo financiero y eco social, esto causo que las naciones presten más atención la gestión y planificación de sus recursos hídricos aplicando políticas que aseguren el suministro y distribución equitativa en los diferentes sectores con el fin de alcanzar el desarrollo sostenible en su país (Olmeda Pascual, 2006).

Cuadro 4.

Resumen de los estudios de caso del grupo B, de 1001 m.s.n.m. a 2000 m.s.n.m.

TITULO – AUTORES - AÑO	LOCALIZACION	MODELO	RESULTADOS
Análisis De Impactos Del Cambio Climático En La Cuenca Andina Del Río Teno, Usando El Modelo Weap. 2009 Mena Prado, D., I.	Chile, Séptima región del Maule, Ciudad de Curicó, Cuenca Río Teno Área: 1203,8 km ² Altura: 668- 2650 m.s.n.m T:13-15 °C P:700-1500 mm	Modelo regional PRECIS y evaluación de escenarios A2 Para este escenario se evaluará: Estrés hídrico Meses con déficit Análisis de Q Tipo de régimen	Los resultados obtenidos son: Estrés hídrico: se observa un aumento para el periodo 2036-2065 y se agudiza para el periodo 2071-2100 En la actualidad el déficit es de 2%, para el periodo 2036-2065 aumenta a 12% y para el periodo 2071-2100 llegaría al 25%. Análisis de Q: Los meses que presentaron las mayores Caudales en la actualidad fue Nov y Dic con 56%, para 2036-2065 fue Nov con 89% y para 2071-2100 fue Nov con 79%. El régimen de la cuenca se mantiene, pero aumenta la variación de periodo de lluvias. También se apunta a una baja de los recursos hídricos cercana al 30% para el periodo 2036-2065 y de un 40% para el periodo 2071-2100 Finamente, se registra una disminución de la precipitación de 26% y 35% y un aumento de la temperatura de 0,5 y 1,3 °C para cada periodo respectivamente,
Implementación Del Sistema De Modelación Weap Como Herramienta Para La Gestión Integral Del Recurso Hídrico En La Vereda La Bella. 2014 Castro Giraldo, N., L.	Colombia, Risaralda, Pereira, Vereda La bella, Área:435,8 ha Altura: 1550-1950 m.s.n.m. T: 13,8-15,8°C P: 90-2830 mm	Para este proyecto se generaron cuatro escenarios diferentes: Calibración Caudal ecológico Regulación de captaciones San pablo Reducción de concesiones	Los resultados obtenidos fueron los siguientes: -En el escenario de calibración hay una marcada diferencia en el caudal -Acueducto: en jul-ago no puede cubrir la demanda con la concesión otorgada de 8,5l/s -Distrito de riego: no se puede proveer la cantidad otorgada de 30 l/s (Q _{eco}), presentando déficit de ene-feb y de jul a sep, siendo la época se sequia critica en la región -Regulación de Captación San Pablo: solo se deben tomar 8,5 l/s para no exceder el límite otorgado en la quebrada, pero de acuerdo con esto en el acueducto se evidencia que la demanda insatisfecha aumenta al 90%. -Caudales ecológico: si se implementa los Qeco se aumenta la demanda insatisfecha, pasando de 3,6 l/s a 11 l/s en julio y hay meses en donde la cobertura seria de 0% -Reducción de pérdidas: si se disminuyen las perdidas aumenta la cobertura en la demanda
Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos, De La Cuenca Hidrológica Del Río Papagayo, Estado De Guerrero. 2014 Flores Marin, M., A.	México, Estado de Guerrero, Cuenca del Río Papagayo. Área: 7526,24 km ² Atura: 50-2000 T: 16-28 P: 1403 mm	Para este estudio se usaron los escenarios RCP6,0 Y RCP8,5 para los periodos 2015-2039 y 2075-2099 y se tuvo en cuenta cambios en la población, cambio en la demanda y el área de riego	Los resultados obtenidos por el estudio fueron: Disminución de la precipitación de 2,21% para el periodo 2015-2039 y de 19,15% para el periodo de 2075-2099. Los volúmenes de agua disminuyen 17,66% para el primer periodo y 23,60% para el segundo, finalmente la temperatura aumenta 4,40°C para el periodo 2015-2039 y 6, 25°C para el periodo 2075-2099. Según los cambios en la demanda y población se verán obligados en cubrir el déficit a través de aguas subterráneas Se recomienda reducir el porcentaje de las concesiones de agua superficial para periodos posteriores al 2010

7.2.2 Comparación de estudios de caso del grupo B.

Los 3 estudios de caso trabajaron bajo escenarios distintos, sin embargo, la mayor semejanza se centra en la marcada disminución del recurso hídrico y el déficit generado y las consecuencias que esto genera en la agricultura y población.

Para Mena Prado (2009) muestran los resultados obtenidos a mediano y largo plazo en donde el estrés hídrico es un problema que se agudiza en el futuro, como consecuencia de la marcada disminución de la precipitación y a sí mismo el aumento de la temperatura. También presenta una mayor variación en el periodo de lluvias lo cual representa una incertidumbre mas tanto para la producción agrícola, al igual que los resultados reportados por Flores Marin (2014) con un aumento en la temperatura y disminución de la precipitación a corto y largo plazo lo cual genera disminución del volumen disponible y dado que el escenario establece un aumento de población y demanda se genera déficit del sistema y por lo tanto recomienda buscar otras fuentes de agua tal como lo es el agua subterránea, un proceso el cual es costoso pero necesario para poder abastecer las necesidades hídricas de la región. Mientras tanto en el trabajo realizado por Castro Giraldo (2014) no usaron escenario de cambio climático, pero usaron escenarios de regulación hídrica en los acueductos y sistemas de riego, donde reducían y controlaban las concesiones e implementaban el caudal ecológico, obteniendo déficit para suplir la demanda agrícola y poblacional, disminuyendo la cobertura y aumentando la demanda insatisfecha

En el mundo existen gran cantidad de recursos, pero no todos ellos son ilimitados y renovables, con el aumento de población y el avance de la frontera agrícola los ríos, quebradas y otras fuentes hídricas se ven amenazadas día a día, por lo cual es necesario tomar medidas proteger estos sistemas, un método para mantener la cantidad y calidad de los recursos es la implementación de un caudal ecológico al momento de otorgar concesiones, dado que es necesario mantener las buenas condiciones del rio y su entorno para los requerimientos humanos, animales y ambientales, porque además de proporcionar agua también ayudan a amortiguar los efectos climatológicos extremos en la zona (Vélez Upegui & Ríos Rojas, 2004).

Con este método se puede garantizar la sostenibilidad ambiental y agrícola, por otro lado, puede generar déficit en el sistema, lo cual se puede remediar con el uso de otro tipo de fuentes hídricas como lo son los acuíferos subterráneos, un dato interesante es que “Las

aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego” (UNESCO, 2015, p. 2) sin embargo sus limitantes son el costo de inversión, la fácil contaminación y el tiempo de recarga del pozo, por otro lado se debe tener en cuenta que la sobre-explotación de este recurso altera el desarrollo sostenible y las fuentes de ingreso de la zona se verán amenazadas, de las mismas manera nace la importancia de cuidar el agua y promover sistemas más eficientes para implementar en el sector agrícola, promover políticas para la regulación de los acuíferos e implementar medidas para perimir el desarrollo económico considerando los impactos ambientales, tal como se menciona a continuación

El crecimiento económico es responsable de la escasez y el deterioro del agua o es la degradación del agua la responsable de un menor crecimiento económico en algunos países del planeta, y la respuesta teórica consiste en las primeras fases del desarrollo se tiene a valorar más el crecimiento económico que la calidad ambiental, pero a medida que el territorio crecer y cuenta con mayores recursos, la preocupación por el entorno es mayor (Olmeda Pascual, 2006, p. 8)

Por último el uso indiscriminado de los recursos hídricos afecta principalmente a la población de forma directa e indirecta, en donde la escasez de agua puede aumentar los costos de las empresas donde el agua es esencial para producir y manufacturar sus servicios o productos, y cuyos principales afectados son los sectores con menor poder adquisitivo tal como lo menciona la FAO (2011) “Las repercusiones sociales de la rápida inflación de los precios de los alimentos han afectado más a las poblaciones más pobres”(p. 13).

Y con esto se demuestra que la escasez de agua esta puede afectar a la población de diversas formas y no solo lo relacionado con el consumo.

Cuadro 5.

Resumen de los estudios de caso del grupo C, de 2001 m.s.n.m. a 3000 m.s.n.m.

TITULO – AUTORES - AÑO	LOCALIZACION	MODELO	RESULTADOS
Impacto Del Cambio Climático Sobre La Disponibilidad De Agua Y Sus Efectos Sobre Los Usos De Agua En La Cuenca Del Río Elqui. 2013 Villa Olivares, E., A.	Chile, Región Coquimbo, Cuenca río Elqui Área; 9111 km ² Altura: 0-3000 m.s.n.m. T: 0-23 P:70-200 mm	En este estudio se usó el modelo regional PRECIS-ECHAM, y el escenario A1B simulado a nivel mensual en los periodos 2013-2040 y 2041-2079	Los resultados obtenidos en el estudio son los siguientes: La temperatura media y máximas presentan un aumento, sientto de 1,2°C en el periodo 2013-2040 y de 2,5°C en el periodo 2041-2079. No existe una tendencia absoluta de incremento o disminución en las precipitaciones Para el periodo 2013-2040 en época seca, el Qeco no es satisfecho El impacto del escenario A1B genera una disminución de Q en el periodo 2013-2040
Proyección De Variables Hidrológicas Diarias A Largo Plazo En La Cuenca Del Río Tinguiririca En Bajo Los Briones, Bajo Escenarios A1B Y A2 De Cambio Climático. 2012 Reyes Benavides, C., A.	Chile, Sexta región del Libertador Bernardo O'Higgins, Cuenca Río Tinguiririca Área: 1433 Altura: 2343 m.s.n.m. T:0-13°C P:40-1000	El estudio uso el modelo ECHAM5 y los escenarios A1B y A2, simulando en los periodos de 2046-2065 y 2081 y 20100	Los resultados obtenidos por el estudio fueron los siguientes: El escenario A1B es más desfavorable para la cuenca. A corto plazo el escenario A1B presenta mayor disminución de caudales a diferencia del escenario A2, pero a futuro no hay diferencias entre ellos. El escenario A1B presenta mayor aumento de temperatura a mediano plazo con respecto al escenario A2, pero a largo plazo este último tiene un aumento más drástico. Para la Precipitación el escenario A1B presenta disminuciones mayores a mediano y largo plazo con respecto el escenario A2. Finalmente, el rendimiento de la cuenca se ve disminuido en los dos escenarios a mediano y largo plazo.
Estudio Comparativo De La Asignación del Recurso Hídrico Para La Microcuenca De La Quebrada Cune Mediante El Uso Del Modelo Water Evaluation And Planning System (Weap). 2015 Ovalle Cifuentes, O., I., Mayorga Araque, T., C., Londoño Perez, R., D.	Colombia, Cundinamarca, municipio de Villeta, Microcuenca el Cune. Área: 2998,92 ha Altura: 800-2000 m.s.n.m. T: 18-24°C P: 2000-4000 mm	En este trabajo se usó 3 supuestos de escorrentía climática (Año Húmedo, Medio y Seco) además se evalúa la prioridad de la demanda, el balance hídrico y el cambio climático (+ 0,1°C	Los resultados obtenidos fueron: En los tres supuestos de escorrentía la cuenca sigue teniendo un régimen bimodal En la cuenca el uso principal del suelo es el uso agrícola, por tanto, es el sector que más consume agua Para el año Húmedo se satisface la demanda de agua porque hay mayor abastecimiento Para el año medio presenta un comportamiento uniforme, pero hay mayor necesidad hídrica para los cultivos de ene-feb y de jul-oct puesto que la precipitación es baja en esos meses. Para el año seco se aumentan las demandas en el sector agrícola dadas las condiciones climáticas de la zona

7.2.3 Comparación de estudios de caso del grupo C.

En este grupo se caracteriza por presentar aumento de temperatura en el escenario A1B y A2, resultados que concuerdan con lo establecido por el IPCC (2007) donde se puede esperar aumento de por lo menos 0,5°C sobre la media en el escenario A1B y al menos 1°C sobre la media para A2. Además, Villa Olivares (2013) afirman que se muestra una disminución del caudal en la cuenca sin presentar una tendencia clara de disminución en el régimen de precipitación, mientras Reyes Benavides (2012) si menciona una disminución de la precipitación dentro de la cuenca, lo cual afecta el rendimiento de esta.

Por último, Ovalle Cifuentes et al (2015) presenta que el régimen bimodal de su cuenca no se ve afectado a largo plazo, sin embargo, el sector agrícola se ve gravemente afectado en los periodos donde se establece una baja precipitación, dada sus altos requerimientos hídricos, lo cual muestra la importancia de la implementación de sistemas de riego y de la planeación de siembras.

Como se observa en los resultados obtenidos, en un futuro pueden generarse aumento o disminución de temperatura y precipitación lo cual afecta de forma negativa a la región y esto incluso puede traducirse en sequias extremas, precipitaciones extrañas, inundaciones, lluvias con granizo entre otros casos, y según Díaz Coutiño (2010) este tipo de eventos afectan de a la población y a los ecosistemas de forma diferente, pues las inundaciones y crecientes de ríos pueden dañar los campos, derribar puentes y pueden arrasar con bosques, lo cual genera pérdidas de recursos naturales y de los sembradíos en la región, causando daños visibles en el momento, por otra parte las sequias son un evento que actúa de forma lenta y sus consecuencias se pueden ver a lo largo del tiempo, dado que pueden generar pérdida de caudal en los ríos o disminución en los reservorios, generar estrés en los cultivos y una ola de calor extrema puede llegar a generar incluso la muerte de algunas especies en la región.

Por otra parte, aunque es sabido para todos que el cambio climático puede afectar los regímenes de precipitación y temperatura y el sector agrícola depende en gran medida de estos dos factores, se da el hecho que las latitudes altas se pueden beneficiar del aumento de temperatura y por otro lado se pueden aumentar la frecuencia o intensidad de las sequias e inundaciones (FAO, 2011).

Dadas las inminentes consecuencias del cambio climático es necesario crear estrategias para mitigar los efectos como el diseñar sistemas más eficientes, trabajar en el mejoramiento de cultivos con mayor resistencia a sequías o inundaciones, y con mayor productividad, además de todo esto se debe mencionar en el sector económico es afectado por el cambio climático de forma indirecta, porque en primer lugar parte del presupuesto es utilizado en la mitigación de este fenómeno, lo cual se traduce en costos tanto a gran como a pequeña escala lo cual encarece los productos y disminuye las ganancias, y para los gobiernos representa un nuevo sector de inversión, tal como lo recomienda el “informe Stern”, “Según este importante documento, se necesita una inversión equivalente al 1% del PIB mundial para mitigar los efectos del cambio climático ya que de lo contrario el mercado mundial sufriría una recesión que podría alcanzar el 20% del PIB global” (The Economy Jurnal, s.f.), es por esto que el cambio climático y sus consecuencias deben ser tratadas desde los puntos de vista para poder generar soluciones en todos los sectores.

Por último, la variación de los regímenes de temperatura y precipitación puede generar problemas en el suministro de agua potable generando suspensión en el servicio de forma temporal o indefinida, con lo cual la población se vería afectada al disminuir o restringir el agua disponible para el consumo y las necesidades básicas de higiene. Sin embargo, las entidades todavía pueden tomar medidas para mitigar estos efectos, tales como la planeación y gestión de cuencas, inversión en infraestructura [mediano plazo], planes de reforestación [largo plazo]. Finalmente se puede usar métodos de difusión para informar y concientizar sobre la escasez del agua, sus efectos y las estrategias para el ahorro, siendo esto recomendado por los Objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 (ONU, 2015)

Cuadro 6.
Resumen de los estudios de caso del grupo D, de 3001 m.s.n.m. a 3700 m.s.n.m.

TÍTULO – AUTORES – AÑO	LOCALIZACION	MODELO	RESULTADOS
<p>Impacto del Cambio Climático Global en la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, 2008</p> <p>Sánchez, J., Muñoz, H., Orozco, S., Sánchez, G., Ritter, W., Carreón, M., Muñoz, M., Treviño, J</p>	<p>México, Estado de Tlaxcala, Subcuenca del Rio Zahuapan Área: 1725 km² Altura: 2000-3000 m.s.n.m. T: 12-18 °C P: 713 mm</p>	<p>En este estudio se realizó la modelación a 10 AÑOS (2015) y se utilizó el modelo SRES A2, y también se usó el crecimiento Poblacional como escenario.</p>	<p>Los resultados presentados en este estudio son los siguientes: La precipitación pluvial disminuirá un 6%, esto representa una reducción de la captación en la subcuenca de 44.5 MMC La demanda de agua se incrementará un 25.4%, equivalente a 10.2 MMC de agua. El almacenamiento del acuífero disminuirá un 13.8%, equivalente a 44.4 MMC El valor de la disponibilidad de agua per cápita pasara de 1165.34 m³.hab⁻¹. año⁻¹ a 87377, lo que representa una disminución del 25%.</p>
<p>Simulación de los Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Estrategias de Adaptación, Usando el modelo Water Evaluation And Plannig (WEAP), en la Cuenca de la regios Yaque del Norte. 2014</p> <p>Huertas. J., Clases. S., Bello. L., Chalas. J.</p>	<p>República Dominicana. Región hidrográfica Yaque del Norte. Área: 7053 km² Altura: 46 m.b.n.m. - 3,175 m.s.n.m. T: 25.4°C P: 1,500 mm</p>	<p>En este estudio se simularon 3 escenarios a 2050 1- Crecimiento a largo plazo: todo continúa igual. 2- Uso de suelo: Mejorar un 21% la eficiencia de riego. 3 - Cambio climático: A2: aumentan las emisiones de gases y B1: disminuyen emisiones de gases Se tuvo en cuenta una disminución del 10% para P y aumento de 1.2-2.2 °C para T</p>	<p>En los resultados del estudio se observa: 1- Hay Áreas con problemas de déficit medio mensual en todas las regiones desde los 0,78 MMC hasta los 56 MMC 2- La demanda agrícola de riego pasa de 3,493.22 MMC a 2,624.28 MMC, lo que representa una economía del orden de 869 MMC. 3- Hay un incremento de 1092.70 MMC en la demanda entre los escenarios con CC y sin CC para el 2050, de los cuales 266.62 MMC son para agua potable e industrial y 826.08 MMC al sector riego. Por ultimo ña demanda no satisfecha es de 0,32 a 0,87 MMC Y si se aumenta 90 ha en el área de siembra, la demanda ascendería a 193 MMC con déficit de unos 150 MMC</p>
<p>Implementar el Sistema de Modelación Weap como Herramienta que Determine el Impacto del Cambio Climático Sobre la Disponibilidad del Agua en la Cuenca del Rio Machángara. 2016</p> <p>Parra M</p>	<p>Ecuador, Provincia Azuay, Municipio de Cuenca, Cuenca del río Machángara posee una Área: 325 km² Altura:2600-4500 m.s.n.m T: 4 - 18° C P: 900-1200 mm</p>	<p>Los escenarios usados fueron A2 Y B2. Con un aumento en la temperatura y precipitación diferente para cada cuenca</p>	<p>Los resultados del estudio fueron los siguientes: La temperatura presenta un aumento entre 5°C a 7°C. El escenario B2 presenta 4,7 m³/s de Q anual mientras en A2 presenta 4,4 m³/s En el futuro se observa un aumento del caudal con la misma tendencia observada en el presente. para la demanda pasa de 3,59 m³/s en el periodo de 1998-2008 a 6, 334 m³/s en 2021-2050. En el escenario B2 la demanda aumenta en los meses de Jun a Sep, mientras para el escenario A2 la demanda y la oferta presentan valores similares. Finalmente a futuro se incrementa tanto la oferta como la demanda</p>

7.2.4 Comparación de estudios de caso del grupo D.

Este grupo se caracterizó por analizar la demanda y el déficit hídrico en sus cuencas de estudio, teniendo en cuenta diferentes escenarios climáticos, poblacionales y agrícolas. Para empezar Sánchez et al (2008) reporta disminución de la precipitación, aumento en la demanda y disminución de la disponibilidad hídrica, dando importancia al alto consumo del sector agrícola. Por otro lado, Parra (2016) en su estudio reporta aumento en la temperatura y aumento tanto en la demanda como en la oferta, finalmente Huertas et al (2014) reporta déficit hídrico en todas las cuencas analizadas, aumento y disminución de la demanda dependiendo del escenario usado y un análisis sobre las ventajas de reducir las pérdidas de un sistema.

Teniendo en cuenta los resultados se puede afirmar en primer lugar que los diferentes escenarios utilizados generan de una manera u otra impactos en las zonas de producción de agua [páramos] y en las zonas de captación [cuencas], por ello es necesario darle importancia a los trabajos donde se tenga en cuenta los efectos del cambio climático en el manejo de cuencas hidrográficas, como por ejemplo el trabajo Propuesta de hoja de ruta para la incorporación de cambio climático en planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, en el cual para la incorporación del cambio climático en un POMCA, primero se debe analizar cada una de las actividades propuesta en la metodología original con la visión de cambio climático, es decir que las actividades existentes son las mismas pero deben complementarse con acciones que incluyan el mapeo de actores que tienen incidencia en la en la gestión del cambio climático, tales como Gobernación, Alcandías y Sectores privados (Mads; Dcc; Asocars, 2015).

Con respecto al sector agrícola una de las mayores consecuencias del aumento de temperatura y disminución de la precipitación, en los cultivos es la disminución de la producción causada por el estrés térmico e hídrico, mayor presencia de plagas y ajustes en las demandas y ofertas de agua para riego. (Fernández, M, 2013).

Por otro lado la escasez del recurso hídrico influye en gran medida en la economía de las regiones, dado que hace parte de la mayoría de las cadenas de producción, resaltando el hecho donde el 70 por ciento del agua de que dispone el planeta se emplea en la agricultura, 22 por ciento en la industria y 8 por ciento en usos domésticos, esto demuestra que el mayor porcentaje se destina para la producción de alimentos, dejando como

resultado que el comercio de alimentos es equivalente a un comercio de agua, dejando como consecuencia que la supervivencia, estabilidad y equidad en el mundo dependen cada vez más de la oferta y los precios de los bienes de origen agropecuario, tendencia que se ha acentuado y seguirá agudizándose como resultado del cambio climático. (Cano, 2011).

Con respecto a la escasez de agua y la pobre calidad de esta hay que señalar que está ocasionando serios riesgos en la seguridad alimentaria, en la salud humana, en el bienestar económico y social y en la biodiversidad. Al mismo tiempo, está aumentando las tensiones, lo que puede conducir a conflictos y confrontaciones entre grupos humanos, dejando claro que el agua es vital para el desarrollo y la escasez es una amenaza para el mismo (Olcese, 2000). Demostrando la importancia del agua tanto para la sociedad como para economía y la calidad de vida de las personas.

Cuadro 7.

Resumen de los estudios de caso del grupo E, de 3701 m.s.n.m. y superiores

TITULO – AUTORES - AÑO	LOCALIZACION	MODELO	RESULTADOS
Modelación hidrológica de la cuenca (alta y media) del río Pastaza aplicando el modelo de simulación weap. 2009 Lema Changoluisa M., A., Plaza Quezada V., C.	Ecuador, Región Amazónica, Cuenca del Río Pastaza. Área: 12650,92 Km2 Altura: 1000-5000 m.s.n.m. T: 7-25 °C P: 250-5215 mm	En este trabajo el modelo usado fue el PRECIS – ECHAM con los escenarios A2 Y B2 en el periodo 1991-2005	Para este estudio se realizaron varias pruebas de validación y calibración modificando los valores de parámetros de suelo para obtener mejores resultados en la prueba de correlación y BIAS En los escenarios generados hay sobreestimación de los caudales El escenario B2 se ajusta mejor al escenario de referencia en el periodo modelado.
Efecto del Cambio Climático en la evolución de la cobertura nival de la cuenca alta del río Maipo. 2010 Becerra Valladares, R.A	Chile, región metropolitana, Santiago, Río Maipo. Área: 3686,2 km2 Altura:1000-6000 m.s.n.m. T: 15-26 °C P: 50-500 mm	En este trabajo el modelo usado fue el PRECIS y el escenario escogido fue el A2, para el periodo simulado fue de 2071 a 2100	Los resultados obtenidos fueron: En el futuro hay años en el que el máximo de cobertura de nieve es de 60% Pérdida del 10% de la superficie nival, junto con un aumento en el derretimiento de la nieve En algunas zonas estudiadas el régimen nival, pasaba a ser mixto o en algunos casos completamente pluvial El caudal de deshielo aumenta un 25%, equivalente a 250 m ³ /s La cobertura nival mínima alcanzada es de 0,3% en el verano
Modelación Hidrológica Y Escenarios De Cambio Climático En Cuencas De Suministro De Agua De Las Ciudades La Paz Y El Alto, Bolivia. 2013 Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., Fornil, L.	Bolivia, La Paz y El Alto. Área: Altura: 4830 m.s.n.m. T: -8-15 °C P:500-700 mm	En este trabajo se usó en conjunto el modelo Ice-KISS para evaluar el aporte del glaciar en la cuenca, además se evaluó la disponibilidad de agua bajo 6 escenarios de P y T diferentes y dos más, uno pesimista y otro optimista en un periodo de 2010-2050	Los resultados obtenidos en el estudio fueron: El aporte del glaciar en las cuencas va desde el 10% al 50% En los escenarios de cambio climático se espera que la temperatura aumente 1,1 °C a mediano plazo y 1,8°C a largo plazo, y para la precipitación se esperan disminuciones de 11,4% a mediano plazo y de 8,7% a largo plazo. Los resultados obtenidos indican que los glaciales desaparecerán en los próximos 30 años Para el escenario pesimista la cobertura a mediano plazo es de 71% y a largo plazo es de 51%, para el caso del escenario optimista la cobertura a mediano plazo alcanza el 75% y a largo plazo el 62% El en análisis de los 6 escenarios es probable que la oferta a mediano plazo disminuya hasta en un 28% y largo plazo hasta un 38%

7.2.5 Comparación de estudios de caso del grupo E.

Becerra Valladares (2010) reporta que a corto plazo se presenta un aumento en el caudal de la cuenca lo cual significa mayor disponibilidad del recurso hídrico. Por otro lado, Escobar, M. et al (2013) afirman que el glaciar que está dentro de su zona de estudio tiene a desaparecer en los próximos 30 años bajo la modelación de escenarios de cambio climático lo cual representa una disminución del caudal dada el poco aporte del glaciar lo cual puede poner en déficit tanto los acueductos de la zona como los distritos de riego, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Lema Changoluisa y Plaza Quezada (2009) donde la disminución de la cobertura del glaciar y la disminución del caudal dentro de la cuenca son las consecuencias más graves.

En este grupo se ven claramente los efectos del cambio climático pues los páramos y glaciales son más susceptibles a los cambios de temperatura y precipitación, y dado que también representan un aporte significativo a las cuencas y al desarrollo humano y agrícola, hay que puntualizar la importancia del cambio climático y sus efectos en todos los ecosistemas, por ejemplo un aumento en el caudal de la cuenca significa mayor disponibilidad del recurso hídrico, sin embargo esto también representa un riesgo para la comunidad dadas la probabilidad de crecientes en el río tal como lo menciona el Ministerio de Ambiente (2018) uno de los efectos del cambio climático son las avalanchas en las quebradas vecinas de los páramos, esto debido sumando a la erosión en la tierra por el uso extensivo de la agricultura y ganadería, afirmando lo dicho anteriormente.

Con respecto al tema agronómico la disminución de precipitación y el aumento en la temperatura son los resultados obtenidos por los autores, cuyos datos concuerdan por las proyecciones realizadas por el IPCC (2007) en donde las familia de escenarios A2 y B2 que a pesar de ser los escenarios más conservadores siendo primordial la sostenibilidad, crecimiento económico y protección del medio ambiente, estos proyectan un aumento muy probable de la precipitación en las latitudes altas, mientras que para las regiones subtropicales es probable su disminución, lo cual en conjunto con el aumento de la temperatura trae como consecuencia la disminución de la cobertura nival y la disminución del caudal en la cuenca, esto representa menos cantidad de agua disponible para los sistemas de riego el además el aumento de temperatura puede generar estrés en los cultivos o incluso la pérdida parcial o total de la producción.

Es importante caracterizar y modelar una cuenca para poder estar preparados para enfrentar cualquier percance, dado que con esto se puede encontrar el modelo que más se ajuste a la cuenca y de esta manera las decisiones y la planeación sea más precisa y acertada, lo cual a largo plazo contribuye con el crecimiento económico de la región, esto se pone en evidencia cuando se menciona que:

Se está avanzando en el campo de la economía ambiental hacia la disponibilidad de técnicas a través de las cuales se puede transmitir el verdadero valor de los servicios ambientales y naturales a los administradores, los encargados de elaborar políticas y los posibles inversores, a fin de catalizar un movimiento unido que permita aplicar criterios más integrados de manejo de cuencas hidrográficas. (Departamento de desarrollo sostenible, 2007, p.12)

Lo cual pone en evidencia la importancia de la planificación del recurso hídrico no solo para el sector ambiental y agrícola, sino como activo valioso para un país al ser una herramienta fundamental para el crecimiento económico de un país en vía de desarrollo

Con lo anterior es muy notable las consecuencias de las decisiones que se han tomado a través de los años sumando el uso indiscriminado del recurso por parte de todos los sectores involucrados por lo cual es necesario hacer partícipe a la sociedad en la gestión y planificación de los recursos hídricos de su región, con lo cual se integra el punto de vista de la población en conjunto con el sector político y agrícola, dando como que se obtenga una visión global al momento de diseñar estrategias para la solución de los problemas y en la toma de decisiones que van a afectar la comunidad en los próximos años, esto también es mencionado en el Programa de Cultura del Agua, en donde cuyo objetivo es “Promover y fortalecer patrones culturales responsables con el agua a nivel nacional, mediante procesos de educación, investigación comunitaria, participación y comunicación, en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH.” (Min. Ambiente, 2018c. párr. 3) promoviendo así la participación ciudadana en la gestión de los recursos hídricos.

7.2.6 Matriz DOFA.

Cuadro 8.

Matriz DOFA

	<p>FORTALEZAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Confiabilidad de los resultados y escenarios. 2. Permitir la adaptación temprana al Cambio Climático. 3. Capacidad de prevención y disminución de riesgos y efectos. 	<p>DEBILIDADES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de métodos de capacitación sobre el modelo. 2. Falta de claridad en la definición de los problemas y necesidades. 3. Alta sensibilidad del programa a alteraciones.
<p>OPORTUNIDADES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de recursos para contrarrestar los efectos del cambio climático. 2.. Políticas enfocadas al medio ambiente y mitigación del cambio climático. 3. Desarrollo de Nuevas Tecnologías 	<p>ESTRATEGIA FO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el número de proyectos sobre cambio climático. 2. Generar nuevas pautas para la creación de nuevas políticas de prevención de desastres. 3.Crear estrategias para difundir los planes de prevención usando los avances tecnológicos disponibles. 	<p>ESTRATEGIA DO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Financiar programas para capacitar a los nuevos profesionales. 2. Utilizar las nuevas políticas como directriz para la formulación de proyecto 3. Realizar ajustes del modelo para mejorar la sensibilidad y el proceso de calibración.
<p>AMENAZAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad y confiabilidad de la información base 2. Falta de cooperación de las comunidades 3. Falta de interés de las entidades 	<p>ESTRATEGIA FA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar bases de datos recientes y confiables para la obtención de escenarios confiables 2. Demostrar los beneficios obtenidos y ventajas de la adaptación al cambio climático. 3. Mejorar los planes de prevención y reducir riegos y costos en las entidades 	<p>ESTRATEGIA DA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mejorar las estragáis de educación facilitando la obtención de información. 2. Participación de la comunidad en el planteamiento del problema 3. Aumentar el atractivo del modelo mediante la obtención de resultados más confiables y precisos

7.3 Objetivo 3

- Determinar el impacto de la disminución o aumento del recurso hídrico en el proceso de lavado del cultivo de café en el estudio de caso “Modelación Hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila”.

Es un hecho conocido que Colombia es un país reconocido por exportar café al resto del mundo, también hay resaltar que el cultivo de café desde su siembra hasta su venta final, requiere de bastante cantidad de agua, uno de las etapas que más consume agua es el proceso de beneficio y lavado, siendo la forma tradicional la que necesita mayor cantidad de agua, sin embargo, con el pasar del tiempo y la no tan reciente importancia del medio ambiente y su protección, se ha ido mejorando este proceso y obteniendo sistemas que necesitan mucha menos agua que el tradicional, brindando la oportunidad de optimizar la producción y el consumo de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió buscar un estudio en una zona de importancia cafetera donde usaran el programa WEAP para modelar los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad dl recurso hídrico, el estudio de caso “Modelación hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila desde la herramienta de planificación integrada de recursos hídricos” cumple con los requisitos para ser analizado y cumplir con el objetivo establecido.

Como el estudio fue realizado en el departamento del Huila hay que entender la importancia de este departamento en el ámbito cafetero y económico del país, primero hay que mencionar el hecho resaltado por varios periódicos, entre ellos la Nación en donde resaltan que desde el año 2010 el Huila es protagonista en el escenario cafetero colombiano, donde gracias a más de 77.000 caficultores huilenses les arrebataron el liderazgo cafetero a departamentos como Caldas, Quindío, Risaralda y Antioquia, siendo este departamento con la mayor producción de café en Colombia, como consecuencia el nuevo ‘Eje Cafetero’ se desplazó al suroccidente del país, específicamente a los departamentos del Huila, Cauca y Nariño. (Montoya Falla, 2012). dicha situación se mantiene hasta la actualidad, con Huila encabezando la producción en el año 2017.

Entrando en materia el estudio fue realizado municipio de Santa María, el cual se encuentra ubicado en la zona norte del Departamento del Huila, su temperatura promedio es de 17°C, tiene una población de 8.733 Habitantes y su altura promedio esta 1340 m.s.n.m.

(Moncayo, Losada & Cruz, 2016), aparte de esto según Información obtenida de la Alcaldía de Santa Marian (2012) el municipio cuenta con 2100 has de café sembradas y en la tenencia de tierra en el municipio predominan los predios medianos (5-20 ha) con un 41,92% de los predios, seguidos de los predios pequeños (0-5ha) con un 35% de los predios, pero “De acuerdo con datos del Comité Departamental de Cafeteros, el 96 por ciento de los caficultores son pequeños propietarios de cultivos con un tamaño promedio de 1,5 hectáreas, los cuales responden por el 82 por ciento de la producción huilense” (Montoya Falla, 2012, párr. 12), pero para fines prácticos se utiliza 1 ha por finca para realizar el análisis del estudio.

7.3.1 Objetivo del Estudio de Caso en la cuenca del río Baché.

En primer lugar, el estudio de caso “Modelación hidrológica de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila” analiza la importancia del recurso hídrico del departamento, la posición privilegiada de la región y los respectivos usos que se le da al agua teniendo en cuenta los efectos del cambio climático en cuanto a temperatura y precipitación, con el fin de mostrar los impactos que se generan sobre la oferta y demanda hídrica de la cuenca.

7.3.2 Escenarios Proyectados.

En segundo lugar Moncayo *et al* (2016) en su estudio “tienen como incertidumbre lo objetivos específicos propuestos del proyecto que son la dinámica agrícola y el cambio demográfico, como plus escenarios de cambio climático” (p. 44), para la dinámica agrícola se consideran tres tipos escenarios diferentes en donde hacia el año 2035 se amplía en un 90% la zona boscosa, 90% la cobertura cafetera y 90% el área de pastos en la cuenca abastecedora aguas arriba de la bocatoma del acueducto municipal de Santa María, a continuación en la tabla 3 se muestra el cambio de cada escenario propuesto en el estudio.

Para el cambio demográfico considera un incremento de población bajo 0.1%, medio 1.6% y alto 2.9%, proyectado hasta el año 2050, , y finalmente para los escenarios climáticos se consideraron 3 tipos de escenarios uno histórico con registros suministrados por el IDEAM con un aumento de 1,05% al promedio de temperatura, uno tendencial utilizando el escenario MPI-ESM-MR con un aumento de la temperatura media de 0,9 a 2°C y el de mayor variabilidad usando el escenario CanESM2 R3 donde el aumento de temperatura usado es aplicando los valores extremos (+ 3°C)

Tabla 3.
Escenario proyectadas del estudio de caso en la cuenca del río Bache.

Escenario				
Cambio Demográfico	Bajo		Aumento 0,1 %	
	Medio		Aumento 1,6 %	
	Alto		Aumento 2,9%	
		Cobertura	Cobertura km ² Año 2015	Cobertura km ² Año 2050
Dinámica Agrícola	1	BOSQUES	0,20	2,40
		PASTOS	2,40	0,20
	2	BOSQUE	3,0	0,5
		PASTOS	1,2	12
		CAFÉ	0	2,5
	3	BOSQUES	0,5	0,1
		PASTO	1,5	1,9
		ZONA URBANA	0,20	0,20
	Escenarios Climáticos	Histórico	Suministrado por IDEAM	
Tendencial		Escenario MPI-ESM-MR		
Mayor Variabilidad		Escenario CanESM2 R3		

Fuente: Moncayo et al, (2016)

7.3.3 Resultados del estudio de caso.

A continuación, en el estudio se consideró combinar las tres incertidumbres del clima y las tres adversidades en la demografía, con las cuales se generó nueve escenarios para el periodo 2015-2050, sobre estos nueve escenarios realizaron el análisis de la oferta y demanda poblacional y agrícola, y finalmente se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla 4.
Parámetros de escenarios futuros Rio Baché.

Periodo	Clima	Población	Convención	Crecimiento poblacional		Crecimiento Agrícola	
				Oferta LPS	Demanda LPS	Oferta m ³ /s	Demanda m ³ /s
1971-2015	Actual	Actual	Histórico	124,27	8,84	7,54	0,04
2015-2040	Histórico	Baja	CHPB	71,67	12,02	5,83	0,10
2015-2040	Histórico	Media	CHPM	69,20	14,49	5,83	0,10
2015-2040	Histórico	Alta	CHPA	66,52	17,16	5,83	0,10
2015-2040	Tendencial	Baja	CTPB	53,66	11,98	4,42	0,07
2015-2040	Tendencial	Media	CTPM	51,20	14,45	4,42	0,08
2015-2040	Tendencial	Alta	CTPA	48,52	17,13	4,42	0,08
2015-2040	Variabilidad	Baja	CVPB	67,08	12,05	5,37	0,04
2015-2040	Variabilidad	Media	CVPM	64,60	14,53	5,36	0,05
2015-2040	Variabilidad	Alta	CVPA	61,90	17,22	5,36	0,05

Fuente: Moncayo et al, (2016)

Finalmente, en la interpretación de resultados Montoya et al (2016) establecen lo siguiente:

La oferta promedio de la cuenca es de 5,21 m³/s mientras la demanda de la cuenca es de 0,80 m³/s, en consecuencia, la demanda es de 1,44% considerada como presión baja respecto a la oferta disponible según el ENA y las variaciones en la cobertura vegetal generan alteraciones en la oferta hídrica hasta un 41.4% con respecto a la actual, según el escenario tendencial (p.52)

Lo cual significa que la cuenca posee suficiente agua para suplir la demanda generada en el futuro, pero esta es altamente sensible al aumento o variabilidad de las coberturas.

7.3.4 Conjetura del objetivo 3.

Teniendo en cuenta lo dicho en el estudio se infiere que en la metodología los parámetros usados para analizar las diferentes coberturas usadas en los diferentes escenarios tienen que ver en su mayoría con el factor suelo, siendo estas la capacidad de almacenamiento de agua (SWC), porcentaje de humedad del suelo del estrato superior (Initial Z1) y el coeficiente de cultivo (kc), entre otros, con los cuales se puede analizar el consumo de agua en el sitio del estudio sin embargo uno de los escenarios planteados esta establece el aumento de área sembrada en café y como se mencionó anteriormente en este cultivo requiere grandes cantidades de agua para realizar el proceso de pos-cosecha, específicamente el lavado del café, por esta razón para realizar el análisis sobre el impacto

de la disminución o aumento del recurso hídrico en el beneficio y lavado del café se presume que los autores solo tuvieron en cuenta el requerimiento hídrico del cultivo del café hasta la etapa de cosecha, pero se omitió el consumo de agua necesario para realizar proceso de beneficio del café.

7.3.5 Conversiones y Cálculos.

Con base en la conjetura anterior, primero se debe especificar el área de estudio usada para realizar el análisis, en el estudio se menciona que en el segundo escenario de dinámica agrícola en el punto de cierre de la cuenca se establece que en el año 2015 hay 0 km² de café sembrado, y para el año 2050 ya hay 2,5 km² de café sembrado.

A continuación, se realiza la conversión de km a ha del área señalada para trabajar en dimensiones agrícola y comprender mejor los datos, una vez realizada la operación se obtiene que el área sembrada en café es de 250 ha.

$$2,5 \text{ km}^2 * \frac{100 \text{ ha}}{1 \text{ km}^2} = 250 \text{ ha}$$

Anteriormente se menciona que el área promedio de una finca cafetera pequeña es de 1,5 ha, pero para efectos prácticos en este estudio se usara 1 ha como área promedio, por consiguiente, en la zona de estudio se tendrían 250 fincas nuevas.

Finalmente, para poder realizar un análisis detallado se debe calcular la cantidad de agua necesaria en cada finca para realizar el proceso de beneficio-lavado, y en primer lugar se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Una planta de café produce más en densidades bajas que en densidades altas, por ejemplo, en el acumulado de cuatro cosechas una planta sembrada a una densidad de 5000 plantas/ha, produce 0,99 kg de café pergamino seco c.p.s., mientras que la misma planta, después de las mismas cuatro cosechas, sembrada a una densidad de siembra de 10000 plantas/ha, produce 0,54 kg de c.p.s.; caso contrario cuando se analiza la producción por unidad de área, la cual es mayor con 10000 plantas/ha que con 5000 plantas/ha. (Cenicafé, 2013b, p. 33)

Según lo anterior se decide utilizar una densidad de siembra de 5333 plantas/ha la cual es apta para la zona y permite mejor manejo agronómico. Igualmente, se tiene en cuenta los siguiente “en el 2017 el Departamento del Huila tuvo una producción de 2.560.369 en sacos de café verde (s.c.v.) de 60 kg con 121.478 has productivas, lo cual deja una productividad de 21 s.c.v. por ha” (Redacción Diario del Huila, 2018, párr. 6).

Por lo tanto, la producción por ha es de 21 s.c.v. [sacos de café verde] o 1260 kg de café verde [almendra], sin embargo, como las unidades obtenidas no son las adecuadas para el diseño de un beneficiadero, es necesario convertir las unidades para continuar con los cálculos. Según Cenicafé (2008) “existen factores de conversión en café que son producto de las constantes físicas las cuales son un instrumento útil para evaluar el sistema productivo, facilitan las operaciones comerciales y el diseño de los beneficiadores” (p.1), es decir se puede convertir las unidades y realizar el diseño y calcular el consumo de agua, por lo cual se usan los factores de conversión de la Tabla 5 para dicha tarea y con esto se obtienen las equivalencias de producción (Tabla 6).

Finalmente, los datos necesarios para realizar el diseño son los siguientes: una finca de una ha, con una densidad de siembra de 5333 plantas/ha produce 1260 kg de café verde; o 7849 kg de cereza; o 1575 kg de c.p.s. [café pergamino seco] (Tabla 6).

Tabla 5.

Factores de Conversión entre los estados del grano de café

Para Convertir de	A	Uribe (1977)	Multiplique por	
			Presente estudio (2006)	
			Café seleccionado	Café sin seleccionar
Cereza	Pergamino	0,22	0,20	0,20
	Baba	0,60	0,55	0,55
	Almendra	0,18	0,16	0,16
	Seco de agua	0,32	s.d.	s.d.
	Húmedo	0,41	0,39	0,41
	Pulpa fresca	0,40	0,43	0,43
	Pulpa mojada	0,48	s.d.	s.d.
Pergamino	Cereza	4,50	4,94	4,89
	Almendra	0,80	0,80	0,79
	Baba	2,71	2,74	2,71
	Húmedo	1,85	1,93	1,97
	Seco de agua	1,46	s.d.	s.d.
	Pulpa fresca	1,77	2,15	2,09
	Pulpa Mojada	2,13	s.d.	s.d.
Baba	Pergamino	0,37	0,36	0,37
	Almendra	0,29	0,29	0,29
	Cereza	1,67	1,81	1,80
	Húmedo	0,95	0,71	0,73
	Seco de agua	0,54	s.d.	s.d.
Almendra	Pergamino	1,25	1,25	1,26

Baba	3,39	3,43	3,44
Cereza	5,56	6,23	6,23
Húmedo	2,31	2,42	2,51
Seco de agua	1,82	s.d.	s.d.

s.d. sin datos

Fuente: Cenicafé (2008)

Tabla 6.

Equivalencia de producción para 1 ha

	Factor de conversión	Resultado (Kg)
Baba	3,43	4321,8
Cereza	6,23	7849
Húmedo	2,31	2910,6
Seco de agua	1,82	2293,2
Pergamino	1,25	1575

7.3.6 Diseño del sistema de beneficio.

La siguiente etapa es diseñar el sistema de beneficio, pero para el diseño de un beneficiadero acorde con la producción de una finca se debe tener en cuenta las épocas con mayor recolección para poder construir una estructura sin caer en los errores de dimensionamiento por exceso o por defecto y de esta manera generar costos innecesarios (Castaño Peláez & Suarez Ramírez, 2010). Para poder realizar esto se tiene en cuenta la distribución anual de la cosecha o en términos cafeteros el llamado “día pico”, el cual Castaño Peláez y Suarez Ramírez (2010) lo define como:

“el día de mayor volumen de recolección de café cereza de la cosecha y se representa en porcentaje con relación al volumen total de la misma. Por ser el día de mayor volumen este determina el tamaño de las obras y la capacidad de los equipos que se requiere” (p. 21).

Sin embargo, para calcular el “día pico” primero se debe establecer los factores que influyen en la distribución de la cosecha, según Castaño Peláez & Suarez Ramírez (2010) esta depende en mayor medida de la altura sobre el nivel del mar donde se encuentre ubicada la finca, donde a mayor altura hay mayor dispersión en los patrones de cosecha y a menor altura se producen periodos con mayor concentración, según los resultados obtenidos en muchas fincas se puede definir que el día pico para una finca ubicada a 1.700

m.s.n.m. es el 2,5% y cada vez que aumente 100 metros el valor del día pico disminuye 0,25%, y viceversa tal como se observa en el cuadro 9.

Finalmente calcular el tamaño de un beneficiadero basta multiplicar la producción anual por el día pico en número decimal.

Cuadro 9.

Porcentaje de aumento o disminución del día pico con relación a la altura sobre el nivel del mar.

Altura en metros sobre el nivel del mar.	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
Aumento en %	4,25	4	3,75	3,5	3,25	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,25

Fuente: Castaño y Suarez (2010)

Ejemplo: una finca de 400 arrobas al año a 1.700 metros sobre el nivel del mar se ubicará, según la tabla en un día pico de 2.5 %, y el tamaño del beneficiadero será de:

$$400 \frac{\text{arrobas}}{\text{año}} * 2,5\% (\text{factor con respecto a la altura}) = 10 \frac{\text{arrobas}}{\text{día}}$$

Se debe tener como base este cálculo para la construcción del área de beneficio y adecuación de maquinaria requerida para procesar este volumen de café para el día de mayor producción (Castaño Peláez & Suarez Ramírez 2010, pp. 22-23).

Por lo tanto, para calcular el tamaño del beneficiadero es necesario multiplicar la producción anual por el factor con respecto a la altura tal como lo muestran en el ejemplo anterior.

Como la producción anual es de 126 arrobas de c.p.s./ año y el municipio de Santa María se encuentra ubicado a 1340 m.s.n.m. el factor con respecto a la altura usado es 3,5%, finalmente el resultado del día pico para la finca es de aproximadamente 5 arrobas c.p.s./día.

$$126 \frac{\text{arrobas}}{\text{año}} * 3,5\% (\text{factor con respecto a la altura}) = 4,41 \frac{\text{arrobas}}{\text{día}}$$

A continuación, se debe escoger la maquina adecuada para el beneficio y diseñar un tanque acorde con el resultado obtenido anteriormente, por lo cual se toma en cuenta lo dicho por Valencia y Uribe (1976) donde afirma: “Para beneficiar hasta 500 arrobas anuales, con un pico diario de 10 arrobas, es suficiente un tanque de fermentación de una capacidad de un metro cúbico” (párr. 1).

Por lo tanto, el tanque puede tener las siguientes medidas 0,80 m de alto, 1,60 m de largo y 0,80 de alto para poder estar acorde con las necesidades de la finca, y para el despulpado se puede utilizar una maquina N°3, dado que se recomienda usar este número en fincas con producciones entre 500 y 2.000 arrobas por año.

Como resultado se obtiene que una finca con 1 ha produce 5 arrobas c.p.s. /día lo cual equivale a 62,5 kg c.p.s.

Finalmente, en la etapa del lavado de café, la cual tiene como finalidad remover el mucilago del café, primero se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales, la cantidad y la calidad, pues esta debe ser suficiente para suplir las necesidades de agua de cada tecnología y con buena calidad para no generar contaminación cruzada en el café (Cenicafé, 2013c).

A pesar de la existencia de diferentes tecnologías para el lavado de café, fundamentalmente se diferencian por el costo de inversión, la infraestructura y el volumen de agua usado, en el caso de Colombia se utilizan las siguientes tecnologías para lavar y clasificar el café: Canal de correteo, con bomba, tanque tina, Becolsub y ECOMILL[®], a continuación, en la Tabla 7 se observa el consumo de agua por kg de c.p.s de cada tecnología y la contaminación generada (Cenicafé, 2013c).

Tabla 7.

Consumo específico de agua y DQO en las tecnologías utilizadas para el lavado de café en Colombia.

Tecnología	Consumo específico de agua (L.kg ⁻¹ de c.p.s.)	Contaminación (DQO – mg.L ⁻¹)
Canal de correteo	20,0	5.867
Bomba	9,0	12.692
Tanque tina	4,2	25.946
BECOLSUB	1,0	82.474
ECOMILL [®]	0,3	152.866

Fuente: Cenicafé (2013c).

Por último, con los datos obtenidos del día pico se realizó el cálculo del consumo específico de agua por día, para cada tecnología mencionada anteriormente, en la Tabla 8 se observan los resultados de consumo por ha y en total [250 ha] con una producción por día de 62,5 kg c.p.s.

Tabla 8.
Consumo de agua diario de cada tecnología en el lavado de café.

Tecnología	Consumo de agua L/kg c.p.s	Consumo de agua en L/día/ha	Consumo total de agua en L/s	Consumo de agua en m ³ /día/ha	Consumo total de agua en m ³ /s
Canal de Correteo	20	1250	3,617	1,25	0,00362
Bomba	9	562,5	1,628	0,56	0,00163
Tanque Tina	4,2	262,5	0,760	0,26	0,00076
Becolsub	1	62,5	0,181	0,062	0,00018
ECOMILL [®]	0,3	18,75	0,054	0,018	0,00005

7.3.7 Resultados de consumo.

Como los resultados obtenidos por Montoya et al (2016) son en L/s y en m³/s se realiza una conversión de los datos para trabajar en las mismas unidades y posteriormente se realiza un análisis para comparar la oferta, la demanda y el aumento generado por el uso de cada tecnología sobre el escenario agrícola y poblacional usando en el estudio (Tabla 9 y 10).

Tabla 9.
Escenario agrícola, Oferta vs demanda, más el consumo de agua del lavado de café en m³/s

	Oferta	Demanda	Demanda + Canal	Demanda + bomba	Demanda + Tanque	Demanda + Becolsub	Demanda + Ecomil
Histórico	7,54	0,04	0,0436	0,0416	0,0408	0,0402	0,0401
CHPB	5,83	0,10	0,1036	0,1016	0,1008	0,1002	0,1001
CHPM	5,83	0,10	0,1036	0,1016	0,1008	0,1002	0,1001
CHPA	5,83	0,1	0,1036	0,1016	0,1008	0,1002	0,1001
CTPB	4,42	0,7	0,7036	0,7016	0,7008	0,7002	0,7001
CTPM	4,42	0,8	0,8036	0,8016	0,8008	0,8002	0,8001
CTPA	4,42	0,8	0,8036	0,8016	0,8008	0,8002	0,8001
CVPB	5,37	0,4	0,4036	0,4016	0,4008	0,4002	0,4001
CVPM	5,36	0,5	0,5036	0,5016	0,5008	0,5002	0,5001
CVPA	5,36	0,5	0,5036	0,5016	0,5008	0,5002	0,5001

Tabla 10.

Escenario poblacional, Oferta vs demanda, más el consumo de agua del lavado de café en l/s

	Oferta	Demanda	Demanda + Canal	Demanda + bomba	Demanda + Tanque	Demanda + Becolsub	Demanda + Ecomil
Histórico	124,27	8,84	12,457	10,468	9,600	9,021	8,894
CHPB	71,67	12,03	15,647	13,658	12,790	12,211	12,084
CHPM	69,2	14,49	18,107	16,118	15,250	14,671	14,544
CHPA	66,52	17,16	20,777	18,788	17,920	17,341	17,214
CTPB	53,66	11,98	15,597	13,608	12,740	12,161	12,034
CTPM	51,2	14,45	18,067	16,078	15,210	14,631	14,504
CTPA	48,52	17,13	20,747	18,758	17,890	17,311	17,184
CVPB	67,08	12,05	15,667	13,678	12,810	12,231	12,104
CVPM	64,6	14,53	18,147	16,158	15,290	14,711	14,584
CVPA	61,9	17,22	20,837	18,848	17,980	17,401	17,274

Tabla 11.

Aumento en % de la demanda con el uso de cada tecnología de lavado en café en el escenario poblacional.

	Oferta	Demanda	Demanda + Canal	Demanda + bomba	Demanda + tanque	Demanda + Becolsub	Demanda + Ecomil
Histórico	124,27	8,84	40,9	18,4	8,6	2,0	0,6
CHPB	71,67	12,03	30,1	13,5	6,3	1,5	0,5
CHPM	69,2	14,49	25,0	11,2	5,2	1,2	0,4
CHPA	66,52	17,16	21,1	9,5	4,4	1,1	0,3
CTPB	53,66	11,98	30,2	13,6	6,3	1,5	0,5
CTPM	51,2	14,45	25,0	11,3	5,3	1,3	0,4
CTPA	48,52	17,13	21,1	9,5	4,4	1,1	0,3
CVPB	67,08	12,05	30,0	13,5	6,3	1,5	0,5
CVPM	64,6	14,53	24,9	11,2	5,2	1,2	0,4
CVPA	61,9	17,22	21,0	9,5	4,4	1,1	0,3

Para realizar un análisis sobre los resultados se tuvo en cuenta tanto el escenario agrícola como el poblacional porque los agricultores en su mayoría construyen el

beneficiadero conectado a las tuberías del acueducto, por lo tanto, el agua utilizada proviene de esa fuente y no de los sistemas de riego.

7.3.8 Análisis de resultados.

Una vez obtenidos los resultados en las tablas 9 y 10 se puede apreciar que en el escenario agrícola el consumo de agua del beneficio del café en todas las tecnológicas usadas no influye mucho en la demanda, arrojando cifras con aumentos poco significativos ante la oferta disponible.

No obstante, en el escenario poblacional si se pueden observar aumentos significativos con el uso de todos los sistemas (tabla 11), se puede observar un aumento de 20% a 40% con el uso del sistema de canal de correteo, esto se explica porque el agua usada en el canal generalmente se recircula y utiliza una lámina de apenas 2 a 3 cm, dejando como resultado un sistema es ineficiente en términos de uso del agua (Cenicafé, 2013c). Pero hay que resaltar que en la actualidad este sistema es muy poco usado por los agricultores porque no solo representa más consumo de agua, si no también necesita mayor esfuerzo físico para mover el café a través de canal

Por otro lado, con el uso de una motobomba sumergible se observan aumentos de 10% a 20% más en la demanda, aunque se utiliza menor cantidad de agua esta tecnología con respecto a la anterior, las ventajas como lo es remover el café de mala calidad y la posibilidad de transportar el café a las secadoras utilizando la bomba sumergible, se ven opacadas porque hay tecnologías con menos consumo de agua sin el inconveniente de la compra de la motobomba lo cual genera un costo extra y como se trabaja con áreas tan pequeñas no se justifica para el caficultor realizar este gasto (Cenicafé, 2013c)

Por otra parte, se observa un aumento de 4% a 8% en la demanda de agua usando el tanque tina, donde hay que resaltar que de las tecnologías convencionales esta consume menor cantidad de agua, tal como lo menciona Cenicafé (2013c):

“Con la agitación manual en el tanque, el menor volumen específico de agua (4,17 l.kg-1) se logra utilizando tanques con bordes redondeados y una paleta, denominado tanque tina.

Se emplean 4 enjuagues, cubriendo totalmente la masa con agua limpia en cada uno (p. 33). Este sistema es uno de los más usados por los caficultores en Colombia y como el tanque ya debe ser construido para el despulpado del café no se generan costos extra al usar este sistema, para su construcción puede usar cemento, baldosa o láminas de metal, la elección depende de cada caficultor. Sin embargo, el éxito de este sistema depende del uso que cada

agricultor le da, porque hay ocasiones donde se llegan a emplear hasta 7 u 8 enjuagues, aumentado drásticamente el consumo de agua.

Cabe destacar los dos últimos casos donde presentan aumentos en la demanda de un máximo de 2% y un mínimo de 0,3%, esto se explica porque esta tecnología fue desarrollada para disminuir el consumo de agua para la remoción del mucilago y hacer más eficiente el proceso de beneficio, donde el sistema Becolsub permite usar la alta concentración del mucilago y su viscosidad para reducir el agua necesaria para su transporte y fermentación y hace posible un mayor control sobre los contaminantes generados (Cenicafe, 2013c)

Por otro lado, con la tecnología ECOMILL[®] se logró reducir al máximo el consumo de agua y básicamente es:

“Una tecnología desarrollada por Cenicafé para remover el mucilago degradado en proceso con fermentación natural, (...). El consumo específico de agua varía entre 0,34 y 0,50 l.kg⁻¹ de c.p.s. Debido a lo anterior la carga orgánica de las mieles producidas también aumenta, por lo cual se deben manejar o tratar para evitar la contaminación de las fuentes de agua”. (Cenicafé, 2013c, p 34-35).

Con los resultados obtenidos en este estudio es posible afirmar que hay un aumento en la demanda en todos los casos, y aunque no supera la oferta que arroja el programa hay que tener muy claro que los datos usados para calcular la producción fueron del año 2017 y el nuevo objetivo del país es aumentar el área sembrada y además aumentar la producción por ha, volviéndose así más competitivo y poder mantener su posición a nivel mundial como productor de café de calidad, un claro ejemplo de esto es que en el año 2014 la producción por ha era de 14 s.c.v y para el 2017 fue de 21 s.c.v., ahora si se aumenta la producción en los próximos 10 o 30 años las preguntas más importantes son Donde y Como se va realizar el proceso de beneficio del café cosechado, por lo cual se debe esperar que en los siguientes años haya un aumento paulatino en la adopción de tecnologías que garanticen menor consumo de agua y sea amigable con el ambiente porque se debe recordar que el escenario planteado por los autores fue el año 2050.

Además, con las nuevas tecnologías diseñadas por Cenicafé se logra reducir el consumo de agua en el beneficio del café y también reducir el impacto ambiental generado. Lamentablemente la adopción por parte de los agricultores es la etapa más complicada de todo el proceso educativo, como consecuencia en muchas zonas cafeteras del país aún se

sigue usando las tecnologías convencionales y en muchos casos no se muestra preocupación por la contaminación generada.

Teniendo en cuenta que gracias al programa WEAP fue posible obtener los datos de oferta y demanda en el estudio, se puede afirmar que también es posible incluir el consumo de agua y la contaminación generada de los sistemas de beneficio como un catchment y así poder generar escenarios más detalladas y precisos que más adelante van a permitir realizar una planeación adecuada del recurso hídrico en una región teniendo en cuenta todos los sectores que puedan influir en la calidad, cantidad y disponibilidad del recurso.

Como el modelo WEAP es una herramienta muy versátil que permite adaptarse a diferentes situaciones y se puede decir que la mayor ventaja es la posibilidad de generar los escenarios cotidianos, bizarros o extremos permitiendo así la toma de decisiones y la realización de correcciones a una situación que en un futuro puede llegar a ser lamentable o incluso irreversible.

8. Conclusiones

El programa WEAP es una herramienta de fácil acceso tanto para estudiantes como para profesionales, además es muy versátil que permite adaptarse a diferentes necesidades de las diferentes profesiones agrícolas y ambientales y trabaja de la mano con otros modelos y herramientas de planificación y gestión de agua.

La gestión del agua es necesaria para realizar una buena planificación de cultivos en cualquier zona o región del mundo, por lo cual el modelo WEAP permite explorar diferentes escenarios que afecten de forma negativa o positiva la agricultura a corto, mediano y largo plazo.

La falta de uso del modelo WEAP en estudios académicos en nuestro país dificulta la comparación de experiencias en el ámbito de modelación y simulación.

El programa es altamente eficaz siempre y cuando se cuente con fuentes de información confiables y que abarquen periodos de tiempo lo suficientemente largo para lograr obtener resultados confiables y que representen la situación real del problema.

El médelo WEAP es programa que puede ser útil para los profesionales del agro, para estar a la vanguardia en temas de cambio climático y sostenibilidad, sin embargo, los pocos métodos de formación en esta temática reducen la cantidad de profesionales preparados para enfrentar y formular proyectos en estos temas.

Se recomienda realizar más estudios usando el modelo WEAP en donde se integre la visión ambiental-forestal-agrícola para obtener resultados con un mayor alcance y se resuelven los problemas de forma más objetiva

Bibliografía

- Alcaldía de Santa María (22 de agosto de 2012) Nuestro municipio, Información general, Economía. Recuperado de: http://www.santamaria-huila.gov.co/informacion_general.shtml#economia
- Becerra Valladares R., A. (2010). Efecto del Cambio Climático en la evolución de la cobertura nival de la cuenca alta del Rio Maipo. (Tesis de Grado. Universidad de Chile). Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104345>
- Café de Colombia. (2010). Historia del café. Recuperado de http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/
- Cano, C. (4 de octubre de 2011). El agua en la economía, Es preciso que el Estado recupere su competencia como administrador del recurso hídrico. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/opinion/redaccion-portafolio/agua-economia-141544>
- Castaño Peláez, A., F., Suarez Ramírez, S., A. (2010). Cartilla Técnica para el Dimensionamiento de Beneficiarios de Café y Sistemas de Secado. (Trabajo de Grado. Corporación Universitaria Lasallista). Recuperado de: [Recuperado de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/610](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/610)
- Castro Giraldo, N., L. (2014). Implementación del Sistema de Modelación WEAP como Herramientas para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la vereda La Bella. (Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira). Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4468/3339116C355.pdf?sequence=1>
- Ceccon, E., (2008). Redalyc, Sistema de Información Científica. La revolución verde tragedia en dos actos, 1 (91), [21-29]. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Cenicafé. (2008) Avance técnico 370, Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Cenicafé. (2013a). Manual del Cafetero Colombiano, (Tomo 1). Chinchiná, Caldas, Colombia: Fundación Manuel Mejía.
- Cenicafé. (2013b). Manual del Cafetero Colombiano, (Tomo 2). Chinchiná, Caldas, Colombia: Fundación Manuel Mejía.
- Cenicafé. (2013c). Manual del Cafetero Colombiano, (Tomo 3). Chinchiná, Caldas, Colombia: Fundación Manuel Mejía.
- Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, (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. Recuperado de: http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf

- CEPAL. (s.f.). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/temas/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-odm/objetivos-desarrollo-milenio>
- CEPAL. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Recuperado de [vhttps://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334_es.pdf)
- Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1993) Ley General Ambiental de Colombia. [Ley 99 de 1993]. DO: 41.146.
- Congreso de Colombia. (11 de junio de 1997) Ley de uso eficiente y ahorro de agua [Ley 373 de 1997]. DO: 43.058.
- Congreso de Colombia. (7 de agosto de 2002) Artículo 1 [Título I]. Cuencas Hidrográficas. [Decreto N° 1729 de 2002]. DO: 44.893. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_1729_2002.htm
- Congreso de Colombia (2 de agosto de 2012) Artículo [Título]. Decreto de regulación de instrumentos de planificación. [Decreto 1640 de 2012]. DO:48.510. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/389196/34.+DECRETO+1640+DE+2012.pdf/16c0bbbb-644a-4a96-9c9d-b0edcbce50aa?version=1.1>
- Constitución política de Colombia [Const.] (1991). Artículo 79 [Título I]. Recuperado de <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia.pdf>
- Constitución política de Colombia [Const.] (1991). Artículo 80 [Título I]. Recuperado de <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia.pdf>
- CORPONARIÑO. (2009). Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Departamento de Nariño, CRITERIOS, Volumen 1 (N° 25), 28-69. Recuperado de: <http://www.umariana.edu.co/RevistaCriterios/index.php/revista-criterios-no-25/70-gestion-integral-del-recurso-hidrico-en-el-departamento-de-narino>. Consultado: febrero 2018.
- Cusgüen Castro, L., F. (2013). Evaluación del Posible Efecto de Escenarios de Cambio Climático en la Calidad del Agua de la Cuenca Ubaté – Suárez. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/46286/1/30005.2013.pdf>
- Departamento de desarrollo sostenible - DDS. (2007). Valoración económica de las cuencas hidrográficas: una herramienta para el mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos. Recuperado de <http://www.oas.org/dsd/water/informfinaltallerspanish.pdf>
- Díaz Coutiño, R. (2010). Revista CENIC. Ciencias Biológicas. Crisis ambiental, desastre natural y la "sociedad desierta", vol. 41pp. [1-11]. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181220509029.pdf>

- Díaz García, R. (2017) Calibración del modelo WEAP para la planificación hidrológica de la cuenca San Diego (Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría) Recuperado de: <http://tesis.cujae.edu.cu/handle/123456789/8336>
- Domínguez Bravo, J. (2000). Inf.téc Ciemat, Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Recuperado de: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/115/38115075.pdf f. Pag 10, 11. Consultado: Febrero, 201
- Duque Yanguache, L., F. (2013). Análisis de la Vulnerabilidad y Medidas de Adaptación de un Proyecto de Regadío Frente al Cambio Climático. Caso Proyecto Lonquén (Tesis de Maestría. Universidad de Chile) Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112739/cf-duque_ly.pdf?sequence=1
- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., Forni, L. (2013). Aqua-LAC. Modelacion Hidrologica de escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades la Paz y El Alto, Bolivia. 6 (2). 23-34. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Marisa_Escobar/publication/306013913_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_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
- Esquivel Arriaga, G., Sánchez Cohen, I., Velásquez Valle, M., López Santos, A., López López, R., Bueno Hurtado, P. (2013). AGROFAZ. Modelación del Escurrimiento en una Subcuenca del Trópico Húmedo de México y su Análisis Mediante Índices de Eficiencia Predictiva, Vol 13 (2). [113-118]. Recuperado de: http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2013132VII_1.pdf
- FAO. (2002). Agua y Cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Capítulo 1. Recursos Hídricos Mundiales. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s02.htm#P0_0.
- FAO. (1996). Cumbre Mundial Sobre la Alimentación, Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>
- FAO. (2000a), El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2000, enseñanzas de los cincuenta últimos años. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/017/x4400s/x4400s.pdf/>
- FAO. (2002b). El Agua y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>.

- FAO. (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura Cómo gestionar los sistemas en peligro. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/015/i1688s/i1688s00.pdf>
- FAO, (2016a). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Cambio Climático, Agricultura Y Seguridad Alimentaria. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>
- FAO. (2016b). Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Accedido el [2018/08/03]. Recuperado de: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dams/indexesp.stm>
- FAO. (2017). Incrementar la Producción de Alimentos sin Perjudicar el Medio Ambiente. recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/889910/icode>
- FAO. (2018). Cambio climático, Labores de la FAO en materia del cambio climático. Recuperado de: <http://www.fao.org/climate-change/es/>. Consultado: febrero 2018.
- Fernández., M. (2013). Efectos Del Cambio Climático En La Producción Y Rendimiento De Cultivos Por Sectores Evaluación Del Riesgo Agroclimático Por Sectores. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- Flores Marin, M., A. (2014) Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrológica del Rio Papagayo, Estado de Guerrero. (Tesis Doctoral. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). Recuperado de: <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/463>
- Gobernación del Huila. (7 de marzo de 2016). Decreto 0489 [Decreto 0489 de 2016]. Recuperado de http://old.huila.gov.co/documentos/Gobernador/Decreto_Prodefensa_del_territorio_CarlosJVilla_2016.pdf
- Hernández Camps, R. (2017) Calibración del modelo WEAP como herramienta para la planificación hidrológica en la cuenca Los Palacios (Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría) Recuperado de: <http://tesis.cujae.edu.cu/handle/123456789/8371>
- Hernández Fernández, S. (noviembre, 2002). Interferencia de los Embalses, y su Régimen de Explotación, con Algunos Procesos y Especies Relacionados con la Fauna. Trabajo presentado en Congreso Internacional de Conservación y Rehabilitación de Presas de la Sociedad Española de Presas y Embalses, Madrid, España. Recuperado de: http://catedraia.unex.es/articulos/2002-11-13_Cong_Int_Presas-Interf_Emb_y_su_Explot_con_Fauna-Sahf.pdf
- HLPE, (2015). Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición, Roma 2015. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-av045s.pdf>. Consultado. Febrero 2018.
- Huertas, J., Clases, S., Bello, L., Chalas, J. (2014). Aqua-LAC. Simulación de los Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Estrategias de Adaptación, Usando

- el modelo Water Evaluation And Plannig (WEAP), en la Cuenca de la regios Yaque del Norte de la Republica dominicana. 6(2). 21-36. Recuperado de <http://www.cedaf.org.do/intranet/resena/articulos/2014/simulacion.pdf>
- IGAC. (2014). Instructivo, Zonificación Climática. Recuperado de: http://sofigac.igac.gov.co/files/mod_documentos/documentos/I40100-05-14%20V1/I40100-05-14%20V1%20Zonificacion%20climatica.pdf
- IDEAM. (2010). Estimación De La Demanda De Agua, Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. C. Gonzales, G. Saldarriaga, o. Jaramillo (Eds). Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología. y Estudios Ambientales. (170-228). Bogotá D.C.. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>.
- IDEAM. (2014a). Agua, Modelación Hidrológica. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>.
- IDEAM. (2014b). Cambio Climático. Conceptos Básicos De Cambio Climático. Recuperado de: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP & CANCELLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC. (2000). Informe Especial del IPCC, Escenario de Emisiones. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>
- Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC. (2007). Informe del Grupo de Trabajo I, Proyecciones de Futuros Cambios Climáticos. Recuperado de https://ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/spmssp6-6.html#footnote17
- Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC, (2013). Data Distribution Centre - DDC-. Definition of Terms Used Within the Pages DDC. <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>. Extraído en octubre 2013.
- Jaramillo, M., F., Galvis, A., Escobar, M., Forni, L., Purkey, D. Siebel, J., S., Lozano, G., Rodríguez, C., Castaño, J., Sabas, C. (2016). Aqua-LAC. 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. 8 (2), 14-24. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHI-02ArticuloMariaJaramillo.pdf>
- Lema Changoluisa M., A., Plaza Quezada, V., C. (2009) Modelación Hidrológica de la Cuenca (Alta y Media) del Rio Pastaza Aplicando el modelo de Simulación WEAP (Water Evaluation and Planning System). (Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1780>.
- Medio Ambiente. (18 de noviembre de 2015). Estudio alerta sobre grave afectación de páramos en Colombia por calentamiento global. *El Espectador*. Recuperado de

- <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/estudio-alerta-sobre-grave-afectacion-de-paramos-colomb-articulo-599950>.
- Mena Pardo, D., I. (2009). Análisis de Impactos del Cambio Climático en la Cuenca Andina del Río Teno, Usando el Modelo WEAP. (Tesis de Grado. Universidad de Chile). Recuperado de: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/mena_d/sources/mena_d.pdf.
- Mendoza, A. (1996). AGUAS CONTINENTALES Formas y Procesos. Capítulo VI. Balance Hídrico. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Vich/publication/305937814_Aguas_Continental_Formas_y_procesos_1996/links/57a65d6908ae455e85414244.pdf. Pag: 81. Consultado: Abril, 2018.
- Met Office Hadley Center (3, 02, 2017) PRECIS: a Regional Climate Modelling System. Recuperado de: <https://www.metoffice.gov.uk/research/applied/international-development/precis>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentacion%20Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%93n/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible (Mads), Dirección De Cambio Climático (Dcc), la Asociación De Corporaciones Autónomas Regionales Y De Desarrollo Sostenible (Asocars). (2015). Propuesta de Hoja De Ruta Para La Incorporación De Cambio Climático En Planes De Ordenación Y Manejo De Cuencas Hidrográficas. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/2.HOJA_DE_RUTA_POMCA_F.pdf.
- Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible. (24 de febrero de 2016). Decreto 298 [Decreto 298 de 2016]. Recuperado de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20298%20DEL%204%20DE%20FEBRERO%20DE%202016.pdf>
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2018a). Gestión Integral del Recurso Hídrico. Consultado. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>. Pag 1. Consultado en abril 2018.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018b). Impacto del cambio climático en Colombia. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/457-plantilla-cambio-climatico-13>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018c). Programa de Cultura del Agua, Participación y Transformación de conflictos relacionados con el recurso hídrico. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>

- recurso-hidrico/gobernanza-del-agua/programa-de-cultura-del-agua-participacion-y-transformacion-de-conflictos-relacionados-con-el-recurso-hidrico#publicaciones
- Montoya Falla, A. (26 de noviembre de 2012). Huila, eje del nuevo mapa cafetero colombiano. La Nación. Recuperado de: <http://www.lanacion.com.co/2012/11/26/huila-eje-del-nuevo-mapa-cafetero-colombiano/>
- Moncayo Calderón, O., J., Losada Palacios, L., Cruz Padilla, J., (2016) Modelación Hidrológica de la Cuenca del Rio Bache en el Departamento del Huila desde la Herramienta de Planificación Integrada de Recurso Hídrico (Tesis de Especialización, Universidad Católica de Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/13997>
- Monteagudo Alberto, A. (2017) Calibración del modelo WEAP como herramienta de Planificación en la Cuenca Bacunagua (Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría). Recuperado de: <http://tesis.cujae.edu.cu/handle/123456789/8389>
- Naciones Unidas CMNUCC, (1992) Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático Artículo 2. Definiciones. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Naciones Unidas UNFCC, (2015), Aprobación del Acuerdo de Paris. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>
- Naciones Unidas UN, (2016), Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>
- Olcese, O. (2000). Importancia del agua en el desarrollo social y económico: el entorno internacional sobre la gestión del agua, recomendaciones sobre estrategia en el Perú. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XL2012000690>
- Olmeda Pascual, J. M. (Abril, 2006). El agua y su análisis desde la perspectiva económica: una aplicación para el crecimiento económico. Trabajo presentado en VIII Reunión de Economía Mundial de La Sociedad de Economía Mundial, Alicante, España. Recuperado de: <http://altea.daea.ua.es/ochorem/comunicaciones/MESA2COM/OlmedaPascualJoseMiguel.pdf>
- ONU-Water. (24, 11, 2014). Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- ONU. (30, 12, 2015). El 1º de enero entra en vigor la nueva Agenda de Desarrollo Sostenible. Noticias ONU. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2015/12/1347821>
- Organización de las Naciones Unidas – ONU. (s.f.). Cambio Climático. Recuperado de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Ospina-Noreña, J., E., Gay-García, C., Conde, A., C., Magaña, V. (2009). Atmósfera. Vulnerability of water resources in the face of potential climate change: generation of

- hydroelectric power in Colombia, 22 (3). [229-252]. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362009000300001
- Ospina-Noreña, J., E., Gay-García, C., Conde, A., C. (2009). *Atmósfera. Analysis of the water supply-demand relationship in the Sinú-Caribe basin, Colombia, under different climate change scenarios*, 22 (4). [399-412]. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56512096006>
- Ovalle Cifuentes, O., T., Mayorga Araque T., C., Londoño Pérez, R., D. (2015). *Estudio Comparativo de la asignación del Recurso hídrico para la Microcuenca de la quebrada Cune Media Mediante el Uso del Modelo Water Evaluation And Planning (WEAP)*. (Tesis de Grado. Universidad de la Salle). Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18087>
- Parra Ullauri, M.A. (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* (Trabajo de grado, Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25834>
- Pérez Hernández, N. (2017) *Aplicación del modelo WEAP para obtener una política de operación optima de un sistema de embalses*. (Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría) Recuperado de: <http://tesis.cujae.edu.cu/handle/123456789/8397>
- Redacción Diario del Huila. (12 de febrero de 2018). *Cosecha cafetera huilense sumó \$1,367 billones en 2017*. Diario del Huila. Recuperado de: <https://www.diariodelhuila.com/cosecha-cafetera-huilense-sumo-1-367-billones-en-2017>
- Reyes Benavides, C., A. (2012). *Proyecciones de Variables Hidrológicas Diarias a Largo Plazo en la Cuenca del Río Tinguiririca en Bajo los Bribones, Bajo escenarios A1B Y A2 de Cambio Climático*. (Tesis de Grado. Universidad de Chile). Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112018/cf-reyes_cb.pdf?sequence=1
- Sampieri, R., H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M., P. (2010). *Metodología de la investigación*. Quinta edición. México. Editorial *The McGraw-Hill*.
- Sánchez, J., Muñoz, H., Orozco, S., Sánchez, G., Ritter, W., Carreón, M., Muñoz, M., Treviño, J. (2008). *Avances en Recursos Hidráulicos. Impacto del Cambio Climático Global en la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, Mexico*. (17). (25-32). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9286/9943>
- Stockholm Environment Institute [SEI]. (2018a). *Página principal de WEAP*. Recuperado de: <http://www.weap21.org/index.asp?action=200&NewLang=ES>. Pag 1. Consultado: febrero 2018

- Stockholm Environment Institute [SEI]. (2018b). Historia y Créditos. Recuperado de <https://www.weap21.org/index.asp?action=219>
- The Economy Journal. (s.f.). El Impacto del Cambio Climático en la Economía. Recuperado de <https://www.theeconomyjournal.com/texto-diario/mostrar/591451/impacto-cambio-climatico-economia>
- UNESCO. (2015). AGUA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE, Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Recuperado de: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf
- UNESCO. (2016). El agua, fuente de empleo y crecimiento económico, según nuevo informe de las Naciones Unidas. Recuperado de: <https://es.unesco.org/news/agua-fuente-empleo-y-crecimiento-economico-segun-nuevo-informe-naciones-unidas>.
- Valencia M., A., Uribe H., A. (1976). Normas para el diseño de Beneficiaderos de café. (avt0058). Recuperado de: https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avance_tecnico_0058
- Vélez Upegui, J., I., Ríos Rojas, L. (Junio, 2004). Corrientes Naturales Intervenciones y Condiciones Ecológicas. Trabajo presentado en Seminario Internacional Sobre Eventos Extremos Mínimos en Regímenes de Caudales: Diagnóstico, Modelamiento y Análisis de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4336/1/DA3751.pdf>
- Villa Olivares, E., A. (2013) Impacto del Cambio Climático sobre la Disponibilidad de Agua y sus Efectos Sobre los Usos del Agua en la Cuenca del Río Elqui. (Trabajo de Grado. Universidad de Chile). Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115546>

APENDICES

Apéndice 1.a. Tanque tina; b. Paleta para agitar la masa de café durante el lavado



Fuente: Cenicafé, 2013c, p.33

Apéndice 2. Canal de correteo utilizado para lavado y clasificación de café



Fuente: Cenicafé, 2013c, p.33

Apéndice 3. Lavado de café utilizando Bomba sumergible



Fuente: Cenicafé. 2013c, p.34

Apéndice 4. Modulo Becolsub con capacidad para 300 kg.h⁻¹ de café en cereza



Fuente: Cenicafé, 2013c p.30

Apéndice 5. Tecnología ECOMIL® desarrollada por Cenicafé, a. ECOMIL® 500; b.



ECOMIL® 1500; c. ECOMIL® 3000.

Fuente: Cenicafé, 2013c, p.35