

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADOS EN GEOGRAFÍA (EPG)

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN
Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO:

Análisis y proyecciones de sus principales efectos en la cuenca del río Guatiquía
(Colombia) 2015-2045

Presentado por:

Marcio Baquero Galvis

Dirigido por:

Rigaud Sanabria Marín

Bogotá D.C. 2019

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADOS EN GEOGRAFÍA (EPG)

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN
Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO:

Análisis y proyecciones de sus principales efectos en la cuenca del río Guatiquía
(Colombia) 2015-2045

Bogotá D.C. 2019

Nota de aceptación

Jurados

Fecha

DEDICATORIA

A mi madre, a Ónix, a Mono y a las memorias de mi abuelo Miguel Galvis

RESUMEN

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS Y PROYECCIONES DE SUS PRINCIPALES EFECTOS EN LA CUENCA DEL RÍO GUATIQUEÑA (COLOMBIA) 2015-2045

Por

MARCIO BAQUERO GALVIS

Los estudios de escenarios de cambio climático (CC) desde su distribución espacial y diferencias en comportamiento de sus variables facilitan la disminución de la incertidumbre en la gestión y manejo de las cuencas hidrográficas. Los insuficientes estudios a escalas subregionales, las condiciones biofísicas, hídricas y climáticas del área de estudio, la insuficiente gestión y manejo del clima y del agua muestran una baja previsión del CC. La aplicación de modelaciones climáticas y el análisis espacio-temporal de la temperatura, precipitación y caudales permiten observar las generalidades geográficas que suelen implicar afecciones en las actividades humanas, riesgos naturales y del territorio. Debido a lo anterior, se acogió como área de estudio la cuenca del río Guatiquía, la cual fue analizada integralmente desde un enfoque metodológico cualitativo-positivista de carácter descriptivo, explicativo y correlacional bajo los preceptos de la geografía ambiental, geografía regional y geografía de la percepción con información secundaria y primaria y un nivel de análisis multitemporal y espacial de valores mensuales para las variables precipitación, temperatura y caudales.

En consecuencia, el proyecto se centró, por un lado, en el registro de las series faltantes por medio de la aplicación de un modelo de análisis de comportamientos históricos de

las variables que contempla el uso de herramientas y métodos estadísticos de datos hidrometeorológicos oficiales; por otra parte, se realizó un análisis de los datos entre 1969-2015 y 2015-2045, así como de la espacialización de los escenarios de CC a nivel subregional por medio de sistemas de información geográfica. Igualmente se construyó un modelo espacial para analizar las características biofísicas y de susceptibilidad al CC por medio de herramientas SIG y regresiones lineales, que permite el análisis de los efectos de los escenarios de CC en la cuenca del río Guatiquía. Esto fue acompañado de la medición de percepción general del CC de la población circundante y de visitas de campo.

Se encontró que entre 1968 y 2017 la temperatura tendió a aumentar en la media anual multianual entre 0,1 y 0,5 Grados Centígrados (°C) en el histórico, en donde para los escenarios de CC se presentó una tendencia de cambio para la cuenca media entre 0,2 y 0,7°C y para la cuenca baja una variación entre 0,1 y 0,5°C, lo cual corrobora la existencia del CC y de las posibles variaciones en escenarios a 30 años. La tendencia histórica mostró que en la precipitación media anual multianual hubo una reducción paulatina de las lluvias en escenarios de CC entre un 12 y un 15% con respecto al comportamiento histórico, pero mostrando un aumento para los meses de julio con posibles lluvias extremas. Por esta disminución de precipitación y aumento de la temperatura, se comprobó que la tendencia de los valores en caudales es negativa con disminuciones entre un 15 y un 22% según las corrientes. Lo anterior coincidió con el con la medición de la percepción social general del CC en el área de estudio, en donde un 84% afirmó que el CC ha afectado el comportamiento de la cuenca, un 97% afirmó que la temperatura del ambiente es más caliente y un 85% afirmó que los caudales disminuyeron. Debido a la presencia de eventos extremos durante los periodos de recolección de la información, el 55% de la muestra mencionó que la precipitación ha disminuido y el 38% menciona que ha habido un aumento. Esto coincide puesto que habrá áreas donde se presentarán más lluvias, pero son un porcentaje bajo con respecto al área de la cuenca.

A partir de estudios sobre el cambio climático a escalas subregionales desde la mirada integradora de la geografía, los trabajos como el presente podrían ser empleados como, fuentes de información para estudios o políticas que procuren el mejoramiento de la gestión de las cuencas hidrográficas y del CC; como información para iniciativas medidas para la reducción de la vulnerabilidad al CC de los sistemas humanos y naturales; como una mirada general para la priorización de áreas para la gestión del

territorio; y como para la construcción social de la percepción de los efectos del cambio climático y su importancia en la construcción de territorio.

Palabras claves:

Cambio climático, escenarios, modelación espacial, temperatura, precipitación, caudales, río Guatiquía (Colombia)

AGRADECIMIENTO

A mi familia por todo el apoyo incondicional, mi madre que lo es todo, a mi pareja por no dejarme rendir, a mis profesores, a mi tutor por demostrarme que la geografía es la salida, a la gobernación del meta por la beca, a Ónix y Mono por darme fortaleza y a la vida por la oportunidad.

TABLA DE CONTENIDO:

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Hipótesis	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo General	13
1.2.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. Área de estudio.....	14
1.4. Delimitación temporal:.....	17
1.5. Pertinencia e Impacto	17
1.6. Justificación	18
2. MARCO REFERENCIAL – PERSPECTIVAS TEÓRICAS Y CONCEPTUALES.....	22
2.1. Geografía regional.....	23
2.2. Geografía ambiental	29
2.3. Geografía de la Percepción.....	31
2.4. Cambio Climático	32
2.5. Marco Conceptual	37
2.6. Estado del arte	40
3. MARCO METODOLÓGICO	45
3.1. Tipo de estudio	45
3.2. Método de investigación	45
3.3. Población y/o muestra	47
3.4. Variables e Indicadores	47
3.5. Técnicas para la recolección de información	48
4. RELACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES	49
4.1. Fuentes de información climática.....	49
4.2. Los datos observados	49
4.3. Disponibilidad de datos	49
4.4. Selección del periodo de observación.....	50
4.5. Llenado de datos faltantes	52

4.6.	Análisis exploratorio de las variables (temperatura, precipitación y caudales).....	54
4.6.1.	Breve análisis estadístico descriptivo de Precipitación	55
4.6.2.	Breve análisis estadístico descriptivo de Temperatura	59
4.6.3.	Breve análisis estadístico descriptivo de Caudales	63
4.7.	Correlación entre precipitación y caudales en el Río Guatiquía	68
4.8.	Métodos para la espacialización de las variables en la cuenca del río Guatiquía	68
4.7.1.	Revisión sobre espacialización de Precipitación	69
4.7.2.	Revisión sobre espacialización de Temperatura	73
4.7.3.	Revisión sobre espacialización de caudales.....	77
4.8.	Conclusiones	81
5.	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO GUATIKUÍA (2015-2045)	85
5.1.	Desarrollo metodológico de los escenarios de cambio climático para la cueca del rio Guatiquía.....	86
5.2.	Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de precipitación en escenarios de cambio climático	87
5.3.	Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de temperatura en escenarios de cambio climático	92
5.4.	Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de caudales en escenarios de cambio climático	95
5.5.	Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2015-2045) de temperatura	99
5.6.	Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2015-2045) de precipitación.....	103
5.7.	Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2011-2040) de caudales.....	106
5.8.	Conclusiones	110
6.	PRINCIPALES EFECTOS DE LA INTERACCIÓN ENTRE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO GUATIKUÍA	112
6.1.	Modelación de la estructura biofísica general de la cuenca del río Guatiquía.....	113
6.1.1.	Desarrollo metodológico del modelo de estructura biofísica y de cambio climático para la cuenca del Río Guatiquía.....	115
6.1.2.	Espacialización de las variables y del modelo	118
6.1.3.	Modelo del componente biofísico y de cambio climático para la cuenca del Río Guatiquía.....	121

6.2.	Relación e interacción espacial de la estructura biofísica y de cambio climático con los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía	122
6.2.1.	Relación con los escenarios de Temperatura	122
6.2.2.	Relación con los escenarios de Precipitación	124
6.2.3.	Conclusiones	125
6.3.	Percepción social general del cambio climático en la cuenca del río Guatiquía ...	127
6.3.1.	Metodología del análisis general de la percepción y del cambio climático.....	127
6.3.2.	Breve análisis estadístico de la percepción del cambio climático y su posible relación con el modelo espacial de la estructura biofísica y de cambio climático en la cuenca del río Guatiquía.....	127
7.	CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES	135
8.	BIBLIOGRAFÍA	139

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Datos y estaciones para precipitación (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía	55
Tabla 2	Datos y estaciones para temperatura (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.....	60
Tabla 3	Datos y estaciones para caudales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.....	63
Tabla 4	Datos y estaciones para precipitación en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía.....	87
Tabla 5	Datos y estaciones para temperatura en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía.....	92
Tabla 6	Datos y estaciones para caudales en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del área de estudio, cuenca del río Guatiquía.....	15
Figura 2	Características morfométricas - Cuenca del río Guatiquía y perfil longitudinal	16

Figura 3 Diagrama de la relación entre la Geografía Regional y las Ciencias Sistémicas.	26
Figura 4 Diagrama de la teoría de la geografía.	35
Figura 5 Ubicación de las estaciones entregadas con información por parte del IDEAM para la cuenca del río Guatiquía.	50
Figura 6 Ubicación de las estaciones seleccionadas para la cuenca del río Guatiquía.	52
Figura 7 Precipitación Media Multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	56
Figura 8 Precipitación Media Multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	57
Figura 9 Precipitación Media Multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	58
Figura 10 Precipitación Media Anual Multianual Total (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	59
Figura 11 Temperatura Media Multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	60
Figura 12 Temperatura Media Multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	61
Figura 13 Temperatura Media Multianual para el mes de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	62
Figura 14 Temperatura Media Anual Multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	62
Figura 15 Caudales Medios Multianuales de marzo (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.	64
Figura 16 Caudales Medios Multianuales de julio (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.	65
Figura 17 Caudales Medios Mensuales de noviembre (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.	66
Figura 18 Caudales Medios Multianuales Totales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.	67
Figura 19 Precipitación media multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	70
Figura 20 Precipitación media multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	71
Figura 21 Precipitación media multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	72
Figura 22 Precipitación media anual multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	73
Figura 23 Temperatura media multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.	74

Figura 24 Temperatura media multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.....	75
Figura 25 Temperatura media multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.....	76
Figura 26 Temperatura media anual multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.....	77
Figura 27 Caudales medios multianuales de marzo (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.....	78
Figura 28 Caudales medios multianuales de julio (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.....	79
Figura 29 Caudales medios multianuales de noviembre (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.....	80
Figura 30 Caudales medios anuales multianuales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.....	81
Figura 31 Escenarios de precipitación media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	88
Figura 32 Escenarios de precipitación media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	89
Figura 33 Escenario de precipitación media multianual de noviembre (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía.....	90
Figura 34 Escenarios de precipitación media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	91
Figura 35 Escenario de temperatura media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	92
Figura 36 Escenario de temperatura media multianual para el mes de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	93
Figura 37 Escenario de temperatura media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	94
Figura 38 Escenario de temperatura media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	94
Figura 39 Escenario de caudales medios multianuales de marzo (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	96
Figura 40 Escenarios de caudales medios multianuales de julio (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	96
Figura 41 Escenario de caudales medios multianuales de noviembre (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	97
Figura 42 Escenario de caudales medios anuales multianuales (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	98
Figura 43 Escenario de temperatura media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	99

Figura 44 Escenario de temperatura media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	100
Figura 45 Escenario de temperatura media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	101
Figura 46 Escenario de temperatura media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	102
Figura 47 Escenario de precipitación media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	103
Figura 48 Escenario de precipitación media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	104
Figura 49 Escenario de precipitación media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	105
Figura 50 Escenario de precipitación media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.....	106
Figura 51 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de marzo (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	107
Figura 52 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de julio (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	108
Figura 53 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de noviembre (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	109
Figura 54 Mapa de Escenario de caudales medios anuales multianuales (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.....	110
Figura 55 Modelo cartográfico sobre la estructura biofísica y de cambio climático desde un enfoque sistémico de la geografía ambiental.	117
Figura 56 Componente de zonificación de suelos por grado de erosión para la cuenca del río Guatiquía.....	118
Figura 57 Componente importancia ambiental de la cuenca del río Guatiquía	119
Figura 58 Componente de riesgo y cambio climático para la cuenca del río Guatiquía.	120
Figura 59 Componente Biofísico y de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía	121
Figura 60 Interacción entre el componente biofísico y de cambio climático contra la temperatura en escenario de cambio climático (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.	123
Figura 61 Interacción entre el componente biofísico y de cambio climático con respecto a la precipitación en escenario de cambio climático (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía. Elaboración propia	124
Figura 62 Pregunta 1, sobre rangos de edad - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía.....	127
Figura 63 Pregunta 2, sobre escolaridad - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía.....	128

Figura 64 Pregunta 6, sobre si se ha visto afectado en su vida cotidiana por el cambio climático - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía.....	129
Figura 65 Pregunta 11, sobre percepción de cambio en la temperatura del ambiente frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía	129
Figura 66 Pregunta 12, sobre percepción de cambio en la precipitación frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.....	130
Figura 67 Pregunta 13, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía	131
Figura 68 Pregunta 14, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.....	131
Figura 69 Pregunta 15, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.....	132
Figura 70 Pregunta 16, sobre cuáles serían las posibles acciones que se deben ejecutar para mejorar o gestionar para la cuenca del río Guatiquía- Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.	133

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el cambio climático global es una preocupación que ha enmarcado distintos sectores territoriales en distintas formas de gestión. Por las enormes repercusiones que tiene para la sostenibilidad futura del desarrollo socioeconómico y ambiental, como para la prevención, mitigación y gestión de condiciones extremas ambientales (Sttrot P, 2004).

Las previsiones, políticas y planes para el manejo de los impactos o efectos favorables o desfavorables del cambio climático en zonas o áreas específicas, resultan de especial interés para las autoridades territoriales y ambientales como para el sector productivo y las comunidades; sin embargo, tales medidas dependerán sobre todo de la identificación de los escenarios de cambio climático y de la priorización en la modelación espacial de la estructura biofísica. Lo anterior requiere de información pertinente para el análisis y las proyecciones posibles de la distribución espacio-temporal de los principales elementos que constituyen el clima como son la temperatura y la precipitación, así como de su posible incidencia en los caudales en la cuenca hidrográfica. Es fundamental para tales previsiones y políticas, conocer la percepción general de la población presente en el territorio, donde tienen tales efectos los cambios del clima.

El clima se define como el conjunto de condiciones atmosféricas que poseen distintos comportamientos y estados a lo largo del tiempo y el espacio, según la región en donde se presenta; en función de factores tanto naturales como de la interacción con el medio principalmente atmosférico. A causa de esta relación general de las condiciones atmosféricas predominantes, el clima se describe entonces a partir de elementos atmosféricos, que para el caso, están soportados en la obtención de sus valores cualitativos o cuantitativos según sus valores y registros (IDEAM, 2001, pág. 35).

Los estudios de los escenarios de cambio climático, distribución espacial y diferencias en comportamiento de elementos climáticos han reducido la incertidumbre de la información para la gestión integrada de cuencas hidrográficas (IPPC, 2012). Dado que el cambio climático se presenta diferencialmente y en algunos territorios con

consecuencias adversas al hombre y su medio, la identificación de la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y su incidencia en caudales permitiría la aplicación de modelos de proyección de las dinámicas climáticas y una mejor toma de decisiones en la gestión ambiental.

Se acogió como área de estudio la cuenca del río Guatiquía, ubicada en el departamento del Meta, Colombia, la cual fue analizada integralmente desde un enfoque metodológico cualitativo-positivista de carácter descriptivo, explicativo y correlacional bajo los preceptos de la geografía ambiental, geografía regional y geografía de la percepción con información secundaria y primaria y un nivel de análisis multitemporal y espacial de valores mensuales para las variables precipitación, temperatura y caudales.

El análisis y la inclusión de modelaciones y escenarios de cambio climático para el país, y específicamente bajo enfoques más localizados, permitirán de una mejor forma, aproximarse y planear el territorio, y prever el manejo de las incidencias en la salud humana, seguridad alimentaria, en la gestión integrada de los recursos naturales, e incluso en la ocupación o desplazamiento poblacional por efectos extremos (Arango, Guzmán, & Ruíz, 2012).

La comprensión de las dinámicas climáticas está ligada al análisis de fenómenos geográficos, y el conocimiento de las acciones antrópicas en el territorio. Para el caso, el énfasis, según el enfoque teórico y metodológico adoptado, está en los fenómenos propiamente climáticos; así incluya elementos de la percepción cultural sobre el mismo. Así que resulta pertinente una descripción, análisis y proyección de los cambios en la distribución de temperatura, precipitación y su incidencia en caudales frente a sus posibles efectos a escala regional (cuenca hidrográfica del Río Guatiquía) por medio del uso de modelos científico-técnicos, hidroclimáticos y estadísticos en un marco de cambio climático.

De ahí que en esta investigación, el centro de la atención y donde se considera que se realizan aportes significativos, fueron en la configuración y aplicación del modelo de análisis y proyecciones de la distribución espacio-temporal de la temperatura, precipitación y su incidencia en caudales en escenarios de cambio climático a escala regional – local, así se tenga un aparte de consideración sobre las recomendaciones que hace sobre la “geografía de la percepción” del cambio climático en la cuenca.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es un referente básico para examinar la estructura y función ecológica y socioterritorial de las cuencas hidrográficas (DNP, Minambiente y Visión Amazonía, 2018). Los insuficientes estudios climatológicos a escalas subregionales en el área de estudio, como de los análisis de las condiciones biofísicas, hídricas y climáticas de la cuenca hidrográfica del río Guatiquía a escalas detalladas, son factores que contribuyen a la debilidad e ineficiencia de la gestión ambiental y del elemento vital en particular. La baja previsión de las características específicas y efectos concretos del cambio climático y de los riesgos, en un ámbito subregional, resultan siendo factores que contribuyen a la ineficiencia de las estrategias de gestión del ordenamiento ambiental y territorial.

La concentración de la gestión ambiental y de la aplicación de medidas y herramientas de evaluación y seguimientos aplicadas a las cuencas hidrográficas, solo recientemente han incorporado la consideración de los escenarios de cambio climático como un factor determinante clave. Sin embargo, los problemas teóricos y metodológicos implicados en la profundización y de escala, han hecho con frecuencia que se tengan referentes a escalas generales sobre la implicación concreta de tales correlaciones del cambio climático; las manifestaciones de percepción que parecen tener los actores territoriales en estos temas, es un indicador de la ausencia de modelaciones más concretas y pertinentes, para la identificación de las características de tales impactos climáticos.

Así que aparece como pertinente una aplicación teórica y metodológica de la investigación desde la perspectiva geográfica aplicada a estos problemas específicos de una interpretación integral de la gestión integral de las cuencas hidrográficas centrado en:

- Los comportamientos de caudales y su relación con temperatura y precipitación, y

- Los efectos en escenarios de cambio climático y la percepción general de los mismos.

Perspectivas geográficas que, a su vez, enfatizan según los desarrollos de la disciplina, enfoques ambientales, regionales y de la percepción, que permiten una lectura integral de los posibles cambios climatológicos que puedan acontecer en el área de estudio y a su vez, identificar la pertinencia analítica y metodológica de tales enfoques, aplicadas a un área geográfica subregional concreta.

1.1. Hipótesis

En la cuenca del río Guatiquía, para el periodo entre 2015-2045, se presentará un considerable aumento en la temperatura, como cambios en las tendencias de las variables precipitación y caudales, diferenciadas en su distribución espacio-temporal según los escenarios de cambio climático. Estas diferencias, con base al modelamiento del componente biofísico y de los escenarios de cambio climático frente a las condiciones históricas ocasionarían efectos diversos a lo largo de la cuenca hidrográfica tanto en su estructura biofísica y climática general, posiblemente en sus funciones ambientales, en los cambios en el uso y cobertura del suelo, en el déficit del elemento vital como de la correspondiente percepción de las comunidades sobre estos efectos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar los principales efectos geográficos y sus interrelaciones generados por la distribución espacio-temporal de temperaturas, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático (2015-2045) en la cuenca de Río Guatiquía.

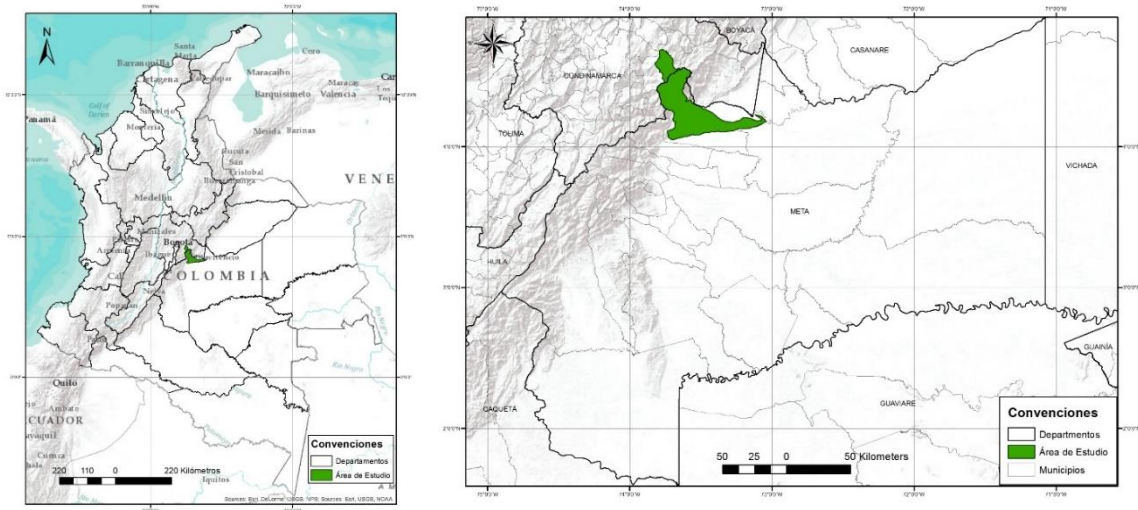
1.2.2. Objetivos específicos

En consecuencia, la planificación, desarrollo y realización de esta propuesta persigue los siguientes objetivos específicos:

- A. Determinar la relación de la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y caudales en la cuenca del río Guatiquía en al menos los últimos 30 años (1985-2015).
- B. Estimar la distribución espacio-temporal de los cambios de la temperatura, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático en la cuenca del río Guatiquía para el periodo 2015-2045.
- C. Analizar los principales efectos espaciales generados por la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático y la forma en que estos se correlacionan o perciben de manera general dentro la cuenca del río Guatiquía.

1.3. Área de estudio

El área de estudio definida por consiguiente para el presente trabajo de investigación es la cuenca del río Guatiquía, la cual se encuentra dentro de los cerros orientales de



Colombia en los departamentos de Cundinamarca y Meta. Este territorio está dividido en dos regiones fisiográficas generales que dimensionan tanto la parte montañosa de la cordillera Oriental con alturas que alcanzan más de los 4.000 metros sobre el nivel del mar (msnm); como la parte de planicies llaneras, con pequeñas elevaciones y sabanas que se ubican entre los 300 y 200 metros de altitud y que se ubica dentro del escudo guayanés.

Figura 1 Ubicación del área de estudio, cuenca del río Guatiquía.

Elaboración Propia. Fuente de los datos: IDEAM (2010)

La definición del área de estudio está ceñida a partir de la delimitación de cuencas hidrográficas elaborada por el IDEAM (IDEAM, 2013). Esta cuenca hidrográfica se muestra en la Figura 1 en la cual según la clasificación del IDEAM corresponde la subzona hídrica del Río Guatiquía. La escala geográfica espacial en la cual se realizaron las salidas gráficas y los análisis espaciales generales es de 1:100.000 debido al área que cubre esta cuenca hidrográfica y a la escala de la información espacial secundaria empleada.

El departamento del Meta se extiende desde el Piedemonte Llanero hasta la llanura oriental en la parte media de Colombia. Posee una gran extensión del territorio colombiano aproximadamente un 7,5% del mismo con gran riqueza hídrica. Estas características geográficas condicionan la selección del área de trabajo bajo el interés académico de conocer y describir las condiciones climáticas y geográficas generales de la parte más norte y con uno de los principales afluentes de la gran cuenca del Río Orinoco.

El río Guatiquía pertenece a la zona hídrica del río Orinoco, con una trayectoria aproximada de 137 km, nace del río Frio y el río La Playa cerca al embalse de Chingaza, donde sirve como proveedor del preciado líquido con embalse de Chuza a más del 80% de la ciudad de Bogotá. La cuenca del río Guatiquía pasa de tener un clima y ecosistemas de páramo con temperaturas entre los 3 y 4°C en la parte alta de la cuenca, a ecosistemas de bosque andino húmedo en la parte media característicos de la cordillera oriental cambiando hacia ecosistemas de sabana y llanura del departamento del Meta con promedios entre 25 y 30°C en la parte más baja de la cuenca. Como lo menciona el POMCA del río Guatiquía, dentro de esta cuenca hacen parte los municipios con un porcentaje del área total de Fómeque del departamento de Cundinamarca (40%) y para los municipios del departamento del Meta con Cumarál (29%), El Calvario (100%), Puerto López (1%), Restrepo (85%), San Juanito (100%) y Villavicencio (41%). Las características morfométricas de la cuenca del río Guatiquía son las siguientes:

No	VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
1	Cota nacimiento		msnm	3637.00
2	Cota desembocadura		msnm	179.00
3	Caída		m	3458.00
4	Area	A	km ²	806.42
5	Perímetro	P	km	320.20
6	Longitud máxima	Lc	km	161.70
7	Longitud del cauce principal	L	km	141.90
8	Ancho	An	km	22.80
9	Factor de Forma	R		0.07
10	Coefficiente de compacidad	Kc		2.13
11	Índice de alargamiento	Ia		7.11
12	Pendiente media del cauce	So	m/km	24.37
13	Pendiente de la cuenca	Sm	%	14.05
14	Tiempo de concentración	Tc	horas	12.59

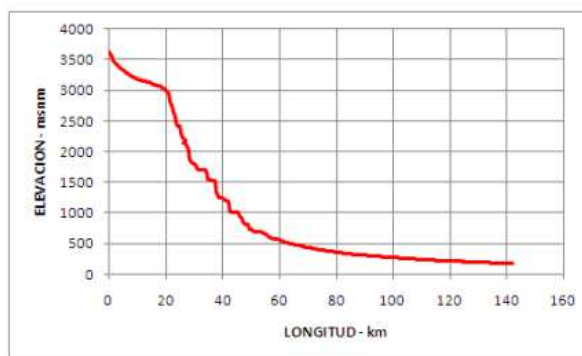


Figura 2 Características morfométricas - Cuenca del río Guatiquía y perfil longitudinal

Fuente: POMCA del río Guatiquía - CORMACARENA - UAESPNN - CAEMA 2008

La cuenca hidrográfica se dividió en 3 partes (alta, media y baja) partiendo de los cambios de pendiente y altura sobre el cauce. Los límites de dichas divisiones son para la cuenca alta 3.617-1.600 msnm, cuenca media 1.600 – 500 msnm y para la cuenca baja entre 500 y 179 msnm.

Desde el punto de vista hídrico el conocimiento de las características morfométricas permiten entender los comportamientos generales que tienen la cuenca, ya sea para entender la ubicación de las estaciones sobre su nivel de elevación, para conocer la pendiente que tiene el cauce principal (cuenca media y baja disminuyen 320 metros en 80 kilómetros), conocer cómo se comportarían a nivel general los caudales en la cuenca alta, la cuenca media, y la cuenca baja con respecto a la pendiente, altura, los tiempo de concentración y índice de alargamiento que tiene la cuenca. Esto muestra que la cuenca posee tiempos de concentración muy cortos entre la cuenca alta y media entre los 3000 y los 750 metros sobre el nivel del mar (msnm) y un cambio brusco de pendiente por más de 60 kilómetros por ende de aumento del tiempo de concentración en la cuenca media y baja.

1.4. Delimitación temporal:

Para la definición de la escala temporal se emplearon dos escalas de tiempo: el periodo de manifestación del cambio climático entre 1968-2015 y el periodo prospectivo de 2015-2045, ambos periodos están por encima del mínimo requerido (25 años) para la realización de nuevos escenarios de cambio climático para Colombia elaborados por el IDEAM (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015). Cabe mencionar que estos periodos fueron limitados debido a las condiciones de los datos de las estaciones empleadas para dichos análisis y los años con información.

1.5. Pertinencia e Impacto

En consecuencia, resulta pertinente desde varios puntos de vista, centrar la atención en la cuenca hidrográfica del río Guatiquía; cuenca calificada de importancia estratégica para el desarrollo urbano rural sostenible, de la capital departamental del Meta y del piedemonte llanero, con una alta demanda hídrica, con altos valores de diversidad ecológica y que vincula un corredor estratégico ambiental de la llanura al páramo, que implica una fuerte coordinación y arreglos interinstitucionales, incluido el aporte académico, con temas relevantes del manejo integrado del riesgo, centrado en el eje problemático de la variabilidad climática.

Los aportes de éste proyecto de investigación sobre el área de la cuenca del Guatiquía en el corto, mediano y largo plazo están enmarcados en la profundización del análisis de la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático, y a través de una metodología que establece la comparación entre las características y dinámicas de las variables a los periodos de tiempo establecidos por los datos de estaciones meteorológicas dentro del área de estudio, para permitir interrelacionarse con la lógica de otros estudios y proyectos asociados al mejoramiento de la gestión integral de la cuenca como por ejemplo los Planes de Ordena

Dentro del corto plazo se presenta principalmente un significativo aporte en tres asuntos: 1. Para la investigación de las variables temperatura y precipitación con los escenarios dados para las subzona hidrográficas de la región de la Orinoquía. 2. Para la gestión hídrica en los estudios a nivel nacional como regional, en cuanto señala

avances notables en la investigación de tal materia en el ámbito regional y para uso de la entidad oficial para el país de generar estudios climatológicos y de cambio climático, el IDEAM; a su vez, en lo que pueda aportar en los desarrollos regulatorios por parte del Ministerio de Ambiente y en la gestión de la política nacional de biodiversidad por parte del Instituto Alexander von Humboldt. En el orden ambiental con la gestión del riesgo como de prevención y mitigación al cambio climático por parte de gobernaciones y alcaldías entre otras. Y 3. En el análisis de viabilidad de la priorización de áreas y de la gestión del territorio hacia los Planes de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA) y a los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) que confluyan en el área de estudio.

A mediano y largo plazo, dado el interés de gobierno del Departamento del Meta – Fondo Social para la Educación Superior FSES, el proyecto de tipo analítico descriptivo de los posibles efectos de las dinámicas espacio-temporales de escenarios de cambio climático para temperatura, precipitación y caudales en la cuenca del Río Guatiquía se convierte en un aporte gubernamental al mejoramiento en la generación de información pertinente, adecuadas para la mejor toma de decisiones en el ordenamiento ambiental y territorial departamental y municipal, reducción del riesgo y amenazas en la cuenca. Igualmente, contribuye a fortalecer la investigación aplicada de otros estudios geográficos en temáticas de riesgos naturales, de gestión del agua, del uso del suelo o de climatología que fortalece la debida educación y divulgación de autoridades, usuarios y público en general sobre una correcta gestión de este elemento vital teniendo en perspectiva las demandas de mitigación y adaptación a la variabilidad climática.

1.6. Justificación

La gestión ambiental de los recursos naturales renovables (recursos vitales) en un área poblada o urbana necesita de gestión integral (Preciado Beltrán, 2005); por lo que con los resultados de este estudio se busca aportar a la generación de herramientas y alternativas para la gestión o el manejo del agua, reducir el margen de incertidumbre, mejorar la capacidad de anticipación a los efectos y consecuencias socioeconómicas y ambientales del cambio climático como de un análisis a mayor profundidad de la percepción en una cuenca hidrográfica. De tal forma, que se convierte en un insumo esencial, para la profundización y réplica de análisis afines, tanto académicos como

técnicos y para el mejoramiento de las estrategias, planes y programas de mitigación y adaptación al cambio climático y de la gestión integrada del territorio por parte de las autoridades municipales y departamentales como por parte de las autoridades propiamente ambientales y las comunidades de la cuenca.

Los problemas y restricciones en la gestión integral de las cuencas y del ciclo hídrico, los cambios y efectos generados por la intervención antrópica frente al cambio de coberturas y la deforestación y las condiciones geográficas específicas de algunos entornos, convierten al agua en un agente de transformación paisajística preponderante. Las avalanchas, inundaciones, desbordamiento de ríos, detonaciones de remoción en masa, arrastre de suelos fértiles entre otros, y la precariedad de un adecuado manejo de tales riesgos, aumenta la amenaza de tales eventos sin mencionar la disminución del elemento vital. Citando a (Tucci, 2007) en (Buitrago Bermúdez, 2010) se menciona que las ciencias interesadas en el estudio de las diferencias espaciales deben dar cuenta de la forma en cómo se distribuye naturalmente el agua en la superficie terrestre, de la disponibilidad de ella para los diferentes grupos humanos como del manejo, consumo y apropiación del mismo para su conservación. Por lo que este tipo de conocimiento es básico para generar una planificación correcta de su oferta y regulación del consumo y para la minimización de los riesgos de escasez y la alteración del sistema hídrico natural.

Es así donde la planificación y la gestión del agua, en este caso a partir del conocimiento de las diferenciaciones espacio-temporal por medio de métodos estadísticos analíticos para temperatura y precipitación, contribuyen como conocimiento especializado en coadyuvar en una mejor gestión del riesgo sobre este elemento vital en las cuencas hidrográficas, y por dicha vía, de una mejor calidad de su uso entre las áreas que cuenten con excedentes de agua como aquellas con escasez, pero según su interrelación o dependencia con los escenarios de cambio climático. Para tales propósitos, en la presente investigación, se advierte plenamente sustentado el estudio de las diferenciaciones espacio-temporales de escenarios de cambio climático a partir del análisis estadístico y geográfico de las variables temperatura en su media como de precipitación acumulada mensual.

El estudio de las consecuencias de los cambios acelerados del clima, como las alteraciones e impactos que generan en el ambiente, la sociedad y la economía ciertamente se han convertido en uno de los más urgentes retos para el desarrollo

sostenible del país. Estas alteraciones en las condiciones climáticas pueden implicar desajustes en el equilibrio de sistemas naturales, desarrollo de actividades productivas como de cambios en la geografía y sus dinámicas (Lecarpentier, Umaña, & Vega, 1977).

Además, existen intereses nacionales e internacionales de la generación de información científica de manera integral (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015) como desde las demandas investigativas de la geografía; ciencia integradora y holística que permite conjuntar la relación existente entre las dinámicas climáticas y sus relaciones con el ciclo del agua, las actividades socio-económicas o las dinámicas espaciales que confluyen en las regiones. Es en tal sentido que, a partir de estudios de escenarios de cambio climático en escalas locales y supralocales es posible generar comparaciones, análisis e insumos que permitan mejorar o aumentar el nivel de comprensión y de planificación de los territorios.

Como se ha sustentado, es altamente justificable para el fortalecimiento de la capacidad institucional en de gestión frente a las problemáticas de deterioro ambiental de las cuencas hidrográficas, gestión del riesgo o la mitigación y la adaptación de los territorios y comunidades, el foco aplicado a estudios a escales locales y regionales, en tanto las nacionales o globales no aportan suficientes detalles y particularidades para ajustar los procesos de planificación y ordenamiento ambiental y territorial.

La cuenca hidrográfica del Río Guatiquía posee ciertas características geográficas, hídricas, y climatológicas que hacen de esta cuenca como Villavicencio, ciudad capital del departamento del Meta y municipio central dentro del área de investigación, son áreas con mayor interés por los servicios ambientales regionales dada el área y densificación de factores demográficos, socioproductivos y ambientales que tal cuenca soporta. O ya sea por su condición de régimen pluviométrico monomodal, con altas precipitaciones con ríos torrenciales de montaña, trezados y meándricos en su parte baja, con alta presencia de socavación¹ de orillas, con una muy alta tasa de arrastre de materiales desprendidos por las actividades geológicas de fallamiento (ONAD, Esquivel Borda, García Nuñez, & Caro Peña, 1991) que aumentan su caudal, como del

¹ Proceso en el cual el cauce de un drenaje retira material pétreo y de suelo.

proceso de gradación² o la provisión de agua para los sistemas productivos, para las áreas urbanas y rurales.

En esto, el análisis de las variables de mayor incidencia en las condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación y su implicación en la dinámica hídrica se convierte a su vez, en un soporte esencial para el mejor manejo y gestión integral de la cuenca. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, 2004).

² Proceso donde ocurre la sedimentación y litificación de los materiales arrancados de la corteza durante la meteorización y erosión.

2. MARCO REFERENCIAL – PERSPECTIVAS TEÓRICAS Y CONCEPTUALES

Un ejercicio aplicado de investigación, pertinente en la gestión y ordenación ambiental y territorial de un área estratégica regional como es la modelación de la distribución espacio – temporal de temperatura, precipitación y sus efectos en caudales, bajo escenarios de cambio climático, permite a su vez, contrastar y colocar en perspectiva el notable aporte del desarrollo de la teoría geográfica. Más aún se incorpora la consideración emergente de los fenómenos de cambio climático y sus relaciones socioambientales; en particular, se ha considerado relevante la conveniencia de un enfoque sistémico geográfico ambiental para considerar la estructura biofísica y la interacción socio-espacial a la susceptibilidad al cambio climático (Herraiz Sanz, 2009).

En los enfoques teóricos y metodológicos de la geografía ambiental y regional, que, si bien aportan en conjunto al crecimiento científico de la disciplina geográfica, ponen a su vez de relieve la importancia de investigar la razón de ser de tales diferencias epistemológicas y, sobre todo, de los aportes concretos para el abordaje de una problemática en sus efectos socioambientales y económicos, como el cambio climático en el ámbito regional y local. La consolidación de la ciencia geográfica con sus diferentes geografías, y la predominancia de ciertos enfoques teóricos, categorías y conceptos básicos de análisis como de avances metodológicos, pone permanentemente en discusión, el grado de verdad o evidencias suficientes de tales enfoques como de la pertinencia para tratar problemas geográficos relevantes para la sociedad global y nacional. Desde ésta lectura de vincular los debates teóricos y metodológicos frente al cambio climático, se puede aportar en la distinción de los principales rasgos a favor o en contra de dos líneas de interés disciplinar como la geografía ambiental y la geografía regional.

De aquí, que resulta imperioso representar los debates sobre teorías, categorías, conceptos, escalas y metodologías de las distintas perspectivas teóricas del trabajo de investigación. Para este caso fue la geografía ambiental, la geografía regional y en

forma complementaria, la geografía de la percepción. Establecer el estado del arte al respecto, es un buen referente para examinar los aportes y debilidades intrínsecas de los anteriores enfoques de la geografía para la profundización en el cambio climático y su aplicación a los contextos regionales.

Los tres aspectos que se desean comparar entre la geografía ambiental y la geografía regional para el estudio del cambio climático y de manera diferenciada con la geografía de la percepción, son su aproximación teórica, sus alcances (teórica y metodológicamente hablando) y las escalas de trabajo, como sus acercamientos para los análisis espaciales del cambio climático y de geografía aplicada. Esto con el propósito de conocer qué ventajas teórico-metodológicas trae realizar estudios del cambio climático desde la geografía ambiental o desde la geografía regional y cuáles serían algunas posibles demandas de integración sistémica de las mismas para este tema particular.

El método empleado fue el analítico, el cual facilita relacionar la investigación del discurso de la geografía ambiental y la geografía regional, con respecto a sus elementos, diferencias específicas, campos de trabajo y objetos de estudio, para comprender sus acercamiento y aportes al estudio del cambio climático en Colombia. El proceso de análisis del discurso se realizó en 4 pasos, conocer (creación teórica de cada geografía), criticar (comparaciones en el plano del discurso en sí mismo de cada geografía), contrastar (efectos, alcances y escalas de trabajo hacia el estudio de la geografía) e incorporar (asimilar, correlacionar e integrar los acercamientos teóricos y metodológicos) (Hernández, Fernández, & Baptista, 1991); esto para relacionar el acercamiento epistemológico entre las dos geografías y el cambio climático.

2.1. Geografía regional

En el intento de acercar la geografía física a la geografía humana, Sauer (Sauer, *The morphology of landscape*, 1925, pág. 21) ofreció una alternativa de estudio de la geografía, donde se consideraba que la geografía física era partícipe esencial en la formación del contexto de las actividades del ser humano. La región, como finalizador del determinismo ambiental³ era en este nuevo campo de estudio de la geografía

³ Como Frederic Ratzel menciona, determinismo ambiental es aquella capacidad que tiene el medio físico en determinar las sociedades y sus niveles de desarrollo según las condiciones expuestas por el

regional, un área donde la relación corológica⁴ con el hombre era fundamental y en donde los fenómenos que forman un área no son diversos, sino que están asociados o son interdependientes. Esta conexión planteada por Sauer, entre los fenómenos, su orden, sería el deber ser de la geografía regional.

Para la década de los 30's, el concepto de paisaje como objeto de la geografía tuvo similar definición al equivalente de la historia. Esto porque la escala regional de paisaje poseía características al del periodo del historiador en contenedor de comportamientos específicos en un lugar dado. (De la Blanche, 1922) Citado por (Unwin, 1992, pág. 141) apoyó esta idea de que “la geografía está basada en la realidad de la unión de elementos físicos y culturales en el paisaje” en donde la región surge como objeto de síntesis y de investigación de la geografía. Sin embargo, la interpretación del significado de la geografía regional varió mucho de un país a otro con el paso del tiempo. A modo de ejemplo entre la visión europea y la visión estadounidense, muy distintas, afirma Herbst (Herbst, 1961) citado por (Unwin, 1992, pág. 143) que: “la geografía regional en América se contemplaba primordialmente como un estudio descriptivo y no sistémico, por el rechazo de la geografía natural sistemática. Los geógrafos de la Europa Continental, al contrario, no participaban de este rechazo, como tampoco habían compartido la aceptación incondicional del darwinismo social.” La influencia del evolucionismo en la geografía parte de utilizar el darwinismo para argumentar interpretaciones de los procesos humanos basada en rígidos esquemas de determinación natural. Dándole un papel predominante a los factores naturales, y limitado a las aptitudes humanas respecto a los procesos de evolución y adaptación (Tort, 1996).

Durante la década de 1930, en los Estados Unidos, se realizaron numerosos estudios regionales desde la geografía. (James, 1934) y (Hall, 1935) citados por (Unwin, 1992); estudiaban en diversos niveles de generalización, desde lo topográfico hasta lo corográfico y de estudios sobre los aspectos de una tierra cambiante y sus relaciones con el ser humano en áreas más o menos similares (regiones). Hartshorne, menciona que el objeto real de la geografía consiste en comprender las relaciones causales de los fenómenos en un área, y se puede expresar en principios aplicables a la interpretación de regiones concretas. En otras palabras, daba una nueva definición de lo que sería

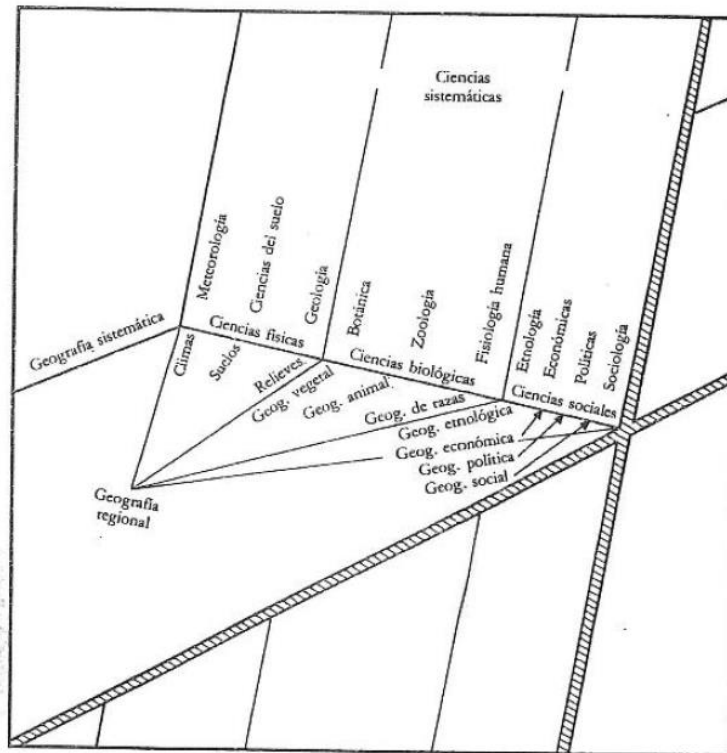
medio. Incluyendo conceptos como el de espacio vital y el de territorio como porción de la superficie terrestre apropiada para un grupo humano y más aún el de la condición de naturalización del orden social.

⁴ Corología: es una de las ciencias auxiliares que forma parte de la Biogeografía y ocupa el estudio de la distribución de los organismos y la determinación de sus características por el medio.

geografía regional para el análisis de los fenómenos naturales y culturales en los paisajes a partir de la interacción entre la humanidad y el medio físico (Hartshorne, 1939, pág. 92).

Acusada esta línea de la geografía de un determinismo ambiental inicial no obstante la geografía regional (Hettner, 1927) tendría el papel de salvar la distancia entre ciencias naturales y las humanas; y que la unidad de paisaje procede de un enfoque donde “el concepto de la relación causal total entre un conjunto de fenómenos de un lugar determinado de la superficie, como consecuencia de la cual cada lugar se considera como un todo y queda marcado con sus propias individualidades, una geografía sistémica. El debate metodológico y teórico entre las distintas geografías regionales cambia en la década de 1940, donde la geografía se encuentra en una discusión entre la perspectiva espacial que “ve conjuntamente” los fenómenos lógicos heterogéneos que forman un lugar o una región, y los que creían que de esa forma no se cumplían los requisitos lógicos de la formación de conceptos. Explicado de otra forma, (Hartshorne, 1939, pág. 373) sugirió lo siguiente:

La geografía, como la historia, no debe diferenciarse de las demás ramas de la ciencia en función de los objetos o los fenómenos estudiados, sino de las funciones fundamentales. Si estas funciones fundamentales de las ciencias sistémicas pueden describirse como el análisis y la síntesis de clases concretas de fenómenos, las de las ciencias corológicas podrían describirse como el análisis y la síntesis de la integración real de los fenómenos en secciones de espacio y tiempo.



Este diagrama ilustra la relación entre la geografía y las ciencias sistemáticas. Los planos no deben considerarse literalmente como superficies planas, sino como representaciones de dos puntos de vista opuestos para el estudio de la realidad. Entre la visión de la realidad en términos de las diferentes áreas de la superficie terrestre y en términos de los fenómenos clasificados por tipo, existe un punto de intersección para cada aspecto. Las ciencias sistemáticas que estudian los diferentes fenómenos de la superficie terrestre intersecan con las ramas correspondientes de la geografía sistemática. La *integración* de todas las ramas de la geografía sistemática, centradas en un lugar concreto de la superficie terrestre, constituye la geografía regional.

Figura 4.1. Conceptualización de Hartshorne de la relación entre la geografía y las ciencias sistemáticas. (FUENTE: Hartshorne, 1939, pág. 147).

Figura 3 Diagrama de la relación entre la Geografía Regional y las Ciencias Sistemáticas.

Fuente: (Unwin, 1992) citando a (Hartshorne, 1939, pág. 147)

La anterior afirmación puede ilustrarse en la figura 3 donde se muestra la conceptualización de la relación entre la geografía y las ciencias sistémicas. Sin embargo, la geografía regional presentaría cuatro principales dificultades en la práctica.

1. La imposibilidad lógica de poder ofrecer una descripción completa regional en forma escrita, puesto que variaba mucho del enfoque nacional en el que se estuviera.
2. La dificultad de poder escoger el nivel preciso o adecuado de generalización, para que este no fuera súper detallado, o demasiado englobador.
3. La escasez de estudios detallados de cada ciencia sistémica en los cuales poder basar la interpretación y síntesis regional.
- Y 4. La limitada innovación posible en el formato de las geografías regionales.

En este momento cabe mencionar la idea de la inclusión del término paisaje natural. En donde la expresión de los hechos ecológicos complejos que surgen de la relación entre los seres vivos (incluyendo al ser humano como parte del sistema) y su hábitat, genera una definición de región y de paisaje que se acerca mucho a la necesidad de poder entender y analizar el cambio climático y sus efectos en un área determinada. Es aquí donde George Bertrand⁵ propone una clasificación taxonómica de los paisajes según los niveles de generalización y su escala de estudio deseada. En donde zona, dominio, región natural, geosistema, geofacies y geotopo son las escalas de mayor a menor (Bertrand C. , 2006). Por ejemplo, un geosistema es el complejo geográfico donde la dinámica de los elementos funciona como conjunto ligado a un territorio. El redescubrimiento del paisaje y la región como objeto del análisis geográfico, desde un punto de vista ecológico, devuelve según (Higuera-Arnal, 1999) a la Geografía su carácter holístico y de ciencia de las relaciones. Las nuevas metodologías de análisis del paisaje con esta nueva definición de región propuesta por (Bertrand G. , 1968), presta especial atención a los elementos formales (fenosistemas) y estructurales del paisaje y su funcionamiento que, en su generalidad se explica por las actividades de sus microelementos.

Surge a finales del siglo XX, una nueva postura en la geografía regional, con una definición más humana del paisaje, el paisaje cultural. Salvo algunas excepciones, cualquier parte del territorio puede individualizarse por los aspectos sociales y culturales que poseen. Es por tal razón que en geografía puede hablarse de distintos paisajes (paisaje natural, paisaje cultural, paisaje industrial, paisaje arquitectónico, paisaje urbano, paisaje rural, etc.). En referencia al análisis del cambio climático, la definición de región desde la geografía regional para la división de unidades espaciales, permite un estudio de la superficie, los territorios en que se desarrollan fenómenos ambientales, culturales y sociales entendidos como procesos de forma interrelacionada. Este manejo de integración sistémica, permite entender las características homogéneas dentro de la heterogeneidad de la región donde suceden los efectos del cambio climático, permitiendo entenderlos como sistema, y así facilitar la comprensión de este fenómeno global con repercusiones puntuales distintas.

⁵ Geógrafo francés nacido en 1932, especialista en la renovación de la geografía física francesa en busca de una geografía física integral y que la naturaleza parte de lo social y conocido por ser el diseñador de la metodología GTP (geosistema, territorio y paisaje) para analizar pasajes.

En cuanto a los aportes de la geografía regional para la investigación, se ha considerado relevante la cuestión de la valoración económica de los efectos y mitigación de los efectos del cambio climático son fundamentales, donde se destaca la consideración del nuevo paradigma del desarrollo de economías bajas en carbono, en respuesta de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y de las reales proyecciones de las temperaturas superficiales. De destacar, dado el énfasis que esta geografía regional le hace a la retroalimentación entre dinámica climático y desarrollo económico territorial, que se debe dar justamente atención al cálculo de las participaciones de las regiones en las emisiones globales, según las actividades sectoriales de desarrollo sobre todo de los cambios de uso del suelo o por el uso de energías convencionales, y a su vez, de la capacidad y coordinación interinstitucional a diferentes escalas (nacional, departamental y municipal) para confrontar los efectos del cambio climático entre muchos otros. Cuestiones relevantes como el avance de la integración regional de América de Sur (IIRSA) y de los nuevos procesos de ampliación de la economía y de la red vial y energética de Colombia sobre el sur del país y la región de estudio, son factores que resultan fundamentales para considerar los cambios de escenarios climáticos desde una perspectiva más integral (Naciones Unidas - CEPAL - BID, 2010).

La geografía regional, pretendería un énfasis en el contraste de las temáticas globales a las escalas prácticas de la gobernanza ambiental territorial, como son los temas de la adaptación al cambio climático; cuestiones que se aplican con mayor atención en la planificación urbana como rural en tanto la dinámica del desarrollo, expresado en términos urbanos por ejemplo, que demanda mayores atención en las consecuencias y efectos de la variabilidad climática en cuanto a la seguridad estratégica de aprovisionamiento y desarrollo sostenible, y a su vez, como escenario crucial para la ponderación de estrategias más pertinentes de mitigación de los impactos negativos (Barton J. R., 2009).

La geografía regional, como rama contrastante de la geografía general, generó una visión unificadora que justificaba el énfasis en la necesidad de conocer sobre todo las características biofísicas de los territorios. En contraposición, la geografía regional prevé superar la visión sobre todo descriptiva de los lugares, las geoformas o el clima de un espacio determinado y realza el valor de identidad del territorio con las dinámicas sociales sobre todo para escalas más grandes (Sauer, 1924). Por su parte la geografía ambiental, una rama mucho más nueva, que se desprende del llamado positivismo geográfico, enfatiza en el estudio de las relaciones del hombre con el medio y viceversa,

con análisis preciso y cuantitativo de cada comportamiento biofísico para poder explicar así dichas relaciones. Esta visión instrumental de la geografía permitía estudiar muy cuidadosamente las variables físicas y climáticas que generan el cambio climático.

2.2. Geografía ambiental

Por su parte, la geografía ambiental es mucho más reciente puesto que nace en 1980 luego de la discusión positivista y crítica radical dentro la geografía cuando a nivel mundial las cuestiones ambientales y políticas alcanzan gran prominencia sobre todo por la sostenibilidad del medio ambiente y los recursos naturales. La geografía por lo tanto durante ese periodo, empezó a resurgir un interés por el estudio de los recursos naturales y el medio físico y su relación con el ser humano (Bocco & Urquijo, 2013). En el énfasis ambiental, la geografía revisa las posturas dualistas físicas y humanas, discute sus fundamentos teóricos y conceptuales y remarca su interés frente a otras disciplinas. El marco teórico plasmado en los primeros años de la llamada geografía moderna de finales del siglo XIX y principios del XX, permitió trabajar desde las relaciones hombre-terreno un campo propio y una marcada orientación ambiental (Ortega, 2000, págs. 337-347). Con dos tendencias de estudiar el objeto de la geografía, los que hacían énfasis en el análisis cimentado en el predominio de los hechos geográficos y los que consideraban que el fundamento radicaba en el territorio mismo (Bocco & Urquijo, 2013).

En compendio, la dimensión territorial y paisajística ofrecida por la geografía, en sus vertientes espacial-corológica y humano-ambiental, le otorgaría especificidad a la cuestión ambiental como una dimensión de análisis, así como práctica concreta en investigación aplicada. En realidad, la geografía ambiental, como las demás ciencias ambientales, deben ser concebidas como espacios de reflexión y acción pluridisciplinaria. Una de las grandes razones por que la geografía hizo profundización en las cuestiones ambientales dentro de la disciplina es que, para analizar dichos recursos y las estrategias de manejo y gestión, es necesario comprender la relación y las características de los fenómenos y prácticas sociales. En tanto la comprensión de los problemas relacionados con los recursos naturales y su comportamiento, precisa de un examen de los sistemas físicos, los procesos económicos, las organizaciones sociales, las estructuras jurídicas y administrativas como las institucionales (Capel, Una geografía para el siglo XXI, 1998).

Para el estudio del medio ambiente en el quehacer geográfico de Colombia, Andrés Guhl, menciona que la geografía ambiental ha tenido tres características importantes: 1, el énfasis en lo técnico; en donde ha estado íntimamente ligada a la cartografía, uso de herramientas geomáticas en temas de SIG. 2, el interés de la geografía en la planeación y el ordenamiento territorial. Y 3, la relación entre geografía humana y física (Guhl, 2011). Un ejemplo del énfasis en la primera característica, es el sentido de gran parte de los estudios sobre cambio climático en Colombia, donde el análisis ambiental de la distribución espacial y temporal de las estadísticas de variables atmosféricas por medio de métodos cuantitativos permite identificar patrones de comportamiento del clima en un espacio dado (Eslava, Lopez, & Olaya, 1986) como sus relaciones individualizadas frente a otros aspectos.

Desde el enfoque de la geografía ambiental se tiene que hay una marcada preocupación por definir cuáles serían las “consecuencias geográficas” del cambio climático. Por lo tanto, es propio de la geografía ambiental el estudio de las estructuras espaciales y de las formas como se intercambian o interactúan los diferentes subsistemas o dimensiones sectoriales. Y entre los asuntos cruciales de la distribución espacial están los climas pasados y presentes, que por definición son aspectos – temperatura, precipitación, caudales, percepción- cada vez más dinámicos e inestables. En este punto justo se advierte como una oportunidad, que la información sobre aspectos específicos de temperatura, humedad, precipitaciones, presiones o vientos son cada vez abundantes y que “permiten apreciar las tendencias del cambio climático” en la litósfera y la dinámica cortical, en tanto el cambio climático, se distribuyen de manera diferencial sobre objetivos estratégicos ambientales como los señalados en la política medioambiental global y nacional de las metas del milenio (Herraiz Sanz, 2009, pág. 4).

Vale decir, que se ha considerado un avance metodológico importante, la inclusión del tema ambiental en la geografía en tanto, aporta un mayor potencial de análisis, explica la relación sociedad-medio, en tanto un asunto crucial del debate geográfico es la diferenciación y convergencias entre la geografía física y la humana (Garza Merodio, 2014). Ciertamente, la geografía ambiental, señala cómo los aspectos propiamente ambientales son parte crucial de los nuevos conflictos de seguridad y riesgo de la dinámica de las poblaciones, y recientemente como un desafío más, al introducir el concepto de cambio climático y sus factores “estresores”, como es el abastecimiento

del agua, salud y alimentación, de donde se desprende el imperativo de reconocer que “todos somos isleños” (Wisner, y otros, 2007).

Es decir, Los enfoque teóricos y metodológicos desde la geografía ambiental remarcan, por otra parte, la ventaja de manejar un esquema cualitativo para el análisis de las estructuras, en este caso biofísica y del cambio climático, a escalas regional y local. Desde ésta lectura a mayor escala de una metodología cuantitativa positiva del estado actual general del cambio climático, se puede aportar con mayor precisión sobre la distinción de las principales condiciones biofísicas, de riesgo y de cambio climático (Bertrand C. , 2006). En síntesis, para esa geografía ambiental reciente (1980 en adelante) se ha renovado el interés de los estudios sobre las estructuras y funciones de la reproducción de los recursos naturales renovables y las interacciones socioculturales. Adoptando, un mayor diálogo interdisciplinar, pero sin abandonar su campo sistémico integrado del análisis geográfico. Quizá, el territorio es una categoría superior, holística y dinámica a la vez, de tal forma que requiere de la profundización del manejo concreto y político de la gestión ambiental (agua, suelos, bosques, biodiversidad, etc.) que resultan cruciales y estratégicos para el desarrollo humano en sí mismo. Por lo que un análisis integrado de los sistemas físicos, de los procesos económicos, y la organización social como de las estructuras normativas, jurídicas e institucionales debe prelucir en los estudios del cambio climático en la geografía (Capel, Una geografía para el siglo XXI, 1998).

2.3. Geografía de la Percepción

Finalmente, sobre el aspecto complementario de la geografía de la percepción, demuestra a su vez, la receptividad del discurso geográfico con el avance de otras disciplinas específicas; muy apropiadas para la consideración de la valoración e identificación de riesgos y vulnerabilidades por parte de las comunidades y actores claves de la gestión ambiental territorial (Brody, Zahram, Vedlitz, & Grover, 2007). La cuestión se centra en valoración, la mayor parte subjetiva por parte de la población humana con respecto al cambio climático, a los efectos que se perciben sobre el medio ambiente y sus posibles medidas de manejo. Desarrollos de la geografía, entre lo que se ha dado llamar la “revolución del comportamiento” y que está asociada a la introducción de factores cualitativos en el análisis geográfico, que sería el “comportamiento espacial en función de la imagen, y la imagen en es el lazo del hombre con el medio”. (Capel – 1973) Que recoge, en la “nueva geografía”, de los aportes de la antropología cultural, de la sicología y de la profundización de los estudios

urbanos en eso que se ha dado por llamar, la “imagen de la ciudad”, de “espacio percibido”; es en fin, la concepción real, que alude al nivel de comprensión y reconocimiento, en la valoración del entorno que se encuentra como un nuevo elemento en la discusión epistemológica de los temas regionales como de la geografía misma (Lowenthal, 1974, págs. 241-260) citada por (Capel, 1973).

Vale aquí destacar, que tal enfoque, implicaría para el caso de ésta investigación, una profundización que no es el centro del análisis de la creación de escenarios de variabilidad climática; y que si bien se acepta que la percepción es distinta a la representación mental del espacio (cuenca del Guatiquía), sirven no obstante como identificador del nivel que la población vinculada al estudio general de percepción, representan los valores y símbolos aprendidos regionalmente sobre éstos aspectos, que ciertamente, tienen un campo analítico específico, de estadísticas y datos no paramétricos, que se aportan desde los estudios pedagógicos y recientemente, en factores claves como el manejo del riesgo (Salazar Ceballos, Tamara, & Álvarez Miño, 2016). Igual de relevantes, resultan para la aplicación de políticas, planes y programas sobre mitigación y gestión ambiental y territorial, los conceptos subjetivos que acompañan la expresión de los intereses específicos que tienen los actores claves y la comunidad que toman decisiones y moldean la inversión y la institucionalidad pública (IDEAM. PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, 2016).

2.4. Cambio Climático

El cambio climático es la alteración de las características ambientales y el clima promedio en un espacio determinado. Se concibe desde el consenso científico como un hecho y realidad evidente; y su causa principal sería la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) con un énfasis en el resultado de la actividad humana (Pabón J. D., 2003). Este calentamiento del sistema climático es inequívoco como lo evidencian los aumentos del promedio mundial de la temperatura, el deshielo, el incremento del promedio mundial del nivel del mar. Sin embargo, las distintas concepciones mundiales asociadas especialmente a las responsabilidades de las Naciones con mayor producción de GEI, han generado múltiples visiones de tan crítico factor, incluso de su negación, para finalmente concretarse en dos definiciones de cambio climático.

La primera, empleada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), la cual entiende el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante un periodo de tiempo comparable. Y la segunda, generada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), es cualquier modificación en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (Costa-Posada, 2007). Las externalidades de la generación de GEI deben entenderse como fenómenos globales y considerar que regiones como las de América Latina contribuyen poco a generar dichas emisiones, pero no obstante sufren sus consecuencias de una manera desproporcionada.

Según la Agenda Global en los acuerdos sobre cambio climático⁶, son necesarias estrategias focales o sectoriales comunes con enfoque geográfico para detener o revertir las tendencias de degradación ambiental, evitar o disminuir el riesgo, la gestión adecuada de recursos esenciales para el desarrollo y la mitigación de la pobreza como es el agua. El meollo de la recomendación subraya en efecto que la comprensión de las dinámicas climáticas está ligada al análisis de fenómenos geográficos como de las acciones antrópicas y sus efectos en el territorio. Cuestiones que como se ha identificado, tienen que ver con la notable preocupación por las transformaciones y dinámica productiva y extractiva en los territorios y con la búsqueda de alternativas de bajo riesgo adaptadas al cambio climático (Riera & Pereira, 2013). Enmarcadas, en lo que se ha denominado, nuevas ideas en textos clásicos; en considerar la necesidad de prever una adecuación entre la insurgencia de nuevas temáticas, guardando lo ortodoxia de los análisis geográficos, con enfoque aplicado según las nuevas tendencias tecnológicas del desarrollo territorial, la sostenibilidad ambiental y la planificación integrada (Epstein, 2008).

Justo se reclama mayor atención sobre lo que será el futuro del clima en Colombia o mejor del posible clima en el futuro de Colombia en tanto se advierten notables cambios en la temperatura del aire y la precipitación según las estimaciones modélicas de Pabón, por ejemplo, que sustentan entre otros, la preocupación central de ésta investigación aplicada (Pabón D. , Escenarios de Cambio climático para territorio colombiano, 2005,

⁶ Véase la amplia documentación del CMNUCC/UNFCCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; y el también amplio panorama de la Agenda Internacional de tales materias. <http://cambioclimaticocr.com/agenda-internacional>

pág. 5). Como se conoce de la Agenda Global y de los acuerdos globales sobre cambio climático (CMNUCC/UNFCCC, 2007), son necesarias estrategias focales o sectoriales comunes con enfoque geográfico para detener o revertir las tendencias de degradación ambiental, evitar o disminuir el riesgo y mejorar la gestión de los recursos esenciales para el desarrollo y reducción de la pobreza; cuyo factor clave es el agua. Los meollos de tales recomendaciones subrayan, en efecto, que la comprensión de las dinámicas climáticas está ligada al análisis de fenómenos geográficos como de las acciones antrópicas y sus efectos en el territorio (Costa-Posada, 2007).

La geografía regional y ambiental, como se menciona anteriormente, manifiestan diferencias epistemológicas en la definición y uso de conceptos geográficos, así como por su enfoque metodológico, sin embargo, advierten conexiones funcionales y constructivas destacadas. Esto lo explica (Rojas-Salazar, 2005) en la Figura 4, en la cual muestra interrelaciones entre conceptos según la escala de análisis, como conflictos entre geografía física y humana, determinismo y posibilismo, como para nuestro caso, entre la geografía sistemática y geografía regional. Es en la diferencia de profundización de información y análisis individualizado de los fenómenos, como de una visión más amplia y multisectorial, en donde la unión de ambos perfiles de estudio de cada geografía permitiría de una mejor manera entender los comportamientos, los efectos y la adaptación a los mismos en el territorio colombiano.

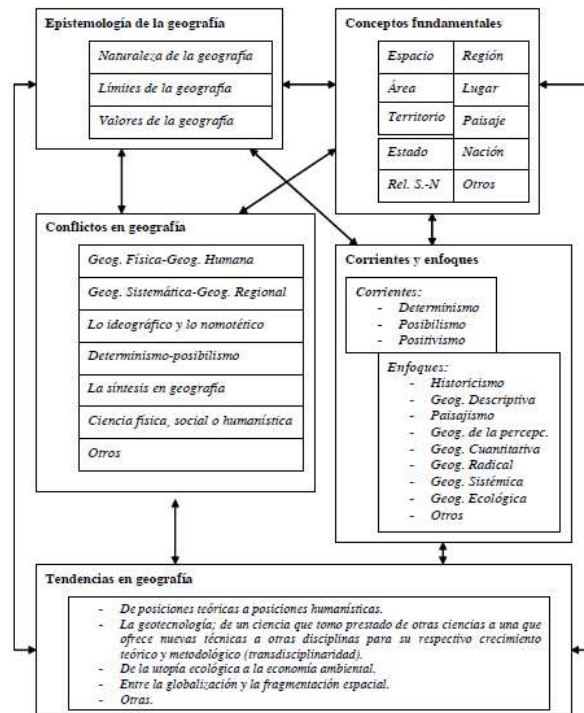


Figura 4 Diagrama de la teoría de la geografía.

Fuente: (Rojas Salazar, 2005)

La geografía ambiental con la geografía regional en Colombia, explica Guhl, conforma un grupo de geógrafos e investigadores que ven en el nuevo concepto integrador del medio ambiente una relación naturaleza-sociedad adecuada como referencia para poder entender y analizar procesos de transformación ambiental y territorial (para este caso el del cambio climático). El emplear el concepto de paisaje permite involucrar de manera explícita la transformación de la superficie terrestre en el tiempo y el espacio y pone los temas regionales a la orden del día. Por lo que el cierra planteando “En este sentido, el paisaje puede poner en evidencia cómo las actividades humanas construyen y reconstruyen el espacio y sus recursos de manera permanente, y de esta forma, enfatiza que procesos de construcción social dejan huellas en él” (Guhl, 2011).

Las “nuevas geografías” propenden disminuir las brechas de las formas de analizar el territorio y las regiones según la coexistencia entre paisajes, pero a veces por sus fuertes posturas, muestran más una división disciplinar del interés geográfico que una visión geográfica holística. La geografía regional es en este punto, una visión de punto de encuentro entre distintos saberes científicos, literarios como populares, pese a sus dificultades de generalización. El estudio de la percepción al cambio climático, del elemento vital, la regionalización y localización en temas de escala regional podría ser

una buena forma en la que de manera complementaria y con el detalle metodológico de la geografía ambiental, se integren los aspectos sociales y culturales del sistema región y territorio. (Barton J. R., Adaptación al Cambio Climático en la Planificación de Ciudades - Regiones, 2009).

El considerar las visiones de geosistema, planteadas desde la nueva geografía regional, como de los análisis ambientales a detalle de manera positivista de los distintos fenómenos naturales y antrópicos en el estudio del cambio climático, facilitaría que dentro del desarrollo de las actividades de los sectores económicos y sociales como de los territorios implicados se incluya una visión integral dentro de los procesos de planificación, ordenamiento y gestión integral del cambio climático en Colombia. Esta integración tiene contextos normativos e institucionales suficientes en el contexto colombiano entre el Plan Nacional de Desarrollo (PND), los Planes de Desarrollo Departamentales y Municipales, los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y los Planes de Manejo y Ordenamiento de Cuencas (POMCA).

Para la escala nacional, los escenarios de cambio climático y las recomendaciones para la adaptación y mitigación de los efectos complejos generados por el cambio climático sirven de ruta de guía a nivel macro para que se fortalezcan las políticas y planeación estratégica que concuerden con los compromisos internacionales y con la creciente preocupación por la gestión sistémica del riesgo. De igual manera, esta escala nacional permite también prever y direccionar las decisiones. La escala subregional permite generar recomendaciones más precisas y acuerdos de cooperación más concretos para sus condiciones geográficas. De tal manera que el fortalecimiento de capacidades, el estudio desde la geografía y su interescalaridad desde el marco de políticas públicas interconectadas con otros sectores para desempeñar la incertidumbre dentro del desarrollo de escenarios climáticos en el territorio, como de los estudios regionales y de geosistemas con visión de paisaje integrado es un tema relevante para la geografía colombiana. Permitiría aportar en la investigación y propuestas de resolución sobre los posibles impactos estratégicos del cambio climático en el desarrollo territorial y hasta generar alternativas para el desarrollo sostenible y las metas y políticas de país de desarrollo verde con visión regional.

Hacer frente de manera simultánea a las soluciones urgentes de desarrollo como de responder a los estudios de los efectos y capacidades de adaptación al cambio climático, permitirá generar una conciencia ambiental, geográfica y de gestión del cambio

climático que mejorará la relación costo-beneficio, la mitigación y la gestión del riesgo para todos los territorios colombianos, ganando la ciencia y la solución de los problemas estratégicos que sigue siendo la razón de ser del conocimiento.

2.5. Marco Conceptual

Para el presente trabajo de investigación se manejaron los siguientes conceptos y preceptos:

- **Cambio Climático:** Para Colombia la ley 1523 de 2015 cambio climático es una variación estadística importante en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo de tiempo prolongado. Pero para el presente proyecto de investigación hay dos definiciones adicionales. La primera, empleada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático – CMNUCC, se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante un periodo de tiempo comparable. Y la segunda, generada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático – IPCC, es cualquier modificación en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.
- **Escenarios de Cambio Climático:** el (IDEAM, 2010) define un escenario de cambio climático como una representación del clima afectada por una condición de gases de efecto invernadero. De Acuerdo con un escenario climático es la condición climática asumida para efecto de evaluación de impactos de la variabilidad climática, de cambio climático como de impactos en sectores socio-económicos o ecosistémicos.
- **Gestión Ambiental:** Se refiere a las acciones que, de manera dirigida y reflexiva realice la sociedad para gestionar o administrar los recursos naturales. La anterior gestión buscando conservar, recuperar, mejorar, proteger o emplear para ocupar y transformar el territorio de manera racional y sostenible. Esta definición es planteada por la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible del Departamento Nacional de Planeación –DNP en sus documentos y página web.

- **Gestión del Riesgo:** es la búsqueda de “orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil para la prevención y mitigación de riesgos, los preparativos para la atención y recuperación en caso de desastre, contribuyendo a reducir el riesgo y al desarrollo sostenible de las comunidades vulnerables ante los eventos naturales y antrópicos” menciona el Decreto 93 de 1998 por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres en Colombia.
- **Gestión del Cambio Climático:** es la coordinación de las acciones del estado. Los sectores productivos y la sociedad civil en el territorio mediante acciones de mitigación, que busquen la reducción su contribución al cambio climático principalmente con la disminución de emisiones. De generar acciones de adaptación a los efectos que el cambio climático conlleva para permitir afrontar los retos actuales y futuros asociados a la variación de elementos climáticos; como el de promover un conocimiento más amplio sobre los impactos del cambio climático e incorporarlos a la planificación. Esto se menciona dentro de los objetivos de desarrollo sostenible ODS a partir de la conformación del Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA) que integra entidades estatales, privadas y sin ánimo de lucro con las cuales a través de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC) se distribuyen acciones para cumplir con la meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Adaptación:** El IPCC define la adaptación como aquellas iniciativas y medidas dirigidas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales ante los efectos reales o esperados del cambio climático. Hay distintos tipos de adaptación basada en comunidades, en ecosistemas, a través de obras de infraestructura planificada, autónoma, pública y privada.
- **Amenaza:** Según la Ley 1523 de 2012, es un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado por la acción humana, la cual pueda causar pérdidas de vida, lesiones u otros impactos en la salud, como también daños y pérdida de bienes, infraestructura, recursos ambientales como medios de sustento.
- **Mitigación:** según el IPCC, la mitigación son todos los cambios y reemplazos tecnológicos que reducen el insumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Sin embargo, la mitigación orientada al cambio climático es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros. Cabe resaltar que existe una mitigación del riesgo, la cual son el grupo de medidas de intervención correctiva o prescriptiva

dirigidas a una reducción de los daños o pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos y proyectos de inversión.

- Precipitación: Es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre una superficie terrestre (IDEAM, 2001).
- Temperatura (atmosférica): es el grado de calor específico del aire en un momento y lugar determinado (IDEAM, 2010).
- Cuenca hidrográfica: según el Diccionario de Geografía Aplicada y Profesional, una cuenca es desde la geografía física un área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río. Ampliando el concepto, para este proyecto se entiende como la superficie de terreno delimitada por sus cumbres o divisoria de aguas cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos con una única desembocadura a otro río de mayor nivel (IDEAM, 2013).
- Ciclo hidrológico: es conocido como la relación e interacción del agua en sus tres estados físicos con el entorno. Es el mecanismo que hace posible las transferencias de agua desde los océanos hacia la superficie. (agregar cita de implementación del sistema de información de elemento vital SIRH en Colombia (IDEAM, 2010).
- Caudales: el caudal del río como lo menciona el IDEAM en el capítulo 11 citando a la (Organización Internacional de Normalización, 1979), caudal es la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo.
- Sistemas de información geográfico: es una serie de elementos, herramientas, procesos para realizar lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales, para análisis y generación de resultados e información espacial (Olaya V. , 2012).
- Percepción del cambio climático: es la valoración subjetiva por parte de la población humana con respecto a los conocimientos frente al cambio climático, a los efectos que se perciben sobre el medio ambiente y el medio que los rodea como las actividades que puedan ser alteradas de alguna forma y las consecuencias que poseen frente al desarrollo de la población.
- Variación climática: Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escales

espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (IPCC, 2013).

- Fenómeno del niño: es un evento climático que se genera cada cierto número de años por el calentamiento del océano Pacífico tropical y que corresponde a la aparición de aguas superficiales más cálidas conocida como Oscilación del Sur (ENOS). Sus efectos en Colombia son diferenciados pero generalmente se generan aumentos de la temperatura afectando considerablemente los patrones de vientos y la precipitación (IPCC, 2013).
- Fenómeno de la niña: es un evento climático que se presenta cada cierto número de años causado por el enfriamiento del océano Pacífico tropical, ocasionado por la Oscilación del Sur (ENOS). Sus efectos en Colombia son los contrarios al fenómeno del niño, en donde el enfriamiento del océano Pacífico genera disminución en la temperatura y modificación de los patrones de vientos generando mayores precipitaciones (IPCC, 2013).

2.6. Estado del arte

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) considera que los cambios e impactos del cambio climático no serán uniformes y afectar o se comportarán de manera diferenciada en todo el planeta y que estos variarán según el área en donde se estudie. El IPCC prevé un aumento de la temperatura media global con valores entre los 1,4 y 5,8°C para el 2100. Para Latinoamérica se ha planteado un aumento entre 0,2 y 1,0°C en los últimos 40 años, por lo que se espera obtener a partir del análisis estadístico de la temperatura para la cuenca del río Guatiquía. De manera contraria al IPCC (Robinson & Herbert, 2001) mencionan que el aumento de la temperatura obedece a procesos geológicos y naturales de la tierra como la recuperación de la Pequeña edad de hielo, como del incremento de la actividad solar, y que estas presentan correlaciones significativas frente a los registros de temperatura media mundial. Lo que genera que gobiernos como el de Estados Unidos, desconozca los acuerdos firmados por el protocolo de Kioto y otros similares.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) destaca aspectos económicos que tiene el cambio climático, como el vínculo hacia el comercio

internacional, el contagio negativo de las finanzas públicas y las restricciones a un desarrollo económico con alto grado de consumo de carbono, mostrando una visión del cambio climático como es en realidad para Colombia por la tipología en la forma de ejecutar, plantear y diseñar planes de desarrollo, como una barrera para el desarrollo en términos de los recursos que se perderán o que deberán ser reasignados para una adaptación a los efectos negativos del cambio climático. Sin embargo, esta actualidad de país y región representa una oportunidad para buscar un desarrollo de mejor calidad, con más inversiones en tecnologías que puedan mitigar algunas externalidades ambientales negativas del proceso de desarrollo (CEPAL, 2009).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC/UNFCCC en su Segunda Comunicación, menciona que existe evidencia de que el clima está cambiando y existe una relación estrecha entre el clima, los ecosistemas y el desarrollo. En Colombia, la CMNUCC menciona que hay manifestaciones biofísicas como la tendencia al aumento de eventos extremos de lluvia, como estimaciones de aumento de la temperatura media en el orden de 1,4°C, 2,4°C y 3,4°C para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. Estas variaciones como a que la mayoría de los desastres naturales en Colombia se deben a variaciones del clima, con un 90% de las emergencias reportadas por la Unidad de Gestión del Riesgo y Prevención de Desastres UNGRD para el periodo de 1998-2011 en el país (13.624 en total).

En Colombia como lo informa el IDEAM en su estudio de Nuevos Escenarios de Cambio Climático, se viene realizando un seguimiento a las variables precipitación y temperatura desde 1969 con la creación del Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología (SCHM) y su aval desde la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para un reordenamiento básico nacional (Pabón D. , 2005). La adaptación de impactos locales y regionales, y de un abecedario claro entre todos los actores a distintas escalas en el país sobre impactos, vulnerabilidad, adaptación y desarrollo sostenible ambientalmente responsable y verde, permitirá una mejor interacción intersectorial en la forma en la que se diseñan, plantean y proyecta el desarrollo de Colombia como país (Conde Álvarez & Saldaña Zorilla, 2007) (Lampis, 2013). En cambio climático se han generado varios estudios e informes sobre escenarios de cambio climático en Colombia que permiten ser referentes académicos y temáticos en Colombia sobre la temática que circunda la investigación (Pabón D. , Escenarios de Cambio climático para territorio colombiano, 2005).

La gestión integrada del elemento vital (GIRH) se enmarca en el presente con una política y un marco normativo más preciso y con mayor alcance interinstitucional, en tanto se conformado un sistema general de gestión de riesgos de desastres y ampliado el marco de compromisos globales respecto de las metas de reducción de CO₂ y de gases de efecto invernadero y de mitigación y adaptación del cambio climático. Recientemente se integró la organización y el funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático. Decreto 298 de 2016. y a su vez, por Ley 1523 de 2012 se conformó el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres. Los cuales pueden ser revisados desde las páginas oficiales de la unidad de gestión de riesgo como del Minambiente.⁷

Como se evidenció a partir de ola invernal del año 2011 en Colombia (La Niña) y el fuerte periodo seco del año 2015 (El Niño) estos presentan de emergencias en Colombia convirtiéndose en factores que tienen un fuerte impacto negativo en lo económico y social en el país. Pese a ser fenómenos correspondientes a la variabilidad climática, la prospección en un periodo más amplio ha llevado que desde el último Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018) que tiene carácter orgánico, se incluyan directrices de política pública y de planes dirigidos específicamente a intervenir tanto la estructura normativa como institucional para la gestión integrada de los aspectos sectoriales asociados: gestión del elemento vital, reconocimiento del papel de la degradación ambiental en el desarrollo, anticipación de los riesgos y amenazas naturales y de adaptación y mitigación del cambio climático (Minambiente, DNP, IDEAM y UNGRD, 2016).

Los temas del cambio climático y el manejo integral de sus efectos se han convertido en variables emergentes para la consideración de estrategias de sostenibilidad del desarrollo territorial en general; no obstante el principal asunto, es el cómo tener mejores niveles de certeza técnica sobre las dinámicas e impactos focales territoriales del cambio climático y de la mejor manera de fortalecer la planificación y gestión integrada de la mitigación y adaptación para reducir los impactos negativos en la economía y la sociedad. Como se conoce de la Agenda Global como de los acuerdos

⁷ <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/55-decreto%20298%20feb%202016.pdf> <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

globales sobre cambio climático⁸, son necesarias estrategias focales o sectoriales comunes con enfoque geográfico para detener o revertir las tendencias de degradación ambiental como del riesgo, en recursos esenciales para el desarrollo y en la mitigación de la pobreza como es el agua. el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático se inicia en 1988, y 14 años después, muchos países se adhirieron a un tratado internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a fin de examinar qué acciones realizar para limitar el aumento de la temperatura mundial y el consiguiente cambio climático y hacer frente a sus consecuencias. Se genera en 1995 la primera reunión de los países en Berlín (la COP1) donde se negocian una llamada “promesa y evaluación” para reducir las emisiones y que la comisión hiciera sus evaluaciones. En 1997 debido al reconocimiento que en la CMNUCC no eran suficientes las disposiciones, se adoptó el Protocolo de Kyoto. Este vincula jurídicamente a los países en tema de reducción de emisiones que finalizó en 2012 y renovado hasta 2020 (Naciones Unidas, 2015).

Actualmente las reuniones de las partes están en París con la COP21 realizada en 2015 bajo los ajustes de los acuerdos para limitar el calentamiento global por debajo de 2 grados centígrados en 2100. Estos acuerdos globales anteriores, de mitigación y adaptación al cambio climático de carácter internacional son realidades que, pese a ser de orden global tienen efectos climáticos y territoriales a niveles regionales, señala que estas herramientas y estrategias sectoriales se han considerado fundamentales en la consideración de reducir el peso de la degradación ambiental y del riesgo en el desarrollo socioeconómico nacional.

En detalle, hay una suerte de marco ambiental integrado que se deriva del Sistema Nacional Ambiental (SINA) creado por la Ley 99 de 1993 (en el marco de la Ley ambiental), que integra y diferencia las competencias institucionales tanto en el ámbito nacional como territorial, la ejecución de procesos integrados de investigación y gestión ambiental en general. El marco normativo e institucional señalan avances en la investigación académica y aplicada y la gestión integrada de los ecosistemas, de los recursos y de los paisajes como la que realizó el IDEAM, el IGAC o el IAvH⁹, pero es

⁸ Véase la amplia documentación del CMNUCC/UNFCCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; y el también amplio panorama de la Agenda Internacional de tales materias. <http://cambioclimaticocr.com/agenda-internacional>

⁹ IAvH son las siglas del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt de Colombia.

visible también que el sector ambiental en general viene reduciendo su capacidad de gestión por el recorte de los recursos inversión destinada al sector, mientras crecen la intervención y desarrollo de actividades económicas.

En el Decreto 1076 de 2015 por el cual “expide el Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” se recogen en un solo cuerpo las diferentes jerarquías y disposiciones de ley existentes para el manejo del elemento vital, cuencas, gestión integrada ambiental que le corresponde al SINA. A su vez en la gestión del riesgo, la Ley 1523 de 2012 y los decretos que le desarrollan organizacionalmente y en planificación crean un ámbito sistemático de gestión: Decreto 2672 y 1974 de 2013. A partir de allí a través de resoluciones, directrices y espacios de concertación se promueve la gestión del riesgo al nivel nacional y regional. De igual modo, se encuentra en un plano superior las reglamentaciones que genera en el ámbito regional y municipal la Ley orgánica de ordenamiento territorial (1454/11) donde se espera se integren en las reglamentaciones de uso del suelo, las disposiciones de armonización entre las variables del desarrollo económico urbano – rural y las estrategias de sostenibilidad verde. Vale decir que se acepta institucionalmente en el presente como necesario modificar el carácter instrumental y esquemático de los planes y esquemas de ordenamiento territorial y se propugna una suerte de ordenamientos territoriales con el fin precisamente de integrar de mejor manera las variables ambientales y de riesgos en escenarios de cambio climático.

Y finalmente, en una escala nacional – global, como marco institucional y normativo específico para la temática de investigación, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, iniciativas REDD++ y una estrategia nacional de desarrollo bajo en carbono que se encuentran incluidas en la estrategia nacional del crecimiento verde del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. El conseguir un equilibrio entre los gases emitidos y los que pueden ser absorbidos por la atmósfera es uno de los grandes compromisos que el Acuerdo en París que refiere al primer pacto global contra el cambio climático. Colombia entre sus estrategias de participación frente a la disminución en la participación de su 1,6% de la producción de gases de efecto invernadero, apropia el visto bueno a dicho primer acuerdo (Banco Mundial, 2010).

A partir de allí, se ha configurado un entramado de organizaciones y de funciones para atender tanto la producción de información, la investigación aplicada y la gestión integrada de los paisajes y entornos del país.

3. MARCO METODOLÓGICO

La Cuenca del Río Guatiquía, fue analizada integralmente desde un enfoque metodológico cuantitativo-positivista de carácter explicativo y correlacional y los preceptos de la geografía ambiental, regional y de percepción con categorías e indicadores bioclimáticos y análisis espacial por medios de Sistemas de Información Geográfica. Este diseño metodológico tiene un propósito de investigación aplicada (práctica y empírica) con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) con tipo de información secundaria para el tema cuantitativo como primaria para la parte cualitativa con un análisis multitemporal y espacial mensual para las variables Precipitación, Temperatura y Caudales.

3.1. Tipo de estudio

El diseño metodológico que en la presente propuesta de investigación se planteó para llevarlo a cabo es de tipo descriptivo explicativo con información cuantitativa secundaria y primaria y con un nivel de análisis multi-temporal mensual para las variables temperatura, precipitación y caudales. Este tipo de diseño metodológico y del tipo de información a estudiar dentro del trabajo de investigación, se pretendió analizar los posibles efectos generados por los cambios de la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático para el periodo 2015-2045 como de su análisis espacial frente al componente biofísico y de cambio climático como de la percepción general de los mismos en la cuenca del Río Guatiquía, Colombia. Esta proyección de escenarios se generó a partir de información climatológica de los últimos 50 años.

3.2. Método de investigación

El diseño previsto para el proyecto de investigación parte de la descripción del comportamiento de los caudales a través de la precipitación y la temperatura en escenarios de cambio climático como de la comparación de las diferencias espacio-

temporales de los efectos en la cuenca generados por dicho comportamiento. En consecuencia se centra en la descripción de la aplicación del modelo de análisis y de las respectivas explicaciones en cuanto a incidencia o comportamiento del caudal del río a partir de la modalidad metodológica definida: parte de usos de herramientas estadística para el análisis de datos, como de software estadístico (Excel) y geográfico (ArcGIS) para la modelación de variables climatológicas y de caudales, con una profundidad dependiente del número de estaciones hidroclimáticas y climatológicas que se posean dentro del área de estudio como del contraste. Es importante resaltar que, para la generación de los escenarios tendenciales, a causa de la complejidad y dinámica de dichos fenómenos climatológicos e hidrográficos se aproximará a la descripción de dicho clima base y de dichos escenarios con información secundaria, regresiones, modelos climáticos y estadística espacial.

Se empleará un análisis descriptivo multivariado del comportamiento de las diferencias espacio-temporales de temperatura, precipitación y su incidencia en caudales en el área de trabajo. Según los resultados probables de las operaciones estadísticas y de las fuentes de información, se prevé hacer observaciones y verificación de los cambios espaciales por medio de indagación con actores del área de investigación y comparación espacial de amenazas. De igual modo, se espera contribuir en la confirmación de la pertinencia de una línea de investigación en este enfoque de análisis como pertinente como herramienta expedita para aportar en el manejo integrado de las cuencas y de la moderación de la tendencia de deterioro ambiental de cuencas estratégicas regionales y locales.

De tal forma, que según la guía metodológica de la universidad se utilizarán varias técnicas, privilegiando las de medición y levantamiento de campo, del análisis y tratamiento espacializado. Como de la profundización en la revisión de documentación de información secundaria de referencia para el análisis de efectos dentro de la cuenca. Cabe anotar que se espera igualmente sacar sugerencias de ventajas y desventajas del análisis de temperatura, precipitación y su incidencia en caudales para la gestión integrada de las cuencas y su disminución en la planificación de efectos espaciales dentro de la misma.

3.3. Población y/o muestra

La población del estudio es la cuenca hidrográfica del Río Guatiquía entre los Departamentos de Cundinamarca y del Meta establecida frente a los límites hidrográficos generados por el IDEAM como se mencionó en la descripción del área de trabajo. La muestra son las estaciones hidroclimáticas, meteorológicas e hidrológicas que se encuentren dentro de la cuenca y alrededor de la cuenca para precipitación y Caudales en un área de influencia de no más de 5 km de la cuenca. Esto para poder obtener la mayor cantidad de información climatológica por la escasez de estaciones (fueron seleccionadas solo las estaciones que cumplan los mínimos requisitos de calidad y completitud de datos) para el análisis general de las variables temperatura, precipitación y caudales en escenarios de cambio climático y sus posibles efectos diferenciados en el área de estudio.

3.4. Variables e Indicadores

Las variables e indicadores que se manejaron dentro del trabajo de investigación se dividen dentro de cada uno de los objetivos específicos. Las variables seleccionadas para la realización del presente trabajo de investigación fueron la temperatura, la precipitación y los caudales, con una escala temporal de recolección de datos mensual, esto para el análisis de los escenarios de cambio climático y para dar cumplimiento con los objetivos. Los indicadores se seleccionaron a partir de la disponibilidad para cada una de las estaciones solicitadas; como si el uso de las mismas era pertinente para la generación de estudios de cambio climático. Los indicadores que se organizaron inicialmente para el trabajo de investigación fueron:

- Precipitación total mensual
- Precipitación No. Días mensuales
- Precipitación media mensual
- Temperatura media mensual
- Temperatura máxima mensual
- Temperatura mínima mensual
- Caudales medios mensuales
- Caudales máximos mensuales
- Caudales totales mensuales

- Niveles de caudales mensuales

Luego de esta clasificación de todos los indicadores para cada una de las variables, se generó la siguiente selección para la generación de los análisis estadísticos, espaciales y dentro de los escenarios de cambio climático:

- Precipitación media mensual
- Temperatura media mensual
- Caudales medios mensuales

Estas variables fueron manejadas desde unidades de medida correspondientes para Colombia y empleadas por la entidad estatal oficial para la realización de metodologías, estudios y análisis de cambio climático en el país IDEAM, dando por entendido, como veraz y verdadero la información y los datos encontrados para cada una de las estaciones.

3.5. Técnicas para la recolección de información

Las técnicas empleadas para la recolección de información fueron la conversión de la información plana y sin formato de cada una de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca del Río Guatiquía. Esta conversión fue generada desde un archivo plano a un formato tabla .xlsx en donde se realizaron ajustes de forma a la original entregada por el IDEAM, para que la información sin formato pasase a estar en pestañas por meses con los valores mensuales multianuales de todas las estaciones seleccionadas y así poder generar los procesos estadísticos y de llenado de datos de manera más sencilla y ajustada.

4. RELACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES

4.1. Fuentes de información climática

La fuente de la información que se empleó como se menciona anteriormente, son los datos registrados dentro de las estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrometeorológicas recolectados y generados por el IDEAM. Esto dado a que es el ente oficial rector de la información climática y meteorológica para Colombia.

4.2. Los datos observados

La información fue primero localizada por medio de la información espacial y descriptiva del banco nacional de estaciones meteorológicas dispuesta en la página web del IDEAM y en donde podía verificarse qué tipo de información, que variables y que valores analizaba dicha estación. Luego de un análisis espacial se seleccionaron las variables y los datos climáticos que debían solicitarse para poder manejar los análisis y las estaciones que cubrían las necesidades del proyecto de investigación.

4.3. Disponibilidad de datos

El número de las estaciones trabajadas con respecto al número de estaciones solicitadas bajo el dominio del IDEAM, presentó una diferencia en calidad y cantidad de información debido a que se obtuvo mucho menos a la esperada y al total solicitado. Esto principalmente a que gran parte de las estaciones obtenidas no poseían información entre 1969 y 2015, estaban sin operación, o no fueron entregadas por parte de la entidad aduciendo problemas en los datos o que se podrían encontrar en fases de revisión de calidad. El número número de estaciones por ende paso de 65 a 42 para el presente proyecto.

Para estas 42 estaciones dentro del área de influencia directa de la cuenca del río Guatiquía y dentro de un radio de influencia de 5 kilómetros alrededor de la cuenca para poder obtener más información por la escasez de estaciones, mucha de la información disponible no fue entregada, o solo se entregaron algunos indicadores que no correspondían al presente estudio (por ejemplo, nubosidad, humedad o punto de rocío), lo cual generó una limpieza y selección de estaciones que, si cumplieran al menos con los suficientes años, completitud de datos, los indicadores principales para el análisis de las variables, como la ubicación dentro de la cuenca para un total de 30 estaciones finales con información relevante como se muestra en la figura 5.

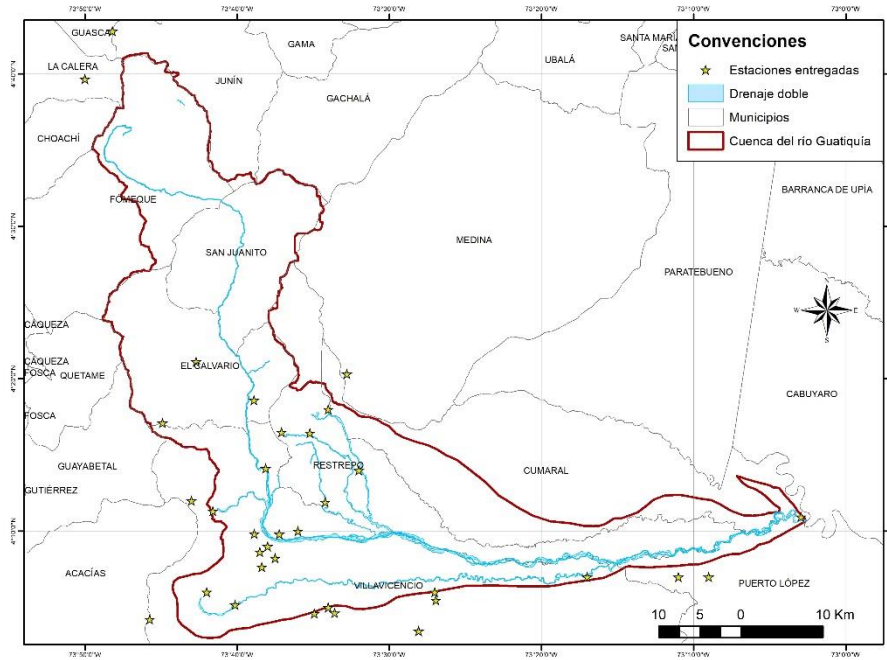


Figura 5 Ubicación de las estaciones entregadas con información por parte del IDEAM para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

4.4. Selección del periodo de observación

Luego del tratamiento y de la selección de las estaciones meteorológicas, hidrometeorológicas y climáticas, la información fue organizada por las variables para cada una de las 30 estaciones. Para Precipitación un total de 18 estaciones, para temperatura un total de 4 estaciones y para caudales un total de 8 estaciones. Luego, se

organizaron mes a mes toda la información para cada uno de las variables para todo el periodo que tenían estas estaciones.

Seguido a este proceso, como menciona a nivel general (Toro Trujillo, Arteaga Ramírez, Vázquez Peña, & Ibáñez Castillo, 2015) luego de la verificación por los mínimos requeridos para el llenado de datos (máximo un 10 por ciento del total de años faltantes), la calidad de los datos y la ubicación dentro de la cuenca hidrográfica debería restringirse a los años con valores aceptables. Donde se pudo verificar que el periodo original fue diferencial entre la mayoría de las estaciones. Sin embargo, el número de las estaciones que completaban los mínimos de calidad y completitud de información y datos se disminuyó debido a la cuasi-total ausencia de información en muchas estaciones, pero la calidad de las seleccionadas aumentó permitiendo trabajar con datos y estaciones muy verídicos y con muchos más años que los mínimos requeridos para estudios de cambio climático y se organizó de la manera siguiente para precipitación (P), temperatura (T) y caudales (QL):

- P: 7 estaciones [1968 a 2017] (50 años).
- T: 2 estaciones [1968 a 2017] (50 años) y 1 estación [1985 y 2017] (30 años).
- QL: 4 estaciones [1979 a 2010] (30 años).

Estas estaciones se ubican de la siguiente manera en la cuenca del río Guatiquía como lo muestra la figura 6 a continuación:

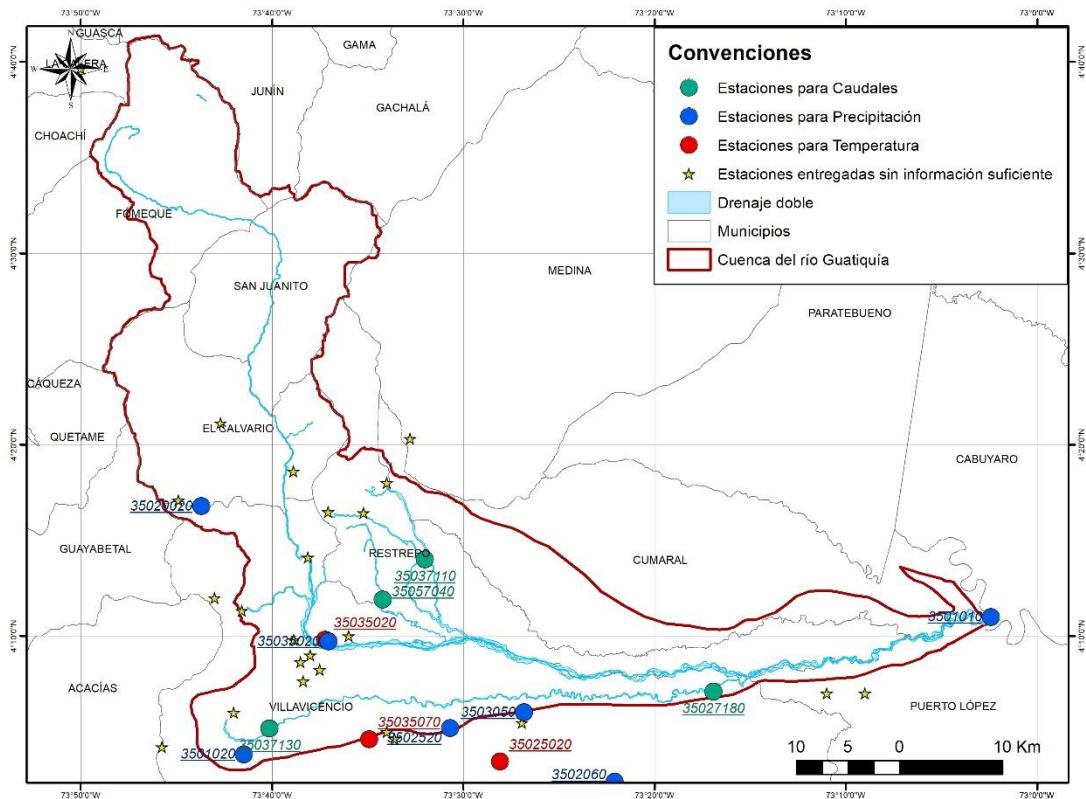


Figura 6 Ubicación de las estaciones seleccionadas para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el caso de caudales medios mensuales cabe mencionarse que las estaciones dentro del estudio se encuentran dentro de los contribuyentes mayores del río Guatiquía puesto que no existen estaciones con suficiente información para el periodo entre 1969 y 2015 de caudales sobre el cauce principal del río. Sin embargo, las tendencias pese a que los valores sean mucho menores, si pueden tenerse en cuenta para la toma de decisiones y los análisis espaciales.

4.5. Llenado de datos faltantes

Como menciona Alfaro J. y Soley F., existen distintos métodos estadísticos y matemáticos para el relleno de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas, y que estas se diferencian dependiendo de la completitud de la información y los datos entregados para cada una de las variables meteorológicas (Alfaro & Soley, 2009). Esta

diferencia yace en si existen estaciones cercanas y con buen coeficiente de correlación entre los datos en ellas para un llenado con base a la información de otra estación; o, cuando no hay estaciones cercanas el llenado se realizó con información de la misma estación.

También, dependiendo de la cantidad de información faltante para cada una de las variables dentro del periodo contemplado en el presente trabajo, se emplearon distintas técnicas para el registro de datos faltantes. Para el presente trabajo de investigación se emplearon 3 métodos de llenados faltantes para evitar errores estadísticos como que se siguieran los siguientes criterios, evitar calcular datos faltantes cuando en una serie de tiempo faltasen más del 10% de los datos, seleccionar estaciones de referencia y que tengan más datos llenos. Y preferir las estaciones cercanas de referencia sobre las más distantes y dentro de la cuenca hidrográfica (Medina Rivera, 2008).

Para el proceso del llenado de datos faltantes se priorizaron 3 métodos complementarios y bajo un determinado orden para mejorar y evitar errores en el registro de datos vacíos puesto que van de mayor a menor valor, pero igual validez (Luna Romero & Lavado Casimiro, 2015). 1. Método fue el uso de regresiones lineales con base al coeficiente de correlación simple entre las estaciones de la misma variable. Esto se organizó por medio de Microsoft Excel en donde se midió si la distribución y los valores de los datos de cada estación presentara un coeficiente de correlación aceptable según referencias internacionales y estadísticas (valores entre -1 y 1 en donde el valor mínimo aceptable es de +/- 0,74) y por medio del cálculo pendientes e intersecciones sobre el eje y esto se realizó para cada una de las variables (Cueva Castillo & Oñate Valdivieso, 2010).

Durante este proceso, se encontró que para todas las variables no había cercanía y condiciones de los datos generados por el IDEAM, los coeficientes de correlación en su mayoría presentaron valores entre 0,3 y 0,6 por lo que no aplicaba para poder realizar el registro de datos bajo ese método sin cometer errores estadísticos de muestreo. Cabe mencionarse que no se realizaron los coeficientes de correlación en muchos datos y estaciones ni regresiones de pendientes especialmente en la variable caudales como en precipitación debido a la falta de datos en muchas estaciones sobre el mismo mes y el mismo año. Aquí por lo que esta metodología de correlaciones no puede ser empleada de manera generalizada si no se quería llegar a errores en los datos registrados.

2. Método de cocientes, en donde con base a una estación de referencia que tuviera datos sobre el mismo mes y fueran cercanas, se compruebe la relación entre los pares y los valores de X_i y Y_i con base a las medias multianuales del mismo mes. Este proceso va seguido de la estimación sobre valores absolutos de los cocientes para saber si existe relación entre las proporciones de las medias multianuales como de las estaciones, y si se presenta casi como una constante en término de la relación (Barrera Escoda, 2014). Se pudo aplicar dicho método para llenar los datos faltantes. Sin embargo, no se finalizó el total del registro de datos faltantes bajo estos dos métodos.

3. El método de proporciones se empleó para complementar los restantes datos faltantes que no cumplieron las características de llenado de datos de los dos anteriores métodos y solo por medio de los datos de la misma estación se pudiera calcular estos registros faltantes. Este método solo se emplea cuando no hay referencias de otras estaciones y cuando por medio de los cálculos de la media multianual, el valor total del año del dato faltante, y la media del año del mes faltante (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT, 1990).

4.6. Análisis exploratorio de las variables (temperatura, precipitación y caudales)

El análisis de estas variables parte de una definición de las mismas, incluyendo las formas de medición y qué información aporta cada una de estas. Seguido del llenado de datos se pudo encontrar datos relevantes como que el comportamiento de todas las estaciones son de carácter monomodal¹⁰. Esto pudo ser evidenciado a la hora de la generación de histogramas para conocer la distribución temporal de la información para cada una de las variables a lo largo de los periodos de tiempo mencionados en el numeral 4.1.3.

Las divisiones en la presentación de la información para cada variable se presentaron los meses de marzo, julio y noviembre, donde corresponden a su característica monomodal de la precipitación, mostrando el periodo final de la temporada de seca) y donde este cambio de precipitaciones puede ser muy brusco generando en la mayoría

¹⁰ Monomodal: presenta solo un valor máximo bien definido en el año con forma de u invertida. Bimodal: es que presenta dos valores máximos diferenciados a lo largo del año con forma de dos u invertidas.

eventos extremos, desprendimientos de suelo y posibles avenidas torrenciales (marzo), el mes más lluvioso (julio) y el mes con más con la parta final de la curva de comportamiento de la precipitación (noviembre). Esto se realizó para temperatura y caudales para poder mostrar la posible relación entre los datos en dichos periodos. Esto se realizó para poder comparar el comportamiento del cambio climático en periodos secos y lluviosos.

Para las figuras de cada variable se presentaron solo 3 estaciones, esto porque muchas de estas presentaban el mismo comportamiento y valores muy cercanos cuando se ubicaban en la misma parte de la cuenca (alta, media y baja) y presentaban ruidos sobre las figuras, por ende, se seleccionaron las estaciones con los valores más representativos.

4.6.1. Breve análisis estadístico descriptivo de Precipitación

Para el breve análisis estadístico descriptivo de la precipitación, se generaron histogramas tipo línea para conocer la distribución temporal de las medias anuales para el periodo entre 1968 y 2017. En donde pudo evidenciarse que los valores cambian entre patrones de distribución por su ubicación geográfica dentro de la cuenca, pues es visible patrones diferenciados para la cuenca media-alta con valores de precipitación más alto y en la cuenca baja con valores muchos más bajos. A continuación, la Tabla 1 muestra los valores medios multianuales de precipitación para una de las estaciones analizadas entre 1968 y 2017.

Tabla 1 Datos y estaciones para precipitación (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (mm)
3501010	PTO LOPEZ	182	132,46	309,91	153,11	2.498,95
3503050	OJO DE AGUA	300	183,43	350,07	251,20	3.064,57
3502520	LA LIBERTAD	336	157,96	309,17	220,82	2.876,59
3501020	ACACIAS	525	73,21	75,74	93,72	916,87
3502060	POMPEYA	260	137,40	290,76	201,03	2.703,14
35020020	GUAYABETAL	1000	240,64	665,22	329,88	5.064,18
35035020	APTO VANGUARDIA	422	326,21	451,86	420,02	4.432,02

Elaboración propia, Fuente: IDEAM 2017

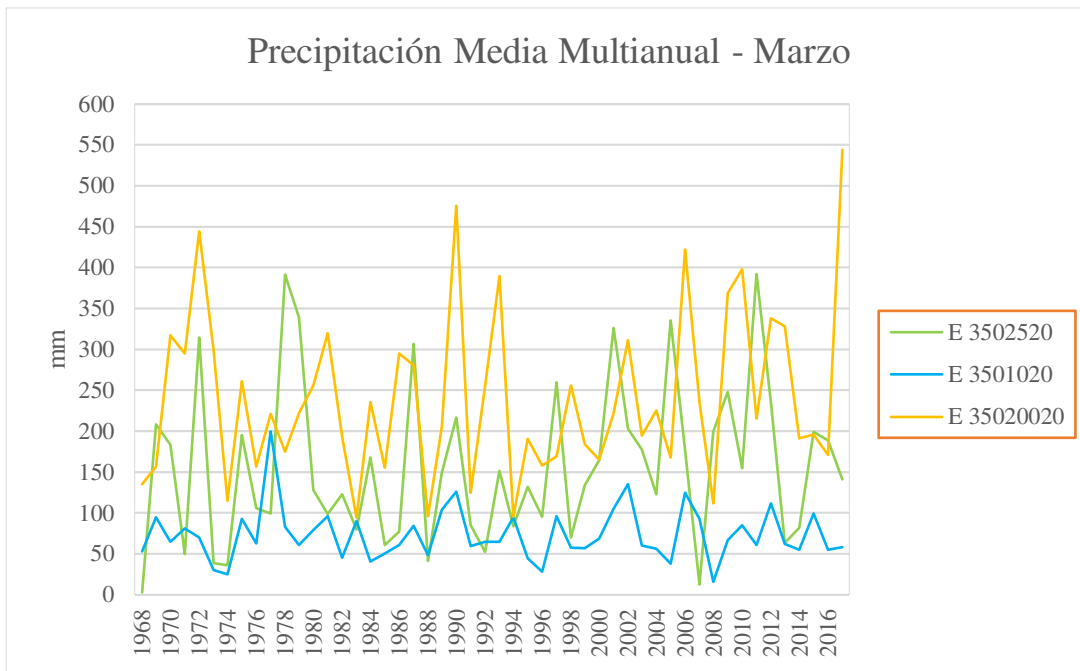


Figura 7 Precipitación Media Multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de marzo como se muestra en la figura 7 la precipitación media multianual presenta dos comportamientos diferenciados entre las estaciones analizadas, donde para las estaciones 35020020 y 3502520 aumentan y disminuyen los valores máximos y mínimos cada 2 años y para la estación 351020 varía mucho menos y lo hace cada 3 años. Por lo que como se menciona anteriormente, resalta que cuando se encuentra en la transición del periodo seco al lluvioso las precipitaciones en promedio se mantienen en una media entre 150 y 200 mm cada 2 años, y valores 50 y 100 mm cada 3 años para la estación en la cuenca baja. Cabe resaltar que existen años con valores casi o más del doble de la media ponderada en los años 1972, 1990, 2012 y 2017.

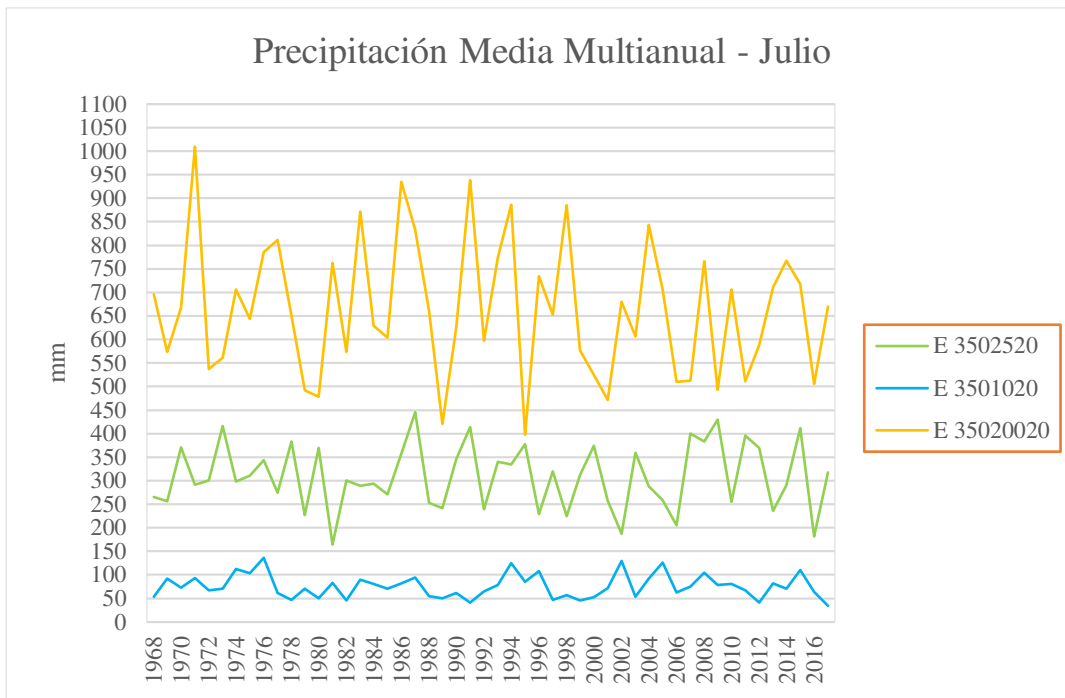


Figura 8 Precipitación Media Multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio como muestra la figura 8, las precipitaciones tienen un comportamiento tendencial mucho más homogéneo en los periodos de aumento y disminución de los valores medios anuales multianuales, las diferencias entre los valores máximos y mínimos entre las estaciones son por las ubicaciones de las estaciones en donde se diferencian las tres partes de la cuenca del río. Es muy importante mostrar que la tendencia entre los valores de las 3 estaciones seleccionadas es a presentar cada vez más valores más bajos con una pendiente negativa, pero para otras estaciones la pendiente es positiva, pero con aumentos muy bajos no superiores a más de 50 mm en los últimos 50 años. Lo que muestra que a lo largo de la cuenca la precipitación cada vez ha sido menor para el mes de julio, pero presenta una mayor variación en el tema de máximos y mínimos para el periodo de estudio, y se presentan valores entre 50 y 150 mm para la parte baja de la cuenca, valores entre los 200 y 500 mm para la parte media de la cuenca como valores entre 550 y 900 mm para la parte media - alta.

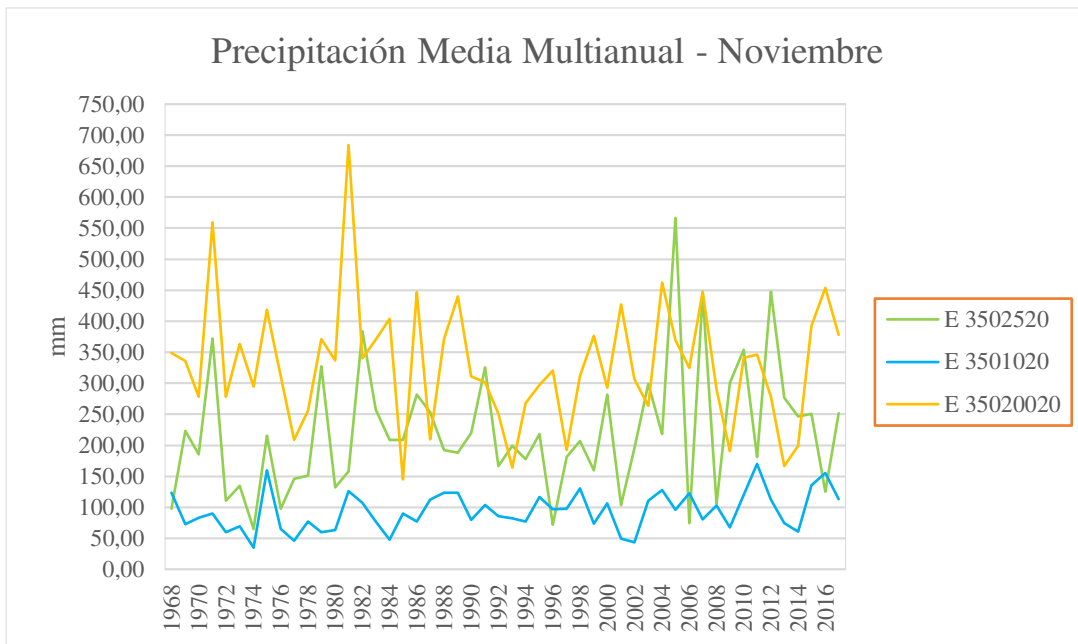


Figura 9 Precipitación Media Multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de noviembre, en la figura 9, la precipitación media multianual regresa a un comportamiento similar al del mes de marzo, pero con valores un poco mayores pero la misma distribución de datos a lo largo del tiempo según la ubicación de la estación. La estación 3501020 tuvo la precipitación más baja con una media entre 60 y 150 mm en los últimos 50 años. Es de alta importancia resaltar que las pendientes son similares y positivas pero muy bajas para las estaciones 3502520 y 350200020, como para la estación 3501020 la pendiente es positiva, aunque cercana a cero, mostrando que para las estaciones existe un aumento, pero muy bajo en la precipitación. Es de resaltar que, para noviembre, la estación 35020020 ubicada en la parte media de la cuenca, muestra la mayor variación y media de lluvias en contraste a los otros meses; donde años como 1970, 1980, 2004 y 2015 presentan precipitaciones entre los 300 y 550 mm.

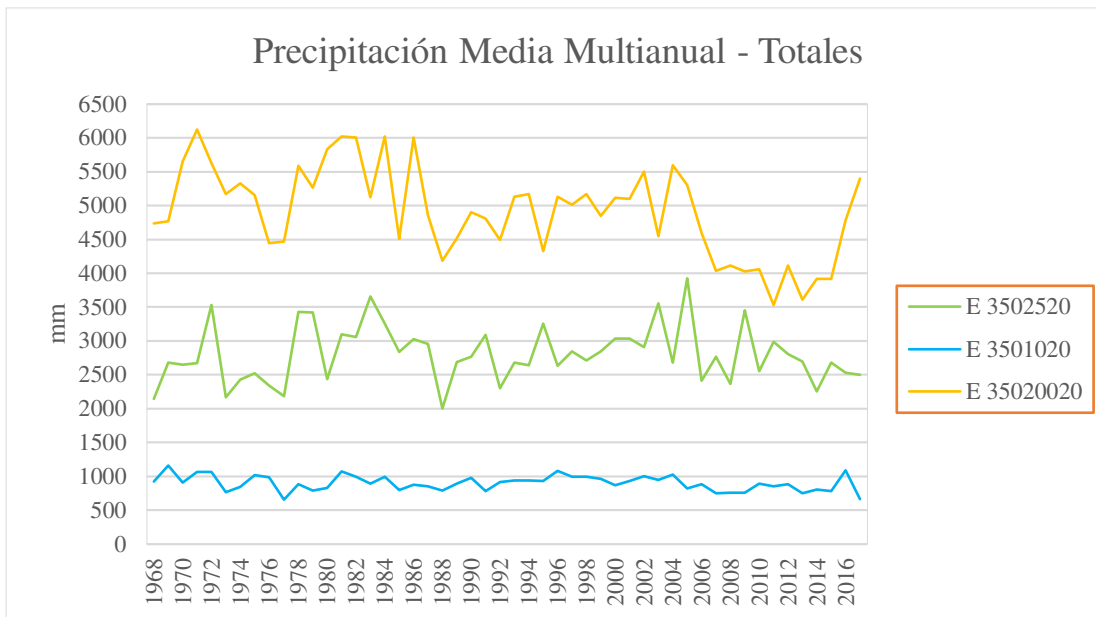


Figura 10 Precipitación Media Anual Multianual Total (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Como se mencionó en la figura 10, la precipitación media anual multianual total presentó una tendencia a aumentar en algunas estaciones en los últimos 50 años con pendientes bajas, pero disminuciones en la mayoría. La estación 3501020 presentó una media que osciló entre los 1.000 y 900 mm anuales, para la estación 35020020, hubo un comportamiento similar a de la estación 3501020 pero con mayores valores oscilando entre los 5.000 y los 6.000 mm año con una pendiente casi de cero, con un comportamiento inusual entre el 2015 y 2017 con un aumento de casi 1.500 mm medios anuales multianuales en los 2 últimos años. La estación 3502520 mostró una pendiente negativa en la distribución de los datos y con valores entre los 2.500 y 3.200 mm. Esta tendencia es muy importante de resaltar puesto que encontrar que las precipitaciones han venido aumentando lentamente en los últimos 50 años, la gestión ambiental del elemento vital, los estudios hídricos y un ordenamiento ambiental subregional debe ser prioridad para las entidades estatales e investigación en un contexto de cambio climático.

4.6.2. Breve análisis estadístico descriptivo de Temperatura

La distribución temporal de la temperatura para las tres estaciones seleccionadas presenta un comportamiento monomodal en donde los valores más altos se ubican entre los meses de diciembre y marzo y los valores más bajos entre los meses de mayo y septiembre con una leve tendencia de aumento para todos los meses entre 1968 y 2017 de cerca de 1 grado Centígrado en promedio. Presentando valores para las dos estaciones en la media alta con valores que oscilan entre 26 y 28 °C y para la cuenca baja valores entre los 31 y 33° C. A continuación, la Tabla 2 muestra los valores medios multianuales de temperatura para una de las estaciones analizadas entre 1968 y 2017.

Tabla 2 Datos y estaciones para temperatura (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (°C)
3502520	LA LIBERTAD	336	24,4	309,9	25,9	25,8
3503570	UNILLANOS	340	29,0	309,2	30,7	30,6
35035020	APTO VANGUARDIA	422	24,2	451,8	25,4	25,5

Elaboración Propia, Fuente: IDEAM 2017

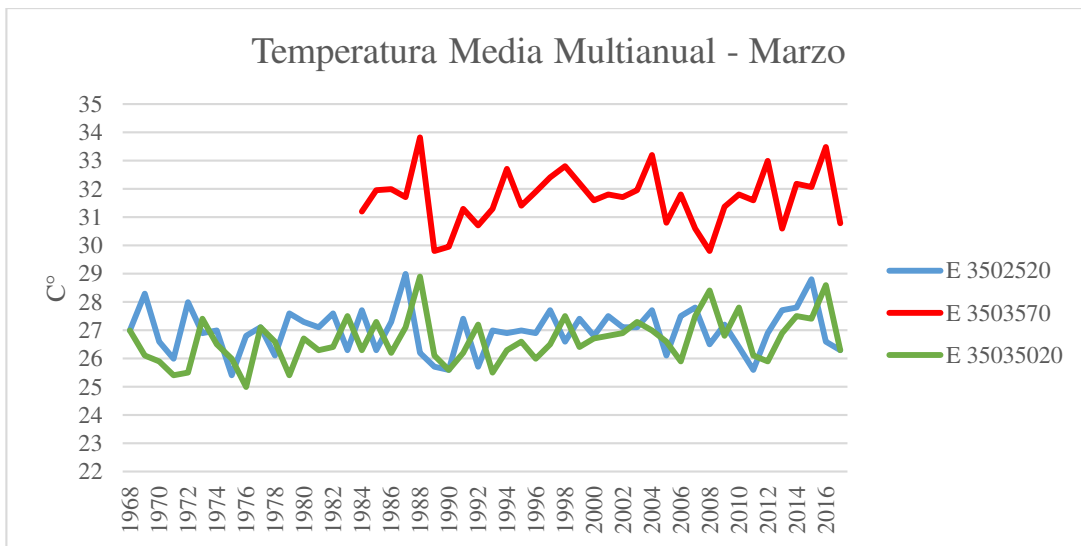


Figura 11 Temperatura Media Multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 11, las temperaturas medias multianuales presentaron un comportamiento homogéneo con similar distribución, pero diferenciando las estaciones que se

encuentran en la cuenca alta y media con la que está ubicada en la parte más baja de la cuenca. Los valores presentaron en las estaciones 3503570 y 35035020 muestra un comportamiento similar pero desplazado un año atrás, lo que muestra que la información por más que sea oficial, puede presentar errores de completitud y registro de datos. Sin embargo, como se definió que la información generada por el IDEAM para esta investigación es correcta, los valores aumentaron sobre los 27°C para las estaciones ubicadas en la cuenca media y sobre los 32°C para la estación ubicada en la cuenca baja.

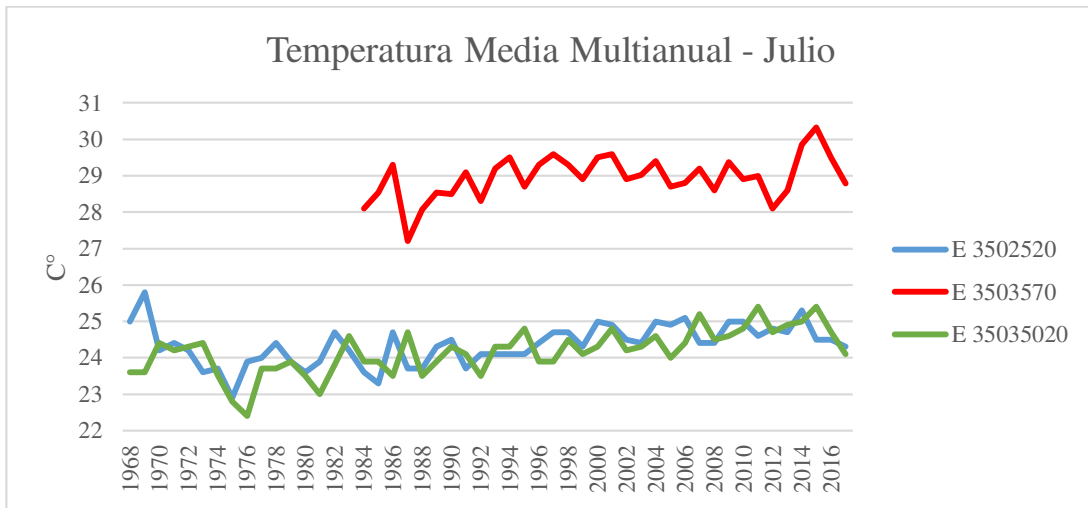


Figura 12 Temperatura Media Multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En el mes de julio donde se ubica el mayor periodo de lluvias, el comportamiento de la temperatura media multianual aumentó entre 1968 y 2000 entre 0,4 y 0,8°C y desde el año 2000 al 2017 hubo un aumento entre los 0,2 y 0,4°C mostrando un aumento de la media de casi 1 grado centígrado para los últimos 50 años en la cuenca del río Guatiquía. Los valores para las estaciones ubicadas en la cuenca media (3502520 y 35035020) oscilaron entre los 24 y 24,5 °C en promedio con una pendiente positiva entre los 3 y 4 grados, mostrando un cambio para la variable temperatura que demuestra que el cambio climático existe y ha sido muy relevante por los valores de temperatura para una cuenca de total importancia para la gestión hídrica en periodos lluviosos y más que todo para la gestión del riesgo por posibles eventos naturales extremos.

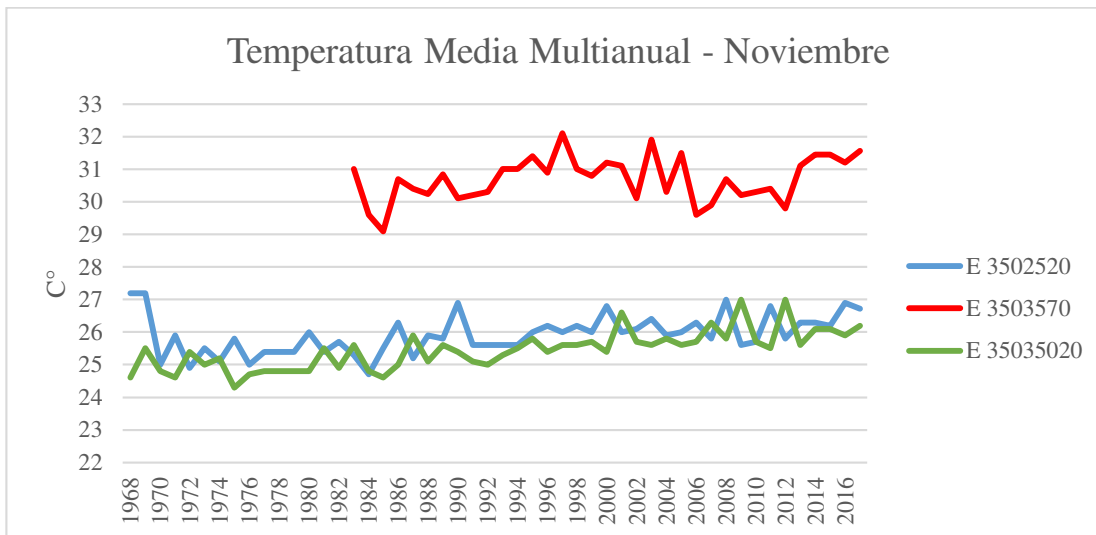


Figura 13 Temperatura Media Multianual para el mes de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 13, la temperatura media multianual aumenta de nuevo por la finalización del periodo de lluvias e inicio de la temporada seca con valores medios para las estaciones en la cuenca media 25 a 26°C y valores entre 30,5 y 31,5°C para la estación ubicada en la cuenca baja.

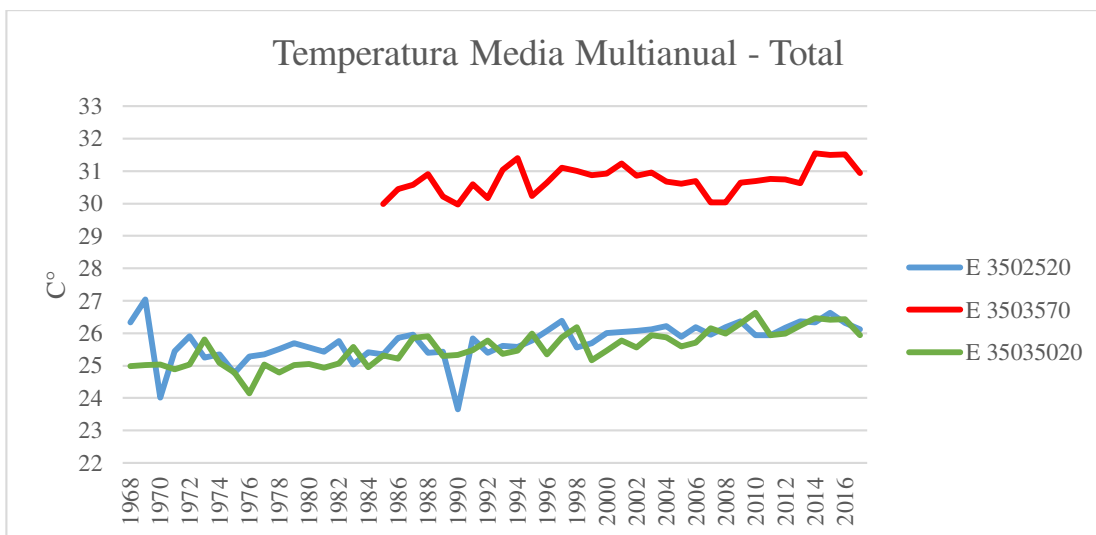


Figura 14 Temperatura Media Anual Multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

El comportamiento de la temperatura media anual multianual muestra los cambios en 50 años de más de 1 grado centígrado en aumento pasando de una media entre 25 y 26,5°C +/- . El cambio fue igualmente en la misma relación para la estación ubicada en la cuenca baja, en donde pasó de una media de 30°C a una media para el periodo entre de 31°C +/- . Con lo anterior es posible visualizar que el cambio climático para la variable temperatura es visible, puesto que para variables como la temperatura como para los efectos en el entorno y en el medio ambiente, 1 grado puede suponer cambios de coberturas, cambios en los comportamientos de especies animales como vegetales, y en el funcionamiento de ecosistemas y el balance ambiental (Rodríguez Eraso, Pabón Caicedo, Bernal Suárez, & Martínez Collantes, 2010).

4.6.3. Breve análisis estadístico descriptivo de Caudales

Cabe mencionar que debido a la falta de información en la parte alta de la cuenca por completitud de las estaciones disponibles y con valores solo con un periodo de 8 años, no permitían generar cálculos estadísticos correctos y se descartaron esta información. Igualmente, es importante mencionar que las estaciones sobre el cauce principal no poseen más de 10 años con información, por lo que los análisis se realizaron con las estaciones ubicadas en los drenajes secundarios principales de la cuenca del río Guatiquía. Los datos sobre caudales medios multianuales para todas las estaciones en el mes de marzo y noviembre manejan distribuciones similares a lo largo de los 30 años. Para el mes de Julio hubo algunas variaciones, pero todas con tendencia a disminuir los valores de caudales. De tal manera, la Tabla 3 muestra los valores medios multianuales de caudales para una de las estaciones analizadas entre 1979 y 2010.

Tabla 3 Datos y estaciones para caudales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (m ³ /seg)
35027180	PERALONSO	261	0,48	1,26	1,04	0,96
35037130	PTE DEL AMOR	435	4,00	9,90	8,69	7,95
35057040	PTE CARRETERA	1.965	0,74	2,66	2,61	2,56
35037110	PALMARITO	349	0,12	0,50	0,36	0,34

Elaboración propia, Fuente: IDEAM 2017

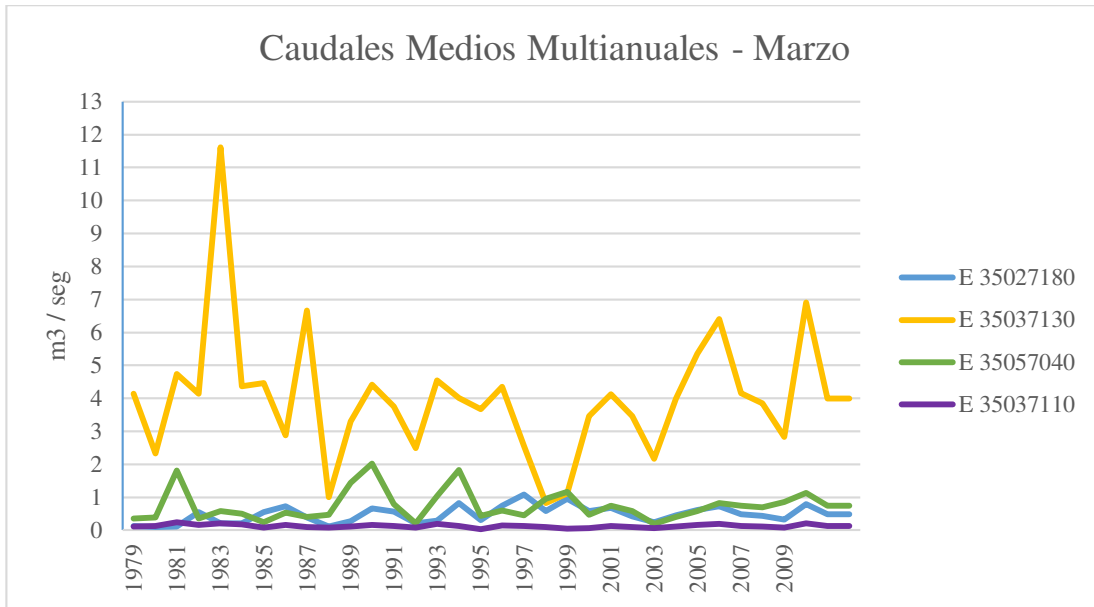


Figura 15 Caudales Medios Multianuales de marzo (1979-2010 para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de marzo, siendo de común comportamiento para Colombia y esta región, una de las condiciones climáticas asociadas a temporada seca con comportamiento monomodal es visible al observar el crecimiento y disminución de caudales cada 3 años, pero relevante a la presente investigación, es el comportamiento que muestra una disminución muy baja por una pendiente casi nula. Igualmente es de importancia notar que los valores más altos en la estación 35037130 muestra que, para el mes de marzo en los años 1983, 1990, 2000 y 2005 se presentaron aumentos muy por encima de la media histórica, pero al ser solo en algunos años, la gráfica muestra los comportamientos negativos cerca al cero. Se presentó un cambio en el valor medio de caudales de más de un 20% y 50% respecto a la media histórica inicial con valores de 4 y 5 m³/seg. y 6 y 7 m³/seg. respectivamente para el final de los 50 años en los afluentes principales del río Guatiquía.

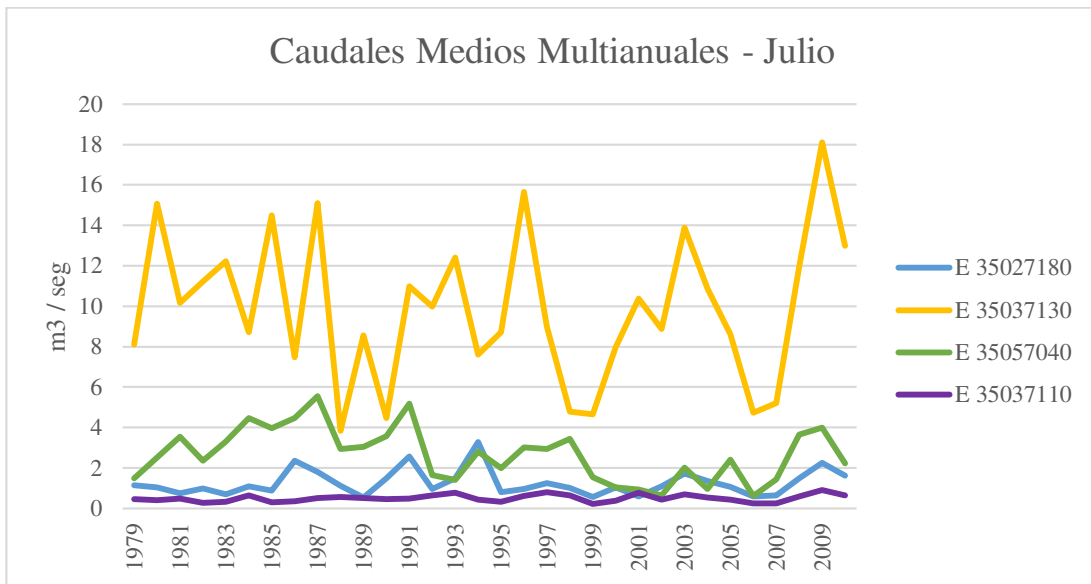


Figura 16 Caudales Medios Multianuales de julio (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Los caudales medios multianuales para el mes de julio, los patrones de distribución en el aumento de las cifras de caudales cambio notablemente con respecto a los valores en temporada seca. Esto se debe a que es temporada de lluvias para la cuenca del río Guatiquía. Igualmente, al ser un área con comportamiento monomodal en precipitación, en este mes es donde más presenta aumento en los caudales. Es importante ilustrar que los valores medios de caudales para los años 1986, 1999 y 2002 presentaron para la cuenca media entre 10 y 20 m³/seg. y para la parte baja de la cuenca con valores entre 0,5 y 2 m³/seg con una tendencia a disminuir a lo largo del tiempo, pero con una pendiente cercana a cero.

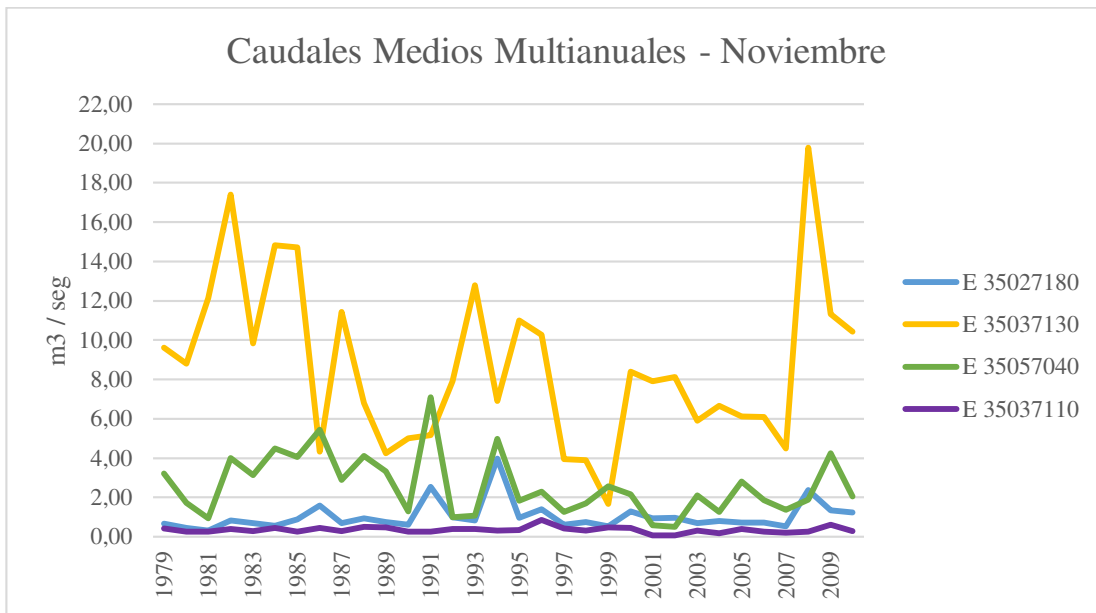


Figura 17 Caudales Medios Mensuales de noviembre (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 17 sobre caudales para el mes de noviembre, el caudal presentó un comportamiento diferenciado por valores medios multianuales mucho menor con tendencia a la disminución en el mes de julio y con un comportamiento similar al mes de enero, pero con valores un poco mayores. Dentro de este mes se encontraron valores por fuera de la tendencia del crecimiento de caudales para los años 1981, 1993 y 2007 con valores entre los 12 y 14 m³/seg. respectivamente y para el año 2008 un valor extraordinario fuera de la media y la tendencia con un valor de 18 m³/seg para la parte baja de la cuenca; el valor de la parte media presentó valores entre los 0 y 6 m³/seg.

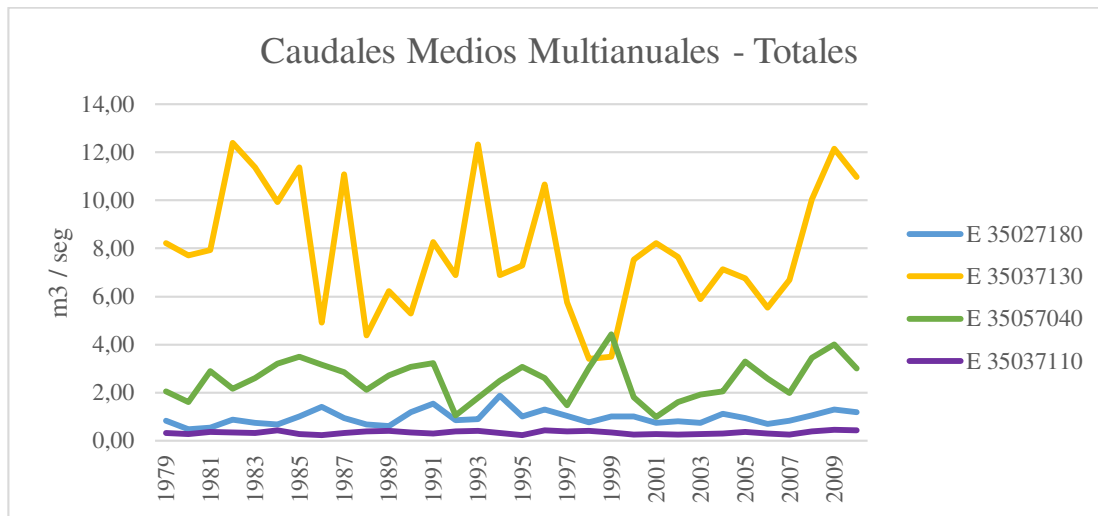


Figura 18 Caudales Medios Multianuales Totales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

El comportamiento para los caudales medios anuales multianuales totales para el periodo entre 1979 y 1985 es observable un aumento leve tendencia en los caudales, entendiendo los comportamientos tipo onda caracterizadas por variabilidad climática. Sin embargo, se observa una tendencia de disminución en la media para las estaciones en la cuenca media entre los 1987 y 2003 como lo muestra la figura 18. A partir de este año hasta el año 2010 se presentaron mayores cambios tendenciales con picos en los años 2005 y 2008 con el valor medio anual multianual con valores en la cuenca media con valores entre 2 y 4 m³/seg y para la cuenca baja con valores entre 8 y 12 m³/seg. Para los años con los valores anuales medios multianuales fueron siguiendo la tendencia y los datos como se mencionan anteriormente muy característicos de la altura y el territorio analizado.

Como menciona (Campos-Aranda, 2015), puede que el análisis de las variables para analizar el cambio climático, esté influenciado y analizado de distintos acercamientos metodológicos como teóricos, en donde confluyen efectos y alteraciones en el medio. No obstante, el generar estudios de tendencias con procesos geoestadísticos sobre el clima y sus posibles condiciones en el futuro, permitiría plantear una dirección o ruta de trabajo para mejorar tanto la escala de estudio, como de la importancia de la generación de información fidedigna en todo el territorio colombiano para una mejor gestión del cambio climático.

4.7. Correlación entre precipitación y caudales en el Río Guatiquía

A partir de los datos para precipitación y caudales explicados en la parte anterior, se seleccionaron las estaciones más representativas para cada una de estas variables para su análisis de correlación. Esto, para entender si dentro de las estaciones estudiadas el aumento o disminución de la precipitación mostraba algún cambio directo en los valores de caudales.

Las estaciones seleccionadas para cada una de estas variables dependieron tanto de su ubicación dentro de la cuenca como de los valores registrados. Para precipitación, se seleccionó la estación con más altura sobre el nivel del mar en la cuenca alta, y para caudales la estación con mayores valores y su ubicación más cercana al final de la cuenca baja.

Los resultados de estas correlaciones mostraron que para el mes de marzo entre 1979 y 2010 mostraron que la correlación es cercana a cero (0,08), presentando una muy baja correlación. Para el mes de julio, el valor presentó el mismo comportamiento con una muy baja correlación entre la precipitación y los caudales con valores (0,05). Para el mes de noviembre la correlación aumentó, pero los valores no alcanzaron a pasar los valores mínimos para que se presentara una alta correlación, por lo que la correlación para el mes de noviembre es baja pero no representativa. Lo anterior mostró que, para las estaciones seleccionadas, debido a su ubicación geográfica, los aumentos o disminuciones en los caudales en la parte baja, no corresponde directamente a la precipitación en la parte nor-occidental de la cuenca sino a la gran cantidad de afluentes secundarios dentro de la cuenca que pueden ser causados por precipitaciones en partes altas o medias de la cuenca.

4.8. Métodos para la espacialización de las variables en la cuenca del río Guatiquía

Es importante aclarar, que, a partir de esta fase, todos los análisis y observaciones generadas sobre el comportamiento puntual de las variables en las estaciones, se ajustarán por medio de técnicas espaciales para interpretar de manera general su posible comportamiento en la cuenca del río Guatiquía para el periodo entre 1969 y 2015. A partir de los análisis y distribución de los datos para los periodos explicados

anteriormente, se generó una cartografía donde expusiese el comportamiento de los datos para cada una de las variables. Se emplearon 2 métodos espaciales desde SIG por medio del software ArcGIS para conocer cómo sería la distribución espacial de estas variables en la cuenca del río Guatiquía.

4.7.1. Revisión sobre espacialización de Precipitación

Es de total importancia mencionar que debido a la completitud de la información y años con datos para la parte más alta de la cuenca y la no existencia de estaciones con datos que pudieran usarse sin cometer errores en los registros de datos faltantes, sobre los municipios de El Calvario, Fómeque y San Juanito, la representación espacial no corresponderá para dicha parte la cuenca. Sin embargo, para la cuenca media y baja al sí existir estaciones con información suficiente, muestra los comportamientos cercanos para precipitación. Para el análisis espacial de la información generada y complementada sobre precipitación se empleó el método de interpolación de distancia inversa ponderada o IDW en sus siglas en inglés. Este método permite a partir de una superficie en formato raster (imagen con valores para cada pixel y no en formato vectorial) para generar una interpolación de información por medio de puntos. Esto se ajustó a partir de los datos y las 7 estaciones completadas y empleadas en este estudio dentro de la cuenca del río Guatiquía.

Se organizó de tal manera que para cada periodo expuesto anteriormente en la breve descripción estadística para poder observar espacialmente como se comportó estas variables en la cuenca del río Guatiquía.

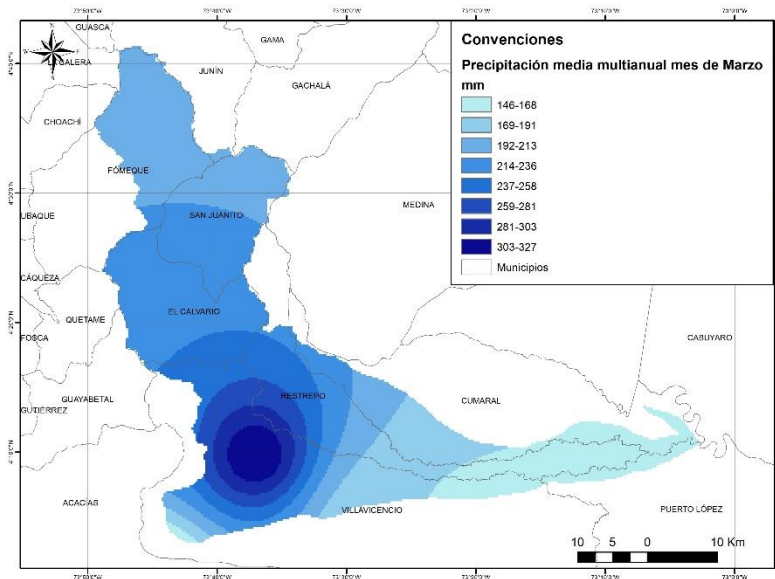


Figura 19 Precipitación media multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

La figura 19 muestra la precipitación media multianual para el mes de marzo se presentó un comportamiento con mayores precipitaciones en el área urbana del municipio de Villavicencio que para los municipios de Restrepo y Cumarál. Al ser la finalización de la temporada seca, los valores de precipitación no superaron los 327 mm en la cuenca media. Las precipitaciones en la cuenca baja para el mes de marzo tuvieron una media entre los 145-170 mm.

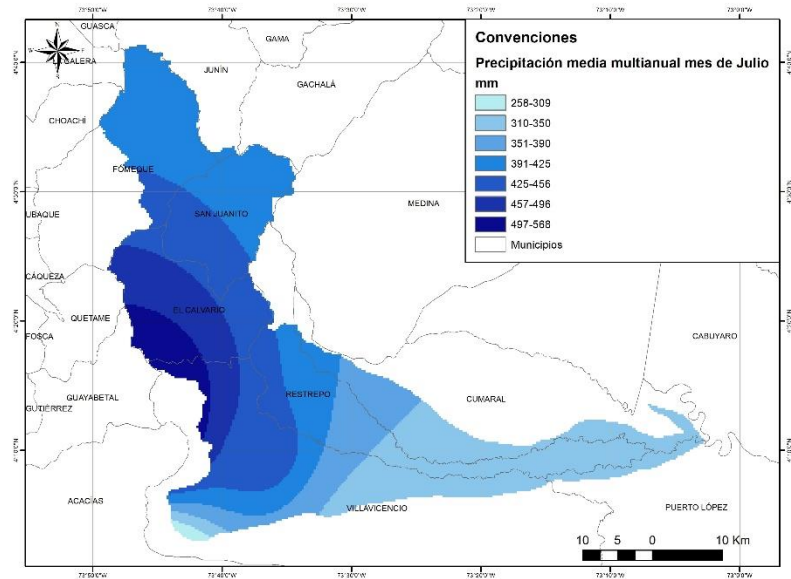


Figura 20 Precipitación media multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio, la media multianual en los últimos 50 años para la parte más alta de la curva de distribución de los datos. La concentración de las altas precipitaciones se ubica en la parte de la cuenca alta y media con valores entre los 400 y 570 mm mes. El comportamiento de las precipitaciones cambia con respecto al periodo seco, generado un desplazamiento en la precipitación más alta pasando de la parte de la cuenca media cerca al desarrollo del municipio de Villavicencio, para ubicarse entre los límites de los municipios de Villavicencio, El Calvario y Guayabetal.

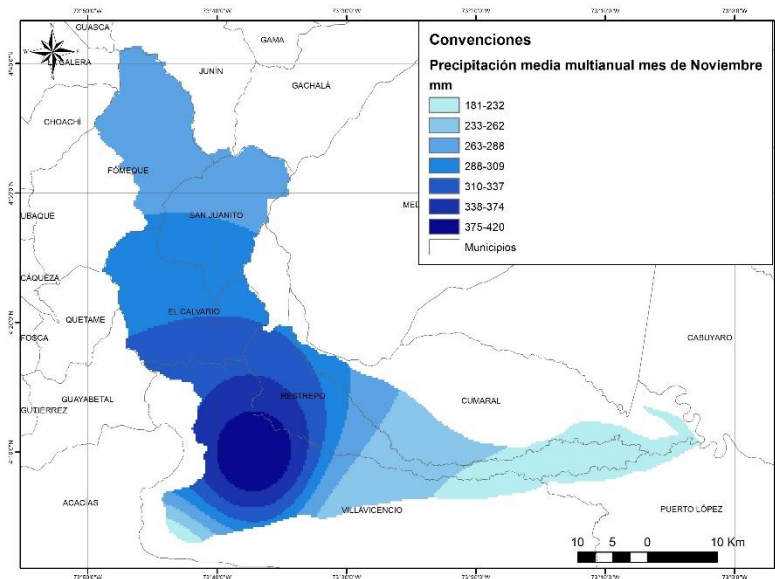


Figura 21 Precipitación media multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de noviembre, la precipitación regresa a valores que oscilan para la cuenca media entre 420 y 300 mm y para la parte baja valores entre 260 y 180 mm. Es importante mencionar que, al manejarse concentraciones sobre el cambio de pendiente entre la cordillera oriental y el piedemonte, las precipitaciones multianuales para el mes de noviembre siguen siendo altas con respecto a la cuenca baja en contraste con los valores presentados al finalizar la temporada seca en el mes de marzo.

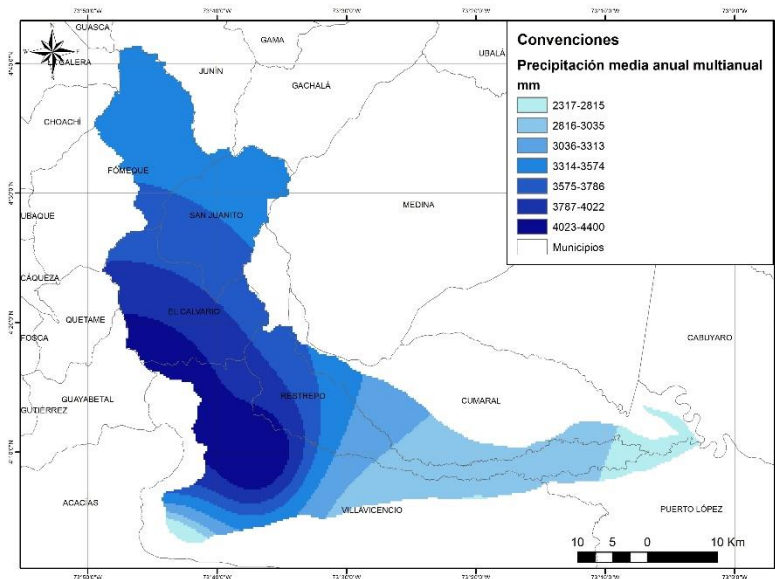


Figura 22 Precipitación media anual multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Como se mencionaron en las figuras 19, 20, 21, la precipitación ha tenido unos valores mensuales que oscilaban entre los 300 y 500 mm promedio mensual. Cuando se realizó el mapa de la media anual multianual en la figura 22, la precipitación más alta incluye toda la parte media y alta del municipio de Villavicencio con valores medios anuales multianuales totales en los últimos 50 años que muestran cifras muy por encima del promedio del país (1450 mm) ya que los rangos medios en la parte media oscilaron entre los 3.500 y los 4.600 mm. Esto corresponde a valores muy altos de lluvias para una subregión de la Orinoquía Colombiana, pero al estar ubicada sobre la cordillera oriental, y capturar todos los vientos provenientes del sur del país, puede entenderse que estos valores si corresponden a la realidad y la gestión del agua debe ser prioridad.

4.7.2. Revisión sobre espacialización de Temperatura

Para la revisión sobre la espacialización de la variable temperatura, se generó 2 herramientas para la espacialización de los datos. La primera herramienta SIG empleada fue el cálculo de interpolación sobre una superficie raster sobre la distancia inversa ponderada de los datos (IDW en siglas en inglés). Esto permitió generar una

imagen con la proyección de la temperatura sobre la distancia inversa ponderada. La herramienta siguiente es en donde realmente se ajusta el cambio de la variable temperatura al área de estudio pues por medio de procedimientos algebraicos se ajustando los datos por medio del cálculo del gradiente de elevación por medio de un modelo digital de elevación a 30 metros obtenido por el Servicio Geológico de Estados Unidos. Por medio del cálculo de la siguiente fórmula dentro de la calculadora raster del software ArcGIS, se planteó tanto la verificación del gradiente de variación por elevación, las fórmulas parten por buscar la relación entre los datos de temperatura dados en las estaciones con respecto a su altura, y luego de esta fórmula se encontró la relación entre el valor encontrado para estas estaciones corresponde en un 98% con respecto al gradiente altitudinal del modelo de elevación con un valor de $-0,0066$ como valor de gradiente de disminución o aumento de temperatura por cada 100 metros en el terreno.

Luego de estos dos procesos se generó un corte por medio de una extracción por máscara para descartar los comportamientos circundantes a los límites de la cuenca. Y se gestionaron rangos por medio de la distribución de JERKS donde según los percentiles de los datos dentro de este periodo.

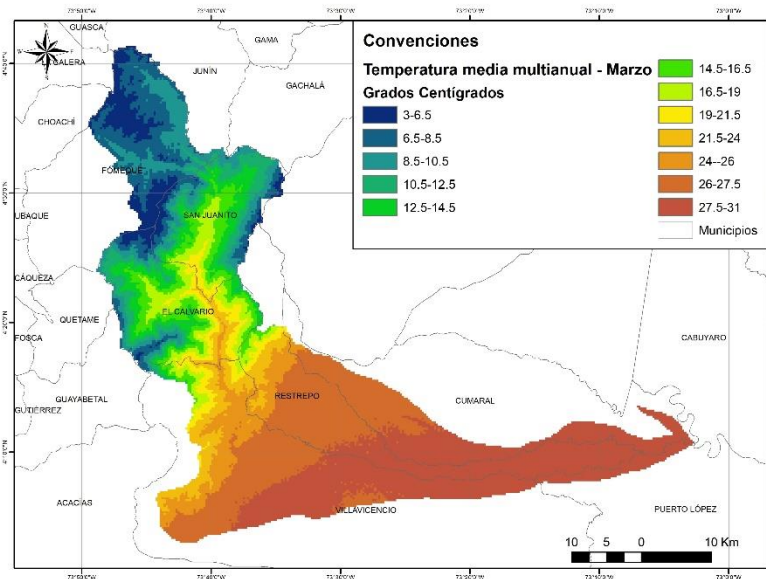


Figura 23 Temperatura media multianual de marzo (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

La figura 23 muestra como la temperatura se comportó a partir del gradiente altitudinal para el mes de marzo entre 1968 y 2017. Para la cuenca alta, los valores rondaron en promedio entre los 3 a los 10 grados centígrados. Para la cuenca media el comportamiento de la temperatura se ve aumentado por más del doble con valores entre 19 y 26 grados centígrados. En la cuenca baja la temperatura va aumentando en cuanto se aleja del cambio de pendiente con valores entre 26 y 31 grados centígrados. Este comportamiento en este mes muestra un comportamiento normal para la finalización de la temporada seca debido a un comportamiento monomodal.

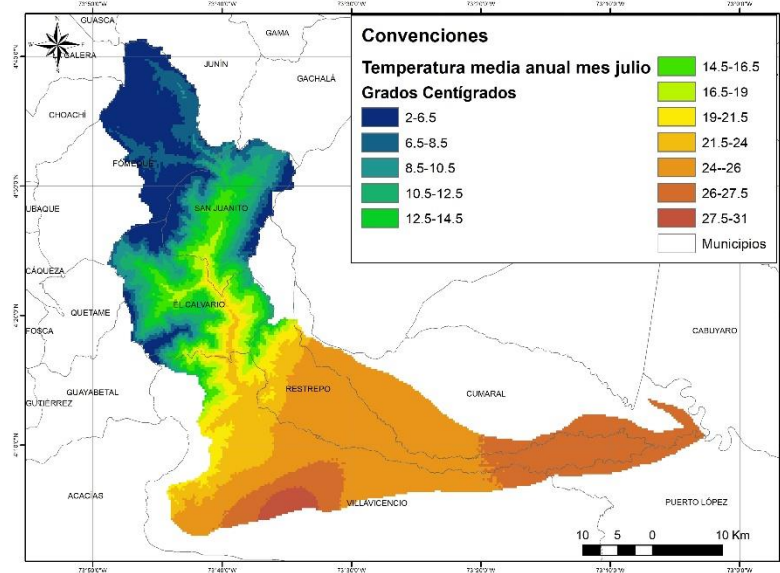


Figura 24 Temperatura media multianual de julio (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Cuando se analizó la distribución de la temperatura para el periodo de lluvias en el mes de julio, en los últimos 50 años, donde en contraste al comportamiento en periodo lluvioso, las temperaturas medias en la cuenca media pasa a un promedio entre 17 y 24 grados centígrados. Para la cuenca baja se muestra que áreas en donde la temperatura

media multianual en marzo tenía valores entre 27 y 31 grados, ahora se encuentra en valores entre 24 y 27 grados centígrados.

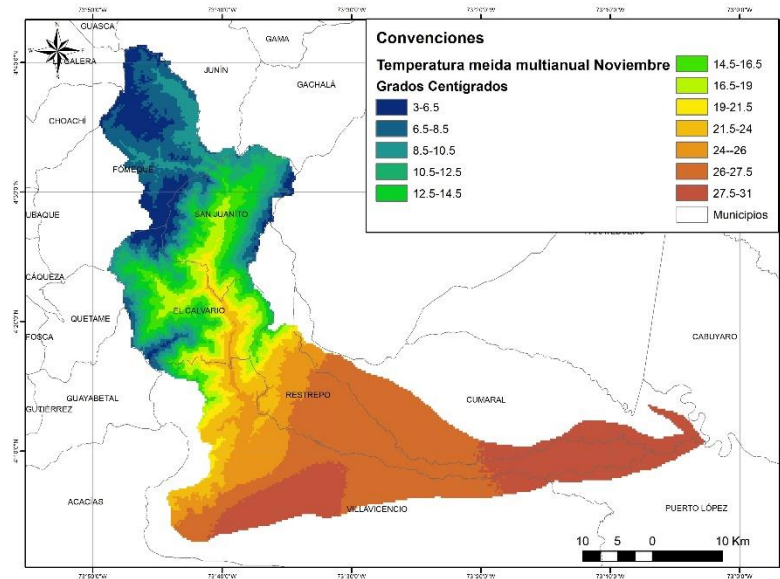


Figura 25 Temperatura media multianual de noviembre (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 25 con información de la temperatura para el mes de noviembre, el comportamiento promedio de la temperatura en los últimos 50 años denota un comportamiento similar al mes de marzo pues en noviembre es donde las precipitaciones disminuyen por lo que la temperatura media aumenta. El valor extremo en la cuenca media fue de 27 °C y para la cuenca baja llegó a un valor medio entre 30 y 31,5°C.

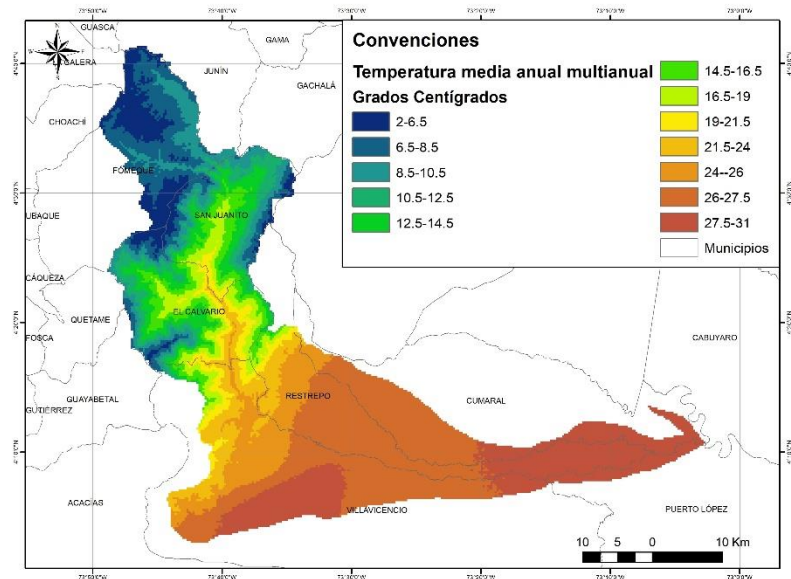


Figura 26 Temperatura media anual multianual (1968-2017) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

La temperatura media anual multianual para los últimos 50 años mostró una distribución espacial que corresponde al gradiente altitudinal con una variación en toda la cuenca entre los 2 y 4°C en la cuenca alta, como valores entre 16 y 24°C en la cuenca media con valores más altos en la parte rural del municipio de Villavicencio. Para la parte de la cuenca baja del río Guatiquía, los valores mostraron un comportamiento habitual correspondiente a alturas entre los 300 y 180 msnm con una temperatura que osciló entre 30 y 31 °C.

4.7.3. Revisión sobre espacialización de caudales

Dentro de la revisión de la espacialización del análisis de las 4 estaciones con información sobre caudales se encontró que la ubicación de estas se encuentra localizadas en los principales contribuyentes al cauce principal del río Guatiquía (como por ejemplo el río negro o el río Upín). La importancia del análisis de las tendencias de la información sobre caudales que los mismos valores, permitió conocer que disponibilidad del elemento vital en los cauces secundarios del área de investigación serán relevantes para generar alertas. En los últimos años las medias multianuales presentaron valores fuera más bajos de los esperados, pero al tener una tendencia a

presentar disminuciones en la mayoría de las estaciones, es importante conocer por medio de una variable visual de talla los valores de caudales para los contribuyentes hídricos principales del río Guatiquía.

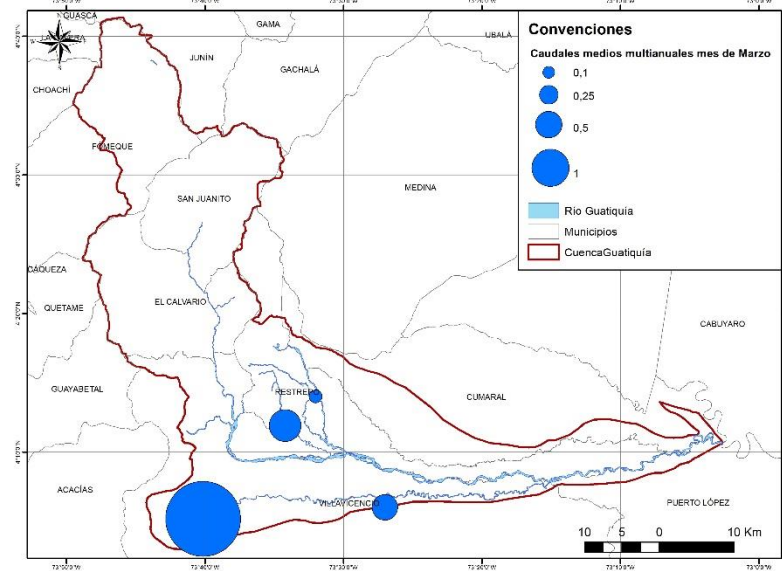


Figura 27 Caudales medios multianuales de marzo (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el análisis de caudales multianuales para el mes de marzo como lo muestra la figura 27, se encontró un comportamiento y una distribución temporal sobre la media sin una tendencia muy marcada de aumento o disminución general. Las ubicaciones del caudal de las 4 estaciones se encuentran entre la parte más baja de la cuenca media y la parte alta y media de la cuenca baja del río Guatiquía. Los valores de las estaciones de la cuenca media para el mes de marzo mostraron una variación entre 0,1 y 1 m³/seg. Para la cuenca baja el valor rondó los 0,5 m³/seg.

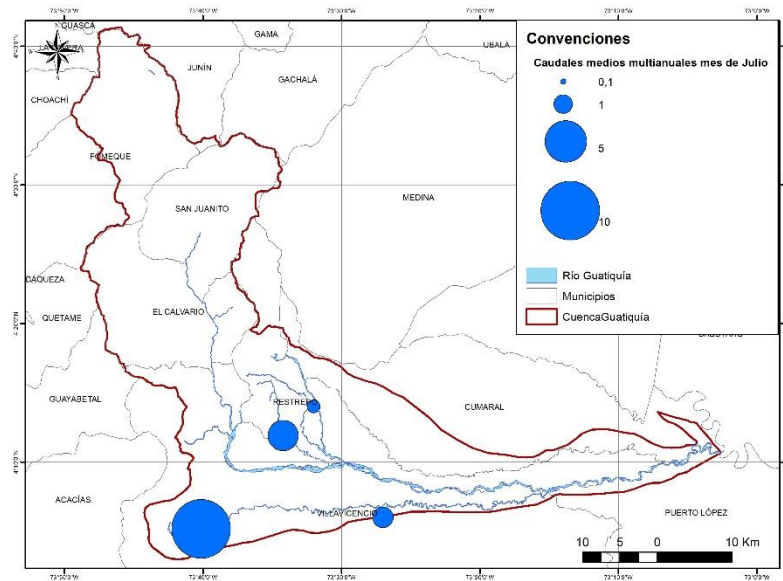


Figura 28 Caudales medios multianuales de julio (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio en temporada de lluvias, y como lo muestra la figura 28, dentro del área de estudio se presentó un aumento considerable en todas las estaciones. Algunas con un aumento de más de 10 veces el valor en temporada seca. En la cuenca media los valores pasaron de 0,1 y 0,5 m³/seg. a valores a valores entre 5 y 10 m³/seg. para la cuenca baja los valores pasaron de 0,1 y 0,25 a valores entre 1 y 2,5 m³/seg.

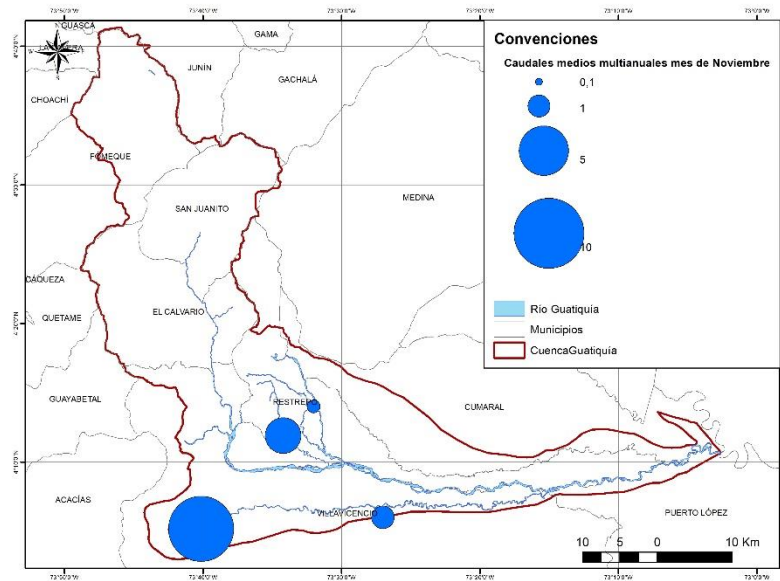


Figura 29 Caudales medios multianuales de noviembre (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 29, para el mes de noviembre al ser el mes donde finaliza la temporada de lluvias e inicia la temporada seca, se presenta una acumulación de caudales, por lo que los valores distintos al comportamiento de la precipitación y la temperatura donde presenta valores para la cuenca media entre los 10 y 4 m³/seg. para la cuenca media los valores se mantuvieron entre 0,1 y 2,5 m³/seg.

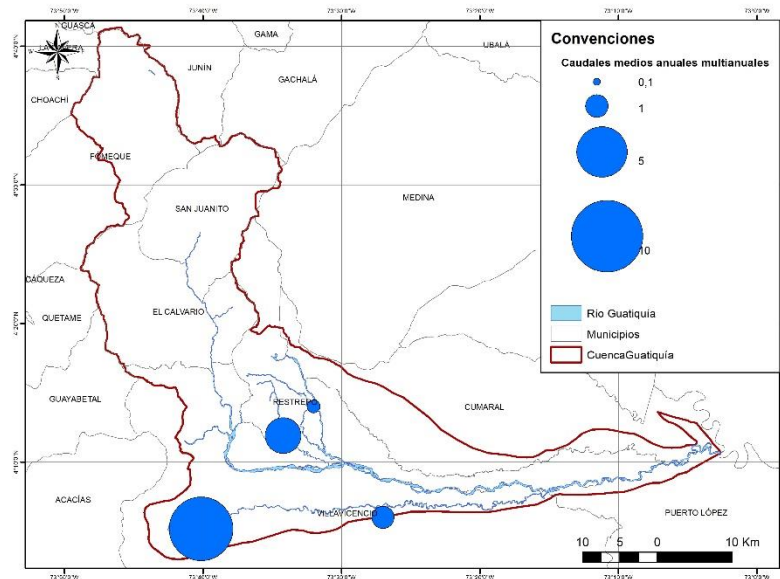


Figura 30 Caudales medios anuales multianuales (1979-2010) para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Los caudales medios anuales multianuales mostraron unos valores similares a los datos del mes de julio, en donde para la cuenca media los valores oscilaron entre 0,1 y 2 m³/seg para la estación que se encuentra sobre el municipio de Restrepo entre 1979 y 2010 y para la estación que se encuentra en el municipio de Villavicencio mostró caudales con valores entre 8 y 12 m³/seg. para la cuenca baja el valor fue entre 2 y 4 m³/seg.

4.8. Conclusiones

El periodo analizado y el comportamiento de las variables climáticas reflejan una importante fluctuación de los parámetros del clima entendidas dentro de los fenómenos del Niño y de la Niña, lo cual deja fuertes impactos en las condiciones sociales, económicas y espaciales; donde los registros de pérdidas no son fáciles de identificar, teniendo en cuenta que dichos fenómenos generan amenazas que no son aisladas o estáticas; lo cual implica una comprensión desde diferentes contextos de tipo económico, social, histórico, ambiental y político (IDEAM - UNAL, 2018). En el territorio de la cuenca del río Guatiquía, ya que se caracteriza características fisiográficas de llanuras, aunque la parte alta conserva una franja del piedemonte

oriental de la Cordillera Oriental de los Andes. Lo que permite plantear que estas dos condiciones en el relieve, podrían determinar las características de los impactos ya sea por sus rocas sedimentarias, alta erosión o alta deforestación.

De manera general, los impactos a nivel social, pueden estar relacionados con la pérdida de bienes (infraestructuras, viviendas, cultivos, cosechas, animales), escases de alimentos, migraciones internas, desempleo, alteración de las fuentes de ingresos, problemas de salud, riesgo a enfermedades e infecciones, daños en el suministro y/o calidad del agua, racionamiento en el suministro energético. Con relación a los impactos económicos, estos se reflejan en daños y pérdidas en los sectores productivos como la agricultura, la ganadería extensiva, industria petrolera. Los impactos económicos son más agresivos en los sectores productivos de pequeña escala, basados principalmente en una agricultura de subsistencia, donde los efectos de ambos fenómenos pueden no dejar posibilidad de amortiguar el impacto o ninguna posibilidad de recuperación.

De igual manera y de acuerdo con lo anterior, el cambio climático como los periodos de variación climática, así como los fenómenos del niño y la niña a su paso generan impactos en el espacio, con cambios que se dan a partir de la reconfiguración de las formas productivas y el ordenamiento territorial ambiental, por lo que se debe buscar mayores recursos y mayor capacidad institucional para poder contrarrestar sus efectos para un periodo de tiempo en un contexto de cambio climático de al menos para los próximos 30 años. El análisis de los últimos 50 años para la cuenca del río Guatiquía permitirá con base a la información recolectada, poder relacionar otros estudios sobre el fenómeno del niño, variabilidad climática, percepción del cambio climático o vulnerabilidad al mismo.

Los cambios en caudales y la tendencia en el aumento de las precipitaciones como el de la temperatura en los últimos 50 años, puede permitir generar escenarios en otros estudios sobre cómo estos cambios pueden generar desaparecer acuíferos, drenajes de pequeños o medianos caudales, con esto disminuir el número de afluentes tributarios de ríos importantes; o puede generar lo totalmente contrario, con aumentos de caudales, eventos extremos sumados a las condiciones de erosión, cambios de coberturas, como de la gestión del cambio climático. Los cambios también impactan las coberturas vegetales y más que todos los bosques, al no ser elásticos, la deforestación puede contribuir también a la disminución de caudales, la calidad y vocación de los suelos

como la disponibilidad del elemento vital. Esto debe y puede notarse a nivel general y macro con los estudios de cambio climático a escala regional y los de cambios de coberturas históricos.

Igualmente, la calidad de datos meteorológicos y climatológicos pueden generar datos e información faltante sin correlaciones reales, por lo que especialmente en las modelaciones de eventos extremos podría generar fallas; pero a costa de esta información faltante, debería existir muchos estudios que puedan realizarse y no se han elaborado en el área de estudio que permitan y faciliten una mejor toma de decisiones (Ayala Caicedo, 2000).

En donde muestra precipitaciones mensuales multianuales para la cuenca alta y media son de mucha consideración. Esto porque el área en donde se encuentra la mayor precipitación en temporada de lluvias está ubicada en el área entre el municipio de Villavicencio y el municipio de Guayabetal, en donde se ubica la principal vía de acceso de los llanos orientales hacia el centro del país y la parte donde se ubica el acueducto de la capital del departamento del Meta y si no se realiza o se toma en cuenta la información del comportamiento en los últimos 50 años, los escenarios de cambio climático en estas variables principalmente en la de precipitación, puede generar eventos extremos mucho mayores al leve evento sucedido sobre el cauce del río Guatiquía el 4 de noviembre de 2017, en donde debido a las fuertes lluvias durante esa noche con valores de más de 170 mm en menos de 6 horas, se generaron daños en el acueducto municipal con desabastecimiento por 4 meses del recurso vital y aún más relevante, en una inundación de barrios de invasión ubicados por debajo de la cota del río con más de 15 personas muertas afectando a más de 1200 personas por dicho desbordamiento.

Cabe mencionarse que dicho evento igualmente afectó la cuenca media alta en el municipio de Quetame, límite con el municipio de Villavicencio en la parte norte, el cual quedó totalmente incomunicado por otro desbordamiento ese mismo día derribando tres puentes vehiculares y uno peatonal. Los anteriores eventos extremos y los estudios sobre los caudales y la gestión del agua deben dar prioridad a la generación de una red de alertas tempranas en la cuenca del río Guatiquía para evitar posibles catástrofes. Por ejemplo, las faltas de estas muestran como, en una cuenca de similares características geográficas ubicada también sobre la misma cordillera, pero al sur del país, en el departamento de Putumayo, el río Mocoa el 5 de abril del 2017, generó una tragedia por una avenida torrencial por más de 133 mil millones de pesos y más de 200

personas muertas y otras 200 desaparecidas sobre el área urbana y destruyendo más de 5 barrios completos (El Tiempo, 2017).

Por ende, si se desea evitar que eventos extremos como de cambios generales en la cuenca se presenten por el cambio climático, más estudios y a mejores escalas, y priorización de áreas deberá ser una prioridad tanto para la academia como para la población y las entidades territoriales y estatales, en donde siempre será mejor prevenir bajo un buen “colchón” de información que lamentar.

5. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO GUATIQUEÑA (2015-2045)

Los efectos del calentamiento global comprenden cambios a distintas escalas y de manera diferenciada según el área del planeta de las variables climáticas como temperatura y precipitación generando alteraciones en el medio ambiente ya sea por incrementos de las variables o disminuciones de las mismas, generando sequías, temperaturas máximas, inundaciones, aumento de la intensidad o de la frecuencia de eventos climáticos extremos. Por lo que como menciona (Elsner, y otros, 2010) y (Zhang, Zhang, & Chen, 2010) el cambio climático tendrá entonces considerables efectos e impactos en el ciclo hidrológico, demostrando la importancia del estudio de la relación entre temperatura y precipitación y caudales y los estudios de los escenarios de cambio climático son el primer paso para el estudio de estas posibles afecciones.

Los debates y las diferencias como se mencionaron en el estado del arte frente a la aceptación o no del concepto de cambio climático y de si sus afectaciones son originadas o afectadas por las acciones del hombre, tienen en común las consecuencias frente al medio y a la tendencia de aumento de las temperaturas como de cambios en la precipitación. Esto muestra que no existe bien un consenso unánime entre los investigadores del cambio climático y la sociedad, pero que, pese a estas diferencias, el cambio climático es apoyado como concepto de manera sustancial y por lo que es oportuno el manejo de análisis estadísticos de tipo tendencial frente al manejo de registros históricos de variables como precipitación y temperatura como medio de identificación de posibles evidencias del cambio climático. De manera adicional, la aplicación de modelos climáticos generales que permitan conocer y establecer posibles escenarios que representen las condiciones climáticas futuras, para así de esta manera poder ajustar mejores estudios, mejores políticas y mejor manejo de los efectos y la vulnerabilidad del cambio climático (Oñate Valdivieso & Bosque Sendra, 2011, págs. 148-150).

5.1. Desarrollo metodológico de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía

Para la elaboración del segundo capítulo para responder al objetivo No. 2, se generó dos métodos para la gestión de los escenarios de cambio climático para el área de trabajo. El primero fue una organización y proyección de los datos complementados en la fase 1 por medio de una regresión lineal para ajustar por medio de las tendencias en el periodo analizado (50 años para temperatura y precipitación y 30 años para caudales) esto permitió realizar los datos proyectados para el periodo de estudio (2015-2045) y la posibilidad de generar los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía. Para el uso de la regresión lineal se partió por analizar la pendiente de los datos de cada estación (Variable Y) frente a los años (Variable X) para poder generar la fórmula de regresión para cada una de las estaciones por medio de la tendencia; donde a partir de la siguiente fórmula se puede conocer tanto m (pendiente) como b (el valor intercepto) como y (valor del año a estimar):

$$m = \frac{\sum(x - \bar{x}) * (y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2}$$
$$b = \bar{y} - m * \bar{x}$$
$$y = m * \bar{x} + b$$

Esta fórmula, apareció por primera vez en el “Método de los mínimos cuadrados” elaborada por Adrien-Marie Legendre en 1805 y publicada por Carl Friedrich Gauss en su versión del “teorema de Gauss-Márkov” en su texto “Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae” en 1821-23. Esta fórmula, se aplicó para cada una de las estaciones con respecto a los años del periodo histórico y se proyectó la curva de la regresión lineal, para estimar valores en un periodo posterior al 2015 de 30 años. Cabe mencionarse que, para el cálculo de los caudales, el cálculo se generó desde el año 2010 hasta el 2040.

2. El método fue el uso de herramientas SIG para la proyección espacial de dicha información climática, para conocer su distribución espacial dentro de la cuenca. Esto fue usar el método empleado en el objetivo No. 1 para que fuesen comparables dichas espacializaciones. Esto incluyó el uso de interpolaciones sobre una superficie raster

sobre la distancia inversa ponderada de los datos (IDW en siglas en inglés) tanto para temperatura y precipitación. Luego para temperatura, se empleó la herramienta “Math Algebra” seguido de la calculadora raster para poder hacer más real el comportamiento de la variable temperatura en el área de estudio a partir del gradiente de elevación por medio de un modelo digital de elevación a 30 metros y presentó un valor cercano de -0,0066 que es el valor considerado general para Colombia (Giraldo Pamplona, Corrales Osorio, Yepes Quintero, & Duque Montoya, 2012). Seguido a esto, se generó un corte por medio de la herramienta “extract by mask” para descartar los comportamientos circundantes a los límites de la cuenca; con una discriminación en la variable visual de cada mapa por medio de rangos con una distribución JERKS dentro de cada salida gráfica (Olaya V. , 2012).

5.2. Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de precipitación en escenarios de cambio climático

Para la precipitación en los próximos 30 años, 5 de las 7 estaciones presentan una pendiente negativa por lo que los valores deben ser más bajos a la medida que cambie los años en promedio. Esto debido a que como se explicó en el capítulo anterior, los datos de los últimos 50 años muestran una pendiente negativa y valores cada vez menores en la media anual multianual. Sin embargo, hay una estación (35025020) llamada La Libertad ubicada sobre la cuenca baja del río Guatiquía, que diferente a las otras 6 estaciones, muestra una tendencia que bajo el análisis de la pendiente un comportamiento de manera positivo, pero bajo; por lo que se espera aumentos a diferencia de las demás estaciones sobre la cuenca. La estación 35035020 llamada Aeropuerto Vanguardia, presenta una pendiente cercana a 0 por lo que los valores y la tendencia en precipitación presentada en los últimos 50 años tenderá a ser similar en el periodo 2015-2045.

Tabla 4 Datos y estaciones para precipitación en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (mm)
3501010	PTO LOPEZ	182	177,35	218,92	214,19	2.050,12
3503050	OJO DE AGUA	300	188,22	291,58	235,20	2.477,08
3502520	LA LIBERTAD	336	199,82	312,92	386,99	2.854,54
3501020	ACACIAS	525	71,36	71,88	120,75	776,23

3502060	POMPEYA	260	158,77	248,37	224,33	2.192,61
35020020	GUAYABETAL	1000	285,13	615,79	299,59	3.956,09
35035020	APTO VANGUARDIA	422	309,33	496,09	486,02	4.238,44

Elaboración propia, Fuente: IDEAM 2017.

Para el mes de marzo se presentó la siguiente figura, donde muestra el comportamiento que se puede presentar en los valores de precipitación en el periodo 2015-2045.

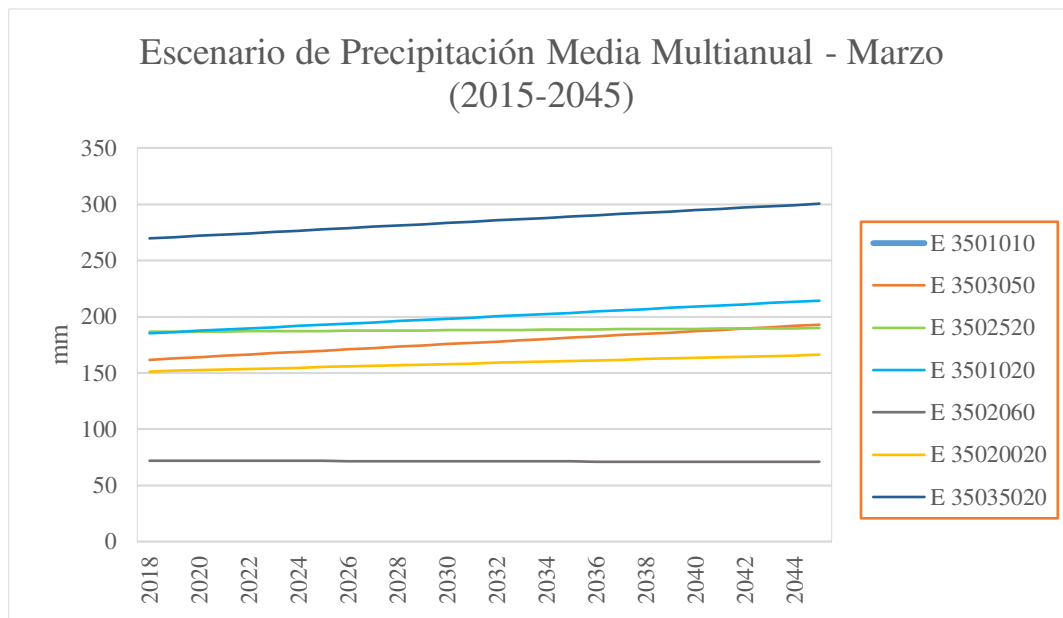


Figura 31 Escenarios de precipitación media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Dentro del escenario tendencial para precipitación se encontró que, para el mes de marzo, se presentarán mayores valores de precipitación con aumentos en la media multianual en promedio entre 25 y 50 mm en los próximos 30 años. Hay estaciones donde el aumento de la precipitación para este mes puede llegar a ser hasta un 25 % pasando de precipitaciones de 250 mm hasta 300 mm aproximado para la estación 3501010, pero la estación 3502060 ubicada en la parte más baja de la cuenca mostrará precipitaciones que tiendan a disminuir, pero con una pendiente muy baja y un cambio inicial de 75 mm en el 2018 a 60 mm en el 2045. Hay otra estación por ejemplo (E 3501020) que mostrará un comportamiento estable como venía haciéndolo en los

últimos 50 años con un aumento muy muy bajo en las lluvias de no más de 10 mm en los próximos 30 años.

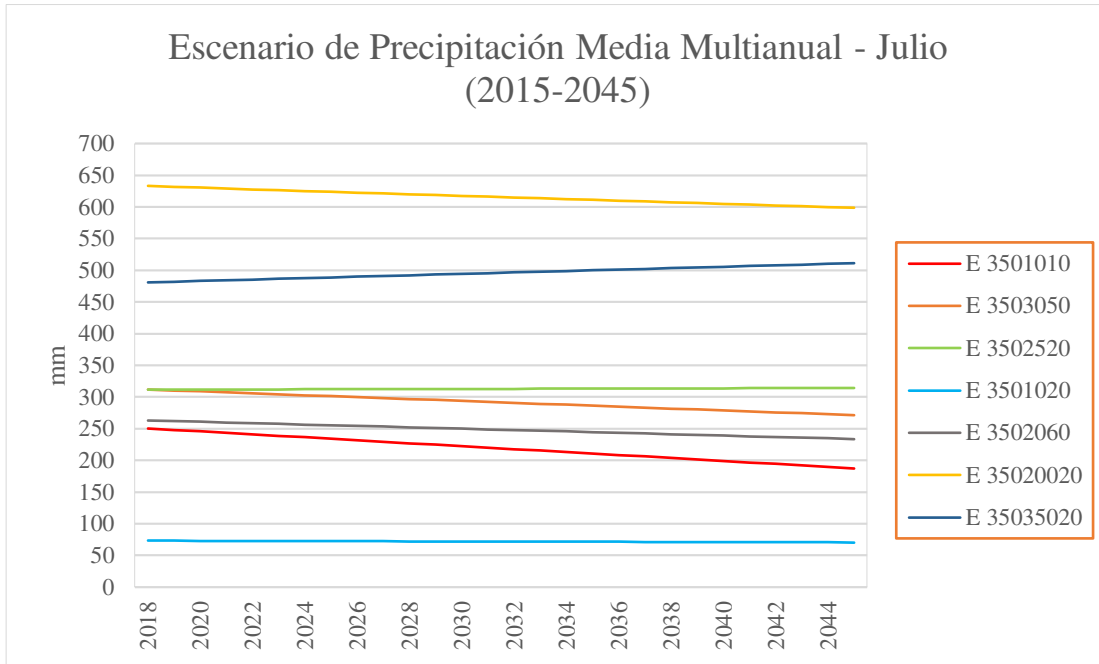


Figura 32 Escenarios de precipitación media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio, el escenario de la precipitación para los valores medios multianuales del mes de julio (2015-2045) la precipitación se espera que en algunas estaciones fluctúe, pero se mantenga sobre la media y la tendencia de los últimos 50 años. Para otras estaciones se espera es un leve aumento, pero manteniéndose sobre los valores medios, para la estación ubicada en La Libertad, la precipitación se espera que disminuya en los próximos 20 años pero que empiece a generarse un aumento de los valores entre los años 2035 y 2045.

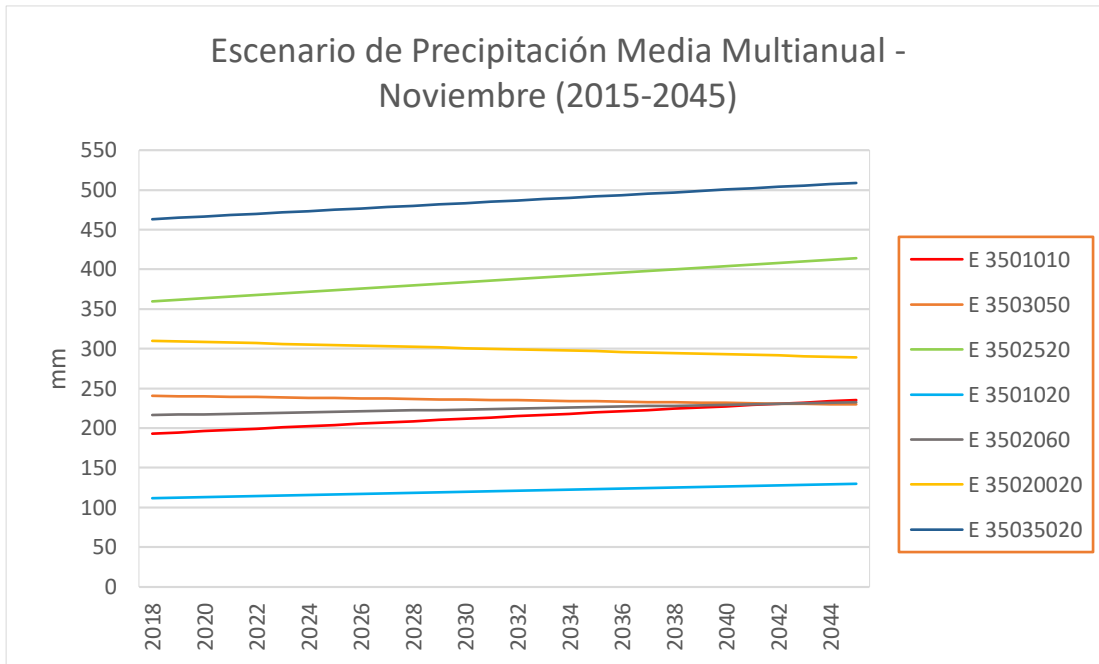


Figura 33 Escenario de precipitación media multianual de noviembre (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Como se muestra en la figura 33, para el mes de noviembre los comportamientos proyectados para los escenarios de cambio climático en los valores medios multianuales muestran en todas las estaciones una proyección y tendencia al aumento en los mm precipitados. Hay estaciones que muestran aumentos leves y otras con aumentos de casi 100 mm para los próximos 30 años especialmente en la cuenca media para la estación del Aeropuerto Vanguardia donde los valores estimados aumentarán posiblemente de 460 mm a 520 mm.

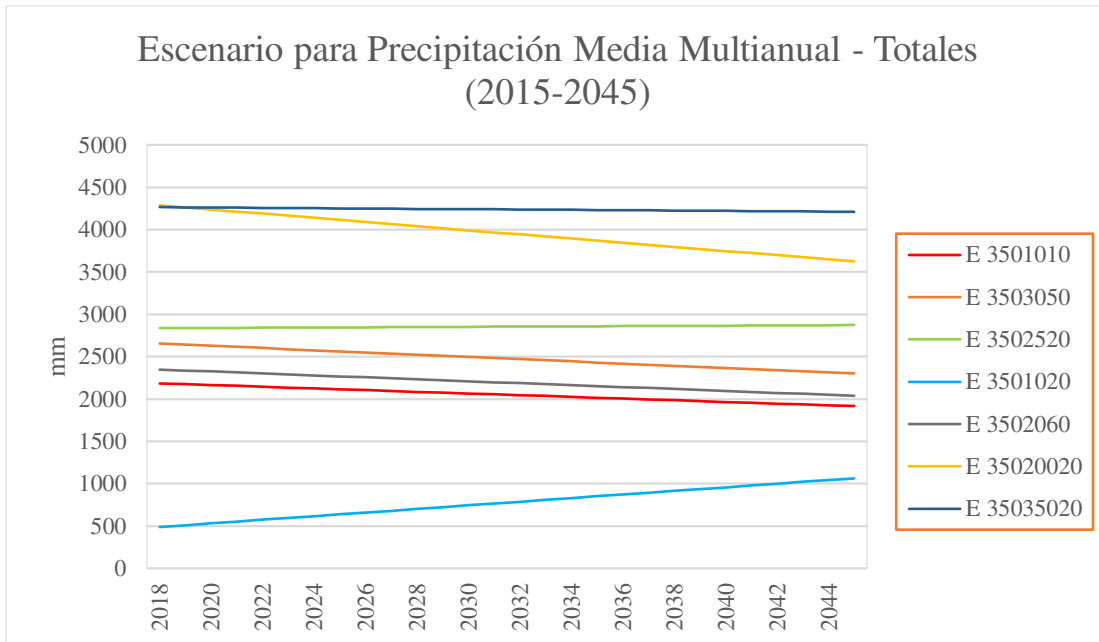


Figura 34 Escenarios de precipitación media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el comportamiento de la precipitación anual multianual en escenario de cambio climático se esperará un comportamiento de disminución paulatina en las estaciones 3501010, 3502060, 3503050 y 35020020 en donde para la cuenca hay mayores pendientes de disminución como por ejemplo la estación ubicada sobre el río negro en la cuenca media. La figura 34 muestra que para las estaciones 3501020 y 35035020 ubicadas en la parte media-alta se presentará un aumento de las precipitaciones, pero no mayores a 200 mm en los próximos 30 años. Es de total importancia que, pese a que existen estaciones que presentarán una disminución de las precipitaciones medias anuales multianuales, y otras con aumentos muy bajos para los próximos 30 años, la posibilidad de aumento de lluvias extremas y valores por fuera de las tendencias, serán mucho más frecuentes, dando la total importancia frente a la gestión del riesgo y del elemento vital.

5.3. Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de temperatura en escenarios de cambio climático

Para el análisis estadístico de la temperatura por medio de la generación de un pronóstico año a año por medio de una regresión lineal simple, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5 Datos y estaciones para temperatura en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (°C)
3502520	LA LIBERTAD	336	27,1	24,97	26,59	26,52
3503570	UNILLANOS	340	27,5	24,62	29,42	31,30
35035020	APTO VANGUARDIA	422	27,5	25,24	26,64	26,72

Elaboración propia, Fuente: IDEAM 2017

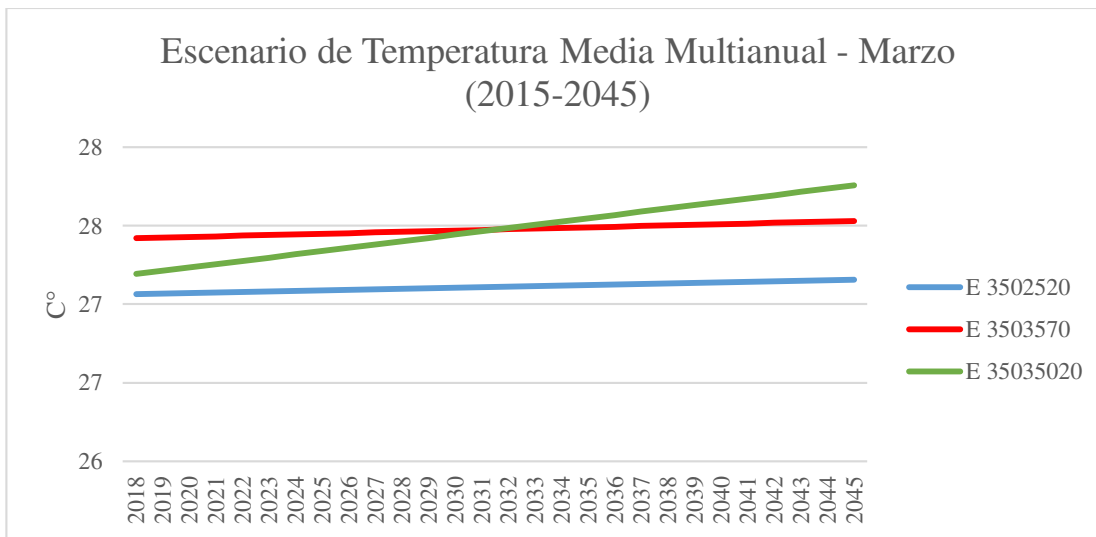


Figura 35 Escenario de temperatura media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de marzo como lo ilustra la figura 35, se estimó por medio de la regresión lineal que los valores proyectados para los próximos 30 años mostrarán una tendencia

en mantener el aumento paulatino de la temperatura con cambios entre 0,2 y 0,7 grado centígrados en los valores con algunos momentos de posibles alteraciones, pero todo dentro de la media prospectiva.

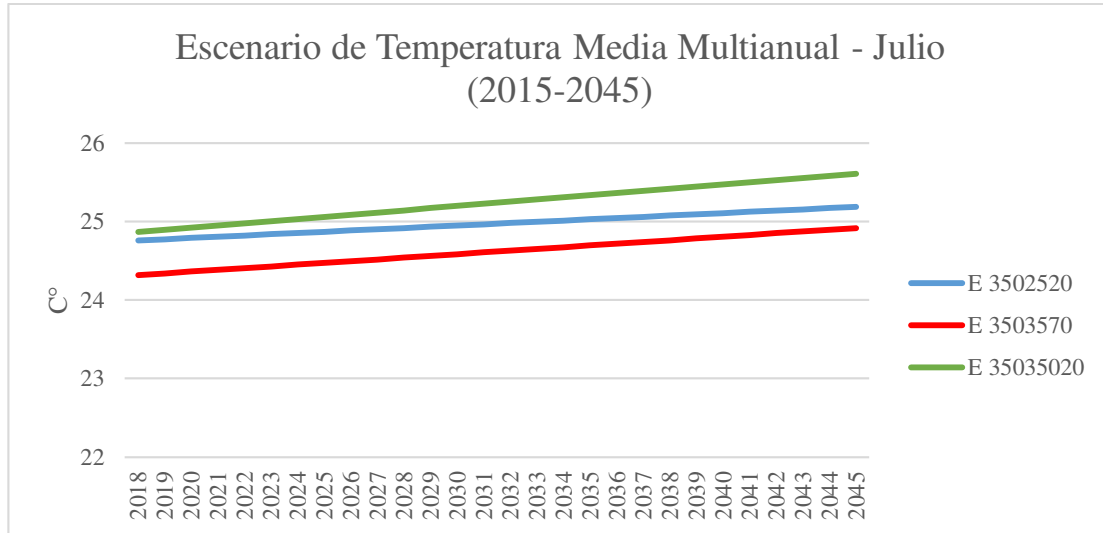


Figura 36 Escenario de temperatura media multianual para el mes de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 36, para el mes de julio, la proyección del escenario de cambio climático para la variable temperatura (2015-2045) mostraron unos valores mucho menores como se mencionaron en los últimos 50 años y con la misma tendencia presentada. Para la cuenca media los valores oscilarían entre los 24,9 y los 26°C y para la cuenca baja los valores aumentarían entre 0,1 y 0,3°C.

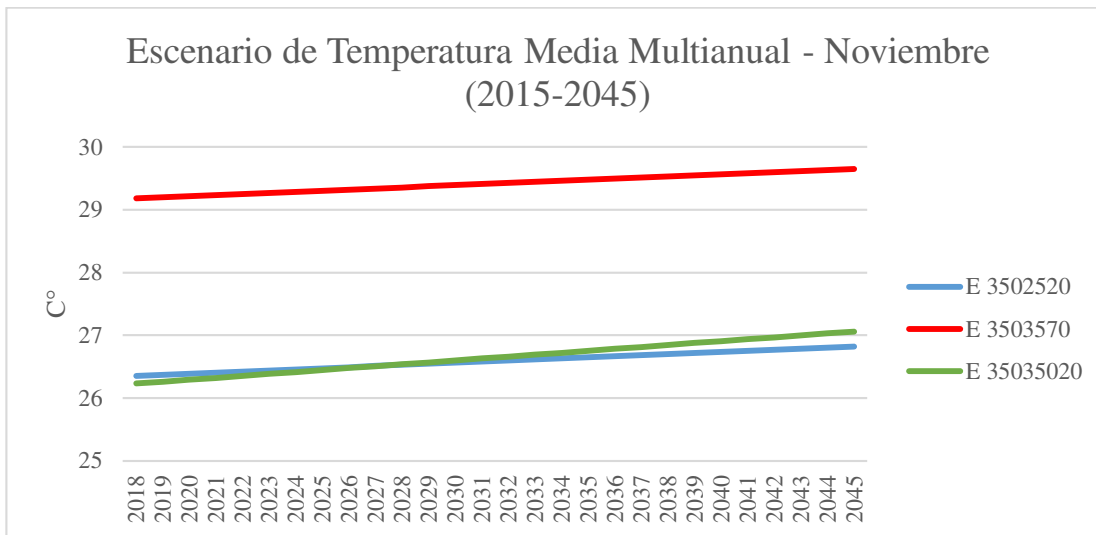


Figura 37 Escenario de temperatura media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de noviembre se muestra el mismo comportamiento en la variable que en el mes de marzo, pero con valores un poco más altos. Estos cambios presentan una tendencia de aumento leve entre los 0,2 y 0,6°C para la cuenca media y cambios para la cuenca baja entre 0,3 y 0,8°C como se muestra en la figura 37.

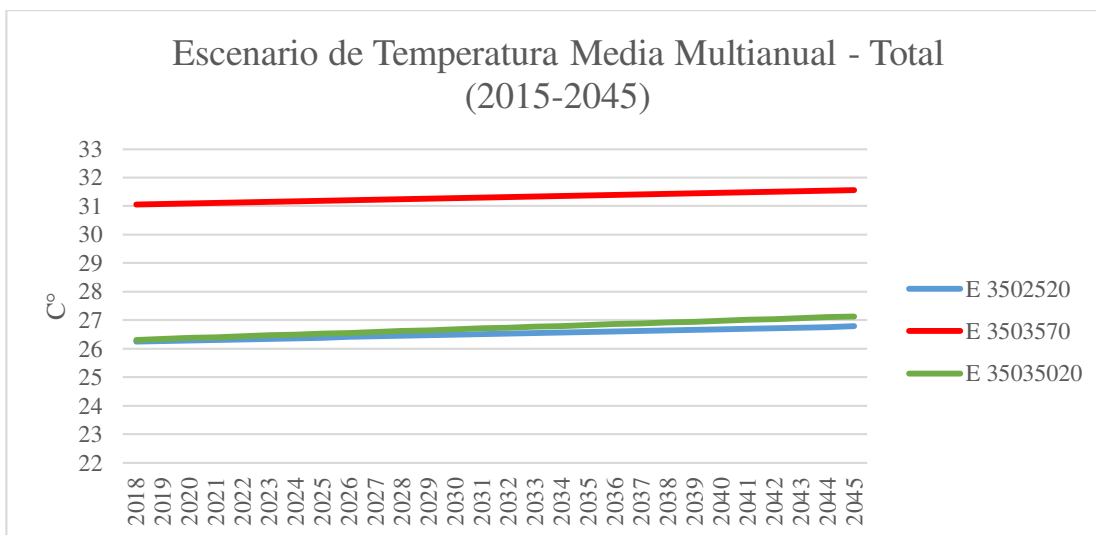


Figura 38 Escenario de temperatura media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el escenario de cambio climático de la variable temperatura sobre los valores medios anuales multianuales si muestran un cambio considerable al ser temperatura la variable analizada. Estos cambios se muestran en la cuenca media y baja con valores de más de 1 grado centígrado por lo que las posibles afectaciones y la aceleración de la temperatura media serán mucho mayores puesto que 1 grado modifica comportamientos de especies vegetales, animales, evapotranspiración, diferencias en los periodos de cultivos entre otros (Pabón D. , 2005). Por lo que el valor de la media anual multianual para el periodo 2015-2045 para la cuenca media pasaría de ser 26,4°C a 27,2°C y para la cuenca baja pasaría 31,2°C a 31,9°C.

5.4. Breve análisis estadístico descriptivo del comportamiento de caudales en escenarios de cambio climático

Para la descripción general estadística del comportamiento de caudales en escenarios de cambio climático, el periodo temporal fue de 30 años igual que las otras variables, pero debido a que los datos del periodo histórico de análisis fueron entre 1979 y 2010, la proyección es desde el 2010 hasta el 2040.

Tabla 6 Datos y estaciones para caudales en escenarios de cambio climático (2015-2045) para la cuenca del río Guatiquía

Código	Nombre	Altura (msnm)	Marzo	Julio	Noviembre	Total (m ³ /seg)
35027180	PERALONSO	261	0,56	1,14	1,19	1,19
35037130	PTE DEL AMOR	435	7,65	12,54	8,69	6,90
35057040	PTE CARRETERA	1965	0,77	1,44	2,56	2,76
35037110	PALMARITO	349	0,2	0,62	0,54	0,36

Elaboración propia, Fuente: IDEAM 2017

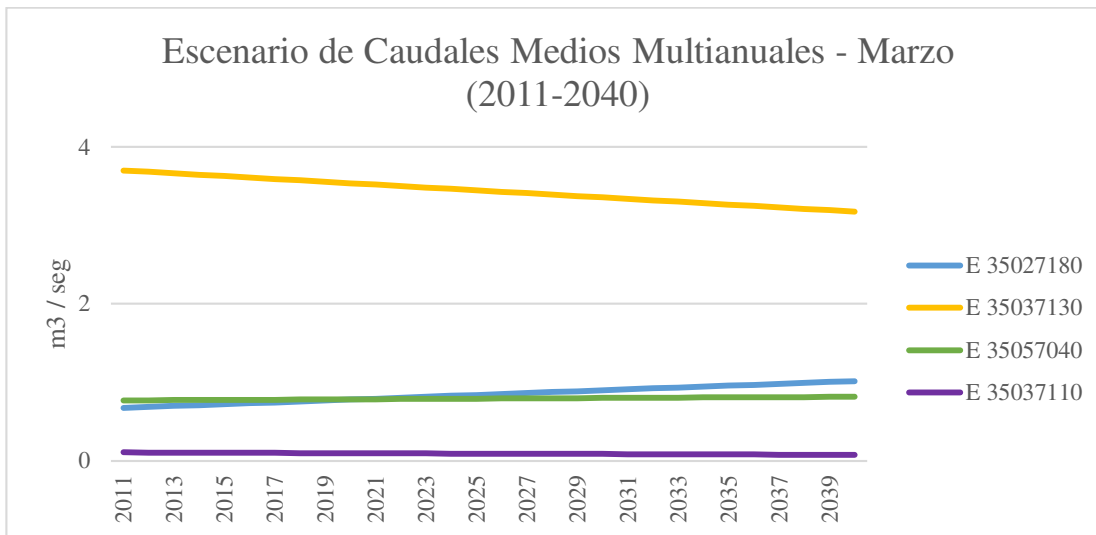


Figura 39 Escenario de caudales medios multianuales de marzo (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

En la figura 39, para el mes de marzo, la proyección del comportamiento en caudales muestra un aumento en la estación Puente del Amor sobre el río Ocoa, en donde se espera que en 30 años los caudales oscilen entre 3,7 m3/seg, a 3,2 m3/seg. en la media para temporada de lluvias. Las otras estaciones muestran que un aumento, pero este es poco considerable puesto que rondan los 0,2 y 0,7 m3/seg.

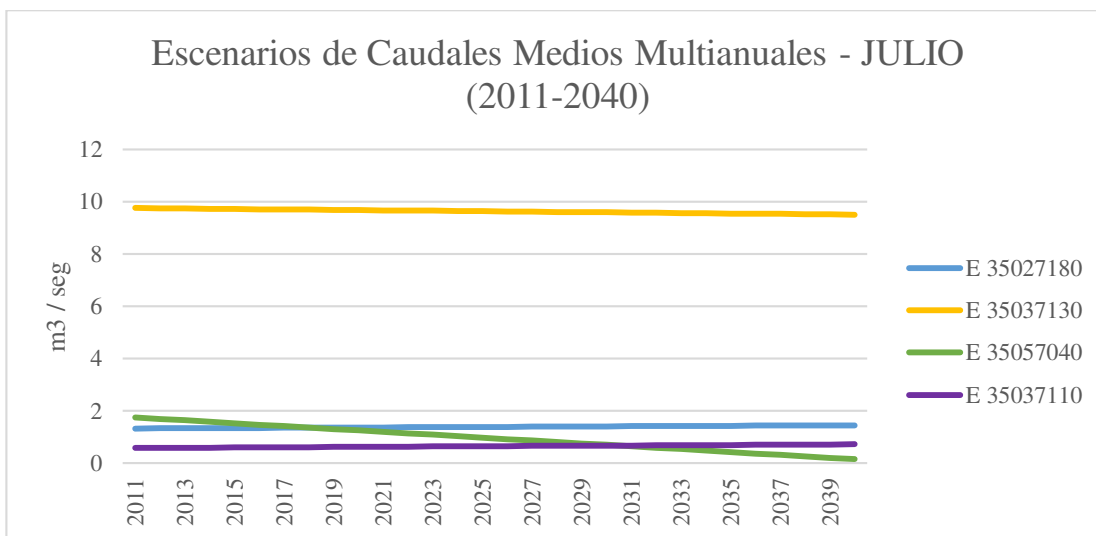


Figura 40 Escenarios de caudales medios multianuales de julio (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio como es visible en la figura 40, el escenario proyectado mostró un comportamiento distinto al mes de marzo en tema de pendiente, esto en donde los valores tenderían a un aumento muy bajo casi sin relevancia en las estaciones 350337110 y 35027180 ubicadas en la cuenca media- alta, una disminución muy baja para la estación 35037130 y disminución muy alta en la estación 35057040 pasando de valores de 2 m³/seg en 2018 a valores cercanos a 0 para el año 2045 esto porque es una estación ubicada en la cuenca baja y el afluente es muy pequeño. Es posible representar que, para este mes, los valores de los afluentes en temporada de lluvias presenten estas pendientes, pero, los valores en eventos extremos podrían llegar a ser mucho mayores a los presentados en los últimos 50 años. Por lo que atender la gestión del agua para la población como para la prevención del riesgo es una necesidad.

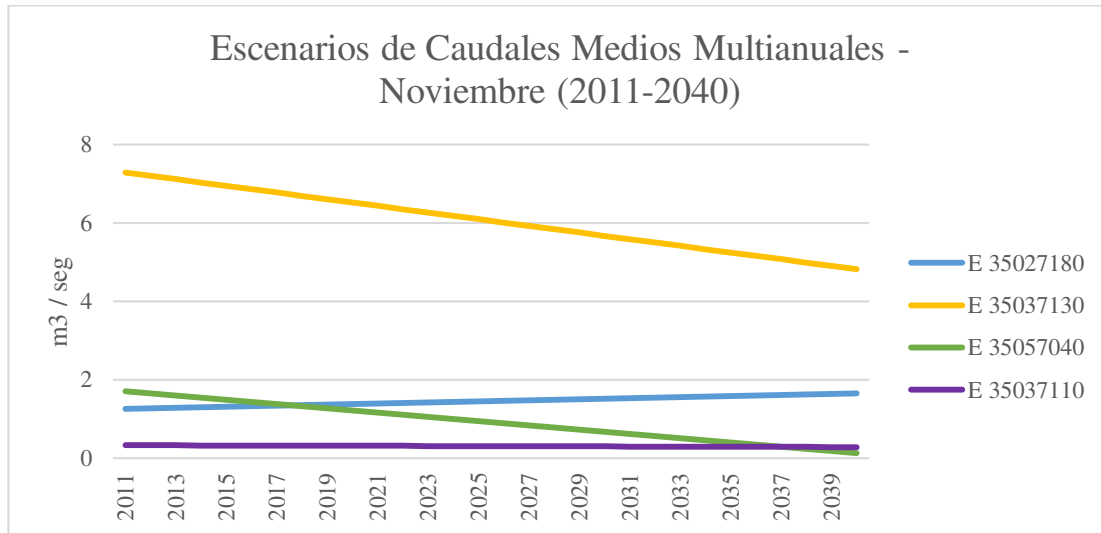


Figura 41 Escenario de caudales medios multianuales de noviembre (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

El comportamiento de los caudales como lo representa la figura 41, para el mes de noviembre muestra ciertas oscilaciones normales y posiblemente asociados a la variabilidad climática y el cambio climático. La estación 35037110 ubicada sobre la cuenca baja presenta valores tendenciales entre los 0 y los 2 m³/seg. Lo que debería generar una alta preocupación debido a que, si los caudales tienden a 0, la disponibilidad de agua sobre estos cauces será delicadas ya sea con un uso doméstico,

o de uso agrícola. El comportamiento de la estación ubicada entre la cuenca baja y media pero la tendencia de una pendiente negativa.

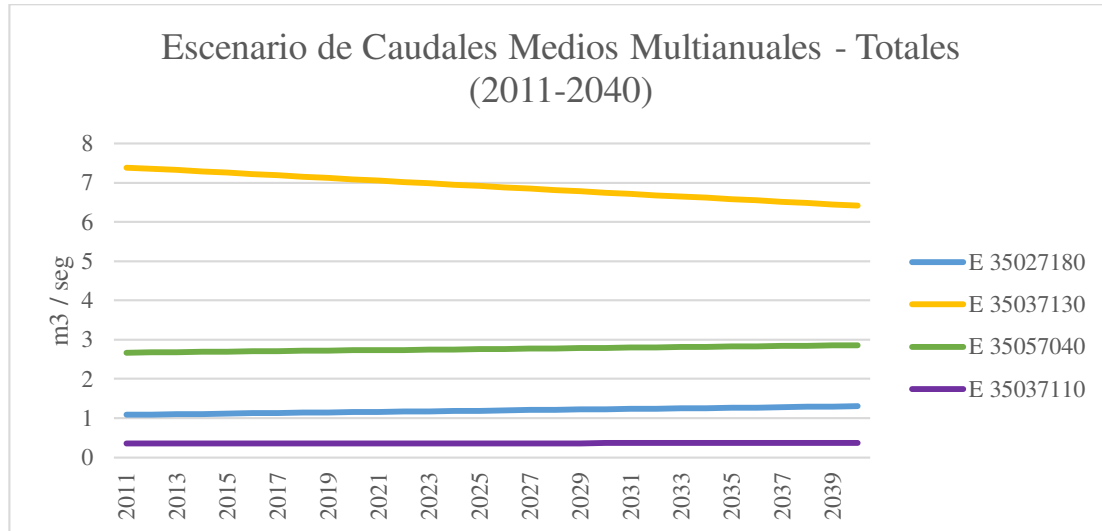


Figura 42 Escenario de caudales medios anuales multianuales (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Los caudales medio multianuales proyectados para los próximos 30 años mostraron una tendencia y pendiente muy leves pero negativas para las estaciones 35037130 y 35037110; y para la estación 35057040 y 35027180, un aumento no mayor a 0,3 m³/seg en los próximos 30 años. Esto evidencia que para la estación 35037130 ubicada en la cuenca media presentaría un cambio y tendencia negativa proyectando valores para el 2011 de 7,3 m³/seg. a 6,4 m³/seg. para el 2040; y la estación 35027180 con una tendencia positiva partiendo de 1,1 m³/seg en el año 2011 y 1,4 m³/seg para el año 2040. La estación ubicada en la cuenca media-alta (3557040) muestra un cambio en la pendiente cercana a cero y una tendencia a preservar los valores y la forma en que se ha comportado los caudales en el periodo entre 1979-2010 para los próximos 30 años. Este comportamiento de caudales en escenario de cambio climático, podría ser relacionado con el cambio (aumento o disminución) de la precipitación en la cuenca media y media-alta. Para la cuenca baja, como la precipitación tiende a disminuir, los caudales presentan similares comportamientos. A pesar de lo anterior, cabe aclararse que, al ser valores de caudales tan bajos, los impactos de eventos extremos y otras variables que afecten el volumen del agua del cauce es sería mucho menor.

5.5. Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2015-2045) de temperatura

Se generó para el análisis de la distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para temperatura en el área de estudio la misma división de periodos (marzo, julio y noviembre) para comparar los momentos de finalización de temporada seca y el aumento de precipitaciones (marzo), la cresta de precipitación al presentar comportamiento monomodal (julio) y para el periodo de inicio de la temporada seca (noviembre).

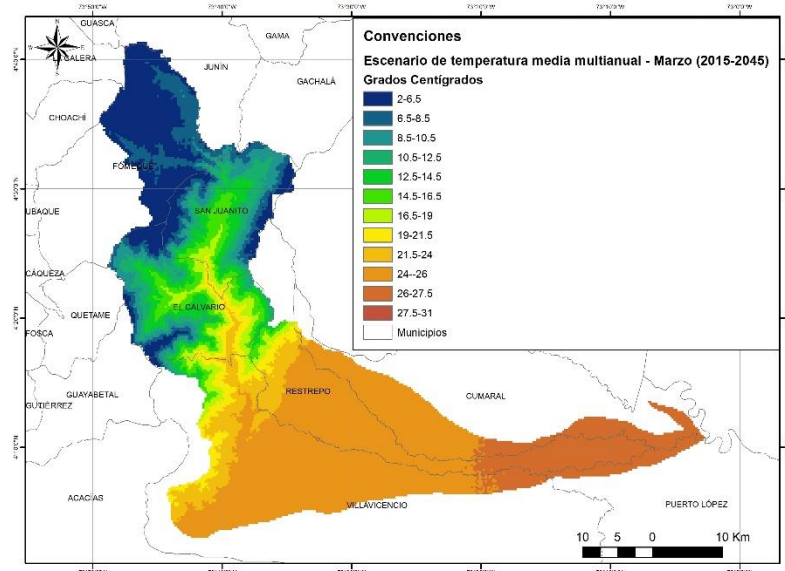


Figura 43 Escenario de temperatura media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para esta proyección espacial del comportamiento de la temperatura, puede verse que el área que antes no se encontraba con valores superiores a los 25 – 27°C en la cuenca media en mapa ponderado para el mes de marzo entre (1968-2015) ahora presenta valores entre los 27,5 y 29,5°C. mostrando en la figura 43, un posible aumento de casi 0,5°C principalmente frente al área urbana de Villavicencio y la zona de cambio de pendiente cerca al cauce con respecto al comportamiento histórico. Igualmente, en la

cuenca media-alta, mostraría aumentos entre 0,5 y 1°C. permitiendo mostrar un cambio en el comportamiento del clima y el mantenimiento de la tendencia de aumento.

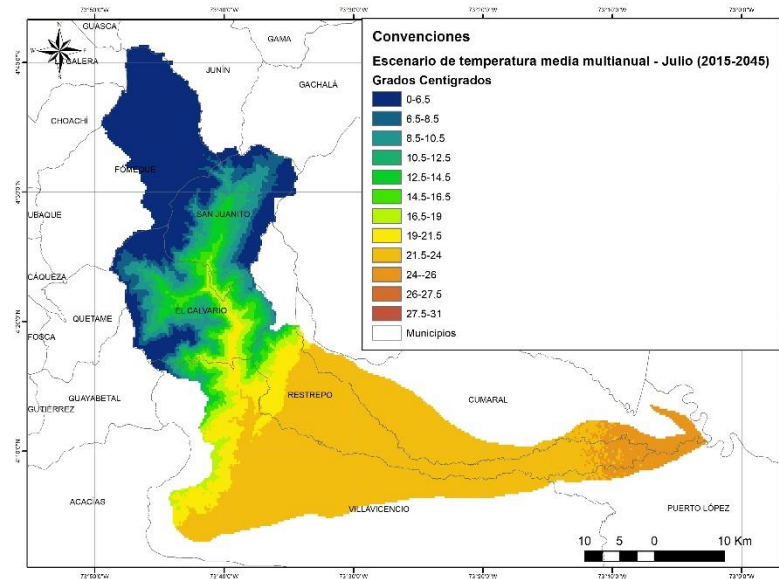


Figura 44 Escenario de temperatura media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio, la temperatura mostraría un comportamiento similar con respecto a la tendencia del periodo histórico anterior, y manteniendo esa tendencia, los valores aumentarían entre 0,2 y 0,5°C en las áreas de la cuenca media y en la cuenca baja. Mostrando igualmente que, al ser un periodo de lluvias, las temperaturas no superarían los 25°C en la cuenca media y 27°C en la cuenca baja.

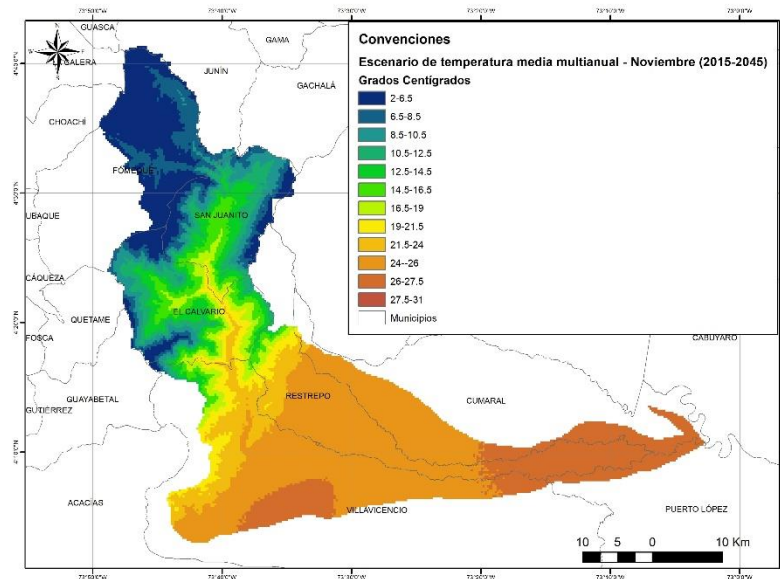


Figura 45 Escenario de temperatura media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Dentro de la figura 45, para el mes de noviembre, la temperatura en escenarios de cambio climático para los próximos 30 años presentaría un comportamiento tendencial muy similar que para el mes marzo, pero con una distribución espacial distinta. Esta distribución tendría mayor impacto sobre la cuenca media y baja, en donde los valores no aumentarían de los 0,4°C para el año 2045. Pese a que el aumento en la temperatura es de solo medio grado centígrado en 30 años, las implicaciones ecosistémicas, como de las afectaciones al funcionamiento ambiental de la cuenca pueden ser muy relevantes y de total importancia para su protección y gestión (CEPAL, 2015).

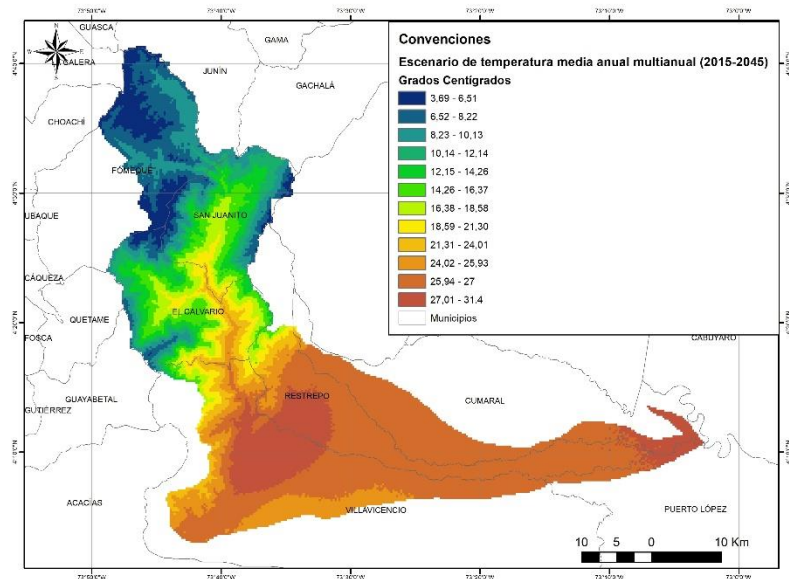


Figura 46 Escenario de temperatura media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

El escenario de cambio climático para la temperatura anual multianual para los próximos 30 años mostraría que para toda la cuenca del río Guatiquía los valores de temperatura aumentarían de manera diferenciada pero siempre en aumento manteniendo la tendencia histórica de los últimos 50 años. Esto es visible en la figura 46, en donde para los próximos 30 años, la temperatura presentará para la cuenca alta, valores entre 0,1 y 0,5°C, para la parte baja de la cuenca los valores aumentarían entre 0,2 y 0,7°C y en algunas áreas de la cuenca media-baja valores de casi 1°C o más. Este último cambio de casi 1 grado centígrado es visible en el área urbana del municipio de Villavicencio y en la parte más baja de la cuenca. Por lo que debe tenerse muy en cuenta que, en áreas con mayores cambios, deberán realizarse estudios como priorización de gestión estatal a escalas más grandes y controlar las posibles transformaciones ambientales (Quintero Angel, Carvajal Escobar, & Aldunce, 2012).

5.6. Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2015-2045) de precipitación

Para la distribución espacial de los escenarios de cambio climático para precipitación en los próximos 30 años, es visible una tendencia a la reducción en algunas áreas de la cuenca baja y alta, pero aumentos focalizados en la cuenca media. Esto sucedería debido al aumento de la temperatura, y de otras condiciones climáticas que aquejan los cambios en las variables, puede presentarse más intensos procesos de eventos extremos (Pabón Caicedo, 2012).

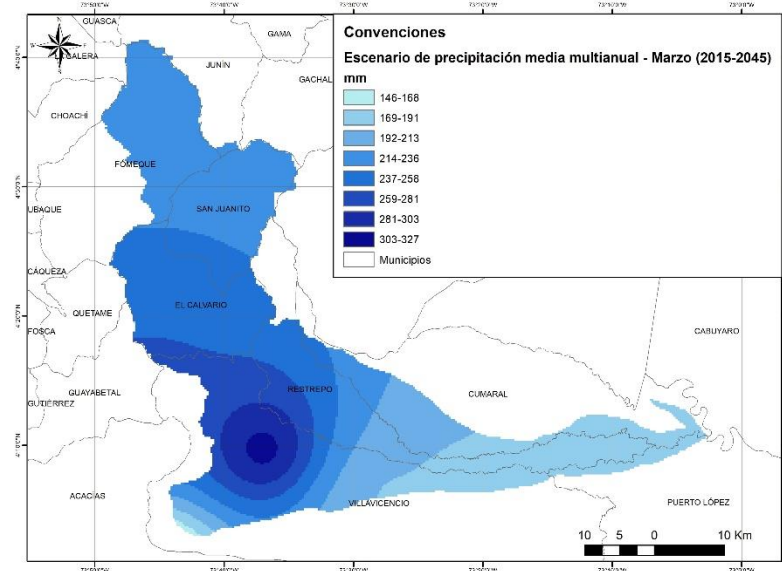


Figura 47 Escenario de precipitación media multianual de marzo (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de marzo el escenario tendencial para los próximos 30 años muestra un considerable cambio más que en los valores dados, puesto que estos casi no varían en los rangos, pero si en el área donde precipitaciones más altas se presentarían en la cuenca del río Guatiquía. Para el mes de julio, en los últimos 50 años se presentaban valores menores por ejemplo los límites entre la cuenca alta y media como toda el área montañosa y de inicio del piedemonte en el municipio de Villavicencio y parte de la

del municipio de Restrepo, donde ahora son mayores. Estos aumentos de la precipitación solo se presentan en la cuenca media-alta, en la cual los cambios estaban entre 214 y 290 mm para el histórico, y presentaría valores en los próximos 30 años entre 279-323 mm, ilustrando un aumento del 16% y para el resto de la cuenca los valores tendenciales serían menores.

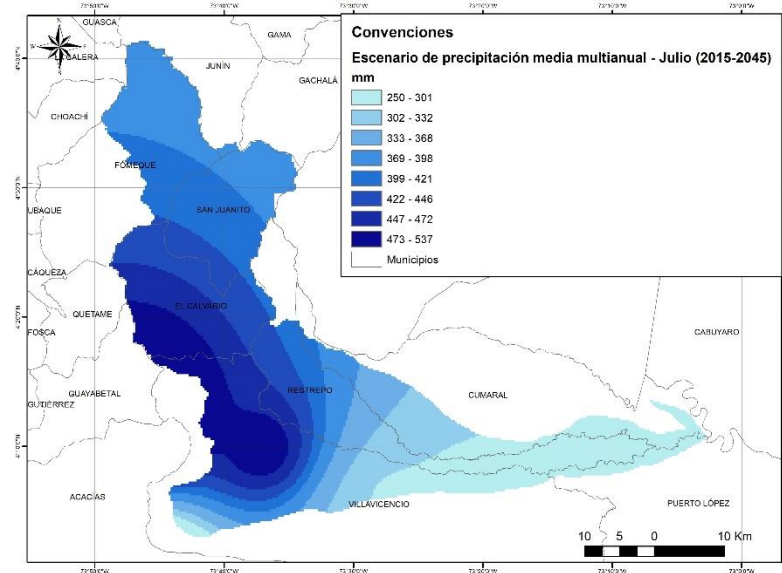


Figura 48 Escenario de precipitación media multianual de julio (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio, el escenario de precipitación para los próximos años muestra un desplazamiento de la cota de la cota de 400 mm de precipitación haciendo que para los periodos de lluvias en los próximos años se pueda presentar mayores precipitaciones en toda la cuenca media especialmente sobre el municipio y el casco urbano de Villavicencio y sobre los límites de la cuenca alta por el costado occidental con el municipio de Guayabetal. Estos aumentos en precipitación pasarán de estar en el rango entre 391-425 mm a los rangos entre 472 y 537 mm, por lo que, pese a que la tendencia anual es a la disminución, para el mes de julio habrá un aumento de un 22% para la cuenca media y cuenca media y alta y una disminución de alrededor de 100 mm para la cuenca baja.

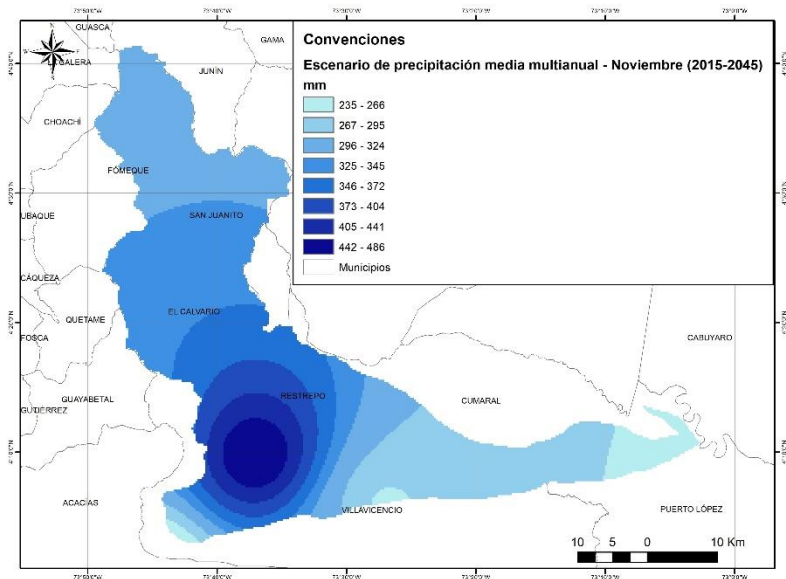


Figura 49 Escenario de precipitación media multianual de noviembre (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de noviembre, el comportamiento es similar y su distribución casi igual exceptuando algunas áreas de la cuenca baja que ahora tendrán un poco más de precipitación, pero los valores y cambios son de baja significancia. Lo que sí cabe mencionarse es que pese a que se mantienen valores similares a los últimos 50 años habrá mayores precipitaciones en las áreas donde ya se presentaban más precipitaciones en donde había valores altos de precipitación (por ejemplo, el municipio de Villavicencio y su área urbana), y menos donde antes se presentaba menores valores de precipitación (por ejemplo, en Puerto López).

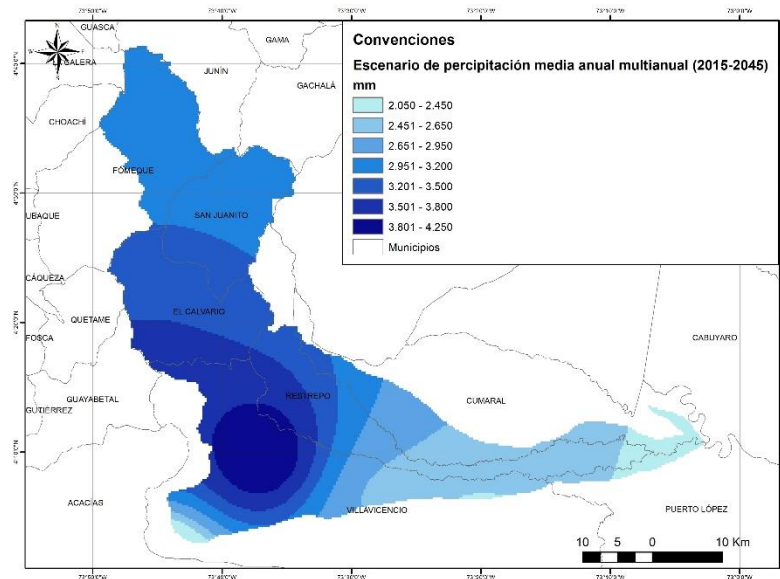


Figura 50 Escenario de precipitación media anual multianual (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el escenario tendencial de cambio climático para precipitación, muestra que los posibles valores totales de precipitación medios tendrán eso si un comportamiento distinto a la tendencia de la temperatura, puesto que los valores de precipitaciones medias muestran una pendiente negativa mostrando que para dentro de 30 años, la media multianual será casi 400 mm menos al finalizar el año 2045 por lo que la disminución será de un 15% especialmente en la cuenca media.

5.7. Distribución espacio-temporal de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía (2011-2040) de caudales

El comportamiento de los caudales entre el 2011 y el 2040 muestra una disminución generalizada que se ubica entre los 15% y 22% con respecto a los valores medios del histórico.

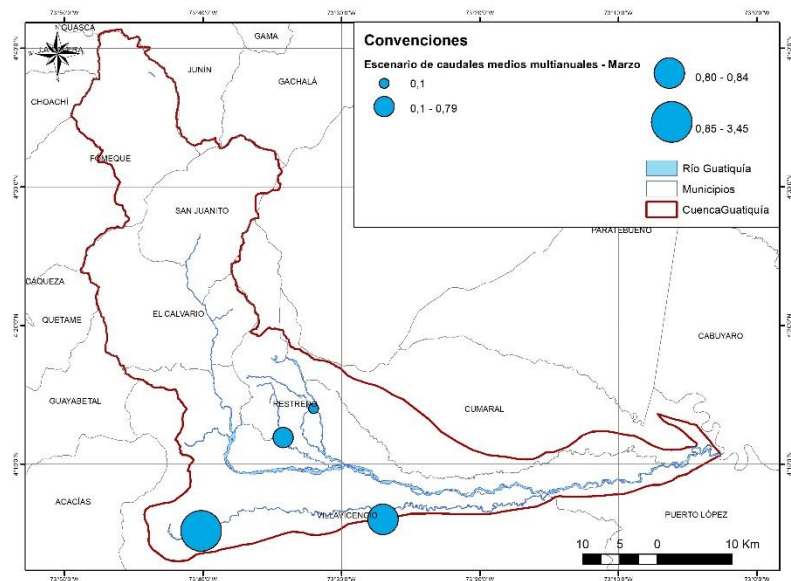


Figura 51 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de marzo (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el escenario de cambio climático para caudales en el mes de marzo, los valores disminuyeron en contraste al promedio multianual histórico entre un 10 y un 15%. Mostrando un cambio leve en los mismos en temporada seca. Para la cuenca media y baja los valores siguieron la tendencia histórica por lo que se espera que, para este periodo, los valores sean estables en la cuenca media y un poco menores en la cuenca baja del río Guatiquía.

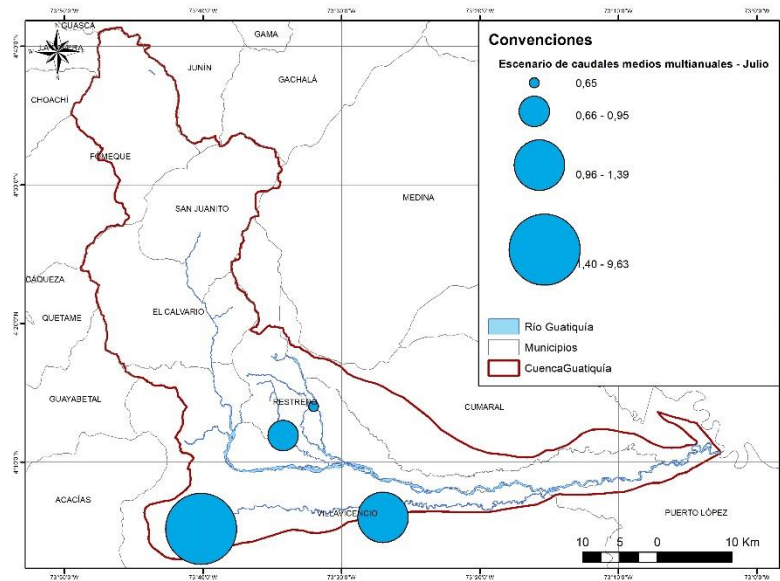


Figura 52 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de julio (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el mes de julio, en la figura 52, los valores disminuyeron de 10 m³/seg. a 9,53 m³/seg. en la cuenca media, para la cuenca baja incluso para temporada de lluvias pasa de 4 – 5 m³/seg. a 1,5 – 2 m³/seg. mostrando una tendencia de mantenerse la disminución histórica de los caudales en la cuenca.

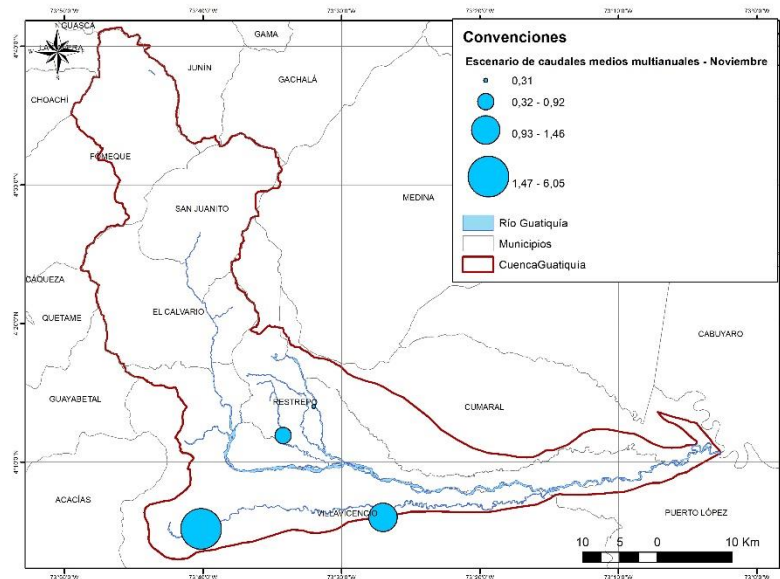


Figura 53 Mapa de Escenario de caudales medios multianuales de noviembre (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Para el periodo de noviembre, las precipitaciones vuelven a disminuirse, por debajo de la tendencia histórica, mostrando así un cambio en la variable para los próximos 30 años. Esto sucede en las 4 estaciones y mostrando valores menores para la media multianual entre el periodo (1979-2010).

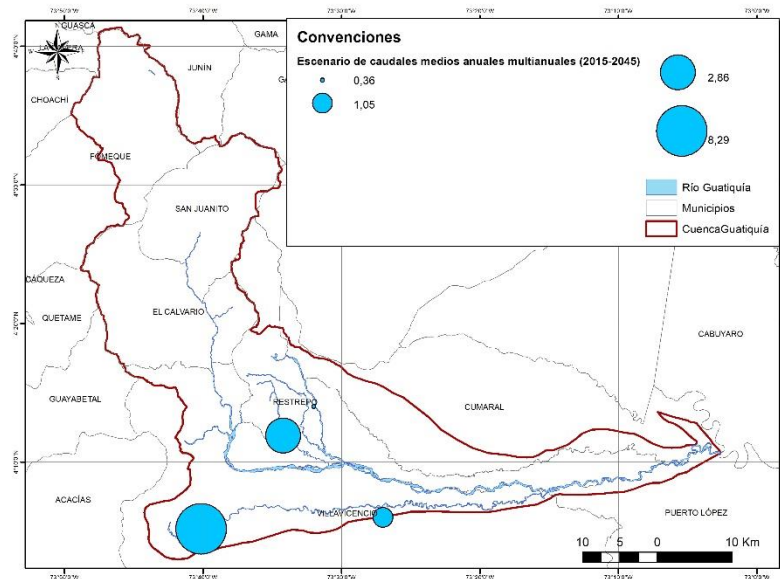


Figura 54 Mapa de Escenario de caudales medios anuales multianuales (2011-2040) en la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia Fuente: IDEAM (2017)

Son en los valores medios anuales multianuales dentro de un escenario de cambio climático, lo que permite observar el posible comportamiento futuro de los caudales. Para la cuenca del río Guatiquía para el periodo tendencial (2010-2040), los caudales disminuirán entre un 15 y un 25% según la corriente. Esto muestra que la gestión del elemento vital como los estudios a mejores escalas permitirán un mejor entendimiento del comportamiento del agua y de la cuenca, como de sus posibles usos y cuidados respectivos y el manejo de la deforestación y pérdida de coberturas vegetales que prevén las dimensiones de los efectos del cambio climático como de fenómenos naturales adversos.

5.8. Conclusiones

Al generarse la espacialización de los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía, se pudo conocer de qué forma las variables temperatura, precipitación y caudales se espacializarían en los próximos 30 años y de qué forma se presentarían los datos en un histograma. Al presentarse una tendencia positiva en el crecimiento de la variable temperatura a lo largo de la cuenca especialmente en la parte

media de la cuenca, la relación puede ser directa frente a las disminuciones paulatinas de la precipitación y por consiguiente a los caudales, así estos porcentajes de disminución no sobrepasen los 12% en la cuenca baja y los 15% en la cuenca media a nivel anual multianual.

Lo que se mencionaba anteriormente y con respecto a la espacialización de caudales en contraste con el periodo histórico, los promedios de los caudales se disminuirían entre un 15 y 22% en la cuenca media y para la cuenca baja entre los 10 y 15% para los valores medios anuales multianuales. Pero para la época de lluvias gracias al aumento en las precipitaciones para el mes de julio, los caudales podrán ser un poco mayores. Cabe mencionarse que, pese a que la precipitación en su media anual multianual tendería a disminuir, y pese a que se mantienen valores similares a los últimos 50 años y en la tendencia de los escenarios, para el periodo de mayores lluvias, la distribución espacial dentro de la cuenca muestra que habría mayores precipitaciones en las áreas donde ya se presentaban más precipitaciones y en las áreas donde hubo menos lluvias en los últimos 50 años se presentarían cada vez menos precipitaciones.

Para la temperatura, se proyectan cambios muy importantes, como el porcentaje de aumento él sea entre el 1 y el 3% en los últimos 50 años, la temperatura mantendría la tendencia de aumento de la temperatura en los próximos 30 años entre los 0,1 y 0,5 grados centígrados en la parte baja y 0,3 y 0,7°C en la parte media de la cuenca del río Guatiquía. Estos cambios pueden reflejar que a medida que la temperatura es una variable con tendencia al aumento como lo mencionan los estudios a nivel nacional sobre cambio climático, los valores de la precipitación y en consecuencia los de caudales variarían de manera diferencial en la cuenca del río Guatiquía con tendencia general a la disminución, pero con periodos de lluvias mucho más fuerte

6. PRINCIPALES EFECTOS DE LA INTERACCIÓN ENTRE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO GUATIQUEÍA

El análisis espacial de la estructura del cambio climático y sus variables representativas permite observar las generalidades geográficas que suelen implicar afectaciones a las actividades humanas, riesgos naturales y de los territorios. La estructura general del cambio climático y del componente biofísico, vislumbran las condiciones de un territorio frente a los cambios acelerados del clima y las alteraciones e impactos en el ambiente. Para este capítulo y para dar cumplimiento al objetivo tercero, el capítulo inicia con un acercamiento desde la geografía regional a la construcción de la estructura biofísica general y sobre la susceptibilidad al cambio climático de la misma en la cuenca del río Guatiquía, Colombia; y desde una visión espacial amplia y multisectorial en términos sistémicos. Esto Permitted dimensionar por medio de análisis espaciales y geográficos a partir de herramientas SIG las áreas en donde el componente biofísico y de cambio climático se comporta y diferencia como de los manejos, atenciones y los estudios del cambio climático y de las variables ambientales, de suelo y de clima deberían priorizarse.

La segunda parte del cumplimiento de este capítulo luego de la generación de la modelación de la estructura biofísica general y de cambio climático en la cuenca del Río Guatiquía en la fase anterior, fue el de emplear análisis estadísticos y espaciales sobre la cuenca entre la espacialización de los escenarios de cambio climático con respecto al modelo de estructura biofísica y de cambio climático para poder analizar de manera sintética la susceptibilidad general del cambio climático. Esto permitió encontrar que la correspondencia o la existencia de relaciones entre los cambios y los escenarios de cambio climático para Temperatura, Precipitación y Caudales en la Cuenca del Río Guatiquía, se deberá tanto como priorizar como de analizar en futuros estudios los comportamientos diferenciados a lo largo de la cuenca.

Para la última parte del tercer objetivo del trabajo de investigación, correspondió a representar la percepción general del cambio climático en la cuenca del río Guatiquía

y de qué manera estas tienen o no relación de correspondencia con los cambios en las variables, los escenarios de cambio climático como de la división territorial de la cuenca a partir del modelo de la estructura biofísica y de cambio climático. Permitiendo entender que pese a que la percepción del cambio climático está más asociada a la presencia de fenómenos naturales, cambios bruscos y temporales de las variables analizadas, existe una percepción cercana a la necesidad de mayor claridad temática, de participación ciudadana en la presentación de estudios ambientales como de la construcción espacial del cambio climático desde las áreas que deberán ser priorizadas o focalizadas para futuros proyectos de investigación o con posibles mayores afectaciones del cambio climático a lo largo de la cuenca; puesto que como se sustentaba inicialmente en el presente trabajo, el fundamento del estudio es identificar la que correlación espacial y temporal, que tienen los escenarios de cambio climático con respecto a su histórico, y como estos se correlacionan con respecto al componente biofísico y de cambio climático.

6.1. Modelación de la estructura biofísica general de la cuenca del río Guatiquía

Dado que el cambio climático se presenta diferencialmente y en algunos territorios con consecuencias bastantes adversas para las comunidades y su medio, la identificación de la estructura biofísica y de cambio climático general permite analizar y comparar las modelaciones y escenarios de cambio climático para el país con las condiciones específicas de un lugar determinado. Esto permitirá en otros procesos investigativos y de gestión pública, una mejor aproximación y planeación de los territorios, previendo las incidencias o impactos negativos como positivos para la salud humana, seguridad alimentaria, del acceso a los recursos naturales y del manejo de población cuando sucedan efectos extremos (Arango, Guzmán, & Ruíz, 2012).

Este estudio de las estructuras generales del cambio climático y de los aspectos biofísicos permiten generar información, insumos y herramientas para que se anticipen en lo posible alternativas para el mejor manejo del recurso agua, reducción del margen de incertidumbre y la anticipación a los efectos y consecuencias negativas en los campos socioeconómicos y ambientales en una cuenca hidrográfica como tangencialmente la gestión de riesgos que cubre todos los posibles aspectos que puedan suceder por efectos del cambio climático y sus posibles eventos naturales extremos.

Las estructuras biofísicas permiten contar con muchos indicadores y fuentes de información que describen el estado que se encuentra los recursos naturales y el ambiente –biofísico- en un lugar dado. Dentro del diseño de política y planeación del territorio surgen como parte indispensable para la toma de decisiones objetivas y pertinentes, de la generación de información cuantificable que ayude a explicar cómo cambian las condiciones biofísicas a través del tiempo (W., 2001). Los enfoques teóricos y metodológicos desde la geografía ambiental remarcan, por otra parte, la ventaja de manejar un esquema cuantitativo para el análisis de las estructuras, en este caso biofísica y del cambio climático, a escalas regional y local. Desde ésta lectura a mayor escala de una metodología cuantitativa positiva del estado actual general del cambio climático, se puede aportar con mayor precisión sobre la distinción de las principales condiciones biofísicas, de riesgo y de cambio climático.

Los aspectos que se contrastan por medio de una comparación espacial son: áreas de importancia ambiental, áreas de bosques y no bosques, áreas con coberturas antrópicas transformadas, de susceptibilidad a inundación, susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, precipitación, temperatura, degradación del suelo y escenarios de cambio climático; esto para la modelación de la estructura biofísica y de cambio climático bajo el enfoque metodológico de la geografía ambiental. El resultado permitió conocer de una manera sintética de la condición general actual del componente biofísico en la cuenca del Río Guatiquía y sobre las ventajas teórico metodológicas que puede traer al realizar estudios estructurales del cambio climático desde la perspectiva de la geografía ambiental a una mayor escala.

El análisis biofísico tiene como propósito presentar información relevante en cuanto a edafología, climatología, vegetación, geomorfología y clima, entre otras categorías, así como observar las interacciones y correspondencias entre estas. Los indicadores ambientales permiten manejar fuentes de información que describen el estado en que se encuentra el ambiente biofísico y los recursos naturales en un momento dado (Rosete Vergés, Enríquez Hernández, & Aguirre von Wobeser, 2013). La estructura físico ambiental se relaciona con la base natural - ambiental de soporte del territorio, su estado y diferenciación; ésta da sustento, condiciona y señala interactivamente las probabilidades de las actividades humanas como las presiones resultantes sobre tal base natural (IDEAM - Minambiente, 2003). El estado de la estructura biofísica permite conocer la capacidad de soporte de un territorio y su asociación con los eventos del cambio climático. La dinámica de la oferta natural se analiza así, partiendo de las condiciones ambientales de la región, de las cuales se derivan una serie de servicios

que sustentan las actividades humanas; dentro de estos indicadores y componentes se analiza para el caso, principalmente el tema de agua, vegetación (bosques y ecosistemas sensibles principalmente), suelo, riesgos y cambio climático, a través de la susceptibilidad a las amenazas más recurrentes para el área de estudio (inundaciones, remoción en masa), del análisis de los escenarios de cambio climático (temperatura y precipitación) y de los indicadores de adaptación y vulnerabilidad.

6.1.1. Desarrollo metodológico del modelo de estructura biofísica y de cambio climático para la cuenca del Río Guatiquía

El método empleado fue el descriptivo explicativo cuantitativo, el cual se realizó un análisis general de la estructura biofísica y de cambio climático a partir de un proceso de análisis espacial supervisado. Este modelo fue una interpretación del modelo de ordenamiento territorial regional para la Amazonía colombiana generado por (DNP, Minambiente y Visión Amazonía, 2018) para los componentes edafológicos, biológicos, físicos, climáticos planteados en el diagnóstico territorial del anterior documento. Este partió mediante la definición de los elementos generales que facilitan la identificación de las categorías de análisis y variables para modelar la estructura biofísica y de cambio climático de manera sintética y clara. Se plantearon tres categorías de análisis pertinentes para la elaboración del modelo:

1. Importancia ambiental
2. Riesgo y Cambio Climático
3. Erosión del suelo

Con esta síntesis biofísica se pretendió establecer que áreas dentro de la cuenca conservan la mayor cantidad de atributos según su categoría de análisis; cuáles son las áreas con mejores condiciones ecosistémicas, resiliencia ecológica y biofísicas para soportar el cambio climático; y cuáles pueden necesitar más atención frente al cambio climático a expensas de sus características naturales y oferta ambiental. Teniendo en cuenta lo anterior, y queriendo priorizar el contexto del cambio climático dentro del modelo, se otorgaron pesos porcentuales a cada una de estas categorías, siendo riesgo y cambio climático a la que se le asignó un mayor porcentaje (50%), seguida por el estado del suelo (25%) e importancia ambiental un (25%). Dado que la síntesis busca establecer la influencia de las categorías de análisis en las condiciones de cambio climático para el área de estudio, pese a que este es un fenómeno de carácter global,

era necesario y pertinente ubicar la susceptibilidad al riesgo y al cambio climático bajo escalas y condiciones más localizadas en una porción de subcuenca hidrográfica como el área de estudio (Tlatempa, 2013).

Las categorías e indicadores ambientales biofísicos a escala detallada para la planeación territorial se analiza a través de dos variables conformadas por el “índice de importancia ambiental” ya elaborada a partir de los ecosistemas y coberturas vegetales por parte del IAvH en 2017, el índice de sensibilidad ambiental y las coberturas de bosque elaborado por el IAvH y el Minambiente (Rodríguez Gamiño, López Blanco, & Vela Correa, 2013). En la categoría de riesgo y cambio climático, se tuvieron en cuenta variables como susceptibilidad a inundaciones, impactos prospectivos del cambio climático para el periodo 2011-2040, susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, la temperatura media anual, precipitación media anual; y para la categoría de estado del suelo, la zonificación de suelos por grado de erosión.

De acuerdo con lo anterior, en el modelo se introdujeron tres categorías con diferentes pesos y un total de nueve variables, cada una también con un peso relativo dentro de cada categoría, representadas en capas cartográficas, en donde se realizó una ponderación de resultados. En la Figura 55 se observan tanto los pesos porcentuales, como las variables que constituyen cada una de estas.

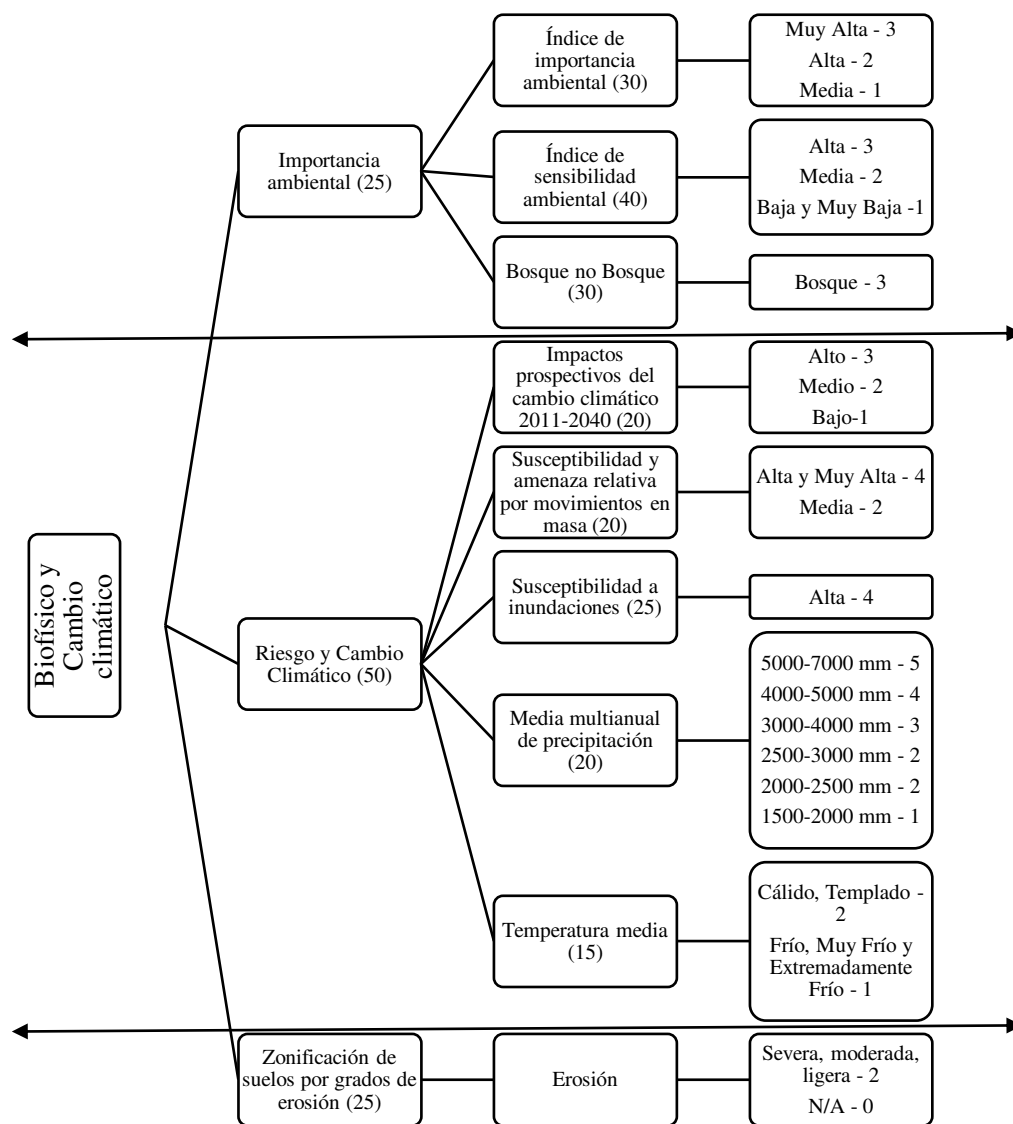


Figura 55 Modelo cartográfico sobre la estructura biofísica y de cambio climático desde un enfoque sistémico de la geografía ambiental.

Elaboración Propia, a partir de (IDEAM 2014), NGEOMINAS (2016), IAvH (2016),

Posteriormente se generó una valoración de la importancia relativa o de asignación para cada una de las categorías de análisis y variables. Subsiguientemente, se presentó el resultado de la estructura general biofísica y de cambio climático.

Para la construcción del modelo espacial de la estructura biofísica y de cambio climático se empleó la herramienta “ModelBuilder” del software ArcGIS,

construyendo submodelos para la ponderación de las variables y categorías empleando la función “Wiegthed Overlay” para la asignación de pesos según los criterios seleccionados. Posteriormente la información se ponderó mediante el uso de la herramienta en formato raster con un tamaño de pixel de 30x30 metros, para generar una salida gráfica correspondiente a la escala 1:100.000 (Cárdenas, 2013).

6.1.2. Espacialización de las variables y del modelo

Los resultados de la espacialización de las variables y del modelo inicialmente se muestran por cada categoría de análisis para luego conjugarse y ponderar las variables que las componen y finalmente obtener la síntesis de la estructura biofísica y de cambio climático general.

Categorías de análisis:

Para las categorías de análisis en la construcción del modelo sintético del componente biofísico y de cambio climático, el resultado inicial generó a partir de la ponderación anteriormente mencionada los siguientes mapas:

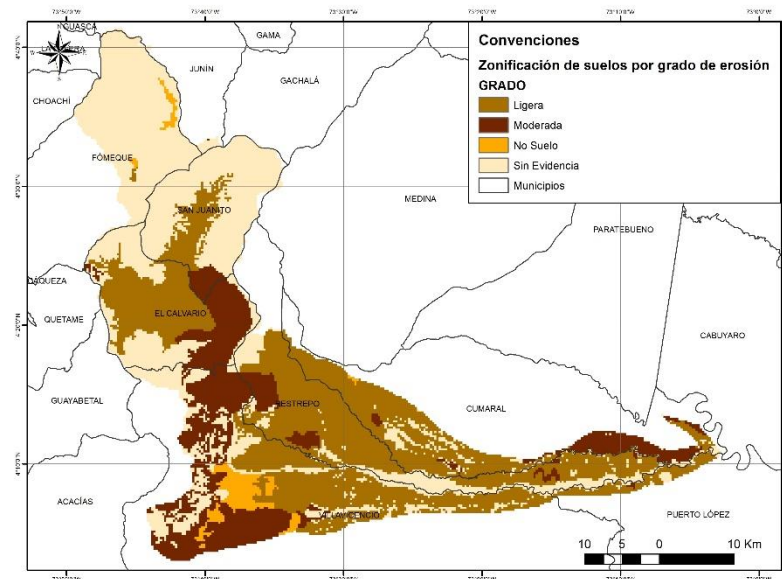


Figura 56 Componente de zonificación de suelos por grado de erosión para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia a partir de mapa de erosión de suelos, INGEOMINAS (2016)

Dentro de este componente de erosión, como es posible de concebir en la figura 56, se puede ver como la distribución espacial de las áreas con erosión moderada se encuentra alrededor la parte del cambio de pendiente del río Guatiquía donde se presenta mayor condición edafológica de sedimentos y mucho material pétreo. Es importante notar que, sobre la cuenca alta, las principales áreas con una condición de erosión ligera es el área cercana al cauce. Para la cuenca media toda el área tiene condiciones mediana y ligera de posible erosión principalmente las áreas con alturas similares alrededor del cauce, y para la cuenca baja toda el área se encuentra con condición de erosión media y ligera.

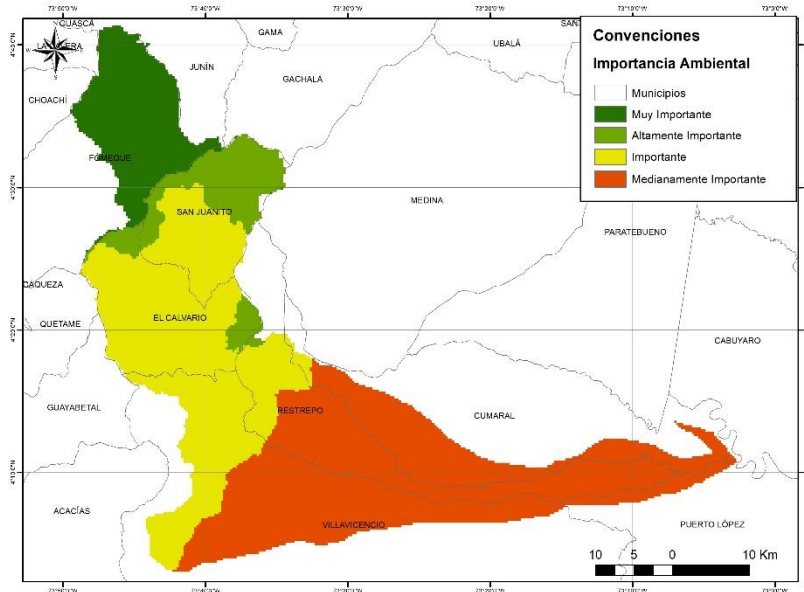


Figura 57 Componente importancia ambiental de la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia a partir de mapa de erosión de suelos, INGEOMINAS (2016)

En la figura 57, para el componente de importancia ambiental, luego del análisis del índice de importancia, las áreas de bosque y no bosque como las áreas de susceptibilidad ambiental y ecosistémica, la cuenca del río Guatiquía muestra un comportamiento diferenciado por cuenca alta, media y baja, en donde la cuenca alta es “muy importante” por sus características ecosistémicas y ecológicas (presencia de ecosistemas sensibles como por ejemplo el páramo, presencia de áreas boscosas (principalmente bosques alto húmedos) y una muy alta sensibilidad ecosistémica. En la cuenca media-alta y media bajo la categoría de “importante”, y en la parte baja de la cuenca con una importancia ambiental de “medianamente importante” (por la presencia de muchas áreas con ecosistemas de pastos y matorrales, no hay presencia de ecosistemas sensibles y en su mayoría han sido transformadas las coberturas a pastos

manejados, suelos desnudos y producción agrícola y de palma. Esto describe las diferencias ecosistémicas de la cuenca del río Guatiquía y como estas condiciones están muy marcadas por la diferencia de altura.

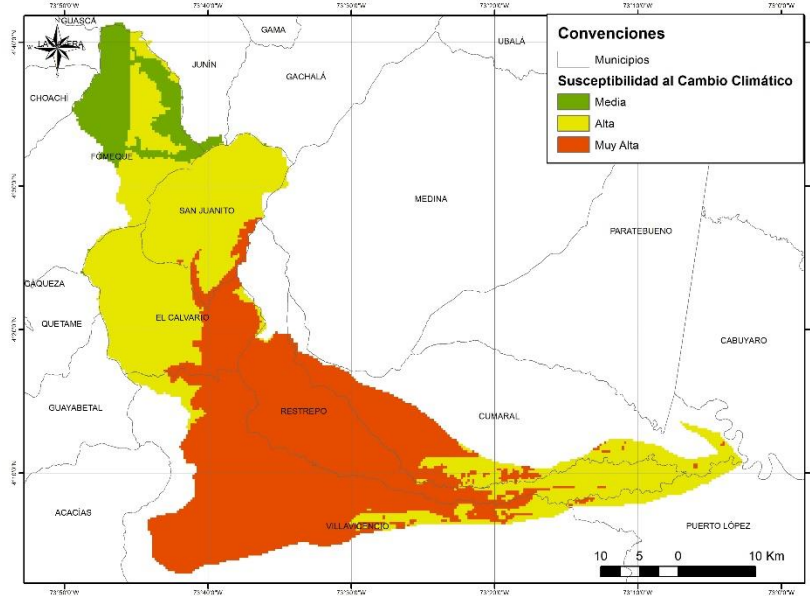


Figura 58 Componente de riesgo y cambio climático para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia, Fuente: IDEAM (2016) y IAvH (2016)

Para la espacialización de la susceptibilidad al cambio climático dentro de la cuenca, los resultados son distintos, donde toda la cuenca media y la cuenca media-baja poseen la mayor susceptibilidad seguidas con las áreas media-altas y l área baja. Esto es visible en la distribución espacial del componente en la figura 58.

En la descripción de los resultados se puede observar notablemente en dónde para la cuenca alta, las condiciones ambientales son muy favorables pese a sus posibles riesgos por erosión del suelo, que, de todas formas, son muy bajos. Sin embargo, los riesgos que pueden presentarse sobre el cambio climático son altos. Para la cuenca media, es donde se ubican condiciones importantes ambientalmente y muy altas tasas de erosión, y la mayor susceptibilidad y riesgo por cambio climático de toda la cuenca. Para la cuenca baja, pese a que las condiciones de importancia ambiental y presencia ecosistemas sensibles son medianamente bajos, el riesgo de afectación por cambio climático y la erosión es alta en la mayoría del área y muy alto en las restantes.

6.1.3. Modelo del componente biofísico y de cambio climático para la cuenca del Río Guatiquía

Seguido del análisis espacial de todos los componentes y que al generar la construcción del componente biosférico y de cambio climático se obtuvo la siguiente zonificación a escala 1:100.000:

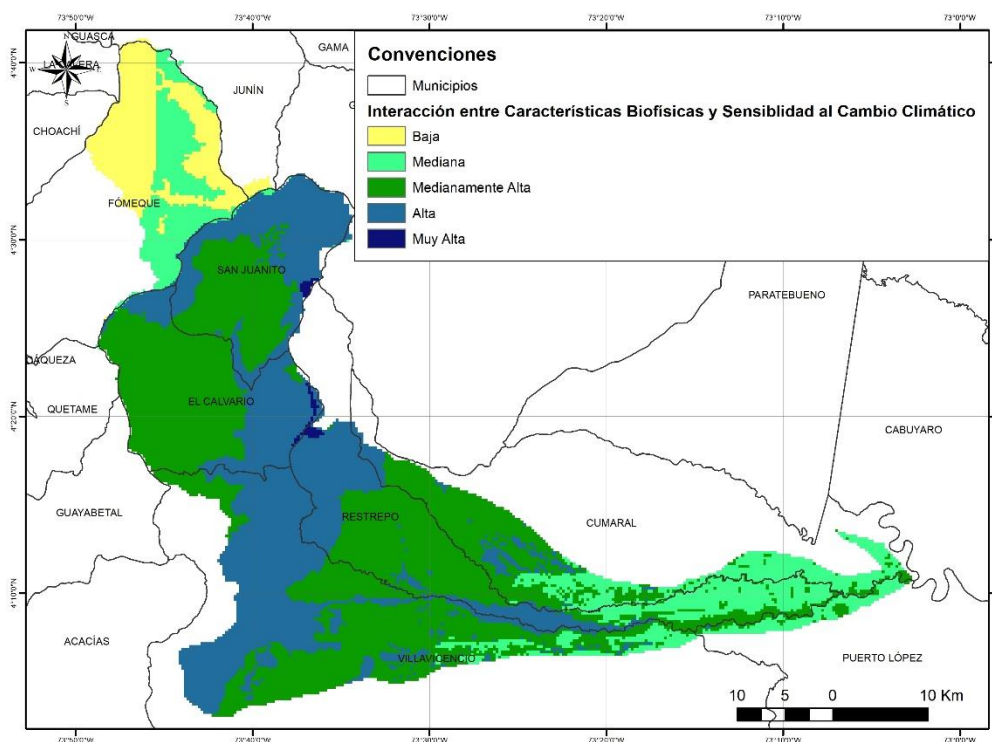


Figura 59 Componente Biofísico y de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia

Dentro de este Modelo del componente biofísico y de cambio climático en la figura 59, se encontró que, para la interacción entre las características biofísicas y la sensibilidad y riesgo al cambio climático, dentro de la cuenca del Río Guatiquía, para las categorías se encontraron las siguientes áreas: Muy Alta - 602 Ha, Alta - 56.133 Ha, Medianamente Alta - 79.937 Ha, Mediana - 28.026 Ha y Baja - 13572 Ha. Debido a la dinámica diferenciada en toda la cuenca del Río Guatiquía, tal resultado de la interacción permite dimensionar las áreas en donde los manejos y las atenciones como

los estudios del cambio climático y de las variables ambientales, de suelo y de clima deberían priorizarse y trabajarse a una mejor escala.

En las 5 zonas identificadas desde la estructura biofísica general y de cambio climático, se refleja una síntesis más precisa del estado en términos de oferta ambiental y condiciones generales. Y se evidencia que más del 80% del área de estudio presenta alta o media sensibilidad al cambio climático y que un 40 % de ésta área tiene condiciones ambientales muy favorables. Por lo que, al presentarse estas cifras, la priorización de áreas para el estudio más detallado de los efectos del cambio climático y por sus características anteriormente mencionadas, deben ser de total atención especialmente que así podrá gestionarse el territorio y prevenir riesgos y desastres ambientales en la cuenca del río Guatiquía.

6.2. Relación e interacción espacial de la estructura biofísica y de cambio climático con los escenarios de cambio climático para la cuenca del río Guatiquía

Para la generación de la relación e interrelación espacial entre la estructura biofísica y de cambio climático con los escenarios de temperatura y precipitación (2015-2045) se empleó una comparación de rasters por medio de la generación de calificativos para cada una de estas variables según los rangos de cada una de las variables frente a la tendencia de cambio a lo largo de la cuenca. Los rangos calificativos según los valores presentados para temperatura y precipitación fueron asignados por la clasificación natural de JENKS con 8 clases para que estas se analizaran por medio de la herramienta “Weighted Overlay” con el mapa del componente biosférico y de cambio climático.

6.2.1. Relación con los escenarios de Temperatura

La relación espacial entre el escenario de cambio climático y la zonificación desde el componente biofísico y de cambio climático se presentó de la manera siguiente, mostrando una zonificación de posibles afectaciones sobre el medio natural del escenario de cambio climático para la temperatura.

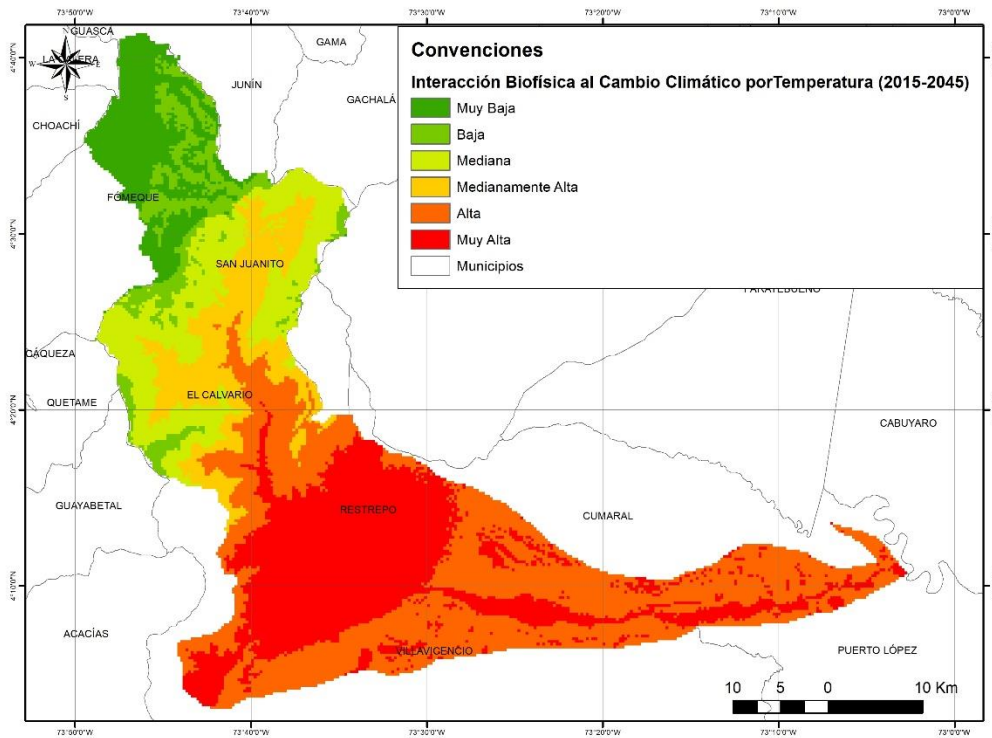


Figura 60 Interacción entre el componente biofísico y de cambio climático contra la temperatura en escenario de cambio climático (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

La generación de la interacción espacial entre los escenarios de cambio climático para la temperatura frente a la estructura biofísica y de cambio climático en la cuenca del río Guatiquía en los próximos 30 años, permitió encontrar cruces espaciales que muestran de qué manera según la distribución de la temperatura y las condiciones ambientales y biofísicas conocer que áreas serán más afectadas o que presenten una mayor relación con los cambios de cambio climático. La parte alta de la cuenca muestra que, debido a sus condiciones biofísicas mostradas en el mapa del componente biofísico, las alteraciones del cambio climático afectarán de una manera muy baja el medio y su funcionamiento. Sin embargo, muestra como la parte cercana al cauce del río en la parte alta, si puede presentar interacciones medias frente al cambio climático en los próximos 30 años.

Para la parte media de la cuenca, es donde muestra el área de mayor influencia y posible afectación del cambio climático asociado al cambio de temperatura debido a sus

condiciones biofísicas. Esto puede mostrar que tanto las áreas rurales de los municipios de Villavicencio y Restrepo presentan una interrelación muy alta entre los escenarios de cambio climático y sus condiciones de erosión, importancia ambiental, sensibilidad ecosistémica entre otros. Este anterior comportamiento se nota igualmente en varios sectores de la cuenca media y estos pueden generar cambios en su función ecológica y en la mayoría muestra que si hay una correlación espacial alta.

6.2.2. Relación con los escenarios de Precipitación

La relación espacial entre el escenario de cambio climático y la zonificación desde el componente biofísico y de cambio climático se presentó de la manera siguiente, mostrando una zonificación de posibles afectaciones sobre el medio natural del escenario de cambio climático para la Precipitación.

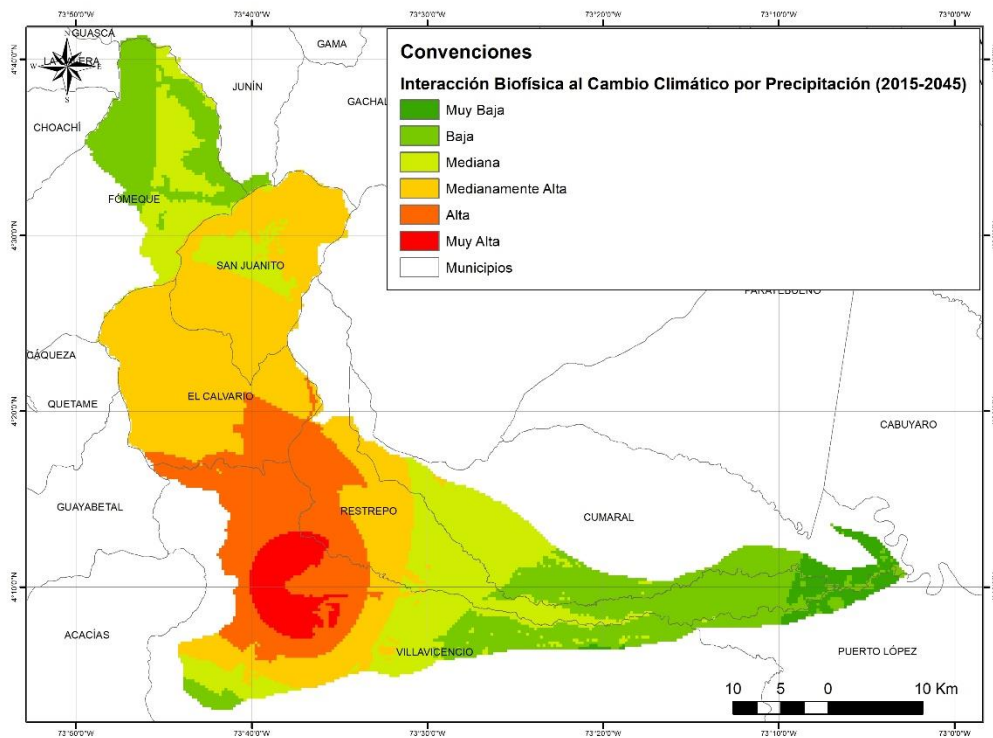


Figura 61 Interacción entre el componente biofísico y de cambio climático con respecto a la precipitación en escenario de cambio climático (2015-2045) en la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

En la interacción espacial del escenario de cambio climático sobre la precipitación frente a las condiciones biofísicas de la cuenca del río Guatiquía, muestra una división en el comportamiento sobre que tanto la cuenca puede tolerar los cambios en la precipitación. Tanto para la cuenca alta como la cuenca baja, las condiciones físicas y biológicas tienen la capacidad de soportar los cambios que la precipitación tendrán en 30 años.

Sucedo lo contrario con la cuenca media, puesto dentro de esta área y con una parte de la cuenca media alta del municipio de Villavicencio, muestra que las condiciones medioambientales, físicas y biológicas de esta área no tienen la capacidad de tolerar totalmente los cambios en la precipitación. Generando afectaciones ya sea en los procesos ambientales y naturales, como en las actividades humanas. Esto puede y se ha evidenciado en los cambios de precipitación generando alertas rojas por tema de inundaciones en el año 2017, o dificultadas en la gestión del elemento vital por parte del acueducto municipal en el 2016, donde las gestiones de estas áreas facilitarán tanto los trabajos y la administración estatal como de la participación y gestión del riesgo hacia la población para una mejor la mitigación y administración del cambio climático y sus afectaciones.

6.2.3. Conclusiones

Así pues, en contraste con las necesidades de generar escenarios de cambio climático bajo un enfoque sistémico y de análisis espaciales con información hidrometeorológica más detallada, la generación de un estado biofísico de cambio climático general a escala subregional permite a su vez relacionar el acercamiento epistemológico entre la geografía regional, la modelación de estructuras biofísicas generales y el análisis integral del cambio climático.

El estudio desde la geografía ambiental y según la coexistencia entre las condiciones ambientales y biofísicas y el cambio climático, permiten profundizar en las brechas de las formas convencionales de analizar el territorio y las regiones. El estudio de la percepción al cambio climático, del elemento vital, la regionalización y localización en temas de escala regional debe ser un foco prioritario. Con el detalle metodológico de la geografía ambiental y la comparación de este estado biofísico y de cambio climático con un mayor número de variables e indicadores, en contraste con los escenarios de

cambio climático, sería una buena forma de mejorar la gestión ambiental y sociocultural del sistema región y territorio a una escala subregional (Barton J. R., 2009).

El considerar el enfoque sistémico y del método descriptivo explicativo cuantitativo, desde la perspectiva de la nueva geografía ambiental, permiten análisis ambientales, entrelazar las lógicas de los distintos fenómenos naturales y antrópicos en el estudio del cambio climático; y facilitaría que dentro del desarrollo de las actividades de los sectores económicos y sociales como de los territorios implicados se incluya una visión integral dentro de los procesos de planificación, ordenamiento y gestión integral del cambio climático en Colombia.

Para la escala nacional, los escenarios de cambio climático y las recomendaciones para la adaptación y mitigación de los efectos complejos generados por el cambio climático, los resultados de tales aproximaciones geográficas, sirven de fortalecimiento de las políticas y planeación estratégica que concuerden con los compromisos internacionales y con la creciente preocupación por la gestión sistémica del riesgo. De igual manera, en la escala nacional permitiría también prever y direccionar mejor las decisiones de la política pública con enfoque territorial. La escala regional permite generar recomendaciones más precisas y acuerdos de cooperación más concretos de la gestión socioambiental.

Hacer frente de manera simultánea a las soluciones urgentes de desarrollo subregional y local como mejorar la capacidad de responder a los efectos, adaptación y adaptación al cambio climático a escala subregional deberá necesariamente de estar acompañada por estudios que integren orgánicamente la dinámica de los componentes como el biofísico y de cambio climático con las variables del desarrollo socioeconómico y cultural específicos. Un mayor banco de indicadores, variables y estudios focales permitiría generar una conciencia ambiental, geográfica y de gestión del cambio climático igualmente más pertinente, mejoraría la relación costo-beneficio de la mitigación y la gestión del riesgo aplicada a los problemas concretos. Ganando en suma el conocimiento aplicado -razón de ser de la investigación científica- y la resolución pública de los problemas estratégicos nacionales en los territorios.

6.3. Percepción social general del cambio climático en la cuenca del río Guatiquía

Como menciona (Lowenthal, 1974), más allá de las descripciones paisajísticas, o de las impresiones de los hábitos de los habitantes, o del planteamiento de principios clasificatorios para definir los espacios construidos, es importante y de un deber ser de la geografía, de manera adicional, conocer la forma en que a nivel sensorial la población puede entender los fenómenos geográficos que suceden sobre la superficie de la tierra. Por lo que analizar de manera general la carga subjetiva y el sentir de la población más cercana sobre el cambio climático en general como de las alteraciones encontradas dentro del estudio pueden ser contrastadas por medio de una encuesta.

6.3.1. Metodología del análisis general de la percepción y del cambio climático

- -

6.3.2. Breve análisis estadístico de la percepción del cambio climático y su posible relación con el modelo espacial de la estructura biofísica y de cambio climático en la cuenca del río Guatiquía

A partir de la aplicación de los cuestionarios las preguntas que se pueden resaltar y analizar fueron:

¿En qué rango de edad se encuentra usted?

133 responses

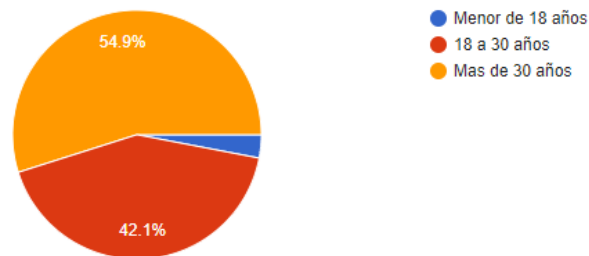


Figura 62 Pregunta 1, sobre rangos de edad - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia

En donde la población que presentó el cuestionario presentó unos rangos de edad en donde la muestra se situó entre los rangos de 18 y 30 años con un 42,1% y las personas mayores de 30 con un 54,9% y un 3% de personas menores de edad.

¿Qué grado de escolaridad tiene?

133 respuestas

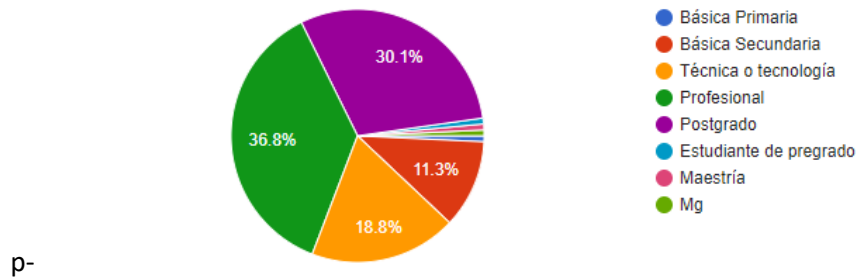


Figura 63 Pregunta 2, sobre escolaridad - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia

La participación dentro del cuestionario muestra que más del 85% poseen estudios superiores a la básica secundaria y un 11,3% con personas con estudios de básica secundaria.

Para la pregunta sobre si las personas que respondieron el cuestionario han vivido dentro del área de estudio por más de 1 año mostraron que el 94,7% respondieron que sí, y 7 personas o el 5,3% respondieron que no han vivido más que 1 año. Sobre los temas de generalidades del cambio climático, el total de la muestra respondió que sí ha oído sobre el cambio climático y el 97% menciona que sí es un fenómeno ambiental real mientras que el restante no sabe o no cree en el cambio climático y el 82,7% de la población afirma que es muy importante generar estudios sobre el cambio climático en Colombia, pero lo llamativo de mostrar es que 2 personas respondieron que no era importante y 5 personas mencionaron que no era ni muy importante ni nada importante.

¿Creería usted que el cambio climático ha podido generar alguna afectación en su vida cotidiana?

133 responses

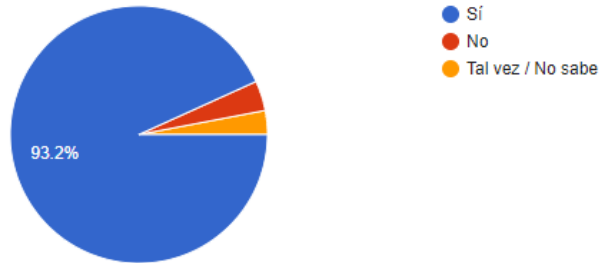


Figura 64 Pregunta 6, sobre si se ha visto afectado en su vida cotidiana por el cambio climático - Cuestionario sobre percepción para la cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

Esta pregunta muestra como la población se ve identificada con el cambio climático y cree que sus efectos modifican o alteran de cierto modo su vida cotidiana. Sobre la parte 3 del cuestionario sobre generalidades de la cuenca del río Guatiquía y afectaciones, para la pregunta sobre si las personas que conocen el río Guatiquía lo han visitado, el 15,8% de las personas respondieron que nunca lo han visitado, pero si lo conocen. Para la pregunta sobre la importancia del río Guatiquía para ña región, el 21% cree que es medianamente importante y el 79% menciona que si es muy importante.

¿Ha notado usted algún cambio en la temperatura del ambiente en los últimos años con respecto al pasado?

133 responses

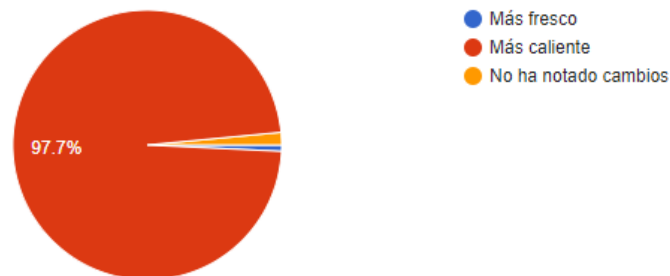


Figura 65 Pregunta 11, sobre percepción de cambio en la temperatura del ambiente frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia

Lo que permitió esta pregunta fue contrastar el resultado del modelo espacial frente a la percepción del cambio de la temperatura, en donde el resultado muestra una correspondencia con la tendencia real del cambio de la temperatura media multianual, y que es de común entendimiento y sensación para casi el total de la muestra.

¿Ha notado usted algún cambio en la lluvias en los últimos años con respecto al pasado?

133 responses

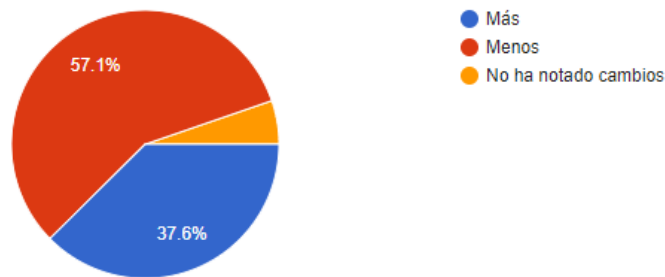


Figura 66 Pregunta 12, sobre percepción de cambio en la precipitación frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

Para el análisis del cambio de la precipitación en el cuestionario, se presentó un contraste que no sucedió con temperatura. Lo que se podría deducir es que posiblemente las personas que respondieron que hubo un aumento en las precipitaciones manejaron la comparación frente al periodo de lluvias, en donde en estos meses si se presentarán aumentos en la media, como puede ser también la percepción sobre los eventos extremos en donde se han presentado lluvias por más de 1 día e inundaciones. Sin embargo, un 57,1% de la muestra concuerda con la tendencia histórica y a futuro.

¿Ha notado usted algún cambio en el caudal en los últimos años al pasado?

132 respuestas

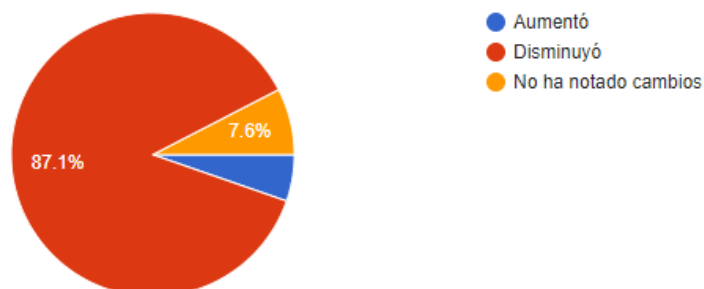


Figura 67 Pregunta 13, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía

Elaboración propia

Para la revisión de la percepción del cambio en caudales con respecto al pasado, el 87,1% de la muestra afirma y corresponde a la realidad de los caudales en la cuenca, y un 5,3% afirma que han aumentado los caudales y un 7,5% de la muestra dice que no sabe.

¿Se ha visto usted afectado directamente por algún fenómeno o cambio en el Río Guatiquía?

132 respuestas

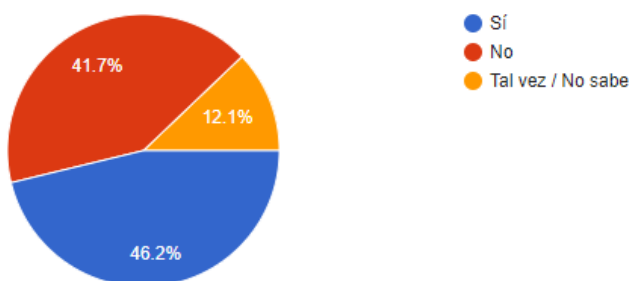


Figura 68 Pregunta 14, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

Para la única pregunta sobre afectaciones por algún periodo extremo o evento natural en la cuenca del río Guatiquía muestra que, el 46,2% menciona que, si se ha visto afectado por algún cambio en el río Guatiquía, casi por el mismo valor, el 41,7% muestra que no se ha visto afectado directamente por algún cambio en el área de estudio. Para la medición sobre la percepción de si el cambio climático en el río Guatiquía, ha generado afecciones directas a la población, la muestra generó 3 niveles de respuesta donde los porcentajes entre la opción SI y la opción NO tienen una diferencia de 4,2% por lo que el error muestra que puede ser consideradas como iguales las respuestas. Haciendo que para la población del área de la cuenca del río Guatiquía, la mitad cree o siente que ha sido afectado directamente por los cambios del comportamiento del río o algún fenómeno asociado al mismo.

¿Cómo consideraría que estarían las condiciones climáticas y de la cuenca del río Guatiquía en 30 años?

133 respuestas

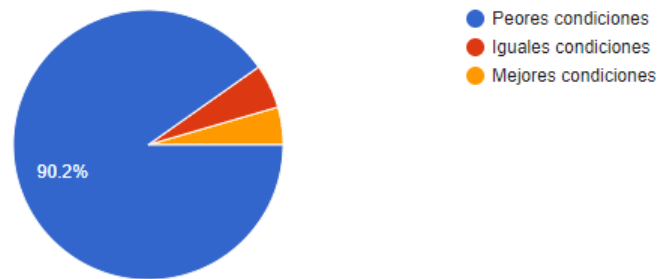


Figura 69 Pregunta 15, sobre percepción de cambio en los caudales frente al pasado - Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

Sobre la pregunta de prospección del cambio climático y de las condiciones de la cuenca del río Guatiquía en los próximos 30 años, las condiciones muestran y corresponden con los comportamientos tendenciales de cada una de las variables como del mapa de interacción espacial entre el componente biofísico con los escenarios, donde el 90,2% lo afirman.

¿Por cuáles razones creería usted que que las condiciones pueden mejorarse?

133 respuestas

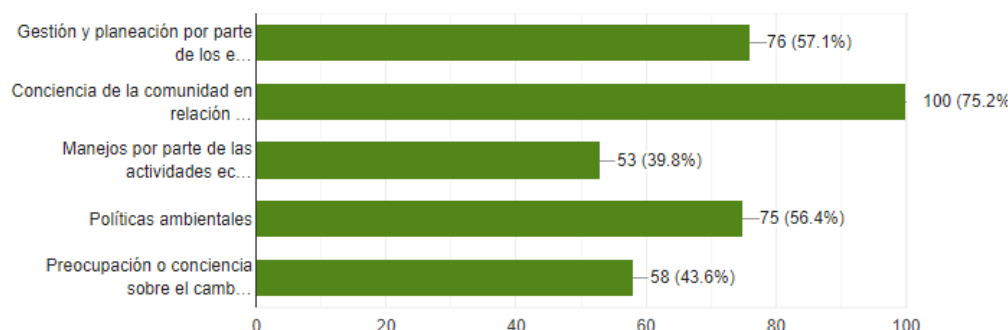


Figura 70 Pregunta 16, sobre cuáles serían las posibles acciones que se deben ejecutar para mejorar o gestionar para la cuenca del río Guatiquía- Cuestionario sobre percepción cuenca del río Guatiquía.

Elaboración propia

Sobre las posibles acciones o gestiones que deberían aplicarse según las respuestas de la población muestral para mejorar las condiciones ambientales y el cambio climático en la cuenca del río Guatiquía, respondieron al ser de respuesta múltiple lo siguiente:

1. Que la mejor manera para que las condiciones mejorasen es la generación de conciencia de la comunidad en relación con el cuidado del medio ambiente, la vegetación y el uso del agua;
2. Que tanto las políticas ambientales como de la gestión y planeación por parte de los entes estatales para el 57% de la población cree que es lo segundo más importante;
3. Seguido por del manejo por parte de las actividades económicas y productivas como de la preocupación y conciencia del cambio climático y sus efectos es la tercera opción más votada. Estas respuestas corresponden igualmente en porcentajes similares en la encuesta nacional sobre cambio climático, en la figura 16 (IDEAM. PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016, pág. 43).

Los contrastes que pueden realizarse igualmente frente a los resultados de la percepción del cambio climáticos y de las afectaciones en la cuenca del río Guatiquía, es con algunos de los resultados generales de la primera encuesta nacional sobre percepción del cambio climático para Colombia. Primero, que para la muestra del proyecto era presentado el nivel de información sobre cambio climático, pero para la encuesta nacional, el porcentaje para la región oriental no supera el 25% de la muestra. Otro dato relevante a informar es que para el presente proyecto como se mencionó anteriormente, la temperatura aumento y fue percibida por casi la totalidad de la muestra, y para la

encuesta nacional el porcentaje que respondió de igual manera, fue del 97%, permitiendo comprobar que tanto para el proyecto como para el país hay una respuesta generalizada.

Lo mismo sucede para el tema de la precipitación, los porcentajes si se alejan de la encuesta nacional pues los valores que afirman que si ha aumentado para la muestra del proyecto es de 47% y para la encuesta a nivel nacional es de un 54%. Con respecto a la aparición de efectos del cambio climático en un periodo de 30 años, en la muestra afirman que las condiciones cambiarán, y la encuesta nacional afirma que, para los municipios con mayor nivel de vulnerabilidad al cambio climático, el periodo de las afectaciones ha venido sucediendo en los últimos 30 años, lo que confirma la importancia de haber usado este periodo a lo largo del proyecto de investigación y que los datos generales sobre percepción del cambio climático concuerdan casi en su totalidad con la tendencia del país a nivel de percepción de la población validando el método empleado como los resultados para el estudio en la cuenca del río Guatiquía.

7. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

Existe importancia en los impactos generados por el cambio climático pues un aumento por ejemplo de la media anual multianual de 1 grado centígrado es algo muy relevante, y pese a que puedan tener similar magnitud y no se expresan de igual manera en todo el territorio, el cambio así sea bajo en términos de sensación térmica, o de temperatura en esos valores puede ser devastador en la funcionalidad del medio ambiente. Los efectos generados en la región de la cuenca del río Guatiquía pueden ser muy importantes ya sea en cambios en patrones de lluvias o eventos extremos, como en la gestión del agua o de la ausencia de la misma. Siguiendo esta misma línea, los impactos tampoco son iguales si se analizan a distintas escalas por lo que generar estudios a mejor detalle y a nivel subregional con cifras diarias, podría evitar y modelar el análisis del cambio climático, como la gestión del mismo y el estudio de los eventos extremos.

Es importante mencionar que, durante el desarrollo de la investigación presente, tanto como el objetivo general y los objetivos específicos se cumplieron y pudo encontrarse que la hipótesis planteada es afirmativa demostrando que para el periodo entre 2015-2045, se presentaría un considerable aumento de la temperatura con valores entre 0,2 y 0,7°C, y cambios en los patrones frente a su distribución espacio-temporal de la precipitación y por ende una disminución en los caudales. Y que estas diferencias en contraste al modelamiento de las condiciones biofísicas de la cuenca ocasionarían efectos diversos de manera diferenciada en la cuenca del río Guatiquía como en el déficit del elemento vital y la necesidad de gestionar dichos cambios de manera adecuada y pronta. Igualmente, se comprobó que la percepción social de los efectos generales del cambio climático en la cuenca del río Guatiquía corresponden a los generados y obtenidos por medio de los análisis estadísticos y espaciales.

Se puede considerar igualmente, que la manifestación geográfica de la distribución y correlación de la distribución espacio temporal de la temperatura, las precipitaciones y

los caudales, con una serie de análisis consistente como la realizado, permite en efecto prever con un rango temporal de alcance medio, los posibles escenarios biofísicos de los cambios climáticos en la cuenca del río Guatiquía.

La parte alta de la cuenca muestra que las alteraciones del cambio climático afectarán de una manera muy baja el medio y su funcionamiento. Sin embargo, la parte cercana al cauce del río en la parte alta, si puede presentar interacciones medias frente al cambio climático en los próximos 30 años con aumentos entre 0,1 y 0,5 °C para temperatura, y una disminución baja de la precipitación por su pendiente similar a 0, esto afectaría directamente a los caudales por lo que, de manera generalizada, todos estos tendrían una tendencia a la baja, pero con mayor presencia de eventos extremos y un desplazamiento de la cota de los 400 mm para toda la cuenca del río Guatiquía.

Para la cuenca media, se presentarán aumentos en la temperatura entre 0,5 y 1°C para los próximos 30 años, notando un cambio climático muy acelerado y con posibles implicaciones ambientales y ecosistémicas graves. Para la variable precipitación en la cuenca media, habrá una pendiente negativa mostrando una disminución cercana al 15% de la media anual multianual del 2018. Los caudales debido a esta disminución tendencial de la precipitación, se verán reducidos entre 15 y 22% según la ubicación de la cuenca.

Para la cuenca baja, la temperatura media anual multianual tendrá un aumento entre los 0,2 y 0,7°C, mostrando un calentamiento total sobre todo el área de la cuenca. En el tema de precipitación, la cuenca baja perderá casi un 15% de los valores de precipitación y un desplazamiento de todas las cotas de precipitación hacia el norte de la cuenca. Esta disminución de la precipitación resulta en una disminución de aproximadamente un 20% en los valores de caudales.

Estas condiciones de disminución de precipitación y de caudales como del aumento de la temperatura, resalta la importancia de la gestión del agua pues si los valores son cercanos a 0 o 1 m³/seg, y los aumentos de la precipitación eventual o extremas para la temporada de lluvias, las consecuencias ambientales, humanas, económicas y de riesgo son latentes y muy posibles, especialmente para la cuenca media del río Guatiquía.

Como se advirtió en el documento, también hay desde el punto de vista de la percepción social, una necesidad del manejo integral de la cuenca, bajo un amplio abanico de percepciones tanto sobre la identificación estratégica de la cuenca regional del Guatiquía como de los efectos evidentes y tangibles del cambio climático por parte de los actores analizados, que advierte la urgente necesidad de ampliar la difusión del conocimiento académico y técnico ambiental en el área.

De igual modo, tales escenarios de distribución espacial y temporal, sin perder la obligatoria gestión integrada de la cuenca, visualizan con claridad los puntos nodales y focos en donde se juega la suerte de la sostenibilidad hídrica y donde se deberá hacer un trabajo de mayor profundización en los temas de gestión ambiental y zonificación con las comunidades; el comportamiento y regulación de los caudales y el condicionamiento de los usos, tienen pues una herramienta analítica espacial y complementaria para las autoridades correspondientes.

El uso metodológico de la geografía ambiental y la comparación de este estado biofísico y de cambio climático con un mayor número de variables e indicadores en contraste con los escenarios de cambio climático, sería una buena forma de mejorar la gestión ambiental y sociocultural del sistema región y territorio a una escala subregional (Barton J. R., 2009). El estudio desde la geografía ambiental y según la coexistencia entre las condiciones ambientales y biofísicas y el cambio climático, permiten profundizar en las brechas de las formas convencionales de analizar el territorio y las regiones.

Los escenarios de cambio climático y las recomendaciones para la adaptación y mitigación de los efectos complejos generados por el cambio climático, sirve de fortalecimiento de las políticas y planeación estratégica que concuerden con los compromisos internacionales y con la creciente preocupación por la gestión sistémica del riesgo. De igual manera, en la escala nacional permitiría también prever y direccionar mejor las decisiones de la política pública con enfoque territorial.

Las condiciones medioambientales, físicas y biológicas de la cuenca media no tienen la capacidad de tolerar totalmente los cambios en la precipitación. Esto puede y se ha evidenciado en los cambios de precipitación que generaron alertas rojas por tema de inundaciones en el año 2017, o dificultadas en la gestión del elemento vital por parte del acueducto municipal en el 2016.

Existe diferencia entre los impactos generados por cada uno de estos fenómenos y más que todo sobre el cambio climático pues un aumento por ejemplo de la media anual multianual de 1 grado centígrado, y pese a que puedan tener similar magnitud y no se expresan de igual manera en todo el territorio, el cambio así sea bajo en términos de sensación térmica o de precipitación media, pues los efectos generados en la región de la cuenca del río Guatiquía pueden ser muy importantes ya sea en cambios en patrones de lluvias o eventos extremos, como en la gestión del agua o de la ausencia de la misma. Siguiendo esta misma línea, los impactos tampoco son iguales si se analizan a distintas escalas por lo que generar estudios a mejor detalle y a nivel subregional con cifras diarias, podría evitar y modelar el análisis del cambio climático, como la gestión del mismo y el estudio de los eventos extremos.

Los retos que deja esta investigación podrían ser ubicados de manera simultánea a las soluciones urgentes de desarrollo subregional y local, como mejorar la capacidad de responder a los efectos, adaptación y adaptación al cambio climático a escala subregional. Esto deberá necesariamente de estar acompañado por estudios que integren orgánicamente la dinámica de los componentes como el biofísico y de cambio climático con las variables el desarrollo socioeconómico y cultural específicos. Igualmente, un mayor banco de indicadores, variables y estudios focales permitiría generar una conciencia ambiental, geográfica y de gestión del cambio climático igualmente más pertinente, mejoraría la relación costo-beneficio de la mitigación y la gestión del riesgo aplicada a los problemas concretos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, E. J., & Soley, F. J. (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 60-75.
- Arango, C., Guzmán, D., & Ruíz, J. (2012). *Cambio Climático más Probable para Colombia a lo Largo del Siglo XXI Respecto al Clima Presente*. (C. y. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Ed.) Bogotá D.C., Colombia: IDEAM, Subdirección de Meteorología.
- Ayala Carcedo, F. J. (2000). La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población. *Boletín de la A.G.E.*(3), 37-49.
- Banco Mundial. (2010). *Informe sobre el Desarrollo Mundial: Desarrollo y Cambio Climático*. Washington D.C.
- Barrera Escoda, A. (2014). *Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España*. (G. d. (GAMA), Ed.) Barcelona, España: Universidad de Barcelona, Departamento de Atronomía y Meteorología, Programa de doctorado en Astronomía y Meteorología (Bienio 2002-2004). doi:DAM/250999-15/0406
- Barton, J. R. (septiembre de 2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades - regionales. *Revista de Geografía - Norte Grande*, 43, 5-30. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-34022009000200001>
- Barton, J. R. (Septiembre de 2009). Adaptación al Cambio Climático en la Planificación de Ciudades - Regiones. *Revista de Geografía - Norte Grande -* (43), 5-30. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000200001>
- Barton, J. R. (Septiembre de 2009). Adaptación al Cambio Climático en la Planificación de Ciudades-Regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*(43), 5-30. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000200001>
- Bertrand, C. (2006). *Geografía del Medio Ambiente. El Sistema GTP: Geosistema, Territorio y Paisaje*. Granada: Universidad de Granada.
- Bertrand, G. (1968). Paysage et géographie physique globales. Esquisse Methodologique. *Geographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 249-272.

- Bocco, G., & Urquijo, P. (enero-abril de 2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, XXV(56), 75-101.
- Brody, S. D., Zahram, S., Vedlitz, A., & Grover, H. (2007). Examining the relationship between physical vulnerability and public perceptions of global climate change in the united states. *Journal of Environmental Management*, 72-95.
- Buitrago Bermúdez, Ó. (2010). Agua, territorio y gestión: caminos por recorrer. *Perspectiva Geográfica*, 15, 125-142.
- Burton, I., & Kates, R. W. (2008). *The Environment As Hazard*. Londres: Oxford University Press, Incorporated, 1978. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=act-AAAAMAAJ&q=burton+y+kates&dq=burton+y+kates&hl=es&sa=X&ved=0CB8Q6AEwAGoVChMIosD42urKxwIVgx0eCh1Euw2f>
- Calvo Garcia-Tornel, F. (1984). La Geografía de los Riesgos. *Geocrítica. Cuadernos de Geografía Humana*(N° 54), Año IX. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/geo54.htm>
- Campos-Aranda, D. F. (julio-septiembre de 2015). Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XVI(3), 355-368. Obtenido de <http://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v16n3-04.php>
- Capel, H. (1973). Percepción del medio y comportamiento geográfico. *Revista de geografía*(7), 58-150. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2856533>
- Capel, H. (15 de Abril de 1998). Una geografía para el siglo XXI. *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 19.
- Cárdenas, e. a. (2013). Spatial technologies to evaluate vectorial samples quality in mapas production. *Investigaciones Geográficas*, 111-128.
- CEPAL. (Noviembre de 2009). *Libros y Documentos Institucionales, Repositorio Digital Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL*. Obtenido de Libro Cambio Climático y desarrollo en América Latina y el Caribe, Reseña 2009: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/2975>
- CEPAL. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=91ACF9C47129E9BB8C86195556D52F23?sequence=1

- CMNUCC/UNFCCC. (2007). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <http://cambioclimaticocr.com/agenda-internacional>
- Conde Álvarez, C., & Saldaña Zorilla, S. O. (2007). Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. *Ambiente y Desarrollo*, 2, 23-30.
- CORMACARENA & PNN. (2008). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía*. Villavicencio: Cormacarena y Parques Nacionales Naturales.
- Costa-Posada, C. (Noviembre de 2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*(26), 74-80.
- Cueva Castillo, F. J., & Oñate Valdivieso, F. R. (2010). *Manual de relleno de datos de precipitación mediante correlación ortogonal*. (L. V. Hidrología, Ed.) Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- DANE. (2010). *Boletín - Censo General 2005*. Bogotá D.C.: DANE.
- De la Blanche, V. (1922). *Principes de géographie humaine*. París: Colín.
- DNP, Minambiente y Visión Amazonía. (2018). *Diagnóstico Territorial: Modelo de ordenamiento territorial regional para la amazonía colombiana*. Bogotá D.C.: DNP.
- El Tiempo. (02 de Abril de 2017). La avalancha que provocó la peor catástrofe en la historia de Mocoa. (E. tiempo, Ed.) Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 02 de abril de 2017, de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/avalancha-en-mocoa-cifras-de-la-tragedia-y-causas-73984>
- Elsner, M. M., Cuo, L., Voisin, N., Deems, J. S., Hamlet, A. F., Vano, J. A., . . . Lettenmaier, D. P. (2010). Implications of 21st century climate change for the hydrology of Washington State. *Climate Change*(102), 225-260. doi:10.1007/s10584-010-9855-0
- Epstein, T. (2008). Climate change and regional geography. *Green Teacher Spring*(83), 24-27.
- Eslava, J., & Grupo de Investigación en Meteorología-UN. (1998). *El Fenómeno del Niño y su Impacto Meteorológico en Colombia - Región Llanos Orientales y Amazonia* (Vols. Los Riesgos Hidroclimáticos del Agro Colombiano - Tomo V - Región Llanos Orientales y Amazonia). Bogotá, Colombia: Caja Agraria.
- Eslava, J., Lopez, V., & Olaya, G. (1986). *Los Climas de Colombia*. Bogotá.

- Fondo Social para la Educación Superior, Gobernación del Meta. (14 de Noviembre de 2015). *Listado de Elegibles de la Convocatoria "Fortalecimiento de las Capacidades de Ciencia, Tecnología e Investigación en el Departamento del Meta"*. . Obtenido de <http://www.educacionsuperiormeta.co/2015/11/14/listado-de-elegibles-de-la-convocatoria-fortalecimiento-de-las-capacidades-de-ciencia-tecnologia-e-investigacion-en-el-departamento-del-meta/>
- Garza Merodio, G. G. (2014). Geografía histórica y medi ambiente. *Investigaciones Geográficas*, 147-149.
- Gerritzen, E. (1999). *Los procesos erosivos en una perspectiva sociocultural. Proyecto Río Guatiquía*. Villavicencio: Convenio Colombo Alemán.
- Giraldo Pamplona, W., Corrales Osorio, A., Yepes Quintero, A., & Duque Montoya, Á. J. (2012). Caracterización estructural de bosques tropicales a lo largo de un gradiente altitudinal en el departamento de Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 34(97), 187-197. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842012000200006&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0304-3584
- Guhl, A. (2011). El medio ambiente en el quehacer geográfico de Colombia. En G. Bocco, P. S. Urquijo, A. Vieyra, & U. N. UNAM, *Geografía y Ambiente en América Latina* (págs. 131-149). Ciudad de México: Universidad de los Andres, Colombia, Centro Interdisciplinario de estudios sobre el Desarrollo.
- Haggett, P. (1972). *Geography: A Global Synthesis*. Harper & Row Series in Geography.
- Hall, R. B. (1935). *The geographie region: a resumé* (Vol. 25). Asociación Americana de Geógrafos.
- Hartshorne, R. (1939). *The nature of geography*. Lancaster: Association of American Geographers.
- Herbst, J. (1961). *Social darwinism and the history of American Geography* (Vol. 105). American Philosophical Society.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill / Interamericana de México S.A.
- Hernandez, Y. T. (2010). El ordenamiento territorial y su contrucción social en colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? *Cuadernos de Geografía*, No. 19, 97-109.

- Herraiz Sanz, C. (2009). Consecuencias geográficas del cambio climático. En P. Ramos Castellanos, *Cambio climático, ¿un desafío a nuestro alcance?* (págs. 47-81). Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Hettner, A. (1927). *La Naturaleza y Cometidos de la geografía*. Breslavia: Ferdo Hirt.
- Higueras-Arnal, A. (1999). Introducción al análisis geográfico regional. Reflexiones acerca del paisaje. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI*(12), 83-98.
- IDEAM - Minambiente. (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia*. Bogotá.
- IDEAM - UNAL. (2018). *Variabilidad climática y cambio climático en Colombia*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2001). *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: IDEAM. Recuperado el enero de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/publicaciones-ideam>
- IDEAM. (2010). *Nota Técnica: Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución, Panorama 2011-2100*. Bogotá D.C.: Subdirección de Meteorología.
- IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones - Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2016). *¿Qué piensan los colombianos sobre el cambio climático? Primera encuesta nacional de percepción pública del cambio climático en Colombia*. Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT. (1990). *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*. Bogotá D.C.: Subdirección de estudios e investigaciones, División de hidrometeorología, Sección de Meteorología.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2004). *El Meta: un territorio de oportunidades*. IGAC y Gobernación del Meta, Villavicencio, Meta.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Nueva York, EEUU: Cambridge University Press.

- IPCC. (2013). Glosario. En S. Planton, & ed all, *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (págs. 184-204). Nueva York, Estados Unidos de América: Cambridge University Press.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- James, P. E. (1934). *The terminology of regional description* (Vol. 24). Asociación Americana de Geógrafos.
- Lampis, A. (Julio-Diciembre de 2013). Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. (U. N. Colombia, Ed.) *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 17-33. Obtenido de <http://www.sire.gov.co/documents/12134/44424/Documento+Andrea.pdf/0593a3f9-6173-41f2-bfec-6a00866ed112>
- Lecarpentier, C., Umaña, G., & Vega, G. (1977). *Estudio Hidroclimático de la Región del Caribe (Norte Colombiano)*. Bogotá.
- Lowenthal, D. (1974). *Geografía de la percepción*.
- Luna Romero, E., & Lavado Casimiro, W. (Noviembre de 2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, 28(3), 42-52.
- Martens, W., Sloof, R., & Jackson, E. K. (1998). El Cambio Climático, la Salud Humana y el Desarrollo Sostenible. *Panam Salud Pública*, 4(2), 100-105. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49891998000800005>.
- Medina Rivera, R. D. (2008). *Tesis Maestría: Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Postgrados.
- Minambiente, DNP, IDEAM y UNGRD. (20 de Octubre de 2016). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC*. Obtenido de ABC: Adaptación Bases Conceptuales: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=476:plantilla-cambio-climatico-32#documentos>
- Naciones Unidas - CEPAL - BID. (2010). *Cambio climático: una perspectiva regional. Riviera Maya: Cumbre de la Unidad de América Latina y el Caribe*.

- Naciones Unidas. (Noviembre de 2015). *Framework Convention on Climate Change*. Obtenido de Acuerdo de París COP 21 CMP 11: http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/meeting/8926.php
- Olaya, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica*. Bogotá D.C. Obtenido de <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- Olaya, V. (2012). *Sistemas de información geográfica Tomo I y II*. Girona, España: OSGeo. Obtenido de http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG
- ONAD, I. , Esquivel Borda, J., García Nuñez, J., & Caro Peña, P. (1991). *Estudios de Zonas Inestables a lo Largo del Valle del Río Upín y sus Alrededores entre Villavicencio y Restrepo. Departamento del Meta*. Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS, Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, Bogotá.
- Oñate Valdivieso, F., & Bosque Sendra, J. (Enero-Junio de 2011). Estudios de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geográficos*, *I.XXII*(270), 147-172. doi:10.3989/estgeogr201107
- Organización Internacional de Normalización. (1979). *Liquid flow measurement in open channels: velocity-area methods* (Segunda edición ISO 748 ed.). Ginebra.
- Ortega, J. (2000). *Los horizontes de la geografía. Teoría de la geografía*. Barcelona: Ariel Geografía.
- Pabón Caicedo, J. D. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *36*(139), 261-278. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082012000200010
- Pabón, D. (2005). *Elaboración de escenarios de cambio climático para la segunda mitad del siglo XXI en diferentes regiones del territorio colombiano y de un informe de evaluación del cambio climático en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: INAP.
- Pabón, D. (2005). *Escenarios de Cambio climático para territorio colombiano*. Bogotá D. C.: Conservación Internacional y Universidad Nacional de Colombia.
- Pabón, D. (2010). *Informe de evaluación del Cambio Climático en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Conservación Internacional.

- Pabón, J. D. (2003). El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, XII(1-2), 111-119.
- Parques Nacionales Naturales PNN. (2010). *Plan de Manejo. Parque Nacional Natural Chingaza*. Bogotá: PNN.
- Preciado Beltrán, J. (2005). La gestión ambiental urbana y el agua potable en la ciudad de Bogotá. (U. D. Caldas, Ed.) *Tecnogestión*, 2(1), 3-7.
- Pulido, O. &. (1998). *Memorias de la Plancha Geológica 266-Villavicencio*. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- Quintero Angel, M., Carvajal Escobar, Y., & Aldunce, P. (enero-julio de 2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. (U. d. Caldas, Ed.) *Luna Azul*(34), 257-271.
- Riera, C., & Pereira, S. G. (2013). entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riesgo como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*(82), 52-65.
- Robinson, J., & Herbert, D. (2001). Integrating climate change and sustainable development. *Glob Environ Issues*, 130-148.
- Rodríguez Eraso, N., Pabón Caicedo, J. D., Bernal Suárez, N. R., & Martínez Collantes, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Rodríguez Gamiño, M., López Blanco, J., & Vela Correa, G. (2013). Indicadores ambientales biofísicos a escala detallada para la planeación territorial en Milpa Alta, Centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 80, 21-35.
- Rojas-Salazar, T. (2005). Epistemología de la geografía...una aproximación para entender esta disciplina. *Terra Nueva Etapa*, XXI(30), 141-162.
- Rosete Vergés, F. A., Enríquez Hernández, G., & Aguirre von Wobeser, E. (2013). El componente del riesgo en el ordenamiento ecológico del territorio: el caso del ordenamiento ecológico regional y marino del golfo de México y Mar Caribe. *Investigaciones geográficas*, 80, 7-20.
- Salazar Ceballos, A., Tamara, G., & Álvarez Miño, L. (2016). Percepción sobre riesgo al cambio climático como una amenaza para la salud humana, Taganga, Santa Marta, 2014. (U. d. Caldas, Ed.) *Luna Azul*(43), 10-127.

- Sauer, C. O. (1924). The survey method in geography and its objective. *Annals - Asociación Americana de Geógrafos*(14), 17-33.
- Sauer, C. O. (1925). *The morphology of landscape*. Berkeley: Universidad de California.
- Secretaría de Planeación Municipal de Restrepo. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal de Restrepo 2012-2015*. Restrepo: Alcaldía Municipal de Restrepo.
- Shiva, V. (2007). *Las guerras del agua. Privatización, contaminación y lucro. Segunda edición*. Madrid: Siglo XXI.
- Stott P, S. e. (2004). *human Contribution to the European Heatwave of 2003*. *Nature* 432.
- Tlatempa, E. (2013). Criterios geológico-hidrológicos pasra recomendaciones del uso del suelo en zona conurbadas sujetas a afectacines por lluvias intensas. Caso de estudio: sur de la ciudad de Txtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*, 36-54.
- Toro Trujillo, A. M., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., & Ibáñez Castillo, L. A. (01 de Abril de 2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región del norte del Urabá Antioqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 577-588. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n3/v6n3a11.pdf>
- Tort, P. (1996). *Dictionnaire du Darwinisme et de l'evolution* (Vol. 3). París: Press Universitaires de France.
- Trojer, H. (1959). *fundamentos para la zonificación meteorológica y climatológica del trópico especialmente de Colombia*. Chinciná, Caldas, Colombia: Cenicafé.
- Tucci, C. (2007). *Inundaciones urbanas*. Porto Alegre, Brasil: Asociación Brasileira de Recursos Hídricos RAHMA.
- Universidad Virtual del Tecnológico de Monterrey. (2005). *Diplomado de gobierno abierto y participativo institucional*. Monterrey: Universidad Tecnológica de Monterrey.
- Unwin, T. (1992). *The Place of Geography* (Ediciones Cátedra, S.A. ed.). (J. G. Bonafé, Trad.) Londres, UK: Lognman Group UK Limited.
- Viceministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Colombia. (2010). *Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Licencias, Permisos y trámites Ambientales.

- W., A. F. (2001). Land use modeling at the regional scale an input to rural sustainability indicator for Central America. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 249-268.
- Wisner, B., Fordham, M., Kelman, I., Johnston, B. R., Simon, D., Lavell, A., . . . Weiner, D. (15 de abril de 2007). *Cambio climático y seguridad humana*. Obtenido de Radix - Radical Interpretations of disaster.
- Yepes Mayorga, A. (Octubre de 2012). Cambio Climático: estrategias de gestión con el tiempo en contra... (U. d. Llanos, Ed.) *Orinoquia*, 16(1), 77-92. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a09.pdf>
- Zhang, Q. X., Zhang, Z., & Chen, Y. D. (2010). Changes of atmospheric water vapor budget in the Pearl River basin and possible implications for hydrological cycle. *Theor Appl Climatol*, 185-195.