

**EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS AMBIENTALES PARA LA GESTIÓN
INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUMAPAZ BAJO
UN ESCENARIO PROMEDIO DE CAMBIO CLIMÁTICO**

**GISELLE ALEJANDRA HENAO TOVAR
ANGIE DANIELA SANABRIA RAMOS**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2018**

**EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS AMBIENTALES PARA LA GESTIÓN
INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUMAPAZ BAJO
UN ESCENARIO PROMEDIO DE CAMBIO CLIMÁTICO**

**GISELLE ALEJANDRA HENAO TOVAR
ANGIE DANIELA SANABRIA RAMOS**

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Geógrafo y Ambiental

**Director
Jonathan Vásquez Lizcano
Magíster en Ciencias Agrícolas
Ingeniero Agrícola**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2018**

CONTENIDO

RESUMEN	10
1 INTRODUCCIÓN	11
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2.1 Problema de investigación	13
2.2 Pregunta de investigación e hipótesis	15
2.3 OBJETIVOS	16
2.3.1 Objetivo general.....	16
2.3.2 Objetivos específicos	16
2.4 Justificación	17
3 REVISIÓN DE LITERATURA	18
3.1 Políticas.....	18
3.2 Periodos futuros	24
3.3 Antecedentes.....	26
3.4 Marco conceptual.....	29
3.5 Estado del arte.....	31
4 METODOLOGÍA.....	34
4.1 Área de estudio	34
4.2 Desarrollo metodológico.....	35
4.2.1 Caracterización básica de la cuenca.....	36
4.2.2 Calibración y validación	37
4.2.3 Escenarios futuros de cobertura de la tierra.....	44
4.2.4 Políticas.....	47
4.2.5 Estrategias	47
5 RESULTADOS.....	50
5.1. Caracterización básica de la cuenca.....	50
5.1.1. Caracterización de la lluvia sobre la cuenca del río Sumapaz para el periodo de referencia 1976-2005	50
5.1.2. Demanda hídrica de las actividades socioeconómicas en la cuenca del río Sumapaz	
53	
5.1.3. Cobertura de la tierra y uso del suelo en la cuenca del río Sumapaz.....	53

5.1.4. Conflictos ambientales.....	55
5.2. Calibración y validación	55
5.3. Escenarios futuros de cobertura de la tierra.....	57
5.4. Resultados SWAT.....	62
5.4.1. Precipitación	62
5.4.2. Escorrentía	62
5.4.3. Evapotranspiración	63
5.4.4. Sedimentación.....	64
5.4.5. Vegetación	65
5.4.6. Suelo	66
5.4.7. Resultados medios anuales	68
5.5. Políticas, planes y proyectos	72
5.6. Estrategias	78
6 DISCUSIÓN	87
7. CONCLUSIONES	94
8. RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principios de la PNGIRH.....	19
Tabla 2. Objetivos específicos y estrategias de la PNGIRH.....	19
Tabla 3. Escenario medio de cambio climático para el departamento de Cundinamarca.....	25
Tabla 4. Escenarios medios de cambio climático para el departamento de Tolima.	25
Tabla 5. Reclasificación de coberturas de la tierra en el SWAT.	40
Tabla 6. Tipos de suelos en la cuenca del Sumapaz.	40
Tabla 7. Estaciones meteorológicas utilizadas en el desarrollo del proyecto.	42
Tabla 8. Transformaciones para la estabilización de la varianza de cobertura de la tierra.....	46
Tabla 9. Datos de precipitación mensuales periodo 1976-2005	50
Tabla 10. Demanda total de la cuenca del río Sumapaz.	53
Tabla 11. Coberturas futuras de la tierra para la cuenca del río Sumapaz.....	57
Tabla 12. Entidades encargadas de la regularización del agua.....	79
Tabla 13. Hoja interrelacionada de ruta.	80
Tabla 14. Estrategias planteadas para la cuenca hidrográfica.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Sumapaz	35
Figura 2. Calibración del SWAT	39
Figura 3. Ubicación de estaciones meteorológicas	43
Figura 4. Diagrama de lluvias establecidas para el periodo de referencia y escenarios futuros de acuerdo con el IDEAM	44
Figura 5. Ruta de interrelación entre los aspectos socioambientales.....	48
Figura 6. Adaptación al caso de estudio de la ruta interrelacionada.....	49
Figura 7. Boxplot de la cuenca del río Sumapaz	51
Figura 8. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Sumapaz	52
Figura 9. Contaminación en el páramo.....	55
Figura 10. Comparación de datos de precipitación para el periodo 1976-2005.	56
Figura 11. Edición de datos de precipitación por estaciones meteorológicas.	56
Figura 12. Calibración y validación del SWAT	57
Figura 13. Cobertura 2011-2040.....	59
Figura 14. Cobertura 2041-2070.....	60
Figura 15. Cobertura 2071-2100.....	61
Figura 16. Resultados de la precipitación media para cada periodo de tiempo.....	62
Figura 17. Cambios en la escorrentía en la cuenca hidrológica.....	63
Figura 18. Evapotranspiración en la cuenca del Sumapaz.....	64

Figura 19. Sedimentación en la cuenca.	65
Figura 20. Días por año de estrés por exceso de nitratos.....	66
Figura 21. Kilogramos por hectárea de fósforo orgánico en el suelo de la cuenca.	67
Figura 22. Kilogramos por hectárea de nitrógeno orgánico en el suelo de la cuenca.	67
Figura 23. Medios anuales de evapotranspiración de la cuenca del río Sumapaz.	69
Figura 24. Medios anuales de escorrentía de la cuenca del río Sumapaz.....	70
Figura 25. Medios anuales de sedimentación de la cuenca del río Sumapaz.	71
Figura 26. Corporaciones Autónomas Regionales dentro de la cuenca.	77
Figura 27. Manejo de políticas.	78

LISTA DE ABREVIATURAS

CAM: Corporación Autónoma del Alto del Magdalena

CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

CFSR: Climate Forecast System Reanalysis

CIDEA: Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental

CORPOGUAVIO: Corporación Autónoma Regional del Guavio

CORTOLIMA: Corporación Autónoma Regional de Tolima

CRC: Corporación Autónoma Regional del Cauca

DNP: Departamento Nacional de Planeación

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial

GIRH: Gestión Integrada del Recurso Hídrico

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

JAC: Juntas de Acción Comunal

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

MHCP: Ministerio de Hacienda y Crédito Público

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PAC: Plan de Acción Cuaternal

PIS: Procesos de Intervención Socioambiental

PNGIRH: Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico

POMCA: Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

POT: Plan de Ordenamiento Territorial

PUEAA: Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua

RCP: Caminos Representativos de Concentración de Emisiones

SDA: Secretaría Distrital de Ambiente

SIG: Sistema de Información Geográfica

SINAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas

SPNN: Sistema de Parques Nacionales Naturales

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

UAESPNN: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas son de suma importancia para el país, las entidades nacionales encargadas han considerado una serie de políticas, con el objetivo de proteger el recurso hídrico y garantizar su disponibilidad en todos los municipios; sin embargo, el acelerado desarrollo urbanístico, y el crecimiento de área cultivada y dedicada a la ganadería ha provocado la pérdida de la cobertura de la tierra, la disminución de los bosques y de aquellas zonas ambientales que protegen y preservan el recurso hídrico.

Con el objetivo de evaluar si las políticas ambientales vigentes son adecuadas para la GIRH en la cuenca del río Sumapaz ubicada en los departamentos de Cundinamarca y Tolima en Colombia, teniendo en cuenta el cambio del uso del suelo y de la oferta hídrica, se usó como herramienta de apoyo el modelo SWAT creando una simulación sobre tres periodos futuros (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) bajo un escenario medio de cambio climático con el fin de conocer lo que puede suceder en la cuenca en caso de seguir con las tendencias productivas y de deforestación que se han llevado a cabo en la última década.

Agregado a esto, se hizo una valoración a las políticas nacionales, regionales y locales que son las encargadas de regular y proteger los recursos de la cuenca, con el objetivo de evaluar sus potencialidades y deficiencias suponiendo que, las consecuencias del cambio climático y el cambio abrupto del uso del suelo seguirán los valores proyectados estadísticamente, para así dar por definidas una serie de estrategias que permitan la adaptación temprana a los cambios y sugieran un manejo diferente en el territorio para garantizar la calidad de vida y en el desarrollo de la cuenca bajo el marco de la GIRH.

Palabras clave: cuenca hidrográfica, SWAT, uso del suelo, políticas, estrategias, cambio climático

1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Sumapaz se localiza al sur del departamento de Cundinamarca y al oriente del departamento del Tolima; el área de esta cuenca es aproximadamente a 300,000 ha (3,000 km²). El 82% de la cuenca corresponde al departamento de Cundinamarca (2460 km²), mientras que el restante 18% al departamento del Tolima (540 km²). Sobre la cuenca del río Sumapaz existe la jurisdicción compartida de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA).

La cuenca está dividida en 23 subcuencas: río Pagüey, río Bajo Sumapaz, río Panches, río Cuja, río Negro, río Medio Sumapaz, Quebrada Negro, río Pilar, río San Juan y río Alto Sumapaz pertenecientes al departamento de Cundinamarca; y, quebrada Agua Fría, quebrada Arrozales, quebrada Guatoche, quebrada la Apicalá, quebrada la Guaduala, quebrada la Palmara, quebrada la Volcana, quebrada las Golondrinas, quebrada Madroñala, quebrada Palmas, quebrada Tinajas, río Juan Lopez y río Sumapaz del departamento del Tolima. Dentro de esta cuenca se encuentran los municipios de: Agua de Dios, Fusagasugá, Pasca, Silvana, Granada, Tibacuy, Arbeláez, Pandi, San Bernardo, Cabrera, Venecia, Granada, Nilo, Soacha, Sibaté, Ricaurte y parte de la ciudad de Bogotá dentro del departamento de Cundinamarca, mientras que por parte del Tolima: Carmen de Apicalá, Icononzo, Melgar y Suarez.

Según Ludwig (2004)¹, citado por Safavi (2015) el concepto de La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH²) fue introducido en 1980 con el propósito de optimizar el uso del agua; es decir, regular el consumo entre los diferentes sectores que la demandan y las fuentes que la ofertan. Por su alta importancia en Colombia, el MADS y el IDEAM trabajaron en conjunto para crear la PNGIRH basada en la GIRH, estableciendo objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico del país, para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, e implementar procesos de participación equitativa e incluyente.

Para el caso de la cuenca del río Sumapaz el aspecto hídrico es importante para actividades agropecuarias, domésticas e industriales. La localización geográfica de esta cuenca (zona Andina)

¹Ludwig, F., van Slobbe, E., Cofino, W., 2014. Climate change adaptation and Integrated Water Resource Management in the water sector. *J. Hydrol.* 518,235–242

² Siglas en inglés: IWRM

hace que sea propensa a procesos de sequía, deforestación y cambios en la cobertura de la tierra; además, debido a las actividades antrópicas, esta misma cuenca ha experimentado un aumento en la contaminación de sus fuentes de agua (calidad), reducción de la capacidad hídrica (oferta) y pérdida de cobertura de la tierra (producción de sedimentos, deforestación y erosión).

Esta investigación consistió en modelar a gran escala (1:100.000) la cuenca del río Sumapaz para analizar la oferta hídrica bajo tres escenarios medios de cobertura de la tierra proyectados: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100³; para analizar si la legislación ambiental es la adecuada asumiendo que la actual (vigente al año 2018) no será modificada, estableciendo si las políticas ambientales y las entidades reguladoras (IDEAM, CAR, PNN entre otras), son las indicadas para la GIRH en la cuenca del río Sumapaz; identificando las falencias, se formularon estrategias socioambientales a nivel general que permitan cumplir con el objetivo de la GIRH.

Para esto, se utilizó como herramienta, principal el SWAT, se ejecutado por medio de la extensión ArcSWAT para ArcGIS sobre el ambiente operativo de Windows, con el fin de tener una perspectiva a futuro de la cuenca, analizando los cambios que esta pueda tener y así poder determinar las posibles falencias en el marco legal de Colombia.

El modelo informático SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), es un simulador de la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea a partir del impacto ambiental causado por el uso de la tierra, las prácticas de manejo de la tierra y el cambio climático. Este modelo es ampliamente utilizado en el mundo para la evaluación, la prevención y control de la erosión del suelo, así como para el control de la contaminación de fuentes no puntuales y el manejo regional en cuencas hidrográficas (SWAT, 2017). Sin embargo, la implementación de esta herramienta es muy poco utilizada en el país, a pesar de que se ha demostrado su eficiencia en diferentes estudios de distintos países con problemáticas similares.

³ Los escenarios definidos son los periodos de referencia al cambio climático establecidos por el IDEAM. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Problema de investigación

El recurso hídrico es de vital importancia para cualquier ser vivo, su disminución presenta no sólo un problema a nivel local sino mundial; en un planeta en el que cada vez las condiciones ambientales son rigurosas y el agua presenta un desafío por el posible agotamiento o contaminación debida a la inadecuada gestión de ella.

La toma de decisiones en torno a la asignación del agua por parte de los gestores gubernamentales, en Colombia, cada vez se hace más difícil; esto debido a que con mayor frecuencia aparecen escenarios en los cuales la oferta disminuye frente a una demanda creciente. El crecimiento demográfico, el cambio climático junto con las actividades de desarrollo económico son, quizá, los principales factores de presión sobre los recursos hídricos disponibles. El tradicional enfoque fragmentado ya no resulta válido y se hace esencial un enfoque holístico para la gestión del agua al interior de una cuenca (Naciones Unidas, 2014).

Como uno de los efectos y consecuencias de ineficientes manejos de las cuencas hidrográficas se encuentran las sequías y desertificación, desabastecimiento y aceleración del cambio climático. Esto se evidencia principalmente en la pérdida de biodiversidad, altas temperaturas y poco rendimiento en los cultivos, produciendo diferentes problemas sociales y económicos en las poblaciones aledañas.

En Colombia se han implementado diferentes acciones para la conservación y manejo del recurso hídrico como lo es la PNGIRH, IDEAM, y las CAR, teniendo en el país como principal objetivo la protección del medio ambiente. Estas han establecido tanto políticas como planes, programas y proyectos con el fin de ordenar la cuenca, así como también para ordenar todas las actividades en torno a ella; sin embargo, el crecimiento económico en la zona y la aceleración del cambio climático en proporciones desmedidas hacen cuestionar la efectividad que tendrán a largo plazo para la sostenibilidad ambiental de la cuenca del río Sumapaz.

En la zona de estudio, a pesar de existir diferentes entidades administrativas y cooperaciones encargadas de la disponibilidad de los recursos naturales se observa un cambio en las actividades antrópicas creando problemática tanto ambientales como sociales a la hora de la utilización de esta

a niveles regionales y locales, los cuales van en aumento por la falta de articulación de las diferentes entidades y la desactualización de estudios y planes de manejo de la cuenca y sus municipios.

2.2 Pregunta de investigación e hipótesis

Pregunta de investigación

¿Serán adecuadas las políticas ambientales vigentes (año 2018) de gestión integral del recurso hídrico para la cuenca del río Sumapaz en el periodo 2022-2100 bajo el escenario medio de cambio climático definido por el IDEAM para esa misma región?

Hipótesis

Las políticas ambientales actuales de gestión integrada del recurso hídrico no serán suficientes para enfrentar el cambio climático; esto debido a que se ha encontrado en la literatura disponible que están bastante desactualizadas y baja, poca o nula articulación entre las entidades ambientales y las mismas político-administrativas. Por lo cual, se pretende demostrar que se debe construir un nuevo marco político.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Evaluar si las políticas ambientales vigentes (año 2018) son adecuadas para la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca del río Sumapaz para el periodo 2022-2100 bajo el escenario medio de cambio climático definido por el IDEAM para esa región.

2.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización básica de oferta, demanda y cambio de la cobertura de la tierra en un periodo de tiempo de 1976 al 2012 de la cuenca del río Sumapaz.
- Generar cambios de cobertura de la tierra para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 mediante la calibración y validación del modelo SWAT.
- Determinar si las políticas que acogen actualmente a la cuenca deben de ser eliminadas y/o modificadas para el futuro formulando estrategias que garanticen la sostenibilidad de la cuenca del río Sumapaz.

2.4 Justificación

La cuenca del río Sumapaz es una de las subzonas hidrográficas más importantes del área geográfica del río Magdalena-Cauca; sus fuentes hídricas presentan serios problemas de descensos de caudales, especialmente en las épocas de verano y sus reservas subterráneas presentan un gran potencial para las distintas actividades de la zona.

El río Sumapaz nace en el Páramo que lleva su mismo nombre, y sus aguas son las que benefician todas las actividades que se dan dentro de la cuenca, por su extensión es considerado el más grande del mundo. Situado en la localidad veinte de la capital del país, es una de las mayores fuentes hídricas no sólo para la cuenca sino para el país que le permite albergar diversas especies de flora y fauna.

En el interior de la cuenca se observa un crecimiento económico considerable por parte del municipio de Fusagasugá, Arbeláez, Pasca y Melgar. La producción agrícola y pecuaria que allí se da, beneficia a los habitantes de los propios municipios, así como a los de las ciudades de Bogotá e Ibagué, a pesar de la cantidad y calidad en la producción agropecuaria, la contaminación en las fuentes genera incertidumbre al futuro.

Estudios del IDEAM han pronosticado en el centro país de acuerdo al IPCC una serie de eventos meteorológicos que proponen en la zona cambios en la temperatura y precipitaciones que se ligan al cambio climático, esto se debe evaluar en conjunto con el cambio en la cobertura de la tierra y el uso del suelo para enfatizar en la situación actual en que se encuentra la cuenca.

Por lo tanto, resulta fundamental conocer cuál será la oferta futura del agua en la cuenca, no sólo en términos de cantidad sino de calidad, bajo un escenario de cambio climático; esto con el fin de llamar la atención sobre la vigencia y utilidad que tendrán las políticas ambientales actuales (año 2018) en el futuro; realizando así una labor de prevención o mitigación en pro del bienestar económico, social y ambiental de la cuenca y de las generaciones futuras que en esta se encontrarán.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Políticas

Según lo establecido por la Ley 99 de 1993 y el Decreto-Ley 216 de 2003, el MAVDT ahora MADS, como coordinador del Sistema Nacional Ambiental, es la entidad rectora de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir y formular (garantizando la participación de la comunidad), las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables de forma sostenible, entre ellos el agua.

El MAVDT, y el IDEAM, trabajaron en conjunto para plantearse como meta la formulación de la Política Hídrica Nacional. Esta política debía direccionar la gestión integral del recurso hídrico, incluyendo tanto las aguas superficiales, como las subterráneas y las marinas y, en consecuencia, debía establecer los objetivos y estrategias para el uso y aprovechamiento eficiente del agua y la prevención y control de la contaminación hídrica, considerando y armonizando los aspectos sociales, económicos y ambientales que inciden en dicha gestión (MAVDT, 2010).

Por lo anterior se crea la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (PNGIRH) en donde se establece objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años (2010 a 2022).

Para alcanzar el desarrollo de esta política en el horizonte, se establecen ocho principios (Tabla 1) y seis objetivos específicos para los cuales se definieron estrategias y directrices, donde se define el rumbo hacia donde deben apuntar las acciones que desarrollen cada una de las instituciones y de los usuarios que intervienen en la GIRH. Esto se desarrollará en tres fases: corto plazo (2010 a 2014), mediano plazo (2015 a 2018) y largo plazo (2019 a 2022) y su estructuración considerará las diferentes características y particularidades de cada una de las regiones del país.

Tabla 1. Principios de la PNGIRH.

PRINCIPIOS DE LA PNGIRH	
Bien de uso público	El agua es un bien de uso público y su conservación es responsabilidad de todos.
Uso prioritario	El acceso al agua para consumo humano y doméstico tendrá prioridad sobre cualquier otro uso y en consecuencia se considera un fin fundamental del Estado. Además, los usos colectivos tendrán prioridad sobre los usos particulares.
Factor de desarrollo	El agua se considera un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del país por su contribución a la vida, a la salud, al bienestar, a la seguridad alimentaria y al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas.
Integralidad y diversidad	La gestión integral del recurso hídrico armoniza los procesos locales, regionales y nacionales y reconoce la diversidad territorial, ecosistémico, étnica y cultural del país, las necesidades de las poblaciones vulnerables (niños, adultos mayores, minorías étnicas), e incorpora el enfoque de género.
Unidad de gestión	La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico.
Ahorro y uso eficiente	El agua dulce se considera un recurso escaso y, por lo tanto, su uso será racional y se basará en el ahorro y uso eficiente.
Participación y equidad	La gestión del agua se orientará bajo un enfoque participativo y multisectorial, incluyendo a entidades públicas, sectores productivos y demás usuarios del recurso, y se desarrollará de forma transparente y gradual propendiendo por la equidad social.
Información e investigación	El acceso a la información y la investigación son fundamentales para la gestión integral del recurso hídrico.

Fuente: (MAVDT, 2010)

De acuerdo con la Tabla 2 los objetivos específicos y las estrategias se establecen para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, se considera al agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

Tabla 2. Objetivos específicos y estrategias de la PNGIRH

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ESTRATEGIAS
1. OFERTA: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.	1.1 Conocimiento: Esta estrategia se orienta al entendimiento de cómo funcionan y cómo se relacionan los ecosistemas y los procesos hidrológicos. 1.2 Planificación: Esta estrategia se orienta a establecer lineamientos específicos a nivel de la cuenca hidrográfica (aguas superficiales, subterráneas y marino costeras)

	<p>1.3 Conservación: Esta estrategia se orienta a la restauración y preservación de los ecosistemas considerados clave para la regulación de la oferta hídrica.</p>
<p>2. DEMANDA: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.</p>	<p>2.1 Caracterización y cuantificación de la demanda del agua en cuencas prioritizadas: Esta estrategia se orienta a medir a nivel de cuencas prioritizadas (aguas superficiales, subterráneas y marino costeras).</p> <p>2.2 Incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores productivos usuarios del agua: Esta estrategia se orienta a promover y apoyar la adopción de herramientas de gestión integrada para el uso del recurso hídrico.</p> <p>2.3 Uso eficiente y sostenible del agua: Esta estrategia se orienta a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente y sostenible del agua entre los principales consumidores de agua en el país.</p>
<p>3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.</p>	<p>3.1 Ordenamiento y reglamentación de usos del recurso: Esta estrategia se orienta a la implementación de la ordenación de las cuencas hidrográficas.</p> <p>3.2 Reducción de la contaminación del recurso hídrico: Esta estrategia se orienta a combatir las principales causas y fuentes de contaminación del recurso hídrico mediante acciones preventivas y correctivas.</p> <p>3.3 Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua: Esta estrategia se orienta a mejorar las prácticas y herramientas de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico.</p>
<p>4. RIESGO: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.</p>	<p>4.1 Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica: Esta estrategia se orienta a mejorar el conocimiento acerca de las causas y efectos de los principales riesgos que afectan la oferta y disponibilidad del recurso hídrico para los diferentes usos.</p> <p>4.2 Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación: Esta estrategia se orienta incluir la gestión del riesgo en la formulación e implementación de los principales instrumentos de planeación del recurso hídrico.</p> <p>4.3 Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica: Esta estrategia se orienta a fortalecer la formulación e implementación de medidas de adaptación y mitigación a la variabilidad y cambio climático por parte de los usuarios del recurso hídrico que resulten más expuestos a estos fenómenos naturales</p>
<p>5. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.</p>	<p>5.1 Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico: Esta estrategia se orienta a fortalecer las acciones de las autoridades ambientales en la planificación, administración, monitoreo y control del recurso hídrico.</p> <p>5.2 Formación, investigación y gestión de la información: Esta estrategia se orienta a fomentar y desarrollar acciones de investigación y de manejo de la información relacionada con el recurso hídrico.</p>

	5.3 Revisión normativa y articulación con otras políticas: Esta estrategia se orienta a hacer los ajustes, armonizaciones e incluso los desarrollos normativos necesarios para el desarrollo de la Política para la GIRH.
	5.4 Sostenibilidad financiera: Esta estrategia se orienta a estimar, priorizar y asegurar las inversiones necesarias para la implementación de la Política.
6. GOBERNABILIDAD: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.	6.1 Participación: Esta estrategia se orienta a incentivar el desarrollo de mecanismos y espacios de participación que motiven a los usuarios del agua a que hagan parte de la gestión integral del recurso hídrico.
	6.2 Cultura del agua: Esta estrategia se orienta a incrementar en los usuarios del agua la conciencia y el conocimiento sobre la importancia de conservar y hacer uso sostenible del recurso hídrico.
	6.3 Manejo de conflictos: Esta estrategia se orienta a proveer a las autoridades ambientales y territoriales, así como a los usuarios del agua, de herramientas para identificar, tratar y manejar o resolver los conflictos que surjan en torno al uso.

Fuente: (MAVDT, 2010)

Según el artículo 5 del decreto 1729 de 2002 (ya derogado) le corresponde al IDEAM establecer los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas en el país con fines de ordenación. Así mismo, el IDEAM es un organismo de apoyo técnico científico del MADS, para lo cual dentro del ámbito de su competencia definirá los estudios, inventarios y actividades de seguimiento y manejo de la información, que el Ministerio requiere para: 1) Fundamentar la toma de decisiones en materia de política Ambiental. 2) Suministrar las bases para el establecimiento de las normas, disposiciones y regulaciones para el Ordenamiento ambiental del Territorio, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables.

Con base en las consideraciones expuestas en la resolución 104 del 7 de julio de 2003 Por la que se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas del IDEAM, se adoptaron los componentes hidrológicos, físico/bióticos, socioculturales, tecnológico/económico y político/institucional en donde cada uno cuenta con sus respectivos factores, parámetros y criterios.

Por su parte el Decreto 622 de 1977, el Decreto Ley 2811 de 1974 y en la Ley 99 de 1993, se establece que la UAESPNN hace parte de la estructura orgánica del MADS y es la encargada del manejo y administración del SPNN y de la coordinación del SINAP. Tiene además las funciones de otorgar permisos, concesiones y autorizaciones para el uso y aprovechamiento de recursos naturales, cobrar tasas y participar en procesos de licenciamiento ambiental.

En la actualidad, el país cuenta con 33 autoridades ambientales regionales distribuidas en todas las áreas del territorio, representadas en las denominadas corporaciones autónomas regionales y corporaciones para el desarrollo sostenible. Dichas entidades fueron creadas en el Artículo 5, Ley 99 de 1993, dotadas de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica y están encargadas de la administración del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, incluida el agua, de conformidad con las políticas y disposiciones legales que establezca el MADS. Dichas autoridades ejecutan políticas, planes, programas y proyectos específicos para manejar, proteger, regular y controlar la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico, y velan por el cumplimiento de la normativa vigente en la materia.

En la CAR se elaboran informes de evaluación de las áreas de importancia estratégica para cada una de las cuencas que incluye aspectos cartográficos, recurso hídrico, flora, fauna, saneamiento básico y la información de áreas de importancia ambiental de los POT. Levantamiento de información diagnóstica referente a identificación de conflictos de uso del recurso hídrico y demás recursos naturales, teniendo en cuenta factores como:

- Reglamentación de corrientes
- Monitoreo del recurso
- Infraestructura de embalses
- Evaluación regional del agua
- Balance hídrico
- Programas de uso eficiente y ahorro de agua
- Gestión del conocimiento y la innovación para la sostenibilidad ambiental

El PAC cuenta con 22 proyectos los cuales tienen sus respectivas metas a cumplir, unas de las más importantes para la GIRH son:

- Proyecto 1. Gestión del conocimiento y la innovación ambiental.
- Proyecto 2. Cultura para la protección ambiental
- Proyecto 4. Estado de los recursos naturales
- Proyecto 5. Cultura del servicio para fortalecer la gestión ambiental.
- Proyecto 7. Evaluación, control y vigilancia al uso, manejo, aprovechamiento y movilización de los recursos naturales.

- Proyecto 11. Producción más limpia y negocios verdes.
- Proyecto 14. Ordenación de cuencas hidrográficas.
- Proyecto 15. Infraestructura para la gestión ambiental.
- Proyecto 16. Regulación hídrica y adecuación hidráulica
- Proyecto 18. Planificación, concertación y seguimiento del componente ambiental en el ordenamiento territorial.

En cuanto a CORTOLIMA se presentan proyectos como:

- Proyecto 1. Gestión del conocimiento y ordenación del recurso hídrico superficial y subterráneo
- Proyecto 2. Administración del recurso hídrico superficial y subterráneo.

Por la desactualización de las entidades encargadas del POMCA se crea resolución 001 del 03 de octubre del 2016, por la CAR y CORTOLIMA, donde se declara la ordenación de la cuenca del río Sumapaz, considerando que las corporaciones autónomas regionales ordenan y establecen normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas en el área de su jurisdicción y en los casos en que dos o más corporaciones tengan jurisdicción sobre una cuenca, trabajaran en comisión conjunta encargándose de concertar, armonizar y definir políticas para el manejo ambiental correspondiente según el parágrafo 3 del artículo 33 de la Ley 99 de 1993, facilitando el momento de la ejecución del Plan de Ordenamiento, su ejecución, monitoreo, seguimiento y evaluación según lo establecido en PNGIRH.

A partir de la expedición de los Decretos 1729 y 1604 de 2002, la ordenación de cuencas ha tomado una relevancia notoria dentro de la gestión de las autoridades ambientales, impulsando un mayor conocimiento de la situación ambiental en sus territorios, particularmente del recurso hídrico, y orientando en aspectos ambientales los POT. Las normas sobre manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables previstos en un plan de ordenación de una cuenca priman sobre las disposiciones generales dispuestas en otro ordenamiento administrativo, en las reglamentaciones de corrientes, o establecidas en los permisos, concesiones, licencias y demás autorizaciones ambientales otorgadas antes de entrar en vigencia el respectivo plan de ordenación y manejo. De acuerdo con lo previsto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, el plan de ordenación y manejo

de una cuenca hidrográfica constituye norma de superior jerarquía y determinante de los planes de ordenamiento territorial.

3.2 Periodos futuros

Como prospectivas para la precipitación, el IDEAM establece que para el periodo 2011-2040 se observa aumentos de la precipitación del orden de 10 a 40%, siendo los más altos en algunos sectores: Eje Cafetero, Sabana de Bogotá, Oriente de Cauca y el valle del Alto Magdalena. Para 2041-2070, se observa un comportamiento similar al periodo anterior, con aumentos y disminuciones de precipitación localizado en las mismas zonas aumentos en la región Andina y disminuciones en la región Caribe y el sur y oriente de Colombia y en el último periodo 2071-2100 es similar a los periodos anteriores, con incrementos de la precipitación en la región Andina (Armenta, 2014).

En la región donde se localiza la cuenca, específicamente en el departamento de Cundinamarca se esperan cambios normales y altos en cuanto a precipitación y temperaturas (Tabla 3) lo cual genera un reto de sostenibilidad en la región, en la que se esperan efectos en el sector agrícola, en la biodiversidad del páramo de Sumapaz y en el sector energético. La parte restante en el departamento del Tolima (Tabla 4), contará con cambios que afectarán el oriente del departamento en el sector agrícola, ganadero (IDEAM, 2015). De acuerdo con lo anterior, se espera hacer un análisis comparativo de estas proyecciones con los resultados en la calibración y modelación de SWAT para determinar las acciones a desarrollar en las estrategias prospectivas de este proyecto de investigación.

De acuerdo con Armenta (2014), se espera que las magnitudes de los cambios en la temperatura media para Colombia varié en el periodo 2011-2040 entre un aproximadamente 1.0 °C para los 4 RCPs, en el caso del periodo 2041-2070 se observaría un cambio de alrededor de 1.0-1.5°C en el RCP 2.6 y 1.5-2.0°C en el RCP 8.5. Finalmente, en el periodo 2071-2100 se esperaría un aumento de alrededor de 1.0°C en el RCP 2.6 y de 2.0°C a 3.5°C en el RCP8.5 para el país.

Tabla 3. Escenario medio de cambio climático para el departamento de Cundinamarca.

Tabla Convención Temperatura		TABLA POR PERIODO/ ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100						Tabla Convención Precipitación	
Cambio	Rango de Valores temperatura	2011-2040		2041-2070		2071-2100		Cambio	%
		Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)	Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)	Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)		
Bajo	0 - 0,5							Déficit Severo	< -40
Bajo Medio	0,51 – 1							Déficit	39 y 11
Medio	1,1 - 1,5							Normal	10 y 10
Medio Alto	1,5 – 2	0,8	7,99	1,5	9	2,3	8,21	Exceso	11 y 39
Alto	2,1 - 3,9							Exceso Severo	> 40

Fuente: (Armenta, 2014)

Tabla 4. Escenario medio de cambio climático para el departamento de Tolima.

Tabla Convención Temperatura		TABLA POR PERIODO/ ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100						Tabla Convención Precipitación	
Cambio	Rango de Valores temperatura	2011-2040		2041-2070		2071-2100		Cambio	%
		Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)	Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)	Cambio de temperatura media °C	Cambio de precipitación (%)		
Bajo	0 - 0,5							Déficit Severo	< -40
Bajo Medio	0,51 – 1							Déficit	39 y 11
Medio	1,1 - 1,5							Normal	10 y 10
Medio Alto	1,5 – 2	0,9	10,54	1,6	13,11	2,3	17,24	Exceso	11 y 39
Alto	2,1 - 3,9							Exceso Severo	> 40

Fuente: (Armenta, 2014)

3.3 Antecedentes

En el ámbito de estudios en la cuenca de río Sumapaz un primer trabajo corresponde a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2007) el cual se basó en el diagnóstico y caracterización básica de la cuenca junto con sus correspondientes subcuencas, con el objetivo de ordenarla y formular un planteamiento sostenible de todos sus recursos. Se trabajaron aspectos físicos, bióticos, socioeconómicos con resultados de escenarios tendenciales de conservación, restauración, degradación y recuperación y escenarios alternativos basándose en lo ambiental, en lo social, en lo económico y en lo físico para resultados alternativos de zonas de protección, conservación, restauración, recuperación, desarrollo socioeconómico y urbanístico.

Para esto definen una serie de programas y proyectos con el objetivo de tener cuenta el concepto de priorización y compatibilidad del uso de los recursos naturales renovables de la cuenca, especialmente del recurso hídrico a partir de zonificaciones ambientales para establecer un grado de priorización a corto, mediano y largo plazo. Este trabajo contribuye al proyecto de investigación como cimiento en aspectos de caracterización, localización a la hora de desarrollar el primer objetivo.

Otros trabajos indispensables para el apoyo del proyecto de investigación son los diagnósticos establecidos por la CAR (2003), para cada subcuenca del río Sumapaz que instauran las características fisiográficas, morfométricas y variables hidrológicas tales como los balances hídricos, esenciales a la hora de calcular oferta y demanda para la caracterización biofísica de cada una de las subcuencas y sus evaluaciones socio ambientales con el objetivo de conocer su uso y las zonas estratégicas al momento de estudiar las condiciones de coberturas de la tierra.

En referencia a la GIRH- a nivel nacional, el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010) crea una política que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.

La GIRH plantea el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicas, centrándose en diagnósticos, y principios se valida un plan nacional con la

finalidad de respaldar el uso sostenible del agua y contribuir a la calidad de vida de la población y al desarrollo armónico de las actividades.

En temas de estudios binacionales se encuentra una investigación hecha por (Padilla, 2013) donde denota que tanto Colombia como Brasil son ricos en términos de agua y a pesar de esto, los países se encuentran en una escasez relativa de esta.

En Colombia es el Estado a través de las Corporaciones Ambientales Regionales, las que implementan las principales herramientas de GIRH (concesiones, tasa por uso del agua, tasa por contaminación, planes de cuenca, etc.), sin existir una participación formal de la sociedad civil en la gestión. En Brasil en cambio, la estructura de gestión y las herramientas de GIRH son descentralizadas y participativas, pues son los Comités de Cuenca, entidades donde participa el gobierno estatal, los municipios y los usuarios, los que tienen el mayor peso en la gestión del agua (Padilla, 2013). No obstante, la gestión en estos dos países se encuentra fragmentada, y no se aplica en todas sus cuencas hidrográficas así que su investigación se basó en la comparación de la aplicación del concepto, trabajando con un estudio de caso para cada país referente a las cuencas hidrográficas río Nima (Colombia) y Tietê-Jacaré (Brasil).

Dando como resultados que, en Colombia, la GIRH aún no se ha definido: las cuencas, aunque de manera informal son consideradas como una unidad territorial en la teoría, en la práctica no tienen ese reconocimiento en el marco legal; y, la participación de la comunidad en la gestión del agua no está formalmente definida.

A nivel internacional, existen variados estudios donde se ponen a prueba los principios de la GIRH en cuencas hidrográficas, un primer trabajo de (Safavi, 2015) destaca la necesidad de planificación y manejo de recursos hídricos. El estudio realizado en la cuenca del río Zayandehrud en Irán es un ejemplo de complejo sistema de agua, el cual fue construido para evaluar el período de análisis hidrológico de 21 años, (de octubre de 1991 a septiembre de 2011) y se calibró durante 17 años utilizando un escenario que consideraba el abastecimiento de agua, la infraestructura y las condiciones hidrológicas históricas.

Los resultados mostraron que las demandas de agua se suministrarán a costa del agotamiento de los recursos de aguas superficiales y subterráneas, haciendo que este escenario sea indeseable e

insostenible. Por lo tanto, la actual política de gestión del agua en la zona de estudio no es viable, dando por necesario adoptar políticas adicionales de gestión del agua que reduzcan la demanda de esta y la disminución de la extracción de agua subterránea para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca Zayandehrud.

Considerando pertinente este apoyo investigativo como base a la hora de aplicar la GIRH en la cuenca a estudiar, en vista de los procesos aplicativos de los modelos dados a los datos hidrológicos servirá como guía para examinar la viabilidad de la gestión nacional del agua para su optimización y sostenibilidad modificando o no las políticas que rigen en la actualidad.

En cuanto a modelación de cuencas bajo la aplicación de un modelo hidrológico con el SWAT en el país no se han realizado estudios pertinentes, sin embargo, el modelo ha tenido gran auge en investigaciones alrededor del mundo, por esta razón se consideró una serie de estudios en el ámbito internacional con el propósito de reconocer la capacidad técnica del modelo y su utilidad en temas de modelación hidrográfica y del suelo.

Un estudio que se llevó a cabo por Pereira (2016), fue desarrollado para la Cuenca del río Pomba, que se encuentra en la región sureste de Brasil con los objetivos de calibrar y validar el modelo SWAT para una subcuenca de la Cuenca del río Pomba, con la intención de aprobar el uso con secciones de control aguas arriba y aguas abajo y validarla para otras subcuencas con la intención de contar con un modelo que pueda ser utilizado para la estimación de la disponibilidad de agua y la planificación del uso y ocupación del suelo.

Obteniendo que el modelo se pudo utilizar en la simulación del flujo anual máximo, medio y mínimo anual, contribuyendo con la gestión de los recursos hídricos de la región, aunque el modelo aún necesita mejorarse, especialmente en la representatividad de las precipitaciones para suministrar mejores estimaciones.

Así demostrando, que el modelo es una buena, para la simulación cercana de escenarios bajos modelos hidroclimáticos y del suelo para llevar a cabo una gestión adecuada en cualquier cuenca a investigar, siendo la cuenca del Sumapaz pionera a ser estudiada en esta forma.

3.4 Marco conceptual

El ciclo hidrológico es un proceso de transporte rotatorio y permanente, debiéndose fundamentalmente a que el sol proporciona energía generando la evaporación del agua, y la gravedad terrestre, haciendo que el agua condensada se precipite así mismo causando escurrimiento (Sociedad Geográfica de Lima, 2011), El ciclo hidrológico está conformado por los siguientes componentes:

La precipitación es conocida como toda agua que desciende a la superficie terrestre, tanto de forma líquida y sólida. Siendo denominada un elemento importante en el ciclo hidrológico, ya que es la fuente primaria de agua en la superficie terrestre; sus mediciones y análisis son el punto de partida de los estudios referentes al uso y control del agua según Villon (2004).

La evaporación es el agua que se transfiere a la atmosfera desde la superficie terrestre es decir es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso directamente. Si hay una superficie cubierta por vegetación hay que tener en cuenta el proceso denominado transpiración, el cual es la trasferencia de vapor de agua a la atmosfera a través de las estomas de las plantas. Por lo que la evapotranspiración es el conjunto de pérdidas de agua en forma de vapor proveniente de la vegetación y de la superficie del suelo a la atmosfera (Ministerio de Ambiente, 2004).

La escorrentía es el agua proveniente de la precipitación que no es infiltrada, interceptada o evaporada que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Villon, 2004).

El balance hidrológico es la cuantificación de los componentes del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas o de cuerpos de agua subterráneos. Su propósito es determinar los principales flujos hídricos en las cuencas. (Jimenez & Galizia, 2012). El balance hídrico es la representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmosfera. El balance hídrico permite establecer la relación entre las ganancias y las pérdidas de agua que se registran en un área determinada (Jimenez, 1994).

Una cuenca hidrográfica se define como una unidad natural en la que el agua derivado de la precipitación forma un curso principal de agua (Arosemena, 2010). Siendo una unidad fisiográfica

conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o divisorias de agua se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río, estando conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, un río muy grande, un lago o a un mar (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2015).

Arosemena (2010), toma la cuenca como un constituye principal de unidad territorial que proviene del ciclo hidrológico, en donde es captada, acumulada, y disponible como oferta de agua tanto para la fauna como la flora. En el ámbito de una cuenca se produce una dependencia entre los sistemas biofísicos y el sistema socioeconómico, formado por la población de la cuenca.

Según Madroñero (2006), la cuenca hidrográfica puede llegar a ser tomada en cuenta como un sistema, ya que se pueden encontrar subsistemas culturales, sociales, biofísicos y económicos. Tomando la cuenca como un todo en el que interactúa el tiempo y espacio de los subsistemas, dentro de este enfoque existen elementos importantes como lo es su protección y conservación, restaurar y crear, comprender, manejar y operar, por esto si se afecta a uno de estos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna, 1997).

Uno de los factores que puede poner en riesgo el sistema es la oferta y demanda ambiental, siendo la capacidad que tienen los ecosistemas y su potencialidad, para entregar bienes y servicios, estos beneficios pueden ser numerosos y variados, e influyen servicios que mejoran la calidad de la tierra, el aire y el agua (Bogoña, 1999).

Así mismo el cambio climático siendo el incremento en la temperatura media del planeta que se ocasiona como consecuencia de un incremento en las concentraciones de gas de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera que exacerba el efecto invernadero, derivadas de las actividades humanas en general y afectando a las misma (SEDAN, 2010).

Por las consecuencias de los GEI y los problemas de contaminación se empieza a hablar de la Gestión integrada del recurso hídrico, la cual 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 (UNDP, 2005). 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” (MADS, 2018).

Una herramienta que pueda ayudar a la orientación, gestión y aprovechamiento de la GIRH son los sistemas de información geográfica (SIG), en donde han ayudado a la gestión en diferentes ámbitos tanto ambientales como sociales ya que es un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos (IGAC, 2007). Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (Instituto nacional de estadística y geografía, 2014).

Se crea una extensión adicional para la GIRH el Modelo hidrológico SWAT el cual permite varios procesos físicos diferentes para ser simulados en una cuenca hidrográfica, requiriendo diferentes datos tanto climáticos como geográficos (SWAT, 2010).

3.5 Estado del arte

Con el fin de tener como referencia algunos estudios del cambio de cobertura en cuencas hidrográficas, se citarán algunas investigaciones realizadas en casos internacionales y locales bajo la metodología de aplicación del modelo SWAT.

En casos internacionales de tiene el de Monciño (2015), el cual elabora un estudio denominado la cobertura y uso del suelo en la producción de sedimentos y escurrimientos superficiales en la cuenca El Tejocote, México, mediante el modelo hidrológico SWAT, teniendo como finalidad aplicar, calibrar y validar el modelo para simular la producción de escurrimientos superficiales y sedimentos en la cuenca El Tejocote, a fin de generar alternativas de uso y manejo en el agua y suelo.

La metodología consistió en la recopilación de información en cuanto a caracteres físicos (fisiografía, edafología, fisiografía y uso del suelo) y geomorfológicos (tipo de cuenca, área y perímetro, forma y red de drenaje), con esto se procesó el modelo en el SWAT.

Teniendo como facilidad la manipulación de una gran cantidad de datos requeridos, por periodos extensos de tiempo y el manejo de diversas variables, en cuanto a la utilización del modelo se determinó que la calibración requiere de un ajuste continuo de los parámetros de entrada al mismo, además para obtener una máxima confiabilidad de los resultados, es necesario adecuar la mayor cantidad de información disponible en cuanto al manejo de la cuenca.

Asimismo, se tiene a Zuleta (2013), presenta un análisis del comportamiento del recurso hídrico ante cambios de uso del suelo y el cambio climático en la cuenca del río Pejibaye, Costa Rica, teniendo como objeto analizar el comportamiento del recurso hídrico de la cuenca del río Pejibaye, bajo escenarios de cambio de uso de suelo y climático, como un aporte a la posterior planificación del recurso hídrico de la cuenca.

Para la utilización del modelo SWAT fue necesario la recopilación de datos del modelo digital de elevación, mapa de suelos, uso del suelo, proyecciones del uso del suelo, datos climáticos y calibración del modelo, donde se obtuvo como proyecciones el cambio de uso de suelo, modelaciones de mapa de uso del suelo y efectos climáticos para el año 2030.

Con lo anterior se pudieron determinar los cambios de cobertura en un periodo de tiempo de 30 años con esto se determinaron los efectos que podría causar el cambio climático, como recomendación hacia el ARCSWAT se obtiene debida calibración de este ya que podría proyectar resultados sobreestimadas o subestimadas considerables en las variables del estudio.

Un estudio similar es el de Argeñal y Urtecho (2013), donde se genera una modelación hidrológica para la sub cuenca de río Guacerique por medio de la herramienta ARCSWAT, bajo escenarios de cambios en el uso de suelos y precipitación, el cual tiene como centro el uso de la herramienta de modelación hidrológica SWAT para actualizar, ejecutar y calibrar una simulación hidrológica para la subcuenca Guacerique, con la finalidad de llenar vacíos importantes de información que son necesarios para la planificación del abastecimiento de agua proveniente de este sistema hidrográfico, en el periodo que comprende la adaptación al cambio climático en recursos hídricos.

Como caso local se tiene a Obando y Moran (2013), el cual tiene como finalidad “modelación del recurso hídrico en la microcuenca Peñas Blancas, municipio de Tangua, departamento de Nariño” utilizando el modelo SWAT, teniendo como datos de entrada, un modelo digital de elevación, mapa

de uso del suelo, datos climatológicos, parámetros de suelo y cobertura, en donde determina las diferentes dinámicas hidrológicas.

Así mismo se encuentra a Castañeda (2016), el cual presenta “modelación del efecto del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Coello, bajo escenario de cambio climático, a través de la aplicación del modelo hidrológico SWAT”, Teniendo como propósito la evaluación y determinación del efecto del cambio, en el uso del suelo bajo un escenario de cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca.

En este caso se llegó a la conclusión que datos de la cuenca de estudio, fueron considerados de buena calidad, permitieron determinar las condiciones de la cuenca en cuanto a los datos para cubrir las necesidades del modelo SWAT. Sin embargo, el uso de mapas más detallados, especialmente el de suelos, puede mejorar los resultados del modelo, lo que facilitaría el ajuste del modelo para reducir el número de parámetros a la hora de hacer la calibración.

Igualmente se encuentra el estudio de Urrutia (2016), “aplicación del modelo SWAT para la simulación del ciclo hidrológico de la cuenca alta del río San Juan bajo la influencia de la actividad minera”, teniendo como fin la implementación del modelo hidrológico SWAT para reproducir el ciclo hidrológico de la cuenca alta del río San Juan, ante diferentes escenarios de cambio de uso de suelo producto de la actividad minera.

Como resultados generales se puede comprobar que el SWAT es efectivo en cuanto a la proyección hidrológica en un periodo de tiempo teniendo en cuenta la calidad de los datos bases requeridos, unas de sus principales dificultades y consideraciones que se deben tener en cuenta es la calibración y validación del modelo para resultados efectivos, en cuanto al proyecto su principal conflicto puede llegar a ser las diferentes proyecciones que se quieren tener en cuenta, ya estos estudios no se han realizado a una temporalidad superior a los 30 años.

4 METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

De acuerdo con la zonificación hidrográfica del IDEAM para Colombia, las cuencas se dividen en 3 niveles, 5 áreas hidrográficas, 40 zonas hidrográficas y 316 subzonas hidrográficas.

Entre las cinco áreas hidrográficas se encuentra el área Magdalena Cauca con una extensión de 271.118,09 km², siendo la más importante del país, ya que se encuentra el río Magdalena. Es una de las cuencas con mayor complejidad en cuanto a su presencia de intervención cultural, antrópica, y amenazas ambientales, en esta se concentran el mayor porcentaje de población de acuerdo con el IDEAM (2001). Por su gran extensión territorial y su alto porcentaje de población se encuentra una gran variabilidad económica, en donde se encuentra actividades energéticas, agrícolas, domésticas y pecuarias generando cambios en el territorio.

A nivel de la cuenca se encuentran 9 zonas hidrográficas y 105 subzonas hidrográficas, en donde está incluida la zona del Alto Magdalena con un área de 44.527,71 km² representado el 16,43% del área hidrográfica, ubicada en los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Huila y Bogotá contando con cinco corporaciones autónomas regionales (CAR, CORTOLIMA, CAM, CRC y CORPOGUAVIO) y una autoridad ambiental urbana perteneciente a Bogotá: SDA. Tiene alturas variadas que van desde los 3658 m s.n.m hasta los 229 m s.n.m.

Dentro de las 105 zonas hidrográficas se encuentra la subzona de la cuenca de río Sumapaz; en la Figura 1, se presenta la localización de la subzona al suroccidente del departamento de Cundinamarca y al nororiente del departamento del Tolima, acogiendo a los municipios de Agua de Dios, Fusagasugá, Pasca, Silvana, Granada, Tibacuy, Arbeláez, Pandi, San Bernardo, Cabrera, Venecia, Granada, Nilo, Soacha, Sibaté, Ricaurte y parte de la ciudad de Bogotá dentro del departamento de Cundinamarca, mientras que por parte del Tolima: Carmen de Apicalá, Icononzo, Melgar y Suarez.

Esta subzona hidrográfica recibe su nombre del páramo del Sumapaz; este páramo es considerado como el más grande del mundo por extensión, siendo uno de los más importantes en cuanto a su capacidad hídrica y es uno de los más importantes en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca.

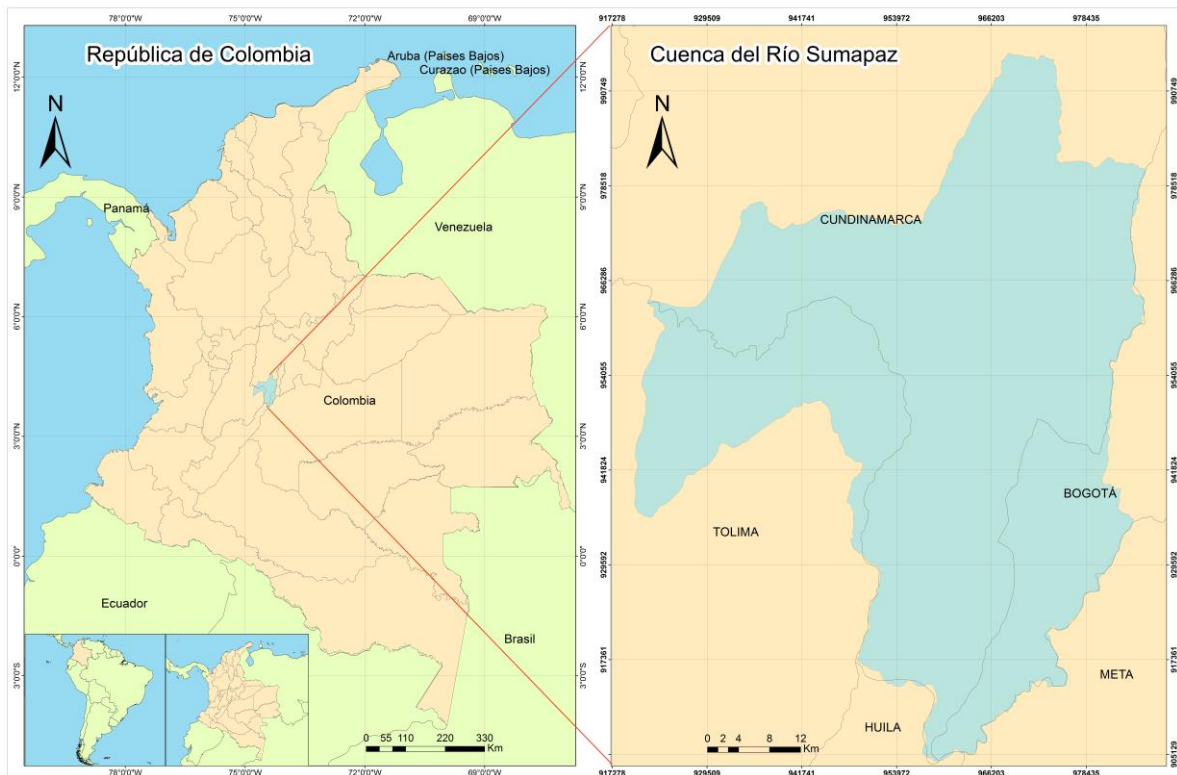


Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Sumapaz
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Desarrollo metodológico

Para diseñar los diferentes escenarios futuros de cobertura de la tierra y poder así estimar la oferta y el cambio del uso del suelo a futuro para la cuenca del río Sumapaz, fue necesario realizar una investigación de tipo cualitativa y cuantitativa. Como primera instancia se buscó información hidrológica de la cuenca para contar con un periodo de referencia (1976-2005) y diferenciar las diferentes actividades socioeconómicas y problemáticas que se presentan en la cuenca; luego de tener las respectivas caracterizaciones, se utilizó el modelo SWAT por medio de la extensión en ArcSWAT en ArcMap, donde previamente se calibró y validó con el fin de tener una mejor calidad de los datos, posteriormente se definieron los cambios de áreas en la cobertura de la tierra por medio de la regresión lineal en base a los periodos ya establecidos por el IDEAM (2000-2002, 2005-2009, 2010-2012), con esto se pudo simular el modelo determinando así los cambios que se pueden presentar en los tres escenarios de cobertura de la tierra en cuanto a precipitación, escurrentía, evapotranspiración, sedimentación, vegetación y suelos. Los periodos planteados son

los mismos que han sido estudiados por el IDEAM: 2011-2040, 2041-2070, 2071- 2100; posteriormente se buscó la norma vigente que acoge a la GIRH, para poder asumir un análisis del manejo y restauración que se debe tener en el manejo de una cuenca, así pudiendo determinar estrategias que puedan aportar a las dificultades que se puedan presentar en la cuenca.

4.2.1 Caracterización básica de la cuenca

La caracterización está conformada por aspectos de lluvia, demanda hídrica, cobertura de la tierra y conflictos ambientales, para esto fue necesario consultar las entidades encargadas del área de estudio como: CAR, MADS, las alcaldías municipales, IDEAM y PNN, todos aquellos estudios que permitieron definir sus aspectos biofísicos: hidrología, edafología y ambiente.

4.2.1.1 Caracterización de la lluvia y temperatura sobre la cuenca del río Sumapaz para el periodo de referencia 1976-2005

Para el periodo de referencia se tuvo en cuenta los valores medios de precipitación y temperatura para cada una de las estaciones pertenecientes a la red hidrometeorológica del IDEAM, determinando la distribución en la cuenca, y así definir los medios mensuales, máximos y mínimos de precipitación y de temperatura, estableciendo la concentración en los diferentes municipios.

4.2.1.2 Demanda hídrica de las actividades socioeconómicas en la cuenca del río Sumapaz

Esta demanda se estableció por medio de información secundaria, tomada de la corporación autónoma regional de Cundinamarca, la cual es la única que ha hecho una caracterización básica de la cuenca en su jurisdicción, ya que no se tenía una demanda hídrica completa, se estimaron los datos faltantes por para la jurisdicción de CORTOLIMA suponiendo que la actividad económica de la región es similar en la totalidad de la cuenca.

4.2.1.3 Cobertura de la tierra y uso del suelo en la cuenca del río Sumapaz

Para esta caracterización se determinaron los pisos térmicos de la cuenca según información secundaria generada por el IDEAM, donde se pudieron determinar los porcentajes pertenecientes a la cuenca en cuanto a los pisos térmicos, así mismo se determinó el tipo de economía que prevalecía en cada uno de los pisos, con información secundaria de entidades como la FAO, DANE y MADS.

4.2.1.4 Conflictos ambientales

Esta caracterización busco conocer problemáticas presentes en la cuenca, en cuanto a lo ambiental, esta información fue generada por los planes de desarrollo y POT de los municipios.

4.2.2 Calibración y validación

Para la utilización del modelo SWAT, el cual requiere para su correcto funcionamiento una debida calibración y validación, con una serie de datos climatológicos como lo es la precipitación y temperatura (se tuvo en cuenta el cálculo de oferta en el periodo de 30 años), humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento (que fueron simulados dentro del modelo por medio de la base de datos de CFSR), para el manejo del modelo se tuvo en cuenta a Uribe (2010) con el documento de conceptos básicos y guía rápida para el usuario, el cual instruye en el desarrollo, descripción y aplicación del modelo. Se usó la siguiente información:

- Modelos digitales de elevación (DEM) de 50 metros.
- Mapas de cobertura de la tierra otorgados por el SIAC (2000- 2012).
- Mapas del tipo del suelo con la categorización de la FAO.
- Datos meteorológicos de precipitación y temperatura concedidos por el IDEAM en la ventana de tiempo de 30 años (1976-2005)

Para el análisis de capacidad hídrica de la cuenca, con el apoyo del modelo SWAT se definieron tres escenarios de cobertura de la tierra modificados para los tres periodos establecidos por el IDEAM, datos de tipo de suelo realizados por la FAO, el DEM utilizado fue de un tamaño de pixel de 50x50 metros, realizado con curvas de nivel a escala 1:100.000 tomadas del IGAC, el cual fue la mejor alternativa para el procesamiento en el ArcSWAT, se definió el estudio en la evaluación de la cuenca y no por subcuencas, teniendo en consideración que el objetivo del proyecto es trabajar al Sumapaz como una unidad única y general (Figura 2).

Las equivalencias para el uso del suelo, contó con estudio de las semejanzas de las 27 coberturas con la base de datos del SWAT (Tabla 5). El tipo de suelo que se utilizó fue el estudio de suelos de la FAO, en el cual solo se encuentra a gran escala, en donde se encontraron cinco tipos de suelos en la cuenca (Tabla 6), para la reclasificación en el SWAT, se modificó la base de datos que viene adjunta al programa, ya que este tiene solo datos específicos para Estados Unidos, se modificó

específicamente la tabla incluida al SWAT nombrada como *usersoil*, con una creada por el Dr. Kerem Güngör para zonas de estudio fuera de Estados Unidos. La base incluye la simbología y las características físicas y químicas de los suelos estudiados por la FAO.

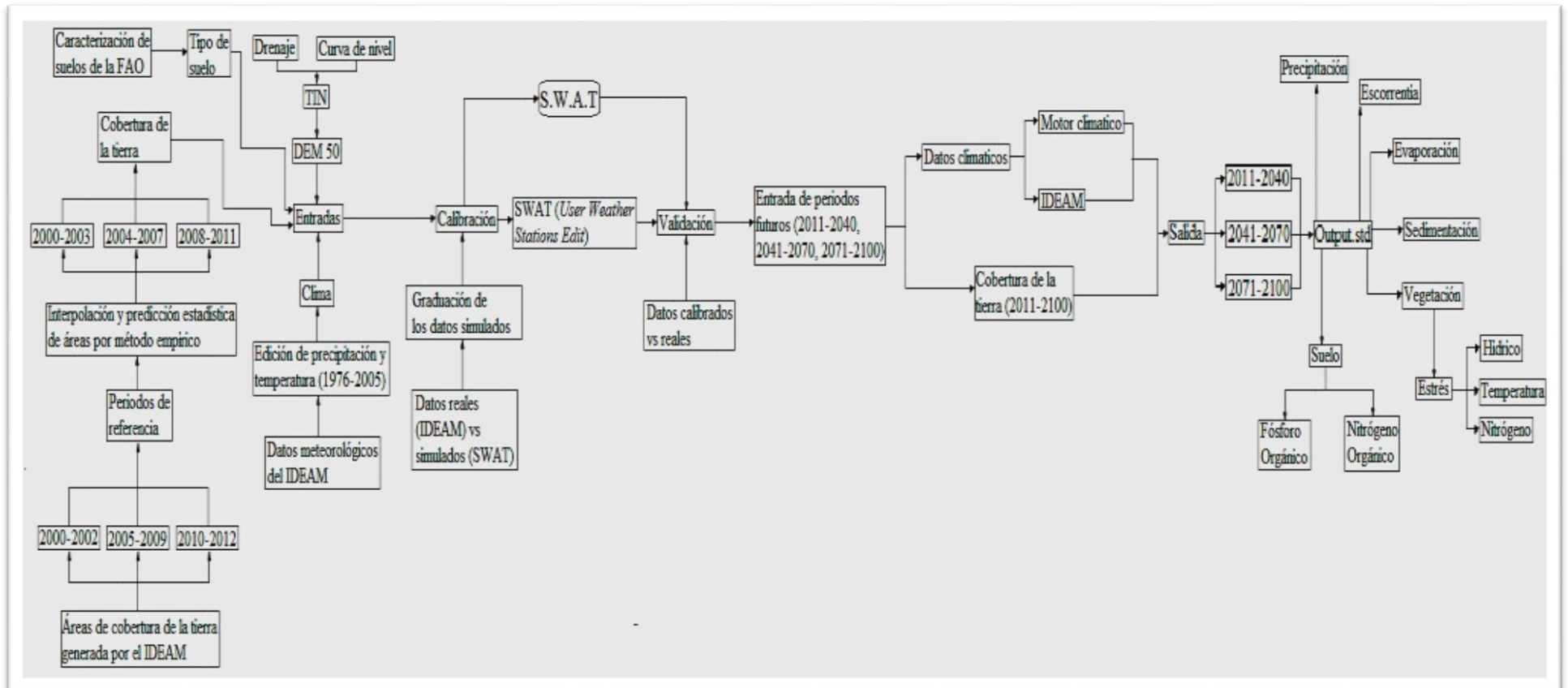


Figura 2. Calibración del SWAT
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.Reclasificación de coberturas de la tierra en el SWAT.

COBERTURA	SÍMBOLOGÍA SWAT
Vegetación secundaria o en transición	FRST
Pastos limpios	PAST
Pastos enmalezados	RNGB
Mosaico de pastos con espacios naturales	PAST
Mosaico de cultivos con espacios naturales	AGRL
Herbazal	RNGE
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	AGRL
Tejido urbano continuo	URBN
Bosque de galería y ripario	FRSE
Bosque fragmentado	FRST
Bosque denso	FRSE
Bosque abierto	FRSE
Mosaico de pastos y cultivos	AGRC
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	WATR
Arbustal	RNGE
Zonas quemadas	SWRN
Afloramientos rocosos	SWRE
Tejido urbano discontinuo	URLD
Aeropuertos	UTRN
Instalaciones recreativas	UCOM
Ríos	WATR
Tierras desnudas y degradadas	SWRN
Cultivos permanentes arbustivos	AGRC
Oleaginosas y leguminosas	GRBN
Zonas industriales o comerciales	UIDU
Mosaico de cultivos	AGRR
Turberas	WETN

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Tipos de suelos en la cuenca del Sumapaz.

SÍMBOLO	VEGETACIÓN	LITOLOGÍA
Bh3-3b	Páramo, tundra alpina.	Cenizas y corrientes volcánicas cuaternarias, rocas metamórficas e intrusivas ígneas del paleozoico; cordillera Oriental: rocas elásticas cretáceas.
I-Bd-Bh-c	Bosque de alta montaña, páramo, tundra alpina.	Rocas elásticas y volcánicas jurásicas y cretáceas; rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas.
I-Fh-Ne-T	Bosque andino montano.	Rocas volcánicas jurásicoretáceas con algunas intrusivas y cenizas cuaternarias al oeste de los

		Andes, metamórficas precámbricas y paleozoicas, elásticas jurásicocretáceas y terciarias en el este.
Kl13-ab	Espinar intermontano, matorrales de cactus y sabana.	Rocas elásticas cretáceas y terciarias y aluvión.
Lc6-3b	Espinar, sabana, bosque tropófito, actualmente en cultivo	Rocas elásticas terciarias, rocas elásticas ígneas y metamórficas del cretáceo, capas aluviales y coluviales.

Fuente: FAO (1971)

4.2.2.1 Clima de referencia

Según IDEAM (2015) por estándares internacionales (IPCC) el periodo comprendido entre 1976 y 2005 ha sido adoptado como el clima de referencia, es decir, la representación del estado actual del clima frente al que se compara cualquier escenario futuro. Este periodo fue seleccionado ya que corresponde a un tiempo en el que existe una robustez estadística en los datos observados.

De igual manera se recomienda mantener en este estudio el mismo clima de referencia usado internacionalmente para poder generar comparabilidades entre regiones en lapsos de tiempo similares, para el proyecto principalmente se obtuvieron datos de 14 estaciones ubicadas en la cuenca, sin embargo, por calidad de datos se decidió hacer el estudio con sólo nueve de ellas para los datos de temperatura y precipitación (Tabla 7). La Figura 3 muestra la representación gráfica de sus ubicaciones.

En cuanto al clima de referencia simulado para este proyecto de investigación corresponde a la *Global Water Data* para SWAT, basado en el Sistema de Reanálisis de Pronóstico Climático (CFSR en inglés), es un producto de tercera generación, se trata de un sistema global de alta resolución el cual fue diseñado y ejecutado como un sistema global, acoplado a la atmósfera, océano, superficie terrestre y mar para proporcionar la mejor estimación del estado de estos dominios acoplados (UCAR, 2017).

El modelo atmosférico CFSR contiene variaciones observadas en dióxido de carbono (CO₂), junto con cambios en aerosoles y otros gases traza y variaciones solares. Con estos parámetros variables, el estado analizado incluyó estimaciones de los cambios en el clima del sistema de la Tierra debido a estos factores, se utilizaron de este modelo los datos de humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento.

Tabla 7. Estaciones meteorológicas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

Estación	Altitud	Nombre	Municipio	Corriente
21195070	2256	Pasca	Pasca	Cuja
21195060	950	Pandi	Pandi	Sumapaz
21190350	2700	El Tulcán	San Bernardo	Qda. Gallinaza
21190330	1950	Núñez	Cabrera	Qda. Negra
21190310	1900	El Pinar	Fusagasugá	Blanco
21190290	321	Carmen de Apicalá	Carmen de Apicalá	Sumapaz
21190240	1450	Ospina Pérez	Venecia	Sumapaz
21190210	322	Nilo	Nilo	Paguey
21190090	1900	Cabrera	Cabrera	Sumapaz

Fuente: IDEAM (2017)

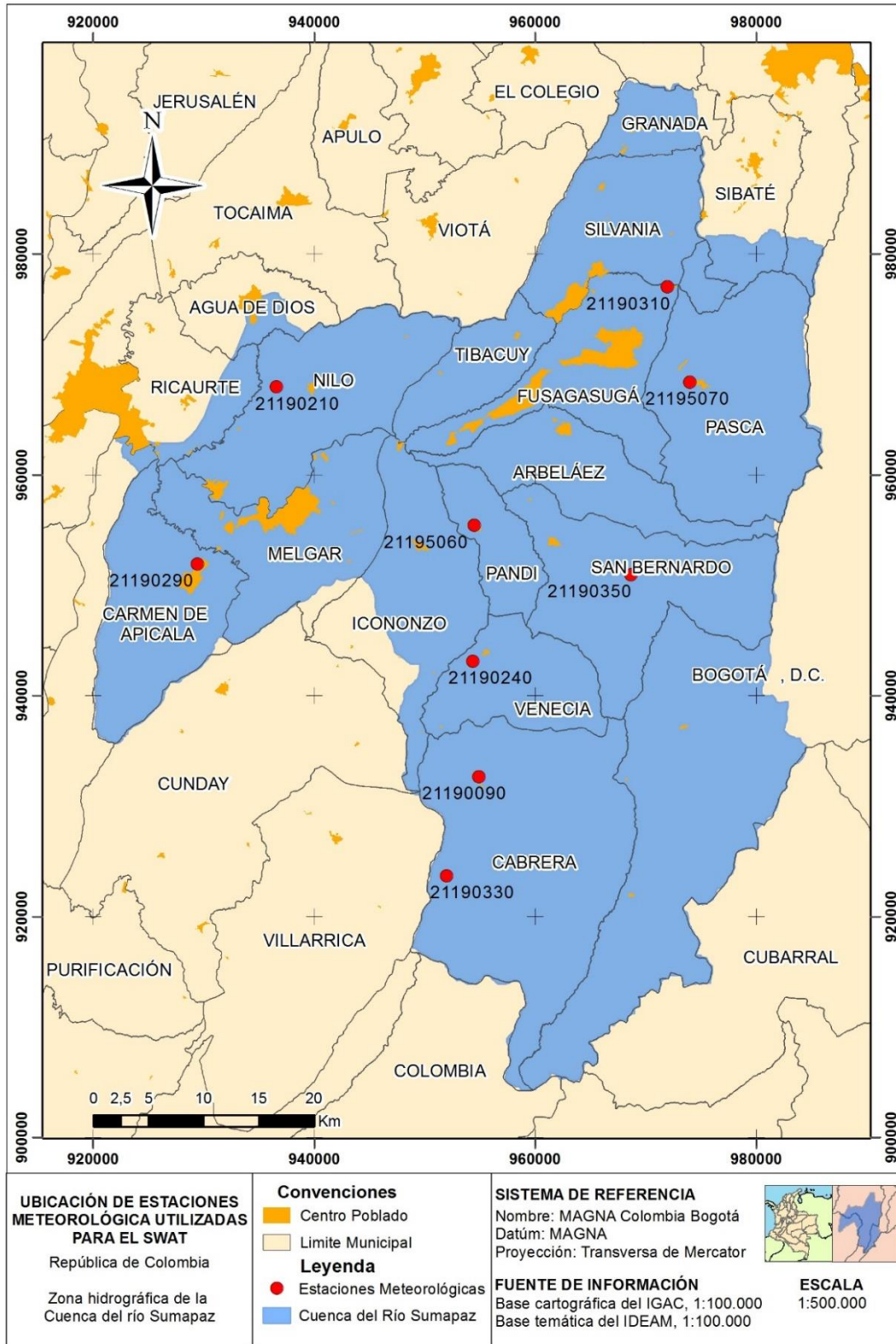


Figura 3. Ubicación de estaciones meteorológicas
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Periodos futuros 2011-2100

Como base del proyecto de investigación se definieron los periodos de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia de acuerdo con el quinto informe de evaluación del IPCC (AR5) en el año 2014, mediante el promedio ponderado de las trayectorias de concentración representativas de emisiones RCP (siglas en inglés): 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5.

Las variables de precipitación y temperatura media en Colombia se basan en la descripción de los caminos representativos de concentración de emisiones o RCP, así como también en el ensamble multimodelo y multiescenario que permite promediar las respuestas en los RCP, de modo que se constituyan en una herramienta sencillas que, sin perder su poder científico, apoyen la toma de decisiones nacional y regional. En la Figura 4 se muestra el histograma de lluvias con las precipitaciones calculadas con datos reales para el periodo de referencia y los periodos futuros con los aumentos establecidos por el IDEAM (Tabla 3 y 4).

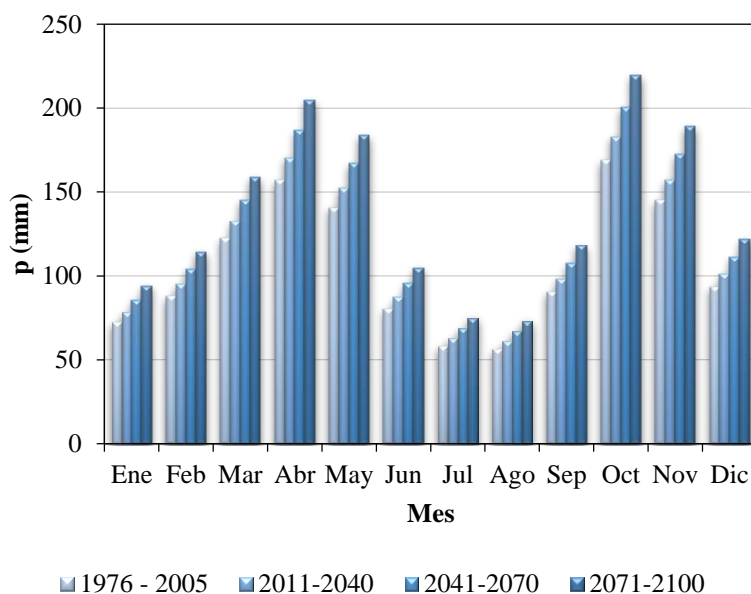


Figura 4. Diagrama de lluvias establecidas para el periodo de referencia y escenarios futuros de acuerdo con el IDEAM

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Escenarios futuros de cobertura de la tierra

Para la modificación de coberturas de la tierra se contaron con 22 variables encontradas en los mapas realizados por el IDEAM para los periodos 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012 (Anexo 1, 2, 3), luego de una interpolación de datos obtenidos mediante métodos de regresión con el fin de obtener estimaciones para los años 2003 y 2004 se definieron mediciones en

periodos de tres años para evitar vacíos en los datos, siendo así los periodos definidos para la base de la proyección estadística quedaron definidos de la siguiente manera: del 2000 al 2003, del 2004 al 2007 y del 2008 al 2011. Dichas variables establecidas por el IDEAM son:

1. Aeropuertos.
2. Afloramientos rocosos.
3. Arbustal.
4. Bosque abierto.
5. Bosque de galería y ripario.
6. Bosque denso.
7. Bosque fragmentado con pastos y cultivos.
8. Instalaciones recreativas.
9. Lagunas, lagos y ciénagas naturales.
10. Mosaico de cultivos.
11. Mosaico de cultivos con espacios naturales.
12. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.
13. Mosaico de pastos con espacios naturales.
14. Mosaico de pastos y cultivos.
15. Pastos enmalezados.
16. Pastos limpios.
17. Tejido urbano continuo.
18. Tejido urbano discontinuo.
19. Turberas.
20. Vegetación secundaria o en transición.
21. Zonas industriales o comerciales.
22. Zonas quemadas

Usualmente para realizar predicción estadística, (regresión lineal simple, cuadrática, regresión no paramétrica, series de tiempo, procesos estocásticos, entre otros); se deben cumplir supuestos de normalidad, varianza constante y homocedasticidad (varianza igual y constante de los errores)), debido a la poca cantidad de datos encontrados, fue complicado observar los comportamientos de las variables y el cumplimiento de los supuestos

mencionados; por lo cual no se pudo realizar análisis de series de tiempo, sin embargo, la gran mayoría de éstas variables tienen un comportamiento creciente, decreciente, cuadrático y hasta lineal en los datos observados, por lo que, teniendo en cuenta comportamientos observados y los cambios en el tiempo de éstas variables, se pueden usar transformaciones para predecir éstos valores de manera que no pierdan sentido las estimaciones.

Dichas transformaciones se realizan mediante metodología empírica con el objetivo de limitar las variables para que no tomen valores sin sentido. Para estimar los parámetros de la recta: $y = \beta_0 + \beta_1 X_1$ se acota la función estimada que estabilice la varianza (permitiendo que los valores no se alejen de la media). Estas transformaciones mantienen a los datos en un intervalo de confianza de $100 * (1 - \alpha)\%$ con un nivel de significancia de 0.05. Lo que significa que exista un 95% de probabilidad que los datos se encuentren cercanos a la media estimada (Montgomery, 2006).

Se calcularon 23 intervalos de tiempo desde el periodo 2000-2003 hasta el periodo 2100-2103⁴ (Anexo 4) con sus respectivas predicciones, para las cuales se usaron las siguientes transformaciones según el número de variable (Tabla 8).

El tope de hectáreas se mide por las diferencias entre las bases de la proyección (2000-2003, 2004-2007, 2008-2011) adicionadas o restadas a los siguientes periodos hasta el 2100-2103 dependiendo si esta crece o decrece respectivamente.

Para determinar las funciones que acotan las transformaciones; las variables que disminuyen sus hectáreas se transforman a la función de modo que el tope sea cero y no valores negativos. En caso de las variables que crecen, por medio del método de prueba y error se buscó la función que la permitiera crecer sin pasar el tope ya establecido.

Tabla 8. Transformaciones para la estabilización de la varianza de cobertura de la tierra.

VARIABLE	LÍMITE (TOPE DE HECTÁREAS)	TRANSFORMACIÓN
1	2.500	$x - 5\sqrt[3]{x}$
2,3,4,5,6,8,9,10,11,12 y 15	0	$\frac{1}{x}$

⁴ Para mantener la homogeneidad de los datos y mantengan su calidad en periodos de tres años, se determinó evaluar la cobertura hasta 3 años más de la meta.

7, 17, 19 y 21	12.000, 2.000, 58 y 32	Tendencia lineal
13	45.000	$x - 10^2\sqrt{x}$
14	160.000	$x - 30^2\sqrt{x}$
16	110.000	$x - 50^2\sqrt{x}$
18	14.000	$x - \sqrt[3]{x}$
20	80.000	$x - 20^2\sqrt{x}$
22	3.000	$x - 10^2\sqrt{x}$

Fuente: Elaboración propia

Todas las transformaciones anteriores se realizaron de manera que se minimizara la varianza en lo posible, y que los valores fueran realistas, sin embargo, debido a los valores originales tan extremos de las variables 14, 16, 18, 20 y 22, es posible que las estimaciones no sean apropiadas y puedan presentar errores de sesgo grandes.

4.2.4 Políticas

Según las leyes colombianas vigentes, se reconocieron las que acogen y apoyan la GIRH, teniendo en cuenta sus componentes principales y su estructura, determinando si las políticas actuales establecidas por El Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA) y los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) son las adecuadas para la GIRH, de no ser así dichas políticas deberán pasar por un proceso de eliminación, modificación o, si es necesario, la creación nuevos aportes para un mejor funcionamiento de la cuenca, con el fin de generar soluciones a los posibles problemas que causen alteraciones al cambio climático y a la calidad de vida y desarrollo económico.

4.2.5 Estrategias

Par las estrategias, se analizaron los resultados adquiridos en la caracterización de la cuenca y los del modelo SWAT, haciendo indagación en la conservación de la cobertura de la tierra, uso del suelo, oferta y cambio climático. Evaluando la pertinencia de la política de GIRH, de este modo se establecieron estrategias para el manejo de la cuenca como se describe en la guía técnica para formulación del POMCA la cual:

Contiene los aspectos generales como propósito y alcance, el marco normativo y la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico; los enfoques en los cuales se basa la ordenación de cuencas; temas transversales al proceso, como participación, gestión del riesgo, articulación del POMCA con diferentes instrumentos de planificación del territorio y gestión de la información y el marco metodológico y procedimental para cada una de las fases contempladas en el Plan (MADS, 2013).

Nannetti (2007), plantea una hoja de ruta para la implantación de la GIRH, definiéndolo como líneas estratégicas para proponer acciones en la planificación relacionada con seguimiento del ciclo hidrológico, abarcando aspectos tanto de la oferta como de la conservación del recurso, resaltando las fortalezas, debilidades y prioridades en el país.

Esta hoja de ruta interrelaciona los aspectos socioambientales que influyen directa o indirectamente en una cuenca hidrográfica tanto en el corto como en el mediano y largo plazo, según las necesidades de estudio en la zona. El autor adopta un esquema relacionando dos ejes a los que se refiere como referentes de planificación y ejes transversales (Figura 5).

		REFERENTES DE PLANIFICACIÓN			
		CONSERVACIÓN DE LA OFERTA	GESTIÓN DE LA DEMANDA	MEJOR GOBERNANZA	GESTIÓN SOSTENIBLE
EJE TRANSVERSAL	PLANIFICACIÓN				
	NORMATIVA				
	PARTICIPACIÓN Y EDUCACIÓN				
	INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA E INFORMACIÓN				
	INSTRUMENTOS DE GESTIÓN				

Figura 5.Ruta de interrelación entre los aspectos socioambientales.
Fuente: (Nannetti, 2007)

Para el caso de estudio de la cuenca del Sumapaz, se definieron en el eje transversal: normativa, participación, instrumentos de regulación y control, inclusión de la política, mientras que en los referentes de planificación se cuenta con aspectos tales como: evaluación de la oferta, conservación de la cobertura de la tierra, uso del suelo, capacidad de adaptación frente al cambio climático como se ve en la Figura 6, siendo estos aspectos considerados como esenciales en el proceso de evaluación de la cuenca.

		REFERENTES DE PLANIFICACIÓN			
		EVALUACIÓN DE LA OFERTA	CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA	USO DEL SUELO	CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO
EJE TRANSVERSAL	NORMATIVA				
	PARTICIPACIÓN				
	INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL				
	INCLUSIÓN DE LA PNGIRH				
	INSTRUMENTOS DE GESTIÓN				

Figura 6. Adaptación al caso de estudio de la ruta interrelacionada.
Fuente: Elaboración propia.

5 RESULTADOS

5.1. Caracterización básica de la cuenca

5.1.1. Caracterización de la lluvia sobre la cuenca del río Sumapaz para el periodo de referencia 1976-2005

En la **Tabla 9**. Datos de precipitación mensuales periodo 1976-2005Tabla 9, se presenta los valores medios mensuales de precipitación para cada una de las estaciones pertenecientes a la red hidrometeorológica del IDEAM, ubicadas en la cuenca del río Sumapaz y cuya calidad de información fue la requerida para caracterizar ese elemento climatológico.

Tabla 9. Datos de precipitación mensuales periodo 1976-2005

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
21195070	50.02	52.04	88.94	104.22	79.79	49.78	46.74	43.35	59.77	106.63	109.91	62.37
21195060	79.07	96.29	131.42	143.14	129.32	54.29	45.68	42.04	80.43	147.68	145.14	100.86
21190350	31.85	50.11	69.89	93.38	94.17	66.72	48.64	46.65	57.65	96.17	67.69	32.3
21190330	61.63	91.5	130.35	185.59	145.98	105.88	90.62	87.73	101.8	173.68	145.85	87.87
21190310	141.34	128.78	185.7	178.06	140.8	76.53	70.88	60.93	95.6	211.78	201.93	140.31
21190290	86.92	126.24	145.1	216.85	214.52	116.13	45.1	59.02	130.46	214.13	196.46	130.47
21190240	87.8	96.36	134.49	196.84	167.35	117.29	89.86	75.83	110.22	187.2	199.25	113.2
21190210	71.2	95.43	131.19	186.98	189.81	82.88	38.56	41.46	108.46	254.82	135.31	121.23
21190090	40.38	51.11	82.08	108.23	102.34	52.85	45.75	49.95	68.9	125.94	103.68	51.3

Fuente: (IDEAM, 2017)

En la **Figura 7**, se presenta la distribución de la lluvia sobre la cuenca del río Sumapaz a nivel mensual para el periodo 1976-2005. A partir de este se puede determinar la media mensual de los datos la cual corresponde a 105,95 mm. La máxima corresponde a 254,82 mm en el mes de octubre perteneciente a la estación 21190210 ubicada en el municipio de Nilo, y el mínimo pertenece al mes de enero con un 31,85 mm correspondiendo a la estación 21190350 ubicada en el municipio de San Bernardo. Se puede observar la gran variabilidad

de lluvia que se tiene a lo largo del año en la cuenca y los cambios drásticos que se tiene entre meses como lo es en el mes de septiembre a octubre ya que este alcanza a duplicar el mes anterior.

Puede que en ninguno de los meses se presentan simetría en datos proporcionales, en cuanto a los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y diciembre se percibe asimetría inclinándose hacia datos mayores, y en los meses de mayo, junio, julio, agosto y noviembre presentan una asimetría, pero hacia datos menores.

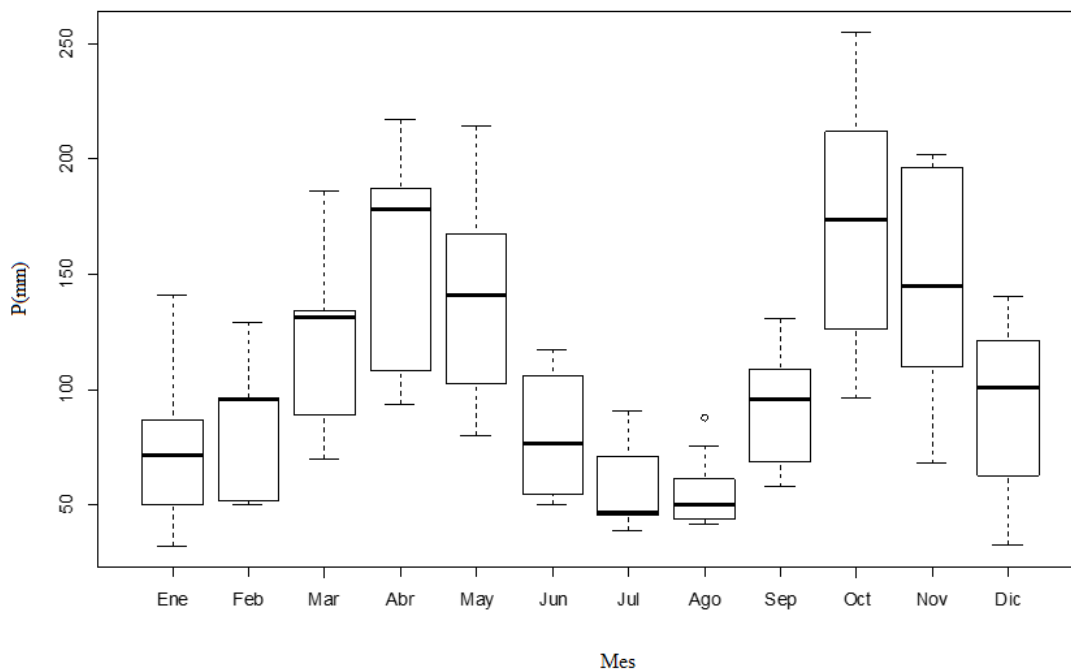


Figura 7. Boxplot de la cuenca del río Sumapaz
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 se ve la mayor concentración de precipitación en el municipio de Melgar disminuyendo a los municipios aledaños de Carmen de Apicalá, Icononzo, Nilo y Ricaute. En cuanto a la precipitación media está entre Silvania, Tibacui, Pandí, Venecia, Cabrera sur y Bogotá. Y las precipitaciones más bajas se presentan en Arbeláez, San Bernardo, norte de Cabrera abarcando un poco los municipios aledaños.

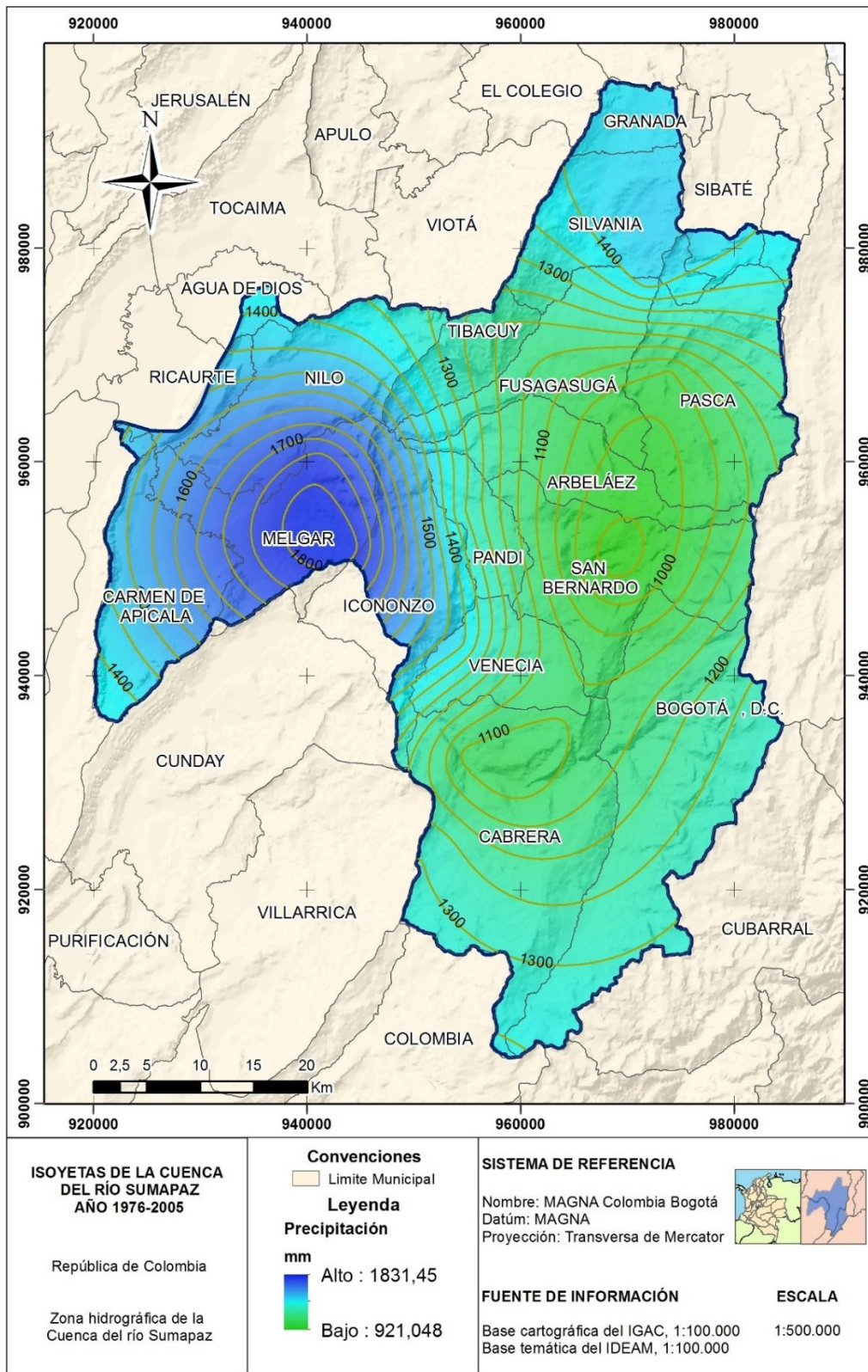


Figura 8. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Sumapaz
 Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Demanda hídrica de las actividades socioeconómicas en la cuenca del río Sumapaz

Sobre la cuenca del río Sumapaz, ejerce jurisdicción ambiental la CAR y CORTOLIMA; los límites de estas autoridades ambientales, dentro de la cuenca, coinciden con el límite político administrativo de los departamentos de Cundinamarca y Tolima; el 82% corresponde a Cundinamarca y restante a Tolima. Debido a que la coordinación de actividades de las anteriores corporaciones es reciente sobre la cuenca del Sumapaz, existen vacíos de información para la totalidad de la cuenca. Es el caso de la información oficial de la demanda hídrica sobre la cuenca, pues ésta solo existe para el área de la cuenca del Sumapaz ubicada en el departamento de Cundinamarca. En la Tabla 10, se presenta la demanda hídrica estimada para la cuenca del río Sumapaz, a partir de los datos reportados por la CAR (2003); según esta estimación, las actividades agrícolas son las requieren de mayor volumen de agua (87.6%), seguida de las actividades doméstica (10.5%) y pecuarias (1.9%). A partir de lo anterior, se puede afirmar que la económica del Sumapaz está fundamentada en el agua.

Tabla 10. Demanda total de la cuenca del río Sumapaz.

Actividad	Demanda hídrica ($10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$)		
	Cuenca del río Sumapaz en jurisdicción de la CAR*	Cuenca del río Sumapaz en jurisdicción de CORTOLIMA**	Cuenca del río Sumapaz**
Agrícola	102.1	22.4	124.5
Domestica	12.3	2.7	15.0
Pecuaria	2.1	0.5	2.6
TOTAL	116.5	25.6	142.1

Fuente: (CAR,2007)

*Datos oficiales reportados por la CAR

** Datos estimados a partir de los reportados por la CAR

5.1.3. Cobertura de la tierra y uso del suelo en la cuenca del río Sumapaz

Existe gran diversidad de cultivos en la cuenca del río Sumapaz, debido a que allí están presenten todos los pisos térmicos; el 12% corresponde al piso glacial, el 23,6% al piso de paramo, el 25,4% al piso frio, el 18,1% el piso templado y el 20,8% al piso cálido (según el mapa de pisos térmicos del IDEAM).

En la zona de glacial, se encuentran tipos de cobertura de herbazal y arbustal principalmente por sus altas temperaturas, aun así, se encuentra pequeñas áreas de mosaico de pastos con espacios naturales para la cobertura del 2012.

Para la zona del páramo, se encuentran diferentes coberturas de la tierra como los bosques fragmentados, herbazal, arbustal, bosques densos y fragmentados mosaicos de pastos, cultivos como lo es la papa y espacios naturales, notando la intervención de la población causando pérdida del hábitat en esta zona de fragilidad ambiental, que al mismo tiempo es causante de la disminución de las especies de flora y fauna en el sector. A pesar de que se han hecho esfuerzos en la delimitación del páramo y su protección, en la localidad y los municipios que limitan con él (Pasca, San Bernardo y Cabrera) continúan los conflictos del uso del suelo, se estima que para un kilo de papa se necesitan alrededor de 290 litros de agua (MADR, 2016).

En la zona del piso térmico frío y templado, se encuentran coberturas similares a la zona del páramo, pero predomina principalmente el área de mosaicos de cultivos y pastos, prevaleciendo los cultivos de café y de maíz, ambos cultivos superan las cuatro mil hectáreas de producción de acuerdo con el último censo realizado en el año 2016 por el DANE.

La zona cálida, principalmente en el departamento del Tolima predomina la cobertura de pastos y cultivos, como lo es el plátano, con aproximadamente 600 hectáreas. A pesar de que también se cuentan con cultivos frutales como tomate de árbol, mora y aguacate, no existe instrumento alguno que permita su evaluación y seguimiento en los municipios con el fin de conocer su expansión y requerimientos a nivel de oferta hídrica y de suelo.

La ganadería expansiva es la segunda actividad que ocupa mayor porcentaje del territorio y al ser los pastos los que se destacan como la mayor área de cobertura sugiere un gran reto para el Sumapaz debido a la demanda hídrica que conlleva la práctica de esta actividad, se calcula que para producir un kilogramo de carne son necesarios de trece mil a quince mil litros de agua (FAO, 2008).

5.1.4. Conflictos ambientales

La contaminación hídrica resulta ser uno de los principales conflictos en la cuenca. En la parte alta principalmente en el páramo el aumento de visitantes ha generado graves afectaciones a los cuerpos que nacen allí (Figura 9).

En la parte media y baja la contaminación se debe a la crianza y saneamiento de animales propios de la vida rural (equinos, asnales, mulares, bovinos, caprinos, porcinos, conejos, ovinos, gallos de pelea) en terrazas, sótanos y garajes de casas de familia ubicadas el sector urbano (Alcaldía de Fusagasugá, 2016) se convierten en una práctica tendencial difícil de regular.



Figura 9. Contaminación en el páramo.
Fuente: Semana (2017)

5.2. Calibración y validación

La calibración de los parámetros puede ser complicada por la estructura del modelo hidrológico y la disponibilidad de los datos de lluvia, esta se realizó de manera manual con la comparación de los caudales mensuales observados y simulados como se ve en la Figura 10, a partir de la información de lluvia de 1976 a 2005, en donde los valores simulados subestiman los reales.

El modelo fue calibrado para dar mejor ajuste del caudal cambiando valores de parámetros que pueden influir con el cálculo, por lo tanto se editó la base de datos del SWAT mediante la herramienta *User Weather Stations Edit* en el ArcMap demostrado en la Figura 11, en el cual se agregaron las estaciones y los promedios de precipitación y temperatura de los meses durante el periodo de 30 años ya mencionado, simulando la precipitación sobre la cuenca, comparando este resultado con los datos reales como se muestra en la Figura 12 .

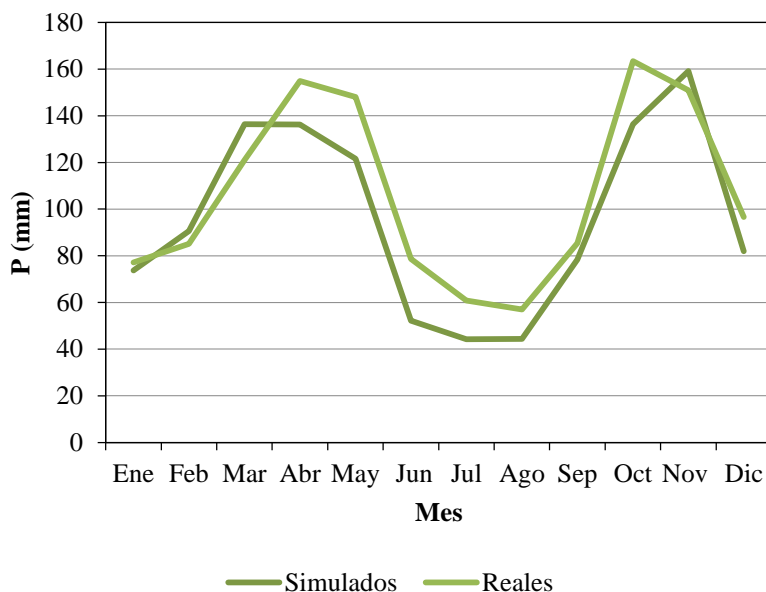


Figura 10. Comparación de datos de precipitación para el periodo 1976-2005.
Fuente: Elaboración propia

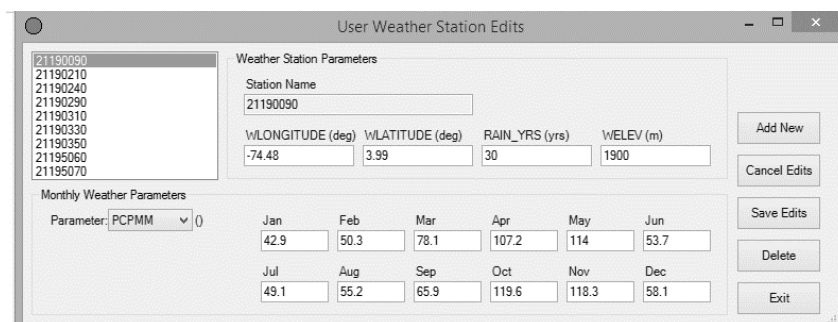


Figura 11. Edición de datos de precipitación por estaciones meteorológicas.
Fuente: (SWAT, 2018)

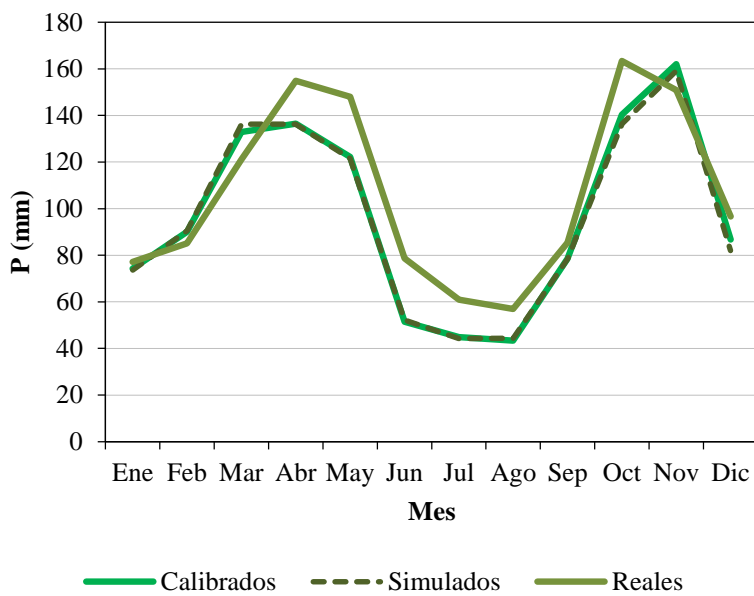


Figura 12. Calibración y validación del SWAT
Fuente: Elaboración propia

5.3. Escenarios futuros de cobertura de la tierra

Los escenarios futuros de cobertura de la tierra, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, para este proyecto fueron diseñados a partir del mapa medio estimado de cobertura de la tierra correspondiente a los periodos 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012 disponibles en el SIAC. En la Tabla 11, se presentan las coberturas diseñadas que fueron utilizadas como insumo para la modelación de la cuenca del río Sumapaz con el modelo SWAT; en las Figuras 13, 14 y 15 se presentan las anteriores coberturas.

Tabla 11. Coberturas futuras de la tierra para la cuenca del río Sumapaz

COBERTURA	ÁREA MEDIA (HA)		
	(2011-2040)	(2041-2070)	(2071-2100)
Aeropuertos⁵	886,94	1388,35	1903,51
Afloramientos rocosos	86,2	39,11	25,84
Arbustal	10143,7	5833,46	4134,68
Bosque abierto	195,47	118,78	86,29
Bosque de galería y ripario	1751	1044,2	751,4

Bosque denso	19182	15127	13096,68
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	6749,3	8542,24	10460,88
Instalaciones recreativas	1415,5	1040,37	821,41
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	19,45	12,96	9,8
Mosaico de cultivos	519,67	201,65	128,87
Mosaico de cultivos con espacios naturales	1059	425,48	273,51
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	27630	20720,84	16482,54
Mosaico de pastos con espacios naturales	28645	33832,03	39399,24
Mosaico de pastos y cultivos	53275,45	73137	101518
Pastos enmalezados	10331	6584,76	4886,31
Pastos limpios	36509,9	50006	53926
Tejido urbano continuo	1609,8	1698	1782
Tejido urbano discontinuo	2139,89	4538	5759,15
Turberas	57,49	57,49	57,49
Vegetación secundaria o en transición	28424,43	38354	44391
Zonas industriales o comerciales	31,41	31,41	31,41
Zonas quemadas	526,78	937,21	1345
Otras	211402	117140	97038
Total	300000	300000	300000

Fuente: Elaboración propia.

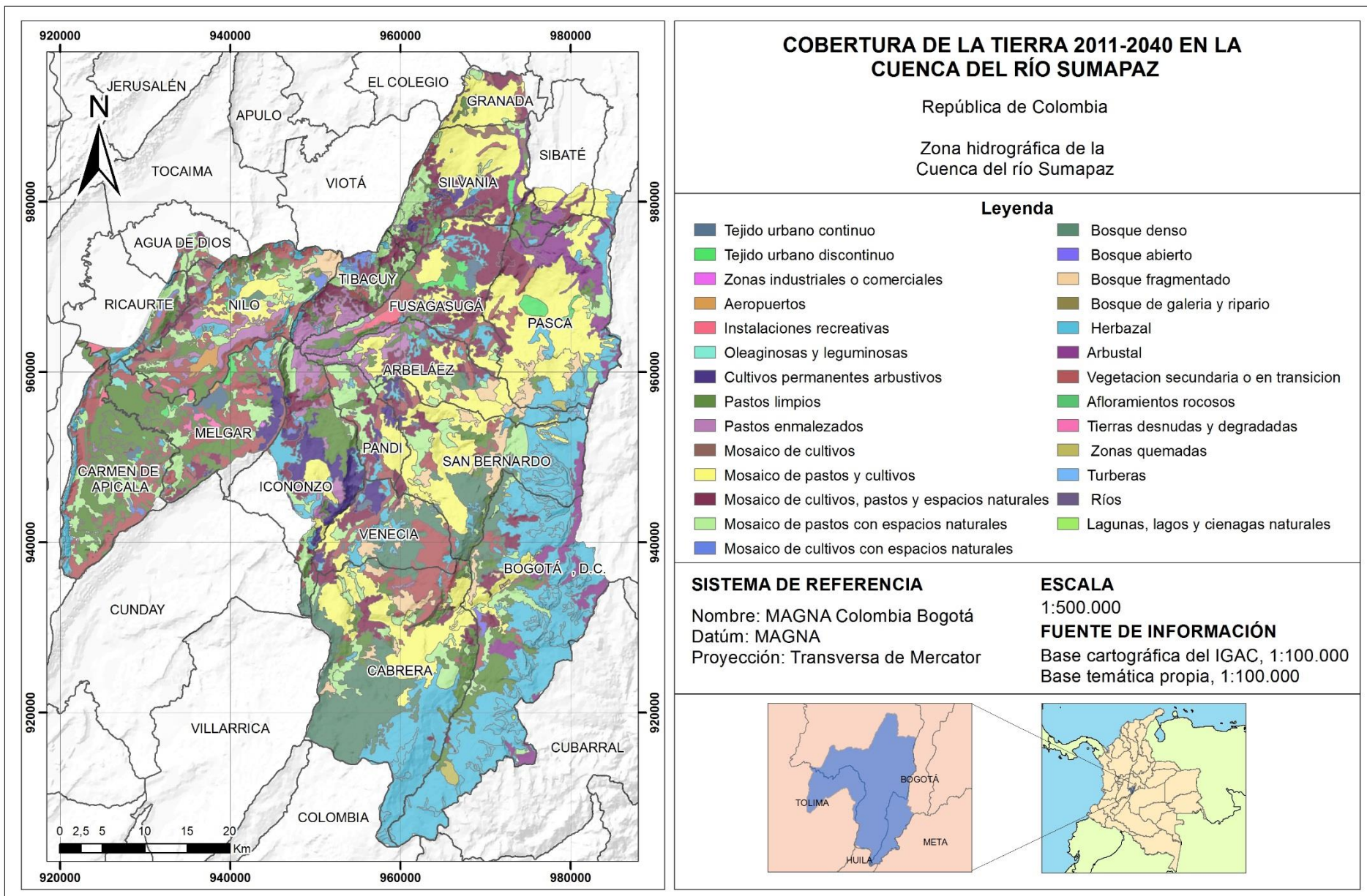


Figura 13. Cobertura 2011-2040.
Fuente: Elaboración propia.

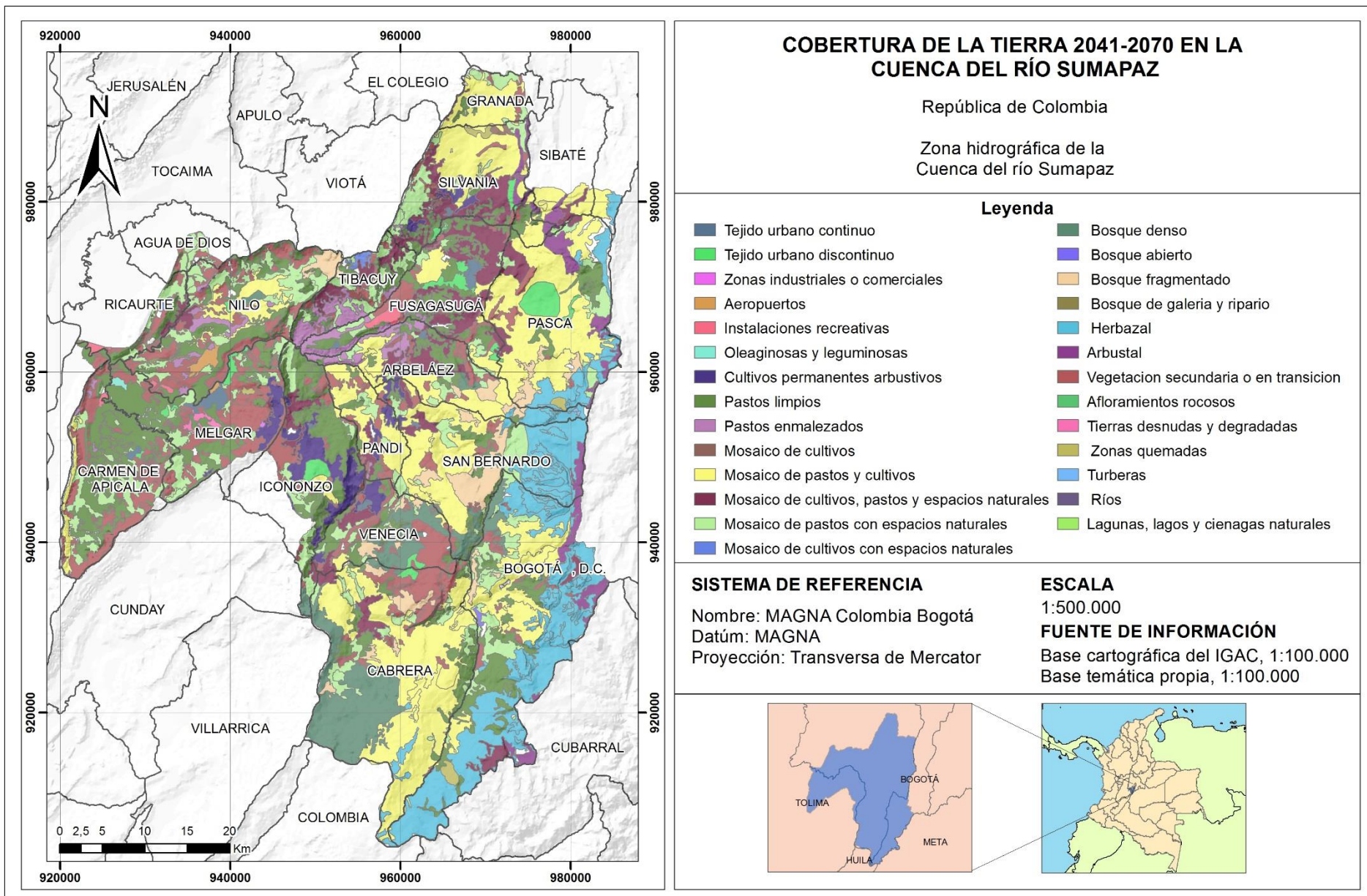


Figura 14. Cobertura 2041-2070.
Fuente: Elaboración propia.

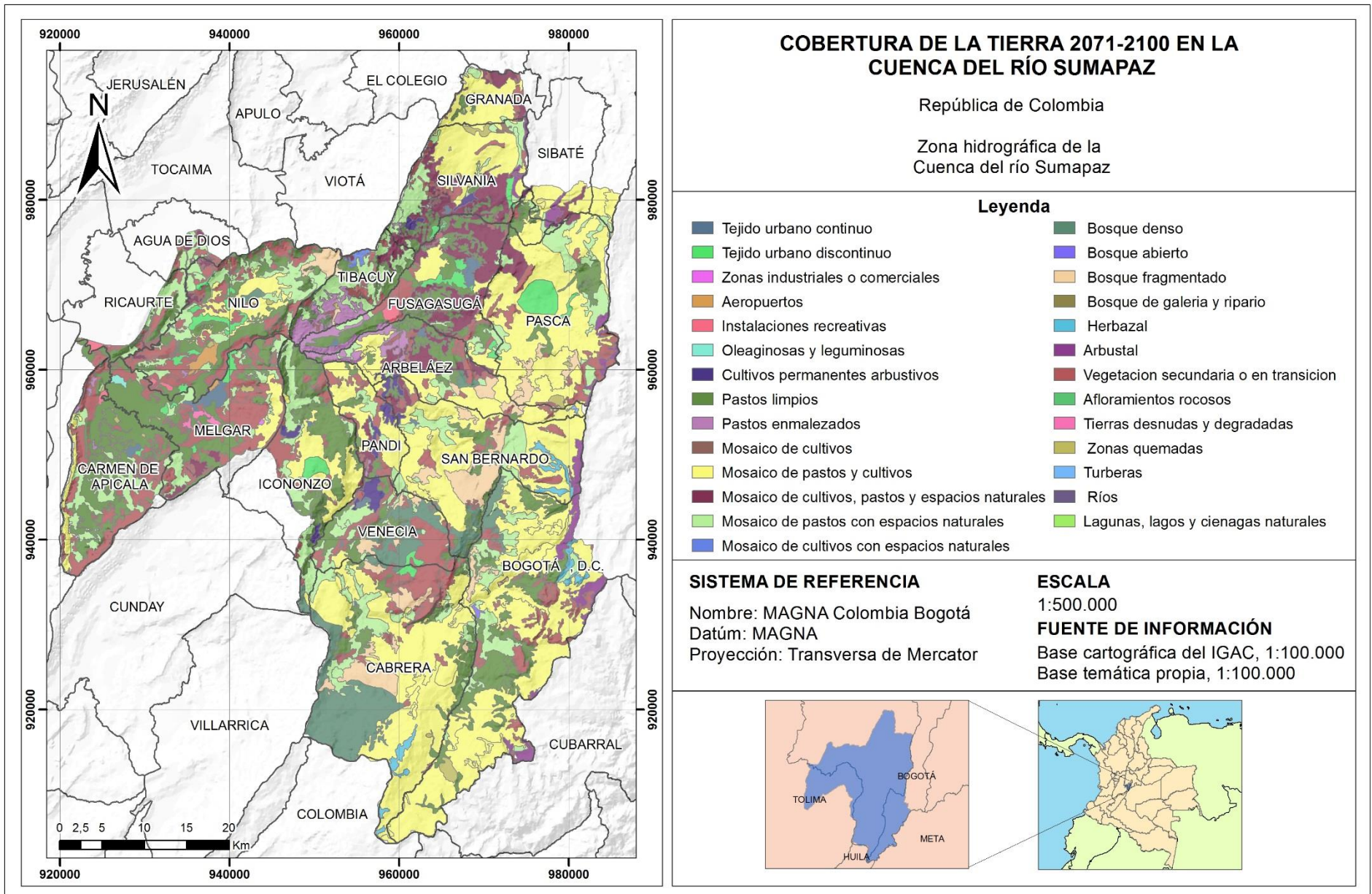


Figura 15. Cobertura 2071-2100.
Fuente: Elaboración propia.

5.4. Resultados SWAT

5.4.1. Precipitación

En la Figura 16, se muestran los resultados simulados de precipitación, este representa valores aproximados del diagrama de lluvia esperados para el escenario medio de cambio climático de acuerdo con el IDEAM donde los valores aproximados de precipitación durante los meses secos (enero, febrero, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre) oscilan entre los 60 y 150 mm mensuales, aunque para los meses de junio, julio y agosto se sobreestima este valor y los meses húmedos superando los 150 mm hasta los 210 mm aproximadamente, de acuerdo con la simulación los meses más lluvioso seguirá siendo noviembre y octubre y los meses más secos estarían entre junio y julio.

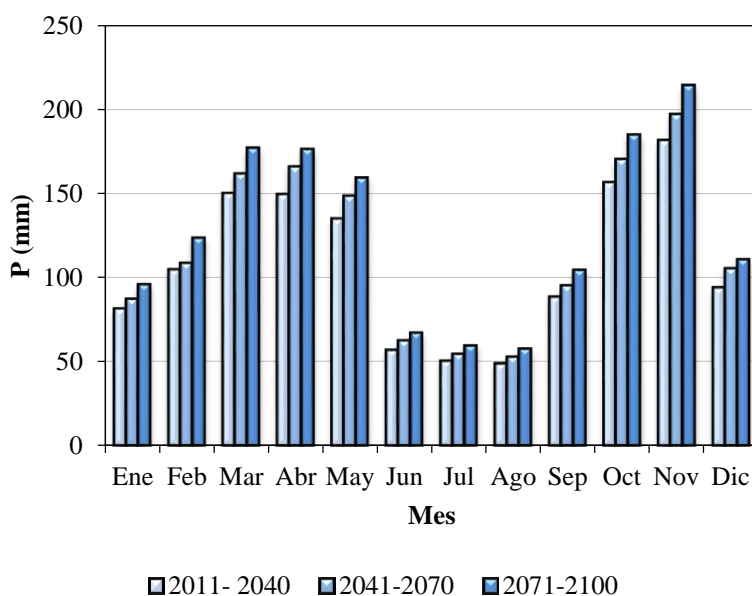


Figura 16. Resultados de la precipitación media para cada periodo de tiempo
Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Escorrentía

De acuerdo con los resultados de la modelación presentados en la Figura 17 los niveles de escorrentía tienden a aumentar en el segundo periodo con respecto al primero, esto debido al incremento de la precipitación, también se consideran como influyente a dicho aumento la

compactación del suelo debido a la ganadería (actividad que de acuerdo con los mapas de cobertura de la tierra tiende a aumentar) implicada a la disminución de la infiltración por la baja porosidad de los suelos ganaderos, en especial de los pastos encontrados en la cuenca. Sin embargo, para el periodo 2071-2100 la escorrentía disminuye con respecto al segundo periodo y por tanto se espera que los caudales también, esto, probablemente por efectos de aumento crítico de temperatura (2,3°C) y el aumento de la evapotranspiración para este periodo, del mismo modo, se considera que la deforestación provocada en la cuenca un factor importante.

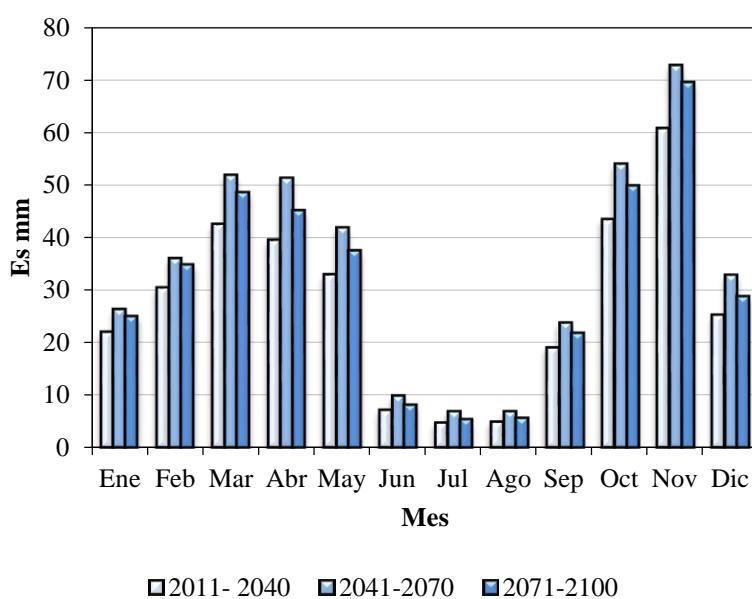


Figura 17. Cambios en la escorrentía en la cuenca hidrológica
Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración presenta diferentes comportamientos en los tres periodos, sin embargo, se correlaciona con la escorrentía y la precipitación presentada en la cuenca, es decir en los meses más secos la evapotranspiración tiende a aumentar mientras que en los meses más húmedos esta disminuye.

En la Figura 18, representa los cambios de la evapotranspiración, entre los dos primeros periodos esta tendera a subir exceptuando los meses de febrero y abril en donde disminuye y

los meses de marzo y junio donde se mantiene constante, en cuanto al tercer periodo también tendrá mayor inclinación a subir, salvo los meses de octubre, noviembre y diciembre en el cual tienden a disminuir.

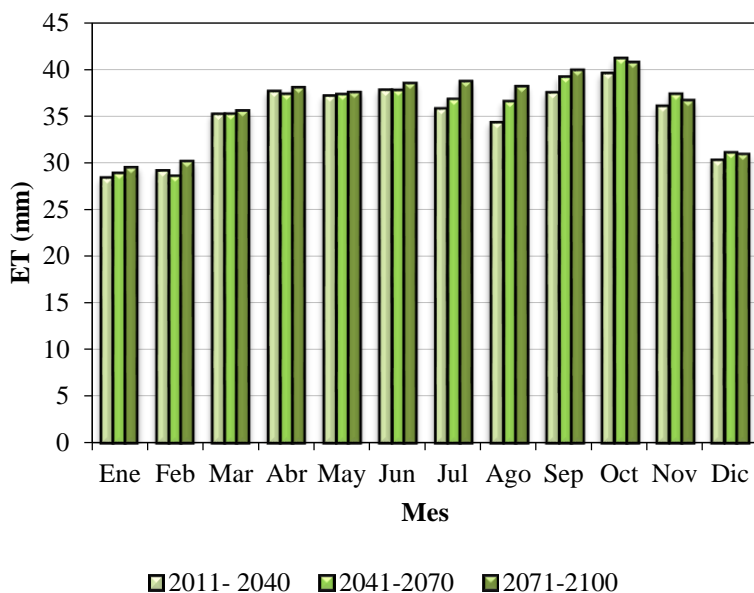


Figura 18. Evapotranspiración en la cuenca del Sumapaz
Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Sedimentación

Según la Figura 19 la sedimentación se encuentra relacionada con la escorrentía, es decir, en el periodo 2041-2070, en el cual la escorrentía tiene valores mayores al periodo anterior aquí disminuyen y para el último periodo de estudio (2071-2100) en el cual la escorrentía disminuye, la sedimentación es inversamente proporcional, es decir, aumenta considerablemente. Al igual que en anteriores resultados, el cambio en el uso del suelo resulta siendo un factor importante en especial por la pérdida de vegetación arbórea que actúa como protector y a la vez proporciona estabilidad en el suelo para el control de la sedimentación, previniendo el movimiento de masas en laderas.

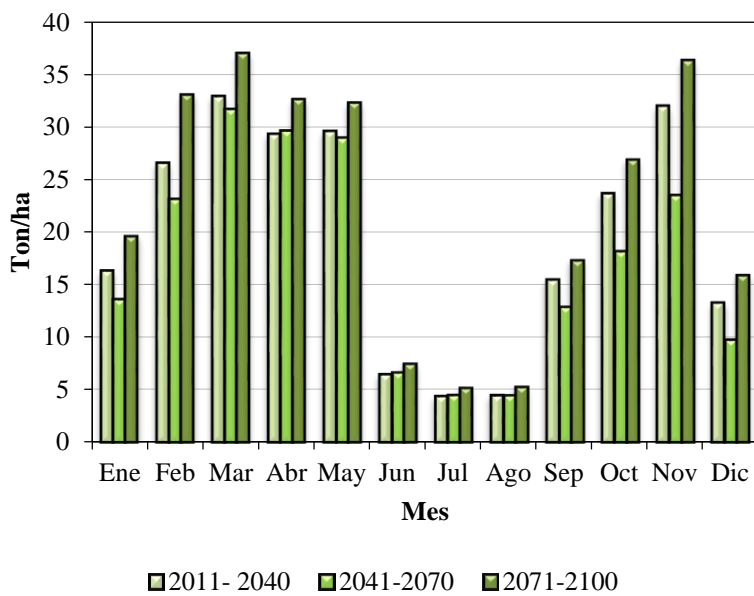


Figura 19. Sedimentación en la cuenca.
Fuente: Elaboración propia.

5.4.5. Vegetación

La Figura 20, representa el aumento de estrés de nitrógeno por año en donde los dos primeros periodos alcanza a subir casi un cuarto del primero al segundo, pero en el tercer periodo alcanza a duplicar el primer periodo y más de la mitad del segundo periodo, esto puede deberse al aumento de cultivos en la cuenca y con esto el aumento del uso de fertilizantes, esto provoca en las plantas desórdenes fisiológicos produciendo en los cultivos irremediablemente pudrición en flores y frutos y quemaduras en las puntas.

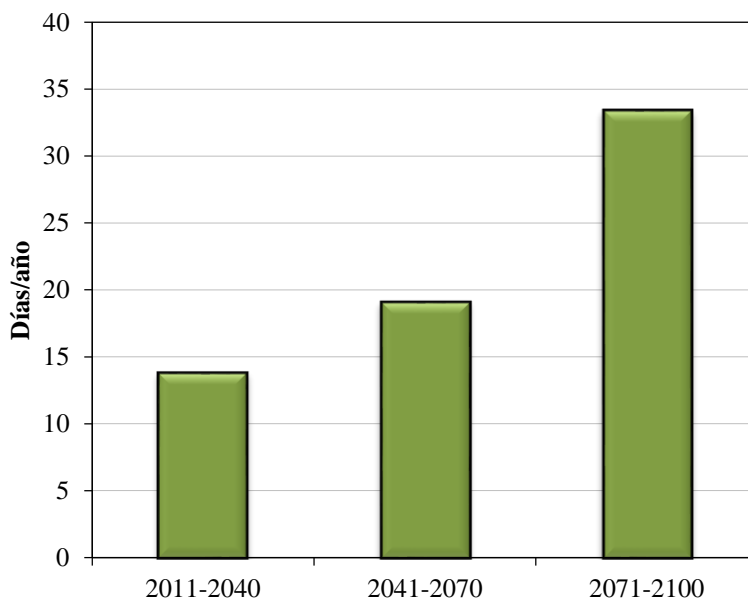


Figura 20. Días por año de estrés por exceso de nitratos.
Fuente: Elaboración propia.

5.4.6. Suelo

La simulación de la cuenca muestra cambios en el suelo tanto físicos (cobertura de la tierra) como bioquímicos, éstos últimos se representaron en mediciones de nitrógeno y fósforo orgánico (Figura 21 y 22), aquellos nutrientes se encuentran de manera natural gracias a los respectivos ciclos en la naturaleza, sin embargo, las alteraciones de éstos por causas antrópicas podrían disminuirlos considerablemente reduciéndolos a pocos kg como se puede observar en el periodo 2100.

La disminución de estos nutrientes por sobre explotación del suelo implicará el aumento del uso de fertilizantes con altos contenidos nitrógeno y fósforo para mejorar el rendimiento de los cultivos, sin embargo, provocan alteraciones en el suelo al no poder ser fijado por la materia orgánica y bacterias que se encuentran ahí, creando desbalances de nutrientes en la cuenca.

Del mismo modo, tanto el nitrógeno como el fósforo orgánico podrían ser removidos de la tierra a través del flujo masivo del agua y en el transporte de sedimentos, así que en el caso de la cuenca los aumentos en los niveles de precipitación, escorrentía y sedimentación son un factor clave en la disminución de estos nutrientes en la primera capa del suelo.

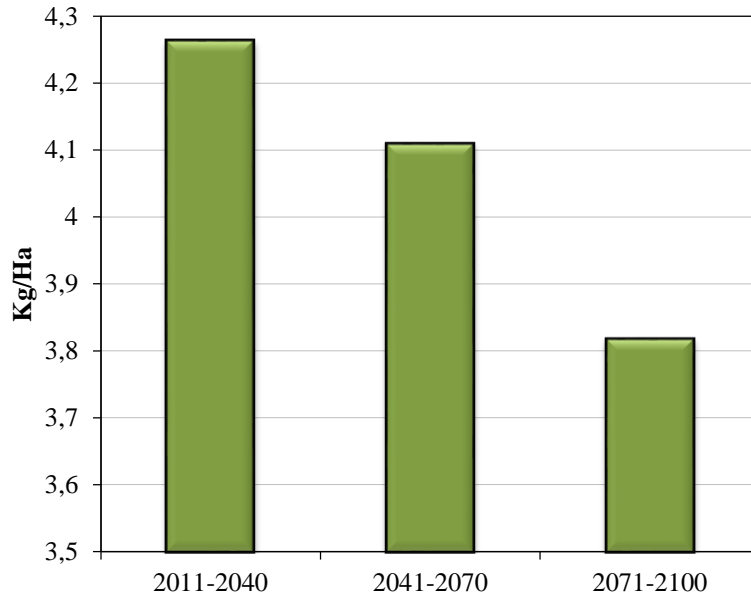


Figura 21. Kilogramos por hectárea de fósforo orgánico en el suelo de la cuenca.
Fuente: Elaboración propia.

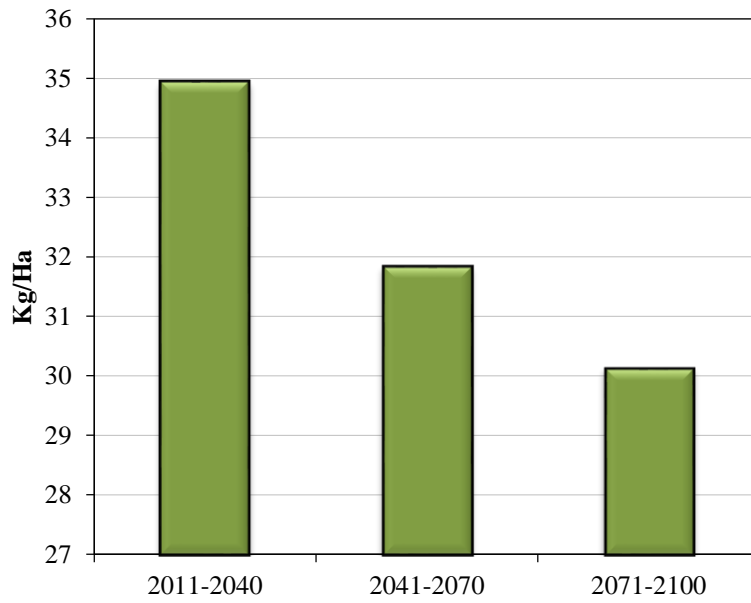


Figura 22. Kilogramos por hectárea de nitrógeno orgánico en el suelo de la cuenca.
Fuente: Elaboración propia.

5.4.7. Resultados medios anuales

De acuerdo con el análisis multitemporal en la Figura 23, la evapotranspiración aumentará en la cuenca, durante los tres periodos, donde las mayores afectaciones se encuentran en la parte alta de la cuenca, en donde se sitúa el páramo y la parte baja de la cuenca donde desemboca el río Sumapaz en el departamento del Tolima donde según el IDEAM la temperatura aumentará en un intervalo de $0,7^{\circ}\text{C}$ por cada periodo, a pesar que para el año 2100 se presentará un aumento alto en este rango, la variación del primero al segundo periodo, presenta un cambio medio, esto debido a que el cambio en el uso del suelo no varía a grandes escalas.

La esorrentía representada en la Figura 24, coincide con el comportamiento en los resultados mensuales donde. La mayor concentración de esorrentía se ubicará en la parte alta, en inmediaciones al páramo, y en la parte media de la cuenca. A diferencia del periodo anterior, en el intervalo 2071-2100 la esorrentía disminuye en la parte alta y tiene un aumento en la parte baja de la cuenca debido a que las precipitaciones para este último periodo aumentarían en el departamento del Tolima 4,03% más que en el departamento de Cundinamarca.

Por último, la sedimentación en la figura 25 se presentarían en las mismas zonas durante los tres periodos con variaciones en su concentración como lo es en las zonas de páramo y entre los municipios de Tibacuy, Icononzo y Nilo, esto debido a las pendientes ubicadas en las zonas, las mayores concentraciones de sedimentación se encontrarán en el periodo 2071-2100 lo cual puede deberse a la disminución de esorrentía y al cambio de cobertura de la tierra donde las hectáreas de vegetación arbórea disminuirán en la parte media de la cuenca.

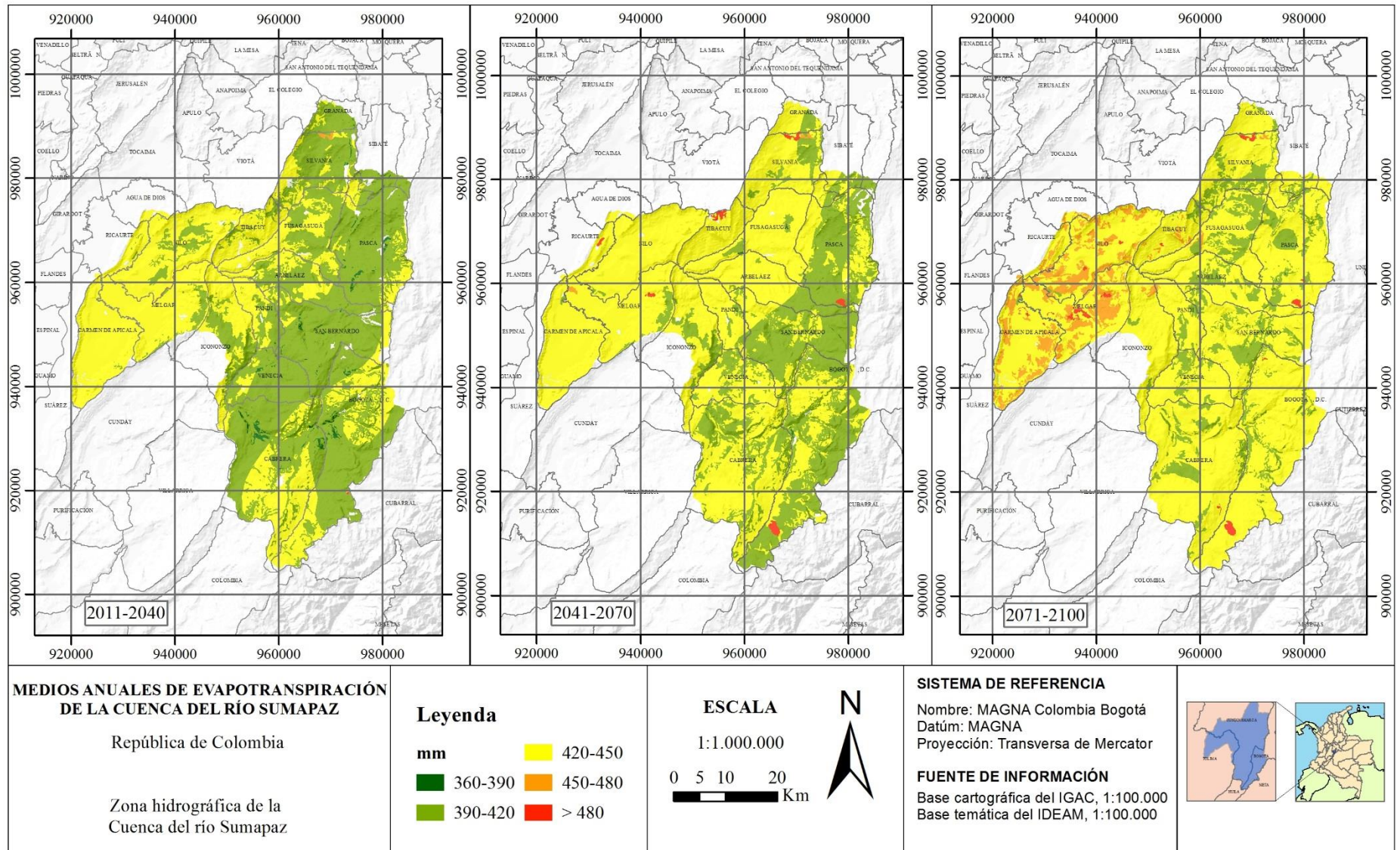


Figura 23. Medios anuales de evapotranspiración de la cuenca del río Sumapaz.
Fuente: Elaboración propia.

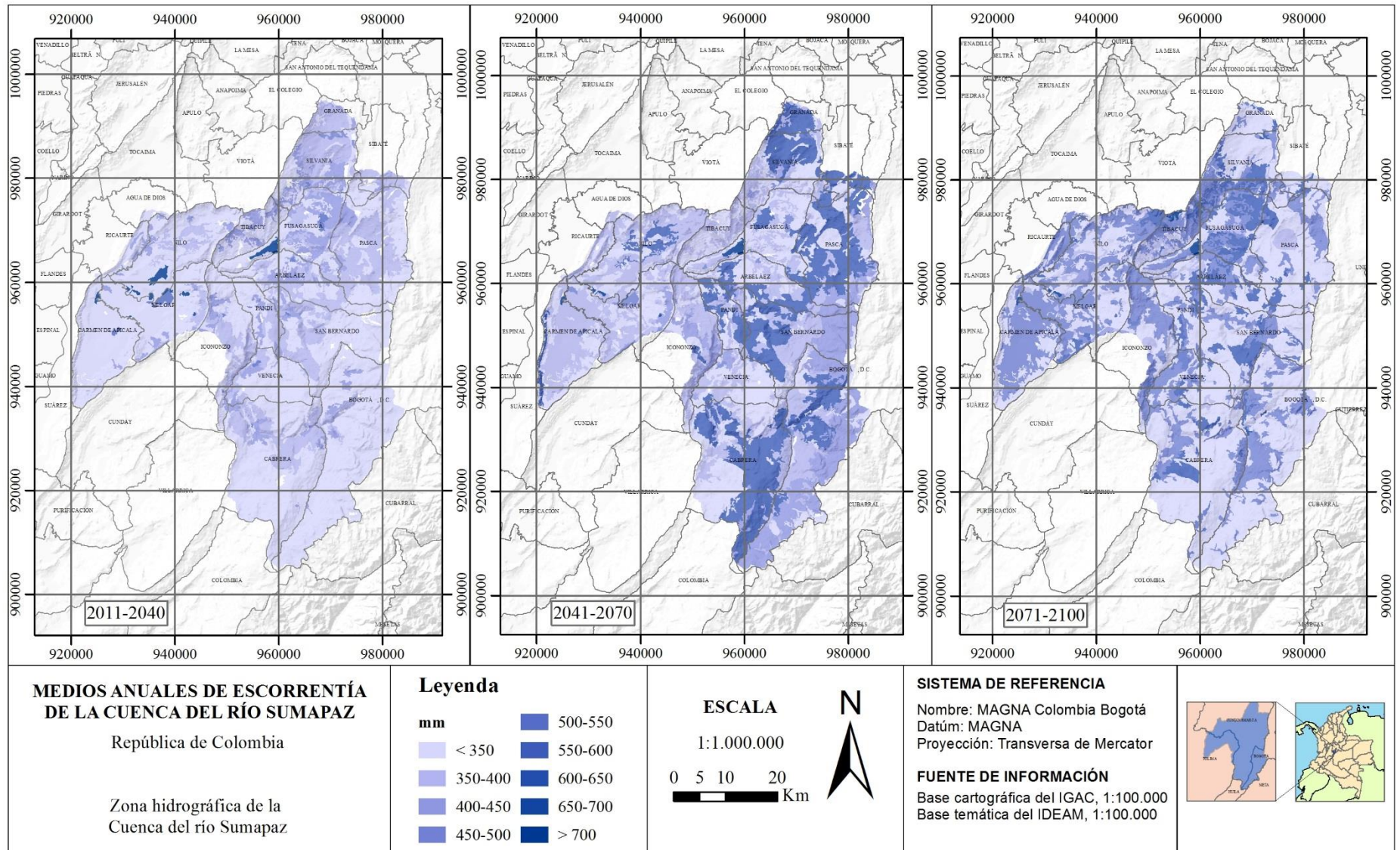


Figura 24. Medios anuales de escorrentía de la cuenca del río Sumapaz.
Fuente: Elaboración propia.

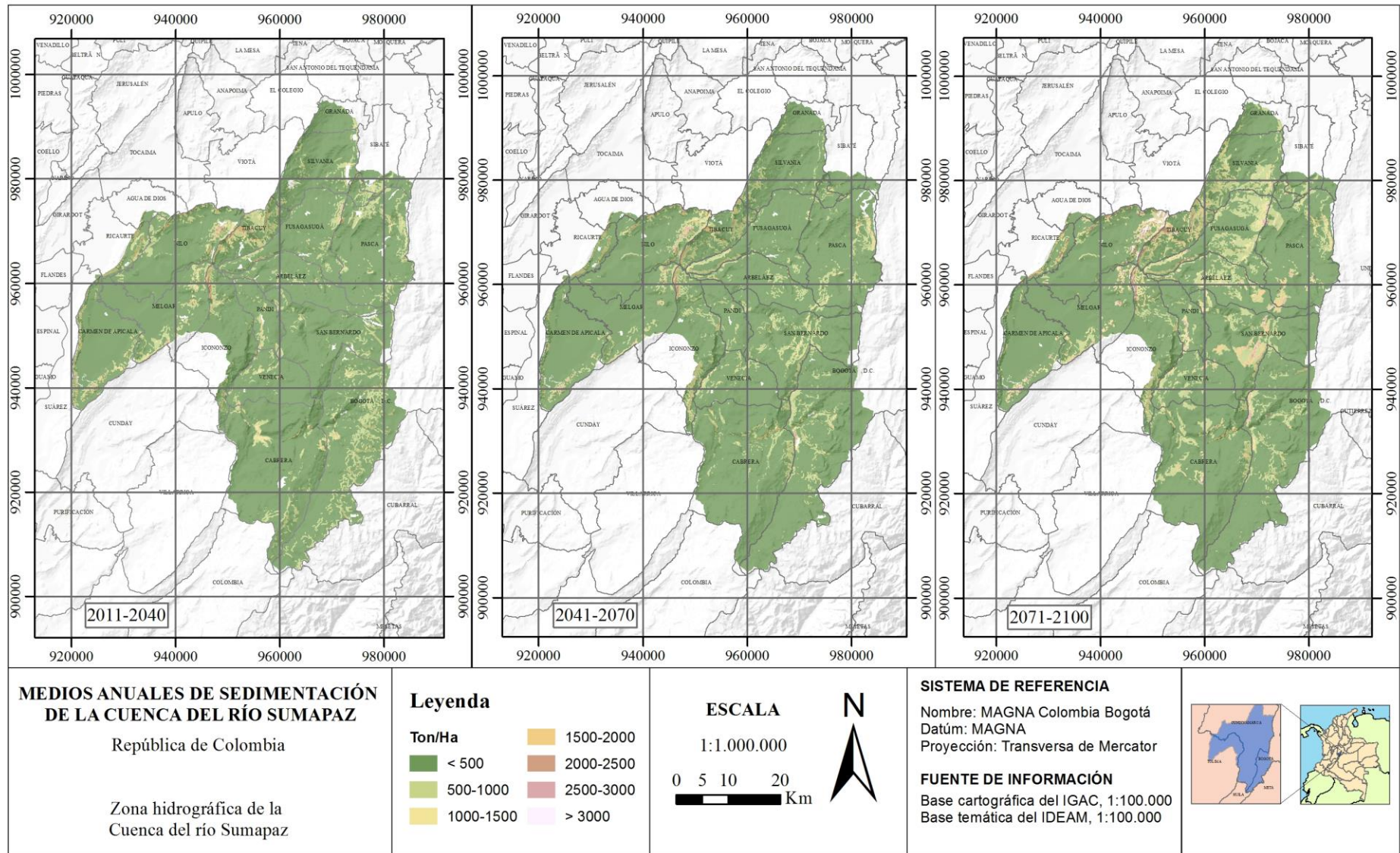


Figura 25. Medios anuales de sedimentación de la cuenca del río Sumapaz.
 Fuente: Elaboración propia.

5.5. Políticas, planes y proyectos

A nivel nacional el coordinador del sistema nacional ambiental es el MADS siendo la entidad rectora de la gestión del medio ambiente y de recursos naturales, al ser la encargada de definir diferentes aspectos según lo nombra la Ley 99 de 1993 ajustando diferentes políticas para mejorar el aprovechamientos de los recursos, así junto con el IDEAM que es el encargado de establecer diferentes objetivos y estrategias de aspectos sociales, económicos y ambientales para la gestión de los recursos en el artículo 5 del decreto 1729 de 2002, se creó la PNGIRH.

Se acierta al plantear objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, aunque este se estableció en un horizonte de 12 años dividido en tres periodos de tiempo, en donde se acaba mediano plazo quedando con cuatro años de largo plazo.

En cuanto a los principios en los que se basan abarcan una gran área ya que se encuentra integrados el bien de uso público, el uso humano, el factor de desarrollo tanto como social, cultural y económico, la unidad fundamental tanto para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico, ahorro y uso eficiente, participación, información e investigación, donde se evidencia tanto el enfoque institucional, industrial, ambiental y social.

Sus objetivos siguen la misma línea ya que se considera al agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente, considerando la oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad, en donde se pretende integrar, fortalecer, consolidar, desarrollar, conserva y mejorar tanto la calidad como el rendimiento del recurso hídrico, de igual manera la PNGIRH establece la estrategia de la articulación por parte de las corporaciones para identificar las acciones en torno a sus objetivos ambientales.

La Contraloría General de la Nación en su “Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2007 – 2008” que, en general, persiste una débil articulación institucional que impide dinamizar el proceso de planificación del recurso hídrico y, por tal razón, no se cuenta con información actualizada que permita ajustar los planes, programas y proyectos. Se

requiere, por lo tanto, mejorar el conocimiento en aspectos sociales y económicos (comportamiento poblacional, educación, tenencia de la tierra, uso del suelo, distribución predial, actividades económicas), cartográficos (mejoramiento de la escala, predial, catastral, áreas homogéneas) y ambientales (oferta, concesiones, vertimientos, tasas, calidad) (MAVDT, 2010).

De acuerdo con la PNGIRH los mayores conflictos de la GIRH para el año 2008 abarcan el ordenamiento de cuencas, aprovechamiento forestal, áreas protegidas, saneamiento básico, licenciamiento ambiental y educación ambiental. Y dentro del factor de ordenamiento de cuencas los conflictos predominantes son: el uso del suelo (asociado al desarrollo de actividades económicas, la presencia de centros poblados y de procesos erosivos el uso ineficiente del recurso hídrico por parte de sectores agroindustriales y domésticos) calidad y cantidad de agua y conflicto armado.

El IDEAM por su parte tiene que establecer ciertos criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas en el país con fines de ayudar a la ordenación de las cuencas hidrográficas, las cuales se han cumplido adoptando los componentes hidrológicos, físico/bióticos, socioculturales, tecnológico/económico y político/institucional en donde cada uno cuenta con sus respectivos factores, parámetros y criterios, en donde se han cumplido en diferentes partes del país la resolución 104 del 7 de julio de 2003. Así mismo se le otorgó acciones al SPNN y SINAP teniendo como funciones de otorgar permisos, concesiones y autorizaciones para el uso y aprovechamiento de recursos naturales, cobrar tasas y participar en procesos de licenciamiento ambiental establecidos en el Decreto 622 de 1977, el Decreto Ley 2811 de 1974 y en la Ley 99 de 1993.

A nivel regional, en el año 2008 aparece la resolución 2833 por la cual se establecen los objetivos de la calidad del agua para la cuenca del río Sumpaz (jurisdicción de la CAR), a lograr al año 2020, la cual recoge las evaluaciones de calidad cuantitativa y cualitativa con respecto al recurso con el objetivo de definir la línea base de la cuenca, realizar un diagnóstico general de la calidad, consolidar un mapa de usos y definir el escenario más probable de Saneamiento basándose en documentos de la fase de formulación del POMCA de la cuenca, sin embargo, para el año actual, sólo se ha llevado a cabo la fase de aprestamiento.

En la cuenca, las corporaciones autónomas tienen la responsabilidad de controlar y manejar los recursos naturales, los cuales tiene autonomía administrativa y financiera ejecutando políticas, planes, programas y proyectos específicos establecidas en el Artículo 5, Ley 99 de 1993. La Cuenca del río Sumapaz está bajo la administración de la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) y la Corporación Autónoma Regional de Tolima (CORTOLIMA) tal como se muestra en la

Figura 26, la cuales presenta un plan de acción cuatrienal (PAC) siendo un instrumento de planificación mediante el cual se concreta el compromiso institucional trazado para el próximo cuatrienio y que servirá de guía para las acciones que se adelantarán en el Territorio CAR donde se plantean metas y objetivos, aparte se decreta en el parágrafo 3 del artículo 33 de la Ley 99 de 1993 que las corporaciones que compartan una cuenca hidrográfica tienen que trabajar en conjunto para la gestión y manejo adecuado de la misma.

De acuerdo con el PAC, la cuenca ocupa un 13% de territorio de la totalidad de las cuencas en la jurisdicción de la CAR y un 3% en la jurisdicción de CORTOLIMA, debido al bajo porcentaje de ocupación en el departamento del Tolima no ha considerado la ordenación de esta, del mismo modo no incluye alguna acción y/o proyecto específico en esa parte del territorio.

Por otro lado, la CAR considera la cuenca del Sumapaz estratégica para el seguimiento de ecosistemas puesto que sobre esta pueden aparecer todo tipo de biomas y de zonas de vida, por esta condición resulta crucial para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica y monitoreo.

Con el objetivo de mejorar las condiciones hidráulicas de las fuentes hídricas de la jurisdicción CAR, durante la Administración 2012 – 2015 se destinaron recursos para: limpieza de espejos de agua, extracción de material vegetal, remoción de sedimentos, reforzamiento de jarillones, mitigación del riesgo por fenómenos de inundación, control de procesos de socavación e inestabilidad en bancas y, estudios y diseños de adecuación hidráulica en los municipios de Ricaurte y Venecia.

Como cumplimiento de la Política Nacional de Gestión de Riesgo proferida mediante la Ley 1523 de 2012, se brindó apoyo con importantes inversiones con el fin de atender emergencias

y mitigar el riesgo de desastres naturales: se adelantaron actividades de consultoría para la realización de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo obras de control de erosión, socavación, recuperación y restauración, obras de control de malezas y remoción de sedimentos y limpieza de espejos de aguas en los municipios de Arbeláez, Nilo y San Bernardo.

En cuanto a educación ambiental se ha desarrollado, en la provincia del Sumapaz en el departamento de Cundinamarca los PIS por medio de la formulación de Planes de Acción del CIDEA con participación municipal del 100% llevado a cabo en los años de 2013 y 2014, dados los resultados en el año 2015 se realiza el seguimiento y evaluación.

Al crearse la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, las corporaciones autónomas regionales tienen como obligación el desarrollo de los respectivos POMCAS de las cuencas en su jurisdicción, a pesar que una de las estrategias de la GIRH se basa en la articulación en pro del recurso, los estudios encontrados de la cuenca (diagnósticos) se encuentran sólo para la jurisdicción de la CAR, y es hasta el año 2017 que se inicia el proyecto en conjunto con CORTOLIMA para el desarrollo del POMCA.

A nivel local, los diferentes municipios que se encuentran relacionados con la cuenca tienen en sus POT y EOT establecidos en los Decretos 1729 (derogado) y reemplazado por el 1604 de 2002, planes de manejo para la ayuda de la cuenca, pero éstos se encuentran en un 85% desactualizados hasta la fecha, por lo tanto, no alcanzan a acoger la PNGIRH, aunque éstos plantean diferentes estrategias para la conservación y protección de los recursos hídricos que poseen, el aumento de población y el crecimiento agropecuario que se presenta en la región implica una detallada actualización en torno a los aspectos más importantes de los municipios y al desarrollo de los mismos.

En cuanto a los planes de desarrollo municipal, a excepción de los municipios de San Bernardo y Arbeláez (el cual adopta también en su PD la resolución 493 del 2010), no se encuentra algún proyecto en el que se mencione la GIRH, sin embargo, el recurso hídrico es

tenido en cuenta en sus problemáticas y posibles soluciones generando planes y proyectos en los diferentes municipios los cuales han favorecido a la cuenca ya que estos cambian con las administraciones fortaleciendo el estado de esta.

Municipios como Pandí, cuenta en su plan de desarrollo la gestión del riesgo del recurso hídrico, Fusagasugá contempla el PUEAA, Melgar posee estrategias para la adaptación del cambio climático, Nilo presenta planes de reforestación para la subcuenca del río Pagüey, no obstante, la gran mayoría de municipios basan el agua en la necesidad urgente del consumo potable y del alcantarillado de esta. Así que es preciso, modificar y crear planes que promuevan la protección y conservación del recurso hídrico en los diferentes usos que se le dan a este.

Actualmente Colombia cuenta con una estructura sólida basada en diferentes niveles, donde se encuentran instituciones a nivel jerárquico teniendo la oportunidad de establecer relaciones con la comunidad y el ambiente, aunque estas tienden a disminuir su eficacia a la hora de bajar de nivel siendo necesario modificar, mantener o crear algunas estas instituciones como se muestra en la Figura 27.

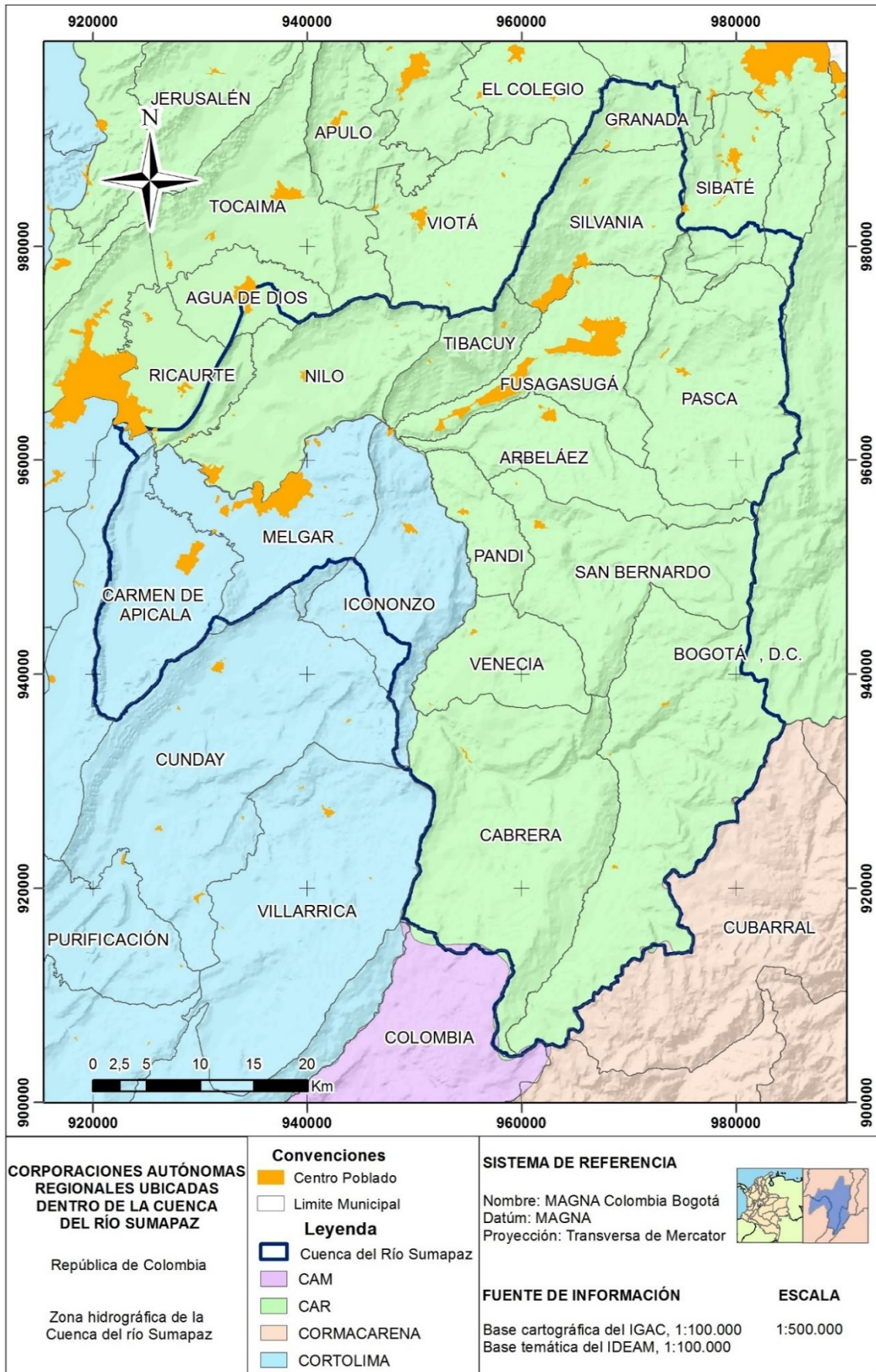


Figura 26. Corporaciones Autónomas Regionales dentro de la cuenca.
 Fuente: Elaboración propia.

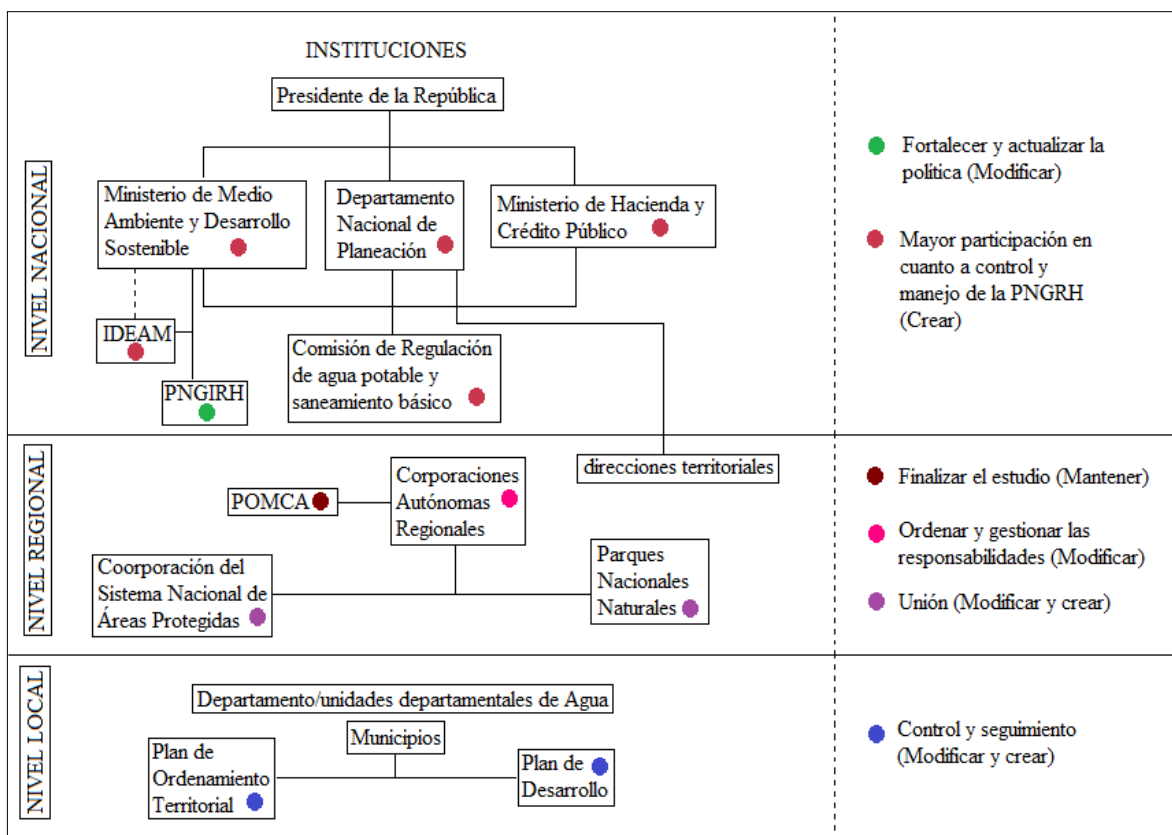


Figura 27. Manejo de políticas.

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Estrategias

Según Nannetti (2007) la disponibilidad de agua en Colombia pasó de 50635 m³/año en el año 2000 a 47470m³/año en el año 2005⁶ siendo el sector agropecuario el sector con más consumo de agua para este mismo año con un porcentaje del 65%, seguido del domestico con un 23% y por último la industria con un 12%.

Debido a su abundancia el agua se ha considerado en el país como un recurso inagotable y gratuito, por esto que es necesario el considerar el agua como un recurso limitado y estratégico para el mejoramiento de la calidad de vida. Desde la creación del Ministerio del Medio Ambiente, los gobiernos cuentan con planes ambientales en donde el agua ha tenido un papel central en el funcionamiento ecosistémico y en la vida socioeconómica. Y con el paso del tiempo las institucionalizaciones de diversas entidades se han encargado de la

⁶ Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. 2006.

regularización del agua potable. (Tabla 12) Llevándose a cabo la hoja de ruta donde se podrán visualizar las potencialidades, limitaciones y problemas de cada uno de los aspectos normativos, participación poblacional, entidades de regulación y control e inclusión de la PNGIRH, en contraste con la conservación de la oferta hídrica, conservación de la cobertura de la tierra y uso del suelo, y la capacidad frente al cambio climático que se necesitan evaluarse para cumplir los objetivos de la GIHR. (Tabla 13).

Respecto a las potencialidades se puede evidenciar las diferentes capacidades de educación, aceptación, vigilancia, protección, así como sus garantías, a pesar de esto se encontró con problemáticas y limitaciones que pueden ser fundamentales para el manejo del recurso hídrico, como lo son la ejecución, actualización, intervención, manejo, magnitud, información, desarticulación y estado actual de los diferentes aspectos.

Por esto se analizó los diferentes factores determinando las fortalezas y debilidades por medio de la hoja de ruta con el fin de aportar para la constante mejora y cumplimiento de los objetivos de la GIRH y la adaptación al cambio climático (Tabla 14). Considerando su resultado para la adecuación de estrategias como la protección, capacitación, actualización, evaluación y control teniendo en cuenta los aspectos trabajados. Se determinó que las estrategias fueran específicamente para el periodo 2011-2040, esto con el fin de prevenir los resultados del periodo 2041-2100 tanto en las simulaciones climáticas como de cobertura de la tierra.

Tabla 12. Entidades encargadas de la regularización del agua

ENTIDAD	Función				
	Reguladora	Gestión	Política	Control	Ejecutora
MADS	X		X		X
CARs		X		X	X
Grandes centros urbanos		X		X	X
Ministerio de Protección Social	X		X		
INCODER		X		X	
Comisión de Regulación de Agua Potable	X	X	X	X	

Autor: Luis Fernando Macías Gómez. Tomado de: Nannetti (2007)

Tabla 13. Hoja interrelacionada de ruta.

	CONSERVACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA	LA	CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA Y USO DEL SUELO	CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO
NORMATIVA	Potencialidades	Garantiza el derecho al agua en los diferentes lugares de la cuenca	Regula a nivel local el uso y conservación del suelo.	Se maneja el tema como una problemática existente y que se debe tener en consideración.
	Limitaciones	No asegura la eficiencia hídrica en todas las épocas del año.	No tiene en cuenta el estado actual de la cobertura de la tierra y suelo	Las normas no acogen el tema del cambio climático en niveles locales y regionales.
	Problemas	No hay seguimiento de las entidades en la política actual para su completo cumplimiento.	Las normas no están adaptadas al crecimiento acelerado de la deforestación.	Los POT y diagnósticos regionales no contemplan planes de prevención y mitigación al cambio climático.
PARTICIPACIÓN⁷ POBLACIONAL	Potencialidades	La población cada vez conoce más la necesidad de ahorrar y mantener la calidad del agua.	Conocen nuevas modalidades en cuanto a cultivos más productivos.	Conocen la problemática y disponen a continuar mejorando sus acciones en torno al cambio climático.
	Limitaciones	No existen capacitaciones en la totalidad de la población para recurrir a nuevas prácticas.	Existe una brecha en la comunidad entre la importancia del desarrollo de sus cultivos y la preservación de la cobertura de la tierra.	Perciben los cambios que han transcurrido en aspectos de clima y ambiente, pero no se hace nada al respecto en los hogares.
	Problemas	No hay herramientas que le permitan a la población hacer buen uso del recurso.	Por recelo al manejo de nuevas prácticas no es posible trabajar con todas las edades de la comunidad en nuevas prácticas agrícolas.	Desconocen estrategias para la prevención y mitigación de los posibles efectos del cambio climático en la cuenca.

⁷Resultados obtenidos de un trabajo de campo en los municipios de San Bernardo, Fusagasugá, Arbeláez y Pasca en el año 2016

ENTIDADES DE REGULACIÓN Y CONTROL	Potencialidades	Vigilan y controlan las actividades relacionadas con el recurso en zonas principales de la cuenca.	Delimitan del páramo y el PNN que se encuentra en la cuenca.	Integran de temas referentes al cambio climático en estudios y diagnósticos.
	Limitaciones	Trabajan con información que se encuentra desactualizada por las diferentes entidades.	Sus diagnósticos son vacíos en cuanto a la evaluación del suelo y su capacidad de producción.	Desarticulación en las jurisdicciones en la cuenca en cuanto al trabajo en conjunto para la adaptación del cambio climático.
	Problemas	Existen retrasos en la actualización de instrumentos y guías metodológicas para conservar el recurso frente a una disminución.	No toman en consideración la protección de zonas de bosque que disminuyen considerablemente.	No se garantiza la intervención en las zonas más afectadas por el cambio climático.
INCLUSIÓN EN LA PNGIRH	Potencialidades	La problemática es reconocida y se han integrado acciones en nivel nacional.	Reconocen la importancia de las zonas de protección.	Contempla periodos de trabajo para el futuro y planes de acción estratégica.
	Limitaciones	Maneja el tema de la conservación a escalas nacionales.	Su política de conservación y protección está estimada solo hasta el 2022.	Su información se fundamenta en los periodos propuestos por el IPCC del 2070 al 2100, pero no acoge los periodos anteriores.
	Problemas	No hay ejecución de la política en los pequeños municipios y veredas (nivel local)	No evalúa la necesidad de protección de bosques arbóreos para la conservación del suelo y su cobertura.	No se ha actualizado una nueva política que mencionen los nuevos retos de prevención del cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información recopilada, acerca de las políticas planes y proyectos que protegen y gestionan el recurso hídrico tanto a nivel nacional como regional y local (cuenca del Sumapaz) y según lo establecido en la hoja interrelacionada de ruta nos muestra que las mayores potencialidades en los aspectos de normativa y de entidades de control se muestran a nivel nacional, ya que se considera que las leyes del país consideran el recurso agua como finito y de gran importancia para el territorio, y al crearse la PNGIRH, abre un nuevo camino al entender el manejo correcto del agua y cómo conservarla mediante la protección de la cobertura de la tierra, del mismo modo las instituciones nacionales como el MADS, DNP y el MHCP, disponen de la reglamentación necesaria para cumplir con las expectativas de la GIRH, sin embargo, se encuentran falencias en los periodos de tiempos necesarios para una excelente gestión: periodos de corto plazo (4 años) y muy pocas proyecciones futuras (máximo 12 años) en especial las encaminadas a las adaptaciones al cambio climático y a la conservación de la cobertura de la tierra, a pesar de ello, se requiere fortalecimiento de lo ya existente y actualizar los periodos de tiempo conforme las necesidades.

A nivel regional la normativa existe, pero no se trabaja en forma conjunta, la cuenca del río Sumapaz, al ser parte de la jurisdicción de dos corporaciones autónomas, tendría que ser trabajada de manera articulada, no obstante, el POMCA, considerado el instrumento mayor para la ordenación de cuencas, no se ha consolidado, dando por hecho la desarticulación por parte de la CAR y CORTOLIMA.

Las mayores deficiencias se encuentran a niveles municipales donde el 100% de los municipios no establece en sus POT y EOT políticas de GIRH y conservación del suelo y el 90.5% en sus planes de desarrollo municipal pese a que éstos se actualizan cada cuatro años.

La población en la cuenca se encuentra dividida entre los que conocen la problemática que existe en torno al agua y al suelo y quieren superar las dificultades y los que conocen la problemática, pero son ajenos al cambio de prácticas ya sea por omisión o por negación. A pesar de ello, el trabajo en conjunto de los habitantes con las alcaldías y las JAC han permitido la concientización y la apropiación del territorio y su conservación.

Todo esto con lleva a la urgencia de incluir en las futuras actualizaciones el tema de conservación de la oferta tanto hídrica como del suelo haciendo énfasis en la ya existente PNGIRH con el fin que se trabaje de manera local con el apoyo de las entidades regionales,

modificando su tiempo de ejecución y/o realizar actualizaciones en el debido periodo para evitar vacíos normativos que causen graves problemas ambientales en el marco del desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático.

Tabla 14. Estrategias planteadas para la cuenca hidrográfica.

Periodos	2022-2028	2029-2034	2035-2040	
NORMATIVA	Conservación de la oferta	Identificar las normas presentes que puedan garantizar el recurso hídrico a futuro.	Establecer cuáles normativas a nivel regional y local garantiza el acceso hídrico.	Seguimiento y control de las diferentes normas para ajustar los diferentes cambios presentes en la cuenca.
	Conservación de la cobertura de la tierra y uso del suelo	Evaluar el estado actual y acceso que se tiene en cuanto la conservación.	Determinar planes para proteger y recuperar las zonas importantes de cobertura de la tierra y suelo.	Verificación de los planes y áreas recuperadas y control de los procesos.
	Capacidad de adaptación frente al cambio climático	Crear estudios específicos sobre la variación climática frente al cambio climático en Colombia, tanto a nivel nacional, regional y local.	Determinar la adecuada infraestructura y la capacidad institucional para gestionar las problemáticas que pueda ocasionar el cambio climático.	Crear políticas de manejo y conservación que incluya zonas comunes de aspectos ambientales y no por división política.
PARTICIPACIÓN POBLACIONAL	Conservación de la oferta	Capacitaciones por las diferentes entidades públicas para el fortalecimiento y conocimiento de mejores practicas.	Evaluar cuales son las mejores edades para trabajar con el fin de fortalecer los nuevos manejos verdes entorno al agua.	Promover el uso de tecnologías limpias y el ahorro del agua en hogares y en riegos.
	Conservación de la cobertura de la tierra y uso del suelo	Implementar asambleas y talleres en las que se infunden educación ambiental en el sector agrícola.	Implementar nuevas estrategias para infundir nuevas economías controlando la expansión agraria.	Promover en las nuevas generaciones las prácticas obligatorias en cuanto a desarrollar la máxima capacidad agrícola sin necesidad de expansión.
	Capacidad de adaptación frente al cambio climático	Buscar una aceptación del problema y sus consecuencias en la comunidad.	Determinar las diferentes acciones sociales, económicas y ambientales para disminuir el impacto al cambio climático como acciones "verdes".	Incluir en los colegios cátedras obligatorias en donde se enseñe a prevenir y mitigar las consecuencias del cambio climático.
ENTIDADES DE REGULACIÓN Y CONTROL	Conservación de la oferta	Identificar y caracterizar la vulnerabilidad de los ecosistemas clave para la regulación hídrica y de los sistemas artificiales para la regulación hídrica.	Actualización de instrumentos y guías metodológicas para conservar el recurso.	Implementar tecnologías que permitan el mantenimiento de los cuerpos de agua y control de su calidad.

	Conservación de la cobertura de la tierra y uso del suelo	Generar un diagnóstico donde se evalúe la capacidad del uso del suelo y su capacidad de producción.	Evaluación, protección y delimitación de las zonas que necesiten ser protegidas.	Hacer seguimiento periódico a las propiedades químicas y físicas del suelo para evaluar los impactos transcurridos.
	Capacidad de adaptación frente al cambio climático	Generar estudios y diagnóstico con intervalos de tiempo cortos.	Lograr intervención adecuada en cuanto a las problemáticas identificadas, integrando las diferentes jurisdicciones.	Unificar jurisdicciones de acuerdo a las unidades del paisaje para que se trabaje en conjunto los planes de prevención y mitigación en entorno al cambio climático.
	Conservación de la oferta	Difundir la inclusión de la GIRH, para mejorar el uso y aplicación del tema.	Crear políticas adecuadas de escalas menores para la GIRH.	Crear nuevos objetivos en la PNGIRH que incluya en la gobernabilidad del agua proyectos estándares de obligatoria ejecución en los municipios de la cuenca.
INCLUSIÓN DE LA PNGIRH	Conservación de la cobertura de la tierra y uso del suelo	Reconocer la importancia y necesidad de la inclusión de la GIRH en políticas agrarias.	El tema se deberá tratar en las escalas nacionales, regionales y locales.	Control y evaluación de las zonas con mayor importancia para la conservación y calidad del agua.
	Capacidad de adaptación frente al cambio climático	Actualizar las políticas existentes generando periodos de acción actuales frente a la problemática del cambio climático teniendo en cuenta los periodos anteriores.	Determinar los periodos cortos de trabajo a futuro teniendo en cuenta los antecedentes.	Integrar en los planes de ordenamiento territorial medidas de aseguramiento en la ejecución de las políticas de mitigación del cambio climático aplicadas a la GIRH.

Fuente: Elaboración propia.

Basándose en los seis objetivos de la PNGIRH: oferta, demanda, riesgos, fortalecimiento y gobernabilidad, se consideró en los aspectos municipales realizar acciones que permitan el desarrollo de la cuenca en contraste de los resultados obtenidos en el estudio de la política y de la simulación de los periodos futuros. Teniendo en cuenta que se prioriza en el territorio la inclusión de la GIRH, se considera como prioridad introducir en los niveles regionales y locales sus objetivos para trabajar en pro de la estabilización de la cuenca y del desarrollo ambiental y económico.

Los resultados medios anuales nos permiten una clara visión de que zonas de la cuenca resultaran de una u otra forma afectadas por el cambio de cobertura de la tierra y las precipitaciones estimadas para los periodos desde el 2011-2100. Por esta razón tanto la CAR como los futuros planes de gobierno contemplen la protección del suelo como un método para la conservación del recurso hídrico.

6 DISCUSIÓN

El SWAT como herramienta utilizada para el análisis de la problemática permitió tener una percepción del estado de la cuenca en los tres periodos de tiempo futuro, en su modelación, una de las principales problemáticas presentadas fue la diferencia de datos, escasez de algunos y el peso de otros. Por esto se contó con una capa de suelos de la FAO con tan sólo cinco tipos de suelo (ver Tabla 6), se decidió utilizar menos estaciones meteorológicas y se usó un DEM con una resolución espacial más grande de la que se esperaba, esto se presenta también en el estudio de Obando (2013), en donde tiene que desprestigiar años por falta de datos climáticos afectando así los resultados.

En general se han presentado diferentes estudios con esta herramienta con finalidades diferentes, aunque su calibración y validación tiende a ser la misma utilizando la misma cantidad de datos, la herramienta tiene gran flexibilidad en cuanto lo que se requiera y se ha logrado un ajuste satisfactorio entre los diferentes parámetros.

Una de las principales diferencias y consideraciones que se tuvieron en cuenta en el modelo a nivel general fue la proyección de datos obtenidos debido a que se trabajó en un periodo de tiempo amplio y no se encuentra ningún estudio relacionado, (el más cercano va hasta el año 2030), sin embargo, el escenario medio de cambio climático del IDEAM (Tablas 3 y 4) y las proyecciones estadísticas Tabla 11 permitió que la herramienta SWAT simulara los tres periodos previstos para el estudio.

En los cambios de cobertura, intentando cumplir todos los supuestos, se tuvo inconvenientes al observar los comportamientos de las variables por la escasez de datos encontrados a la hora de manejarlos, lo cual hizo que se necesitaran herramientas que no se tenían previstas, a pesar de esto se logró un cambio en los datos generando las coberturas de los diferentes periodos, y se tiene a consideración que esto se puede generar errores o cambios significativos a la hora de los resultados de los diferentes periodos.

De acuerdo con las variaciones que se tienen a lo largo de la calibración y validación que se obtuvieron a partir de los datos previstos por el IDEAM (2012), se establece que la región Andina posee una gran diversidad pluviométrica para el sur del Huila y el nororiente del Tolima (límites con Cundinamarca), aunque en el presente estudio se determinó que el

aumento de la lluvia será igual a 7,99% para el periodo 2011- 2040 respecto al periodo de referencia conforme al IDEAM (2012), esta no alcanza a llegar a lo establecido en el escenario medio del IDEAM; el mes de octubre, siendo el más lluvioso, apenas superará los 200 mm, siendo tan solo el 40% previsto, esto se puede deber al tratado de los datos meteorológicos y la cantidad de estaciones que se tuvieron en los diferentes estudios realizados por la entidad en comparación de este. Sin embargo, el IDEAM establece que la precipitación en la cuenca aumentará del centro hacia al noroccidente, tal como se muestra en la Figura 4.

La modelación muestra que la esorrentía media mensual (Figura 16) aumenta hasta el año 2071, en el último periodo se observa una disminución considerable esto puede ser debido a la variación de la evapotranspiración que tiene influencia en la cuenca, también se tiene en consideración el cambio de temperatura que se estimaron a partir de los escenarios del IPCC y las variaciones que se obtuvieron de acuerdo con el cambio de la cobertura de la tierra definidos para los tres periodos.

Los datos medios anuales de esorrentía en los tres periodos de tiempo presentados en la Figura 24 evidencian un cambio beneficioso por el aumento de la misma en toda la cuenca, lo cual puede llegar a suponer que se presentará estabilidad en cuanto a la oferta del agua, aun así, los cambios físicos y químicos tanto en el suelo como en el agua pueden afectar su calidad, de igual forma, se puede evidenciar la pérdida de vegetación en la parte alta y media de la cuenca especialmente en los municipios de Bogotá, Cabrera, San Bernardo y Pasca donde se presentan las mayores concentraciones de esorrentía, lo cual sugiere que se necesita más atención en esta zona en cuanto a la conservación y protección.

Debido a que la esorrentía aumentará para el segundo periodo, lo cual significaría un incremento en los caudales, se considera fundamental crear un plan de contingencia contra inundaciones en los municipios más afectados: Cabrera, San Bernardo, Pandi, Pasca, Granada y Sylvania, de este modo se espera una integración entre los municipios con la Unidad para la Gestión de Riesgos y Desastres con la finalidad de prevenir a la población ante una posible emergencia. Igualmente es primordial una reforestación arbórea en zonas de mayores pendientes las cuales se encuentran en el departamento de Cundinamarca en los municipios de Cabrera, San Bernardo, Pandi, Venecia y Tibacuy y en el departamento del

Tolima los municipios de Melgar, Nilo, Icononzo y Carmen de Apicalá para evitar el riesgo de deslizamiento y posibles reubicaciones de la población más propensa al riesgo.

Sin embargo, para el último periodo la escorrentía disminuye debido a dos causales: el incremento de la temperatura y la expansión de pastos y cultivos por la cuenca incluyendo el páramo de Sumapaz, y, siendo este el lugar de nacimiento del río principal de la cuenca, al desaparecer la vegetación endémica, la producción de agua disminuirá; por esta razón es urgente la protección del páramo y que se garantice que no se permitirán invasiones agrícolas, ganaderas ni urbanas, de este modo se garantiza la oferta y la gobernabilidad del agua.

La evapotranspiración (Figura 18) presenta variaciones influenciada por los meses más secos y más lluviosos, y que de mantenerse, se establece que en los tres periodos de tiempo oscila entre 27 y 42 mm mientras que el estudio de Téllez, Boshell & Zea (2001) por medio de escenarios simulados por el modelo NCAR LSM tendría que estar entre los 60 y 80 mm por el centro de Colombia, claro está que el estudio está a una escala mayor generando diferencias e inexactitud a la hora de compararlos, aun así el intervalo que se tiene en los dos estudios es similar.

En cuanto al valor medio anual de evapotranspiración, se obtuvo un crecimiento del 85% en la cuenca (Figura 23), el cambio más notable se presentó para el segundo de tiempo intervalo en los municipios de Granada, Silvania, Fusagasugá, Arbeláez, Pasca, Pandi, San Bernardo, Bogotá, Venecia y Cabrera siendo la parte alta y media de la cuenca, teniendo un aumento de 390-420 mm a 420-450 y en el siguiente periodo (2071-2100) en la parte baja de la cuenca perteneciente a los municipios de Carmen de Apicalá, Melgar y Nilo, donde, en este último periodo pasa de 420-450 a el intervalo de 450-480 incluso alcanzando en diferentes zonas > 480.

En la cuenca la evapotranspiración tiene tendencia de crecimiento ascendente, debido al aumento de temperatura, se advierte que si no se frena a tiempo la deforestación principalmente en los municipios de la parte baja de la cuenca especialmente en el departamento del Tolima la afectación será mayor, puesto que, la presencia de pastos y cultivos poseen bajo de control estomático y por lo tanto índices más altos de evapotranspiración, así que si las tendencias de crecimiento de esta cobertura llegasen a

esparcirse por toda la cuenca supondría un desequilibrio por lo tanto es necesario contribuir con una reforma local al uso del suelo y optimización en la menor extensión posible, de este modo la cobertura de la tierra no sufrirá mayor cambio.

Los cambios presentes de sedimentación (Figura 19) varían de acuerdo con la esorrentía y la pendiente, la mayor concentración de sedimentación tendrá un impacto en la flora presente las áreas altas y medias de la cuenca. En los resultados medios anuales la sedimentación se presenta principalmente en los límites de los municipios de Nilo, Tibacuy, Melgar e Icononzo y en el centro de San Bernardo. El aumento de concentración de la sedimentación en los pies de las mayores pendientes en la cuenca es otro indicio de la necesidad de reforestar esas zonas las cuales su afectación a causa de la esorrentía y de la erosión estas acciones se basan en utilizar también material vegetal disponible (troncos, hojas secas) o piedras sobre el terreno haciendo un contorno en inmediaciones a los cuerpos de agua en los municipios como Nilo, Tibacuy, Fusagasugá, Arbeláez, San Bernardo y en Bogotá tal como se puede apreciar en la figura 25.

El crecimiento poblacional es uno de los factores mayor implicados en el cambio de cobertura, debido a la ubicación de la cuenca, esta se convierte en uno de los mayores atractivos en cuanto a vivienda tanto residencial como turístico por lo que se requiere que se regule el suelo con una política de crecimiento vertical siempre y cuando se realicen los estudios correspondientes del suelo y el municipio tenga la capacidad económica de sustentarle a la población los servicios básicos y de saneamiento.

Los cambios químicos más destacados en la vegetación (Figura 20), según la modelación, es el aumento de estrés por exceso de nitratos esto puede deberse al descenso en el nitrógeno orgánico y al cambio de uso del suelo ya que crece considerablemente el uso por pastos y cultivos, donde se encuentra gran uso de fertilizantes y prácticas inadecuadas que se presentan en la zona, este exceso de nitratos podría generar consecuencias como disminución de producción frutal, aumento de la susceptibilidad a los insectos o bien afectando negativamente la calidad nutricional de las plantas generando problemas a las diferentes especies que puedan llegar a alimentarse de estas, por ello es importante controlar la concentración que se pueden llegar a utilizar en las prácticas agrícolas de tal forma que el

valor seleccionado optimice en conjunto el crecimiento y vigor de la planta y la producción con un nivel óptimo de calidad para la vida.

Así mismo el suelo presenta pérdida de nitrógeno y fósforo orgánico (Figura 21 y 22), a pesar que estos se encuentran de manera natural han sido alterados por las diferentes actividades antrópicas, los cambios en la cobertura de la tierra, cambio climático y efectos locales (tipo de pendiente, material), la pérdida de estos puede ocasionar problemas naturales en la vegetación en cuanto a producción de cultivos a lo que conllevaría al aumento de fertilizantes ocasionando más problemáticas al suelo.

La GIRH se ha convertido en una prioridad para Colombia siendo un gran desafío para el desarrollo sostenible en las cuencas hidrográficas, debido a que en el país se presenta problemas en la gestión de ecosistemas y biodiversidad, la cuenca por su ubicación geográfica, sus diferentes pisos térmicos, recurso hídrico, zonas agrícolas y las diferentes actividades económicas han generado disminución en las diferentes especies de flora y fauna. Su principal actividad económica es la actividad agropecuaria que se desarrolla de manera no tecnificada y las condiciones climáticas de humedad imperantes a lo largo de la cuenca, ha generado problemas en la conservación tal como se muestra en los páramos donde su delimitación no es tomada en cuenta, y se han generado conflictos ambientales que ponen en peligro sus propiedades físicas y químicas tal como se menciona en el ítem 5.1.4.

Lo anterior implica una reestructuración de la norma en la gestión del agua, que la cual considere una visión integral del problema, donde el agua se administre como un bien común limitado para diferentes usos y donde las soluciones sean formuladas bajo diferentes criterios de conservación, restauración y uso considerando la cuenca como unidad de planeación e involucrando conceptos como el de producción limpia y criterios adecuados de selección de tecnología en abastecimiento de agua, saneamiento ambiental y control de la contaminación por aguas residuales, para garantizar la sostenibilidad de las inversiones tal como lo sugiere Sánchez (2010) y teniendo en cuenta que la cuenca posee diversos cultivos por todo su territorio demostrando su principal economía, se debe trabajar con las entidades encargadas por cultivos limpios en las zonas donde se genera riesgos ambientales (Zarate, 2016).

La creación de la PNGIRH nació con el fin de generar un manejo y control adecuado a los recursos naturales centrado en el recurso hídrico, ha ayudado a establecer parámetros y

enfoques que sirven para la gestión de las diferentes cuencas, aun así, ha tenido diversas fallas a la hora de cumplir con los periodos de tiempo establecidos y no se han presentado propuestas para ser renovadas ya que son claras las fallas y se está acabando el tiempo que se estipuló en la política para mejorarlas, teniendo claro que la fortaleza y actualización en este punto no es fuerte y siendo uno de los recursos políticos a nivel nacional genera incertidumbres y fallas a la hora del manejo del recurso.

El IDEAM, siendo el encargado de gestión y monitoreo de las diferentes cuencas del país el cual ha mejorado a través de los años las estaciones establecidas generando mejor calidad de los datos, esto se ha evidenciado a partir del 2012 a la actualidad, también se ha creado el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico en noviembre del 2017 que orienta e integra estrategias y acciones en pro de mejorar la generación de conocimiento e información, para la gestión integral del recurso en el ámbito nacional y regional (IDEAM, 2017), sin embargo la integración con las otras entidades y otros niveles (regional y local) necesarios para la gestión en la cuenca del Sumapaz es escasa lo cual genera una desintegración del sistema de la GIRH.

Actualmente la información de oferta y demanda del recurso hídrico de la jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales se encuentra desactualizada al igual que los instrumentos de planificación de la cuenca. A pesar de que existen lineamientos por parte del gobierno nacional que plantean a la cuenca como unidad de gestión ante lo cual se cuenta con el POMCA como instrumento de planificación, éste igualmente se encuentra desactualizado, generando desinformación a los usuarios y ausencia de lineamientos para los procesos de ordenamiento ambiental territorial, su cronograma el cual se encuentra dividido por fase de aprestamiento, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental, y formulación, hasta la fecha se encuentra cumplida la primera fase y la segunda en terminación con las diferentes caracterizaciones establecidas por el IDEAM por lo tanto se espera el resultado final para el año 2020.

Este proceso ha tenido diferentes acercamientos con las alcaldías para mantener informados del POMCA a juntas de acción comunal, autoridades municipales, acueductos, asociaciones o agremiaciones, fundaciones, ONGs, veedurías, parroquias, instituciones educativas y hospitales generando talleres de aprestamientos a la comunidad, identificando gestión del

riesgo y actores del cambio climático y caracterizando los diferentes actores que pueden beneficiar.

Mientras se completa el proceso del POMCA, las corporaciones autónomas cuentan con el PAC establecido para cuatro años (2016-2019), en donde se define, identifica, caracteriza, estableciendo estrategias, recopilando datos y analizando información existente en cuanto a la gestión del riesgo como instrumento de participación y el estado actual en sus componentes físicos y escenarios futuros para el uso coordinado y sostenible en donde se encuentran las respectivas actividades, productos y medios logísticos.

Una de las principales debilidades a nivel local en la cuenca son los POT y EOT de los municipios involucrados, teniendo fallas en cuanto al control, seguimiento y desarrollo de la GIRH, por esto se debe de crear estrategias para el cumplimiento de los diferentes niveles institucionales, políticos y administrativos a nivel general como lo es la articulación de la gestión de agua con las estrategias de desarrollo territorial y sectorial, contribuir a la adaptación de formas y procesos sostenibles de desarrollo, desarrollar la infraestructura y la capacidad institucional para gestionar el agua, difundir conocimiento y tecnologías para el uso eficiente, formar y consolidar capital social y económico tal como lo sugiere Guhl, (2012) realizando un ajuste político y normativo en los niveles regional y local teniendo en consideración la conservación de la oferta, cobertura vegetal y la adaptación frente al cambio climático basada en la reestructuración de las entidades administrativas con el fin de articularlas en pro de la gestión sostenible de la cuenca.

7. CONCLUSIONES

- La cuenca posee tendencias de crecimiento y cambio del suelo afectando de manera irreversible los ciclos biogeoquímicos de la zona, agravando así problemas globales como lo es el cambio climático teniendo en cuenta que este no ha sido estudiado para la región a un nivel local.
- La PNGIRH se basa principalmente en la oferta del agua en el país, sin embargo, no contempla dentro de esta la cobertura de la tierra y el suelo como un factor que influye directamente en la conservación y calidad el recurso hídrico.
- En cuanto a la capacidad hídrica de la cuenca, el agua permanecerá gracias a los aumentos en la precipitación que se esperan hasta el año 2100, sin embargo, no se garantiza su calidad por la producción de sedimentos, la deforestación y erosión y el aumento de fertilizantes que amenazan los ciclos biogeoquímicos en la cuenca.
- Las políticas tienen falencias sobre la regulación y control de los recursos hídricos especialmente en el nivel local, esto se ve reflejado en políticas antiguas, desarticulación entre las normas y entidades regionales y locales, que no consideran los inminentes cambios tanto antrópicos como climáticos para crear un plan de contingencia que asegure el futuro del país y cada región en él.
- La creación del POMCA es un claro ejemplo de las acciones que se deben realizar en pro de desarrollo en la región.
- Por parte de las entidades encargadas se observó que el IDEAM posee estudios que permiten la correcta gestión de la cuenca a nivel regional (más no local).
- Pese a que el área de CORTOLIMA será la más afectada por el cambio climático que la de Cundinamarca, CORTOLIMA aún no ha realizado estudios específicos para enfrentarlo y mitigarlo.
- Se considera importante la modificación de los POT y EOT en cada municipio, bajo modernizaciones y ordenación del territorio con base a normas que protejan el medio ambiente en una integración de factores bióticos, antrópicos y edafológicos. Ya que dichos planes completarán casi una década sin tener gran cambio. Los POT deben ser diseñados no solo para cumplir la norma nacional sino la internacional.

- Los Planes de Desarrollo de los municipios manejan proyectos en torno al agua sólo con fines de potabilidad para sus pobladores, se encuentra un déficit de planes y proyectos en torno al cuidado y manejo del recurso para fines diferentes del consumo humano, ya que la mayor demanda se encuentra en el sector agropecuario, es necesario que se vea al recurso hídrico como la base de la economía y subsistencia de la cuenca.
- La población cumple un papel importante en la sostenibilidad de la cuenca, no obstante, dicha participación está representada solo por las nuevas generaciones (en talleres) y aun así, no se presenta en la totalidad de la cuenca. De igual manera existe cierto recelo por parte de la población adulta en las nuevas técnicas para el manejo de cultivos. Para poder hablar de gestión integrada en la cuenca es necesario contar con el apoyo de la totalidad de los habitantes.
- La cuenca se encuentra lejos de ser manejada bajo la GIRH, ya que, aunque existe la política a nivel nacional, la implementación a escala regional y local es casi nula; a excepción de los municipios de Arbeláez y San Bernardo que son los únicos municipios que la reconocen más no la desarrollan. Esto evidencia la poca eficacia por parte de las entidades nacionales a las entidades regionales y locales.
- De acuerdo con los resultados, se pudo verificar de manera parcial la hipótesis puesto que sí se encuentran políticas ambientales y estructuras administrativas las cuales indican que no es necesario construir un nuevo marco político; sin embargo, se demostró que no existe articulación entre las entidades que permitan la gestión sostenible, y en la cuenca la información y los estudios realizados se encuentran desactualizados a niveles regionales y locales.

8. RECOMENDACIONES

Buscando la continuidad y mejora a este proyecto, se recomienda crear una segunda fase donde se potencialicen las estrategias mediante salidas de campo, donde se trabaje de forma conjunta con cada una de las entidades junto con las comunidades de los municipios los aspectos básicos que se evaluaron en este proyecto de investigación en especial la introducción de la GIRH como primer paso para la adaptación al cambio climático, salvaguardando los recursos para que la cuenca siga en equilibrio sin afectar el desarrollo social.

En cuanto a las políticas, si es bien sabido que las políticas nacionales, no se pueden modificar tan fácilmente, las políticas en los niveles regionales y locales mediante una activa participación pueden ser vigiladas, y el seguimiento debería de ser en periodos más cortos.

Los resultados del modelo en cuanto a la simulación pueden que tengan cierto error debido a la simulación con estaciones meteorológicas incluidas en el motor climático del SWAT, lo que sugiere una revisión detallada de las variables meteorológicas que fueron simuladas con información real para que los resultados sean más confiables. De igual manera es necesario profundizar en los temas de calidad de agua, ya que se concluye que es una variable indispensable de estudio en el corto, mediano y largo plazo debido al aumento y transporte de sedimentos a lo largo del estudio.

Los datos del suelo tienen protagonismo en la vida de la cuenca, por esto se considera necesario ahondar en ellos para un análisis más profundo y así que las simulaciones de los tres periodos sean más completas en los temas de meteorología, agua y suelo.

Uno de los obstáculos para este proyecto fue la falta de información meteorológica y ambiental, lo que se deduce a la urgencia de inversión por parte del estado para estudios de carácter investigativo y para el mantenimiento operativo de los instrumentos que afectan directa o indirectamente dichas investigaciones, esto con el objetivo de estar al corriente de los cambios en el territorio y así entender la dinámica ocurrente para disminuir el riesgo de cambios irreversibles para la cuenca y para el territorio en general.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Fusagasgá. (2016). *Plan de desarrollo municipal*. Fusagasgá.
- Argeñal, J., & Urtecho, G. (2013). *Modelación hidrológica para la sub cuenca de río Guacerique por medio de la Herramienta ArcSwat, bajo escenarios de cambio en l uso fr suelo y precipitación*. Honduras: Universidad Nacional Autonoma de Honduras.
- Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, A., & Ruiz, J. (2014). *Escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en colombia*. Bogotá: IDEAM.
- Arosemena, J. (2010). *Gestión del recurso hídrico en la cuenca alta del río caldera*. Costa Rica: CATIE.
- Begoña, F. (1999). *La demanda de servicios ambientales. El método del coste de viaje an la estimacion de la demanda recreativa de espacios naturales*. Universidad de Zaragoza.
- CAR. (2003). *Diagnostico subcuenca río Sumapaz*. Bogotá: CAR.
- CAR. (2007). *Estudio de diagnóstico, prospectiva y formulación cuenca del río Sumapaz. Bogotá*. Bogotá: Unión Temporal.
- Castañeda, Y. (2016). *Modelación del efecto del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Coello, bajo escenario de cambio climático, a través de la aplicación del modelo hidrológico SWAT*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Cerón, L., & Aristizábal, F. (2012). *Dinámicas del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelo*. Bogotá: Biotecnol.
- CORTOLIMA. (30 de Enero de 2018). *Corporación Autonoma Regional del Tolima*. Obtenido de <http://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/pomca-rio-sumapaz-beneficio-socio-ambiental-tolima-cundinamarca>

- Decreto 1729. (2002). *Cuencas hidrográficas*. Bogota: Republica de colombia.
- Decreto 622 . (1977). *Sistema de parques nacionales*. Bogota: Republica de colombia.
- Decreto-Ley 216. (2003). *objetivos y la estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial* . Bogota: Republica de Colombia.
- Decreto-Ley 2811 . (1974). *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Bogota: Republica de Colombia.
- Decretos 1604 . (2002). *concertar, armonizar y definir políticas, para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas comunes, teniendo en cuenta los principios constitucionales y legales, las políticas nacionales y regionales, la normatividad ambiental y lo dispuesto en el presente decreto*. Bogota: Republica de Colombia.
- Energía. (2017). *Situación actual de la gestión integrada del recurso hídrico en el sector minero energético*. Bogotá.
- FAO. (1971). *Mapa mundial de suelos*. Paris: Unesco.
- FAO. (2008). *El año internacional de la papa*. Roma: FAO.
- Guhl, E. (2012). *Nuestra agua; de dónde viene y para dónde va?* Bogotá.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politecnica de Valencia.
- IDEAM. (2001). *Estudio ambiental de la cuenca Magdalena – Cauca y elementos para su ordenamiento territorial*. . Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2012). *Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2017). *Programa nacional de monitoreo del recurso hídrico*. Bogotá: IDEAM.

IDEAM. (16 de Febrero de 2017). *Solicitud de información*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

IGAC. (2007). *Sistema de información geográfica*. Guajira: IGAC.

Instituto nacional de estadística y geografía. (2014). *Sistema de información geográfica*. Mexico: INEGI.

Jimenez, B., & Galizia, J. (2012). *diagnostico del agua en las Americas*. Mexico: foro constitutivo científico y tecnológico.

Jimenez, F. (1994). *Planificación y manejo de los recursos hidricos en la agricultura mediante el balance hidrico*. Costa Rica: Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñansa.

Ley 99. (1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones*. Bogota: Republica de colombia.

MADR. (2016). *Informe de Rendición de Cuentas 2015 - 2016*. Colombia: MinAgricultura.

Madroñero, S. (2006). *Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto*. Costa Rica: CATIE.

MADS. (2013). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá.

MADS. (06 de Abril de 2018). *Gestión integrada del recurso hidrico*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>

MAVDT. (2010). *Política nacional de la gestión integrada del recurso hídrico*. Colombia: Viceministerio de Ambiente.

Ministerio de Ambiente. (2004). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenidos y metodologías*. España: Ministerio de medio ambiente.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá: Viceministerio de ambiente.
- Monciño, K. (2015). *La cobertura y uso del suelo en la producción de sedimentos y escurrimientos superficiales en la cuenca el Tejocote, Máxico, mediante el modelo hidrológico SWAT*. Toluca: Universidad Autónoma del estado de México.
- Montgomery, D. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Us: John Willey & Sons Inc.
- Naciones Unidas. (04 de Febrero de 2017). *Decenio Internacional para la acción " El agua fuente de vida" 2005-2015*. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- Nannetti, E. (2007). *Gestión Integrada del Recurso Hidrico En Colombia*. Bogotá: Quiaxi.
- Obando, J., & Moran, J. (2013). *Modelación del recurso hidrico en la microcuenca Peñas Blancas*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño.
- Padilla, J. (2013). Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Revista Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v-8.
- Pereira, D. (2016). Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and.Brasil: . *Journal of Hydrology: Regional*.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrdo de cuencas hidrograficas*. Costa Rica: IICA.
- resolución 001 . (2016). *Por medio de la cual se declara en ordenacion en la cuenca del rio Sumapaz*. Bogota: Republica de Colombia.

- resolución 104. (2003). *Por la que se establecen los criterios y parámetros para la Clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas*. Bogota: Republica de Colombia.
- Safavi, H. (2015). Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud river basin. *Journal of Hydrology*, 773-789.
- Sanchez, L. (2010). *Gestión Integrada del Recurso Hidrico Frente al cambio climático*. Cali: Universidad del Valle.
- SEDAN. (2010). *Programas estatales de acción ante el cambio climático*. Mexico: Tecnológico de Monterrey.
- Semana. (04 de Julio de 2017). *El Sumapaz sufre por el turismo desahogado*. Obtenido de Semana sostenible.
- Sociedad Geografica de Lima. (2011). *Foro Peruano para el Agua*. Lima: Global Water.
- SWAT. (2010). *Conceptos básicos y guía rápida para el usuario*. USA: SWAT.
- Télles, P., Boshell, J., & Zea, J. (2001). Proyecciones en los cambios del balance hídrico en Colombia bajo alteraciones en el contenido del dióxido de carbono. *Meteorología Colombiana*, 81-102.
- UCAR. (12 de Septiembre de 2017). *Research Data Archive*. Obtenido de Computational & Information System Lab: <https://rda.ucar.edu/pub/cfsr.html>
- UNDP. (2005). *Planes de la gestión integrada del recurso hídrico*.
- Uribe, N. (2010). *SWAT: Conceptos básicos y guía rápida para el usuario*. CIAT.
- Urrutia, M. (2016). *Aplicación del modelo SWAT para la simulación del ciclo hidrológico de la cuena alta del río San Juan bajo la influencia de la actividad minera*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Villon, M. (2004). *Hidrologia, cartago*. Costa Rica: Tecnologica de Costa Rica.

Zarate, M. (2016). *Plan ambiental local*. Bogotá: Alcaldía mayor de Bogotá.

Zuleta, C. (2013). *Análisis del comportamiento del recurso hídrico ante cambios en el uso del suelo y el cambio climático en la cuenca del río Pejibaye*. Turrialba: CATIE.

ANEXOS

Anexo 1. Cobertura de la tierra periodo 2000-2002.

2000 – 2002	
COBERTURA	ÁREA HA.
Aeropuertos	529,1345976
Afloramientos rocosos	315,2042704
Algodón	144,3621877
Arbustal abierto	5917,966079
Arbustal denso	14069,7274
Bosque abierto bajo de tierra firme	364,7729352
Bosque de galería y ripario	3316,447219
Bosque denso bajo de tierra firme	23934,34819
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	6219,020813
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1436,352074
Café	3446,014105
Cultivos confinados	56,6190928
Herbazal abierto rocoso	91,89904917
Herbazal denso de tierra firme	22350,1532
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	33748,41505
Instalaciones recreativas	1829,423364
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	31,22819345
Mosaico de cultivos	4468,380025
Mosaico de cultivos con espacios naturales	6812,019768
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	38464,18402
Mosaico de pastos con espacios naturales	25594,32629
Mosaico de pastos y cultivos	35782,36521
Nubes	7200,619819
Otros cultivos permanentes arbóreos	74,09680347
Otros cultivos transitorios	577,4129895
Pastos arbolados	231,8475897
Pastos enmalezados	18113,70428
Pastos limpios	26552,98684
Plantación forestal	35,30983243
Ríos (0 m)	124,5836837
Tejido urbano continuo	1510,051675
Tejido urbano discontinuo	117,7530136

Turberas	57,8963884
Vegetación secundaria o en transición	20912,47971
Zonas industriales o comerciales	31,41581868
Zonas quemadas	211,8120641

Anexo 2. Cobertura de la tierra periodo 2005-2009

2005 – 2009	
COBERTURA	ÁREA HA
Aeropuertos	816,7515613
Afloramientos rocosos	278,0901526
Algodón	146,4731865
Arbustal	18981,96139
Arbustal denso	13250,67953
Bosque abierto bajo de tierra firme	288,6083984
Bosque de galería y ripario	2847,653169
Bosque denso bajo de tierra firme	21158,21531
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3080,715622
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1664,452588
Café	8262,085552
Herbazal abierto rocoso	91,8790517
Herbazal denso de tierra firme	6123,12536
Instalaciones recreativas	2171,684512
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	25,87288188
Mosaico de cultivos	3971,606284
Mosaico de cultivos con espacios naturales	7089,521081
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	36146,53686
Mosaico de pastos con espacios naturales	26734,92891
Mosaico de pastos y cultivos	38007,84029
Nubes	16281,38981
Otros cultivos transitorios	154,5308166
Pastos arbolados	231,8575714
Pastos enmalezados	13738,20689
Pastos limpios	27773,74328
Plantación forestal	38,65352576
Ríos (0 m)	126,6342864
Tejido urbano continuo	1627,69763

Tejido urbano discontinuo	157,845219
Turberas	57,3963884
Vegetación secundaria o en transición	17434,36988
Zonas industriales o comerciales	31,43481929
Zonas quemadas	68,69837792
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	49207,86243

Anexo 3. Cobertura de la tierra periodo 2010-2012.

2010 - 2012	
COBERTURA	ÁREA (HA)
Aeropuertos	676,985773
Afloramientos rocosos	150,7340648
Arbustal	14547,15209
Bosque abierto	279,5629812
Bosque de galería y ripario	2483,251621
Bosque denso	22238,66755
Bosque fragmentado	6731,989661
Cultivos permanentes arbustivos	7991,09016
Herbazal	50938,59056
Instalaciones recreativas	1626,944378
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	25,89187865
Mosaico de cultivos	1037,985312
Mosaico de cultivos con espacios naturales	2033,354376
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	29045,27897
Mosaico de pastos con espacios naturales	27092,33031
Mosaico de pastos y cultivos	46513,75778
Nubes	12643,93784
Oleaginosas y leguminosas	171,1543435
Pastos enmalezados	14438,46102
Pastos limpios	34214,25725
Ríos (0 m)	343,0255007
Tejido urbano continuo	1532,547995
Tejido urbano discontinuo	1177,569378
Tierras desnudas y degradadas	405,6505999
Turberas	57,48638986
Vegetación secundaria o en transición	25944,82177

Zonas industriales o comerciales	31,41481913
Zonas quemadas	455,2861061

Anexo 4. Modificación de hectáreas en las coberturas por medios estadísticos.

Cobertura	20 00	20 04	20 08	20 12	20 16	20 20	20 24	20 28	20 32	20 36	20 40	20 44	20 48	20 52	20 56	20 60	20 64	20 68	20 72	20 76	20 80	20 84	20 88	20 92	20 96	21 00
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20 03	20 07	20 11	20 15	20 19	20 23	20 27	20 31	20 35	20 39	20 43	20 47	20 51	20 55	20 59	20 63	20 67	20 71	20 75	20 79	20 83	20 87	20 91	20 95	20 99	21 03
Aeropuertos	53 1, 13	81 8, 75	67 7, 00	67 8, 19	74 4, 89	81 1, 85	87 9, 02	94 6, 40	10 13 9	10 81 6	11 49 5	12 17 4	12 85 7	13 53 2	14 22 9	14 90 5	15 59 2	16 27 9	16 96 6	17 65 4	18 34 3	19 03 2	19 72 3	20 41 3	21 10 5	21 79 7
Afloramientos rocosos	31 7, 20	27 9, 09	15 0, 86	12 6, 09	10 3, 43	87 6, 7	76 0, 8	67 1, 9	60 1, 7	54 4, 7	49 7 6	45 8 0	42 4 2	39 5 1	36 9 7	34 7 4	32 7 6	31 0 0	29 4 1	27 9 8	26 6 8	25 5 0	24 4 2	23 4 2	22 5 1	21 6 6
Arbustal	19 98 9, 69	18 98 0, 95	14 54 8, 16	13 18 2, 08	11 73 4, 85	10 57 3, 96	96 22 0, 7	88 27 4 2	81 54 0 1	75 76 0 5	70 74 6 1	66 35 4 2	62 47 5 8	59 02 5 7	55 93 6 7	53 15 5 0	50 63 6 8	48 34 6 4	46 25 4 3	44 33 5 7	42 56 9 9	40 93 9 4	39 42 9 2	38 02 6 5	36 72 0 1	35 50 0 5
Bosque abierto bajo de tierra firme	36 5, 77	28 8, 58	27 9, 55	24 3, 78	22 1, 06	20 2, 22	18 6, 33	17 2, 76	16 1, 03	15 0, 79	14 1, 78	13 3, 78	12 6, 64	12 0, 22	11 4, 42	10 9, 16	10 4, 35	99 9 6	95 9 1	92 88 4	88 85 4	85 82 6	82 79 8	79 77 9	77 74 5	74 74
Bosque de galería y ripario	33 17 4 5	28 48 6 6	24 83 0 5	22 20 9 8	20 00 5 7	18 19 9 6	16 69 2 6	15 41 6 1	14 32 0 9	13 37 1 4	12 53 5 1	11 80 2 0	11 15 7 4	10 56 1 4	10 04 1 1	95 6, 47	91 3, 14	87 3, 57	83 7, 29	80 3, 90	77 3, 07	74 4, 52	71 8, 00	69 3, 31	67 0, 26	64 8, 69
Bosque denso bajo de tierra firme	23 93 7, 35	21 15 9, 23	22 23 8, 69	20 89 4, 86	20 22 0, 75	19 58 8, 78	18 99 5, 12	18 43 6, 38	17 90 9, 57	17 41 2, 03	16 94 1, 39	16 49 5, 52	16 07 2, 52	15 67 8, 67	15 28 0, 42	14 92 8, 38	14 57 4, 28	14 24 7, 95	13 92 5, 34	13 62 6, 51	13 33 8, 56	13 05 2, 69	12 79 6, 17	12 53 0, 31	12 29 4, 48	12 05 11
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	62 20 0 2	30 81 8 2	67 31 6 6	58 56 1 4	61 11 9 6	63 67 7 8	66 23 6 0	68 79 4 2	71 35 2 3	73 91 0 5	76 46 8 7	79 02 6 9	81 58 5 1	84 14 3 5	86 70 25 7	89 25 81 9	91 37 9 1	94 93 6 3	96 49 4 5	99 20 5 07	10 46 0 89	10 71 6 71	10 10 2 53	10 97 8 35	11 22 4 16	11 48
Instalaciones recreativas	18 30 4 2	21 71 6 1	16 26 9 3	16 42 5 3	15 55 2 5	14 76 7 8	14 05 8 5	13 41 4 2	12 82 6 3	12 28 7 8	11 79 2 8	11 33 6 8	10 91 3 0	10 52 1 1	10 15 6 0	98 54 69 54	94 69 85 82	91 82 45 45	89 82 45 59	86 84 59 13	84 81 93 92	81 79 43 14	79 77 9 87	77 75 8 62	75 73 5 04	
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	31 2 3	25 8 7	25 8 7	23 2 2	21 5 6	20 1 6	18 8 5	17 7 5	16 7 7	15 8 9	15 0 7	14 3 2	13 7 2	13 1 7	12 5 7	12 0 6	11 6 1	11 1 8	10 7 8	10 4 8	10 0 6	9 73	9 43	9 14	8 87	8 62

Mosaico de cultivos	44 70 ,3 8	39 71 ,6 0	10 38 ,0 0	82 0, 12	62 9, 26	51 0, 46	42 9, 39	37 0, 54	32 5, 88	29 0, 83	26 2, 59	23 9, 34	21 9, 88	20 3, 34	18 9, 12	17 6, 76	16 5, 91	15 6, 32	14 7, 77	14 0, 12	13 3, 21	12 6, 96	12 1, 26	11 6, 06	11 1, 28	10 6, 88
Mosaico de cultivos con espacios naturales	68 13 ,0 2	70 89 ,5 2	20 33 ,3 2	16 53 ,1 5	12 86 ,3 1	10 52 ,7 0	89 0, 91	77 2, 22	68 1, 44	60 9, 76	55 1, 72	50 3, 77	46 3, 49	42 9, 18	39 9, 59	37 3, 82	35 1, 17	33 1, 11	31 3, 22	29 7, 17	28 2, 67	26 9, 53	25 7, 55	24 6, 60	23 6, 54	22 7, 26
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	38 46 3, 18	36 14 7, 54	29 04 6, 08	32 26 2, 82	30 61 7, 61	29 13 2, 05	27 78 3, 97	26 55 5, 14	25 43 0, 41	24 39 7, 08	23 44 4, 44	22 56 3, 41	21 74 6, 19	20 98 6, 10	20 27 7, 36	19 61 4, 92	18 99 4, 39	18 41 1, 92	17 86 4, 11	17 34 7, 96	16 86 0, 80	16 40 0, 25	15 96 4, 19	15 55 0, 72	15 15 8, 12	14 78 4, 86
Mosaico de pastos con espacios naturales	25 59 5, 33	26 73 5, 93	27 09 1, 33	26 29 7, 77	27 02 3, 56	27 74 9, 63	28 47 5, 98	29 20 2, 60	29 92 9, 47	30 65 6, 59	31 38 3, 96	32 11 1, 55	32 83 9, 36	33 56 7, 40	34 29 5, 64	35 02 4, 08	35 75 2, 73	36 48 1, 56	37 21 0, 58	37 93 9, 78	38 66 8, 15	39 39 8, 70	40 12 8, 41	40 85 8, 28	41 58 8, 31	42 31 8, 49
Mosaico de pastos y cultivos	35 78 3, 37	38 00 9, 84	46 51 3, 65	44 06 8, 74	49 08 5, 89	54 11 9, 29	59 16 6, 86	64 22 6, 92	69 29 8, 10	74 37 9, 28	79 46 9, 49	84 56 7, 93	89 67 3, 90	94 78 6, 79	99 50 6, 07	10 01 31 ,2	11 52 62 ,0	11 04 97 ,9	12 12 38 ,6	12 13 83 ,9	13 13 33 ,5	13 14 87 ,1	14 10 44 ,5	14 62 05 ,5	15 13 69 ,9	15 65 37 ,6
Pastos enmalezados	18 11 4, 70	13 73 8, 19	14 43 9, 46	12 53 1, 28	11 51 7, 32	10 65 5, 17	99 13 ,1 0	92 67 ,6 6	87 01 ,1 4	81 99 ,8 8	77 53 ,2 4	73 52 ,7 3	69 91 ,5 7	66 64 ,2 3	63 66 ,1 7	60 93 ,6 4	58 43 ,4 7	56 13 ,0 4	54 00 ,0 9	52 02 ,7 1	50 19 ,2 5	48 48 ,2 9	46 88 ,5 9	45 39 ,0 7	43 98 ,8 0	42 66 ,9 4
Pastos limpios	26 55 3, 99	27 77 4, 73	34 21 4, 18	27 53 4, 15	30 87 9, 79	34 24 7, 58	37 63 4, 73	41 03 8, 99	44 45 8, 52	47 89 8, 80	51 33 7, 51	54 79 4, 57	58 26 2, 02	61 73 9, 04	65 22 4, 92	68 71 9, 01	72 22 0, 75	75 72 9, 65	79 24 7, 25	82 76 5, 16	86 29 8, 01	89 82 7, 46	93 36 7, 22	96 91 1, 02	10 04 59 ,5	10 40 12 ,7
Tejido urbano continuo	15 11 ,0 5	16 27 ,8 0	15 33 ,5 5	15 79 ,9 6	15 91 ,2 1	16 02 ,4 6	16 13 ,7 1	16 24 ,9 6	16 36 ,2 1	16 47 ,4 6	16 58 ,7 0	16 69 ,9 5	16 81 ,2 0	16 92 ,4 5	17 03 ,7 0	17 14 ,9 5	17 26 ,2 0	17 37 ,4 4	17 48 ,6 9	17 59 ,9 4	17 71 ,1 9	17 82 ,4 4	17 93 ,6 9	18 04 ,9 4	18 16 ,1 9	18 27 ,4 3

Tejido urbano discontinuo	11 9, 75	15 7, 83	11 78 ,5 5	15 04 ,8 8	20 28 ,0 3	25 51 ,9 5	30 76 ,4 0	36 01 ,2 5	41 26 ,4 2	46 51 ,8 5	51 77 ,5 0	57 03 ,3 4	62 29 ,3 3	67 55 ,4 6	72 81 ,7 2	78 08 ,0 9	83 34 ,5 5	88 61 ,1 1	93 87 ,7 5	99 14 ,4 7	10 44 1, 26	10 96 8, 11	11 49 5, 02	12 02 1, 99	12 54 9, 01	13 07 6, 08	
Turberas	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0	57 ,5 0
Vegetación secundaria o en transición	20 91 3, 48	17 43 4, 37	25 94 4, 72	23 20 8, 66	25 57 3, 07	27 94 4, 07	30 32 0, 66	32 70 2, 30	35 08 8, 49	37 47 8, 78	39 87 2, 81	42 27 0, 26	44 67 0, 86	47 07 4, 38	49 48 0, 59	51 88 9, 32	54 30 0, 39	56 71 3, 67	59 12 9, 01	61 54 6, 30	63 96 5, 43	66 38 6, 29	68 80 8, 80	71 23 2, 88	73 65 8, 44	76 08 5, 42	
Zonas industriales o comerciales	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1	31 ,4 1
Zonas quemadas	21 1, 71	68 ,6 9	45 5, 28	26 7, 70	36 3, 47	46 1, 73	56 1, 88	66 3, 52	76 6, 38	87 0, 27	97 5, 03	10 ,5 5	11 ,7 3	12 ,5 0	14 ,7 9	15 ,5 7	16 ,7 7	17 ,3 6	18 ,3 2	19 ,6 1	20 ,2 1	21 ,1 0	22 ,2 5	23 ,6 5	24 ,2 9	26 ,1 4	

Anexo 5. Resultados de la simulación del SWAT periodo 2011-2040

AVE MONTHLY BASIN VALUES									
MON	RAIN	SNOW	SURF Q	LAT Q	WATER	ET	SED	PET	
(MM)	(MM)	FALL	(MM)	(MM)	YIELD	(T/HA)	YIELD		
		(MM)	(MM)	(MM)	(MM)		(MM)		
1	81.32	0.00	21.93	5.62	70.71	28.46	16.31	55.38	
2	104.62	0.00	30.37	6.63	70.18	29.19	26.57	50.25	
3	150.11	0.00	42.44	10.16	90.13	35.25	32.93	46.17	
4	149.42	0.00	39.49	10.86	95.80	37.68	29.32	45.18	
5	135.00	0.00	32.85	10.67	98.32	37.20	29.59	45.99	
6	56.69	0.00	7.10	4.61	61.57	37.84	6.47	53.28	
7	50.25	0.00	4.65	2.87	41.43	35.82	4.37	59.12	
8	48.75	0.00	4.88	2.73	25.40	34.35	4.49	66.09	
9	88.52	0.00	18.93	4.67	35.40	37.55	15.47	61.55	
10	156.61	0.00	43.38	10.21	72.94	39.60	23.66	54.95	
11	181.52	0.00	60.69	12.60	112.19	36.10	32.01	46.32	
12	93.89	0.00	25.16	7.68	85.92	30.34	13.28	45.55	

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 0.80
 TEMPERATURE STRESS DAYS = 210.15
 NITROGEN STRESS DAYS = 13.81
 PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.23
 AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
6/1/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1294.1 MM
 SNOW FALL = 0.00 MM
 SNOW MELT = 0.00 MM
 SUBLIMATION = 0.00 MM
 SURFACE RUNOFF Q = 331.11 MM
 LATERAL SOIL Q = 89.15 MM
 TILE Q = 0.00 MM
 GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 415.66 MM
 GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 22.29 MM
 REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 12.55 MM
 DEEP AQ RECHARGE = 22.62 MM
 TOTAL AQ RECHARGE = 452.45 MM
 TOTAL WATER YLD = 858.22 MM
 PERCOLATION OUT OF SOIL = 454.91 MM
 ET = 418.6 MM
 PET = 628.6MM
 TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
 SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
 TOTAL SEDIMENT LOADING = 233.80 T/HA
 TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
6/1/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

NUTRIENTS

ORGANIC N = 34.943 (KG/HA)
 ORGANIC P = 4.265 (KG/HA)
 NO3 YIELD (SQ) = 1.366 (KG/HA)
 NO3 YIELD (LAT) = 0.665 (KG/HA)
 NO3 YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (SURF INLET RISER) = 0.000 (KG/HA)
 SOL P YIELD = 0.022 (KG/HA)
 NO3 LEACHED = 12.419 (KG/HA)
 P LEACHED = 0.193 (KG/HA)
 N UPTAKE = 44.891 (KG/HA)
 P UPTAKE = 4.708 (KG/HA)
 NO3 YIELD (GWQ) = 0.154 (KG/HA)
 ACTIVE TO SOLUTION P FLOW = -1.978 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE P FLOW = -0.894 (KG/HA)
 N FERTILIZER APPLIED = 39.898 (KG/HA)
 P FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
 N FIXATION = 0.001 (KG/HA)
 DENITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N = 6.983 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE ORG N = -4.397 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P = 1.192 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG N = 15.847 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG P = 1.895 (KG/HA)
 NO3 IN RAINFALL = 0.000 (KG/HA)
 INITIAL NO3 IN SOIL = 37.215 (KG/HA)
 FINAL NO3 IN SOIL = 4.403 (KG/HA)
 INITIAL ORG N IN SOIL = 11469.135 (KG/HA)
 FINAL ORG N IN SOIL = 10446.668 (KG/HA)
 INITIAL MIN P IN SOIL = 1908.566 (KG/HA)
 FINAL MIN P IN SOIL = 1727.526 (KG/HA)
 INITIAL ORG P IN SOIL = 1404.968 (KG/HA)
 FINAL ORG P IN SOIL = 1270.026 (KG/HA)
 NO3 IN FERT = 39.898 (KG/HA)
 AMMONIA IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG N IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 MINERAL P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 N REMOVED IN YIELD = 24.030 (KG/HA)
 P REMOVED IN YIELD = 2.187 (KG/HA)
 AMMONIA VOLATILIZATION = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA NITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 NO3 EVAP-LAYER 2 TO 1 = 1.277

 DIE-GRO P Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO P SED = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP SED = 0.0 (No/M2)
 BACT P RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT LP RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT P SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT LP SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT P INCORP = 0.0 (No/M2)
 BACT LP INCORP = 0.0 (No/M2)

 NITRATE SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 AMMONIA SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG N SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGN SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGP SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 SOL P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 BOD SEPTIC = 0.00 (kg/ha)

Anexo 6. Resultados de la simulación del SWAT periodo 2041-2070

AVE MONTHLY BASIN VALUES									
MON	RAIN	SNOW	SURF Q	LAT Q	WATER	ET	SED	PET	
(MM)	(MM)	FALL (MM)	(MM)	(MM)	YIELD (MM)	(T/HA)	YIELD (MM)		
1	87.36	0.00	26.37	5.77	76.72	28.91	13.57	55.57	
2	108.74	0.00	36.02	6.53	75.79	28.58	23.08	48.76	
3	161.61	0.00	51.89	10.33	101.12	35.20	31.63	46.50	
4	165.97	0.00	51.38	11.23	109.56	37.36	29.59	45.09	
5	148.51	0.00	41.88	11.15	110.23	37.31	28.93	46.36	
6	62.51	0.00	9.88	5.01	67.41	37.77	6.61	53.33	
7	54.58	0.00	6.88	3.08	46.29	36.81	4.48	59.14	
8	52.70	0.00	6.85	2.89	29.44	36.57	4.44	66.25	
9	95.40	0.00	23.76	4.67	41.37	39.18	12.84	61.56	
10	170.28	0.00	54.06	10.31	84.48	41.17	18.11	55.27	
11	197.07	0.00	72.84	12.77	125.47	37.35	23.47	46.45	
12	105.44	0.00	32.85	8.03	95.40	31.08	9.72	45.56	

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 0.26
 TEMPERATURE STRESS DAYS = 225.31
 NITROGEN STRESS DAYS = 19.10
 PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.17
 AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
6/1/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1411.1 MM
 SNOW FALL = 0.00 MM
 SNOW MELT = 0.00 MM
 SUBLIMATION = 0.00 MM
 SURFACE RUNOFF Q = 414.97 MM
 LATERAL SOIL Q = 91.81 MM
 TILE Q = 0.00 MM
 GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 433.88 MM
 GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 23.24 MM
 REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 12.50 MM
 DEEP AQ RECHARGE = 23.58 MM
 TOTAL AQ RECHARGE = 471.63 MM
 TOTAL WATER YLD = 963.89 MM
 PERCOLATION OUT OF SOIL = 474.20 MM

ET =

427.5 MM

PET = 630.3MM
 TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
 SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
 TOTAL SEDIMENT LOADING = 206.68 T/HA
 TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
6/1/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

NUTRIENTS

ORGANIC N = 31.841 (KG/HA)
 ORGANIC P = 4.110 (KG/HA)

NO3 YIELD (SQ) = 1.182 (KG/HA)
 NO3 YIELD (LAT) = 0.502 (KG/HA)
 NO3 YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (SURF INLET RISER) = 0.000 (KG/HA)
 SOL P YIELD = 0.032 (KG/HA)
 NO3 LEACHED = 11.266 (KG/HA)
 P LEACHED = 0.201 (KG/HA)
 N UPTAKE = 36.322 (KG/HA)
 P UPTAKE = 4.871 (KG/HA)
 NO3 YIELD (GWQ) = 0.145 (KG/HA)
 ACTIVE TO SOLUTION P FLOW = -1.748 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE P FLOW = -0.711 (KG/HA)
 N FERTILIZER APPLIED = 30.207 (KG/HA)
 P FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
 N FIXATION = 0.001 (KG/HA)
 DENITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N = 6.919 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE ORG N = -4.535 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P = 1.183 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG N = 15.183 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG P = 2.411 (KG/HA)
 NO3 IN RAINFALL = 0.000 (KG/HA)
 INITIAL NO3 IN SOIL = 37.215 (KG/HA)
 FINAL NO3 IN SOIL = 3.200 (KG/HA)
 INITIAL ORG N IN SOIL = 11469.689 (KG/HA)
 FINAL ORG N IN SOIL = 10444.946 (KG/HA)
 INITIAL MIN P IN SOIL = 1908.626 (KG/HA)
 FINAL MIN P IN SOIL = 1723.752 (KG/HA)
 INITIAL ORG P IN SOIL = 1405.037 (KG/HA)
 FINAL ORG P IN SOIL = 1273.289 (KG/HA)
 NO3 IN FERT = 30.207 (KG/HA)
 AMMONIA IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG N IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 MINERAL P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 N REMOVED IN YIELD = 14.928 (KG/HA)
 P REMOVED IN YIELD = 1.399 (KG/HA)
 AMMONIA VOLATILIZATION = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA NITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 NO3 EVAP-LAYER 2 TO 1 = 1.364

 DIE-GRO P Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO P SED = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP SED = 0.0 (No/M2)
 BACT P RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT LP RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT P SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT LP SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT P INCORP = 0.0 (No/M2)
 BACT LP INCORP = 0.0 (No/M2)

 NITRATE SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 AMMONIA SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG N SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGN SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGP SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 SOL P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 BOD SEPTIC = 0.00 (kg/ha)

Anexo 7. Resultados de la simulación del SWAT periodo 2071-2011

AVE MONTHLY BASIN VALUES								
MON	RAIN	SNOW FALL	SURF Q	LAT Q	WATER YIELD	ET	SED YIELD	PET

	(MM)	(MM)	(MM)	(MM)	(MM)	(MM)	(T/HA)	(MM)	
1	95.92	0.00	24.96	6.87	88.34	29.52	19.67	55.61	
2	123.48	0.00	34.76	8.11	86.82	30.16	33.09	50.46	
3	177.04	0.00	48.49	12.39	110.78	35.57	37.04	46.37	
4	176.28	0.00	45.11	13.23	118.16	38.04	32.67	45.37	
5	159.30	0.00	37.44	12.96	121.93	37.50	32.35	46.16	
6	66.99	0.00	8.09	5.77	78.89	38.48	7.53	53.47	
7	59.38	0.00	5.36	3.68	54.26	38.69	5.20	59.34	
8	57.58	0.00	5.57	3.40	34.77	38.13	5.29	66.32	
9	104.51	0.00	21.78	5.80	44.90	39.89	17.38	61.77	
10	184.79	0.00	49.78	12.45	89.88	40.70	26.94	55.16	
11	214.12	0.00	69.46	15.19	137.11	36.65	36.37	46.52	
12	110.86	0.00	28.72	9.36	107.66	30.94	15.98	45.76	

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 0.62
 TEMPERATURE STRESS DAYS = 195.25
 NITROGEN STRESS DAYS = 33.42
 PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.17
 AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
 6/2/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1527.1 MM
 SNOW FALL = 0.00 MM
 SNOW MELT = 0.00 MM
 SUBLIMATION = 0.00 MM
 SURFACE RUNOFF Q = 378.63 MM
 LATERAL SOIL Q = 109.00 MM
 TILE Q = 0.00 MM
 GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 554.16 MM
 GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 29.50 MM
 REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 12.49 MM
 DEEP AQ RECHARGE = 29.94 MM
 TOTAL AQ RECHARGE = 598.70 MM
 TOTAL WATER YLD = 1071.29 MM
 PERCOLATION OUT OF SOIL = 601.90 MM
 ET = 433.5 MM
 PET = 631.0MM
 TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
 SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
 TOTAL SEDIMENT LOADING = 268.67 T/HA
 TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
 6/2/2018 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

NUTRIENTS

ORGANIC N = 30.132 (KG/HA)
 ORGANIC P = 3.819 (KG/HA)
 NO3 YIELD (SQ) = 0.188 (KG/HA)
 NO3 YIELD (LAT) = 0.165 (KG/HA)
 NO3 YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (SURF INLET RISER) = 0.000 (KG/HA)

SOL P YIELD = 0.015 (KG/HA)
 NO3 LEACHED = 5.085 (KG/HA)
 P LEACHED = 0.256 (KG/HA)
 N UPTAKE = 8.934 (KG/HA)
 P UPTAKE = 1.665 (KG/HA)
 NO3 YIELD (GWQ) = 0.076 (KG/HA)
 ACTIVE TO SOLUTION P FLOW = -0.088 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE P FLOW = 0.815 (KG/HA)
 N FERTILIZER APPLIED = 3.697 (KG/HA)
 P FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
 N FIXATION = 0.000 (KG/HA)
 DENITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N = 6.804 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE ORG N = -5.221 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P = 1.164 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG N = 3.700 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG P = 0.713 (KG/HA)
 NO3 IN RAINFALL = 0.000 (KG/HA)
 INITIAL NO3 IN SOIL = 37.210 (KG/HA)
 FINAL NO3 IN SOIL = 0.897 (KG/HA)
 INITIAL ORG N IN SOIL = 11473.143 (KG/HA)
 FINAL ORG N IN SOIL = 10438.107 (KG/HA)
 INITIAL MIN P IN SOIL = 1908.527 (KG/HA)
 FINAL MIN P IN SOIL = 1795.496 (KG/HA)
 INITIAL ORG P IN SOIL = 1405.460 (KG/HA)
 FINAL ORG P IN SOIL = 1270.602 (KG/HA)
 NO3 IN FERT = 3.697 (KG/HA)
 AMMONIA IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG N IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 MINERAL P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 N REMOVED IN YIELD = 3.375 (KG/HA)
 P REMOVED IN YIELD = 0.583 (KG/HA)
 AMMONIA VOLATILIZATION = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA NITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 NO3 EVAP-LAYER 2 TO 1 = 0.378

 DIE-GRO P Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO P SED = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP SED = 0.0 (No/M2)
 BACT P RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT LP RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT P SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT LP SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT P INCORP = 0.0 (No/M2)
 BACT LP INCORP = 0.0 (No/M2)

 NITRATE SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 AMMONIA SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG N SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGN SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGP SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 SOL P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 BOD SEPTIC = 0.00 (kg/ha)