


	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 1</b>

Neiva, 18 de Agosto de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

ANDRES FELIPE BUITRAGO VARGAS, con C.C. No. 1.075.231.056

YURY TATIANA QUINTERO RUIZ, con C.C. No. 1.080.183.616

Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE CLIMA TROPICAL, presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/EST UDIANTE:







Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:



Firma:

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:**

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE CLIMA TROPICAL.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Buitrago Vargas	Andrés Felipe
Quintero Ruiz	Yury Tatiana

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Romero Cuellar	Jonathan

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Izquierdo Bautista	Jaime
Torrente Trujillo	Armando





**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Agrícola

**CIUDAD:** Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 93

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						 ISO 9001 SC 7384-1	 GP 205-1	 CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM CO-SC 7384-1
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>								
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 3</b>		

Diagramas\_x\_ Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general \_x\_ Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_x\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_x\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros\_x\_

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

- Pdf

**MATERIAL ANEXO:**

- Información del IDEAM
- Planos de ubicación de Cuencas de Estudio en Pdf
- Tablas

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):





- Tesis Meritoria

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1.	modelos	Models
2.	Hidrológicos	hydrological
3.	Cambio climático	Climate change

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

La investigación aplicada presenta la evaluación de los efectos de los escenarios de cambio climático sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira, a partir de dos modelos hidrológicos; el ABCD propuesto por Thomas y el T, propuesto por Thornthwaite & Mather. Se trabajó con una serie histórica de 21 años para la cuenca del río Aipe y una de 16 años para la subcuenca alta del río Íquira. Con el 70% de los datos meteorológicos se realizó el proceso de calibración mediante la herramienta de simulación de Monte Carlo (MCAT) y con el 30% restante se validó. Posteriormente, se corrieron los modelos con el fin de encontrar la oferta hídrica futura bajo la influencia de tres escenarios de cambio climático; el A2, extrapolación de tendencias y ensamble multimodelo. Con la simulación de dichos modelos, se halló que para las dos cuencas estudiadas la mayor reducción de la oferta hídrica se presentó con el escenario A2; con el ensamble multimodelo se presentó una reducción media y la menor reducción se dio con el escenario extrapolación de tendencias. Los modelos se acoplaron mejor a la cuenca del río Aipe, con un coeficiente de correlación de Pearson superior al 75 % en ambos modelos

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>

durante el proceso de calibración y validación, mientras que en Iquira el coeficiente de correlación en los mismos modelos no superó el 70%.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

Applied research presents the evaluation of the effects of climate change scenarios on water resources in the basin of Aipe river and high basin of Iquira river, from two hydrological models; ABCD proposed by Thomas and T proposed by. Thornthwaite & Mather. We worked with a historical series of 21 years for the river basin Aipe and 16 for the high basin of the river Iquira. With 70% of meteorological data calibration process was performed using the simulation tool of Monte Carlo (MCAT) and the remaining 30% was validated. Later models in order to find the future water supply under the influence of three climate change scenarios were run; A2, extrapolation of trends and multi-model ensemble. With the simulation of these models, it was found that for the two basins studied the further reduction of water supply was presented with the A2 scenario; with the multi-model ensemble was presented a mean reduction and the reduction was lower with trend extrapolation scenario. The models are best coupled to Aipe river basin with a Pearson correlation coefficient greater than 75% in both models during calibration and validation, while the correlation coefficient Iquira in the same models did not exceed 70 %.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: Jonathan Romero Cuellar

Firma:



DIRECTOR PROYECTO DE GRADO

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo bautista

Firma:

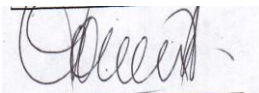


FIRMA DEL JURADO

Nombre

Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:



EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE  
EL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE CLIMA TROPICAL

ANDRES FELIPE BUITRAGO VARGAS  
YURY TATIANA QUINTERO RUIZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA - 2015

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE  
EL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE CLIMA TROPICAL

ANDRES FELIPE BUITRAGO VARGAS  
YURY TATIANA QUINTERO RUIZ

Trabajo de grado para optar al título de:  
Ingeniero Agrícola

Director:  
JONATHAN ROMERO CUELLAR  
(I.A, M.Sc)

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA- 2015

## **DEDICATORIA**

### **ANDRES FELIPE BUITRAGO VARGAS**

*A Dios y a las personas más importantes de mi vida, mis padres Heber Buitrago Vargas y Sandra Patricia Vargas Horta, por siempre estar junto a mí, apoyándome de manera incondicional, permitiendo de esta manera hacer realidad el sueño de ser profesional.*

*Este trabajo es de ustedes y para ustedes.*

### **YURY TATIANA QUINTERO RUIZ**

*Este trabajo está dedicado a Luz Mary, mi madre quien me trajo a este mundo, Gracias Mamá por todo lo que me has dado, por cuidarme y tratar de hacerme una persona de bien. Gracias Mamá por tu amor, paciencia, comprensión.*

*Este trabajo es el fruto de lo que sembraste en mí, quien soy te lo debo a ti.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **ANDRES FELIPE BUITRAGO VARGAS**

*Al finalizar este trabajo debo agradecer de manera muy especial a aquellas personas que facilitaron e hicieron posible la realización de este, por ello para mí es un placer poder utilizar este espacio para expresarles mis agradecimientos.*

*En primera medida debo agradecer a Dios por permitirme contar con la destreza para poder sacar adelante este trabajo, a mis padres por su apoyo y compañía durante el proceso de aprendizaje.*

*A mi novia, por su apoyo y comprensión durante este proceso.*

*A mi compañera de tesis, la Tata, por su amistad y apoyo.*

*Al profesor y amigo Rodrigo Pachón Bejarano, por sus enseñanzas y confianza profesional depositada en mí.*

*A Michael Sánchez, el peruano amigo y colega por su amistad y apoyo para poder sacar adelante este proyecto.*

*De manera especial y sincera al Profesor Jonathan Romero Cuellar, por aceptar ser el director del trabajo, por sus valiosas enseñanzas como aporte fundamental en mi formación como profesional, por su rigurosidad, fundamental en el buen trabajo que se realizó. Muchas gracias.*

### **YURY TATIANA QUINTERO RUIZ**

*A Dios, a mis padres Luz Mary y Gentil, por su constante aliento y apoyo durante toda la carrera, a mis hermanos, Wendy, Juan y Wendy.*

*A toda mi familia, Yisela hermana de corazón.*

*A mi novio, amigo Jhon, por haberme acompañado durante todo este proceso, su incondicional apoyo, su gran amor, su comprensión me llenaron de fuerza para lograr este objetivo*

*Andrés Buitrago, un excelente compañero y un gran amigo, gracias por enseñarme y aprender conmigo .*

*A Jonathan Romero, gracias por su orientación durante el desarrollo de este trabajo.*

*A mis compañeros y amigos de Universidad quienes fueron parte importante en mi crecimiento personal y profesional.*



## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3. MARCO TEÓRICO .....	15
3.1. Protocolo de modelación hidrológica .....	15
3.2. Modelos hidrológicos.....	15
3.2.1. Modelo ABCD Thomas .....	16
3.2.2. Modelo T, Thornthwaite-Mather .....	18
3.3. Downscaling.....	20
3.4. Escenarios de cambio climático .....	21
3.4.1. Obtención de un escenario de Cambio Climático.....	21
3.4.2. Tipos de escenario de cambio climático.....	21
3.5. Creación de escenarios en Colombia.....	23
3.5.1. Técnicas utilizadas.....	24
3.5.2. Creación de escenarios a partir de extrapolación de tendencia. ....	25
3.5.3. Creación de escenarios a partir del ensamble multimodelo. ....	26
3.6. Casos de Estudio .....	29
3.6.1. Modelación hidrológica en el mundo.....	29
3.6.2. Estudios de modelación hidrológica en América .....	30
3.6.3. Modelación hidrológica en Colombia .....	33
3.6.4. Políticas de Colombia frente al cambio climático .....	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
4.1. Selección de cuencas .....	37
4.2. Cuenca del río Aipe.....	37
4.2.1. Ubicación .....	37

4.2.2.	Capacidad de uso del suelo.....	38
4.3.	Subcuenca Alta del Río Íquira .....	39
4.3.1.	Ubicación.....	39
4.3.2.	Capacidad de uso del suelo.....	40
4.4.	Información Cartográfica .....	40
4.5.	Información Hidrológica.....	40
4.6.	Cálculo de la Evapotranspiración Potencial.....	41
4.6.1.	Método de Estimación .....	41
4.7.	Protocolo de Modelación .....	42
4.7.1.	Calibración del Modelo .....	42
4.7.2.	Validación del Modelo.....	43
4.7.3.	Generación de Escenarios.....	43
4.7.4.	Simulación .....	44
5.	RESULTADOS.....	45
5.1.	Cuenca del río Aipe.....	45
5.2.	Medidas de Adaptación.....	54
5.3.	Subcuenca alta del río Íquira.....	58
5.3.	Medidas de Adaptación.....	64
6	CONCLUSIONES .....	66
6.1	Cuenca del río Aipe.....	66
6.2	Subcuenca alta del río Íquira.....	67
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	69
8	ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ECUACIONES DEL MODELO ABCD THOMAS .....	18
TABLA 2 ECUACIONES DEL MODELO T.....	20
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DEL DOWNSCALING .....	21
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS UTILIZADOS PARA GENERAR ESCENARIOS EN COLOMBIA .....	24
TABLA 5. ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO AIPE Y DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RIO ÍQUIRA .....	41
TABLA 6. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON .....	43
TABLA 7. POSIBLES ESCENARIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA .....	44
TABLA 8. VALORES ÓPTIMOS DE PARÁMETROS DEL MODELO THOMAS.....	45
TABLA 9. VALORES ÓPTIMOS DE PARÁMETROS DEL MODELO THORNTHWAITE (T).....	48
TABLA 10. CAUDAL SIMULADO CON EL MODELO THOMAS Y T SEGÚN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	53
TABLA 11. VALORES ÓPTIMOS DE PARÁMETROS DE LOS MODELOS .....	58
TABLA 12. CAUDAL SIMULADO CON EL MODELO THOMAS Y T SEGÚN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	63
TABLA 13 ESTIMACIÓN DE LA ETO POTENCIAL DE LA CUENCA DEL RÍO AIPE.....	92
TABLA 14 ESTIMACIÓN DE LA ETO POTENCIAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO ÍQUIRA .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELOS HIDROLÓGICOS. ....	16
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO THOMAS (T).....	17
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO DE THORNTHWAITE (T).....	19
FIGURA 4. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN PARA LA FUNCIÓN OBJETIVO MODELO THOMAS .....	45
FIGURA 5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REGIONAL DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO THOMAS .....	46
FIGURA 6. BALANCE HÍDRICO ANUAL DE LA CUENCA DEL RÍO AIPE .....	46
FIGURA 7. CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO.....	47
FIGURA 8. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN MODELO THOMAS .....	47
FIGURA 9. CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO -VALIDACIÓN DEL MODELO THOMAS .....	48
FIGURA 10. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN –VALIDACIÓN MODELO THOMAS .....	48
FIGURA 11. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN PARA LA FUNCIÓN OBJETIVO DEL MODELO T.....	49
FIGURA 12. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REGIONAL DEL MODELO T .....	50
FIGURA 13. CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO.....	50
FIGURA 14. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN MODELO T.....	51
FIGURA 15. CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO - VALIDACIÓN DEL MODELO T.....	51

FIGURA 16. VARIACIÓN DEL CAUDAL SEGÚN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	52
FIGURA 17. OFERTA HÍDRICA SEGÚN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MODELADOS CON.....	53
FIGURA 18. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN PARA LA FUNCIÓN OBJETIVO DEL MODELO THOMAS .....	58
FIGURA 19. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REGIONAL DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO THOMAS .....	59
FIGURA 20. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN PARA LA FUNCIÓN OBJETIVO MODELO T .....	59
FIGURA 21. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REGIONAL DEL MODELO T .....	60
FIGURA 22. BALANCE HÍDRICO ANUAL DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO ÍQUIRA .....	60
FIGURA 23. CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO - CALIBRACIÓN DEL MODELO THOMAS Y T.....	61
FIGURA 24. VALIDACIÓN DEL MODELO THOMAS Y T- CAUDAL OBSERVADO VS CAUDAL SIMULADO .....	62
FIGURA 25. VARIACIÓN DEL CAUDAL SEGÚN EL MODELO HIDROLÓGICO THOMAS .....	62
FIGURA 26. OFERTA HÍDRICA SEGÚN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MODELADOS CON T .....	63

## RESUMEN

La investigación aplicada presenta la evaluación de los efectos de los escenarios de cambio climático sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira, a partir de dos modelos hidrológicos; el ABCD propuesto por Thomas y el T, propuesto por Thornthwaite & Mather. Se trabajó con una serie histórica de 21 años para la cuenca del río Aipe y una de 16 años para la subcuenca alta del río Íquira. Con el 70% de los datos meteorológicos se realizó el proceso de calibración mediante la herramienta de simulación de Monte Carlo (MCAT) y con el 30% restante se validó. Posteriormente, se corrieron los modelos con el fin de encontrar la oferta hídrica futura bajo la influencia de tres escenarios de cambio climático; el A2, extrapolación de tendencias y ensamble multimodelo. Con la simulación de dichos modelos, se halló que para las dos cuencas estudiadas la mayor reducción de la oferta hídrica se presentó con el escenario A2; con el ensamble multimodelo se presentó una reducción media y la menor reducción se dio con el escenario extrapolación de tendencias. Los modelos se acoplaron mejor a la cuenca del río Aipe, con un coeficiente de correlación de Pearson superior al 75 % en ambos modelos durante el proceso de calibración y validación, mientras que en Íquira el coeficiente de correlación en los mismos modelos no superó el 70%.

Palabras clave: *modelos, hidrológicos, cambio climático*

## ABSTRACT

Applied research presents the evaluation of the effects of climate change scenarios on water resources in the basin of Aipe river and high basin of Iquira river, from two hydrological models; ABCD proposed by Thomas and T proposed by. Thornthwaite & Mather . We worked with a historical series of 21 years for the river basin Aipe and 16 for the high basin of the river Iquira. With 70% of meteorological data calibration process was performed using the simulation tool of Monte Carlo (MCAT) and the remaining 30% was validated. Later models in order to find the future water supply under the influence of three climate change scenarios were run; A2, extrapolation of trends and multi-model ensemble. With the simulation of these models, it was found that for the two basins studied the further reduction of water supply was presented with the A2 scenario; with the multi-model ensemble was presented a mean reduction and the reduction was lower with trend extrapolation scenario. The models are best coupled to Aipe river basin with a Pearson correlation coefficient greater than 75% in both models during calibration and validation, while the correlation coefficient Iquira in the same models did not exceed 70 %.

Keywords: *models, hydrological, climate change*

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un bien natural de vital importancia e imprescindible para el sostenimiento de la humanidad, en esa medida debe ser objeto de estudio detallado en aras de lograr los manejos adecuados para su conservación.

El Huila, al igual que varios departamentos del país, posee una gran oferta hídrica constituida por nacederos, arroyos, quebradas y ríos. El Magdalena es un río que nace en las estribaciones del macizo, atraviesa el territorio huilense estratégicamente y tiene un caudal medio cercano a los 500 m<sup>3</sup>/s (CAM, 2007-2011). Sin embargo esta riqueza hídrica y natural se puede ver amenazada por los escenarios de cambio climático que se están proyectando. Según el IDEAM; Colombia presentó un aumento de la temperatura media del orden de 0.13°C durante el periodo 1971-2000. El ensamble multimodelo de los escenarios de cambio climático proyecta que la temperatura promedio del aire en el país aumentará con respecto a la registrada en el período de referencia (1971-2000) en: 1.4°C para el periodo 2011-2040, 2.4°C para el 2041-2070 y 3.2°C para el 2071-2100. A lo largo del siglo XXI, los volúmenes de precipitación decrecerían entre un 15 % y 36% para amplias zonas de la región Caribe y Andina y existirían incrementos de precipitación hacia el centro y norte de la región Pacífica, la humedad relativa disminuiría especialmente en La Guajira, Cesar, Tolima y Huila (Arango et al, 2010).

Teniendo en cuenta estos datos, es necesario reconocer la complejidad de la interacción suelo-planta-atmosfera en las cuencas hidrográficas y debe ser recreada mediante modelos matemáticos que permitan simplificar su proyección de acuerdo a las variables del entorno. En ese sentido, se estudiarán los datos de las estaciones hidrológicas, climatológicas y condiciones fisiográficas de la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira en el departamento del Huila, evaluando sus tendencias mediante modelos de balance hídrico mensual.

La oferta anual de la cuenca del río Aipe, es en promedio de 16,9 m<sup>3</sup>/s, equivalentes a 22,70 l/s-km<sup>2</sup> por kilómetro cuadrado, es decir con baja presión sobre el ambiente. Adicionalmente, debido a que la tasa de crecimiento de la población en las dos últimas décadas no aumenta considerablemente, señala que dicha presión no aumentará.

Por otro lado en el área urbana existe una tendencia al crecimiento poblacional. Según el Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio se debe procurar la racionalización en el uso del recurso hídrico, la minimización de los impactos negativos sobre el ambiente y, en ese sentido, reducir también el fenómeno de expulsión poblacional existente en el municipio.

El propósito de la presente investigación fue evaluar el desempeño de un modelo hidrológico, en la estimación de la oferta hídrica de la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira. Y como objetivos específicos se tuvo: calibrar y validar el modelo hidrológico seleccionado, Simular la oferta hídrica de las cuencas, teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático y Proponer medidas de adaptación para el manejo del recurso hídrico a futuro.

En la investigación se evaluó el efecto de los escenarios de cambio climático sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira, mediante dos modelos hidrológicos; el ABCD propuesto por Thomas y el T, propuesto por Thornthwaite & Mather. Con la simulación de dichos modelos, se halló que para las dos cuencas estudiadas la mayor reducción de la oferta hídrica se presentó con el escenario A2; con el ensamble multimodelo se presentó una reducción media y la menor reducción se dio con el escenario extrapolación de tendencias.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento del Huila presenta constantes problemas frente al desgaste y agotamiento del sistema hídrico, especialmente en la zona norte. Estos problemas giran en torno a la inadecuada planificación con el uso de los suelos, la deforestación y la ampliación de la frontera agrícola y forestal.

La deforestación (año 2005 y 2010) se focaliza principalmente en la zona norte del Huila. Íquira, por ejemplo, se encuentra como uno de los municipios con mayor relevancia en este problema, convirtiendo la deforestación en una de las principales causas de la reducción del recurso hídrico (Onf Andina, 2013a).

Las áreas del departamento del Huila con menor número de días con lluvia se concentran en los valles del alto Magdalena. Las condiciones son de una disponibilidad hídrica moderada durante marzo, abril y mayo en el primer semestre, para el segundo, septiembre, octubre y noviembre y de altos niveles de déficit durante el resto del año (Costa & Henríquez, 2005a)

Según Sánchez, García, Jaramillo & Verdugo (2010), en la cuenca alta del Magdalena, conformada por la totalidad del departamento del Huila y parte de los departamentos del Tolima y Cundinamarca, la variabilidad climática, las grandes presiones por uso de agua y la degradación de las cuencas hacen que, en condiciones de año seco, las reducciones de la oferta hídrica sean considerables, mayores del 50% para un porcentaje muy alto de los ríos. En condiciones climáticas secas el 21% del área del Alto Magdalena presenta rendimientos deficitarios entre 10 l/s-km<sup>2</sup> y 20 l/s-km<sup>2</sup> y el 24% muy deficitario, con rendimientos inferiores a 10 l/s-km<sup>2</sup>, la zona norte del Huila presenta un índice de aridez de 0,40 a 0,49, lo que significa que es moderado y deficitario de agua.

El Ideam pronostica que el Huila para el siglo XXI será uno de los departamentos que presentaría las mayores reducciones de precipitación, donde las lluvias se reducirían cerca del 15% con respecto a la climatología 1971-2000. Además de la zona Andina, el departamento tendrá un cambio más notable en la transición de clima semihúmedo a clima semiárido (Arango et al, 2010).

Cuando se presenta el fenómeno de El Niño hay déficit moderado de precipitación, entre el 20 y el 40% en los volúmenes mensuales en la región Caribe y la mayor parte de la región Andina, particularmente en el norte del Huila (Minambiente, 2010).

En el municipio de Aipe, de acuerdo al análisis realizado a partir de 18 variables climáticas, bióticas, socio- económicas, político-institucionales y económico-productivas, se encontró que para el año 2040 el municipio presentará un cambio catalogado como alto en precipitación,

debido a que el 63% del área sufrirá una disminución de la misma y bajo en la temperatura, porque aumentará cerca de 2°C en el 10% de su territorio, implicando una reducción de la oferta hídrica superficial. Frente a este escenario y teniendo en cuenta las condiciones actuales del municipio, la capacidad adaptativa es muy baja y la sensibilidad al impacto es alta, lo que indica que de seguir así, Aipe tiende a tener altos grados de vulnerabilidad al cambio climático.

Para el mismo año, Íquira presentará un cambio catalogado como medio en precipitación, debido a que el 38% del área sufrirá una disminución de la misma y de la temperatura, ya que aumentará cerca de 2°C en el 21% de su territorio. Según estas características, Íquira puede tener baja vulnerabilidad al cambio climático (CAM, 2014).

Además de los anteriores problemas, en la zona de estudio existe la falta de conocimiento claro por parte de los habitantes respecto a los efectos del cambio climático en el recurso hídrico. Es por esta razón que los modelos hidrológicos son herramientas muy importantes para la conservación del agua superficial y se convierten en una importante técnica de apoyo para la toma de decisiones. Esto ayuda a mejorar la situación de incertidumbre sobre la disponibilidad de agua a futuro y para la mitigación de los problemas que posee el sistema hídrico del departamento.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Protocolo de modelación hidrológica

La modelación matemática debe enmarcarse en un número finito de pasos ordenados que conviertan el proceso de modelación en una secuencia lógica y discreta de acciones orientadas a la obtención de un resultado con la calidad esperada, exige además, formular un cronograma de trabajo con tiempos muy aproximados a los de ejecución, por ello es necesario plantear un protocolo que permita aplicar en forma sistemática la modelación de procesos hidrológicos.

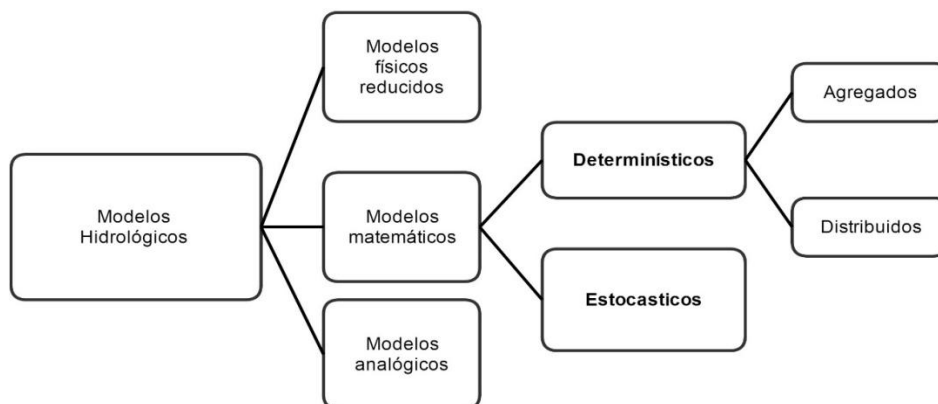
Domínguez (2010) plantea que durante la modelación matemática de procesos hidrológicos es oportuno seguir el siguiente orden de trabajo: definición del objetivo de la modelación, formulación del modelo conceptual, selección del tipo de modelo a utilizar, selección del código a aplicar, parametrización o identificación del modelo, validación del modelo, generación de escenarios y simulación.

#### 3.2. Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos se agrupan en dos categorías generales: material y formal. “Un modelo material es una representación física del prototipo más simple en estructura, pero con propiedades que reúnen las del prototipo. Los ejemplos de modelos de cuencas son simuladores de lluvia y cuencas experimentales” (Ponce, 1989).

Un modelo formal es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva las propiedades estructurales importantes del prototipo. Debido a que los modelos formales son invariablemente matemáticos en naturaleza, es costumbre referirse a ellos como modelos matemáticos, los que se usan con la ayuda de una computadora se denominan modelos computacionales. Muchos modelos computacionales han sido desarrollados a lo largo de las últimas tres décadas, los modelos formales están rápidamente disponibles, son altamente flexibles, y comparativamente económicos para utilizar. De ahí que no resulte una sorpresa que los modelos formales (matemáticos) sean la herramienta preferida en la solución de los problemas de la modelación hidrológica (Ponce, 1989).

Fernández, et al, (1997), menciona que un modelo hidrológico consta de varios componentes. El cual describe las fases del ciclo hidrológico (Figura 1).



**Figura 1. Modelos Hidrológicos.**

Fuente: Adaptado de Chow, 1994.

**Los modelos determinísticos**, no consideran aleatoriedad; una entrada dada produce siempre una salida. Estos modelos hacen pronósticos. La clasificación de los modelos determinísticos según se atiende a la variabilidad espacial de los parámetros y/o variables, así se distingue entre:

**Modelos agregados:** son los modelos con una sola celda, por ejemplo una cuenca hidrográfica que vierte a un río. Al modelarla de forma agregada se considera por una parte las entradas por precipitación y por otra los caudales en el punto del río a la salida de la cuenca. La ventaja de estos modelos es que no necesitan de la calibración de demasiados parámetros y la expresión matemática es más sencilla.

**Modelos distribuidos:** Se considera la variabilidad espacial, se realiza una discretización del medio físico a estudiar, se divide la zona a estudiar en celdas con diferentes valores para variables y parámetros. Este tipo de modelo es más versátil y recoge mejor la heterogeneidad del medio natural, por el contrario necesitan un aporte de datos mayor y calibrar muchos parámetros.

**Modelos estocásticos o de series temporales:** Carecen de bases físicas y expresan en términos de probabilidad el resultado de procesos altamente aleatorios, estos modelos respecto a los determinísticos hacen predicciones (Chow, 1994).

### 3.2.1. Modelo ABCD Thomas

El modelo ABCD Thomas, desarrollado por Thomas en 1981. Es un modelo hidrológico de carácter agregado que establece mediante la determinación de cuatro (4) parámetros, el caudal afluente en una cuenca. Para la explicación del modelo ABCD se debe tener claro que el suelo está dividido en tres (3) zonas, (Figura 2). Una primera parte que es donde se presenta todo lo

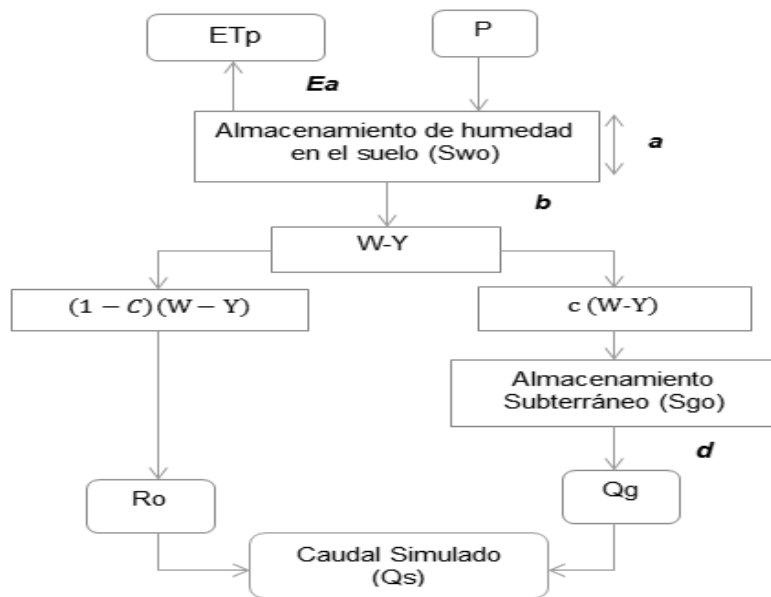
relacionado al almacenamiento superficial y es representado como  $S_c$ , la segunda zona que es la no saturada  $S_w$ , se puede asimilar la recarga que experimenta el acuífero  $R_g$  a la infiltración  $I$  debido a que el caudal superficial  $Q_s$ , es despreciado por el modelo por ser en comparación con la precipitación, muy pequeño y la última zona, es la zona saturada, presenta un almacenamiento  $S_g$ . Según Romano (2007) en este modelo, los parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  describen lo siguiente:

**Parámetro a.** Varía entre el rango  $0 \leq 1$ . Expresa la tendencia a escorrentía ante la presencia de un suelo que se encuentre completamente saturado.

**Parámetro b.** Representa el límite superior a la suma de la evapotranspiración real y la humedad.

**Parámetro c.** Hace referencia a esa fracción que se encuentra en el almacenamiento subterráneo que se incluye en la escorrentía. Aunque no siempre se relaciona a esta fracción debido a que no siempre toda la carga se convierte en escorrentía superficial durante el intervalo de tiempo que se considere

**Parámetro d.** Es el recíproco del tiempo de resistencia del agua subterránea, pero teniendo en cuenta que en ese tiempo puede relacionarse con todo el acuífero, con la porción de esto más cercano al río, o simplemente con recorridos superficiales más rápidos.



**Figura 2. Representación esquemática del modelo Thomas (T)**

**Fuente:** Makhlouf, Z., y C. Michel 1994, Tomado de Naranjo, 2011.

Olarte (2003) hace referencia a las ecuaciones que permiten calcular para un período específico el caudal a partir de la precipitación  $P$ , la evapotranspiración potencial  $ETP$ , los parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  y las condiciones iniciales  $Sw0$  y  $Sg0$  (Tabla 1).

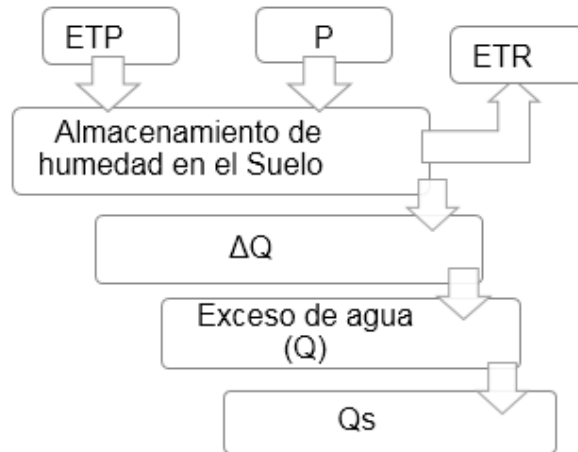
**Tabla 1. Ecuaciones del Modelo ABCD Thomas**

Orden	Denominación	Ecuación	Detalle Variables
1	Agua Disponible	$W = P(i) + Sg0$	P = Precipitación
			Sg0 = Condición Inicial
2	Variable Y	$Y = \frac{W + b}{2 * a} - \text{sqrt} \left( \left( \frac{W + b}{2 * a} \right)^2 - W * \frac{b}{a} \right)$	a = Parametro de Entrada
			b = Parametro de Entrada
3	Contenido de Humedad del Suelo	$Sw = Y * \exp \left( -\frac{ET(i)}{b} \right)$	ET = Evapotranspiración Potencial
4	Esorrentia Directa	$Ro = (1 - c) * (W - Y)$	c = Parametro de Entrada
5	Recarga de Agua Subterranea	$Rg = c * (W - Y)$	
6	Almacenamiento de Agua Subterranea	$Sg = \frac{Rg + Sg0}{d + 1}$	d = Pametro de Entrada
7	Caudal Subterraneo	$Qg = d * Sg$	
8	Caudal de Salida	$Q = Ro + Qg$	

### 3.2.2. Modelo T, Thornthwaite-Mather

Los datos de entrada del modelo son la precipitación, la evapotranspiración potencial y los de salida son los caudales simulados. La calibración se logra cuando se lleguen a establecer los valores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $Sw0$  y  $Sg0$ , de tal forma que al ingresar la precipitación observada  $P$  y la evapotranspiración potencial observada  $ETP$ , se obtenga un caudal  $Qsim$  igual al caudal observado  $Qobs$  (Figura 2). Para lograr una buena calibración, se trabaja con varios valores correspondientes a varios períodos de tiempo, así la calibración real se obtiene cuando se logre reducir a cero las funciones objetivo.

Jiang et al, (2007) refiere que el modelo hídrico de Thornthwaite – Mather, propuesto en 1955 (Figura 3), utiliza un procedimiento contable para analizar la asignación de agua entre los diversos componentes del sistema hidrológico, las entradas en el modelo son la temperatura y la precipitación mensual. Las salidas incluyen la evapotranspiración mensual real, almacenamiento de humedad del suelo, almacenamiento de nieve, el superávit y la esorrentía (Maraux & Bruno, 1990).



**Figura 3. Representación esquemática del modelo de Thornthwaite (T)**  
Fuente: Tomado de (Jiang, 2007)

Los principios del modelo T son:

- Reserva máxima ( reserva útil ) de agua en el suelo  $RU$
- Demanda evaporativa  $ETP_i$
- Reserva mensual de agua en el suelo  $R_i$
- Precipitaciones mensuales  $P_i$

La  $ETP$  se puede calcular por la fórmula de  $T$ , que toma en cuenta únicamente la temperatura media mensual o se puede calcular con cualquier otra forma existente.

Las ecuaciones que permiten calcular el caudal para un periodo mensual mediante el modelo T se relacionan en la Tabla 2.

**Tabla 2 Ecuaciones del Modelo T**

Orden	Condición	Denominación	Ecuación	Detalle Variables
9	Si $P(i) \geq ETP(i)$	Contenido de humedad del suelo	$S(i) = \Phi$	$\Phi$ = Parámetro de Entrada. Capacidad de retención de Humedad del Suelo
10		Exceso de Precipitación	$dq(i) = P(i) - ETP(i) + S0 - \Phi$	P = precipitación ETP = Evapotranspiración Potencial S0 = Condición Inicial de Humedad
11		Evapotranspiración Real	$ETR(i) = ETP(i)$	
12	Si $P(i) \leq ETP(i)$	Contenido de humedad del suelo	$S(i) = S0 * (\exp((-ETP(i) - P(i)) / \Phi))$	
13		Exceso de Precipitación	$dq(i) = 0$	
14		Evapotranspiración Real	$ETR(i) = P(i) + S0$	
15		Caudal de Escorrentía	$R(i) = (1 - \lambda) * (Qf0 + dq(i))$	$\lambda$ = Parámetro de Entrada. Factor de Excesos Qf0 = Condición Inicial. Caudal Base
16		Caudal Simulado	$Qf(i) = \lambda * (Qf0 + dq(i))$	

**Fuente:** Jian et al, 2007.

### 3.3. Downscaling

El Downscaling o reducción de escala tiene como propósito obtener detalles regional o local, ya sea de observaciones dispersas o simulaciones numéricas de baja resolución, permiten pasar de las predicciones de escala global o en grandes regiones del planeta acerca del comportamiento medio de las condiciones atmosféricas, a una escala de mayor detalle y con una mayor resolución, así se obtiene una predicción o modelo regionalizado (Rummukainen, 2010).

Para la realización del Downscaling existen dos métodos; el dinámico y estadístico. La tabla 3 muestra las características, ventajas y desventajas de estos métodos.



**Tabla 3. Características del Downscaling**

Método	Ventajas	Desventajas
<p><b>Downscaling Dinámico:</b> Incrementa la resolución del modelo sobre el territorio de interés, tiene en cuenta la topografía, la cobertura vegetal y los procesos atmosféricos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consistente físicamente</li> <li>• Genera eventos extremos</li> <li>• Se pueden representar mejor la orografía y algunos procesos que ocurren a pequeña escala y que son importantes para la nueva resolución del modelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculos demorados</li> <li>• Alto costo</li> <li>• Incertidumbre por las características trasladadas de los GCM</li> </ul>
<p><b>Downscaling Estadístico:</b> Se basa en aplicar las relaciones empíricas entre las variables a los campos de gran escala generados por los Modelos de Circulación General.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo</li> <li>• Usan la climatología real, calibran y corrigen errores estadísticamente</li> <li>• Proporciona información específica del sitio, que puede ser crítico para muchos estudios de impacto en el cambio climático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incertidumbre en las respuestas futuras del cambio climático</li> <li>• Los resultados son para las variables que disponen de observaciones</li> </ul>

Fuente: Giorgi, 2008.

### 3.4. Escenarios de cambio climático

Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis, además son de utilidad para el análisis del cambio climático y en particular, para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación (IPCC, 2000).

#### 3.4.1. Obtención de un escenario de Cambio Climático.

Los escenarios de cambio climático según la UNFCCC, (2011) deben seguir los siguientes criterios:

1. Ser consecuentes con las influencias antropogénicas sobre el clima.
2. Ser internamente consistentes; los cambios en variables relacionadas entre sí deben tener sentido físico.

#### 3.4.2. Tipos de escenario de cambio climático

Los tipos de escenarios de cambio climático se han definido de la siguiente manera:

- A1: La línea evolutiva y familia de escenarios A1 describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción a tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, la creación de capacidad y el aumento de interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. La familia de escenarios A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía de origen no fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B); entendiéndose por equilibrada, la situación en que no dependerá excesivamente de un tipo de fuente de energía, en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares.
- A2: La línea evolutiva y familia de escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo, sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad en el conjunto de las regiones converge muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento, el desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que otras líneas evolutivas.
- B1: La línea evolutiva y familia de escenarios B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza el valor máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas, orientados a una economía de servicios e información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos, en ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.
- B2: La línea evolutiva y familia de escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental, es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con un nivel de desarrollo económico intermedio y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en la líneas evolutivas A1 y B1, aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se enfoca en niveles locales y regionales (Ruiz, 2010)a.

La obtención de escenarios de cambio climático según Torres & León (2010) siguen los siguientes pasos: 1) Seleccionar el escenario de emisiones de CO<sub>2</sub> (SRES) de interés, 2) Seleccionar los resultados de uno o varios modelos, preferiblemente de cambio climático global para el área de estudio, 3) Determinar posibles cambios en la temperatura, en la lluvia, en el nivel del mar y otros, calculando el grado de incertidumbre de los cambios encontrados, 4) Seleccionar el método para la regionalización deseada (dinámico, estadístico, híbrido).

### 3.5. Creación de escenarios en Colombia

Para la creación de los escenarios de cambio climático en Colombia, de precipitación, temperatura y humedad relativa, se tomó como base la información del IDEAM de los años 1971-2000 para tres normales climatológicas; 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. (Torres & León, 2010), (Tabla 4).

En la formulación de estos escenarios se tienen en cuenta modelos regionales, los RCMs están basados sobre leyes físicas, representados por ecuaciones matemáticas que son resueltas usando grillas tridimensionales, éstos son modelos físicos comprensivos que usualmente incluyen componentes de suelo y atmósfera del sistema climático y contienen representaciones de importantes procesos del mismo (lluvia, radiación, nubosidad, hidrología). Para su realización debe tener en cuenta un dominio, la resolución que debe ser alta para que se vean claros detalles del modelo regional, condiciones de frontera que permitan identificar sobre qué sector se va a usar el modelo, este usa información de condiciones superficiales sobre los océanos y algunas del suelo, y tiene en cuenta unas condiciones iniciales que provienen de modelos climáticos globales

Cada modelo regional tiene en cuenta características diferentes, el PRECIS es un modelo atmosférico, de suelo, de área limitada y alta resolución, el cual requiere la descripción de la superficie y condiciones laterales de frontera. Las condiciones de superficie son solo requeridas en el agua, donde los modelos necesitan series de tiempo de temperatura superficial del mar y extensiones de hielo, las condiciones laterales de frontera suministran información de la dinámica atmosférica en los bordes latitudinales y longitudinales del dominio.

No hay restricción prescrita en las condiciones de altura del modelo, las condiciones laterales de frontera comprenden variables atmosféricas estándar como la presión en superficie, los componentes horizontales del viento y medidas de temperatura y humedad. También ciertas configuraciones de PRECIS contienen la representación total del ciclo de azufre y un conjunto de condiciones de frontera (incluyendo  $\text{SO}_2$ , aerosoles sulfatados y especies químicas asociadas) que también son requeridas.

El modelo GSM-MRI para simular el clima futuro en Colombia, toma como condiciones iniciales los resultados de un modelo oceánico que proyectó la temperatura superficial del mar a lo largo del siglo XXI y fue considerada como condición de baja frontera para un escenario A1B, presenta una corrección estadística considerando las calibraciones del modelo en clima presente teniendo en cuenta los registros históricos de lluvia, temperatura y humedad del IDEAM, que fue aplicada para el escenario A1B del clima futuro. (Tabla 4).

**Tabla 4. Características de los modelos utilizados para generar escenarios en Colombia**

Modelos	País	Resolución Horizontal kmxkm	Zona de estudio	Escenario	Metodología usada	Año de referencia	Condiciones iniciales
WRF	EUA	4x4	Andina	A2	Dinámico	1990	CAM (Community Atmospheric Model)
PRECIS	Reino Unido	25x25	Colombia	A2-B2, A1B con sulfatos. para incrementos de T° A2 Y B2 con sulfatos	Dinámico - Estadístico	1971-2000	ECHAM4 HadAM3P HadCM3Q
GSM-MRI	Japón	20x20	Colombia	A1B	Dinámico - estadístico	1971-2000	CCM3 (NCAR)

**Fuente:** Torres & León, 2010.

### 3.5.1. Técnicas utilizadas

Las técnicas usadas fueron; dinámico-estadísticas para los modelos PRECIS Y GSM-MRI y estadísticas para el modelo WRF. Las técnicas dinámicas usan el anidamiento para lograr la regionalización de los MCG, teniendo en cuenta condiciones iniciales, de contorno y ecuaciones físicas que gobiernan la dinámica atmosférica. La técnica estadística se ajusta utilizando el clima presente con un período determinado y son utilizados posteriormente para proyectar las predicciones, suponiendo la estacionalidad del modelo, tienen la ventaja de usar información climática real, pueden calibrar y ajustar las posibles deficiencias.

Debido a que la validación de los modelos no es siempre precisa, se debe hacer más de dos modelos climáticos, dentro de esta metodología se tiene en cuenta cada valor meteorológico y es comparado con el punto más cercano a la grilla del modelo, para calibrarlo.

Para lograr obtener el panorama de cambio climático del país, se hace una interpolación con los resultados obtenidos de clima presente y los escenarios de cambio climático sobre las estaciones analizadas, se realiza una evaluación del clima presente por medio de la validación de los modelos, con esto se determina las zonas donde los resultados de los modelos pueden ser utilizados con determinados niveles de confianza dependiendo de los resultados de lo simulado y lo observado frente a cuatro índices como son; el coeficiente de correlación lineal entre las observaciones y los resultados de los modelos, la longitud de la información utilizada, la dirección y el valor de tendencia lineal que registraron las observaciones en comparación con lo que simularon los modelos. El coeficiente de correlación se calculó para el ciclo anual entre los modelos ERA40 y GSM-MRI para clima presente, es decir, para 1971-2000 en el primer caso y 1979-1998 para el modelo de alta resolución japonés.

### **3.5.2. Creación de escenarios a partir de extrapolación de tendencia.**

Los escenarios de extrapolación de tendencias que se realizaron, aunque no son una extrapolación dinámica, permiten predecir reacciones del clima futuro, usando los valores de clima presente con los cuales se pueden hacer cálculos para obtener los valores que alcanzarían las variables climatológicas, si la tendencia se mantiene..

Los resultados obtenidos con el WRF, se dieron utilizando datos de entrada del modelo CAM (Community Atmospheric Model) en baja resolución, que tiene un tamaño de grilla de 2.5X2.5°,

El Downscaling dinámico a 4kmX4km, se realizó con el modelo WRF, por medio de la técnica de anidamiento, primero obteniendo procesos meteorológicos a 48kmX48km, luego a 12kmX12km, para finalmente obtener resultados en alta resolución sobre la zona que presenta la topografía más compleja sobre el territorio nacional, la región Andina.

Como resultado de este Downscaling, la precipitación no varía respecto al año 1990, el modelo muestra aumentos de temperatura cercanos a 1°C hacia el 2030, entre 1 y 2°C hacia el 2050, entre 2 y 3°C hacia el 2090 y entre 3 y 4°C en el 2100, excepto en la ladera oriental de la cordillera andina, donde el modelo calculó aumentos entre 5 y 6°C.

La respuesta a los escenarios de cambio climático en Colombia se dio a partir de un modelo climático ensamblado, este consiste en dos o más corridas del mismo modelo, usando exactamente las mismas condiciones forzantes, donde la única diferencia son las condiciones iniciales. En los resultados de la creación de escenarios en Colombia se incluyeron los escenarios simulados por los modelos PRECIS, GSM-MRI, WRF; éste último, en los departamentos de las regiones Andina y Pacífica, y el escenario de extrapolación de tendencias, para obtener la respuesta promedio de los factores forzantes en el clima del futuro. Para la obtención de la temperatura, precipitación y humedad relativa según los modelos, se realiza un promedio de los escenarios propuestos.

En cuanto a precipitación, las proyecciones indican que habrá lugares en donde aumentaría y sectores en donde se reduciría, en promedio para el período 2011-2070 la precipitación anual decrecería en no más de un 15% del valor del período 1971-2000. Por otro lado, los escenarios de cambio climático más pesimistas, proyectan reducciones hasta del 36% con respecto al período de referencia 1971-2000, especialmente hacia finales de siglo XXI (2071-2100).

Las mayores reducciones de lluvia para el resto del siglo XXI (2011-2100), se esperarían en Córdoba, Bolívar, Huila, Nariño, Cauca, Tolima y Risaralda, pero en algunos de estos departamentos, este cambio ya se empezaría a evidenciar en el transcurso del período 2011-2040. Desde el punto de vista de los escenarios más “pesimistas” analizados, se calcula que las reducciones más significativas de lluvia se darían, especialmente, en gran parte de los departamentos de la región Caribe: Sucre (-36.3%), Córdoba (-35.5%), Bolívar (-34.0%),

Magdalena (24.6%) y Atlántico (- 22.3%), vale la pena destacar que en la región Andina, los departamentos de Caldas (-21.9%) y Cauca (-20.4%) también tendrían importantes reducciones en los volúmenes de precipitación (Ruiz, 2010)b.

### **3.5.3. Creación de escenarios a partir del ensamble multimodelo.**

Una vez generado promedio del ensamble multimodelo realizado para la precipitación, con base en los escenarios obtenidos en alta resolución con el modelo PRECIS, los datos del modelo GSMMRI y el escenario de extrapolación de tendencias en general, mostraron que los valores en grandes porciones de Colombia se ubicarían entre sus valores normales (100%) y reducciones del 15%, o sea que ante el cambio climático continuaría lloviendo, el 85% de la precipitación anual evaluada para clima presente 1971-2000, no obstante, el resultado analizado, solo desde el punto de vista del escenario más pesimista considerado en esta investigación, calculó reducciones que en promedio, pueden alcanzar valores de 36%; o sea llovería el 64% de la precipitación evaluada para clima presente 1971-2000.

En la temperatura el aumento a nivel nacional sería de 1,4°C para el periodo 2011-2041; 2,4°C para 2041-2070 y 3.2°C para 2071-2100. El ensamble de humedad relativa muestra que la señal de cambio climático es mayor hacia finales de siglo XXI (2071-2100). Con los resultados del ensamble se da una explicación más clara del clima a futuro identificándolo bajo la clasificación Lang y el confort térmico de cada región.

Los promedios arrojados por el ensamble multimodelo para temperatura del aire muestran que la señal de cambio climático es mayor hacia finales de siglo XXI (2071-2100); los aumentos más significativos de la temperatura media se observan en gran parte de la región Caribe y Andina, con valores que oscilan entre 3 y 4 °C, incluso con valores superiores en zonas del Tolima y Norte de Santander; influenciado por la manifestación de que los días -según los modelos- serán más cálidos, ya que la temperatura media máxima en gran parte de las regiones mencionadas aumentaría sus valores entre 4 y 5°C para finales del siglo XXI con respecto a la normal climatológica de 1971-2000.

El estudio “*Estimación de la Magnitud de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Departamento del Huila*” impulsado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, la Gobernación del Huila y la Alcaldía de Neiva, apoyados por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID y ONF ANDINA, bajo la coordinación del grupo E3 asesorías, son los que vienen desarrollando el proyecto “Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático” que tiene como objetivo principal la elaboración del Plan de Acción de Cambio Climático del Huila.

Basados en el estudio anterior y teniendo en cuenta que los planes de desarrollo de los municipios de Aipe e Íquira valoran las diferentes actividades que influyen directamente en las emisiones de CO<sub>2</sub> en el departamento y con esto se definen que escenarios del IPCC son los más representativos dentro de cada cuenca.

### 3.5.3.1. Situación actual de la Cuenca del río Aipe.

Según Yañez (2013) en el documento del plan de ordenamiento territorial de la cuenca del río Aipe, menciona que se tienen las principales características en cuanto al uso del suelo y productividad agrícola de la cuenca:

- ✓ El principal productor de energía para la elaboración casera de los alimentos es la leña, lo que genera una fuerte presión sobre el bosque nativo.
- ✓ No existe una actividad forestal propiamente dicha de los bosques presentes en la cuenca.
- ✓ El espacio más crítico en el uso del suelo en toda la cuenca, lo ofrece la actividad ganadera (cobertura vegetal en pastos).
- ✓ La ganadería y los pastos indican la mayor utilidad de los suelos.
- ✓ La ganadería tiene su desarrollo sin ninguna restricción acerca de la conservación y protección del suelo, las pendientes donde se desarrollan son superiores al 70% y están escarpadas, es común encontrar áreas con erosión en patas de vaca, incipiente en algunos casos y muy evolucionada en otros, hasta el punto de la pérdida total del horizonte A o AB y con la aparición de erosión en surcos y cárcavas; estas son áreas no aptas para ganadería por el valor de la pendiente, se aconseja el desarrollo de la ganadería con fuertes restricciones.
- ✓ El 69% de la cuenca necesita manejo y conservación de los suelos.
- ✓ Otra práctica común es la quema total realizada por el 24% de la población, en ocasiones esta quema hace parte del proceso de adecuación de tierras para cultivos y pastos, generando incendios forestales o de rastrojos que aumentan la contaminación de la zona con residuos volátiles y precipitación de cenizas a las fuentes de agua.
- ✓ En general el 27% de la población arroja las basuras a campo abierto sin importar el lugar a dónde lleguen.
- ✓ Solamente existe una infraestructura de tratamiento de aguas servidas, contratada como construcción de una planta de tratamiento, que se encuentra ubicada la vereda Praga.

En la cuenca del río Aipe, en la zona media - baja y en las áreas donde se ha cambiado el uso del suelo de cultivos permanentes a ganadería, existe gran desconocimiento de los efectos causados por el agua sobre el suelo que se encuentra desprotegido, así como la forma de manejar los líquidos residuales.

**Los proyectos que se adelantan en la cuenca son:** Extensión en conservación de suelos y recursos hídricos, reforestación protectora o protectora – productora, Posetas o reservorios de agua, acueductos para las veredas Castel y Calle Real, producción piscícola de mojarra roja y cachama en la zona cafetera, establecimiento de áreas estratégicas y prevención de la contaminación de corrientes de agua, mediante la instalación de plantas para el tratamiento de aguas residuales.

### 3.5.3.2. Situación actual de la cuenca del río Íquira

- ✓ La tala y quema de bosques naturales, la contaminación de las quebradas, los desechos y aguas residuales de unidades sanitarias y basuras, la explotación de madera en manera indiscriminada, están generando problemas de escasez hídrica en importantes zonas de amortiguación y esponjas naturales de las montañas, ha desaparecido la cobertura boscosa y predominan los pastos naturales y el rastrojo en el área de bosques naturales.
- ✓ Gran parte de la problemática ambiental del municipio de Íquira radica en la subutilización de la tierra en las zonas ubicadas por debajo de los 2.000 m.s.n.m., donde prolifera la ganadería extensiva no tecnificada en áreas aptas para desarrollos agrícolas de subsistencia y/o forestales.
- ✓ Fuerte presión de colonos sobre las estribaciones del Nevado del Huila con el propósito de explotar especies maderables y/o instalar cultivos ilícitos, constituyen el eje central para la discusión de una política ambiental local.
- ✓ Para el caso del Departamento, se producen 28.610.734 m<sup>3</sup> de agua, de los cuales sólo se factura el 48%, es decir 14.971.438 m<sup>3</sup>, reflejando la vulnerabilidad del servicio y la baja aplicación del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua por parte del prestador de servicio. Lo anterior muestra una debilidad operativa de las empresas, que no permite adelantar un adecuado programa de control al consumo y facturación; es decir, no hay inversión en programas de recuperación de pérdidas para mejorar el índice de agua no contabilizada. (Aguas del Huila, 2014).
- ✓ El municipio de Íquira tiene un total de 482.112 m<sup>3</sup> de agua producida para acueducto y el agua facturada es 224.424 m<sup>3</sup>.
- ✓ Sólo el 35% de afluentes, zonas hídricas y sectores ambientales se encuentran caracterizados y con plan de manejo ambiental.
- ✓ El 25% de las micro-cuencas abastecedoras de agua en el municipio se encuentran intervenidas ambientalmente.
- ✓ No se tiene el estimado de cuantas hectáreas de predios se necesitan adquirir para protección de fuentes hídricas.
- ✓ En la zona rural, gran parte de áreas de protección de ríos y quebradas han sido destinadas a otras actividades, que han ido acabando con la cobertura vegetal y en épocas de fuerte invierno ocasionan crecientes en los ríos que ponen en riesgo la integridad de los habitantes del municipio y sus cultivos. Estos fenómenos se presentan con mayor frecuencia en las



partes o tierras bajas de las subcuencas de las fuentes hídricas, dentro de las cuales pueden incluirse el casco urbano de Íquira y algunos sectores rurales.

- ✓ Gran parte de las zonas han sido deforestadas a fin de aumentar la frontera agrícola, esto ha generado el aumento de quema y tala de bosques, lo que conlleva a una significativa reducción de los caudales de las cuencas hidrográficas.
- ✓ Íquira es el tercer municipio en el departamento del Huila, dentro de los 6 municipios que registraron mayor área deforestada durante los 5 años, (Onf Andina, 2013)a.
- ✓ Íquira no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- ✓ La carga contaminante que reciben las fuentes hídricas proviene de la disposición de aguas residuales de origen doméstico, agropecuario y agroindustrial sin tratamiento.
- ✓ La ganadería se destaca por un manejo inadecuado de pastos y forrajes, la no suplementación del ganado con subproductos de cosecha e industriales, la no fertilización de los pastos, rotaciones poco o nada funcionales de potreros, no establecimiento de bancos de proteína y/o energía, conllevando a la existencia de una ganadería semi-extensiva, ocasionando un mal aprovechamiento de los recursos existentes.

### **3.6. Casos de Estudio**

#### **3.6.1. Modelación hidrológica en el mundo**

Un estudio de modelación hidrológica importante en el mundo, fue el realizado en la cuenca del East River, en el sur de China, éste estudio investiga los impactos potenciales del cambio climático inducido por el hombre en la disponibilidad del agua en la cuenca, con seis modelos mensuales del balance hídrico, es decir; la Thornthwaite-Mather (TM), Vrije Universitet Brussel (VUB), Xinanjiang (Xaj) (SM), modelos Guo (GM), WATBAL (WM) y Schaake. Se aplicaron 15 escenarios para cada uno de los modelos, con el análisis del resultado se obtuvo que dichos modelos tienen capacidades similares en la reproducción de los componentes históricos de balance de agua, el estudio proporciona una visión de los cambios posibles en la cuenca hidrológica debido al cambio climático, es decir, se nota qué no puede ser, qué implicaciones significativas existen para la investigación de estrategias de respuesta para el suministro de agua y control de inundaciones debido al cambio climático (Jian et al, 2007).

En España se modelo el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Ega que tiene 327.9 km<sup>2</sup> en base a la aplicación del modelo Cequeau, éste es un modelo de parámetros distribuidos, que tiene en cuenta las variaciones espaciales de las características físicas de la

vertiente a partir de una esquematización de la cuenca en unidades espaciales de igual dimensión.

El estudio se ha abordado a fin de reproducir los caudales medios diarios, teniendo en consideración las distintas características fisiográficas presentes en las subcuencas, la influencia que sobre la dinámica fluvial tienen las características estructurales y, en especial, las de carácter litológico del área. Se manifiesta la gran influencia que ejerce la geología en el proceso de generación de escorrentías (Acebo et al, 1999).

España presenta el llamado “integración del modelo TETIS en el sistema de alarma temprana DELFT FEWS” para predicción de avenidas en tiempo real en algunas cuencas de la C.H. del Júcar, la rambla del Poyo y el río Albaida, este estudio describe la implementación y adaptación del modelo hidrológico TETIS en el sistema de predicción de avenidas DELFT FEWS que consiste en proporcionar una serie de herramientas que permitan la integración de cualquier modelo hidrológico o hidráulico de propagación de avenidas en ríos con disponibilidad de datos hidrometeorológicos y previsiones numéricas a partir de modelos meteorológicos, con este trabajo se concluye que el modelo hidrológico distribuido TETIS se ha adaptado satisfactoriamente al sistema de predicción de avenidas DELFT FEWS del SADJUCAR. (Múnera & Francés, 2005).

### **3.6.2. Estudios de modelación hidrológica en América**

México es uno de los países representantes en la aplicación de la modelación hidrológica en sus cuencas, a continuación se detallara una serie de estudios realizados. La cuenca hidrológica Tapalpa, localizada en el estado de Jalisco, presenta problemas de calidad del agua superficial, es por esto que se ha empleado el modelo hidrológico SWAT, para representar ciclos hidrológicos y predecir la cantidad de agua superficial y el arrastre de sedimentos que puede esperar la cuenca. Como resultado se observó que la mayor producción de sedimentos se presentó en el periodo de mayor producción de agua en las subcuencas El Carrizal III, Tapalpa y El Zopilote, donde existe mayor producción agrícola, contrario a esto, se observa que en las subcuencas Carrizal y Animas, la vegetación de bosque combinada con suelos profundos proporciona una gran capacidad de almacenamiento de agua, ya que, aún durante los periodos de grandes tormentas los sedimentos y la contaminación son reducidos, en conclusión; en la cuenca Tapalpa se presentan lluvias erosivas con alto potencial para producir sedimentos, por lo que es necesario tener una cubierta protectora (Benavides-Solorio, et al, 2008).

Sumado al anterior estudio, el impacto de cambio climático en la modelación hidrológica de la cuenca del río Soto La Marina en México, El estudio consistió en analizar los volúmenes de escurrimiento de la cuenca bajo dos escenarios y modelos diferentes, el modelo MPIECH y GDLMC20 para los escenarios A1B y B2, creando cuatro combinaciones diferentes, para los años 2015, 2030 y 2050 se utilizó la información de 31 estaciones en el periodo de 1981 a 2010. El resultado que se obtuvo según el caudal de escurrimiento base que fue de  $6.255.683 \text{ mm}^3$ , en todos los modelos con sus respectivos escenarios hay clara una disminución en el volumen de

escurrimiento, la mayor reducción se observa con el modelo GDFLCM20 para el escenario A1B para el año 2050, el modelo con menor porcentaje de reducción en el volumen de escurrimiento es el MPIECH para ambos escenarios en los tres periodos analizados (Orozco et al,2013).

A la cuenca del lago de Cuitzeo en México, se aplicó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) a las condiciones existentes de la cuenca templada semi-rural, ésta tiene una superficie de 4 000 km<sup>2</sup>, para la implementación del modelo se tiene en cuenta diferentes escenarios, analiza el efecto de diferentes cambios de cobertura y uso del terreno con o sin cambios, así como el efecto de la precipitación en la respuesta hidrológica en términos de cantidad, se dividió la cuenca en subcuencas para obtener información más detallada. En esta modelación, los parámetros del modelo SWAT no fueron calibrados, ni se realizó un análisis de sensibilidad para conocer cuales parámetros son más sensibles a cambios pequeños, esto indica que el modelo SWAT funciona bien a la falta de información de aforo, como es el caso de muchos países, esta es una de las ventajas más grandes del modelo, pues sin necesidad de calibración y a falta de datos representó muy bien las respuestas de caudal en las diferentes series de tiempo analizadas (Ortiz, 2010).

El modelo Swat “Soil and Water Assessment Tool”, es uno de los más implementados en América central, existe un estudio en Honduras de la microcuenca de la quebrada Santa Inés para conocer acerca de la dinámica hídrica. El estudio permite Caracterizar los suelos teniendo en cuenta las características que afectan sus propiedades hidrológicas, prediciendo el impacto de diferentes escenarios de cambios del uso de la tierra en el potencial de captura de agua, bajo escenarios hipotéticos, para estimar las variables del balance hídrico para la microcuenca. Se concluyó que los suelos predominantes son derivados de actividad volcánica, caracterizados por texturas arenosas, alta conductividad hidráulica y bajo potencial de erosión. La microcuenca posee más del 85% de su área con bosque de pino y latifoliado, un caudal promedio anual en su cauce principal de 255 l/s y un número de curva de 66.56 (Acosta & Kucharsky, 2012).

Se usó el modelo HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba para modelar la oferta hídrica. Este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generada por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. Se observó que el modelo conceptual de cuenca unitaria es suficiente para modelar cuencas pequeñas con escasez de información, homogeneidad de características físico-geográficas y climáticas y ausencia de objetivos internos de interés, sumado a esto, los resultados serán usados como base de datos en investigaciones futuras (Estrada & Pacheco, 2012).

En Perú se realizó un estudio para la estimación del caudal en la cuenca del río Ucayali (354.341 km<sup>2</sup>), usando tres modelos hidrológicos diferentes, estos son el GR2M, el ABCD y el Vandewile. En conclusión el modelo Vandewile se ajustó con un valor alto de Nash y un bajo RMSE, pero

los tres modelos probados muestran los valores de Nash sobre el 60%, el modelo vandewile presenta un caudal simulado de 95,9 mm respecto a uno de 96,2 que era el observado en la validación, también presenta los mejores promedios estacionales calculados en los meses de crecida (abril y mayo), mientras tanto el modelo GR2M y el modelo ABCD no simulan los meses de crecida muy bien (Casimiro et al, 2011).

En Bolivia se aplicó el modelo SWAT en cuencas de alta montaña. Los resultados de la cuenca Taquiña se observó que la EF es de 0,67 para la calibración y 0,54 para la validación, valores aceptables, los parámetros de mayor incidencia fueron; la conductividad hidráulica saturada, contenido disponible de agua en el suelo, retardo del flujo subterráneo y el exponente de recesión del flujo base, incluyendo el número de curva CN y el tiempo de viaje lateral del flujo subsuperficial, según el modelo el caudal que arrojo es de 86 l/s y el caudal promedio diario medido es de 110 l/s , lo que significa una gran aceptación de los datos de entrada del modelo. En la cuenca Tolomosa, el coeficiente EF presenta un valor de 0,71 para la calibración y 0,63 para la validación, aquí los parámetros de mayor incidencia fueron los mismos que en Taquiña sin incluir el CN y el tiempo de viaje lateral del flujo superficial, en la cuenca Tolomosa el caudal diario medido (600 l/s) es muy similar al caudal diario modelado (586 l/s), en conclusión, el modelo SWAT tuvo resultados aceptables en la modelación de la cuenca Taquiña y buenos resultados en la modelación de la cuenca Tolomosa (Zárate, 2010).

En Ecuador se aplicó modelación hidrológica en base a un código conceptual agregado (NAM), éste forma parte del código MIKE 11 , que consideró la metodología conocida como GLUE, basada en simulaciones Monte Carlo y en el uso de nuevas evidencias, a través de un proceso mediante el cual se ha analizado la sensibilidad de los parámetros principales del modelo numérico y definido límites de predicción que brinden una cuantificación del grado de confianza en el modelo numérico como potencial herramienta de gestión. En conclusión, según los diagramas la mayoría de los parámetros incluidos en el estudio son insensibles a las predicciones numéricas del modelo, por ende es recomendable la aplicación de éste, con la recomendación de que se use información de tipo ecológico (Vázquez, 2010).

En Ecuador también se simulo con el modelo WEAP, la cuenca del rio Pastaza con fines hidroeléctricos. El modelo fue calibrado y verificado, se usaron los escenarios A2 y B2 bajo el modelo regional PRECIS, el fin es aplicar una herramienta que permita pronosticar los cambios en la disponibilidad de agua, en función de los escenarios de cambio climático. Se observaron diferencias, en cuanto al resultado de los parámetros utilizados, por esta razón se deben evaluar por separado (Lema & Plaza, 2009).

En Chile se realizó modelación hidrológica para la cuenca del rio Huechún. La simulación utilizó como plataforma de calibración y validación la cuenca de Colina, ubicada en esta misma región, que contaba con la ventaja de tener registros reales de caudales, medidos a través de su

estación de río Colina en Peldehue, la validación del modelo se dio usando dos escenarios diferentes. Como conclusión; al ser un modelo semidistribuido, los sistemas cuenca, suelo y vegetación, como parte de un ecosistema, pueden resultar casi irreproducibles, además las simulaciones con respecto a los hidrogramas empleados no son recomendables con este tipo de modelo, debido a las complicaciones para encontrar suficiente información que respalde la calibración de éstos para su validación (Bustamante, 2008).

Así mismo en Chile se aplicaron los modelos T y Temez en las cuencas del río Purapel (264.6 km<sup>2</sup>) y Achibueno (943 km<sup>2</sup>), Para la estimación de caudales medios mensuales, la calibración consideró el planteamiento original de los modelos, pero diferenciando parámetros para distintos meses o grupos de meses, la validación se analizó a base de pruebas estadísticas y no paramétricas, estos procesos se hicieron a nivel mensual, seleccionados por la poca cantidad de parámetros necesarios para su aplicación, además por su utilidad en la hidrología forestal, ya que permiten comparar el comportamiento de los caudales en distintas condiciones de cubierta vegetal y permiten generar datos en cuenca sin información, por lo que se transforman en una potente herramienta para el diseño de obras hidráulicas en la planificación de faenas forestales (Pizarro et al, 2005).

Continuando con la modelación en Chile, se simuló con el modelo SWAT, la sensibilidad de la hidrología de dos subcuencas del río Biobío (24.371 km<sup>2</sup>). El estudio analiza la amplitud en la respuesta del modelo hidrológico obtenido a partir de los distintos escenarios, derivados directamente de diferentes modelos de circulación global (GCM), también evalúa el impacto de usar señales de cambio derivados a partir de la aplicación de métodos más avanzados de regionalización; los modelos de circulación regional.

Para evaluar la sensibilidad de la hidrología local frente al cambio climático, se generaron plausibles escenarios climáticos y se simuló sus impactos, estos fueron A1FI, A1T, A1B, A2, B2, B1, la calibración y validación se realizó a nivel de datos mensuales de caudal; tomando como información de referencia 30 años, del periodo 1962-1990, de este modo, se encuentran los impactos potenciales del cambio climático en los recursos hídricos, en particular de la cuenca del Biobío. También se realiza una reflexión sobre las consecuencias para los estudios de impacto de los altos niveles de incertidumbre asociados a las proyecciones climáticas existentes en la actualidad (Stehr et al, 2010).

### **3.6.3. Modelación hidrológica en Colombia**

En la urbanización río Nima (Palmira, Valle del Cauca, Colombia) sobre la llanura de inundación de la margen izquierda del río Nima, se utilizó un modelo hidrológico lluvia – escorrentía (HEC–HMS) para estimar los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, los resultados indican que la capacidad máxima de conducción del cauce principal del río en la vecindad de la urbanización permite transportar, sin riesgo de inundación, crecientes asociadas a eventos con períodos de recurrencia superiores a 50 años (Muñoz et al, 2007).

Otro estudio fue el análisis de vulnerabilidad en la cuenca del río Chinchiná, para el plan de gestión integral del recurso hídrico, el cual incluye la caracterización física, climática y el balance hidrológico, con la utilización de modelos de balance de escala diaria, en este caso, el modelo Teméz. A escala mensual se utilizaron Thomas (abcd), Modelos T y P; también fueron analizados los modelo estadísticos autorregresivos ARIMA, además se requiere la ETP, que se calculó por el método de Thornwaite, dada la posibilidad de ingresar la información tanto de radiación solar incidente como de temperatura a escala diaria. La investigación estimó las alteraciones en las variables climatológicas, en el régimen hidrológico y en la oferta hídrica por variabilidad climática; evaluó los cambios en la temperatura, la precipitación y la escorrentía por los eventos cálidos- El Niño- y fríos -La Niña- del fenómeno ENSO (Oscilación del Sur), en relación a la oferta, el balance hídrico reporta reducciones, en algunas estaciones hidrológicas.

Las cuencas de alta montaña andinas como el río Chinchiná son vulnerables a los cambios climáticos; la vulnerabilidad por desabastecimiento se ha incrementado de moderada a alta por la baja capacidad de regulación y retención hídrica, y el uso moderado del recurso, sin embargo, dicha vulnerabilidad podría acentuarse con el cambio climático, por efecto de la posible reducción en la oferta y por una mayor demanda de agua debido al crecimiento de la población y de las actividades económicas (López, 2012).

En el 2005 en la Universidad Javeriana se implementó el modelo Thomas para el balance hídrico mediante la herramienta computacional HidroSIG-java. Se seleccionaron 95 cuencas con áreas de 50 a 400 km<sup>2</sup>, teniendo los datos de las estaciones, se llevó a cabo la implementación del modelo para tener un parámetro de referencia sobre la efectividad del mismo. Se obtuvo un porcentaje de error que relaciona el caudal observado vs el simulado; teniendo en cuenta este porcentaje, se asume el nivel de aceptación del modelo para aplicarlo en las cuencas, el nivel va desde bueno hasta el límite de rechazo, siendo éste último el que supera un porcentaje del 30%. 16 cuencas se encuentran con un porcentaje de 0 a 10%, que es bueno y entre 20 y 30% 65 cuencas, excluyéndose 11 que son las que superan el límite máximo de error.

Se pudo concluir que algunos resultados no eran acertados puesto que es recomendable realizar el modelo con datos superiores a diez (10) años, se debe tener en cuenta también la intervención antrópica, la calidad de los datos y como recomendación el uso de más de una función objetivo, con el fin de encontrar el mejor resultado para el tipo de estudio a realizar, también se recomienda en futuros estudios y trabajos utilizar diferentes métodos de optimización matemática (Pimienta & Catañeda, 2005).

El modelo matemático de Thomas y Fiering, es un modelo creado para generar o extender series de caudales medios mensuales, éste se viene aplicando en Colombia sin la certeza de que los resultados con su aplicación sean confiables, está basado en la teoría de auto regresión y auto correlación de series históricas de tiempo, la herramienta probabilística tradicional para el

análisis de una serie hidrológica. El modelo está diseñado para extender series de datos de duración moderada a periodos más largos, fue concebido para ser aplicado en los ríos del norte de América, y comparando el territorio norteamericano con el Colombiano, se logran encontrar grandes diferencias, por esta razón, no se pretende convalidar la formulación del modelo como tal, sino, su aplicabilidad para el territorio Colombiano. La importancia del modelo radica en que proporciona los niveles de confianza requeridos en la generación de caudales medios mensuales para el diseño de obras hidráulicas de grandes magnitudes.

Es importante señalar que en Colombia, el modelo matemático de Thomas y Fiering se ha usado frecuentemente, tal es el caso del estudio de la convalidación de las estaciones de aforos; Guaduro, Tobia y Charco Largo en la corriente del río Negro en el departamento de Cundinamarca. El estudio reflejó que el modelo en su versión aritmética, a las estaciones Charco largo, Tobia y Guaduro en el río Negro, no produjeron un resultado aceptable, pues los datos obtenidos no representan los caudales reales, esto indica que la versión aritmética del modelo no tiene validez en las estaciones hidrométricas que se intervinieron. Sin embargo, el modelo en su versión logarítmica, tiene validez para las estaciones de Tobia y Charco Largo (Cardenas, 2008).

En las estaciones de aforos de Bellavista, Belén y San Antonio de Padua, sobre el río Atrato en el departamento del Chocó, el modelo de Thomas y Fiering, para caudales medios mensuales en no fue aceptable en sus dos versiones (aritmético y logarítmico), excepto para la estación de San Antonio de Padua donde resulto aceptable y bueno respectivamente, concluyendo que las series de caudales históricas no son lo suficientemente confiables como para emitir un juicio de convalidación del modelo en estas tres estaciones. Como recomendación, es necesario que se presente otros tipos de estudio como el de precipitación y caudal para compararlos con los datos obtenidos en la investigación y las demás realizadas sobre esta misma cuenca, con el fin de encontrar alguna relación entre estas (Mosquera, 2009).

La aplicación del modelo matemático de Thomas y Fiering para el río San Juan en Choco Colombia, proporcionó que el modelo no es idóneo para dichas estaciones de aforo evaluadas, con bajo nivel de confianza en su convalidación, resultando, no es apto para cuencas pequeñas (Gonzales, 2008).

La modelación presenta muchos inconvenientes debido a la escasa información de las cuencas en Colombia. Se debe tener en cuenta que las estaciones bajo estudio están ubicadas presentan alta pluviosidad, condiciones climáticas muy diferentes a las del norte de América, sugiriéndose continuar con los estudios en diferentes cuencas, con el propósito de crear información comparativa.

#### **3.6.4. Políticas de Colombia frente al cambio climático**

En Colombia existen una serie de políticas que apoyan el estudio del cambio climático y sus consecuencias, que surgen con el ánimo de mitigar los daños y adaptarse a los constantes cambios en el ambiente. La ADAPTACIÓN es un proceso mediante el cual las sociedades crean mejores condiciones para hacer frente a un futuro incierto, adaptarse al cambio climático implica tomar las medidas adecuadas para reducir sus efectos negativos

- Ley 164 de 1994
- Ley 629 de 2000
- Primera Comunicación ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)
- Lineamientos de Política de Cambio Climático
- CONPES 3242
- Resoluciones No. 453 de 2004
- Resoluciones No. 454 de 2004
- CONPES 3700
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
- Segunda Comunicación ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)
- Estrategia Colombiana de Desarrollo bajo en Carbono -Ecdbc-
- Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones Debidas a la Deforestación Y La Degradación - ENREDD+

Dentro de las políticas para enfrentar el cambio climático se encuentra la Ley 164 de 1994, Colombia aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" y la ley 629 de 2000, por la cual se aprueba el protocolo de Kyoto, esta ley establece diferentes premisas respecto a cómo llevar el cambio climático en el país, una de ellas es "promover y apoyar con su cooperación la investigación científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y de otra índole, la observación sistemática y el establecimiento de archivos de datos relativos al sistema climático, con el propósito de facilitar la comprensión de las causas, los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático y de las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta y de reducir o eliminar los elementos de incertidumbre que aún subsisten al respecto;" , se espera que el presente trabajo pueda contribuir a la mitigación de los efectos de cambio climático en Colombia.



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Selección de cuencas

La selección de las cuencas se realizó de tal forma que abarcará dos zonas del Huila con condiciones climatológicas diferentes y que contarán con monitoreo meteorológico por parte del IDEAM, que permitiera obtener información de precipitación, humedad relativa, caudal, temperatura máxima, media y mínima. En ese sentido las cuencas que cuentan con las anteriores características son el río Aipe y la Subcuenca alta del río Íquira.

### 4.2. Cuenca del río Aipe

#### 4.2.1. Ubicación

La cuenca del río Aipe tiene una extensión de 700.83 km<sup>2</sup> y unas características morfométricas que se relacionan en el anexo 1, plano 02. La cuenca está ubicada, en el flanco Oriental de la Cordillera Central al noroccidente del departamento del Huila, su línea de divorcios de aguas marca los límites de los departamentos de Huila y Tolima, al noroccidente, limita con la cuenca del río Pata y la quebrada Honda, al suroccidente con la cuenca del río Arenoso y al suroriente con la del río Baché. Ver anexo 1.

De acuerdo al coeficiente de compacidad (Kc), la cuenca del río Aipe tiene una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, lo que la hace poco propensa a generar crecientes súbitas, el tiempo de concentración es alto (10.53 h), tiempo común para cuencas de su tamaño, el factor de forma (ff = 0.27) indica bajo riesgo a inundaciones, la densidad de drenaje (Dd) es baja, implica unas velocidades del flujo de agua mínimas, por lo tanto la erosión hídrica de la cuenca es escasa.

La parte alta de la cuenca es montañosa con diferentes rangos de pendientes que se convierten en topografía escarpada en la medida en que se desciende, en medio y hasta los sectores bajos y planos se localizan los valles aluviales, también se encuentran cerros alargados en forma de espinazos, artesas o valles en U, que por razones de erosión han evolucionado en valles más profundos, cañones o valles en V; también es posible encontrar algunas pequeñas mesetas y en los sectores más deteriorados y planos sobresalen rocas areniscas redondeadas en la cima que los pobladores denominan peñones.

El relieve predominante en la región montañosa alta de la cuenca corresponde a colinas bajas y altas que se caracterizan por tener una topografía ondulada a fuertemente quebrada, con suelos bien drenados por la pendiente, esta forma geológica se encuentra en las veredas; La Unión, Contador, Santa Rita, Santa Helena, Agua Fría, La Esmeralda, Castel, Guayabero, Calle Real, Praga y El Olimpo.

#### 4.2.2. Capacidad de uso del suelo

Otra forma de relieve predominante es el de montañas ramificadas y escarpadas con pendientes que se yerguen desde el 80% en adelante, tiene suelos erosionados por efectos del escurrimiento y del uso en ganadería con limitaciones en la profundidad efectiva y bajos niveles de fertilidad, éste tipo geomorfológico está presente en las veredas Calle Real, Castel, Praga, Buenos Aires, Los Cauchos y Santa Rita principalmente, también aparecen en forma esporádica en La Unión, Contador, Santa Rita, Santa Helena y Agua Fría (Forero, 2012).

La cuenca del río Aipe posee dos límites característicos del suelo, la cantidad mayor del área de la cuenca equivalente al 22 % y pertenece a la clasificación VIIs, abarcan territorios de las veredas Buenos Aires, La Esmeralda, Praga, Los Cauchos y Santa Bárbara, su clima es medio y húmedo, se desarrolla en espacios con topografía escarpada, pendientes superiores al 75%, en estas zonas se registra erosión con deslizamientos, pata de vaca y surcos, su vocación es netamente forestal, si se realiza ganadería debe ser con fuertes restricciones, teniendo en cuenta las barreras vivas de pastos de corte o Maní Forrajero, la agricultura puede desarrollarse también con las mismas técnicas de conservación de suelos para la ganadería y con cultivos perennes bajo sombra, se pueden cultivar frutales y café con sombrío.

Además se encuentra la subclase VIIsec, con una extensión del 15.70% de la cuenca, ubicada en el pie de monte y se extiende a las veredas Río Aipe y Santa Bárbara; se desarrolla en clima cálido seco, el relieve va de plano a muy escarpado, presenta procesos erosivos desde leves y laminares hasta acelerados con surcos y cárcavas profundas, su uso presenta pocas posibilidades por ser suelos superficiales arenosos y cascajo con bajos niveles de fertilidad y muy susceptibles a la erosión.

Se puede desarrollar ganadería de tipo extensivo apoyada con riego y técnicas de conservación de suelos, es posible desarrollar cultivos de Arroz, Algodón, Melón y agroforestería con riego y protección a la erosión; la mejor elección productiva es la de arreglos silvopastoriles con pastos de corte, Iguá, Guácimo, Matarratón, Leucaena, entre otros, el pasto que ha demostrado mejor desempeño es el Carretero, que se caracteriza por ser agresivo y con gran adaptación a las condiciones extremas de la zona donde se encuentra; en todos los casos es necesario la aplicación de fertilizantes.

El límite inferior, es decir la subclase con menor área dentro de la cuenca es la subclase IIIs2, se desarrolla en clima medio y húmedo, ocupa tan solo 0.81% del territorio y se presenta en zonas de colinas medias y altas, el clima donde se ubica el sector del Porvenir, realiza un manejo de fertilidad y control de erosión, que los hace aptos para cultivos misceláneos de clima medio y húmedo, como; Café, Cítricos, Caña de Azúcar, Hortalizas, Pitahaya, Maní, Forrajero,

Macadamia, producción maderera con Cedro, Nogal Cafetero, Ocobo y también para ganadería, con pastos de corte y rotación de potreros (Forero, 2012)

### **4.3. Subcuenca Alta del Río Íquira**

#### **4.3.1. Ubicación**

la subcuenca alta del río Íquira, está localizada en el municipio de Íquira, departamento del Huila, (anexo1. Plano 03), con un coeficiente de compacidad 1.99 (adimensional), que le da una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, caracterizándola como una cuenca con torrencialidad baja, (Londoño, 2001), su pendiente media es de 0.13 m/m, representa un terreno accidentado a accidentado-medio que favorece la escorrentía (Viramontes, et al, 2007), con una densidad de drenaje de  $0.2957 \text{ km/km}^2$ , que la clasifica como pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta, suelos resistentes a la erosión y permeables (Londoño, 2001). Según Cuesta (2001), la densidad de drenaje afecta al tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente, disminuyendo el tiempo de concentración e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración. La subcuenca del río Íquira, registró un Tc de 3.6 h permitiendo altas tasas de infiltración y alimentación del flujo subsuperficial.

Existe una variedad de terrenos en cuanto a su morfología y cobertura, con pendientes suaves y medias en el sur hasta los 1.600 m.s.n.m. donde el territorio ha sido totalmente intervenido y está sometido a explotaciones agrícolas y pecuarias, presentando afectaciones severas por erosión en su parte más baja y pendientes fuertes en la zona norte donde aún predomina el Bosque Primario con presencia de explotaciones agropecuarias en la franja ubicada entre los 1.600 y los 2600 m.s.n.m. Sus principales problemas están asociados a la presencia de cultivos ilícitos de amapola que han acelerado la pérdida de cobertura boscosa como consecuencia de las continuas talas y fumigaciones en la parte alta; el vertimiento de aguas contaminadas por uso residencial de los alcantarillados de Valencia de la Paz que cae directamente al lecho del Río y parte del alcantarillado de la cabecera municipal que fluye a través de la quebrada El Garrapato; y por último la contaminación por aguas residuales resultantes del proceso de lavado del café (Íquira, 2000-2009).

La fisiografía de la subcuenca alta del río Íquira en el valle superior del Magdalena, con piso térmico cálido-seco, se caracteriza por tener pendientes fuertes compuestas por arenitas, lutitas, arcillolitas y conglomerados de las formaciones Caballos, Hondita, Loma Gorda, Grupo Olini, formación seca, Bache y Potrerillo, donde se presentan procesos erosivos de considerable magnitud como flujos y pequeños deslizamientos, el drenaje de este paisaje es netamente subparalelo.

Sobre la cordillera central se caracteriza por tener laderas y crestones estructurales se encuentran alrededor de Íquira y Teruel, son unidades con pendientes medias y drenaje subparalelo y están conformadas por arenas y lutitas de las formaciones Caballos y Seca en este paisaje son comunes deslizamientos de poca magnitud. En la cordillera central, pero con la variación del piso térmico, ahora de templado a humero la subcuenca se caracteriza por tener un paisaje que se compone de rocas de la formación Caballos, se presenta en el área de Íquira,

asociados a la falla de la Plata, las pendientes de estas laderas son altas, con drenaje subparalelo, incipientes fenómenos de reptación (CAM, 2010).

#### **4.3.2. Capacidad de uso del suelo**

El conocimiento del uso del suelo permite definir qué planes, programas y actividades se pueden adelantar para su conservación en la cuenca. Los suelos de la subcuenca alta del río Íquira son de clase VIII, los suelos de esta clase no son aptos para la silvicultura y los pastos, deben emplearse para uso de la fauna silvestre, recreación pasiva o para protección de cuencas, reservas naturales.

Las tierras para la conservación deben ser destinadas a la producción, así como para la protección- producción, Las áreas de esta zona son expuestas a amenazas y riesgos, en Íquira hay presencia de fallas geológicas activas sobre las estribaciones de la cordillera central en la cuenca alta del río Magdalena, se declara todo el territorio como zona de alto riesgo, posee alta amenaza porque se encuentran zonas de laderas inestables, donde los fenómenos de deslizamientos se ven acrecentados por la intervención antrópica y se presentan continuos fenómenos erosivos.

En esta subcuenca la demanda por nivel industrial es elevada, el índice de escases en los meses de estiaje, es decir julio, agosto y septiembre se puede verificar, pues la sequía en la cuenca es evidente, agosto presenta el máximo valor con 40.5%. (CAM, 2010).

#### **4.4. Información Cartográfica**

Por medio de la herramienta computacional ARGIS, se digitalizaron las planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en escala 1:25000; correspondientes a cada cuenca, también se realizó la delimitación de las cuencas, los polígonos de Thiessen para escoger las estaciones a utilizar en cuanto a información de precipitación, (anexos 1, 2, 3 y 4). También con el software se calculó de manera automática las características para cada cuenca.

#### **4.5. Información Hidrológica**

Después de definir las cuencas, se definen las estaciones que se tendrán en cuenta para el proceso de modelación. Usando la metodología de los polígonos de Thiessen se identificaron las estaciones con mayor área de influencia en la cuenca (Anexo 3); así se definieron de cuáles se obtendría la información hidrológica necesaria. En el Anexo 4, se observa la ubicación de las estaciones.

En la tabla 5 se presentan las características de las estaciones usadas para cada una de las cuencas de estudio. Los datos obtenidos por cada una de las estaciones se muestran en el Anexo 5.

**Tabla 5. Estaciones de la cuenca del río Aipe y de la subcuenca alta del río Íquira**

CUENCA DEL RIO AIPE					
CÓDIGO	TIPO	NOMBRE	COORDENADAS		ELEVACIÓN (m.s.n.m)
			LATITUD N	LONGITUD W	
21130110	Pluviográfica	Praga	3° 16' 6.89"	75° 29' 26.4"	1085
21115080	climatológica-ordinaria	Villavieja ffcc	3° 15' 48.3"	75° 15' 3.4"	430
21137030	Limnigráfica	pte carretera	3° 15' 48.3"	75° 15' 3.4"	385
SUBCUENCA ALTA DEL RIO ÍQUIRA					
21080080	Pluviográfica	La Mina	2° 47' 35.00"	75° 37' 55.2"	1800
21085040	Climatológica-Ordinaria	Terpeya	2° 39' 46.10"	75° 39' 56.0"	1650
21087050	Limnigráfica	Bocatoma	2° 42' 28.90"	75° 37' 26.10"	1250

Fuente: IDEAM

#### 4.6. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial

El término evapotranspiración potencial se refiere a la máxima tasa de evaporación de un área cubierta completa y uniformemente por vegetación en crecimiento activo, con adecuado suministro de humedad en todo momento (Minambiente, 2004).

##### 4.6.1. Método de Estimación

Se utilizó la ecuación de Turc modificado, que depende de la temperatura, la radiación solar global incidente y la humedad relativa. La información requerida por esta ecuación es relativamente fácil de conseguir en las estaciones meteorológicas de las cuencas estudiadas, motivo por el que fue seleccionada. La ecuación de Turc está dada por las ecuaciones 17 y 18 dependiendo la condición de humedad relativa.

$$EP = K * \frac{T}{T+15} * (Rs + 50) \quad \text{Si } HR \geq 50 \% \quad \text{Ec. 17}$$

$$EP = K * \frac{T}{T+15} * Rs + 50 * \left(1 + \frac{50-HR}{70}\right) \quad \text{Si } HR < 50 \% \quad \text{Ec. 18}$$

EP = Es la evaporación potencial en mm/mes.

K = Es una constante igual a 0.40 para meses de 30 y 31 días y 0.37 para el mes de febrero.

T = Es la temperatura media mensual del aire en grados centígrados.

Rs = Es la radiación solar global incidente del mes considerado expresada en cal/cm<sup>2</sup>/día.

En la práctica, el término de corrección  $\left(1 + \frac{50-HR}{70}\right)$  interviene sólo en el caso de climas desérticos o subdesérticos. La radiación solar incidente está dada por la ecuación 19 propuesta por Samani (citado por Román)

$$R_s = R_o * K_T * (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad \text{Ec. 19}$$

$R_s$  = Radiación solar incidente

$R_o$  = Radiación solar extraterrestre (tabulada). Ver Anexo 6

$K_T$  = Coeficiente, 0.162 para zonas del interior y 0.19 para zonas costeras

$T_{max}$  = Temperatura diaria máxima °C

$T_{min}$  = Temperatura diaria mínima °C

En el Anexo 7, se muestran los valores promedios de las variables necesarias para la aplicación de la ecuación de Turc modificada, también se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la misma. Para la cuenca del río Aipe se encontró una evapotranspiración potencial promedio de 163.17 mm/mes, y de 117.94 mm/mes para la cuenca del río Íquira.

Según el Atlas climatológico del IDEAM ‘En el fondo del valle del Alto Magdalena, se observan las mayores evapotranspiraciones, llegando a alcanzar valores cercanos a los 1800 mm anuales, en lugares como el norte del Huila y Sur del Tolima’ (Costa & Henríquez, 2005b). Teniendo en cuenta lo anterior, los valores para la cuenca del río Aipe están dentro del rango, siendo esta de 1958.09 mm/año. Para el caso de la subcuenca alta del río Íquira, según el mapa Número 12 del Atlas Climatológico del IDEAM la variación anual de la evapotranspiración potencial en esta cuenca es de 1200 a 1400 mm/año, donde los valores son de 1415.30 mm/año.

## **4.7. Protocolo de Modelación**

### **4.7.1. Calibración del Modelo**

Teniendo en cuenta que el objetivo de la modelación era pronosticar la oferta hídrica bajo el efecto de los escenarios de cambio climático en la cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira; se determinó que los modelos a utilizar para dicho proceso serían los determinísticos aglutinados, en esa medida, debido a la facilidad de manejo, poca cantidad de parámetros, variables de entrada (precipitación y evaporación) y por ser unos de los modelos conocidos, se seleccionaron los modelos ABCD de Thomas, 1981 y el T de Thornwaite – Mather, 1955. Estos modelos no hacen parte de un sistema comercial, por lo tanto, al tener las ecuaciones que describen el proceso hidrológico de la cuenca, se elaboró su código en Matlab y se verificó con los resultados obtenidos en estudios anteriores en que se utilizaron los mismos modelos.

El proceso de calibración se llevó a cabo con el 70% de los datos hidrológicos obtenidos para cada cuenca. Para iniciar el proceso de calibración es necesario definir previamente la “función objetivo”, que permitirá estimar la incertidumbre de las series de caudales simulados respecto a los observados.

La función objetivo es usualmente una medida de bondad de ajuste (error de balance de masas, coeficiente de correlación, eficiencia de Nash-Sutcliffe, etc.), para el presente estudio se

utilizó como métrica de desempeño el coeficiente de correlación de Pearson, siendo éste el cociente entre la covarianza muestral y los desvíos estándar muestrales de cada variable, dado por la ecuación 20 y su interpretación, como lo muestra la Tabla 6.

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \quad Ec.20$$

**Tabla 6. Coeficiente de Correlación de Pearson**

Valor del Coeficiente	Interpretación
$0 < r < 1$ y $r \rightarrow 1$	Relación lineal positiva fuerte
$0 < r < 1$ y $r \rightarrow 0$	Relación lineal positiva débil
$r=0$	No existe relación lineal
$-1 < r < 0$ y $r \rightarrow -1$	Relación lineal negativa fuerte
$-1 < r < 0$ y $r \rightarrow 0$	Relación lineal negativa débil

Fuente: Lahura, 2003.

La identificación de los parámetros de entrada para cada uno de los modelos, se logró con el acoplamiento de los códigos al Toolbox de Análisis de Monte Carlo, librería desarrollada en Matlab, que contiene herramientas de análisis visual y numérico para la evaluación de modelos matemáticos en general.

Dentro de Toolbox se encuentra incluida la metodología Glue, Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (Beven & Binley, 1992), ésta metodología funciona mostrando que no sólo existe un valor para el parámetro, sino que por el contrario, un conjunto de valores distintos hacen que el modelo tenga probabilidad de representar correctamente el sistema, para lo que se utilizó un proceso iterativo de 10000 simulaciones.

#### 4.7.2. Validación del Modelo

Una vez encontrado el valor óptimo para cada uno de los parámetros y sin variar el valor, se corrieron los modelos con el 30% restante de los datos meteorológicos obtenidos para cada una de las cuencas

#### 4.7.3. Generación de Escenarios

A partir de la información dada en los capítulos 3.5 y 3.6 y teniendo en cuenta las características del departamento del Huila, se escogen tres escenarios de cambio climático con sus respectivas variaciones (Tabla 7), con base en los valores de variación dados para cada escenario se generaron las nuevas series sintéticas para cada cuenca. De los valores observados en las estaciones de las cuencas de estudio, se manipulan las variables P, T y HR a través de factores de ajuste, que tienen un efecto multiplicativo en el caso de la precipitación y la humedad relativa, un efecto aditivo para la temperatura representados por las ecuaciones 21, 22, 23 y 24 respectivamente (USSAID, 2013).

- **Precipitación**

$$R_{day} = R_{day} \times \left( 1 + \frac{adj_{pcp}}{100} \right) \text{ Ec. 21}$$

$R_{day}$  = Lluvia diaria (mm)

$adj_{pcp}$  = Factor de ajuste de la precipitación para la cuenca en consideración (%)

- **Humedad Relativa**

$$R_{day} = R_{day} \times \left( 1 + \frac{adj_{pcp}}{100} \right) \text{ Ec. 22}$$

$R_{day}$  = Humedad Relativa diaria (%)

$adj_{pcp}$  = Factor de ajuste de la Humedad Relativa para la cuenca en consideración (%)

- **Temperatura**

$$T_{mx} = T_{mx} + adj_{tmp} \text{ Ec. 23}$$

$$T_{mn} = T_{mn} + adj_{tmp} \text{ Ec. 24}$$

$T_{mx}$  = Temperatura Máxima (°C)

$T_{mn}$  = Temperatura Mínima (°C)

$adj_{tmp}$  = Factor de ajuste expresado en °C.

**Tabla 7. Posibles escenarios en el Departamento del Huila**

ESCENARIO (2011-2040)	PRECIPITACIÓN %	TEMPERATURA			HR %
		T MÍNIMA °C	T MEDIA °C	T MÁXIMA °C	
Extrapolación	3,00	0,3	0,4	0,4	1,3
Ensamble multimodelos	14,70	1,1	1,6	1,6	-2,2
A2	24,50	3	3	5	-5
ÍQUIRA				4	

Fuente: Ruiz, 2010a.

#### 4.7.4. Simulación

Una vez validado el modelo, y las series sintéticas generadas a partir de las variaciones propuestas por cada escenario, se corrieron los modelos para encontrar la oferta hídrica futura de las cuencas en estudio.



## 5. RESULTADOS.

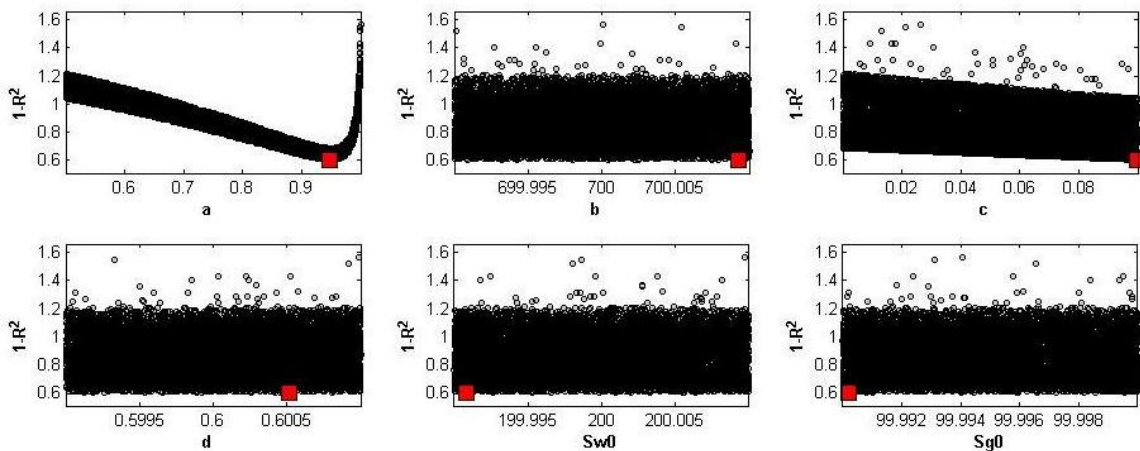
### 5.1. Cuenca del río Aipe

**Modelo Thomas.** En la tabla 8 se muestran los valores óptimos encontrados para cada uno de los parámetros, también se relacionan los valores del coeficiente de Pearson, tanto en la calibración como en la validación de los modelos.

**Tabla 8. Valores Óptimos de Parámetros del Modelo Thomas**

Parámetro				Valores de Entrada		$R^2$	
a	b	c	d	Sgo	Swo	Calibración	Validación
0,992	700	0,1	0,6	200	100	0,7681	0,893

La figura 4 muestra el comportamiento de los parámetros en la calibración del modelo Thomas, en ésta se evidencia que los parámetros **a** y **c** son de fácil identificabilidad dentro del modelo, por su forma cóncava con mayor pronunciamiento en el parámetro **a**, el parámetro **c** muestra una ligera pérdida en la linealidad horizontal de la nube de puntos, lo que indica su identificabilidad dentro del modelo.

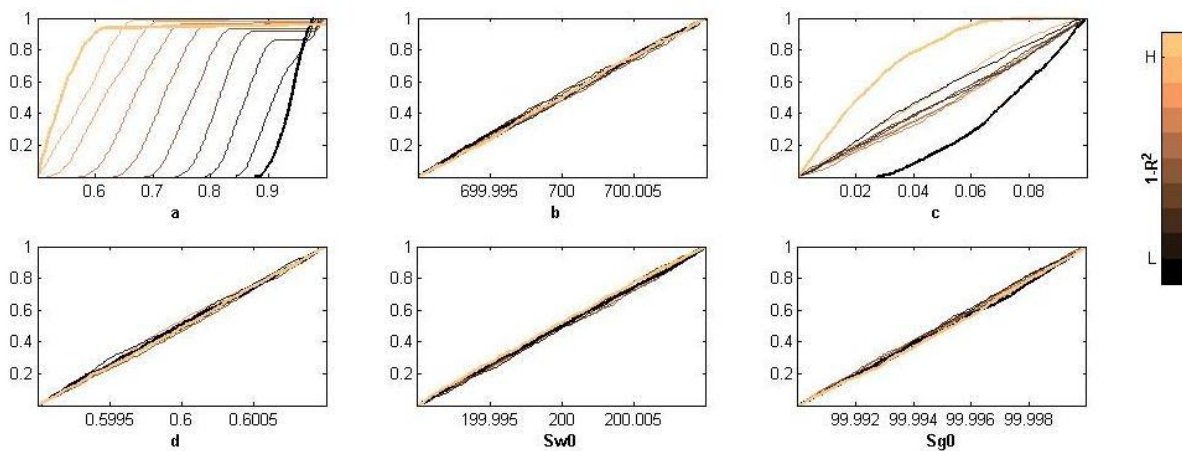


**Figura 4. Diagrama de dispersión para la función objetivo modelo Thomas**

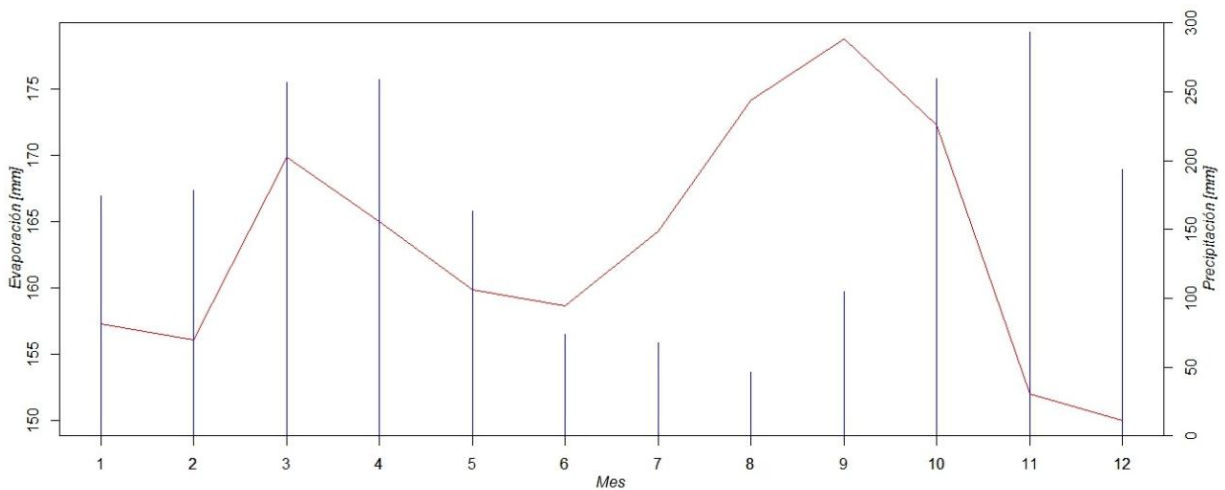
La figura 5 confirma la sensibilidad del parámetro **a** y **c** dentro del modelo pues se observa la no linealidad diagonal, generando que los parámetros restantes, al conservar la linealidad diagonal funcionan sólo como ajuste del modelo y que cualquier combinación de estos lo calibra. La amplitud del parámetro **a**, con un valor cercano a 1, significa que la escorrentía en la cuenca se da antes de la saturación de los suelos, la sensibilidad del parámetro **c**, indica que sólo el valor encontrado es el que calibra el modelo, y éste al ser bajo muestra el poco aporte de agua subterránea al caudal del río, con esto se explica que la cuenca está en un proceso de

desequilibrio, por ahora no de gravedad, pues el balance hídrico actual de la cuenca coincide con las características climáticas de la zona (Figura 6), donde el área generada entre la curva de evaporación y precipitación para el periodo mayo-octubre muestra el desbalance hídrico de la cuenca.

En Tolima, Huila, Valle, Cauca y Nariño, los meses con menor número de eventos lluviosos se presentan hacia mitad de año, en los meses de julio y agosto, el segundo mínimo menos destacado se presenta a principios de año, los meses de mayor frecuencia de días lluviosos, al igual que en la parte central, continúan siendo abril - mayo durante el primer semestre y octubre-noviembre durante el segundo (Costa, et al, 2005c).



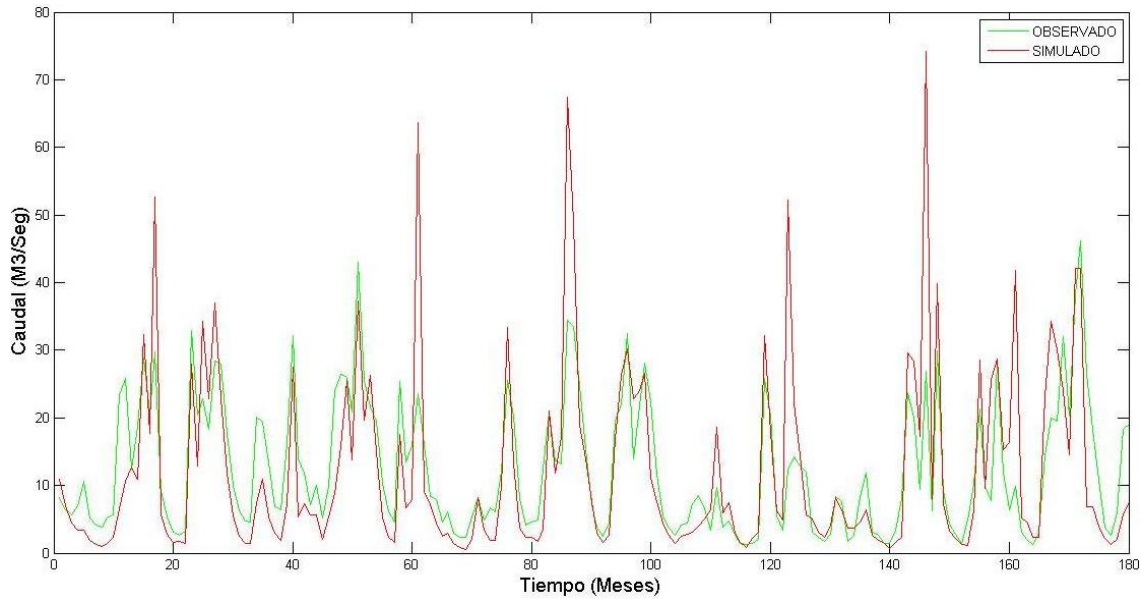
**Figura 5. Análisis de sensibilidad regional de los parámetros del modelo Thomas**



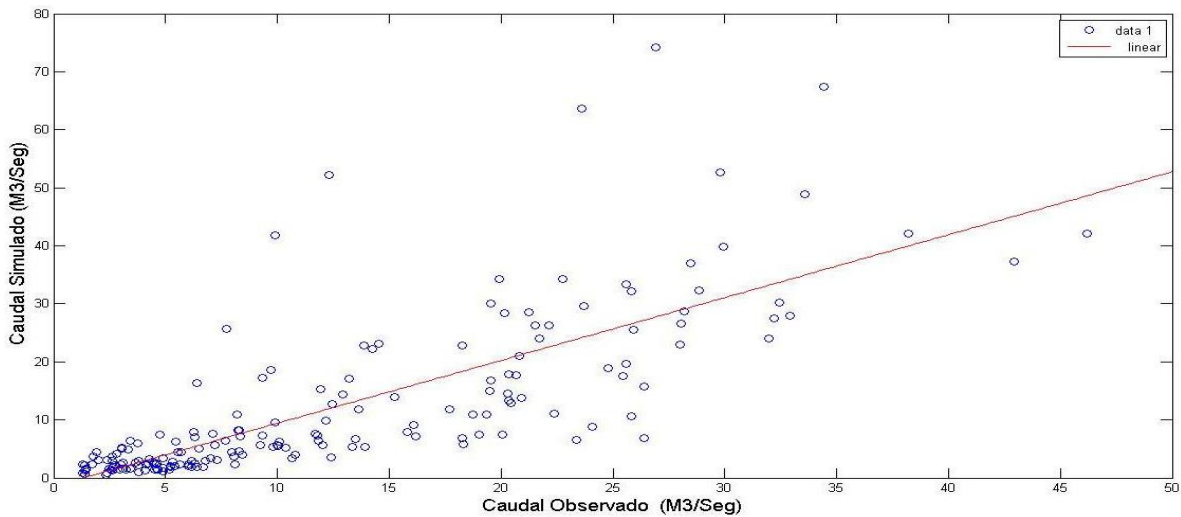
**Figura 6. Balance hídrico anual de la cuenca del río Aipe**

La capacidad de predicción del modelo de Thomas se evidencia en la Figura 7, muestra un ajuste visual y estadístico de buenas características; tiene un coeficiente de correlación de Pearson de

0.7681, indicando que el modelo representa el 76.81 % del proceso hidrológico ocurrido dentro de la cuenca. En la figura 8, la nube de puntos tiene una forma alargada y apunta a una recta ascendente que permite concluir que existe una correlación positiva pero no perfecta



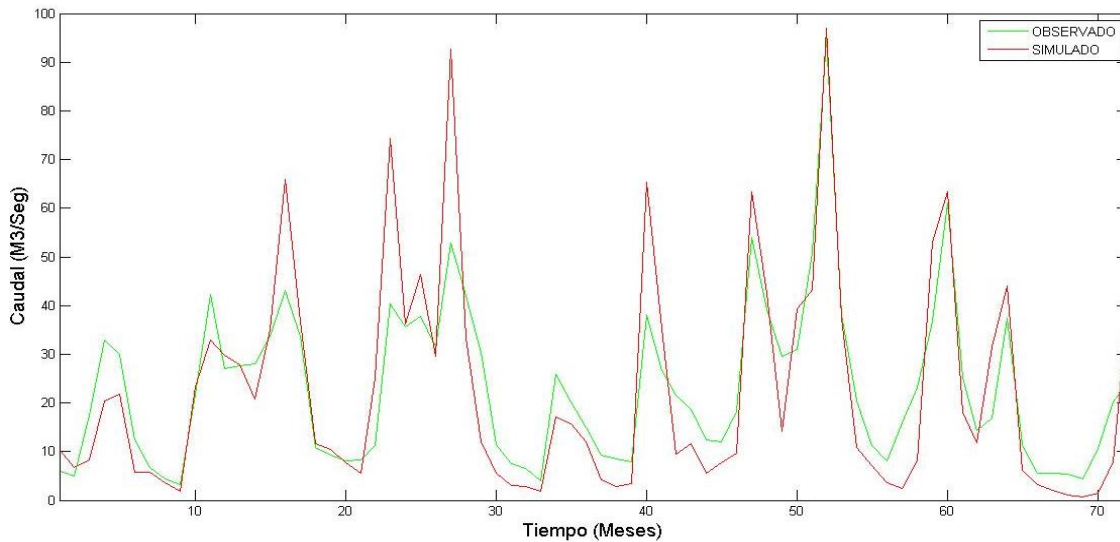
**Figura 7. Caudal Observado Vs Caudal Simulado**



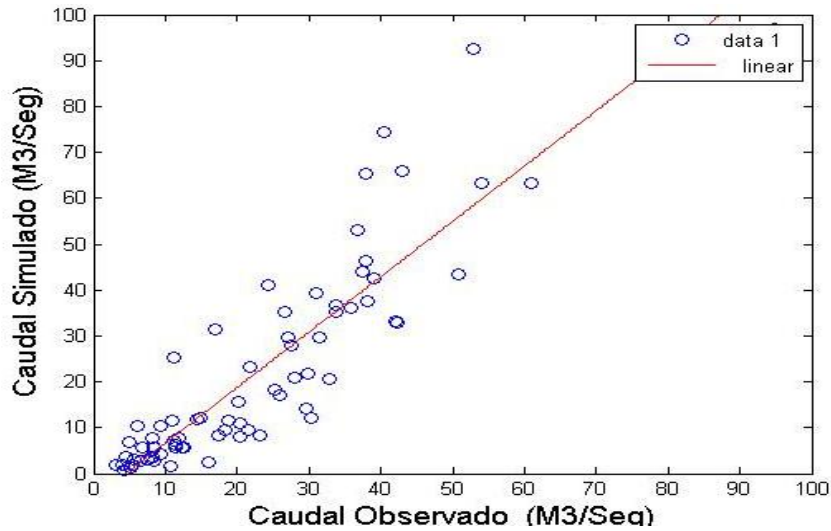
**Figura 8. Diagrama de dispersión Modelo Thomas**

Las figuras 9 y 10 representan la validación del modelo, la función objetivo mostró que éste representa el 89.3 % y visualmente el ajuste de las dos líneas es aceptable. El diagrama de dispersión, al igual que en la calibración, tiene una forma alargada - ascendente y un buen

tamaño en cuanto al grosor, en ese sentido, se confirma la correlación positiva del caudal simulado con respecto al observado y el buen desempeño del modelo.



**Figura 9. Caudal Observado Vs Caudal Simulado -validación del Modelo Thomas**



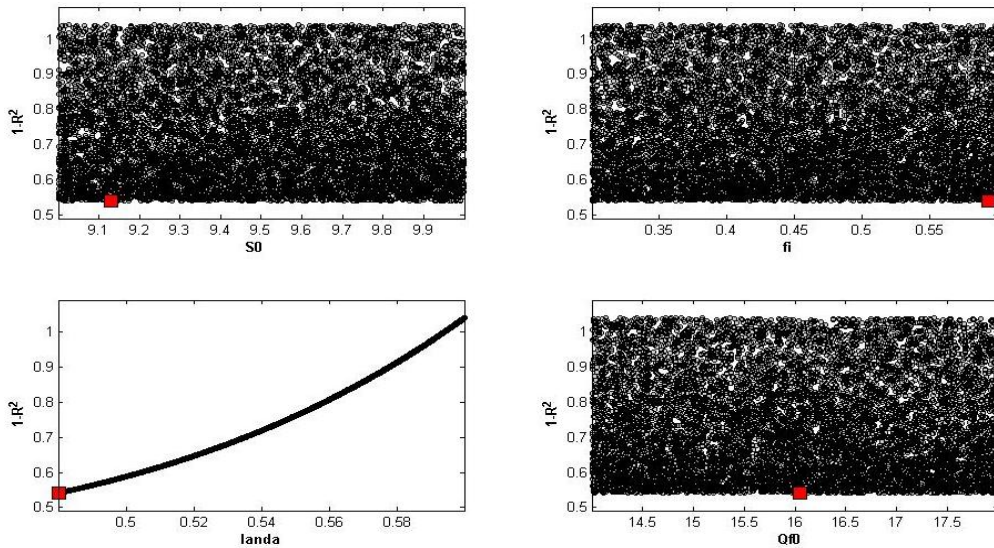
**Figura 10. Diagrama de Dispersión –Validación Modelo Thomas**

**Modelo T Thornthwaite.** En la tabla 9 se presentan los valores óptimos de los parámetros y los valores de la función objetivo del proceso de calibración y validación del modelo T.

**Tabla 9. Valores óptimos de parámetros del modelo Thornthwaite (T)**

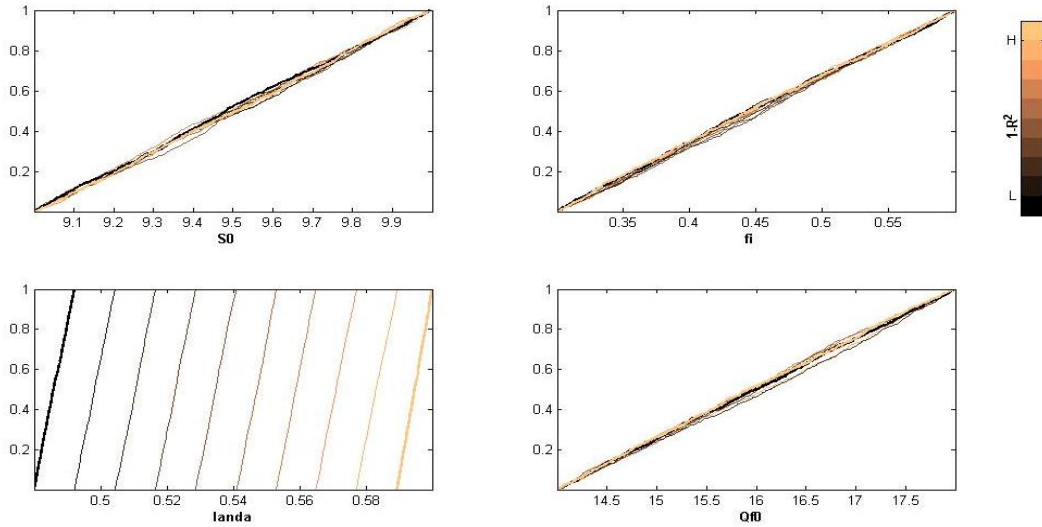
PARÁMETRO			VALOR DE ENTRADA	R <sup>2</sup>	
So	Ø	λ	Qfo	CALIBRACIÓN	VALIDACIÓN
9,1288	0,5927	0,48	16,0508	0,7685	0,8984

Luego del proceso iterativo, el diagrama de dispersión de la función objetivo (Figura 11), mostró que el parámetro  $\lambda$  (landa), es fácilmente identificable y los demás, incluida la condición inicial  $Q_0$ , no lo son, originando que cualquier combinación de estos genere el mismo valor de la función objetivo y calibren el modelo, lo que indica que el modelo tiene alta interdependencia paramétrica, lo que limita la estimación de caudales y hace que se pierda el sentido físico del modelo.



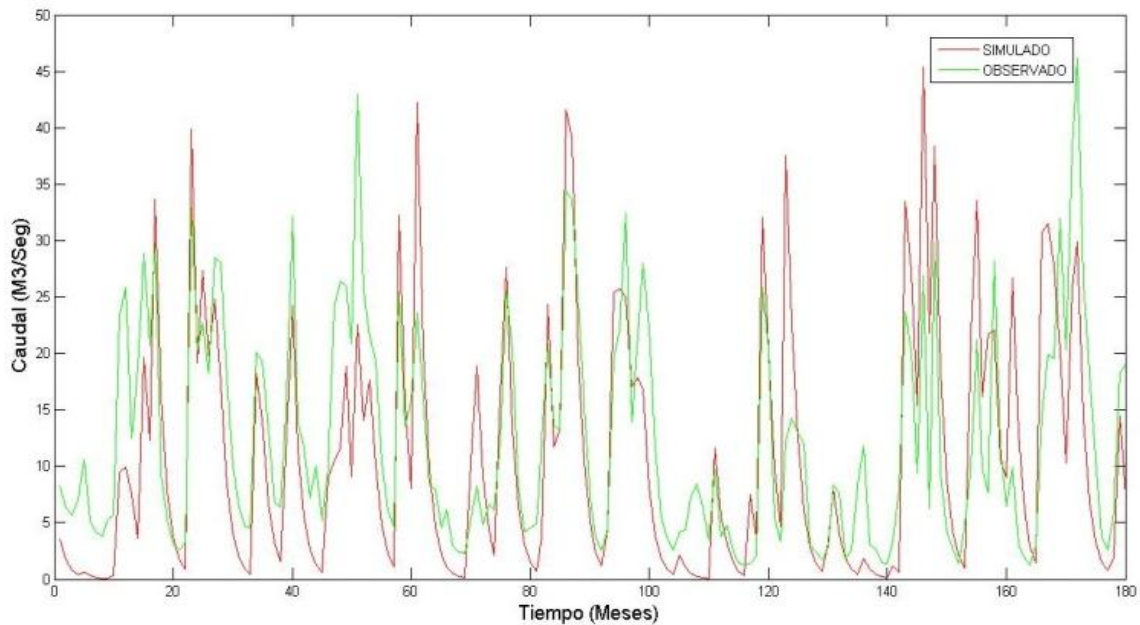
**Figura 11. Diagrama de Dispersión para la función objetivo del modelo T**

En el análisis de sensibilidad regional (Figura 12), se evidencia que el parámetro de mayor sensibilidad en el modelo T es  $\lambda$  por su amplitud, se tiene entonces, que los demás parámetros y la condición inicial presentan una tendencia lineal, por lo tanto no hacen sensibles al modelo.  $\lambda$  representa el factor de exceso de agua subterránea y  $\phi$  ( $f_i$ ), la capacidad de retención, se concluye que hay almacenamiento de agua en la cuenca y se mantiene un equilibrio hídrico (Figura 6).

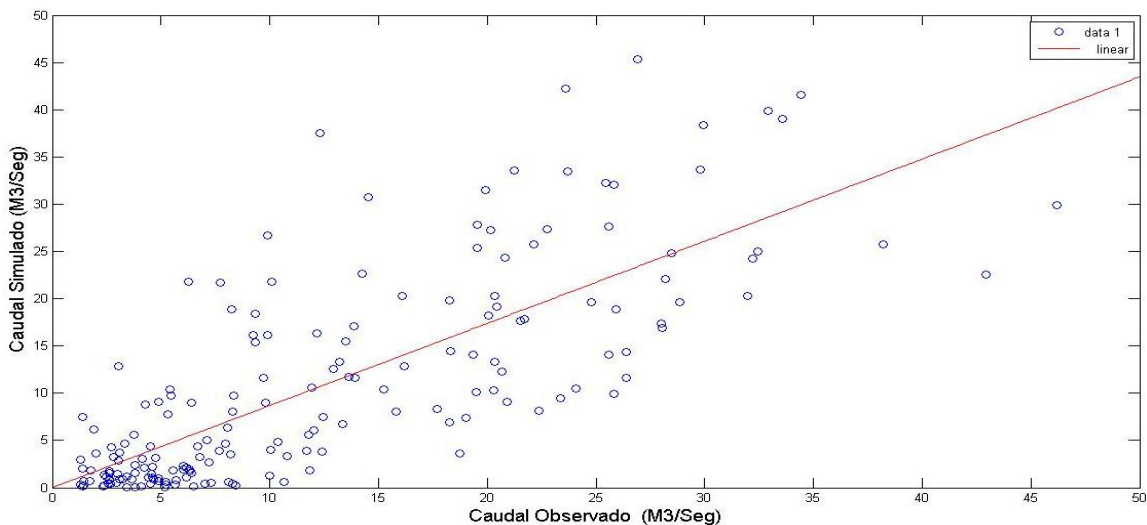


**Figura 12. Análisis de sensibilidad regional del modelo T**

Al momento de la calibración del modelo se realizó el hidrógrama de comparación (Figura 13), para el caudal simulado frente al observado, esta apreciación visual confirma el valor obtenido por la función objetivo de 0.7685, indicando que el modelo bajo los parámetros encontrados representa el 76.85 % del proceso existente en la cuenca, que es disentido con el diagrama de dispersión (Figura 14), que muestra una tendencia lineal positiva.

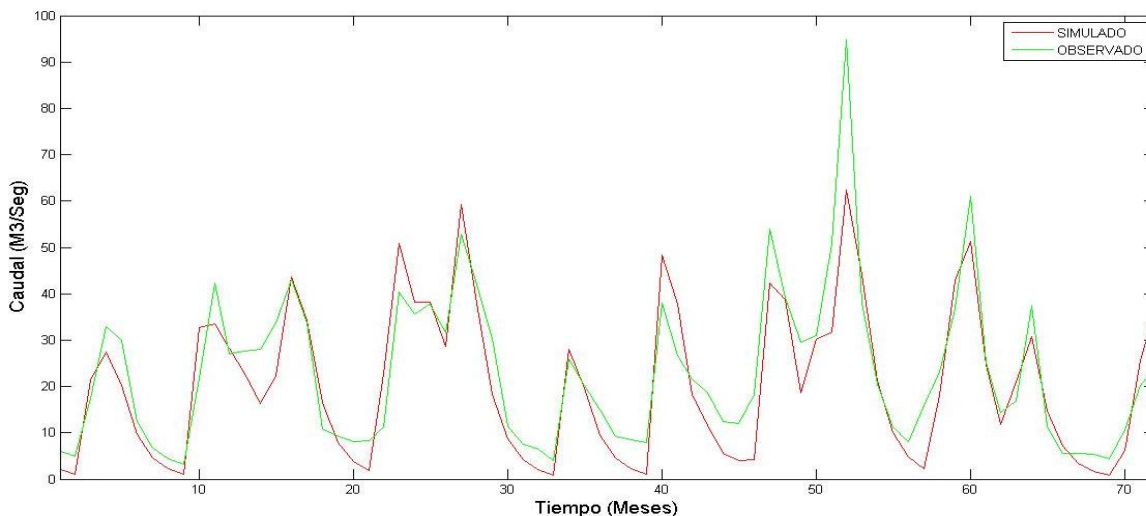


**Figura 13. Caudal Observado Vs Caudal Simulado**



**Figura 14. Diagrama de Dispersión modelo T**

**Validación del modelo T.** Para la validación del modelo T, la función objetivo mostró que representa el 89.84 % de los valores de caudal observados durante el periodo de referencia y visualmente el ajuste de las dos líneas concuerda con el valor dado por el coeficiente de correlación utilizado (Figura 15).

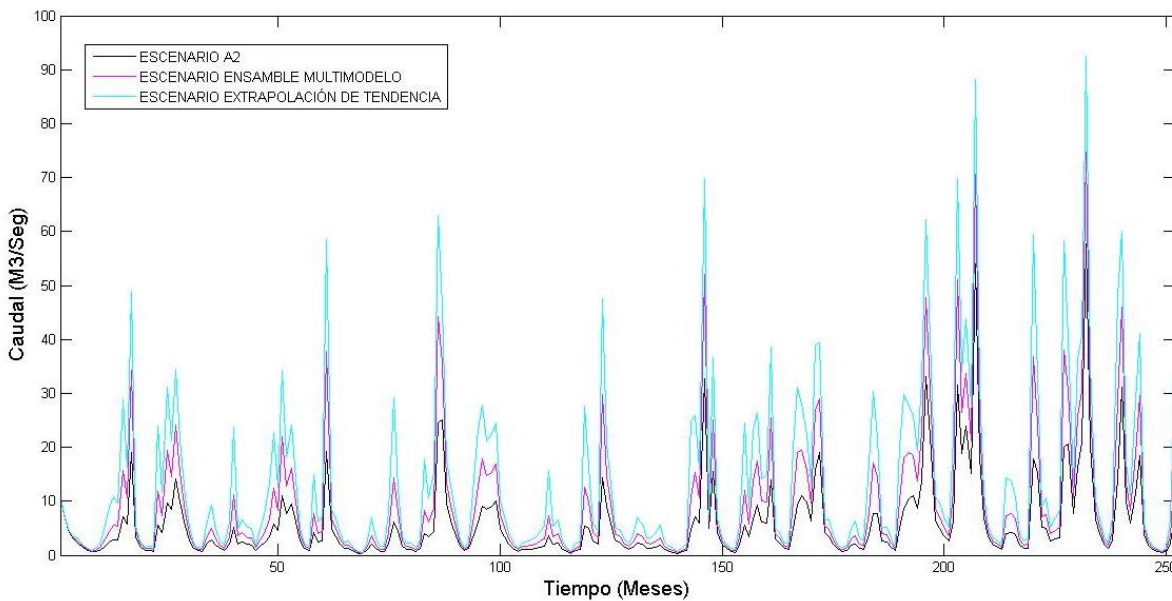


**Figura 15. Caudal Observado Vs Caudal Simulado - Validación del modelo T**

Simulación de la oferta hídrica futura, bajo los tres escenarios de cambio climático. En la tabla 10 se muestra el promedio de la oferta hídrica para el periodo simulado (2013-2033), según cada modelo y escenario, también indica la variación de los mismos respecto al periodo de referencia utilizado para la simulación 2002-2012.

La mayor variación se da con el escenario A2, que es el más pesimista, es decir, se asume que en éste escenario la temperatura aumentaría considerablemente (Tabla 7), la precipitación disminuiría en un 24.5 %, junto a las constantes intervenciones antropogénicas que elevarían la contaminación, razones por las cuales se vería afectada notablemente la oferta hídrica de la cuenca.

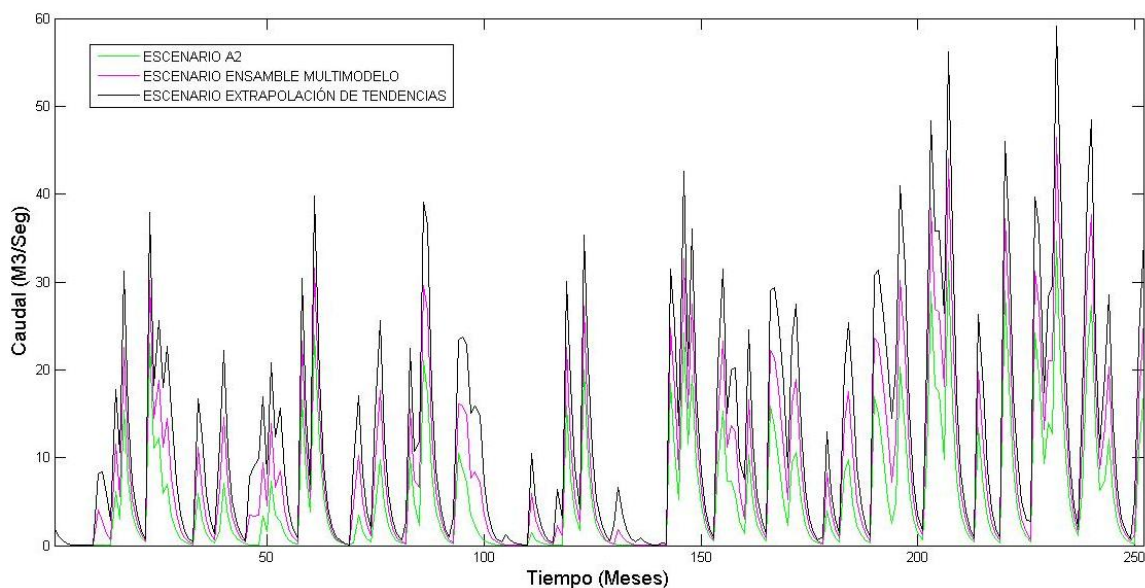
Tomando como base las tendencias del Caudal anteriormente calibrado, la menor variación de caudal se presenta para el escenario de extrapolación de tendencias en el que se espera que las variables climatológicas presenten un comportamiento similar al observado (Tabla 7), la oferta promedio del caudal para los años 2013-2033 sería de 13,797 m<sup>3</sup>/s, es decir disminuirá en un 10,64% y para el escenario ensamble multimodelo que propone una reducción en los valores de las variables climáticas observadas, como se indica en la Tabla 7, la disminución será de 39,47%, durante el periodo simulado (Figura 16).



**Figura 16. Variación del Caudal según los escenarios de Cambio climático**

Simulación de la oferta hídrica según el modelo T. La figura 17 muestra la variación de cada uno de los escenarios para el modelo T y en la tabla 10, se presentan los valores del caudal para los años 2013-2033, se observa que la tendencia en cuanto a disminución del caudal se mantiene, comparados con el modelo Thomas (Tabla 10), pero con el modelo T se observa que el caudal disminuye.





**Figura 17. Oferta hídrica según los escenarios de cambio climático modelados con**

**Tabla 10. Caudal simulado con el modelo Thomas y T según los escenarios de cambio climático**

MODELO THOMAS			
Escenario	Caudal observado en el periodo 2002-2012 (m <sup>3</sup> /s)	Promedio del Caudal Simulado periodo 2013-2033 (m <sup>3</sup> /s)	Reducción respecto al periodo 2002-2012 (%)
A2	15,44	5,774	62,6
Ensamble multimodelo		9,344	39,47
Extrapolación de Tendencias		13,797	10,64
MODELO T			
A2	15,44	5,32	65,52
Ensamble multimodelo		8,57	44,47
Extrapolación de Tendencias		12,41	19,6

## 5.2. Medidas de Adaptación

El plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca del río Aipe, señala que la cuenca suministra el agua para 17 acueductos veredales, más el del casco urbano, abasteciendo a un total de 5025 personas en el área rural y 14696 en la urbana. Siguiendo los lineamientos de la norma RAS 2000, la dotación promedio de agua al día por habitante debe ser de 125 l, esto indica que se estaría generando un consumo de  $2.465.125 \text{ m}^3/\text{día}$ , este consumo comparado frente a la oferta hídrica promedio actual de la cuenca estaría representado un gasto del 0.185 %.

En la cuenca las actividades agropecuarias desarrolladas y de mayor incidencia son la caficultura, el cultivo de arroz, la ganadería y la piscicultura, que también generan una demanda de agua. Cifras del POT de la cuenca estiman que la caficultura abarca un área de 3783 has, para las que se requiere en promedio  $153,62 \text{ m}^3/\text{día}$  por cultivo, representa un 0.012 % de la oferta futura, el área actual para el cultivo de arroz es de 564 has, el caudal necesario para este cultivo es de  $3\text{l/s/ha}$ , la demanda de agua sería de  $146.188 \text{ m}^3/\text{día}$ , representa el 10.96 % de la oferta, por su lado la ganadería que se desarrolla en la cuenca ocupa un área de 9249.6 has, teniendo en cuenta las condiciones de explotación extensiva, la población bovina por hectárea es de un animal, cuyo consumo promedio de agua diario es de  $0.055 \text{ m}^3$ , para un total de  $508.728 \text{ m}^3$ , esto representa el 0.038 % de la oferta hídrica. El consumo de agua para el caso de la piscicultura que tiene un área de 874.2 has, con lagos de 60 cm de profundidad, sería de  $5.245.200 \text{ m}^3/\text{cosecha}$ , para un consumo de  $29140 \text{ m}^3/\text{día}$ , lo que representa un 2.18 % de la oferta hídrica actual.

Teniendo los anteriores indicadores en actividades de caficultura, cultivo de arroz, ganadería, piscicultura y consumo humano, se está empleando en la actualidad el 13.38 % de la oferta hídrica. De acuerdo a la modelación hidrológica realizada para la cuenca, el escenario de cambio climático que mayor afectación le proporcionaría a la oferta hídrica con los dos modelos aplicados sería el escenario A2, lo que trae una reducción promedio del 64.06%, así las cosas, la oferta hídrica futura de la cuenca sería de  $5.547 \text{ m}^3/\text{s}$  es decir  $479260.8 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Basados en lo anterior, el abastecimiento del consumo humano en un futuro representaría el 0.51%, la caficultura el 0.032%, el cultivo de arroz el 30.09%, la ganadería el 0.11% y la piscicultura el 6.08%, para un gasto total de 36.83 % de la oferta hídrica, de cumplirse este escenario, el suministro de agua alcanzaría, pero el desgaste de la cuenca sería muy alto, pues no se está teniendo en cuenta los procesos erosivos que se generan y no se está considerando un aumento en la población, ni el área dedicada a dichas actividades

Teniendo en cuenta estos valores, las actividades que mayor demanda de agua tienen son el cultivo del arroz y la piscicultura, por esto se plantean medidas de adaptación que contribuyan a la preservación del recurso y al desarrollo de las regiones de manera sustentable.

- Crear grupos de investigación y apoyo a los productores con el fin de generar conocimiento técnico; para el caso de los arroceros, se les permita y facilite la utilización de semillas más resistentes al estrés hídrico y que empleen láminas de agua menores a las que se utilizan en la actualidad, que se migre hacia una agricultura de precisión, como lo es una preparación de lotes con nivelación laser que ayude a la reducción del gasto de agua. Realizar estudios que permitan encontrar diferentes métodos de riego que utilicen menos agua y de esta manera contribuir a la conservación del recurso, proponer a los productores cultivos alternativos que para su ciclo vegetativo el requerimiento hídrico sea menor y que aporte a la recuperación de los suelos como por ejemplo el maíz. Hacer seguimiento estricto a los caudales utilizados por los productores mediante instrumentos de medición a la entrada de cada predio, con medidas sancionatorias a aquellos que violenten esos instrumentos y que utilicen más agua de aquella que tienen concesionada.
- En cuanto a la piscicultura los escenarios de cambio climático además de generar una reducción en la oferta hídrica propone aumentos en la temperatura, siendo ésta última de gran importancia dentro de la actividad, es así como se propone cultivar especies que fisiológicamente soporten temperaturas mayores y demandas de oxígeno menores con el fin de utilizar menos cantidad de agua en el proceso de recirculación, proponer ciclos de cosecha durante el año, de esta manera, si en la actualidad se están desarrollando dos cosechas, en un futuro sólo se haga una, pero que al utilizar especies de mayor aguante el nivel de producción sea mayor, y de esta forma permitir una menor utilización del agua en la piscicultura.
- Implementar programas de mantenimiento, conservación y expansión del bosque natural existente en la cuenca, con el fin de convertir estas áreas protegidas en zonas que incidan de manera directa en la producción y conservación del recurso hídrico y a su vez contribuir a la protección de la vida silvestre propia de la zona, a la mitigación de desastres naturales y al fortalecimiento de la capa vegetal que se ha visto afectada por la expansión de la actividad ganadera desarrollada de manera extensiva en la cuenca.
- Implementar jornadas continuas de capacitación a la población residente en la zona, que permita la concientización sobre la problemática generada por el cambio climático. Del mismo modo, dotar las fincas y centros poblados de mecanismos que permitan la disminución de la carga contaminante en las aguas servidas para permitir que la calidad del agua sea óptima para el uso de la población residente en la zona baja y que se logre una reutilización de las aguas río abajo
- Fomentar la facilidad de acceso a líneas de crédito otorgadas por el gobierno local y nacional para la población campesina, con el fin de implementar la producción de alimentos suplementarios por medio de sistema silvopastoriles, y que de esta manera se pueda hacer la transición de una ganadería extensiva a una ganadería estabilizada, considerando que ésta es

una de las actividades con mayor desarrollo en la cuenca y que más ha contribuido a su desgaste y agotamiento.

- Generar motivación en la comunidad para la transición de cercas de alambre a cercas vivas con especies nativas, de esta forma permitir la ampliación de las zonas verdes que contribuyan a la disminución de la presión generada por el pastoreo, además de contribuir a la captación de CO<sub>2</sub>.
- Implementar políticas de control y monitoreo tanto en la oferta como en la demanda del recurso hídrico, a través de la instalación de obras de control en cada concesión dada, de igual manera ampliar la red hidrometeorológica de la cuenca que permita conocer los cambios en cada una de las variables climáticas de la zona, para poder tener instrumentos a la hora de tomar decisiones que contemplen el uso o no del recurso hídrico.
- Establecer políticas que lleven a la planificación mejorada del uso de la tierra con un enfoque de aptitud de los suelos de la cuenca y de esta forma ayudar a cada usuario para el uso eficiente de los recursos; sembrar lo que su parcela está en condición de producir bajo técnicas tradicionales y de conservación del recurso hídrico, para lo que se recomienda utilizar barreras contra vientos, siembra en el sentido de las curvas de nivel y de este modo disminuir las tasas de evapotranspiración y la cantidad de agua utilizada en riego.
- Construcción de sistemas de irrigación a pequeña escala, con su respectiva administración y vigilancia constante por parte de las autoridades pertinentes, que garanticen la buena utilización del recurso, a través de la exigencia como mínimo a cada productor de un estudio agronómico, un cálculo de requerimiento hídrico y una programación de riego establecido para cada una de las etapas del ciclo vegetativo. Todo esto con el apoyo de la administración municipal y con la creación de grupos de profesionales que ofrezcan estas asesorías de manera gratuita al productor.
- Establecer políticas eficaces que permitan una explotación regulada del agua subterránea para que sea utilizada por la población en épocas de sequía y para la producción agrícola en zonas donde los proyectos de irrigación no tengan influencia, basados en que la cuenca tiene un alto potencial hídrico de origen subterráneo.
- Establecer un esquema alternativo que permita el almacenamiento y posterior aprovechamiento de las aguas pluviales generadas en la cuenca durante las épocas de lluvia a lo largo del año.

- Establecer posiciones claras para la no explotación minero energética en la zona, con el ánimo de garantizar la no alteración de las condiciones naturales de la cuenca y la no contaminación del recurso hídrico.
- Establecer programas que conlleven a la preservación de suelos y con esto disminuir la erosión presente hasta el momento en gran parte de la cuenca por el cambio en el uso del suelo, por la actividad agrícola que allí se ha desarrollado de manera descontrolada y artesanal.

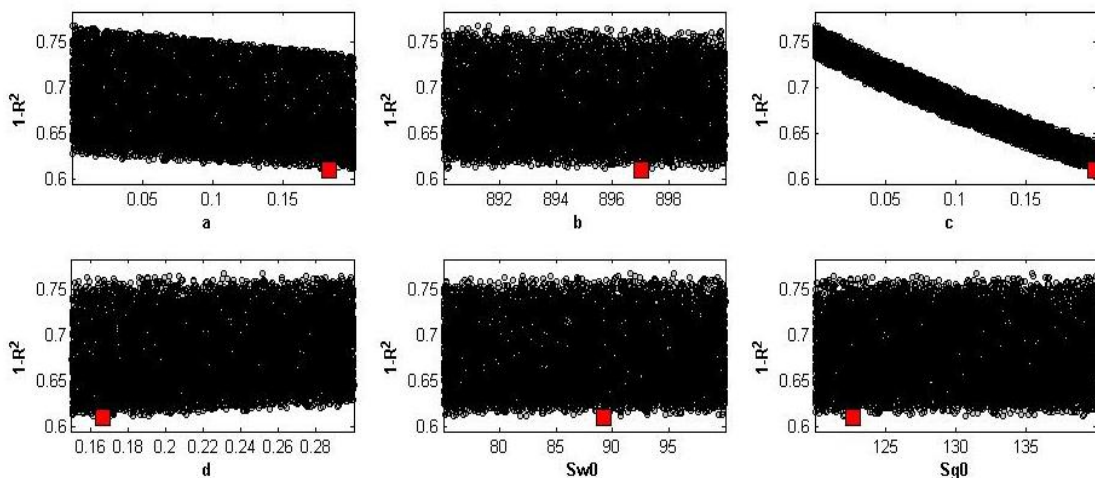
### 5.3 Subcuenca alta del río Íquira

**Calibración.** Los valores óptimos para los parámetros y condiciones iniciales de cada modelo se relacionan en la tabla 11 y también el valor de la correlación entre los datos observados frente a los simulados por los modelos bajo los parámetros encontrados. El análisis de identificabilidad y sensibilidad de cada parámetro se describe a continuación.

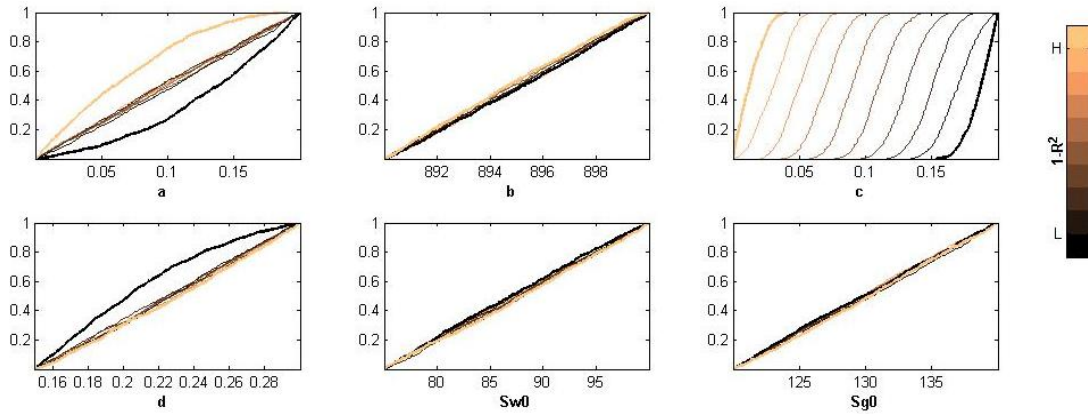
**Tabla 11. Valores Óptimos de Parámetros de los Modelos**

THOMAS							
Parámetro				Condición Inicial		Coeficiente de Correlación $R^2$	
A	b	c	d	Sgo	Swo	Calibración	Validación
0,1821	897.0094	0,1991	0,1664	89.2294	122.6684	0,6566	0,523
THORNTHWAITE							
$\emptyset$	$\lambda$			So	Qfo	Calibración	Validación
5.2868	0.7001			90.4812	17.9512	0.6708	0.5748

**Modelo Thomas.** En la figura 18 se observa que los parámetros a y c son claramente identificables, ya que el valor mínimo encontrado hace que el modelo funcione óptimamente para las condiciones del sistema, esto permite deducir que los parámetros son altamente sensibles (Figura 19), dentro del modelo y cualquier variación en su valor, harían modificar de manera drástica los resultados obtenidos. Los parámetros restantes y las condiciones iniciales tienen un efecto de parametrización del modelo ya que no son claramente identificables, ni hacen sensible al modelo, cualquier valor que se le dé a éstos va a permitir una calibración del modelo y no afectarían los resultados obtenidos.

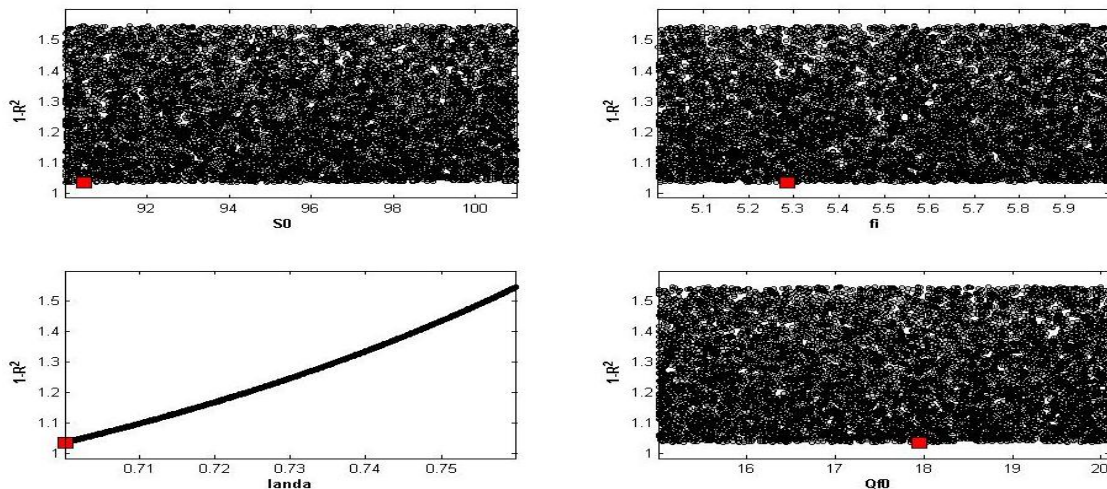


**Figura 18. Diagrama de dispersión para la función objetivo del modelo Thomas**



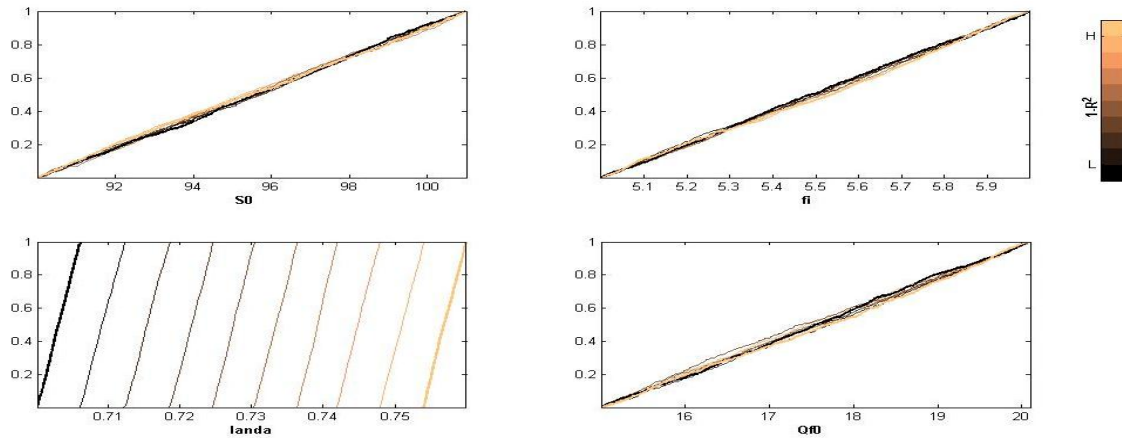
**Figura 19. Análisis de sensibilidad regional de los parámetros del modelo Thomas**

**Modelo Thornthwaite.** Para el modelo T, la Figura 20 muestra como parámetro claramente identificable a  $\lambda$  (landa), que representa la escorrentía proveniente del agua subterránea, dado que presenta un valor mínimo, que al ser entregado al modelo, este funciona de manera óptima. El parámetro  $\emptyset$  ( $\phi_i$ ), y las condiciones iniciales del modelo funcionan sólo como parámetros de ajuste, pues cualquier combinación de valores dados permitiría la calibración del modelo.



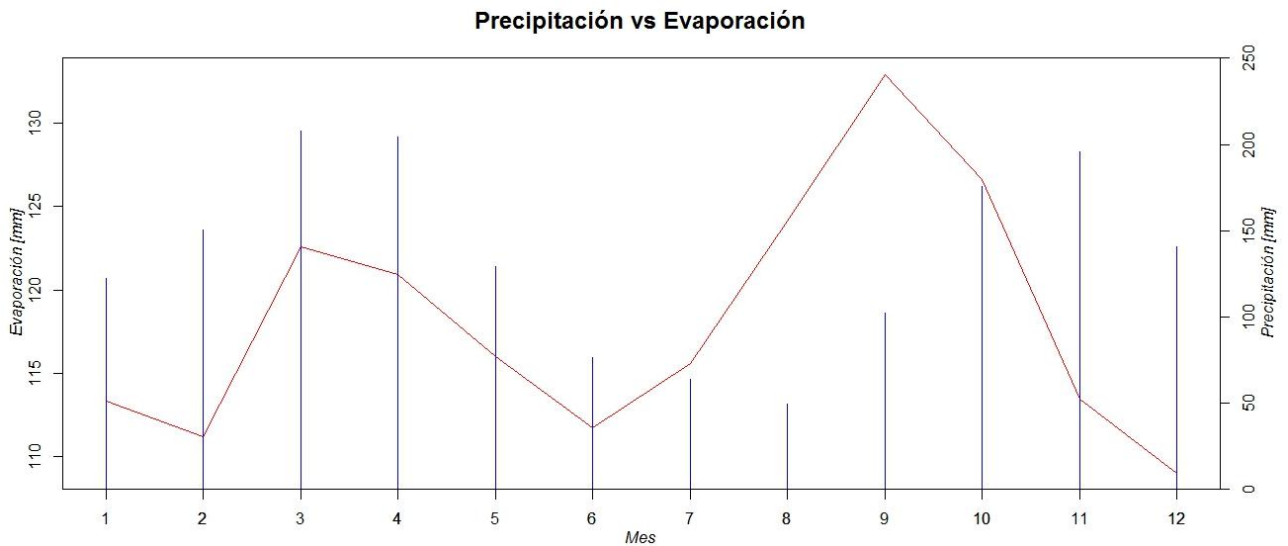
**Figura 20. Diagrama de dispersión para la función objetivo modelo T**

En la Figura 21, el parámetro  $\lambda$  conserva su característica de identificabilidad y sensibilidad, como también el parámetro  $\emptyset$  y las condiciones iniciales mantienen su bajo nivel de identificabilidad y sensibilidad, pues su tendencia lineal lo confirma, es así, que al realizar una variación por pequeña que sea en el valor encontrado para landa incorporaría un error considerable en los datos entregados por el modelo al momento de su aplicación.



**Figura 21. Análisis de sensibilidad regional del modelo T**

En el caso de la subcuenca alta del río Íquira, la aplicación de los dos modelos hidrológicos mostró un común denominador, el parámetro que presentó mayor sensibilidad en estos es el que representa la escorrentía proveniente del agua subterránea, lo que es buen indicador y permite concluir que la cuenca aún conserva buenas condiciones hidrológicas, pues es de esperar que almacene agua en épocas de lluvia para aportarla en épocas de verano, esto se confirma con el balance hídrico de la misma, como lo muestra la Figura 22, donde se observa que la mayor tasa de evaporación se da en el periodo julio- septiembre, lo que concuerda con el periodo seco que se tiene en cuanto lluvias para el país.

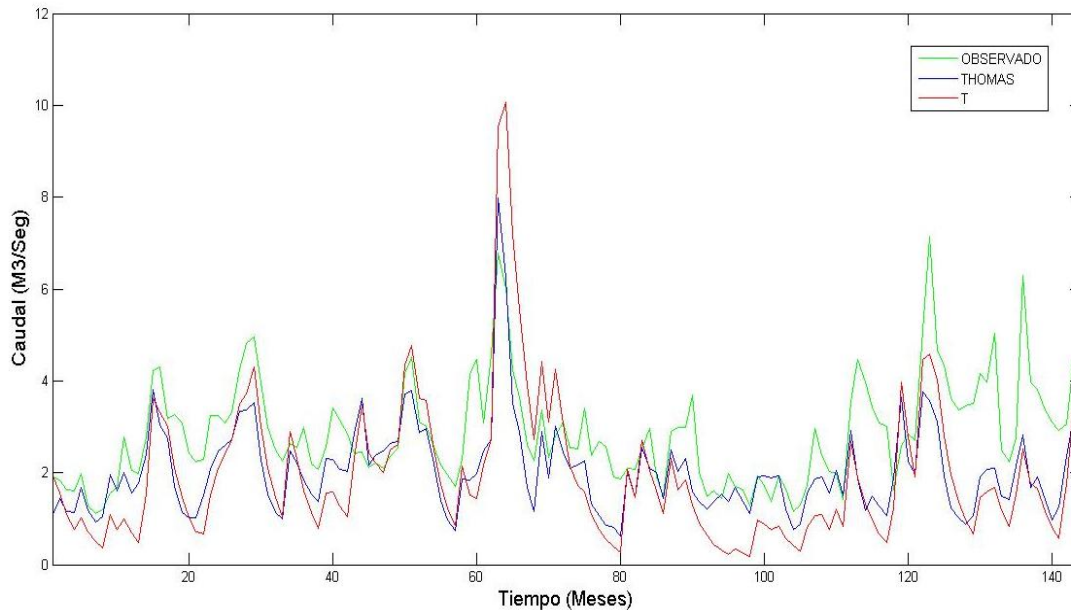


**Figura 22. Balance Hídrico Anual de la Subcuenca Alta del río Íquira**

**Comparación del hidrógrama observado con el simulado.** La Figura 23 muestra la comparación del hidrógrama generado por los datos observados y los datos simulados por los modelos hidrológicos utilizados en el trabajo, de esta manera se considera que los caudales

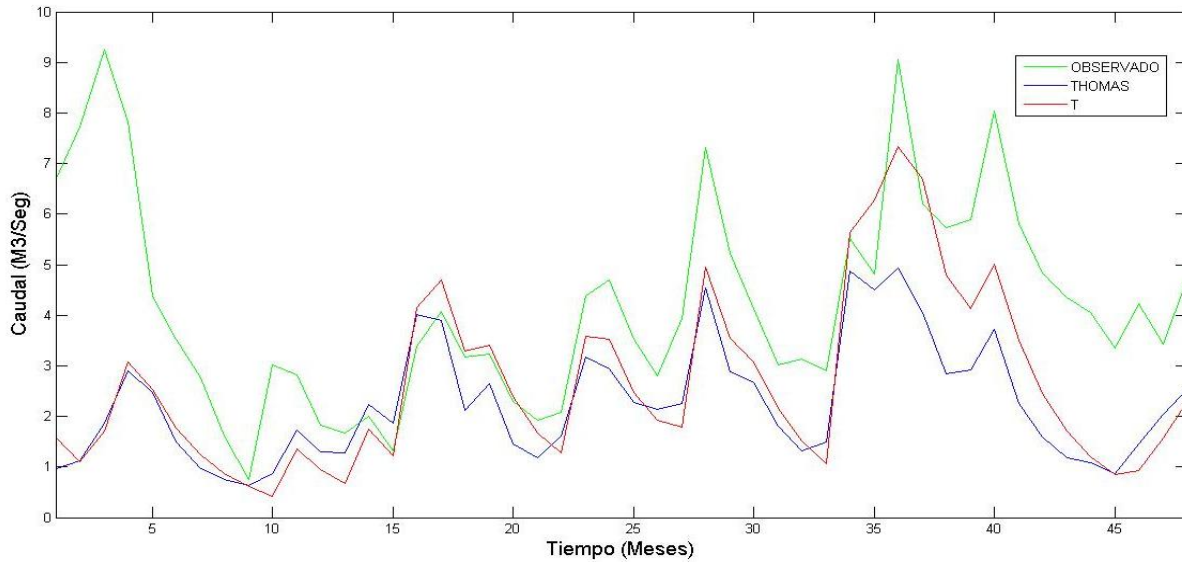


simulados por los modelos son muy próximos a los observados, lo que permitió un ajuste muy cercano a lo observado, queda claro que los modelos representan las condiciones del sistema, y se respalda con un Coeficiente de Correlación de Pearson de 0.65 para Thomas y de 0.67 para Thormwaite, que indican una relación positiva fuerte (Tabla 6), entre los caudales observados y simulados por los dos modelos.



**Figura 23. Caudal Observado Vs Caudal Simulado - Calibración del Modelo Thomas y T**

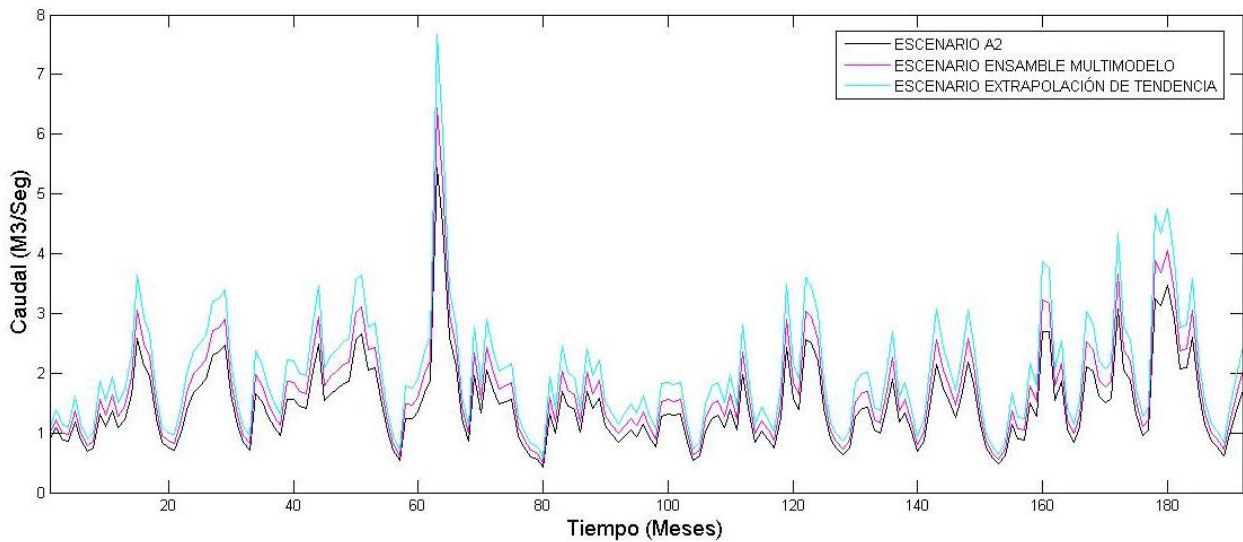
**Validación.** En este proceso, al igual que en la calibración, se comparó el ajuste de los hidrógramas dados por los modelos con respecto al generado por los datos observados en la cuenca, en la Figura 24 se observa que el ajuste en este caso, visual y estadísticamente desmejoró de manera considerable respecto a la calibración, apreciando que los valores pico no lograron ser representados por los modelos, esto coincide con el coeficiente de correlación que fue de 0.52 para Thomas y de 0.57 para T, dicha circunstancia se debe a que los datos utilizados para la validación corresponden al periodo 2009-2012, el año 2009 en su primer semestre venía influenciado por el Fenómeno de la Niña ocurrido en el año 2008, de ahí su respuesta hidrológica con caudales atípicos, ocurrió lo mismo en el 2012, igualmente afectado por el fenómeno y donde también se observan picos muy elevados.



**Figura 24. Validación del Modelo Thomas y T- Caudal Observado Vs Caudal Simulado**

**Simulación de la oferta hídrica.**

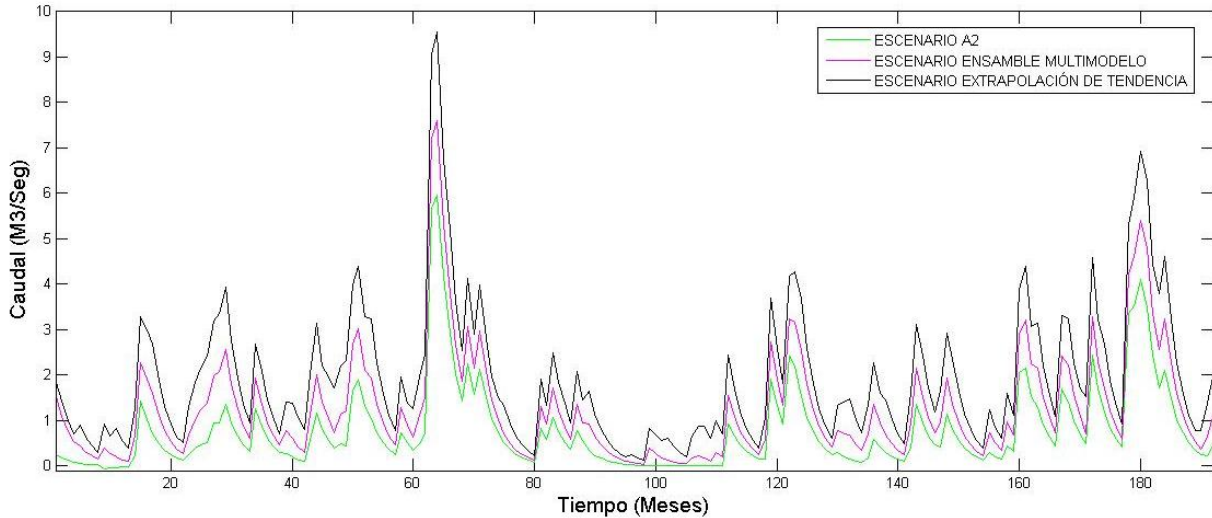
**Modelo hidrológico Thomas.** La oferta hídrica promedio de la subcuenca alta del río Íquira, estimada por el modelo hidrológico de Thomas, estará reducida en un 54.45% bajo el escenario A2, siendo éste el escenario más pesimista de los tres que se utilizaron en el estudio (Tabla 7). Los valores de la oferta hídrica promedio estimada bajo los escenarios de cambio climático se muestran en la Tabla 12 y los hidrogramas generados se exponen en la Figura 25.



**Figura 25. Variación del Caudal según el modelo hidrológico Thomas**

## Modelo hidrológico Thornthwaite

Con el modelo T, la oferta hídrica promedio se verá afectada en mayor proporción bajo los mismos escenarios de cambio climático, pues este tiene una poca robustez frente al modelo Thomas, los valores de la oferta hídrica promedio y los porcentajes de reducción frente a los caudales observados se muestran en la Tabla 12, en la figura 26 se muestran los hidrogramas del caudal futuro.



**Figura 26. Oferta Hídrica según los escenarios de cambio climático modelados con T**

**Tabla 12. Caudal simulado con el modelo Thomas y T según los escenarios de cambio climático**

MODELO THOMAS			
Escenario	Caudal Observado (m <sup>3</sup> /s)	Promedio del Caudal Simulado (m <sup>3</sup> /s)	Reducción (%)
A2	3.2	1.46	54.45
Ensamble multimodelo		1.71	46.53
Extrapolación de Tendencias		2.02	37.07
MODELO T			
A2	3.2	0.77	76.12
Ensamble multimodelo		1.26	60.73
Extrapolación de Tendencias		1.92	40.09

### 5.3. Medidas de Adaptación

Muchas fuentes hídricas en el departamento del Huila presentan problemas de deterioro y agotamiento, ocasionados por las dinámicas de la población y de los efectos en el cambio climático. Por su parte, la subcuenca Alta del río Íquira enfrenta procesos de desequilibrio ecológico muy marcados, debido principalmente a la deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, quemas, contaminación por pesticidas, construcción de infraestructura y la acelerada expansión de colonos hacia la zona boscosa y de preservación de la cuenca.

Las anteriores actividades generan efectos ambientales notorios dentro de los que se destaca la modificación fisicoquímica del suelo, el deterioro y disminución del recurso hídrico generado por los cuerpos de agua, ocasionando la disminución considerable en la calidad de vida de la población y afectando de manera directa la flora y fauna de la región. En ese sentido es necesario y urgente implementar medidas de adaptación que nos permitan mitigar los impactos nocivos, así como la conservación del agua en la subcuenca alta del río Íquira,

- Implementar programas de reforestación y compra de predios de la parte alta, que hayan sido intervenidos para el desarrollo de actividades agrícolas, con el propósito de convertir estos predios en reservas naturales. Se recomienda que la reforestación se haga con especies nativas como palma de cera, pino romerón, nogal, cedro, roble, higuerón y cordillero, que permitan recuperar el equilibrio del ecosistema y mantener el recurso hídrico como eje fundamental para el desarrollo de la economía.
- Hacer una planeación estratégica que permita el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos renovables y no renovables.
- Generar estrategias de inclusión laboral de la población rural con bajos ingresos económicos, en proyectos como familia guardabosques, grupos de conservación del territorio, con el fin de mejorar la calidad de vida y de esta manera contribuir con la economía y la preservación del recurso hídrico.
- Incentivar programas alternativos que lleven a la sustitución de cultivos ilícitos presentes en la zona, implementando estrategias como la retribución económica a aquellas familias que se vean afectadas por la sustitución, de tal forma que se logre erradicar una de las fuentes de mayor contaminación del ambiente, el agua y la degradación de los suelos.
- Hacer seguimiento y control para el cumplimiento de la normatividad de ronda de río donde se establece la conservación de zona boscosa de hasta 30 m a partir de la cota máxima de inundación, esto con el fin de evitar la deforestación cerca del cauce.

- Incentivar en los productores el uso de materiales no convencionales para las actividades del diario vivir de las personas de la región; tales como el uso de madera plástica para cercas, postes. y con esto disminuir la tala de bosques naturales para ser utilizados en esta actividad.
- Generar planes de capacitación y desarrollo de sistema silvopastoriles por parte de los agricultores, con leguminosas que se destacan por el aporte de nitrógeno al suelo y su alto poder nutricional, con el fin de contribuir al aumento de la productividad y la disminución de la ganadería extensiva.
- Diseñar políticas o programas que conlleven a la utilización de combustibles alternos a la leña que se emplea en los hogares para la preparación de los alimentos, pues la utilización de este recurso natural es uno de los principales factores de deforestación, problema que afecta drásticamente el recurso hídrico.
- Generar vigilancia permanente en los acueductos existentes y futuros para que cumplan con las normas establecidas para su funcionamiento, deben garantizar según la resolución 2320 de 2009 un porcentaje de pérdidas técnicas inferior al 25%, que deberá ser disminuido al 10% o 5% en función de la reducción de caudal estimada frente a cada escenario de cambio climático, para tal fin los acueductos deberán establecer válvulas medidoras de caudal sobre toda la red de conducción para identificar posibles fugas. Igualmente el agua otorgada a los usuarios de dichos acueductos deberá ser utilizada exclusivamente en actividades propias de uso doméstico y consumo humano y no para otras actividades de tipo recreacional o agrícola, el empleo de micro medidores en cada una de las casas beneficiadas deberá ser prioritario, implementando la tasa retributiva por uso y consumo del recurso hídrico que controlan el agua a utilizar y los pagos.
- Creación de distritos de riego a pequeña escala, que permitan hacer uso racional y controlado del recurso.
- Realizar alianzas con grupos de investigación a nivel local y nacional, que conlleven a la realización de proyectos de investigación encaminados al control y manejo de los recursos hídricos de la cuenca y que nos permita tomar decisiones basados en estudios actuales.
- Ya que Íquira no cuenta con PTAR, se recomienda hacer reutilización efectiva del recurso hídrico, retirando la carga contaminante, de tal forma que pueda ser reutilizada en actividades agrícolas o industriales.

## 6 CONCLUSIONES

### 6.1 Cuenca del río Aipe

- Los modelos hidrológicos utilizados para el estudio del río Aipe se ajustaron a las características de la cuenca, los dos representaron el 76,8% del comportamiento hidrológico actual de la cuenca, en el proceso de calibración, dejando de lado la física del modelo, pues el parámetro que hizo más sensible cada modelo fue el de la escorrentía superficial y subterránea.
- La mayor reducción de caudal en la cuenca se presentó bajo el modelo A2, que es el más pesimista para el modelo Thomas y T, con una disminución del 62,6% y 65,56% respectivamente con respecto al caudal promedio del periodo de referencia 1992-2012.
- El escenario extrapolación de tendencias fue el que mejores resultados ofreció en cuanto a reducción de la oferta hídrica, pues su disminución fue de 10.64% y del 19.6% con los modelos Thomas y T respectivamente.
- El escenario ensamble multimodelo conservó la línea bajo la que fue creado, pues se mantiene en un nivel medio con respecto a la reducción estimada por los otros escenarios, la reducción fue de 39.47% y 44.47% con los modelos Thomas y T respectivamente.
- El modelo T con respecto al modelo Thomas mostró una mayor reducción en la oferta hídrica promedio bajo los tres escenarios, teniendo 5.63% más de reducción, esto por su física, pues deja más parámetros al azar.
- Las actividades que incluyan el uso de agua, deben ir encaminadas a un eje sostenible, pues la actividad antrópica en la cuenca es la principal fuente de deterioro del recurso hídrico, se proponen entonces medidas de adaptación que permitan la mitigación de los problemas que lo están afectando.

## 6.2 Subcuenca alta del río Íquira

- Analizando los hidrogramas de calibración de los modelos frente a los datos observados y teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación fue superior a 0.65, se concluye que los modelos propuestos para el análisis de la oferta hídrica futura de la sub cuenca alta del río Íquira representan el proceso hidrológico de la misma.
- En el modelo de Thomas, los parámetros que generan sensibilidad representan la tendencia a la escorrentía superficial y la escorrentía proveniente del agua subterránea **a** y **c** respectivamente.
- Para el modelo T, la confiabilidad de los datos arrojados depende del parámetro **landa**, debido a su sensibilidad, pues cualquier modificación del valor encontrado genera datos erróneos.
- Se encontró que para la subcuenca alta del río Íquira, el común denominador entre los modelos aplicados, son los relacionados con la escorrentía proveniente del agua subterránea, por su fácil identificabilidad y sensibilidad mostrada en el proceso de calibración; se concluye que el aporte de agua subterránea al caudal base del río es alto.
- La tendencia a cero del parámetro **a** del modelo Thomas, 0.1821, que representa la tendencia a la escorrentía superficial antes de la saturación, confirma la relación entre la baja densidad de drenaje  $0.2957 \text{ km/km}^2$  y la permeabilidad de los suelos existentes en la cuenca.
- El modelo Thomas arrojó una reducción en la oferta hídrica promedio futura para el periodo 2013-2028 del 54.45% bajo el escenario A2, del 46.53 % con el escenario ensamble multimodelo y del 37.07 % con extrapolación de tendencias.
- La oferta hídrica futura para el periodo 2013-2028 con el modelo T, tiene una reducción del 76.12% con el escenario A2, el escenario ensamble multimodelo muestra una reducción del 60.73 % y por último el escenario extrapolación de tendencia presenta la menor reducción el 40.09%. siendo este el modelo que muestra una mayor reducción en la oferta hídrica futura
- Íquira es uno de los cinco municipios con mayor índice de deforestación durante el periodo 2005-2010, la reducción del recurso hídrico será de un 76.12% con el escenario A2, de continuar con esta tendencia la evolución hacia dicho escenario sería mayor, se

recomienda entonces ampliar las medidas para mitigar el problema, motivando la reforestación en las zonas más afectadas del municipio y un mejor uso del suelo.

- La sensibilización hacia los cultivadores debe ser prioridad para la conservación del suelo, debido a que uno de los mayores problemas en la cuenca es por la falta de capacitación técnica en el manejo de las coberturas y el suelo.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acebo, L. H., Mamadou, B. K., & Canalejo, C. A. (1999). Modelación hidrológica en la cuenca alta del Río Ega. *Ingeniería del Agua*. Vol.6 Num.3, 241-250.
- Acosta, V. A., & Kucharsky, L. O. (2012). *Estudio edafológico y de cobertura , para la modelación hidrológica con el modelo SWAT ,de la microcuenca Santa Ines , Honduras*. Zamorano, Honduras, 1-42.
- Acuerdo Municipal. No. 001. (2012-2015). *Por el cual se adopta el plan de desarrollo económico y de obras públicas para el municipio de Aipe*. Aipe.
- USSAID. (2013). En Aileg Project *Información Final: Estimación del efecto del cambio climático sobre la cuantificación del recurso hídrico , en la cuenca del Río Suaza , tributario del río Magdalena*. Suaza. Huila.
- Arango, C., Dorado, J., D., G., & Ruiz, J. F. (2010). Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente .Ideam.
- Beltran, J. (1998). Propuesta de Ordenamiento y Manejo Ambiental del norte del Huila. . *Diagnóstico ambiental de la subcuenca del Rio Aipe*. Vol III, 31- 104.
- Benavides-Solorio, J. d., Gonzalez-Guillén, M. d., Cristopher, L. P., & Valdez-lazalde, R. (2008). Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa Jalisco orientada hacia losm servicios ambientales. *Madera y Bosques* , 5-38.
- Beven, K. J., & Binley, A. (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertany prediction. *Hydrological Pocess*, 279-299.
- Bustamante, O. R. (2008). *calibración y validación del modelo hec – hms, en la cuenca de Huechún, Región Metropolitana*. Talca-Chile: Universidad de Talca, 1- 250.
- CAM. (2007-2011). Proyecto 2:3 EN: Protección y Recuperación de Cuencas Hidrográficas y Administración del Recurso Hídrico. *Programas estratégicos.*, 6.
- CAM, C. A. (2014). *Análisis de vulnerabilidad al cambio climático Huila 2050*. Neiva, Huila.
- CAM, C. d. (2010). *Plan de ordeanacion y manejo de l acuenca hidrográfica del río Yaguará*. Yaguará.
- Cardenas, Á. M. (2008). *Convalidación del modelo matemático Thomas y Fering en las estaciones de aforo : Guaduelero , Tobia y charco Largo: en la corriente del río Negro en el departamento de Cundinamarca*.Universidad Grna Colombia Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C, 1-75

- Casimiro, W., Labat, D., Guyot, J. L., Adoin-Bardin, S., & Ordoñez, J. j. (2011). Modelos de balance hídrico mensual en la cuenca hidrográfica del Amazonas en Perú: cuenca del río Ucayali. *revista peruana geo-atmosférica rpga*, 82-94. Perú
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada (1ª ed.)*. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia, 9-14
- Correa, A. M., & Catañeda, C. H. (2005). *Implementacion del modelo Thomas para el balance hidrico empleando la herramienta computacional HidroSIG-Java*. Bogotá, 9-175
- Costa, P. C., & Henríquez, D. M. (2005)a. Segunda Parte, Distribución espacio temaporal de las variables del clima. *Atlas Climatologico Regional*. Bogotá , p 9.
- Costa, P. C., & Henríquez, D. M. (2005)b. Segunda Parte, Distribución espacio temaporal de las variables del clima. *Atlas Climatologico Regional*. Bogotá , p 79.
- Costa, P. C., & Henríquez, D. M. (2005)c. Segunda Parte, Distribución espacio temaporal de las variables del clima. *Atlas Climatologico Regional*. Bogotá , p 10.13.
- Cuesta, M. J. (2001). Dinamica Erosiva en los Paisajes de la Cuenca del Rio Guadajoz ( Cordoba y Jalén). Cordoba . *Servicios de Publicaciones de la Universidad de Cordova*, 226.
- Dominguez, E. A. (2000). protocolo para la modelacion matematica de procesos hidrológicos. 1-6.
- Estrada, S. V., & Pacheco, M. R. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental L, VOL. XXXIII*, 94-105.
- Forero, Y. J. (2012). *formulacion del plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca hidrografica de los rios aipe y bache del municipio de aipe – huila*”. Aipe-Huila.
- Giorgi, F. (2008). Regionalización de la información sobre el cambio climático para la evaluación de impactos y la adaptación a los mismos. *boletin de la OMM* .
- Gonzales, P. C. (2008). *Convalidación del modelo matemático de Thomas y Fiering para las estaciones de aforos Noanamá y El Salado en el río san Juan en Colombia*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia, 3-58
- Aguas del Huila (2014). *Programa de aguas para la prosperidad. Plan departamental de Aguas-Huila*. Neiva-Huila.
- IPCC, G. I. (2000). Escenario de Emisiones. *Informe especial de IPCC*, 8.
- Íquira, A. M. (2000- 2009). *Esquema de Ordenamiento Territorial Íquira Huila*. Iquira.

- Iquirá, C. m. (2012). *Plan de desarrollo del municipio de Iquirá-Huila 2012-2015, "por un Iquirá organizado, comunitario y Productivo"*. Iquirá.
- Jiang T., Chen Y D., Xu C., Chen X., Vijay P. Singh (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journals of Hydrology*, 316- 333.
- Lahura, E. (2003). *el coeficiente de correlación y correlaciones espúreas* . Peru.
- Lema, C. M., & Plaza, Q. v. (2009). *Modelación hidrológica de la cuenca (alta y media) del río pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP*. Quito: Escuela Politecnica Nacional, 1-206.
- Londoño, A. C. (2001). *cuencas hidrográficas: bases conceptuales - caracterización-planificación - administración*. Ibagué-Tolima.
- López, O. L. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*. Manizales, 1-51
- Maraux F., & Bruno, R. (1990). *La simulación del balance hídrico*. Nicaragua, p31
- Minambiente (2010). *Politica Nacional para la gestión del recurso Hídrico*. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C.
- Minambiente (2004). *Resolución 865*. Bogotá, 9-11.
- Mosquera, M. C. (2009). *Convalidación del modelo matemático de thomas y fiering, para extender las series de caudales medios mensuales del río atrato, por medio de datos de las estaciones de aforos de Bellavista, belen y san antonio de Padua*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia, 1-96.
- Múnera, J. C., & Francés, F. (2005). *Integración del modelo TETIS en el sistema de alarma temprana DELFT FEWS para predicción de avenidas en tiempo real en algunas cuencas de la C.H. del Júcar*. España: Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- Muñoz, H. M., Vélez, J. L., Arango, D., & Parra, D. F. (2007). modelación hidrológica e hidráulica aplicada. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 27-37.
- Naranjo, Y. L. (2011). *Estudio Comparativo de modelos multiparamétricos de balance Hídrico a nivel Mensual, en cuencas Hidrográficas de Cundinamarca y Valle del Cauca*. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería civil.

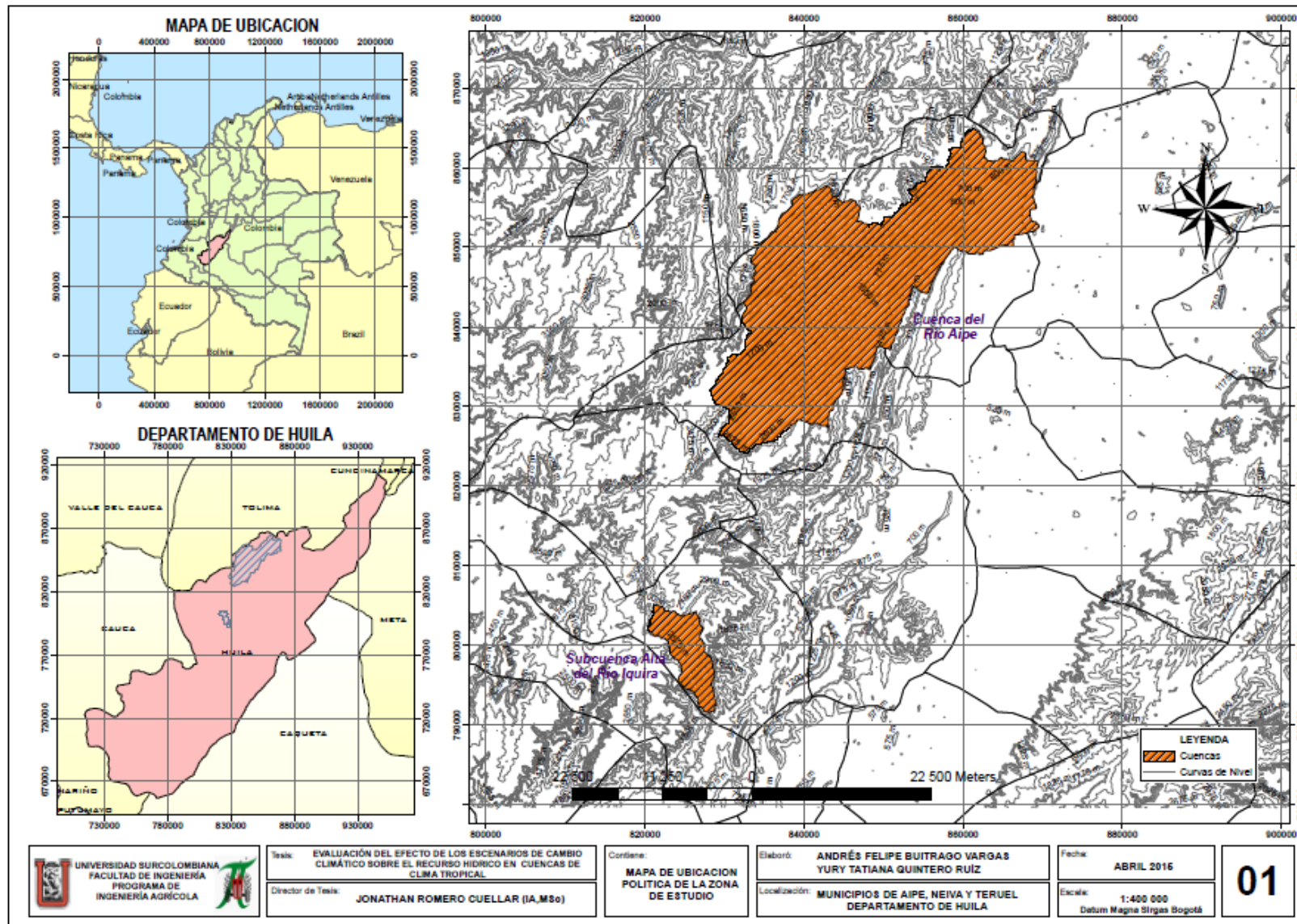
- Olarte, V. R. (2003). *Herramientas para la implementación de algoritmos genéticos en ingeniería civil, con énfasis en Hidroinformática*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, facultad de Ingeniería civil.
- Onf Andina. (2013) a. *Evolución en la cobertura vegetal en el departamento del Huila para*
- Orozco, G. J., Ruiz, E. O., Torres, E. G. (2013.). Impacto de cambio climático en la modelación hidrológica de la cuenca del río soto la marina. 1-9.
- Ortiz, R. A. (2010). *Implementación del modelo hidrológico swat: modelación y simulación multitemporal de la variación de escorrentía en la cuenca del lago de Cuitzeo*. Morelia - Michoacan: CIGA-UNAM, 1-9.
- Pimienta, A. M., & Catañeda, C. H. (2005). *Implementación del modelo Thomas para el balance hídrico empleando la herramienta computacional HydroSIG-Java*. Bogotá, 1-175.
- Pizarro, R. T., Soto, M. B., Farias, C. D., & Jordan, C. D. (2005). Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica, para la estimación de caudales medios mensuales, en dos cuencas de Chile central. *BOSQUE*, 123-129.
- Ponce, V. M. (1989). Capítulo 13 Modelos hidrológicos. En *Engineering Hydrology* (págs. 2-3).
- Román, J. S. *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. España: Dpto. Geología Univ. Salamanca. Recuperado el 10 septiembre 20114 en, [http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET\\_Hargreaves.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf)
- Romano, C. E. (2007). Algoritmo computacional para describir la dinámica del ciclo hidrológico superficial en una cuenca a partir de cartas temáticas, topografía, edafología, uso del suelo y vegetación. 17- 18.
- Ruiz, M. J. (2010)a. Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia, usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). *IDEAM-METEO/005-2010*, 13-14.
- Ruiz, M. J. (2010)b. Informe sobre el cambio climático en Colombia. *IDEAM*, 1-6.
- Rummukainen, M. (2010). State-of-the-art with regional climate models. *WIREs Clim Change*, 82-96.
- Sánchez, F. D., García, M., Jaramillo, O., & Verdugo, N. (2010). Capítulo 3. Agua superficial. Característica y Análisis de la oferta. En M. y. Instituto de Hidrología, *Estudio nacional de aguas 2010* (págs. 14-15-23-25). Bogotá D.C.: IDEAM.

- Stehr, A., Debels, P., Arumi, J. L., Alcayaga, H., & Romero, F. (2010.). *Modelación de la respuesta hidrológica al cambio climático: experiencias de dos cuencas de la zona centro-sur de Chile. Tecnologías y ciencias del agua Vol I*. Chile, 37-58.
- Subias, A., Pascual, A., Martín, M., Valero, F., & Luna, Y. (2013). *validación de un modelo de análogos para la predicción de precipitación y nieve en la sierra de Guadarrama*. Madrid, 177-186.
- Torres, B., & León, G. (2010). *Guía de escenarios de cambio climático IDEAM*. . Bogotá.
- Vázquez, Z. R. (2010). Modelación hidrológica de una microcuenca altoandina ubicada en el Austro Ecuatoriano. *MASKANA, Vol. 1, No. 1, 2010*, 79-90.
- Viramontes, O. O., Escoboza, G. L., Pinedo, A. C., Pinedo, A. A., Reyes, G. V., & Perez, M. A. (2007). morfometría de la cuenca del río san pedro, conchos, chihuahua. *Tecnociencia chihuahua volmun I N° 3*, 24.
- Yañez, J. H. (2013). *formulación del plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica de los ríos aipe y baché del municipio de aipe*. Aipe: EPA, (Empresas Publicas de Aipe).
- Zárate, B. O. (2010). Aplicabilidad del modelo hidrológico SWAT en cuencas con características extremas – Cuencas de los ríos Taquiña y Tolomosa. *RevActaNova. v.4 n.4*, 568-577. Recuperado el 16 de mayo de 2014, de Revistas Bolivianas: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892010000200007&script=sci\\_arttext#tabla3](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892010000200007&script=sci_arttext#tabla3)

## **8 ANEXOS**

### **Anexo 1.**

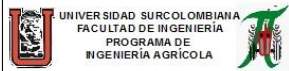
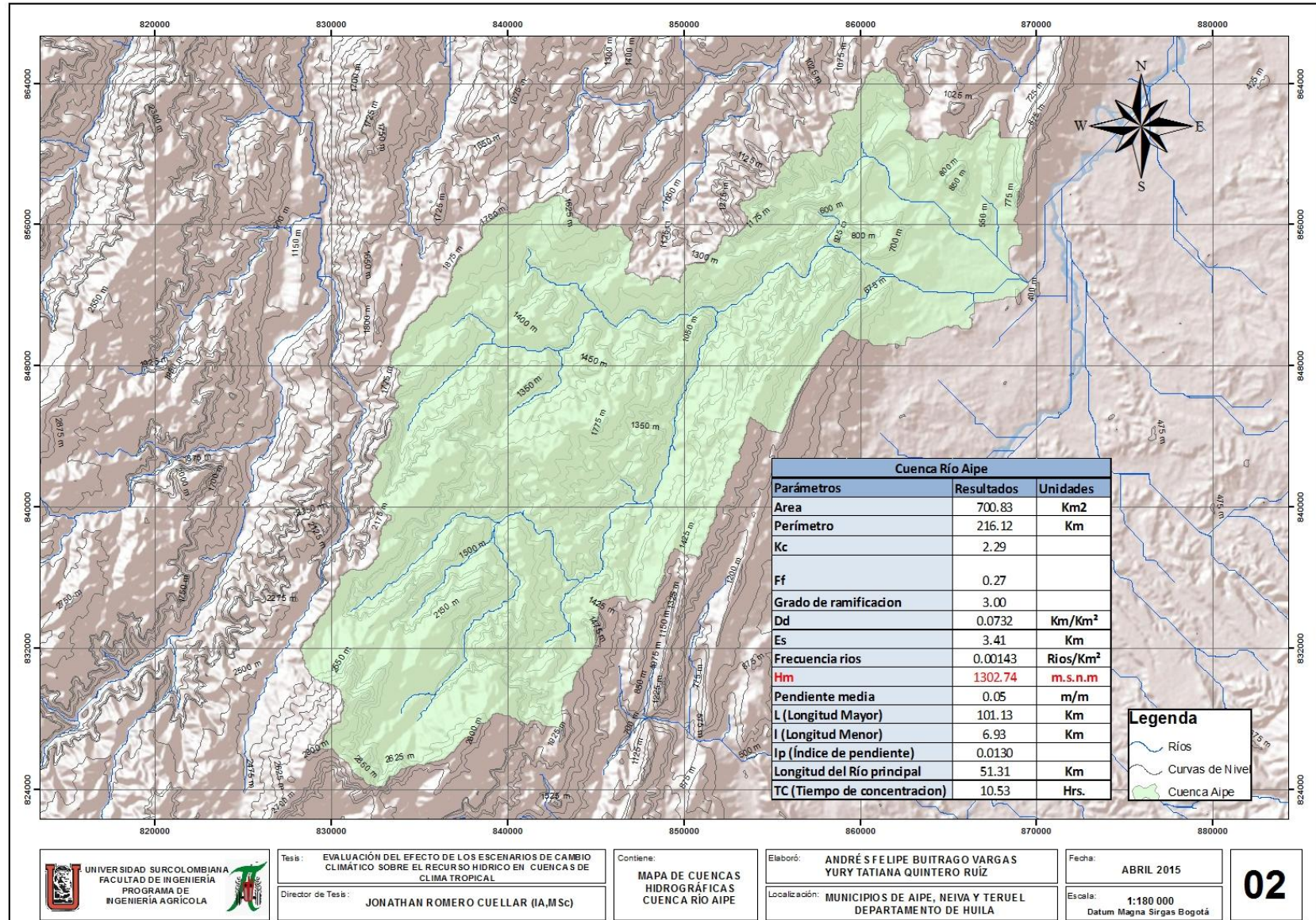
Ubicación política de la Cuenca del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira



## **Anexo 2**

Mapas de la cuenca hidrográfica del río Aipe y la subcuenca alta del río Íquira





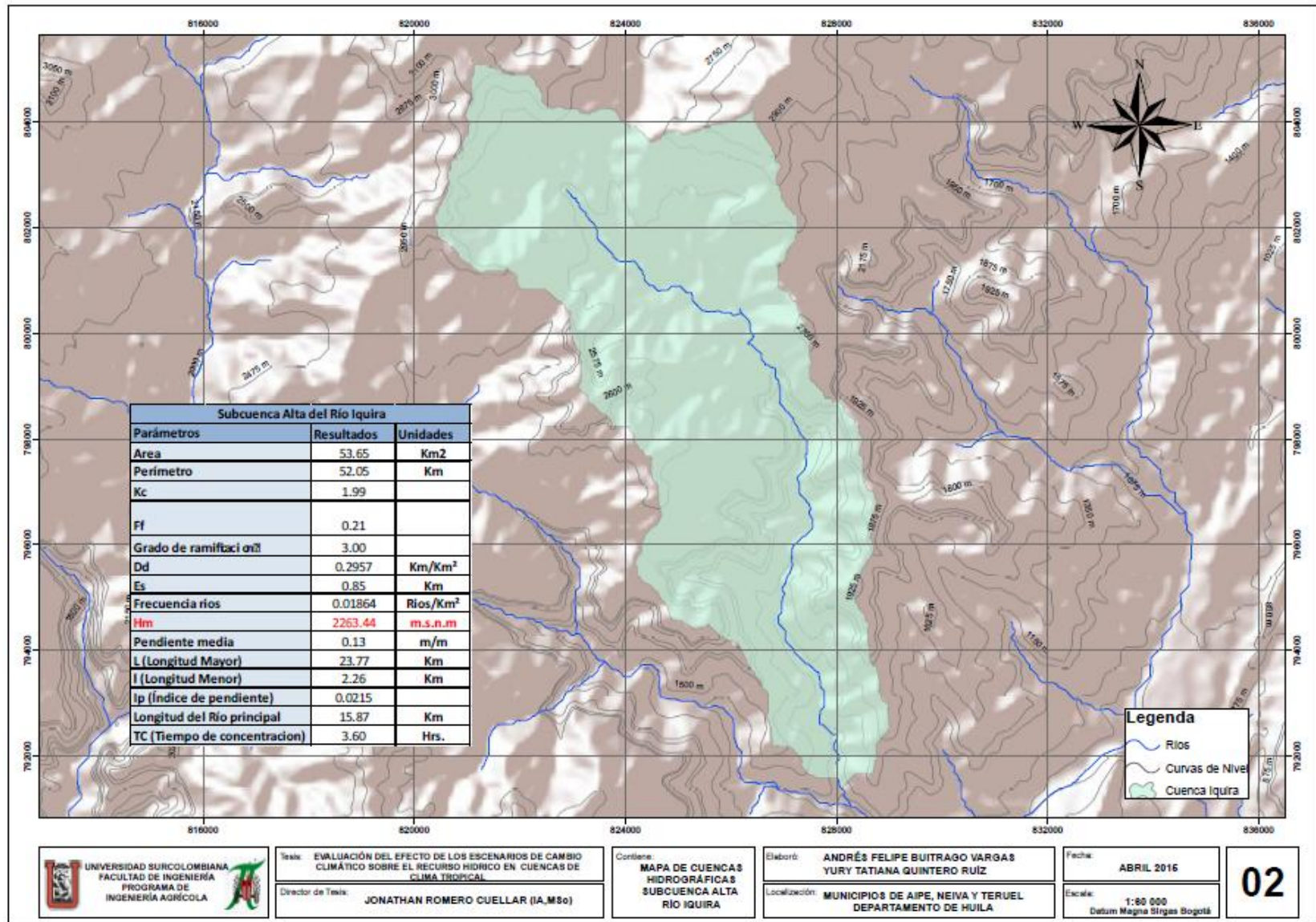
Tesis: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO HIDRICO EN CUENCAS DE CLIMA TROPICAL  
 Director de Tesis: JONATHAN ROMERO CUELLAR (IA,M.Sc)

Contiene: MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CUENCA RÍO AÍPE

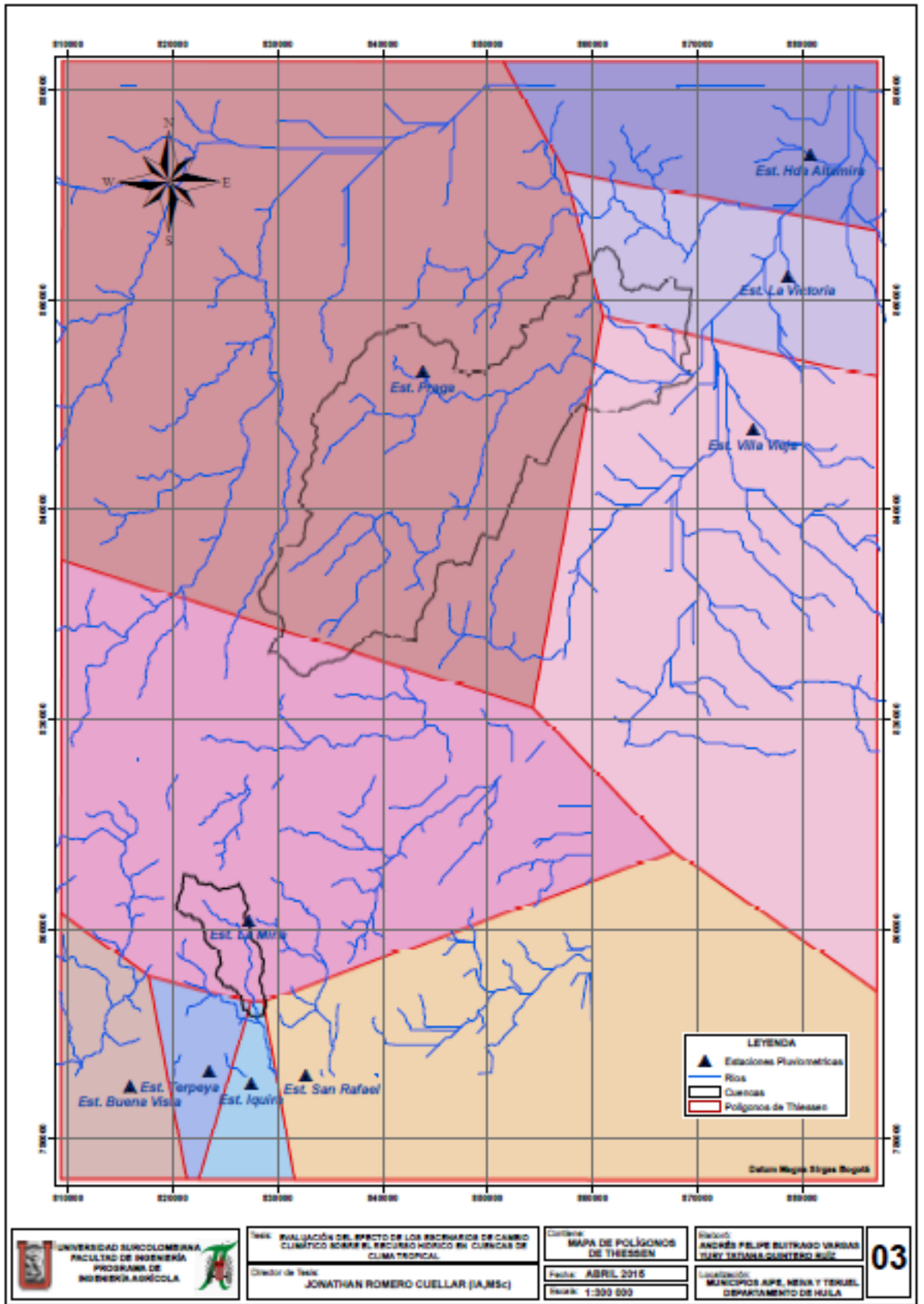
Elaboró: ANDRÉS FELIPE BUITRAGO VARGAS YURY TATIANA QUINTERO RUIZ  
 Localización: MUNICIPIOS DE AÍPE, NEIVA Y TERUEL DEPARTAMENTO DE HUILA

Fecha: ABRIL 2015  
 Escala: 1:180 000 Datum Magna Sirgas Bogotá

02

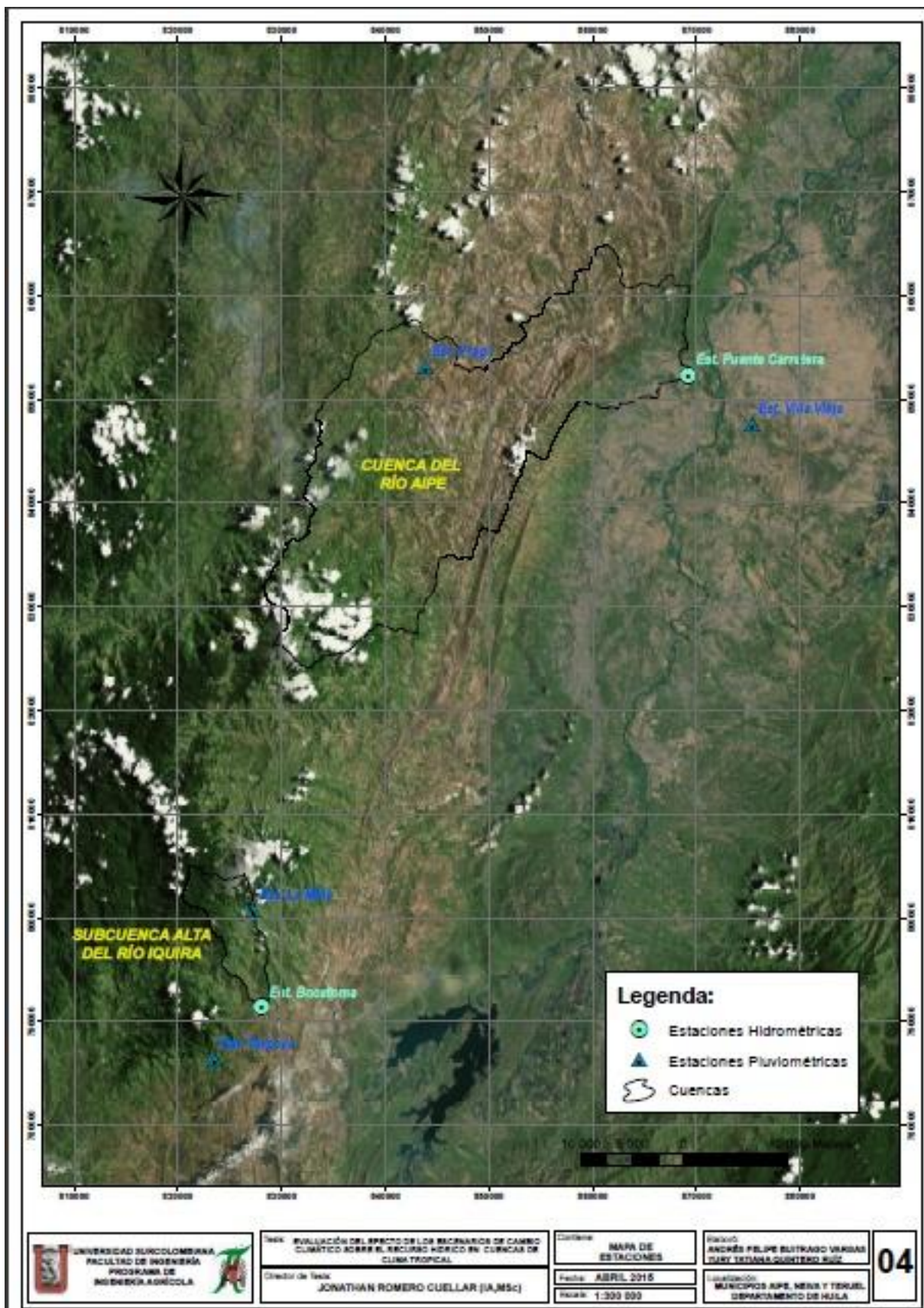


**Anexo 3**  
Polígonos de Thiessen



#### **Anexo 4**

Ubicación de las estaciones



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Título: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE CLIMATROPICAL  
Director de Tesis: JONATHAN ROMERO CUELLAR (JA, MSc)

Carta: MAPA DE ESTACIONES  
Fecha: ABRIL 2015  
Escala: 1:300 000

Elaboró: ANDRÉS FELIPE BLITRAGO VARGAS (JAY) TENDERA GUSTAVO SUZ  
Localización: MUNICIPIOS AIPE, NEIVA Y TIBQUI, DEPARTAMENTO DE HUILA

04

## **Anexo 5**

Información hidrológica

## VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

FECHA DE PROCESO : 2014/05/19													ESTACION : 21130110 PRAGA		
LATITUD	0316 N		TIPO EST		PG	DEPTO		HUILA		FECHA-INSTALACION		1973-ABR			
LONGITUD	7529 W		ENTIDAD		01	MUNICIPIO		AIPE		FECHA-SUSPENSION					
ELEVACION	1085 m. s. n. m		REGIONAL		04	CORRIENTE		AIPE							
*****															
A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
*****															
1992	2	01	162.7	47.2	35.2	156.2	165.7	15.9	23.6	53.0	173.9	176.4	239.2	199.5	1448.5
1993	2	01	184.6	163.2	301.8	183.1	369.1	7.0	14.0	10.6	143.5	87.3	463.9	148.0	2076.1
1994	2	01	294.6	204.0	284.8	211.4	145.2	77.9	9.3	32.1	104.9	320.6	205.7	89.7	1980.2
1995	2	01	63.2	57.7	271.4	310.9	56.1	178.3	130.6	144.7	15.4	241.0	199.2	213.2	1881.7
1996	2	01	250.7	148.9	306.8	191.4	247.4	166.9	50.3	12.2	50.4	417.3	100.9	161.2	2104.4
1997	2	01	453.1	79.1	129.7	91.9	46.0	142.5	10.0	1.0	43.3	261.1	275.7	59.5	1592.9
1998	2	01	37.4	115.9	296.0	322.0	153.6	20.3	56.1	119.1	69.3	212.5	335.0	149.6	1886.8
1999	2	01	209.5	425.0	313.5	176.6	170.4	108.7	9.4	5.2	209.3	341.5	252.0	245.3	2466.4
2000	2	01	201.8	228.3	233.1	134.1	126.8	79.5	53.7	20.4	190.0	134.5	138.3	143.7	1684.2
2001	2	01	150.2	159.3	258.6	80.9	170.9	35.1	26.1	1.6	233.2	157.9	394.9	182.6	1851.3
2002	2	01	65.5	106.3	446.3	206.5	171.7	65.2	119.4	70.7	87.2	197.7	212.4	129.4	1878.3
2003	1	01	74.0	126.8	149.7	180.6	37.6	67.0	54.7	7.8	185.3	158.3	404.7	234.5	1681.0
2004	1	01	170.5	454.4	51.1	379.9	59.3	11.8	59.1	6.0	83.5	337.3	323.3	103.2	2039.4
2005	1	01	261.5	242.6	157.9	205.9	335.9	9.8	118.3	28.3	119.7	394.5	280.4	240.1	2394.9
2006	1	01	203.5	154.2	324.6	300.1	47.3	152.0	64.6	34.5	24.0	179.5	240.2	150.1	1874.6
2007	1	01	50.3	95.7	340.0	293.5	215.6	44.1	133.6	73.5	32.8	421.9	281.5	233.8	2216.3
2008	1	01	222.9	194.1	279.0	407.9	257.3	110.9	147.7	126.8	111.9	321.3	442.1	238.3	2860.2
2009	1	01	296.3	219.6	500.3	228.7	114.4	54.5	30.5	108.8	68.8	388.4	198.6	154.1	2363.0
2010	1	01	44.0	82.9	142.7	533.3	262.8	89.3	173.4	74.1	187.0	186.4	450.0	276.3	2502.2
2011	1	01	120.9	312.1	293.5	524.3	257.7	90.3	97.6	33.3	58.4	299.9	415.4	379.4	2882.8
2012	1	01	148.5	136.1	286.2	317.6	25.6	19.7	41.0	8.0	14.0	218.0	312.0	341.0	1867.7
EDIOS			174.6	178.7	257.2	258.9	163.6	73.7	67.8	46.3	105.0	259.7	293.6	193.9	2073.0
MAXIMOS			453.1	454.4	500.3	533.3	369.1	178.3	173.4	144.7	233.2	421.9	463.9	379.4	533.3
MINIMOS			37.4	47.2	35.2	80.9	25.6	7.0	9.3	1.0	14.0	87.3	100.9	59.5	1.0

## VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg)

FECHA DE PROCESO : 2014/05/19													ESTACION : 21137030 PTE CARRETERA		
LATITUD	0315 N		TIPO EST		LG	DEPTO		HUILA		FECHA-INSTALACION		1972-FEB			
LONGITUD	7515 W		ENTIDAD		01	MUNICIPIO		AIPE		FECHA-SUSPENSION					
ELEVACION	0385 m. s. n. m		REGIONAL		04	CORRIENTE		AIPE							
*****															
A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
*****															
1992	2	01	8.194	6.328	5.677	7.013	10.64	5.223	4.084	3.826	5.193	5.658	23.39	25.83	9.26
1993	2	01	12.43	18.76	28.87	20.68	29.82	9.243	5.297	3.100	2.607	3.248	32.93	20.42	15.62
1994	2	01	22.77	18.25	28.47	27.98	17.71	10.02	6.323	4.871	4.527	20.07	19.33	13.33	16.12
1995	2	01	6.800	6.400	16.20	32.20	13.90	11.80	7.200	10.00	5.200	9.800	24.10	26.40	14.17
1996	1	01	25.93	20.89	42.95	25.60	21.55	19.49	10.35	6.032	4.627	25.44	13.48	15.83	19.35
1997	1	01	23.62	16.09	8.344	7.980	4.611	6.155	2.933	2.399	2.339	5.419	8.224	4.887	7.75
1998	1	01	6.674	6.161	12.18	25.59	20.33	8.077	4.158				20.82	13.64	13.07
1999	1	01	13.20	34.43	33.58	24.78	15.26	7.103	3.819	2.461	4.513	19.54	22.12	32.43	17.77
2000	1	01	13.87	21.73	28.05	22.38	11.69	5.545	3.665	2.596	4.216	4.401	7.278	8.447	11.16
2001	1	01	6.484	3.425	9.726	3.777	4.765	2.633	1.455	1.287	1.393	2.023	25.81	20.34	6.93
2002	1	01	5.445	3.346	12.29	14.24	12.93	12.04	7.309	2.390	1.717	2.819	8.297	7.658	7.18
2003	1	01	1.774	2.629	8.313	11.85	3.081	2.650	1.461	1.374	3.403	8.094	23.71	20.17	7.38
2004	1	01	9.352	26.93	6.248	29.94	9.323	4.270	2.719	1.400	*	10.11	21.25	9.881	11.95
2005	1	01	7.706	28.30	11.92	6.420	9.923	3.027	1.932	1.300	2.987	14.52	19.94	19.56	10.62
2006	1	01	31.95	20.30	38.21	46.18	26.41	18.28	10.79	3.795	2.619	6.005	18.31	19.03	20.16
2007	1	01	6.044	4.987	17.42	32.94	29.94	12.50	6.832	4.473	3.203	21.68	42.32	27.00	17.45
2008	1	01	27.60	28.08	33.74	43.03	33.67	10.89	9.251	8.163	8.398	11.20	40.35	35.73	24.18
2009	1	01	37.85	31.54	52.88	42.13	30.33	11.39	7.467	6.606	4.076	25.96	20.16	14.96	23.78
2010	1	01	9.245	8.458	7.930	38.01	26.61	21.51	18.70	12.36	11.97	18.32	53.93	39.17	22.18
2011	1	01	29.68	30.90	50.80	94.84	38.15	20.43	11.23	8.165	7.159	23.24	36.77	60.98	35.10
2012	1	01	25.16	14.36	16.88	37.47	11.49	5.557	5.512	5.278	4.361	10.62	20.31	24.38	15.12
EDIOS			15.80	16.77	22.41	28.34	18.20	9.897	6.106	4.584	4.912	12.41	23.94	21.91	15.44
MAXIMOS			37.85	34.43	52.88	94.84	38.15	21.51	18.70	12.36	15.98	25.96	53.93	60.98	94.84
MINIMOS			1.774	2.629	5.677	3.777	3.081	2.633	1.455	1.287	1.393	2.023	7.278	4.887	1.29



VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/05/19 ESTACION : 21115080 VILLAVIEJA FFCC

LATITUD LONGITUD ELEVACION	0313 N 7512 W 0430 m. s. n. m	TIPO EST ENTIDAD REGIONAL	CO 01 04	IDEAM HUILA-CAQUET	DEPTO MUNICIPIO CORRIENTE	HUILA VILLAVIEJA MAGDALENA	FECHA-INSTALACION FECHA-SUSPENSION	1964-FEB							
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1992	2	01	28.1 3	28.2	28.7	27.4	28.1	29.1	28.2	29.2 3	28.8	*	26.5 3	26.3 3	28.1 3
1993	2	01	27.8 3	27.4	26.7	27.7	27.1	27.6	27.6	28.2	28.3	27.8	26.5	27.4	27.5 3
1994	2	01	27.2	27.1 3	26.8 3	27.1	27.0	27.2	27.8	27.8	28.1	27.0	26.7	27.6 3	27.3 3
1995	1	01	28.4	28.2	27.6	27.5	27.2	28.3	28.4	28.5	29.5	27.4	26.7	26.5	27.9
1996	2	01	27.0	26.9	27.0	27.3	27.1	26.8 3	26.7 3	27.3	28.4 3	26.5	27.1	26.9	27.1 3
1997	2	01	26.4	27.2	28.0	27.8 3	28.6 3	28.0 3	29.4 3	30.6	30.9	30.2 3	29.0	29.3	28.8 3
1998	1	01	30.5 3	31.1	29.8 3	29.4	29.0	29.9 3	29.1 3	29.7	29.7	29.2 3	27.6	27.7	29.4 3
1999	1	01	27.9 3	27.2	28.2 3	27.8	27.7	27.7 3	28.5	29.4 3	27.9	26.9	27.2	27.2	27.8 3
2000	1	01	28.1	27.4	27.2	26.8	26.6	27.9	28.6 3	28.9 3	27.9 3	28.4	27.6	27.2	27.7 3
2001	1	01	28.3 3	28.5	27.0	28.5	27.0	28.5	28.1	28.8	28.3 3	28.5 3	26.7	26.5	28.0 3
2002	1	01	28.7 3	28.3	27.8	26.9	27.3	27.0	28.1	28.1	28.5	28.0 3	27.2	27.3	27.8 3
2003	1	01	28.2	27.8	27.2	27.0	27.6 3	27.3	27.5 3	29.0 3	27.5	27.2	26.1	26.8	27.4 3
2004	1	01	27.0	27.6	28.0	26.5 3	27.0 3	27.5	27.0 3	27.8 3	28.1	26.4 3	26.2 3	26.8	27.2 3
2005	1	01	27.4	27.6	27.2	27.1 3	27.0	27.7	27.4	27.6 3	28.0 3	26.2	26.7	25.9	27.2 3
2006	1	01	26.4	26.9	26.0	26.2	27.2 3	26.6 3	27.0 3	27.7 3	28.3 3	26.9 3	25.7 3	26.4 3	26.8 3
2007	1	01	27.6 3	28.2 3	26.6	26.1	26.3 3	25.9 3	27.0	26.9 3	28.0	25.9 3	25.8 3	26.1	26.7 3
2008	1	01	26.6 3	26.5	26.2 3	25.8	25.7	25.8 3	26.4	26.9 3	26.9 3	26.5 3	25.5	26.8 3	26.3 3
2009	1	01	26.6 3	26.4	25.8	26.6	26.1 3	26.6 3	27.1	28.8 3	30.0	28.0 3	28.0 3	28.9 3	27.4 3
2010	1	01	28.7	29.1 3	28.6 3	27.5 3	27.8	26.8 3	27.2 3	28.7	28.3	28.1	26.2 3	26.5 3	27.8 3
2011	1	01	28.0	27.5 3	26.9	26.3	26.6	27.3	27.5	28.8 3	28.7 3	27.5	26.2	26.4 3	27.3 3
2012	1	01	27.0	27.6	27.4	26.7	27.5	28.7	28.7	29.4	30.1 3	28.1 3	27.0 3	27.0 3	27.9 3
MEDIOS			27.7	27.7	27.4	27.1	27.3	27.5	27.8	28.5	28.6	27.5	26.8	27.0	27.6
MAXIMOS			30.5	31.1	29.8	29.4	29.0	29.9	29.4	30.6	30.9	30.2	29.0	29.3	31.1
MINIMOS			26.4	26.4	25.8	25.8	25.7	25.8	26.4	26.9	26.9	25.9	25.5	25.9	25.5

VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/05/19 ESTACION : 21115080 VILLAVIEJA FFCC

LATITUD LONGITUD ELEVACION	0313 N 7512 W 0430 m. s. n. m	TIPO EST ENTIDAD REGIONAL	CO 01 04	IDEAM HUILA-CAQUET	DEPTO MUNICIPIO CORRIENTE	HUILA VILLAVIEJA MAGDALENA	FECHA-INSTALACION FECHA-SUSPENSION	1964-FEB							
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1992	2	01	68 3	68 1	65 3	72 1	69 1	60 3	61 1	57 3	60 1	*	73 3	74 3	66 3
1993	2	01	67 3	71 1	74 1	68 1	75 1	71 1	69 1	68 1	68 3	68 3	75 3	72 3	71 3
1994	2	01	73 1	74 3	75 3	73 3	75 1	77 1	67 3	66 1	65 3	77 3	74 1	71 3	71 3
1995	1	01	66 1	67 1	71 3	71 1	73 1	68 1	66 1	61 3	70 3	75 3	76 3	69 3	69 3
1996	1	01	73 1	74 1	73 1	74 1	76 1	78 3	74 3	72 1	66 3	73 1	73 1	74 3	73 3
1997	1	01	75 3	74 1	70 1	72 3	68 3	69 3	64 3	59 1	57 3	54 3	63 3	64 1	66 3
1998	1	01	60 3	57 1	63 3	65 3	68 1	64 3	62 3	62 3	61 1	64 3	73 1	71 1	64 3
1999	1	01	71 3	72 3	70 3	71 1	71 3	71 3	66 1	60 3	67 3	72 3	73 1	72 3	70 3
2000	1	01	70 1	70 1	72 1	74 1	78 1	72 1	70 3	66 3	70 3	69 1	73 3	75 1	72 3
2001	1	01	72 3	68 3	75 1	68 1	69 3	67 3	60 3	65 3	65 3	65 3	74 1	77 1	69 3
2002	1	01	68 3	70 1	71 1	75 3	74 1	73 3	68 3	64 1	63 1	66 3	72 3	73 3	70 3
2003	1	01	*	74 3	79 3	*	*	69 3	69 3	58 3	65 1	68 1	78 3	76 3	71 3
2004	1	01	75 3	75 1	70 1	75 3	73 3	67 1	67 3	61 3	65 1	74 3	78 3	80 3	72 3
2005	1	01	76 3	74 3	76 3	75 3	77 3	72 3	68 3	67 3	66 3	74 1	75 3	79 1	73 3
2006	1	01	78 3	75 3	80 3	79 3	75 3	76 3	68 3	66 3	63 3	73 3	80 3	77 3	74 3
2007	1	01	73 3	68 3	76 3	79 3	79 3	79 3	74 3	73 3	70 3	81 3	82 3	80 1	76 3
2008	1	01	76 3	77 3	80 3	80 1	79 3	81 3	78 3	76 3	76 3	75 3	83 3	76 3	78 3
2009	1	01	77 3	76 3	81 3	78 3	77 3	75 3	68 3	61 3	56 3	66 3	70 3	66 3	71 3
2010	1	01	63 3	62 3	65 3	77 3					64 3	68 3	81 3	78 3	70 3
2011	1	01	71 3	73 3	76 3	79 3	78 1	73 3	66 3	60 3	61 3	75 3	81 3	80 3	73 3
2012	1	01	77 3	72 3	73 3	79 3	70 3	62 3	56 3	53 3	50 3	68 3			66 3
MEDIOS			71	71	73	74	74	71	67	64	64	70	75	75	71
MAXIMOS			78	77	81	80	79	81	78	76	76	81	83	80	83
MINIMOS			60	57	63	65	68	60	56	53	50	54	63	64	50

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/06/26													ESTACION : 21087050 BOCATOMA		
LATITUD		0242 N		TIPO EST		LG		DEPTO		HUILA		FECHA-INSTALACION		1971-JUL	
LONGITUD		7537 W		ENTIDAD		01		MUNICIPIO		QUIRA		FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACION 1250 m. s. n. m.				REGIONAL				HUILA-CAQUET							
*****				*****				*****				*****			
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
*****															
1992	2	01	1.924	1.834	1.629	1.595	1.973	1.286	1.107	1.198	1.555	1.684	2.787	2.042	1.72
1993	2	01	1.981	2.782	4.226	4.297	3.166	3.261	3.081	2.430	2.241	2.279	3.236	3.252	3.02
1994	2	01	3.072	3.305	4.265	4.823	4.966	3.970	2.999	2.491	2.261	2.633	2.544	2.988	3.36
1995	2	01	2.194	2.079	2.557	3.406	3.147	2.859	2.415	2.444	2.127	2.214	2.101	2.349	2.49
1996	1	01	2.541	4.149	4.506	3.114	3.007	2.563	2.169	1.967	1.699	2.281	3	2.80	3
1999	1	01								3.763	4.011	4.376	3	4.41	3
2000	1	01	3.087	4.588	6.782	6.030	4.236	3.646	2.613	2.752	3.450	4.375	4.844	5.055	8
2001	1	01	2.544	2.526	3.406	2.372	2.695	2.555	1.911	1.855	2.105	2.070	2.508	2.968	2.46
2002	1	01	1.910	1.484	2.899	2.979	2.996	3.681	2.001	1.486	1.600	1.445	1.983	1.690	2.18
2003	1	01	1.633	1.286	1.930	1.717	1.378	1.928	1.660	1.157	1.299	1.719	2.958	2.372	1.75
2004	1	01	2.017	1.981	1.420	1.362	*					1.634	2.601	2.847	2.30
2005	1	01	2.699	5.093	7.138	4.658	4.345	3.618	3.357	3.463	3.496	4.160	3.962	5.018	4.25
2006	1	01	2.485	1.231	2.756	6.297	3.969	3.809	3.374	3.101	2.910	3.050	4.413	4.099	3.54
2007	1	01	2.842	2.686	4.784	10.27	16.11	14.90	14.69	13.71	12.45	12.49	15.90	15.41	11.52
2008	1	01									4.060	4.254	6.693	1	6.657
2009	1	01	6.685	7.717	9.255	7.827	4.379	3.523	2.765	1.612	3.023	2.825	2.819	1.819	4.35
2010	1	01	1.673	1.997	1.309	3.379	4.065	3.165	3.240	2.286	1.923	2.082	4.389	4.697	2.85
2011	1	01	3.520	2.797	3.933	7.317	5.226	4.134	3.020	3.136	2.908	5.527	4.805	9.049	4.61
2012	1	01	6.209	5.742	5.880	8.034	5.804	4.836	4.348	4.059	3.353	4.220	3.430	4.754	5.06
MEDIOS			2.883	3.193	4.040	4.805	4.466	3.983	3.422	3.083	3.006	3.446	4.155	4.454	3.75
MAXIMOS			6.685	7.717	9.255	10.27	16.11	14.90	14.69	13.71	12.45	14.49	15.90	15.41	16.11
MINIMOS			1.633	1.286	1.309	1.595	1.378	1.286	1.107	1.157	0.749	1.445	1.983	1.690	0.75

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/06/26													ESTACION : 21080080 MINA LA		
LATITUD		0247 N		TIPO EST		PG		DEPTO		HUILA		FECHA-INSTALACION		1975-NOV	
LONGITUD		7537 W		ENTIDAD		01		MUNICIPIO		TERUEL		FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACION 1800 m. s. n. m.				REGIONAL				HUILA-CAQUET							
*****				*****				*****				*****			
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
*****															
1992	2	01	146.4	123.4	49.1	77.3	160.4	42.6	36.8	84.1	202.4	91.3	168.5	78.6	1260.9
1993	2	01	134.5	197.5	304.6	168.0	162.2	45.2	21.4	53.6	66.8	148.7	179.7	181.3	1663.5
1994	2	01	171.1	179.9	236.9	217.3	234.0	83.3	42.5	34.4	46.0	273.1	128.9	92.8	1740.1
1995	2	01	77.7	76.0	214.3	153.1	123.8	127.3	226.6	262.4	73.9	167.0	165.0	179.3	1846.4
1996	2	01	167.8	274.3	233.3	139.0	186.5	93.1	22.6	12.8	11.8	231.8	117.8	140.0	1630.8
1997	2	01	94.2	56.3	90.5	159.5	124.9	104.4	10.4	14.0	10.9	124.9	79.7	101.5	971.2
1998	2	01	6.9	94.8	245.1	151.6	110.8	100.2	49.4	51.5	87.7	197.9	130.6	163.4	1389.9
1999	2	01	185.0	369.2	184.0	88.0	164.9	100.9	15.3	20.9	143.3	139.6	187.6	241.7	1840.4
2000	2	01	185.4	185.2	640.3	345.7	123.2	142.4	13.2	14.2	301.2	58.9	250.7	118.4	2378.8
2001	2	01	109.4	137.6	146.3	14.7	43.4	24.6	45.9	11.8	266.8	65.2	237.2	114.2	1217.1
2002	2	01	122.2	54.6	230.7	107.1	165.0	54.8	73.2	61.7	104.9	122.7	83.2	134.8	1314.4
2003	1	01	68.9	52.7	187.7	132.7	123.5	129.5	23.9	0	78.4	169.5	147.2	132.2	1246.2
2004	1	01	79.5	167.8	65.3	274.7	70.2	24.5	122.2	68.4	55.4	191.9	321.8	78.9	1520.6
2005	1	01	110.4	320.8	216.2	175.4	59.5	15.5	39.6	39.6	92.1	195.8	148.2	136.7	1549.8
2006	1	01	51.7	87.2	186.5	217.3	44.1	142.9	54.8	19.3	114.7	234.9	252.2	128.1	1533.7
2007	1	01	133.6	32.8	306.2	199.6	134.0	48.1	71.1	21.3	28.1	176.0	203.6	162.0	1516.4
2008	1	01	194.6	99.6	114.1	154.4	81.9	18.4	34.0	85.7	36.9	42.5	98.6	111.9	1072.6
2009	1	01	121.4	89.1	179.1	242.9	137.3	33.8	10.4	19.5	25.6	94.3	192.7	57.0	1203.1
2010	1	01	85.0	217.2	104.9	362.6	249.2	58.8	197.6	15.8	52.2	142.8	291.8	174.6	1952.5
2011	1	01	109.2	126.6	149.1	378.9	120.5	154.2	60.2	41.2	111.1	464.9	272.0	315.9	2303.8
2012	1	01	215.8	116.7	177.3	263.4	62.9	47.9	30.7	53.9	29.5	156.1	177.1	191.7	1523.0
MEDIOS			122.4	145.7	202.9	191.6	127.7	75.8	57.2	47.0	92.4	166.2	182.6	144.5	1556.0
MAXIMOS			215.8	369.2	640.3	378.9	249.2	154.2	226.6	262.4	301.2	464.9	321.8	315.9	640.3
MINIMOS			6.9	32.8	49.1	14.7	43.4	15.5	10.4	0.0	10.9	42.5	79.7	57.0	0.0*****

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/06/26													ESTACION : 21085040 TERPEYA COLOMBIA		
LATITUD		0239 N		TIPO EST		CO		DEPTO		HUILA		FECHA-INSTALACION		1990-NOV	
LONGITUD		7539 W		ENTIDAD		01		MUNICIPIO		QUIRA		FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACION 1650 m. s. n. m.				REGIONAL				HUILA-CAQUET							
*****				*****				*****				*****			
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
*****															
1991	2	01	18.8	19.1	19.0	19.1	19.2	19.4	18.5	18.4	19.3	19.2	18.4	18.6	18.9
1992	2	01	19.1	19.1	19.6	19.6	19.7	19.6	18.4	19.1	19.3	19.5	18.2	18.3	19.1
1993	2	01	18.5	18.4	18.2	19.1	19.1	19.0	18.6	19.1	19.3	19.3	18.2	18.8	18.8
1994	2	01	18.3	18.6	18.4	18.6	18.9	18.9	18.6	18.8	19.6	18.8	18.5	19.0	18.8
1995	2	01	19.0	19.1	18.6	19.3	18.9	18.9	18.7	19.1	19.7	18.9	18.6	18.4	18.9
1996	2	01	18.0	18.3	18.6	18.3	18.8	18.9	18.5	18.9	19.5	18.7	18.7	18.2	18.7
1997	2	01	17.7	19.0	19.3	19.2	19.2	18.9	18.8	19.1	20.5	20.4	19.2	19.6	19.2
1998	1	01	20.8	20.9	20.1	20.2	20.1	19.2	18.7	19.3	19.9	19.6	18.3	18.2	19.6
1999	1	01	18.1	18.1	18.3	18.3	18.3	18.2	18.4	19.1	18.3	18.5	17.9	17.8	18.4
2000	1	01	17.6	17.9	18.3	18.3	18.3	18.6	18.5	18.7	18.7	18.8	18.1	18.3	18.3
2001	1	01	18.2	19.0	18.6	19.1	18.8	18.6	18.8	19.1	19.3	19.7	18.4	18.7	18.9
2002	01		18.9	19.0	19.1	19.2	18.6	18.5	18.7	18.8	19.4	19.1	19.0	19.5	19.0
2003	1	01	19.5	19.5	19.2	19.1	19.1	18.8	18.8	19.8	19.4	19.0	18.8	18.7	19.2
2004	1	01	18.5	19.1	19.6	18.8	19.3	18.7	18.7	19.2	19.8	19.0	18.8	18.4	19.0
2005	1	01	18.7	19.1	19.1	19.3	18.9	19.2	19.0	19.6	19.3	19.3	18.6	18.0	19.0
2006	1	01	18.2	18.8	18.4	18.6	19.2	18.4	18.7	19.0	19.3	19.3	18.3	*	18.8
2007	1	01	19.7	19.0	19.1	18.6	19.0	18.4	18.6	18.8	19.2	18.4	18.3	17.6	18.7
2008	1	01	18.4	18.1	18.2	18.0	18.2	18.7	18.4	18.8	18.6	18.7	18.0	17.6	18.3
2009	1	01	18.3	18.6	17.9	18.4	18.6	18.8	18.6	19.1	20.0	19.6	19.3	19.3	18.9
2010	1	01	19.6	19.3	19.4	19.3	19.5	18.6	18.2	19.0	18.9	17.9	17.4	17.5	18.8
2011	1	01	17.7	17.4	17.1	18.0	17.1	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.7	17.8	17.6
2012	1	01	17.6	17.8	17.8	17.8	18.4	18.9	18.6	18.5	19.6	18.8	18.7	18.1	18.4
MEDIOS			18.6	18.8	18.7	18.8	19.0	18.8	18.6	19.0	19.4	19.0	18.4	18.4	18.8
MAXIMOS			20.8	20.9	20.1	20.2	20.1	19.6	19.0	19.8	20.5	20.4	19.3	19.6	20.9
MINIMOS			17.6	17.4	17.1	17.8	18.2	18.2	17.6	18.4	18.6	17.6			

VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
FECHA DE PROCESO : 2014/06/26			TIPO EST		CO	IDEAM	DEPTO		HUILA		ESTACION : 21085040 TERPEYA COLOMBIA			1990-NOV		
LATITUD 0239 N			ENTIDAD	01	04	HUILA-CAQUET	MUNICIPIO	IQUIRA	CORRIENTE	YAGUARA	FECHA-INSTALACION			FECHA-SUSPENSIÓN		
LONGITUD 7539 W			REGIONAL		04	HUILA-CAQUET	CORRIENTE	YAGUARA	YAGUARA	YAGUARA						
ELEVACION 1650 m.s.n.m			*****													
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1991	2	01	91	84	85	85	82	81	81	75	78	76	90	91	85	
1992	2	01	88	89	87	87	87	81	80	81	81	81	91	91	85	
1993	2	01	88	91	89	87	87	82	81	75	75	78	90	87	84	
1994	2	01	89	85	87	87	85	80	78	75	73	83	87	85	83	
1995	1	01	80	81	86	85	83	82	80	76	73	81	88	88	82	
1996	1	01	89	86	87	87	85	80	76	75	73	85	86	86	83	
1997	1	01	93	83	83	84	82	81	74	71	68	75	83	79	80	
1998	1	01	75	79	84	86	80	81	80	76	74	80	90	89	81	
1999	1	01	92	90	88	84	83	85	77	68	63	81	91	91	84	
2000	1	01	90	88	87	85	89	84	80	79	83	83	90	86	85	
2001	1	01	84	81	86	83	85	79	73	71	76	79	86	89	81	
2002	1	01	83	83	84	87	84	80	81	79	76	78	82	83	82	
2003	1	01	81	83	83	84	83	81	76	72	76	83	88	90	82	
2004	1	01	96	94	83	85	83	77	77	68	68	88	87	92	83	
2005	1	01	86	86	87	87	84	80	73	70	73	86	89	91	83	
2006	1	01	85	85	88	87	*	87	73	73	76	86	92	*	83	
2007	1	01	85	83	86	89	91	88	86	81	79	89	90	93	87	
2008	1	01	90	89	90	91	90	81	78	79	77	82	91	90	86	
2009	1	01	88	86	90	86	83	80	76	76	67	75	83	83	81	
2010	1	01	89	90	82	85	84	84	84	71	75	86	83		83	
2011	1	01	87	87	90	89	87	83	87			88	92	90	89	
2012	1	01	89	85		87	82	75	75	71	68	84	89	87	81	
MEDIOS			87	86	86	86	85	81	79	74	75	82	88	88	83	
MAXIMOS			96	94	90	91	91	88	87	81	83	89	92	93	96	
MINIMOS			75	79	82	83	80	75	73	68	67	75	82	79	67	

VALORES MINIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (OC)														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
FECHA DE PROCESO : 2014/07/21			TIPO EST		CO	IDEAM	DEPTO		HUILA		ESTACION : 21085040 TERPEYA COLOMBIA			1990-NOV		
LATITUD 0239 N			ENTIDAD	01	04	HUILA-CAQUET	MUNICIPIO	IQUIRA	CORRIENTE	YAGUARA	FECHA-INSTALACION			FECHA-SUSPENSIÓN		
LONGITUD 7539 W			REGIONAL		04	HUILA-CAQUET	CORRIENTE	YAGUARA	YAGUARA	YAGUARA						
ELEVACION 1650 m.s.n.m			*****													
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1992	2	01	14.6	13.8	14.4	12.0	13.8	13.4	12.4	13.0	12.0	10.0	10.0	11.8	10.0	
1993	2	01	10.0	11.0	11.2	15.0	14.4	14.4	13.0	13.0	13.0	13.2	14.0	14.0	10.0	
1994	2	01	14.2	13.0	13.6	14.6	14.2	13.2	12.0	12.0	13.0	13.6	14.0	13.6	13.0	
1995	2	01	13.0	13.4	13.0	14.8	14.2	13.4	12.6	13.6	13.0	14.0	13.0	14.2	12.6	
1996	2	01	13.0	14.2	14.6	13.6	13.8	14.0	13.0	13.6	13.2	13.6	13.2	14.2	13.0	
1997	2	01	13.2	11.0	13.9	14.8	11.4	12.8	13.6	14.4	15.0	15.2	15.2	14.6	11.0	
1998	1	01	13.8	15.0	15.0	15.0	13.8	13.4	14.0	13.0	13.0	14.6	14.0	13.0	13.0	
1999	1	01	14.4	13.8	14.2	15.0	13.6	14.0	13.4	13.0	14.0	12.9	13.8	13.6	12.9	
2000	1	01	14.2	14.2	14.4	14.6	15.0	14.8	13.8	13.4	14.0	14.0	14.7	13.2	13.2	
2001	1	01	13.8	13.8	14.2	13.8	14.4	14.4	13.8	14.2	13.0	14.4	13.0	15.0	13.0	
2002	1	01	14.4	14.4	15.0	14.6	14.6	14.4	14.2	14.2	13.6	14.0	14.6	14.4	13.6	
2003	1	01	14.4	14.4	14.8	15.4	15.4	14.2	13.6	14.0	14.0	14.8	14.2	14.2	13.6	
2004	1	01	13.8	14.0	15.0	14.2	14.4	14.0	13.4	14.0	14.6	14.8	15.4	14.0	13.3	
2005	1	01	14.2	15.4	15.2	15.0	15.4	15.0	14.4	15.0	14.4	14.2	15.0	14.4	14.2	
2006	1	01	14.4	14.5	15.4	14.6	14.0	14.2	14.7	14.3	14.0	12.9	14.8	14.6	12.9	
2007	1	01	14.8	13.8	15.2	15.0	15.0	14.2	13.4	14.2	14.6	13.9	14.0	13.8	13.4	
2008	1	01	14.2	12.6	14.6	14.0	14.0	14.2	13.8	14.4	14.2	14.8	15.0	14.4	12.6	
2009	1	01	14.4	15.0	14.6	14.8	15.0	15.0	14.3	14.4	14.2	15.0	15.0	14.4	14.2	
2010	1	01	13.8	13.0	13.0	13.2	13.2	12.0	12.6	13.4	13.0	12.4	14.0	14.0	12.0	
2011	1	01	13.0	13.0	13.0	13.2	13.2	13.0	12.6	12.4		12.4	13.0	13.4	12.4	
2012	1	01	13.2	12.8	13.0	13.4	13.4								12.8	
MEDIOS			13.8	13.7	14.2	14.4	14.2	13.9	13.5	13.7	13.7	13.7	14.0	14.0	13.9	
MAXIMOS			14.8	15.4	15.4	15.4	15.4	15.0	14.4	15.0	15.0	15.2	15.4	15.0	15.4	
MINIMOS			10.0	11.0	11.2	12.0	11.4	12.0	12.4	12.4	12.0	10.0	10.0	11.8	10.0	

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (OC)														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
FECHA DE PROCESO : 2014/07/21			TIPO EST		CO	IDEAM	DEPTO		HUILA		ESTACION : 21085040 TERPEYA COLOMBIA			1990-NOV		
LATITUD 0239 N			ENTIDAD	01	04	HUILA-CAQUET	MUNICIPIO	IQUIRA	CORRIENTE	YAGUARA	FECHA-INSTALACION			FECHA-SUSPENSIÓN		
LONGITUD 7539 W			REGIONAL		04	HUILA-CAQUET	CORRIENTE	YAGUARA	YAGUARA	YAGUARA						
ELEVACION 1650 m.s.n.m			*****													
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1992	2	01	26.2	25.6	27.0	27.6	26.4	26.0	26.0	26.4	28.0	27.0	26.6	25.4	28.0	
1993	2	01	26.0	24.4	25.0	25.4	26.0	25.4	26.0	27.4	27.8	27.8	24.6	25.4	27.8	
1994	2	01	24.2	25.2	26.4	29.2	26.2	24.8	26.4	25.4	28.0	25.2	25.0	26.0	29.2	
1995	2	01	25.4	27.0	29.0	26.2	25.2	26.4	25.6	29.2	26.6	27.4	29.8	24.4	29.8	
1996	2	01	24.0	24.2	25.0	25.2	25.6	24.2	25.2	25.8	28.0	25.6	26.8	25.4	28.0	
1997	2	01	*	27.0	27.0	25.4	25.8	26.6	27.0	28.6	28.6	28.8	25.6	27.0	28.8	
1998	1	01	28.4	29.3	29.2	27.5	26.7	26.4	25.4	28.0	30.0	25.2	25.2	24.2	30.0	
1999	1	01	24.6	24.4	25.8	24.6	24.4	25.2	25.0	26.4	26.4	25.8	25.2	25.0	26.4	
2000	1	01	24.8	24.6	25.0	25.0	26.8	25.2	26.2	27.0	26.4	25.8	24.0	25.4	27.0	
2001	1	01	25.2	27.4	26.0	25.4	25.6	26.0	26.4	27.2	26.8	28.4	25.4	24.8	28.4	
2002	1	01	25.6	27.8	26.2	25.2	25.4	26.6	25.4	25.4	29.2	27.8	26.4	26.8	29.2	
2003	1	01	26.6	27.2	26.8	27.0	26.4	25.4	25.4	27.6	26.8	27.2	25.4	25.6	27.6	
2004	1	01	25.0	27.2	28.0	27.2	26.4	25.6	25.4	27.0	27.8	27.6	25.6	24.8	28.0	
2005	1	01	24.8	25.8	25.6	26.6	26.6	25.4	26.2	26.6	27.2	27.2	25.8	23.4	27.2	
2006	1	01	26.4	25.6	26.0	26.2	26.2	25.2	26.3	27.4	31.8	28.0	24.8	25.4	31.8	
2007	1	01	26.8	26.2	26.8	25.0	26.3	24.8	25.6	27.0	27.6	27.4	25.6	24.0	27.6	
2008	1	01	26.6	25.6	26.4	25.6	25.8	25.4	25.2	25.8	27.2	26.4	24.3	25.2	27.2	
2009	1	01	26.8	25.6	24.6	25.4	26.0	26.2	26.4	26.8	27.8	28.2	26.4	26.0	28.2	
2010	1	01	28.4	28.2	29.2	28.2	28.0	26.6	25.6	28.0	27.2	27.4	24.8	25.0	29.2	
2011	1	01	25.2	25.3	25.4	26.2	25.0	25.0	26.0	27.2	27.2	25.6	24.8	26.0	27.2	
2012	1	01	24.6	25.0	26.0	25.4	25.0	27.4	27.4	28.0	28.0	27.6	25.4	25.3	29.0	
MEDIOS			25.8	26.1	26.5	26.2	26.2	25.7	25.9	27.0	27.8	27.2	25.6	25.3	26.3	
MAXIMOS			28.4	29.3	29.2	29.2	29.0	27.4	27.4	29.2	31.8	30.0	29.8	27.0	31.8	
MINIMOS			24.0	24.2	24.6	24.6	24.4	24.2	25.0	25.4	26.4	25.2	24.0	23.4	23.4	

## VALORES MAXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/07/21															ESTACION : 21115080 VILLAVIEJA FFCC							
LATITUD 0313 N															FECHA-INSTALACION 1964-FEB							
LONGITUD 7512 W															FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION 0430 m. s. n. m																						
		TIPO EST		CO	DEPTO	HUILA																
		ENTIDAD	01	01	MUNICIPIO	VILLAVIEJA																
		REGIONAL	04	04	HUILA-CAQUET	CORRIENTE MAGDALENA																
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL							
1992	2	01	37.0	38.4	38.6	33	35.4	33	36.4	37.2	33	38.0	33	38.4	39.4	38.6	37.2	33	36.2	39.4	33	
1993	2	01	38.4	37.4	36.2	33	35.4	33	36.4	36.6	37.2	39.0	39.4	39.0	39.4	39.8	37.2	33	36.4	39.8	33	
1994	2	01	36.2	37.0	37.0	33	38.0	37.4	37.4	39.2	39.0	38.4	39.8	38.2	38.4	38.2	38.4	38.4	38.4	39.8	33	
1995	2	01	38.6	39.2	39.2	33	38.0	38.2	38.2	38.2	39.2	39.4	39.4	39.0	39.4	39.0	35.2	39.0	39.0	39.4	33	
1996	2	01	34.8	37.0	36.0	33	36.4	37.4	36.2	33											33	
1997	2	01										39.5	33	40.0	33	39.5	38.5	38.0	33	40.0	33	
1998	1	01	39.5	40.5	39.5	33	37.5	33	39.5	33	37.5	33	*	40.0	40.5	37.5	37.0	40.5	33	40.5	33	
1999	1	01	35.5	38.0	38.0	33	38.0	38.0	38.5	39.5	39.5	39.5	38.5	36.5	35.0	35.0	35.0	39.5	33	39.5	33	
2000	1	01	37.5	37.0	37.0	33	37.5	33	36.5	38.5	39.5	39.5	38.5	39.5	37.0	*		39.5	33	39.5	33	
2001	1	01			*		38.5	38.5	39.0	39.5	38.5	38.5	39.5	36.5	35.5	35.5	33	39.5	33	39.5	33	
2002	1	01	38.0	38.5	38.5	33	38.0	37.0	37.0	38.5	39.0	38.5	39.0	39.5	39.5	38.5	38.5	39.0	39.5	33	39.5	33
2003	1	01	38.5	39.0	39.5	33	37.5	37.5	37.5	38.5	39.0	38.5	38.5	38.5	35.0	35.5	39.5	33	39.5	33	39.5	33
2004	1	01	36.5	39.0	39.2	33	37.4	37.0	38.0	38.0	37.4	38.5	39.0	39.0	34.0	34.4	39.2	33	39.2	33	39.2	33
2005	1	01	36.0	37.5	37.5	33	38.0	37.4	38.0	37.4	38.0	38.5	38.5	36.5	36.2	34.2	38.5	33	38.5	33	38.5	33
2006	1	01	36.2	36.6	37.2	33				38.0	33	38.0	33	38.4	39.2	33	35.0	33	39.2	33	39.2	33
2007	1	01	38.4	39.0	39.4	33	36.0	37.0	35.6	37.6	38.4	39.4	39.4	39.4	34.6	35.2	33	39.4	33	39.4	33	
2008	1	01	36.0	37.2	36.0	33	34.4	33	36.0	35.4	37.0	33	37.4	38.2	33	33.0	33	33.8	33	38.2	33	
2009	1	01	35.8	35.4	35.0	33	35.7	36.0	37.4	37.8	33	39.0	33	40.0	41.0	33	37.4	33	39.0	33	41.0	33
2010	1	01	40.2	42.0	39.2	33	38.2	36.4	33	35.2	35.6	38.4	38.2	38.2	33	33.8	33	33.2	33	42.0	33	
2011	1	01	35.0	36.2	35.0	33	35.8	33	35.4	35.2	36.8	38.2	38.4	37.8	36.2	33	34.6	38.4	33	38.4	33	
2012	1	01	35.0	36.2	37.0	33	36.0	36.4	37.4	37.6	39.4	39.4	38.8	34.2	33	36.8	33	39.4	33	39.4	33	
MEDIOS			37.0	38.0	37.6	33	36.9	37.2	37.2	38.0	38.8	39.1	38.7	35.9	36.1	37.5	33	37.5	33	37.5	33	
MAXIMOS			40.2	42.0	39.5	33	38.2	39.5	39.2	39.5	39.5	40.0	41.0	38.5	39.0	42.0	33	42.0	33	42.0	33	
MINIMOS			34.8	35.4	35.0	33	34.4	35.4	35.2	35.6	37.4	38.2	35.0	33.0	33.2	33.0	33	33.0	33	33.0	33	

## VALORES MINIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/07/21															ESTACION : 21115080 VILLAVIEJA FFCC								
LATITUD 0313 N															FECHA-INSTALACION 1964-FE								
LONGITUD 7512 W															FECHA-SUSPENSION								
ELEVACION 0430 m. s. n. m																							
		TIPO EST		CO	DEPTO	HUILA																	
		ENTIDAD	01	01	MUNICIPIO	VILLAVIEJA																	
		REGIONAL	04	04	HUILA-CAQUET	CORRIENTE MAGDALENA																	
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL								
1992	2	01	19.2	20.2	20.0	33						18.0	33	17.0	33	17.2	17.0	33	17.0	33	17.0	33	
1993	2	01	*	17.0	19.4		19.4	20.0	19.6	17.6	19.0	18.6	20.0	33	19.0	33	19.8	17.0	33	19.8	33	17.0	33
1994	2	01	19.4	19.2	19.6	33	19.8	19.4	19.2	19.4	19.0	20.0	16.4	19.0	19.0	16.4	19.0	19.0	16.4	19.0	33	16.4	33
1995	2	01	19.0	19.0	19.8	33	19.4	19.0	15.4	18.6	19.2	19.8	19.4	19.0	19.0	15.4	19.0	19.0	19.0	33	15.4	33	
1996	2	01	19.2	19.0	19.0	33	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	18.0	33	19.0	19.0	18.0	19.0	18.0	19.0	33	18.0	33	
1997	2	01	19.0	18.0	19.0	33	20.0	19.0	19.4	19.0	19.0	33	20.0	19.0	19.6	19.2	19.2	33	18.0	33	18.0	33	
1998	1	01	19.0	22.0	21.2	33	20.4	21.2	19.0	33	18.2	33	20.0	33	19.2	19.0	19.4	19.6	33	18.2	33	18.2	33
1999	1	01	20.0	20.0	21.4	33	20.0	20.2	18.0	33	18.6	33	18.4	33	19.4	33	20.0	19.0	33	18.0	33	18.0	33
2000	1	01	19.0	19.0	19.4	33	20.4	19.0	19.4	33	19.0	33	21.0	33	19.6	33	18.8	33	20.2	33	19.0	33	
2001	1	01	19.4	19.0	20.0	33	20.0	20.0	18.2	33	19.4	33	18.4	33	19.4	33	21.0	33	18.0	33	20.0	33	
2002	1	01	22.0	20.0	20.0	33	20.0	20.0	20.0	33	19.0	33	20.0	33	20.0	33	20.0	20.0	33	19.0	33	19.0	33
2003	1	01	19.4	20.0	19.0	33	19.0	19.6	33	19.6	18.5	33	19.0	33	19.0	33	19.2	33	19.2	33	19.2	33	
2004	1	01	20.0	19.0	20.0	33	20.0	19.4	33	19.8	19.4	33	20.0	33	19.6	33	19.2	33	19.0	33	20.0	33	
2005	1	01	19.4	20.0	18.4	33	18.4	19.0	33	19.0	19.0	33	19.0	33	19.0	33	20.0	33	19.0	33	19.0	33	
2006	1	01	20.0	19.4	20.0	33	19.2	33	19.0	33	19.2	33	19.0	33	20.4	33	21.0	33	20.0	33	19.0	33	
2007	1	01	19.0	19.0	19.2	33	19.0	20.0	33	19.0	18.6	19.0	20.0	33	19.0	33	19.0	19.6	33	20.4	33	18.6	33
2008	1	01	*	19.0	18.4	33	19.0	19.0	33	19.0	20.0	33	19.0	33	20.0	33	20.0	20.2	33	21.0	33	18.4	33
2009	1	01	21.4	20.2	21.0	33	20.4	19.8	33	20.0	33	19.4	33	19.8	33	20.0	21.2	33	22.0	33	21.0	33	
2010	1	01	19.0	22.4	23.0	33	21.2	19.8	19.8	19.8	19.0	19.2	20.0	33	20.0	33	20.0	20.0	33	20.0	33	19.0	33
2011	1	01	19.8	19.8	19.2	33	19.0	20.2	33	19.6	33	19.0	33	20.0	33							19.0	33
2012	1	01			20.0	33	20.0	20.6	33	20.0	33	18.0	33	19.2	33	19.8	33	21.4	33	20.2	33	18.0	33
MEDIOS			19.6	19.6	19.9	33	19.7	19.8	19.2	19.0	19.2	19.4	19.5	19.6	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	33
MAXIMOS			22.0	22.4	23.0	33	21.2	21.6	20.0	20.0	21.0	20.4	21.2	22.0	21.0	23.0	21.0	23.0	21.0	23.0	21.0	23.0	33
MINIMOS			19.0	17.0	18.4	33	18.4	19.0	15.4	17.6	18.0	18.4	16.4	17.0	17.0	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	15.4	33

## Anexo 6

### Tabla de Radiación solar extraterrestre en MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Allen et al., 1998)

[http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex\\_2\\_meteorological\\_tables](http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex_2_meteorological_tables)

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

ANEXO 7

**Tabla 13 Estimación de la ETO Potencial de la Cuenca del río Aipe**

ESTIMACION DE LA ETO POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL DE LA CUENCA DEL RÍO AIPE							
MES	T MIN (°C)	T MED (°C)	TMAX (°C)	HR (%)	Ro (MJ/m2/día)	Rs (cal/m2/día)	ETo (mm/mes)
1	19.62	27.71	37.00	71.43	34.92	532.22	157.29
2	19.56	27.75	37.96	71.00	36.6	599.87	156.06
3	19.85	27.37	37.63	73.10	37.7	607.28	169.81
4	19.68	27.14	36.92	74.19	37.2	590.43	164.97
5	19.81	27.27	37.17	73.90	35.76	569.48	159.83
6	19.16	27.53	37.21	71.05	34.68	562.84	158.68
7	19.03	27.78	37.98	67.29	35.02	582.65	164.31
8	19.19	28.48	38.77	63.71	36.34	614.64	174.12
9	19.44	28.58	39.05	63.86	37.3	631.62	178.78
10	19.45	27.45	38.70	70.33	36.75	616.05	172.23
11	19.56	26.77	35.93	75.14	35.17	542.89	152.01
12	19.48	27.02	36.09	74.43	34.25	532.85	150.01
MEDIA	19.49	27.57	37.53	70.79	35.97	581.90	163.17



**Tabla 14 Estimación de la ETO Potencial de la Cuenca alta del río Íquira**

ESTIMACION DE LA ETO POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO ÍQUIRA							
MES	T MIN (°C)	T MED (°C)	TMAX (°C)	HR (%)	Ro (MJ/m2/día)	Rs (cal/m2/día)	ETo (mm/mes)
1	13.72	18.55	25.65	86.94	35.13	463.23	113.51
2	13.79	18.74	26.02	86.18	36.8	491.41	111.27
3	14.16	18.65	26.35	86.35	37.73	502.63	122.48
4	14.29	18.77	26.26	86.00	37.2	491.11	120.30
5	14.42	18.96	26.30	85.18	35.6	468.74	115.84
6	13.95	18.81	25.66	80.88	34.47	451.29	111.37
7	13.40	18.56	25.97	79.06	34.83	472.03	115.48
8	13.75	19.04	27.02	74.47	36.23	504.22	123.98
9	13.59	19.43	27.81	74.53	37.3	534.47	132.58
10	13.58	18.89	27.09	83.12	36.87	517.64	126.56
11	13.88	18.45	25.72	88.12	35.37	463.91	113.38
12	13.96	18.41	25.24	88.06	34.5	442.48	108.55
<b>MEDIA</b>	13.88	18.77	26.26	83.24	36.00	483.60	117.94