CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHICAMOCHA EN LOS DEPARTAMENTOS BOYACÁ-SANTANDER EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Astrid Carolina Rincon Alvarez & Karen Viviana Gutiérrez Prada

Febrero 2021

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHICAMOCHA EN LOS DEPARTAMENTOS BOYACÁ-SANTANDER EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Astrid Carolina Rincon Alvarez
Código 20162780003

Karen Viviana Gutiérrez Prada
Código 20162780008

Trabajo de grado en la modalidad de investigación presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingenieras ambientales

Claudia María Cardona Londoño
Magister En Aprovechamiento de Recursos Hidráulico
Directora

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniería Ambiental
Bogotá
2021

Tabla de Contenido

Resumen 1
Abstract 1
1. Introducción 2
2. Justificación 3
3. Objetivos 6
3.2. General 6
3.3. Específicos 6
4. Marco de referencia 7
4.2. Aspecto normativo 7
4.2. Estudios previos 20
4.2.1. Estudios previos en el río Chicamocha. 20
4.2.2. Estudios previos cambio climático y vulnerabilidad del recurso hídrico. 22
4.3. Conceptos 7
4.3.1. Cambio climático. 7
4.3.2. Informes del IPCC. 7
4.3.3. Tercera comunicación nacional de cambio climático. 8
4.3.4. Cuenca hidrográfica. 9
4.3.5. Cambio climático en Colombia. 9
4.3.6. Vulnerabilidad 11
4.3.7. Escenario. 12
4.3.8. Forzamiento radiativo como medida de los RCP. 13
4.3.9. Zona de vida Bosque húmedo montano bajo (bh-MB). 14
4.3.10. Zona de vida Bosque húmedo premontano (bh-PM). 14
4.3.11. Zona de vida Bosque seco montano bajo (bs- MB). 15
4.3.12. Geología. 16
4.3.13. Geomorfología. 16
5. Metodología 24
5.2. Enfoque metodológico 24
5.3. Delimitación área de estudio (municipios) 25
5.4. Fase 1 Caracterización morfométrica para el periodo de referencia 26
5.4.1. Morfometria cuenca Río Chicamocha. 26
5.4.2. Índices periodo de referencia (1981-2010). 35
5.5. Fase 2 Índices escenario prospectivo (2041-2070) 52
5.5.1. Clima futuro. 52
5.5.2. Índices escenario futuro. 57
5.6. Fase 3 Zonificación, priorización de microcuencas y acciones de gestión hídrica. 62
6. Resultados y discusión 63
6.2. Fase 1 Caracterización morfométrica para el periodo de referencia 63
6.2.1. Diagnóstico área de estudio. 63
6.2.2. Morfometria cuenca Río Chicamocha. 67
6.2.3. Periodo de referencia (1981-2010). 78
6.3. Fase 2 escenario prospectivo (2041-2070) 96
6.3.1. Clima futuro. 96
6.3.2. Índices escenario prospectivo (2041-2070). 99

6.4. Fase 3 Zonificación, priorización de microcuencas y acciones de gestión hídrica. 125
7. Conclusiones 138
8. Recomendaciones 140
9. Bibliografía 141

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especies más frecuentes del bh_MB 14
Tabla 2 Especies más frecuentes del bh-PM 15
Tabla 3 Especies más frecuentes del bs-MB 15
Tabla 4 Aspecto normativo 18
Tabla 5 Municipios en la Cuenca del Río Chicamocha 25
Tabla 6 Rangos factor de forma 29
Tabla 7 Rangos Coeficiente de compacidad 30
Tabla 8 Clases de valores de masividad 31
Tabla 9 Coeficiente Orográfico 32
Tabla 10 Valores de referencia del índice de Fournier (IMF) 32
Tabla 11. Descripción de la pendiente media 32
Tabla 12 Descripción relación de confluencia 33
Tabla 13 Descripción densidad de drenajes 34
Tabla 14 Índice de Aridez 36
Tabla 15 Estaciones de caudal 37
Tabla 16 Matriz de caudales 39
Tabla 17 Cálculos 40
Tabla 18 Cálculo Vt- Vp 40
Tabla 19 Interpretación de resultados IRH 41
Tabla 20 Cálculo índice IRH 41
Tabla 21 Rangos y categorías del IUA 43
Tabla 22 Consumos analizados 43
Tabla 23 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad 44
Tabla 24 Consumos para producción de algunos tipos de industria 45
Tabla 25 Consumo para uso escolar 46
Tabla 26 Consumo institucional 47
Tabla 27Consumo animales 48
Tabla 28 Cultivos seleccionados para la cuenca del río Chicamocha 49
Tabla 29 Coeficientes de cultivo Kc 49
Tabla 30 Interpretación del IVH 50
Tabla 31 Interpretación índice de stress hídrico relativo 51
Tabla 32 Interpretación índice de disponibilidad per cápita 52
Tabla 33 Parámetros del modelo 54
Tabla 34 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad 58
Tabla 35 Niveles eficientes de pérdidas de agua 58
Tabla 36 Porcentaje de crecimiento para la industria en Boyacá 59
Tabla 37 Porcentaje de crecimiento para la industria en Santander 59
Tabla 38 Porcentaje de crecimiento para el comercio en Boyacá 60

Tabla 39 Porcentaje de crecimiento para el comercio en Santander 60
Tabla 40 Homologación coberturas 61
Tabla 41 Distribución de la Cuenca del Río Chicamocha 65
Tabla 42 Homologación de coberturas 66
Tabla 43 Coberturas 2010-2012, cuenca Chicamocha 67
Tabla 44 Área 69
Tabla 45 Perímetro 69
Tabla 46 Tiempo de concentración 69
Tabla 47 Longitudes 70
Tabla 48 Ancho promedio 70
Tabla 49 Factor de forma para toda la cuenca 70
Tabla 50 Factor de forma Cuenca alta, media y baja 70
Tabla 51 Coeficiente de compacidad para toda la cuenca 71
Tabla 52 Coeficiente de compacidad cuenca alta, media, baja 71
Tabla 53 Coeficiente circularidad cuenca alta, media, baja 71
Tabla 54 Índice de alargamiento cuenca alta, media, baja 72
Tabla 55 Índice de homogeneidad cuenca alta, media, baja 72
Tabla 56 Mediana de altitud y altitud media para cuenca alta, media, baja 74
Tabla 57 Coeficiente de masividad 74
Tabla 58 Coeficiente Orográfico 75
Tabla 59 Valores de referencia del índice de Fournier (IF) 75
Tabla 60. Descripción de la pendiente media 76
Tabla 61 Pendiente media 76
Tabla 62. Drenajes 76
Tabla 63 Cálculo del rb 77
Tabla 64 Descripción relación de confluencia 77
Tabla 65 Calculo de rL 77
Tabla 66 Pendientes por cuenca 78
Tabla 67 Zonas de vida (1981-2010) 79
Tabla 68 Resultados índice de regulación hídrica (IRH) 1981-2010 81
Tabla 69 Relación coberturas e IRH 83
Tabla 70 Resultados Qamb, OHTS y OHTD 84
Tabla 71 Consumos en m^3/año por sectores evaluados 85
Tabla 72 Consumo sector industria, servicios y energía 89
Tabla 73 Resultado consumo Pecuario 91
Tabla 74 Resultados consumo Agrícola 92
Tabla 75 Resultados Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 1981-2010 93
Tabla 76 Zonas de vida 2041-2070 97
Tabla 77 Cambio porcentual de zonas de vida en la cuenca 98
Tabla 78 Resultados índice de regulación hídrica (IRH) 2041-2070 101
Tabla 79 Relación coberturas 2055 e IRH 102
Tabla 80 Resultados Qamb, OHTS y OHTD 2041-2070 103
Tabla 81 Consumos en m^3/año por sectores evaluados 2041-2070 105
Tabla 82 Consumo del sector industria, servicios y energía 2041-2070 109
Tabla 83 Coberturas 2055 113
Tabla 84 Resultado índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 2041-2070 116

Tabla 85 Cuadro comparativo entre los dos periodos evaluados 119
Tabla 86 Priorización de Microcuencas 125

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) 1981-2010 80
Mapa 2 Índice de regulación hídrica (IRH) 1981-2010 82
Mapa 3 Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 1981-2010 95
Mapa 4 Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) 2041-2070 100
Mapa 5 Índice de regulación hídrica (IRH) 2041-2070 102
Mapa 6 Coberturas obtenidas con TerrSet año 2055 114
Mapa 7 Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 2041-2070 118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Pérdida de la cobertura de glacial Nevado Cocuy 10
Figura 2 Abatía parviflora (shismay, 2021) 14
Figura 3 Alnus acuminate (wikiwand., s.f) 14
Figura 4 Baccharis latifolia (Wikipedia, s.f) 14
Figura 5 Befaría resinosa (Helloforos, 2017) 14
Figura 6 Bocconia frutescens (Jimenez, s.f) 14
Figura 7 Cavendishia cordifolia (Latín-Wife, s.f) 14
Figura 8 Cordia alliodora (Bayer, 2015) 15
Figura 9 Tabebuia sp (Wikipedia, 2014) 15
Figura 10 Tabebuia sp (Cranshaw, 2018) 15
Figura 11 Jacaranda caucana (Dalbosco, 2020) 15
Figura 12 Cassia sp (Lochlin, 2015) 15
Figura 13 Inga sp (Plantas y hongos, s.f) 15
Figura 14 Baccharis latifolia (P, 2013) 15
Figura 15 Barnadesia espinosa (Joya, 2014) 15
Figura 16 Croton sp (Lowe´s, s.f) 15
Figura 17 Duranta mutisii (Ramirez, 2019) 15
Figura 18 Polvmnia piramidalis (mariasimonaeneljardin, 2019) 15
Figura 19 Oreopanax sp (Rodriguez, 2019) 15
Figura 20 Consecución metodológica 25
Figura 21 Modelo digital de elevación DEM 27
Figura 22 Metodología delimitación de la cuenca y red hídrica 28
Figura 23 Estaciones de caudal cuenca alta 38
Figura 24 Estaciones de caudal cuenca media y baja 38
Figura 25 Curva de duración de caudales Estación Capitanejo 1981-2010 41
Figura 26 Estudiantes pre-Escolar y primaria de Boyacá y Santander 46
Figura 27 Estudiantes media y superior de Boyacá y Santander 46
Figura 28 Número de camas en hospitales de Boyacá y Santander 46

Figura 29 Esquema de la cuenca del río Chicamocha en WEAP 56
Figura 30 Estudiantes preescolar y primaria periodo 2041-2070 59
Figura 31 Estudiantes Media y superior periodo 2041-2070 59
Figura 32 Ubicación geográfica cuenca Río Chicamocha 64
Figura 33 Mediciones 70
Figura 34 Curva hipsométrica 73
Figura 35 Formas de la curva hipsométrica 73
Figura 36 Comportamiento precipitación multianual 1981-2010 75
Figura 37 Ordenes de los ríos 76
Figura 38 10 municipios con mayores consumos de agua 87
Figura 39 Porcentajes consumo por sectores en la Cuenca del Río Chicamocha 88
Figura 40 Caudales simulados para la estación La Reforma 99
Figura 41. 10 municipios con mayor consumo de agua en el futuro 107
Figura 42 Porcentajes consumo por sectores en la Cuenca del Río Chicamocha (2041-2070) .. 108
Figura 43 Ganancias y pérdidas de coberturas 2010-2017 112
Figura 44 Línea del tiempo coberturas Cuenca Río Chicamocha 2055 (TerrSet) 113
Figura 45 Escenarios de cambio climático. 126
Figura 46 Estación Climatológica. (IDEAM, 2005) 127
Figura 47 Sistema de Información del Recurso Hídrico. (Minambiente, s.f) 127
Figura 48 Taller ambiental en escuela en la cuenca del río Chicamocha. (Villamizar, 2008) ... 127
Figura 49 Junto con el gobernador 128
Figura 50 Voluntarios realizarán 129
Figura 51 Bosques secos del Chicamocha: la importancia de preservar este ecosistema con el apoyo de la comunidad (Corpoboyaca, 2019) 129
Figura 52 La micromedición y las 130
Figura 53 Cultivos en Duitama 131
Figura 54 Acueducto de Los Santos en 132
Figura 55 Terrazas de cultivo 132
Figura 56 Páramo 133
Figura 57 Símbolo de alerta temprana 133
Figura 58 Cambio climático 134
Figura 59 Boyacá se adapta 134
Figura 60 Incendio forestal 134
Figura 61 Sectores económicos 135
Figura 62 Fenómeno del Niño 135
Figura 63 Recurso hídrico 135
Figura 64 Adaptación al CC 136
Figura 65 Microcuencas río Chicamocha 136
Figura 66 Normas recurso hídrico 136
Figura 67 Campesinado 137
Figura 68 Ente de control 137
Figura 69 Actores de la cuenca 137
Figura 70 Socialización 138
Figura 71 Educación Ambiental 138

LISTA DE FICHAS

Ficha 1 Conocimiento 126
Ficha 2 Planificación 127
Ficha 3 Conservación 128
Ficha 4 Caracterización y cuantificación de la demanda 129
Ficha 5 Incorporación de la gestión integral del recurso hídrico 130
Ficha 6 Uso sostenible y eficiente de agua 131
Ficha 7 Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos ……...132
Ficha 8 Incorporación de la gestión de los riesgos 133
Ficha 9 Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica..... 134
Ficha 10 Estrategia Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico 135
Ficha 11 Estrategia Sostenibilidad financiera 136
Ficha 12 Estrategia Participación 137
Ficha 13 Estrategia Cultura del agua 138

ANEXOS

Anexo 1 Morfometría de la cuenca
Anexo 2 Estaciones climáticas
Anexo 3. IRH, Qamb, Estaciones de caudal periodo de referencia
Anexo 4. IUA, IVH, disponibilidad per cápita, stress hídrico-periodo de referencia
Anexo 5. Caudales modelados en WEAP
Anexo 6. Qamb, IRH-periodo RCP
Anexo 7. IUA, IVH, disponibilidad per cápita, stress hídrico-periodo RCP
Anexo 8. Mapa Temperatura para la cuenca del Río Chicamocha 1981-2010
Anexo 9. Mapa Precipitación periodo 1981-2010
Anexo 10. Mapa Microcuencas Río Chicamocha
Anexo 11. Mapa Coberturas 2010-2012
Anexo 12. Mapa Clima, zonas de vida 1981-2010
Anexo 13. Mapa Oferta Hídrica Total superficial OHTS 1981-2010
Anexo 14. Mapa Índice de aridez 1981-2010
Anexo 15. Mapa Índice de Regulación hídrica 1981-2010
Anexo 16. Mapa Caudal ambiental 1981-2010
Anexo 17. Mapa Oferta Hídrica Total Disponible 1981-2010
Anexo 18. Mapa Consumo total 1981-2010
Anexo 19. Mapa Demanda doméstica 1981-2010
Anexo 20. Mapa Demanda Industrial, Servicios y Energía 1981-2010
Anexo 21. Mapa Demanda Pecuaria 1981-2010
Anexo 22. Mapa Demanda Agrícola 1981-2010
Anexo 23. Mapa Índice de Uso del Agua 1981-2010
Anexo 24. Mapa Índice de vulnerabilidad Hídrica 1981-2010
Anexo 25. Mapa Stress Hídrico Relativo 1981-2010
Anexo 26. Mapa Índice de disponibilidad Per Cápita 1981-2010
Anexo 27. Mapa Temperatura multiescenario RCP (2041-2070)

Anexo 28. Mapa Aumento de la Temperatura en °C (Temperatura 2041-2070 menos Temperatura 1981-2010)
Anexo 29. Mapa Precipitación multiescenario RCO (2041-2070)
Anexo 30. Mapa Diferencia en la Precipitación mm (Precipitación 2041-2070 menos Precipitación 1981-2010)
Anexo 31. Mapa Clima, Zonas de vida 2041-2070
Anexo 32. Mapa Oferta Hídrica Total Superficial 2041-2070
Anexo 33. Mapa Diferencia de escorrentía (OHTS 2041-2070 menos OHTS 1981-2010)
Anexo 34. Mapa Índice de aridez 2041-2070
Anexo 35. Mapa Índice de Regulación hídrica 2041-2070
Anexo 36. Mapa Caudal ambiental 2041-2070
Anexo 37. Mapa Diferencia caudal ambiental (Qamb 2041-2070 menos Qamb 1981-2010)
Anexo 38. Mapa Oferta hídrica Total Disponible 2041-2070
Anexo 39. Mapa Diferencia OHTD mm (OTHD 2041-2070 menos OHTD 1981-2010)
Anexo 40. Mapa Demanda Total 2041-2070
Anexo 41. Mapa Demanda hídrica doméstica 2041-2070
Anexo 42. Mapa Demanda Servicios, Industria y Energía 2041-2070
Anexo 43. Mapa Demanda Pecuario 2041-2070
Anexo 44. Mapa Coberturas 2055
Anexo 45. Mapa Demanda sector agrícola 2041-2070
Anexo 46. Mapa Índice de Uso del Agua 2041-2070
Anexo 47. Mapa Índice de Vulnerabilidad Hídrica 2041-2070
Anexo 48. Mapa Índice de stress hídrico relativo 2041-2070
Anexo 49. Mapa Índice de disponibilidad per cápita 2041-2070
Anexo 50. Mapa Priorización de microcuencas

Resumen

Se calculó el índice de vulnerabilidad hídrica para la cuenca del Río Chicamocha en escenarios de cambio climático a nivel municipal, de acuerdo con la metodología establecida en el Estudio Nacional del Agua, con el propósito de apoyar la construcción de lineamientos estratégicos para la gestión ambiental territorial de conformidad con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). Para ello se analizaron dos periodos de tiempo, uno de referencia entre los años 1981-2010 y el segundo, un multiescenario de cambio climático RCP denominado así, porque incluye el promedio de los cuatro escenarios climáticos RCP para los años 2041-2070. La metodología consistió en desarrollar y analizar nueve índices, entre los cuales se encuentran el índice de aridez, índice de vulnerabilidad hídrica, índice de uso del agua, índice de oferta (OHTS y OHTD), cálculo del caudal ambiental, índice de regulación hídrica, stress hídrico e índice de disponibilidad per cápita. Los resultados demuestran que para el periodo prospectivo el 58% de los municipios de la cuenca presentaran vulnerabilidad hídrica, la mayoría ubicados en la cuenca alta, esto significa que la cuenca presenta un sistema hídrico frágil a la hora de mantener la oferta para el abastecimiento de agua y debido a diversas amenazas o fenómenos climáticos como el fenómeno del Niño, el riesgo al desabastecimiento de agua puede aumentar.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, vulnerabilidad hídrica, abastecimiento hídrico, consumo hídrico, balance hídrico.

Abstract

The water vulnerability index was calculated for the Chicamocha River watershed in climate change scenarios at the municipal level, according to the methodology established in the National Water Study, with the purpose of supporting the construction of strategic guidelines for territorial environmental management in accordance with the National Policy for the Integrated Management of Water Resources (PNGIRH). For this, two time periods were analyzed, one of reference between the years 1981-2010 and the second, a multiscenario of climate change RCP called thus, because it includes the average of the four climatic scenarios RCP for the years 2041-2070. The methodology consisted of developing and analyzing nine indexes, among which are the aridity index, water vulnerability index, water use index, offer index (OHTS and OHTD), calculation of the environmental flow, water regulation index, water stress and per capita availability index. The results show that for the prospective period 58% of the municipalities of the basin will present water vulnerability, the majority located in the upper basin, this means that the basin presents a fragile water system when maintaining the supply for the supply of water and due to various threats or climatic phenomena such as the El Niño phenomenon, the risk of water shortages may increase.

Key words: Hydrographic basin, water vulnerability, water supply, water consumption, water balance.

1. Introducción

La cuenca del Río Chicamocha según el Estudio Nacional del Agua (ENA), en los tres últimos estudios, establece que, la cuenca del Río Chicamocha se caracteriza por tener zonas altamente deficitarias respecto al recurso hídrico (IDEAM, 2010), con valores bajos de escorrentía en el cañón de la cuenca (cuenca baja). En relación al rendimiento hídrico posee los menores rendimientos sobre la región que incluye a los municipios de Tunja, Duitama y Sogamoso (valores inferiores a los 15 l/s/km^2 y una escorrentía entre 35 mm/año y 500 mm/año) (IDEAM, 2015). Presenta una moderada regulación hídrica (alta variabilidad de la oferta), altas presiones por uso y una alta a muy alta presión hídrica sobre los ecosistemas por el sector agrícola y pecuario (IDEAM, 2015).

Es importante evaluar las condiciones climáticas futuras, para comprender su incidencia en los parámetros hídricos, específicamente los evaluados en el ENA; la cuenca del río Chicamocha se ubica en los departamentos de Boyacá y Santander y el IDEAM en su tercera comunicación de acuerdo con el quinto informe del IPCC predice aumentos de precipitación y temperatura a nivel departamental para el periodo 2041-2070. Menciona entonces, que el departamento de Boyacá aumentará en 1,6°C y 3,69% en la precipitación, y el departamento de Santander, aumentará la temperatura en 1,7°C y disminuciones en la precipitación en 1.29% (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015), estos cambios de parámetros climáticos fueron analizados en el estudio *El cambio climático como factor transformador del territorio*, el autor evaluó dos índices, escorrentía superficial e índice de aridez (IA) en escenarios A2 y B2 de cambio climático y encontró que, para la cuenca del Río Chicamocha, se acentúan los promedios bajos de escorrentía y el indicador para estudiar el régimen hidrológico (IA), presentó valores moderados a deficitarios de agua (Alarcón, 2017).

Por consiguiente, este estudio pretendió desarrollar la pregunta *¿La cuenca del río Chicamocha tendrá problemas de desabastecimiento del recurso hídrico en el futuro?*, teniendo en cuenta los últimos escenarios de cambio climático evaluados por el IDEAM (los escenarios RCP). Nuestro objetivo fue calcular los índices que se evalúan en el ENA en dos periodos de tiempo 1981-2010 denominado periodo de referencia y 2041-2070 denominado multiescenario

RCP, ya que se trabajó con el promedio de los 4 escenarios climáticos, lo anterior con la finalidad de apoyar la construcción de lineamientos estratégicos conforme a la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) para las microcuencas que presentaron algún tipo de riesgo en los índices evaluados; es importante resaltar que, diez años después de la formulación de la política (año 2010), este proyecto es el primero, que incorpora una evaluación efectiva de la vulnerabilidad hídrica asociada a los objetivos de la misma, incorporando las estrategias. Teniendo en cuenta las dos temporalidades manejadas en la investigación cada ítem en el documento se divide en dos partes, la correspondiente al periodo de referencia y el escenario futuro RCP. Como resultados se encontró que las microcuencas de la cuenca alta presentan vulnerabilidad del recurso hídrico, lo que significa fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta de agua ante periodos secos que podría generar riesgo de desabastecimiento.

2. Justificación

El cambio climático es un tema que ha dejado de verse como un suceso aislado a las diferentes dinámicas poblacionales a nivel global y se ha convertido en el pilar fundamental para la planificación y la toma de decisiones en los territorios de las diferentes regiones del mundo. Se puede afirmar que, aún en los escenarios más optimistas y de mayor compromiso de todas las naciones, se espera un aumento mínimo de la temperatura del planeta en 1,5 y 2,5 °C para finales de este siglo. Dicho aumento supondrá cambios importantes en el sistema planetario, lo cual hace indispensable formular medidas contundentes de adaptación a estos cambios. De hecho, Colombia es altamente vulnerable a sus efectos: de acuerdo con el IDEAM (2017), el 100% de los municipios de Colombia tiene algún grado de riesgo por cambio climático, especialmente las poblaciones que se encuentran ubicadas en zonas inundables de las costas y del interior y en áreas con suelos inestables de las partes altas de las cordilleras. (Procuraduría General de la Nación, 2020)

Para el caso de Colombia, El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), fue designado por el Decreto 291 de 29 de enero de 2004, como la entidad responsable de preparar las Comunicaciones Nacionales en Colombia. De acuerdo con la tercera comunicación de cambio climático emitida en el año 2017, en el análisis de vulnerabilidad y riesgo, a nivel nacional, Boyacá ocupa el puesto 31 en riesgo por cambio climático; en el caso de Santander, este

ocupa el puesto 28 en riesgo por cambio climático, sin embargo, a nivel más detallado la dimensión recurso hídrico y biodiversidad presentan una vulnerabilidad muy alta para los dos departamentos (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017).

Por otra parte, los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas (POMCA) son instrumentos que sirven para la adaptación del territorio al cambio climático, pues a través de ellos se definen las potencialidades y limitantes del territorio que condicionan su uso para permitir el desarrollo sustentable de las regiones, y así alcanzar el equilibrio entre el uso de los recursos por parte de los diferentes sectores económicos, así como la función físico biótica de la cuenca, incluyendo el análisis del clima tanto presente como en condiciones futuras (MADS Y ASOCARS, 2016). Por ende la incorporación del cambio climático en los instrumentos de planificación es una forma de influir positivamente en la construcción de resiliencia, de la capacidad de adaptación de la comunidad y en la toma de decisiones para conservar y transformar el territorio con una visión de futuro, contribuyendo a la meta global de mantener el aumento de la temperatura por debajo de los umbrales de alto impacto (1,5 ºC) (MADS Y ASOCARS, 2016).

En vista de la incidencia que tiene el cambio climático sobre las cuencas hidrográficas y el análisis de vulnerabilidad y riesgo para Boyacá y Santander, se decidió trabajar con la cuenca del río Chicamocha, la cual se encuentra en jurisdicción de los dos departamentos mencionados anteriormente. Este río nace en las cercanías de Tunja en la cuchilla del Cazadero a 2850 msnm y recibe varios nombres en su recorrido, Chulo en su nacimiento, Grande, Tunja y Sogamoso. Esta unidad hidrográfica incluye las zonas más pobladas y de mayor desarrollo agrícola, industrial y económico en Boyacá; el río recorre las provincias de Centro, Tundama, Sugamuxi, Valderrama y Norte; su cauce está represado entre los municipios de Cómbita y Tuta en el embalse La Playa y canalizado entre Duitama y Belencito. En sus primeros 80 km atraviesa el altiplano de Tunja y el valle de Duitama - Sogamoso en relieves planos y ondulados; adelante de la cabecera municipal de Paz de Río su valle se estrecha y da inicio al cañón del Chicamocha por el cual discurre hasta su unión con el río Suárez para formar el Sogamoso (IGAC, 2005). El cañón del Chicamocha formado hace 46 millones de años, es uno de los 58 centros de endemismo del país, y cubre alrededor de 3342 km^2 en una longitud de 244 km (Collazos, Zuluaga, & Cortés, 2020). Esto da muestra de la importancia que tienen las especies para mantener los servicios ecosistémicos que

los bosques prestan a los pobladores de la zona, como el aprovisionamiento de agua, madera y alimento, el control de plagas y la polinización (Delgadillo & Delgadillo, 2013).

De acuerdo con el decreto 1480 de 2007 *por el cual se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones*, la cuenca del río Chicamocha es una cuenca priorizada a nivel nacional, esto quiere decir que las entidades territoriales con jurisdicción en esta cuenca deben adoptar las acciones necesarias para prevenir y mitigar los factores de riesgo asociados a la cuenca, por lo tanto, el aporte de nuestra investigación será un insumo base para la toma de decisiones en lo que respecta al uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico, en vista de los posibles cambios que se puedan dar respecto al clima y sus potenciales efectos sobre las comunidades y el medio ambiente.

3. Objetivos

3.1. General

Calcular el índice de vulnerabilidad hídrica del río Chicamocha, cuenca ubicada en el departamento de Boyacá y Santander, con el propósito de apoyar la construcción de lineamientos estratégicos para la gestión ambiental territorial.

3.2. Específicos

1. Realizar la caracterización morfométrica de la cuenca del río Chicamocha en el período 1981-2010, para que se ajuste a la metodología del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH).

2. Describir los componentes del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) que deben ser aplicados a la cuenca del río Chicamocha, en el periodo 1981-2010, desde el Estudio Nacional del Agua (ENA) y la normatividad vigente.

3. Construir el escenario promedio RCPs, por sus siglas en inglés, “Caminos Representativos de concentración” para el periodo 2041-2070 aplicado a la cuenca del río Chicamocha.

4. Diseñar las acciones de gestión asociadas al índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) para la cuenca del río Chicamocha.

4. Marco de referencia

4.1. Conceptos

4.1.1. Cambio climático

El cambio climático es un comportamiento estadístico anómalo en los valores medios del clima, que se prolonga durante décadas o periodos incluso más largos. El cambio climático es generado debido a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo como erupciones volcánicas, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (MADS Y ASOCARS, 2016).

4.1.2. Informes del IPCC

El IPCC es el organismo internacional líder para la evaluación del cambio climático. Fue establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para proporcionar al mundo una visión científica clara sobre el estado actual del conocimiento del cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socioeconómicos (IDEAM, 2012). Los principales productos del IPCC consisten en Informes de Evaluación, Informes Especiales, Guías Metodológicas y Documentos Técnicos. “los Informes de Evaluación constan de varios volúmenes, y proporcionan todo tipo de información científica, técnica y socioeconómica sobre el cambio climático, sus causas, sus posibles efectos, y las medidas de respuesta correspondientes” (IDEAM, 2012).

El Primer Informe de Evaluación del IPCC se publicó en 1990, y confirmó los elementos científicos que suscitan preocupación acerca del cambio climático. A raíz de ello, la Asamblea General de las Naciones Unidas decidió preparar una Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC). Esa Convención entró en vigor en marzo de 1994 (IDEAM, 2012). El Segundo Informe de Evaluación, "Cambio climático 1995", se puso a disposición de la Segunda Conferencia de las Partes en la CMCC, y proporcionó material para las negociaciones del Protocolo de Kioto derivado de la Convención (IDEAM, 2012). El Tercer Informe de Evaluación, "Cambio climático 2001", consta de tres informes de grupos de trabajo sobre "La base científica", "Efectos, adaptación y vulnerabilidad", y "Mitigación", así como un Informe de síntesis en el que

se abordan diversas cuestiones científicas y técnicas útiles para el diseño de políticas (IDEAM, 2012)

El Cuarto Informe de Evaluación, "Cambio Climático 2007", publicado en cuatro informes de grupos de trabajo sobre "La base científica", "Impactos, adaptación y vulnerabilidad", y un documento síntesis que se basa en la evaluación llevada a cabo por los tres grupos de trabajo que ofrece una visión integrada del cambio climático como la parte final del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4) (IDEAM, 2012). El Quinto informe de evaluación: En 2014, el IPCC finalizó el Quinto Informe de Evaluación. En comparación con los informes anteriores, en el Quinto Informe de Evaluación se hace más hincapié en la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible, los aspectos regionales, la gestión del riesgo y la elaboración de una respuesta mediante la adaptación y la mitigación (IPCC, 2020).

El sexto informe de evaluación: El Grupo Intergubernamental de Expertos elaborará tres informes especiales, un informe metodológico sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y el Sexto Informe de Evaluación (IE6) (IPCC, 2020). En la 43ª reunión del IPCC, (abril de 2016), se acordó que el informe del Sexto Informe de Evaluación se terminaría en 2022. Entonces, los países examinarán los progresos realizados para lograr su objetivo de mantener el calentamiento global muy por debajo de 2 °C mientras que, al mismo tiempo, seguirán los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C. Las contribuciones de los tres Grupos de trabajo al IE6 estarán listas en 2021 (IPCC, 2020).

4.1.3. Tercera comunicación nacional de cambio climático

Las Comunicaciones Nacionales son el mecanismo de reporte de los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para mostrar sus avances respecto a la Convención (acciones de mitigación, adaptación, educación, entre otros.) En los años 2001 y 2010 Colombia presentó sus dos primeras Comunicaciones Nacionales. Adicionalmente las Comunicaciones Nacionales son la principal fuente de información y conocimiento técnico para apoyar la toma de decisiones de las instituciones, los sectores, las regiones y otros interesados, sobre los potenciales efectos del cambio climático en Colombia, de

modo que se contribuya a la construcción de un futuro sostenible que mejore el bienestar humano de los colombianos (IDEAM, 2020). La elaboración de la Tercera Comunicación, es un proceso de construcción colectiva interinstitucional que lideran el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Departamento Nacional de Planeación y la Cancillería de Colombia; con el apoyo permanente del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD y del Fondo para el Medio Ambiente Mundial FMAM, en el que participaron las instituciones públicas y privadas tienen información relacionada con el cambio climático, acciones sectoriales y territoriales relevantes para la mitigación, la adaptación y la educación del país respecto al tema (IDEAM, 2020).

4.1.4. Cuenca hidrográfica

Decreto 1640 de 2012, de MINAMBIENTE, "Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones" Artículo 3. Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2012).

4.1.5. Cambio climático en Colombia

Nevados: En el siglo XIX en Colombia existían 19 nevados con 348 km^2, de los cuales a 2021 solo quedan 6 (Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruíz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Nevado del Huila.) con 36.6 km^2, es decir, se ha perdido el 89.4% de cobertura glacial (Ochoa Suárez, 2020), esto debido a la susceptibilidad de los mismos al cambio climático y las condiciones locales, estamos entonces ante la posibilidad de perder la totalidad de la cobertura glacial que queda, en unas tres a cuatro décadas. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017). En Colombia los nevados presentan una acelerada pérdida de área desde 1850, sin embargo, en los últimos 30 años se ha presentado una mayor desglaciación con pérdidas de 3 a 5% de cobertura por año con un retroceso de 20 a 25 m por año (IDEAM, 2018). Colombia posee coberturas de glacial muy

sensibles a los cambios, por lo que son un indicador del cambio climático, esto se ha visto reflejado en los periodos denominados fenómeno del niño y de la niña, donde dichos glaciares ganan o pierden cobertura. En el departamento de Boyacá se ubica una parte del PNN el Cocuy el cual comprende el nevado del Cocuy, más exactamente en el municipio de Güicán, en el cual desde el reporte IDEAM de 1850 ha perdido el 91,07% de su cobertura, lo que incidirá en la disponibilidad del recurso hídrico, cuando desaparezca (IDEAM, 2018)

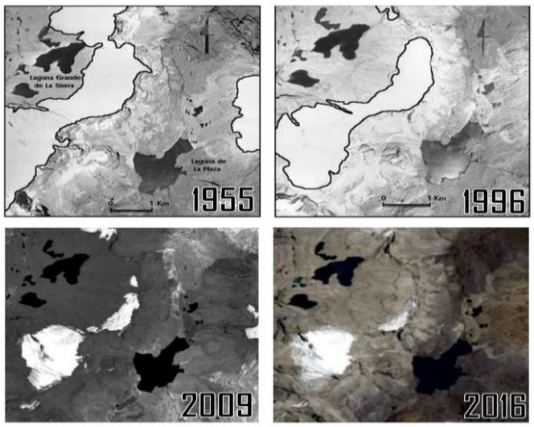


Figura 1 Pérdida de la cobertura de glacial Nevado Cocuy
Fuente: (IDEAM, 2018)

Por un lado, costado occidental, el glacial Cocuy, comprende la vertiente del río Magdalena, y por el oriental la del río Orinoco. Con la fusión acelerada que actualmente se presenta, genera un aporte constante de agua a la vertiente Occidental, drenada por los ríos Lagunillas, Cóncavo, Corralitos, San Pablín y Cardenillo hacia el río Nevado, que desemboca al río Chicamocha. En el costado Oriental nacen el río Mortiñal y las quebradas Patiobolos y Las Tapias que se conectan con el río Casanare y los ríos Ratoncito y Cubogón, que fluyen al río Arauca (IDEAM, 2018).

Páramos: En los páramos se ha visto un progresivo aumento de la temperatura, así como la disminución de la precipitación y aguaceros o eventos de lluvia con alta intensidad, por un lado, esto ocasiona mayor evaporación del agua en las zonas de páramo, lugar donde nacen muchos cuerpos de agua que abastecen a grandes ciudades (IDEAM, 2011). En los ecosistemas de Páramo de acuerdo con un análisis de IDEAM, en el cual se analizaron 600 estaciones del país, se encontró una disminución en los milímetros anuales leídos en esas estaciones (IDEAM, 2010)

Los páramos que presentan la mayor afectación y han aumentado en promedio 1°C la temperatura máxima, en un periodo de tiempo de 10 años son los que se encuentran a más de 3700 msnm los cuales pertenecen a las estaciones climáticas Las brisas en caldas y El cocuy en Boyacá; otras estaciones como El Cardón, El Túnel, Cusagui en Boyacá, Berlín en Santander y El Paraíso en Nariño, aumentan su temperatura máxima en 0.5°C en promedio. En cuanto a la temperatura mínima, está aumentó para muchos páramos, sin embargo, disminuyó para las estaciones Sierra Nevada El cocuy, El Cardón, El Túnel, Cusagui en Boyacá; El Paraíso en Nariño, Aeropuerto Nariño en Pasto, y Aeropuerto Sesquicena en San Andrés (IDEAM, 2018).

4.1.6. Vulnerabilidad

De acuerdo con el Decreto 1640 de 2012 por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones, dónde de define vulnerabilidad, como:

Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2012).

De acuerdo con el Panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC Panel Integubernamental de Cambio Climático, 2007) se define la vulnerabilidad como “El grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos...”

4.1.6.1 Vulnerabilidad hídrica

En la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico (2010), se contempla la evaluación de la influencia de cambio climáticos respecto al riesgo asociado con la oferta de agua, conforme este se relaciona con eventos anormales en el balance hídrico. En general la vulnerabilidad del recurso hídrico comprende dos componentes:

1) La capacidad de los sistemas hídricos para conservar y mantener los rendimientos hídricos actuales ante posibles alteraciones climáticas, debidas tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático

2) La sensibilidad de los diferentes sectores de usuarios, entre ellos los sistemas de abastecimiento y distribución, frente a la reducción de la oferta y disponibilidad del agua (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2010)

La finalidad de analizar la vulnerabilidad de los recursos hídricos, comprende la cualificación del grado de fragilidad de la fuente respecto al abastecimiento y a la amenaza de sequía cuando se presentan periodos con condiciones climáticas extremas, es decir, analiza la fragilidad y efectos de un desbalance o alteración del ciclo hidrológico a causa del cambio climático, ya que podría causar disminución del recurso, afectar la disponibilidad, intensidad y distribución en las precipitaciones, generando cambios en la escorrentía superficial, en la recarga de acuíferos, cantidad de agua evapotranspirada por las platas entre otros. Lo que se pretende entonces con este tipo de estudios es generar diagnóstico, con este último se plantea un proceso adaptativo para reducir la vulnerabilidad y fortalecer la capacidad de recuperación (Ocampo, 2012)

4.1.7. Escenario

"Un escenario es una descripción estimable sobre cómo puede desarrollarse el futuro. Esta descripción está basada en un conjunto de variables y supuestos sobre fuerzas y relaciones de cambio claves, que pueden originar un convincente posible estado futuro sobre algo." (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015). Los escenarios se constituyen en poderosas herramientas de apoyo a la gestión, puesto que permiten al tomador de decisiones bajo algunos supuestos veraces y científicamente soportados, enfrentar la complejidad y la incertidumbre, y aproximarse a la manera de cómo podría ser el futuro, de modo que pueda anticiparse a los hechos que se pudieran desarrollar en un lugar determinado, utilizando la planificación, los proyectos y las inversiones (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015). Al usa Escenarios de Cambio Climático no quiere decir que se predecirse el futuro climático, se evalúa un amplio espectro de posibilidades respecto al posible comportamiento del clima en el futuro, con el fin de orientar decisiones robustas que permitan anticiparse a los posibles hechos y generar desde hoy

acciones eficaces que permitan introducir los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos necesarios para no llegar a la situación proyectada de un futuro desfavorable. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015)

Los escenarios generados por el IDEAM son proyecciones de posibles variaciones de precipitación y temperatura de acuerdo con caminos representativos de concentración de emisiones o RCP los cuales son escenarios de forzamiento radiactivo RCP2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, a partir de los modelos climáticos globales disponibles en la base de datos del proyecto Couple Model Intercomparison Project Versión 5 – CMIP5. De igual forma, se generan compilaciones de varios de ellos (los que más se acoplen a el comportamiento local) en arreglos conocidos como ensambles multimodelo y multiescenario, los cuales permiten promediar las respuestas de los diferentes RCP para tomar decisiones nacionales y regionales, sin perder su rigor científico (MADS Y ASOCARS, 2016)

4.1.8. Forzamiento radiativo como medida de los RCP

El Forzamiento Radiactivo (FR) es un proceso que altera el equilibrio de energía del sistema Tierra–atmósfera, a raíz de un cambio en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol. cuando el FR es positivo se calienta el sistema (más energía recibida que emitida), cuando el FR negativo lo enfría (más energía perdida que recibida). El metro cuadrado (W/m2), es la unidad de medida del FR. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017). El FR puede deberse a cambios en la radiación solar incidente, a incrementos en la concentración de gases como los GEI y los aerosoles, o a cambios en las propiedades reflectivas superficiales del planeta (cambios en los usos del suelo a coberturas que reflejan más la radiación solar, por ejemplo, las áreas de construcciones urbanas). (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017). Así, al hablar de escenarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5, no se están indicando aumentos de temperatura en grados centígrados, se indica la cantidad de energía que retiene el planeta, producto del FR: 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5 W/m2. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017)

4.1.9. Zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB)

Los límites climáticos corresponden a una bíotemperatura media aproximada entre 12 y 18°C, un promedio anual de lluvias de 1000 a 2000 mm. Respecto a la actitud se puede señalar se encuentra alrededor de 2000 a 3000 m.s.n.m. (Guzman, 1996).

Tabla 1 Especies más frecuentes del bh_MB

 *Figura 2 Abatía parviflora (shismay, 2021)*	 *Figura 3 Alnus acuminate (wikiwand., s.f)*	 *Figura 4 Baccharis latifolia (Wikipedia, s.f)*
 *Figura 5 Befaría resinosa (Helloforos, 2017)*	 *Figura 6 Bocconia frutescens (Jimenez, s.f)*	 *Figura 7 Cavendishia cordifolia (Latín-Wife, s.f)*

4.1.10. Zona de vida bosque húmedo premontano (bh-PM)

Se extiende por la vertiente oriental del río Magdalena, respecto a sus límites climáticos está la temperatura media entre 18 a 24°C, lluvias entre 1000 a 2000 mm y altura en un rango de los 900 a 2000msnm, presenta dos periodos de lluvias, el primero abril y mayo y el segundo de septiembre a noviembre, posee paisajes geomorfológicos como valles, ríos de arrugadas topografías, lomeríos y laderas desde poco inclinadas hasta fuertemente quebradas. Por las características mencionadas es un franja climática bastante intervenida por el hombre y la flora nativa no se conserva, solo en fragmentos de pendientes muy fuertes (Guzman, 1996).

Tabla 2 Especies más frecuentes del bh-PM

 *Figura 8 Cordia alliodora (Bayer, 2015)*	 *Figura 9 Tabebuia sp (Wikipedia, 2014)*	 *Figura 10 Tabebuia sp (Cranshaw, 2018)*
 *Figura 11 Jacaranda caucana (Dalbosco, 2020)*	 *Figura 12 Cassia sp (Lochlin, 2015)*	 *Figura 13 Inga sp (Plantas y hongos, s.f)*

4.1.11. Zona de vida Bosque seco montano bajo (bs- MB)

Tabla 3 Especies más frecuentes del bs-MB

 *Figura 14 Baccharis latifolia (P, 2013)*	 *Figura 15 Barnadesia espinosa (Joya, 2014)*	 *Figura 16 Croton sp (Lowe´s, s.f)*
 *Figura 17 Duranta mutisii (Ramirez, 2019)*	 *Figura 18 Polvmnia piramidalis (mariasimonaeneljardin, 2019)*	 *Figura 19 Oreopanax sp (Rodriguez, 2019)*

El rango bioclimático corresponde a temperatura de 12 a 18°C, con precipitaciones de 500 a 1000mm, dentro del rango altitudinal 2000 a 3000 msnm. Se produce heladas y escarchas. Bastante intervención humana, lo que genera que la flora no se conserve y en su lugar se realicen actividades antrópicas (Guzman, 1996)

4.1.12. Geología

En el departamento de Boyacá existen amenazas de origen antrópico como la erosión en las cuencas de los ríos Chicamocha y Nevado, donde se produce una excesiva sedimentación en los embalses y lechos de ríos (IGAC, 2005). De igual forma, se presentan diferentes procesos de erosión que varían desde ligera a muy severa. En el área de la cuenca del río Chicamocha se han identificado procesos erosivos muy severos, desde los sectores de Sogamoso, hasta las áreas de Soatá y el sector de Capitanejo, en límites con el departamento de Santander. También sobre la cuenca del río Nevado, desde los municipios de El Cocuy, Panqueba, Guacamayas, El Espino hasta su confluencia con el río Chicamocha (IGAC, 2005).

Existen algunas áreas en el departamento de Boyacá, que presentan alta susceptibilidad a los fenómenos de degradación, que podrían catalogarse como propensos a la desertificación y sequía, tales como la cuenca del río Chicamocha en los sectores de Soatá, Capitanejo y Paz del Río (IGAC, 2005).

4.1.13. Geomorfología

El paisaje de Valle en el departamento de Boyacá está asociado a los principales sistemas de drenaje que cruzan por el departamento como el río Magdalena, al occidente, el río Chicamocha por el centro y los ríos Arauca y Lengupá, hacia el oriente del departamento. Asociados a estos valles principales, se encuentran las mayores geoformas del ambiente fluvial y coluvial (IGAC, 2005).

Material parental: En los suelos del paisaje de Valle, el material corresponde a depósitos clásticos gravigénicos e hidrogénicos de aluviones recientes que han aportado los ríos Magdalena, Chicamocha, Margua y Upía. El origen poligenético aluvial se manifiesta significativamente en su

composición mecánica, química y mineralógica. La textura va desde acumulaciones gruesas de arena y gravilla hasta la arcilla muy fina, ampliamente combinadas y que en distancias relativamente cortas cambian tanto lateral como verticalmente (IGAC, 2005).

Tipos de Relieve de Origen Denudacional

Crestas ramificadas (filas y vigas): Sobre estos relieves son frecuentes los procesos geomorfológicos activos como la erosión, remoción en masa y escurrimiento difuso. Estas áreas son altamente sensibles a la erosión hídrica, debido a los usos inadecuados del suelo. Los materiales más comunes, sobre los cuales se desarrollan estas geoformas, son las riolitas, paragneises, cuarzomonzonitas, cuarzodioritas, areniscas de grano fino y rocas sedimentarias blandas. Se presenta este tipo de geoformas, en diferentes sectores del departamento de Boyacá, en particular en el Macizo de Floresta, El Cañón del Chicamocha, hacia los límites con el departamento de Santander y hacia las provincias de Norte y Gutiérrez (IGAC, 2005).

Tipos de Relieve de Origen Agradacional

Vegas: Los relieves planos y bajos de las vegas asociadas a los lechos activos de los ríos y a las orillas de los ríos mayores; generalmente tienen un plano de inundación de tamaño considerable; su forma es alargada y angosta, paralela a la dirección de la corriente. En el departamento de Boyacá, se presentan especialmente en climas cálido húmedo y muy húmedo, hacia los valles de las cuencas de los ríos Arauca y Magdalena; en los climas fríos de las cuencas de los valles de los ríos Suárez y Chicamocha, donde las vegas son poco notorias. El material que las origina suele corresponder a depósitos de aluviones heterométricos, planos a ligeramente inclinados, con pendientes del 1 al 3%. En algunos casos, los niveles de las vegas son inundables, sobre todo en épocas de crecientes de los ríos, pero aprovechables y explotables en épocas secas (IGAC, 2005).

4.2. Aspecto normativo

Tabla 4 Aspecto normativo

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 Código de Recursos Naturales	**Artículo 312.** Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. Artículo 316.- Se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos. (Congreso de la República, 1974)
Ley 99 de 1993 "Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente…"	**ARTÍCULO 33**. Creación y Transformación de las Corporaciones Autónomas Regionales. La administración del medio ambiente y los recursos naturales renovables estará en todo el territorio nacional a cargo de Corporaciones Autónomas Regionales. Créanse las siguientes Corporaciones Autónomas Regionales: Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, su jurisdicción comprenderá el departamento de Santander, con exclusión de los municipios que hacen parte de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACA, su jurisdicción comprenderá el departamento de Boyacá con excepción de los municipios de Chiquinquirá, Saboyá, San Miguel de Sema, Caldas, Buenavista y Ráquira que hacen parte de la CAR; los municipios de Pajarito, Labranza grande, Paya, Pisba y Cubará que hacen parte de CORPORINOQUIA; y los municipios que pertenecen a la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR. (Congreso de la República de Colombia, 1993)
Ley 1523 del 24 de abril de 2012	"Por el cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones". Artículo 31. Las Corporaciones Autónomas Regionales en el Sistema Nacional...Apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo. 2. Las corporaciones autónomas regionales deberán propender por la articulación de las acciones de adaptación al cambio climático y la de gestión del riesgo de desastres en su territorio, en virtud que ambos procesos contribuyen

	explícitamente a la gestión ambiental territorial sostenible (Congreso de la República de Colombia, 2012)
Decreto 1640 del 02 de agosto de 2012	"Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones" Artículo 4. De la estructura para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos. Se establece la siguiente estructura hidrográfica: 1. Áreas Hidrográficas o Macrocuencas; 2. Zonas Hidrográficas; 3. Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente. La cuenca del río Chicamocha corresponde a la subzona hidrográfica *2403* de acuerdo con la Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia establecida por el IDEAM. (Presidencia de la República, 2012)
Decreto 1076 de 2015 "Por medio del cual se expide el Decreto Único Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible"	ARTÍCULO 1.1.2.2.1 Objeto. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible ambiental del País (Presidencia de la República, 2015) Expediente: LAV0027-00-2018: En la cuenca baja del río Chicamocha se localiza el proyecto "Celsia Solar Chicamocha" en jurisdicción del municipio de Los Santos en el departamento de Santander y cuyo objetivo es instalar y operar un complejo solar fotovoltaico. Expediente LAM 3504: El proyecto Construcción y Operación de la Central Termoeléctrica El Remanso Termopaipa IV, tiene como objetivo generar energía eléctrica a partir de la combustión de carbón; incluyendo la línea de transmisión de 2 Kilómetros de longitud a la subestación de TERMOPAIPA III y conectada al sistema interconectado nacional por líneas existentes. Expediente LAM 4917: El objetivo de este proyecto es "realizar la construcción de la variante del paso vial por el municipio de Málaga, departamento de Santander". Se ubica en el municipio de San José de Miranda entre las veredas Versalles, Yerbabuena y Tequia, que corresponde al sector de la intersección del K0+000, que es el inicio de la Variante, el trazado continúa a partir del K1+930 en el municipio de Málaga sobre el costado occidental del casco urbano, por un sector desprovisto de viviendas. Expediente LAV-0040-00-2015: El objetivo del proyecto es explotar un yacimiento de caliza dentro del Contrato de Concesión 14665 que cubre un área total de 656 hectáreas y 4,594 m2, se ubica en los municipios de Santa Rosa de Viterbo y Duitama.

	Expediente LAM 2375: El proyecto se basa en la "Rehabilitación, Reconstrucción y Mantenimiento de la Red Férrea del Atlántico". El objetivo del proyecto es rehabilitar, reconstruir, mantener y operar la red férrea del Atlántico en los sectores Bogotá - Santa Marta, Bogotá-Belencito y conservar en óptimas condiciones la operación en la vía férrea. LAM 4437: El proyecto "Área de Interés Exploratorio Muisca" se localiza en jurisdicción de los municipios de Tota y Pesca en el departamento de Boyacá. LAM 0408: El proyecto "Explotación de Caliza en los Títulos Mineros ubicados en los municipios de Nobsa, Tibasosa, Corrales y Busbanzá, del departamento de Boyacá", tiene como objetivo explotar las calizas en las minas Nobsa, Suescún y Corrales que hacen parte del contrato de operación 19925, para la fabricación de cemento en la planta Holcim. LAM3520: El proyecto "Área de Interés para el Desarrollo del Campo Buenavista tiene como objetivo la producción del pozo Bolívar 1, y perforación del pozo de desarrollo Bolívar 2, ampliación de facilidades de producción, construcción de líneas de flujo y transporte de crudo por carrotanque. LAM 0273: El proyecto Central Termoeléctrica Paipa – TERMOPAIPA- tiene como objetivo generar energía eléctrica a partir de la energía térmica, con el uso del carbón como combustible fósil principal, para abastecer el sistema de interconexión nacional y de distribución regional y/o local, en el Nordeste del país.

4.2. Estudios previos

4.2.1. Estudios previos en el río Chicamocha

- Rincón Lara & Pascual Aguilar (2020), realizaron la caracterización de la cuenca Alta del Rio Chicamocha, bajo escenarios de cambio climático a través de la plataforma Hydro-BID. Plantearon tres escenarios de cambio climático, el primero un aumento de temperatura y precipitación, el segundo un aumento de temperatura sin alterar la precipitación y el tercero un aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, dando como resultado que el aumento de la precipitación, más que los cambios de temperatura, impulsa la escorrentía y la evapotranspiración, viéndose afectada la cuenca a nivel de caudal entre 2 y 5 millones de metros cúbicos, dependiendo del escenario.

- Grosso Morales, Luis Eduardo y Sanabria Lozano, Elizabeth Selene (2019) realizaron una investigación en donde se analizó el proceso de desertificación de la Cuenca media del Río Chicamocha, considerando el cambio climático en el periodo 2011 – 2100. El desarrollo de la investigación se fundamentó en cinco etapas que van desde la metodología consistió en la preparación de la información climatológica, la selección del método del índice de aridez, el escenario de cambio climático, la simulación del proceso de desertificación y la discusión de los resultados. Finalmente, la investigación brindó el comportamiento futuro del proceso de desertificación resultante del CC.

- Martínez Dallos, Iván Darío y Gabriel Antonio, Pinilla Agudelo (2017) realizaron un estudio sobre la cuenca alta del río Chicamocha en Boyacá- Colombia para la construcción de un índice multimétrico con el fin de evaluar la calidad ambiental y ecológica de los afluentes y la corriente principal del río Chicamocha. Evaluaron variables biológicas, fisicoquímicas e hidráulicas en los ríos Tuta, Jordán y Surba, y la corriente principal del río Chicamocha., posteriormente se seleccionaron nueve variables para la construcción del IELf (Índice de Estado Limnológico Fluvial). El río de peor calidad fue el Jordán y en general toda la cuenca oscila entre un estado malo y crítico (en época seca) debido a la contaminación difusa (proveniente de diversas fuentes) y a la reducción de los caudales.
- Giral Patarroyo, Yenni Fernanda y Ruiz Rodríguez, Yudy Carolina (2017) realizaron un estudio en las cuencas de los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez en el departamento de Santander, su objetivo principal consistió en realizar la zonificación de susceptibilidad por avenida torrencial usando ArcGis, que permitió determinar el área con alta probabilidad de suceptibilidad y crear un modelo hidráulico para establecer los efectos del agua en el programa Hec-Ras y HecGeo-Ras.
- Mora Mariño, Wilfredy y Ochoa Guerrero, Rene Gilberto (2016) realizaron un modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas Hec-ras, Geo-ras y ArcGIS, para el sector comprendido entre los municipios de Corrales-Paz de Rio a lo largo del rio Chicamocha

- Jiménez Beltrán, Angie Alejandra y Cortes Naranjo, Diego Andrey (2016) realizaron una modelación dinámica de la calidad de agua del Río Chicamocha en el tramo desde la estación aguas arriba de Tunja kilómetro 2+913 hasta la estación de monitoreo Oicata kilómetro17+422 incluyendo el vertimiento de la ciudad de Tunja utilizando el modelo QUAL2Kw versión 6 y formularon medidas para el mejoramiento de la calidad del agua de acuerdo con la implementación de soluciones ambientales que prioricen la gestión del recurso hídrico.

4.2.2. Estudios previos cambio climático y vulnerabilidad del recurso hídrico

- Alarcón Hincapié, Juan Carlos y Pabón Caicedo, José Daniel (2013), realizaron un estudio sobre el cambio climático en los escenarios A2 y B2 del IPCC (2007) y la distribución espacial, de las formaciones vegetales en Colombia, para periodos 2011-2040 y 2070-2100, donde encontraron que se verán afectadas las coberturas de pisos altitudinales bajos, los páramos y coberturas altoandinas.

- Erick Jefrey Huertas Urrego (2016), realizó la evaluación de la vulnerabilidad y amenaza de los sistemas hídricos naturales para la cuenca del río Sumapaz, usando índices como: índice de retención y regulación hídrica, índice de variabilidad, índice morfo métrico de torrencialidad, índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales, índice de aridez, índice de uso del agua, índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, donde se encontró que la vulnerabilidad al desabastecimiento está en rango de alto a medio, en la mayoría de las subcuencas, sin embargo las coberturas que se conservan naturales como el páramo, presenta índices de rango bajo.
- IDEAM (2011), realizó una metodología para el análisis de la vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del río Cauca, en escenarios A2 y B2, de cambio climático, se analizaron parámetros de Morfometría de las cuencas.

- Otálora Hernán, María Camila y Hernández Gamboa, Juan Sebastián (2018), realizaron una investigación denominada Estimación de los índices hídricos (IUA,IRH, IVH) y formulación de medidas para la mitigación del desabastecimiento en la subcuenca Arroyo Grande Corozal de la cuenca Río Bajo San Jorge, como se mencionó

hallaron el índice de uso del agua, índice de regulación hídrica e índice de vulnerabilidad hídrica, para los cuales se desarrolló debido a la ausencia de datos climáticos de caudal, el modelo lluvia-escorrentía, obteniendo caudales medios mediante el software Hec-hms para el periodo 1995 y 2015. Para la estimación de la demanda hídrica se tuvo en cuenta la demanda doméstica, teniendo como base de cálculo los parámetros establecidos en el RAS tituló B, para la demanda sectorial agrícola, se usó el censo nacional agropecuario, los POT de los municipios y con el mapa de coberturas, se identificaron los cultivos y con ello la demanda de agua.

- Rojas Garzón, Laura Johanna y López Jiménez, Víctor Leonardo (2017) realizaron un estudio para la cuenca del Río Blanco, para la cual analizaron la vulnerabilidad hídrica en escenarios de cambio climático, usaron como tiempo de referencia, los años de 1997 a 2012, datos climáticos fueron regionalizados por medio del software ArcGIS. Evaluaron además el riesgo a la ocurrencia de eventos catastróficos. Para la evaluación de la vulnerabilidad usaron la ecuación de vulnerabilidad Global, donde se tienen en cuenta factores, físicos, sociales, ambientales y económicos.

- Vélez, J. J y Ocampo O.L (2012) realizaron una investigación donde analizaron la vulnerabilidad hídrica del Río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático, utilizando índices hidrológicos como índice de regulación hídrica, oferta hídrica total, caudal ambiental, oferta hídrica disponible, demanda hídrica, índice de disponibilidad per cápita, índice uso de agua e índice de disponibilidad por desabastecimiento; como resultados obtuvieron baja capacidad de regulación y retención, stress hídrico por disponibilidad per cápita por ende una vulnerabilidad hídrica en la cuenca.

5. Metodología

5.1. Enfoque metodológico

El desarrollo de la investigación consta de tres fases, en la primera, se realiza un reconocimiento del área de estudio, por medio de la Morfometría de la cuenca y los índices del periodo de referencia, la segunda fase correspondiente a los índices del escenario prospectivo y la última respecto a la priorización que se hace de las microcuencas de la cuenca del Río Chicamocha, junto con las fichas lineamientos estratégicos conforme a la Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. El índice de vulnerabilidad hídrica IVH es un índice de riesgo, mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta que permita el abastecimiento de agua a las diferentes poblaciones (IDEAM, 2019). Incluye indicadores de presión y del sistema hídrico (Figura 20), adicional a los índices necesarios para hallar el IVH, se complementa el análisis con el índice de aridez, stress hídrico e índice de disponibilidad per cápita.

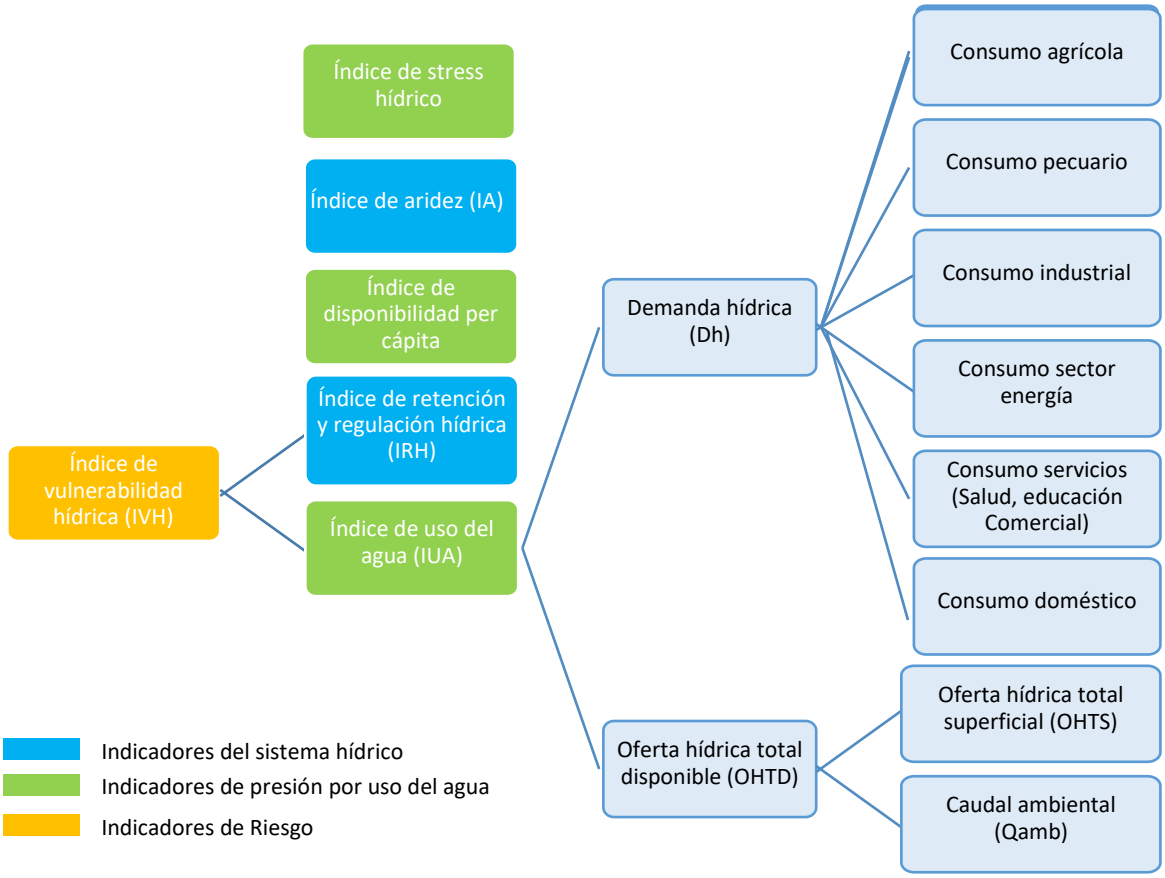


Figura 20 Consecución metodológica

5.2. Delimitación área de estudio (municipios)

Tabla 5 Municipios en la Cuenca del Río Chicamocha

MUNICIPIO	Área en la cuenca (ha)	MUNICIPIO	Área en la cuenca (ha)	MUNICIPIO	Área en la cuenca (ha)
VIRACACHA	94.9	GAMEZA	9320	COVARACHIA	10326
MOGOTES	11540.3	SAN ROSA VITERBO	9394	BUSBANZÁ	2450
SORA	1151.4	CARCASI	23962	EL ESPINO	6932
GUICAN	23082.3	EL COCUY	23829	FIRAVITOBA	10845
MONGUA	11242.8	SIACHOQUE	12026	TIBASOSA	9425
CHISCAS	20771.8	ARATOCA	17156	TIPACOQUE	7206
SOCOTA	21568.8	TUTAZA	12272	TOPAGA	3375
VILLANUEVA	4027.1	GUACA	27286	SOATA	11177
CURITI	9066.9	CERINZA	6253	MACARAVITA	10409
CERRITO	16514	ONZAGA	49662	JORDAN	3223
LOS SANTOS	11426.4	SANTA BARBARA	18380	MALAGA	5740
PIEDECUESTA	19978.6	SAN JOAQUIN	14385	SAN ANDRES	28097
CHITA	27343.6	BELEN	16123	SUSACON	18388
PAIPA	17585.3	IZA	3478	MOLAGAVITA	17924
CONCEPCION	15858	SOCHA	15358	TOCA	16850
TOTA	9778.8	SATIVASUR	5426	TUTA	16442
CUITIVA	2464.4	ENCISO	7400	LA UVITA	16360
PESCA	16331.5	MONGUI	6960	PAZ DE RIO	12444
SORACA	3457.9	JERICO	13203	CEPITA	10960
COMBITA	9342.3	OICATA	5965	FLORESTA	8775
DUITAMA	13859.5	PANQUEBA	3955	CAPITANEJO	8524
TUNJA	8340.9	SAN MATEO	12129	SAN JOSE DE MIRANDA	7572
SOGAMOSO	14885.6	SATIVANORTE	16133	SAN MIGUEL	7093
SOTAQUIRA	19942.6	BETEITIVA	10209	GUACAMAYAS	5878
TASCO	15318.2	BOAVITA	14445	NOBSA	5494
MOTAVITA	4511.4	CORRALES	6186	CHIVATA	5001

La cuenca del Río Chicamocha comprende 90 municipios de los departamentos de Boyacá y Santander; de acuerdo con la delimitación generada en ArcGIS y el Shape de municipios de Colombia del DANE, sin embargo, debido al poco porcentaje que algunos representaban en la cuenca (menos del 1%) fueron excluidos de los análisis de este trabajo (Arcabuco, Tame, San Gil, Aquitarnia, Chiquiza, Encino, Coromorro, Tona, La salina, Silos, Rondón, Cucaita) por ende, los analizados (78 municipios, (ver tabla 5) son 55 del departamento Boyacá y 23 de Santander.

5.3. Fase 1 Caracterización morfométrica para el periodo de referencia

FASE 1: Caracterización morfométrica para el periodo de referencia
Objetivo específico 1 y 2: 1. Realizar la caracterización morfométrica de la cuenca del río Chicamocha en el período 1981-2010, para que se ajuste a la metodología del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH). 2. Describir los componentes del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) que deben ser aplicados a la cuenca del río Chicamocha, desde el Estudio Nacional del Agua (ENA) y la normatividad vigente.
Actividades 1. **Recolección de información climática:** se recolectarán datos de estaciones climáticas, limnimétricas y limnigráficas de Boyacá y cercanías, que tengan datos del periodo establecido (1981-2010). Así como información de coberturas vegetales, usos del agua, demandas. 2. **Caracterización morfométrica de la cuenca:** se realizará en el software ArcGIS la caracterización morfométrica de la cuenca con los datos recolectados. 3. **Establecimiento de la vulnerabilidad hídrica para el periodo de referencia:** De acuerdo con los datos obtenidos se desarrollarán los índices hídricos, según metodología ENA, para hallar la vulnerabilidad del recurso hídrico para el periodo de referencia. 4. **Verificación:** De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (ENA) se verificará la validez de los resultados obtenidos.

5.3.1. Morfometría cuenca Río Chicamocha

5.3.1.1 Obtención de datos.

Descarga de DEM (Modelo Digital de Elevación) (Figura 21) del área de estudio; para ello se consultó el Proyecto del Sistema de Información y Datos de Ciencias de la Tierra (ESDIS) de la NASA, la cual tiene un aplicativo llamado Earthdata, permite mediante la creación de un usuario, la descarga de este tipo de imágenes satelitales específicamente del satélite ALOS PALSAR, se descargaron 13 imágenes satelitales a una resolución de 12.5m y posteriormente unidas en ArcGIS 10.5.

Los siguientes fueron resultados obtenidos con ArcGIS 10.5 con el DEM mencionado anteriormente (figura 22): delimitación cuenca o divisoria de aguas, establecimiento de la red de

drenaje, cálculo de los órdenes de los ríos. delimitación de microcuencas, curvas de nivel, dirección de flujo y pendiente de la Cuenca.

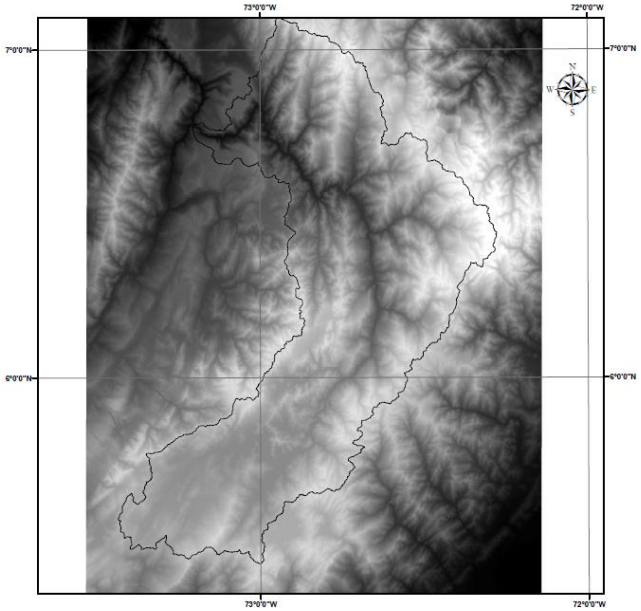


Figura 21 Modelo digital de elevación DEM

Fuente: ©JAXA/METI ALOS PALSAR (2010) modificado por autores

5.3.1.2 Cálculos morfométricos.

5.3.1.2.1 Morfometría de captación.

Podrá encontrar los cálculos en el Anexo 1

a) ÁREA CUENCA (A)

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido-directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Para la delimitación de una cuenca hidrográfica se debe tener en cuenta que la divisoria de aguas pasa por los puntos más altos de las cordilleras, cruzando los valles que estas delimitan. Su delimitación comienza en el punto de concentración y se continúa a cada lado de este punto con líneas siempre perpendiculares a las curvas de nivel y nunca debe interceptar los cauces naturales. (CVC, 2020)

b) PERÍMETRO CUENCA (P)

"Es un parámetro que se calcula a partir de la medición de la longitud de la línea divisoria de aguas de la cuenca." (CAR, 2017)

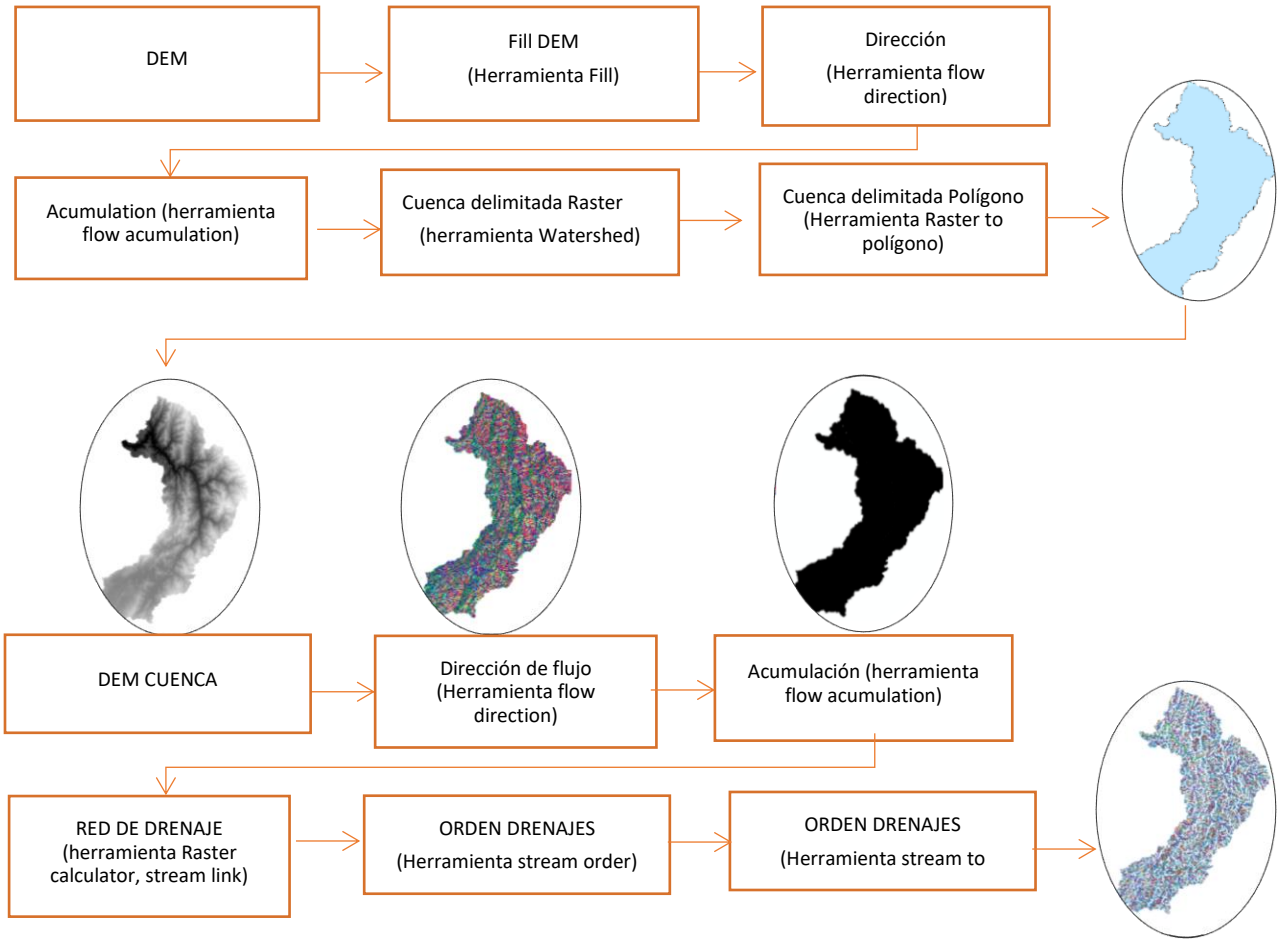


Figura 22 Metodología delimitación de la cuenca y red hídrica

c) TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc)

El tiempo de concentración es un parámetro que depende de las características morfométricas de la cuenca, y es definido como "el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida (Ibañez, Moreno, & Gisbert, s.f).

Ecuación 1

$$(S) = \frac{Cota\ Max - Cota\ min}{L(m)}$$

Ecuación 2

$$Tc = \frac{0.000325\ (L\ (m)^{0.77})}{S^{0.385}}$$

d) LONGITUD AXIAL (Long. Axial): Indica el recorrido más largo que hará el agua, es decir el recorrido del cauce principal

e) LONGITUD MÁXIMA (Long. Máx.): es la distancia desde el nivel de base hasta el punto más alejado de la cuenca.

f) ANCHO PROMEDIO:

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) (CVC, 2020) Se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$AP = \frac{Área}{Long\ axial}$$

g) FACTOR FORMA:

Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, según su factor de forma tienda hacia valores grandes o pequeños (CVC, 2020).

Ecuación 4

$$Ff = \frac{AP}{Long\ axial}$$

Tabla 6 Rangos factor de forma

Valores	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 - 0.3	Alargada
0.3 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Oval Oblonga
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.6 - 0.8	Ensanchada
0.8 - 1.2	Muy ensanchada
>1.2	Redondeada

h) COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELLIUS

"Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico" (CVC, 2020).

Ecuación 5

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 7 Rangos Coeficiente de compacidad

Valor	Descripción
1 - 1.25	Forma casi redonda a oval-redonda
1.25 - 1.5	Forma oval oblonga
>1.5	Forma oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: (Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca, 2008)

i) COEFICIENTE DE CIRCULARIDAD: Este índice va de 0 a 1, para interpretar si es alargada o redonda respectivamente, cuando se acerca a 1 indica tendencia a ser redonda, mientras que a 0, tendencia a ser alargada.

Ecuación 6

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

j) ÍNDICE DE ALARGAMIENTO: Este índice, está directamente relacionado con el tiempo de concentración de caudal en la cuenca.

Ecuación 7

$$Ia = \frac{Long\ max}{Ancho\ max}$$

Mayor a 1 indica que la cuenca es alargada.

k) ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD: Indica si la cuenca es redonda o rectangular

Ecuación 8

$$Ih = \frac{S_1}{S_2} = \frac{Área\ cuenca}{Long\ max. * Ancho\ max}$$

Cuando se acerca a la unidad, es una cuenca que tiende a ser más rectangular que redonda

l) ÍNDICE DE ASIMETRÍA: Indica que tan centrado está el canal principal, es decir la simetría, por ende, la disponibilidad de agua.

Ecuación 9

$$Ad = \frac{Área\ vertiente\ max}{Área\ vertiente\ min}$$

5.3.1.2.2 Morfometría de relieve.

a) ALTITUD MEDIA

Es la altitud promedio de la superficie de la cuenca (Guerra & González, 2002).

Ecuación 10

$$E = \frac{(\Sigma\ a * e)}{A}$$

Donde a, área entre curvas

e, promedio de cotas

b) MEDIANA DE ALTITUD

Representa la cota que divide en dos áreas iguales la cuenca por arriba y por debajo, se realiza haciendo uso de la curva hipsométrica.

c) ALTURA MEDIA

Ecuación 11

$$OH = \frac{OAB}{OB}$$

Donde, OAB, volumen de la cuenca

OB, área de la cuenca

d) COEFICIENTE DE MASIVIDAD: Por medio de este parámetro se puede evidenciar la condición de la cuenca con respecto a si es una cuenca montañosa o por el contrario es una cuenca plana. Permite diferenciar cuencas de igual altura media, pero de relieve distinto (Ventura, 2015).

Ecuación 12

$$Cm = \frac{OH}{OB}$$

Tabla 8 Clases de valores de masividad

Rangos	Descripción
0-35	Moderadamente montañoso
35-70	Montañoso
70-115	Muy montañoso

Fuente: (Ventura, 2015)

e) COEFICIENTE OROGRÁFICO

Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca. Si el valor del coeficiente orográfico es menor a 6, representa un relieve poco accidentado propio de cuencas extensas de baja pendiente, y si por el contrario el valor del coeficiente es mayor a 6, significa que la cuenca presenta un relieve accidentado (Reyes Trujillo, Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Este coeficiente se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 13

$$Co = Cm * OH$$

Tabla 9 Coeficiente Orográfico

Co>6	Relieve Montañoso
Co<6	Relieve Plano a Ondulado

f) ÍNDICE O COEFICIENTE DE FOURNIER MODIFICADO

Ecuación 14

$$Imf = \sum_{i=1}^{12} (\frac{P1^2}{P2})$$

Fuente: (Ignacio & Delgado, 2011)

Donde;
P1, precipitación media mensual multianual
P2, precipitación media multianual

Tabla 10 Valores de referencia del índice de Fournier (IMF) para áreas montañosas tropicales

IF	Calificación
<60	Muy Bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado
120-160	Alto
>160	Muy Alto

Fuente: (Echeverri & Obando, 2003)

Los datos acá señalados fueron tomados de los promedios del IDEAM, que están disponibles en la página de Datos Abiertos del gobierno, los datos corresponden a las precipitaciones entre los años 1981 a 2010, de 277 estaciones dentro y alrededor de la cuenca.

g) PENDIENTE MEDIA

Método de la cuadrícula

Ecuación 15

$$Pm = \frac{1}{n} * \sum Si$$

Donde;

Σ; Sumatoria de las pendientes en cada intersección de la cuadricula

n; número de puntos

Tabla 11. Descripción de la pendiente media

0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Moderadamente Montañoso (Mediano)

12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado
35-50	Muy Fuertemente accidentado (Fuerte)
50-75	Escarpado (Muy fuerte)
>75	Muy escarpado

Fuente: (Camino, Bó, Cionchi, Del Río, & López de Armentia, 2018)

5.3.1.2.3 Morfometría red de drenaje.

a) RELACIÓN DE CONFLUENCIA

"Strahler, (1964) menciona que la relación de bifurcación (Rb) es la proporción que existe entre el número de segmentos de un orden (No) y el número de segmentos de orden inmediatamente superior (Nos). El promedio Rb de estos valores parciales se puede tomar como un valor representativo de la cuenca y es considerado característico del sistema y de su torrencialidad" (Campo, Aldalur, & Fernández, 2012).

Ecuación 16

$$rb = \frac{Nx}{Nx + 1}$$

Ecuación 17

$$N = \frac{rb * s - 1}{rb - 1}$$

Donde,

N= # total de ríos
S= Orden corriente principal
Nx= Número de corrientes de un orden

Tabla 12 Descripción relación de confluencia

Valor	**Descripción de la erosión**
2 – 3	Red hídrica no es erosiva
3 - 3.5	Medianamente
3.5 - 4	Erosivo
4 – 5	Muy erosivo
<2	Menor pendiente: Concentración brusca escorrentía con riesgo de inundación
>2	Fuertes pendientes: Concentración rápida escorrentía sin crecidas

Fuente: (Campo, Aldalur, & Fernández, 2012)

b) RELACIÓN DE LONGITUD

La *relación de longitud* (*rL*) es definida por Horton (1945) como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado (Lx) y la de los segmentos del orden inmediato inferior (Lx-1) (Campo, Aldalur, & Fernández, 2012).

Ecuación 18

$$rL = \frac{Lx}{Lx - 1}$$

Donde,

Lx= longitud media de los ríos del orden x

Lx-1= longitud media de los ríos del orden inmediatamente inferior

c) DENSIDAD DE DRENAJE

"Londoño (2001) menciona que este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación en l*a* cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca" (CORPOCHIVOR, 2015).

Ecuación 19

$$Dd = \frac{Lx}{A\ Total}$$

Donde, Lx= sumatoria de longitudes por cada orden hasta n

Tabla 13 Descripción densidad de drenajes

Densidad de drenaje (km/km2)	0.1 – 1.8	1.9 – 3.6	3.7 – 5.6
	Baja	Moderada	Alta

Fuente: (Corpoboyacá, 2015)

d) FRECUENCIA DE TALWEGS

Establece la relación entre número de ríos de un orden y área de la cuenca, permite junto con la densidad conocer si una cuenta está bien o mal drenada. Una red hidrográfica es bien drenada, cuando tiene una densidad de drenaje superior a 2.5 Km/Km^2, con una frecuencia Fx ≥ 1 y una cuenca muy mal drenada, tiene una densidad de drenaje de algunas décimas de Km/Km2 y un Fx de algunos centésimas.

Ecuación 20

$$Fx = \frac{Nx}{A}$$

e) GRADO DE INCLINACIÓN DEL RÍO

Ecuación 21

$$Pm = \frac{(Alt\ max - Alt\ \min)}{L} * 100$$

5.3.2. Índices periodo de referencia (1981-2010)

Se desarrollaron nueve índices que describen el comportamiento del recurso hídrico en la cuenca del Río Chicamocha, para ello se realizó la recopilación y análisis de información secundaría sobre el clima de la zona, consumos de agua, entre otros, para el periodo de referencia en cuestión, sin embargo, siempre se reflejaron estos no como la sumatoria del periodo, sino como la situación promedio de los 30 años analizados.

5.3.2.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS)

Es el volumen de agua por cantidad de tiempo que escurre por la superficie y que no se infiltra o evapora, llamado también balance hídrico. Las ecuaciones usadas fueron tomadas del documento Cambio climático y recursos hídricos en Colombia (Alarcón, Zafra, & Echeverri, 2019)

Ecuación 22

$$ESC = P - ETR$$

Donde: ESC: Escorrentía en mm/año
P: Precipitación en mm/año

ETR: Evapotranspiración real en mm/ año

Ecuación 23

$$ETR: \frac{P}{\left(0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right) * 0.5}$$

Donde:
ETR: evapotranspiración real (mm), Turc (1954)
P: precipitación (mm)
L: factor heliotérmico
T: temperatura (ºC)

Ecuación 24

$$L = 300 + 25 * T + 0.005T^3$$

Para el desarrollo de este índice se tuvieron en cuenta 209 estaciones de precipitación y 55 estaciones de temperatura de los departamentos de Boyacá, Santander, Norte de Santander, Cundinamarca, Antioquía y Casanare, los datos se obtuvieron Los promedios climáticos 1981-

2010 (IDEAM, 2011) (Ver Anexo 2). Posteriormente los datos fueron procesados en ArcGIS donde se interpolo la temperatura y precipitación usando el método Kriging para tener datos climáticos en toda el área de la cuenca.

5.3.2.2 Índice de aridez (IA)

Expresa una característica del clima, que usa el balance hídrico superficial para medir cualitativamente la suficiencia o déficit de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Para este índice se requiere información climática como: Precipitación y Temperatura

Ecuación 25

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Fuente: (IDEAM, 2015)

Dónde:

$ETP: Evapotranspiración\ potencial\ anual\ multianual\ de\ Hargreaves\ (mm)$

$ETR: Evapotranspiración\ real\ potencial\ anual\ multianual\ (mm)$

Ecuación 26

$$ETP = 12 * 16 * \left(10 * \frac{T}{I}\right)^{a}$$

Ecuación 27

$$I = \left(\left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}\right) * 12$$

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.0179 * I + 0.49239$$

Donde: $I: Coeficiente\ anual$
$T: Temperatura\ promedio\ anual$
$a: Coeficiente\ en\ fórmula\ de\ Thornwaite$

Fuente: (Alarcón, Zafra, & Echeverri, 2019)

Tabla 14 Índice de Aridez

IA	Categoría
<0.15	Altos excedentes
0.15 – 0.19	Excedentes
0.20 – 0.29	Moderado a excedentes
0.30 – 0.39	Moderado
0.40 – 0.49	Moderado deficitario
0.50 – 0.59	Deficitario
>0.60	Altamente deficitario

Fuente: (IDEAM, 2019)

5.3.2.3 Índice de regulación hídrica (IRH)

Para este índice se tomaron datos de caudales de la cuenca del río Chicamocha de las estaciones limnigráficas y limnimétricas del IDEAM, de las cuales se encontraron con datos un total de 26 estaciones (Ver Anexo 3).

Tabla 15 Estaciones de caudal

	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	MUNICIPIO	CORRIENTE	AÑOS DE DATOS
1	24037020	LA COPA	2700	5.57919	-73.208778	Toca	Tuta	21
2	24037130	LA REFORMA	2523	5.74883	-73.189889	Sotaquirá	Chicamocha	51
3	24037190	SAN RAFAEL	2500	5.80761	-73.013806	Tibasosa	Chicamocha	48
4	24037270	CHITICUY	2500	5.84544	-73.013611	Duitama	Quebrada Chiticuy	20
5	24037290	PUENTE CHAMEZA	2490	5.75989	-72.906528	Sogamoso	Chicamocha	50
6	24037040	GUICAN	2827	6.45397	-72.403056	Guicán	Nevado	51
7	24037070	MAGUNCIA	2534	5.74189	-73.199556	Sotaquirá	Sotaquira	50
8	24037080	LA GRUTA	2500	5.56697	-73.046722	Pesca	Pesca	46
9	24037120	LA VEGA	2550	5.58869	-72.983056	Cuítiva	Iza	47
10	24037300	PUENTE COLONIAL	3000	5.71688	-72.849667	Monguí	MonguÍ	42
11	24037370	MOMPA IZQUIERDO	1800	6.39742	-72.817194	Onzaga	Onzaga	50
12	24037380	SAN LUIS	2550	6.45967	-72.430861	Guicán	Nevado	36
13	24037390	CAPITANEJO	1160	6.51321	-72.695453	Capitanejo	Chicamocha	41
14	24037450	EL MOLINO	2539	5.72264	-73.120806	Paipa	Salitre	46
15	24037480	TRINIDAD LA	2500	5.84003	-73.08225	Duitama	Surba	31
16	24037510	PAZ DE RIO	2200	6.00028	-72.782222	Paz De Rio	Chicamocha	27
17	24037110	LA RESACA	2492	5.68033	-72.989611	Firavitoba	Chiquito	45
18	24037320	LA SIBERIA	2248	5.76673	-73.108722	Paipa	Chicamocha	26
19	24037100	VEGAS LAS	2700	5.86278	-73.075778	Duitama	Surba	20
20	24037090	SAN RAFAEL 2	2500	5.70839	-73.242167	Tuta	Chulo	48
21	24037030	EL PALO - AUT	2600	5.68172	-73.231139	Tuta	Tuta	64
22	24037580	SAN FRANCISCO	2700	5.57964	-73.213222	Toca	Rio grande	24
23	24037590	LA CHORRERA	2700	5.62303	-73.166389	Toca	La Chorrera	23
24	24037490	PUENTE TOTUMO – AUT	1200	6.43797	-72.638306	Boavita	Nevado	15
25	24037410	PUENTE COLORADO	2500	6.01403	-72.806056	Belén (Boyacá)	Minas	51
26	24037360	EL JORDAN	480	6.74972	-73.096667	Los Santos	Chicamocha	47

Fuente (IDEAM, 2010, modificado por autores)

La información de caudales fue obtenida de la página del sistema de información del recurso hídrico (IDEAM, MINAMBIENTE, s.f), como se puede ver en la tabla 15 algunas estaciones no cumplían con la cantidad de años requeridos (30 años de datos) y algunas otras no completaban el periodo de referencia elegido (1981-2010), por ello se procede a la fabricación de series sintéticas, lo cual consta de repetir el conjunto de datos hasta complementar la cantidad de años requerida.

El índice de retención y regulación hídrica (IRH) cuantifica la retención de humedad de una cuenca teniendo en cuenta las frecuencias acumuladas de los caudales diarios, genera valores entre 0-1 donde los valores cercanos a 1 indican mayor regulación. Para hallarlo, se requieren 25 años de datos de caudales medios diarios (IDEAM, 2010), los cuales por medio de la integración en la curva de duración de caudales medios diarios (CDC), la cual señala las zonas que escurren de forma más estable y la ocurrencia de caudales extremos, aportará la información que requiere este índice. El conjunto de datos comprende los caudales medios mensuales, a los cuales se aplicó los siguientes pasos para encontrar las curvas de duración de caudales y con ello el IRH, de acuerdo con la metodología realizada en la evaluación de la vulnerabilidad hídrica del río Sumapaz (Huertas Urrego, 2016).

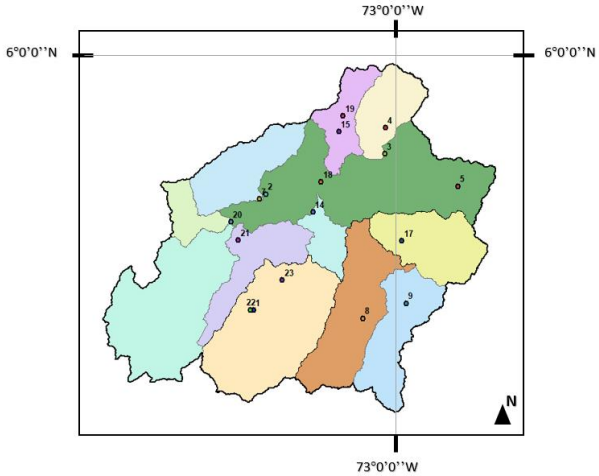


Figura 23 Estaciones de caudal cuenca alta

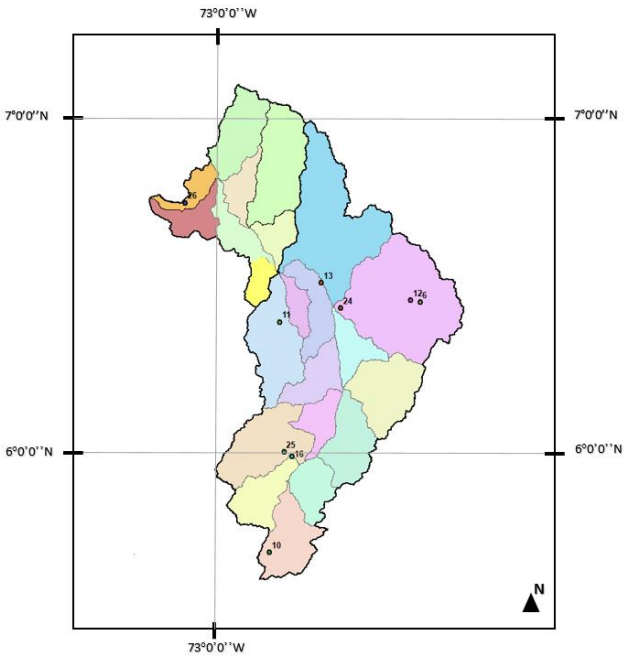


Figura 24 Estaciones de caudal cuenca media y baja

a) En un Excel se ubica la serie de datos, se obtienen los promedios de cada mes para hacer la complementación de datos por promedio aritmético y el promedio multianual. Para este análisis se tuvieron en cuenta los datos de los años 1981-2010 (para ver complteto ir al Anexo 3).

Tabla 16 Matriz de caudales

CAUDALES MEDIOS MENSUALES- Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) m^3/s													
24037390 ESTACIÓN CAPITANEJO													
Año	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Promedio**
1981	0.52	1.36	3.59	106.3	266.7	82.1	20.95	51.7	68.1	38.48	8.9	3.3	54.33
1982	1.93	2.5	5.92	259.7	306.9	36.9	103.7	138	112.2	318.7	180	74.58	128.40
1983	154.8	45.4	45.45	192.4	175.3	92.7	118.3	132	69.89	35.52	27.66	31.92	93.42
1984	10.64	10.5	9.48	15.99	74.22	94.3	99.5	163	181.8	62.14	99.96	44.62	72.17
Promedio	30.86	28.7	39.01	83.35	116.3	106	106.8	96.3	86.07	102.4	94.62	58.44	

*Datos faltantes (promedio aritmético) Promedio multianual 76.04

b) Se ubican los percentiles como en la tabla 17 en intervalos de 0.01

c) El caudal (m^3/s) se halla con los percentiles de la matriz de caudales o serie de datos y el percentil correspondiente a la fila

Ecuación 28

=PERCENTIL (Matriz de caudales; %)

Fuente: (Huertas Urrego, 2016)

d) Para el Tiempo total, se convierte el número de años de la serie (30 años) a segundos.

e) Para el Delta tiempo, se multiplica el tiempo total por el intervalo de los percentiles, es decir, 0.01.

f) Para hallar Vt, se multiplica el caudal por el Delta tiempo

Tabla 17 Cálculos

%	Percentiles	caudal m3/s	Tiempo total	Delta tiempo	Vt	Vp
0	1	0.52	946080000	9460800	4919616	4919616
0.01	0.99	2.26	946080000	9460800	21387084.5	21387084.5
0.02	0.98	6.40	946080000	9460800	60518845.4	60518845.4
0.03	0.97	10.23	946080000	9460800	96759385.9	96759385.9
….			…		…	
0.12	0.88	27.29	946080000	9460800	258219291	258219291
0.13	0.87	27.70	946080000	9460800	262094435	262094435
0.14	0.86	28.28	946080000	9460800	267570346	267570346
0.15	0.85	29.27	946080000	9460800	276945998	276945998
0.16	0.84	30.30	946080000	9460800	286684946	286684946
0.17	0.83	31.01	946080000	9460800	293341565	293341565
0.18	0.82	31.92	946080000	9460800	301988736	301988736

*Para tener en cuenta la fila en verde corresponde al percentil 85, que por resultado del IRH corresponde al caudal ambiental según metodología ENA.

g) El valor de Vp es igual a Vt hasta que el caudal se hace aproximado al promedio multianual señalado en el numeral a). En este cálculo el promedio es 76,04, y se acerca al caudal ubicado en el percentil 0.44 (76.82), hasta ese valor, el Vt es igual a Vp, después de eso Vp es una repetición del último valor.

Tabla 18 Cálculo Vt- Vp

%	Percentiles	caudal m3/s	Tiempo total	Delta tiempo	Vt	Vp
0.54	0.46	75.35	946080000	9460800	712875064	712875064
0.55	0.45	75.96	946080000	9460800	718613986	718613986
0.56	0.44	76.82	946080000	9460800	726824068	726824068
0.57	0.43	77.86	946080000	9460800	736640594	726824068
0.58	0.42	78.02	946080000	9460800	738158106	726824068
0.59	0.41	79.00	946080000	9460800	747401308	726824068
0.6	0.4	80.81	946080000	9460800	764527248	726824068

h) Posteriormente se calcula la suma de Vt y Vp

i) Se aplica la siguiente ecuación

Ecuación 29

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Tabla 19 Interpretación de resultados IRH

IRH	Categoría
IRH ≤ 0.5	Muy Baja
0.5 < IRH ≤ 0.65	Baja
0.65 < IRH ≤ 0.75	Moderada
0.75 < IRH ≤ 0.85	Alta
IRH > 0.85	Muy Alta

Fuente: (IDEAM, 2019)

Donde: V_p: Volumen parcial equivalente al área bajo la línea del caudal medio

V_t: Volumen total equivalente al área bajo la CDC

j) Dando como resultado

Tabla 20 Cálculo índice IRH

Vp	55403301948
Vt	73371561731
IRH=Vp/Vt	**0.755105938**
IRH	Alta

k) Finalmente se grafica la curva de duración de caudales donde el eje X, es la columna de percentiles y el Y de caudales

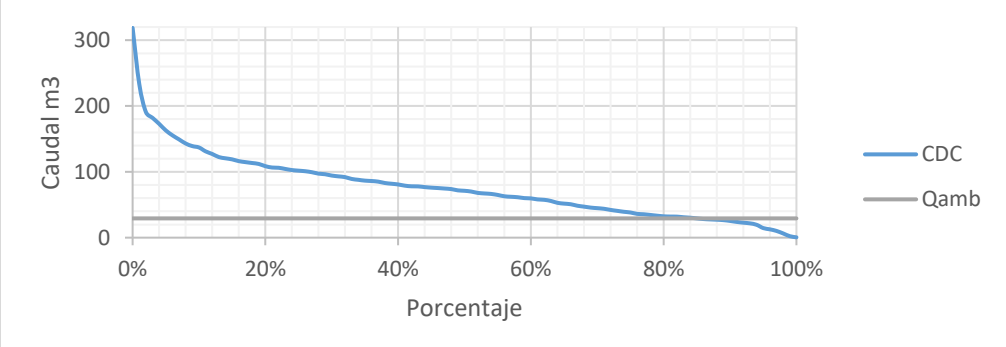


Figura 25 Curva de duración de caudales Estación Capitanejo 1981-2010

El método se aplicó a cada una de las 26 estaciones, y en ArcGIS se procesó para hallar la totalidad de la cuenca (Anexo 3)

5.3.2.4 Caudal ambiental (Qamb)

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (2018), se establece el caudal ambiental de acuerdo con los datos encontrados en el índice de regulación hídrica como se expresa a continuación, usando los percentiles de las curvas de duración de caudales CDC (ver Tabla 17 Cálculos y Anexo 3). De acuerdo con los resultados del IRH:

Ecuación 30

$$si\ IRH < 0.7 \rightarrow Qamb = Q75\%$$

$$si\ IRH \geq 0.7 \rightarrow Qamb = Q85\%$$

Fuente: (MINAMBIENTE & IDEAM, 2019)

5.3.2.5 Oferta hídrica total disponible (OHTD)

La OHTD es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS), el volumen de agua que garantiza el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales y, en alguna medida, un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas, es decir, el caudal ambiental (Qamb) (IDEAM, 2019). Para este índice se transformaron las unidades de precipitación (mm/año) a m^3/s teniendo en cuenta el área de la cuenca, ya que milímetros de agua es una unidad que denota L/m^2, posteriormente se realizó la resta y se interpolo en ArcGIS.

Ecuación 31

$$OHTD = OHTS - Qamb$$

5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA)

El índice del uso del agua es un índice de presión por uso del agua, determina la cantidad de agua utilizada en un periodo de tiempo para un área, zona o subzona, en relación con la oferta hídrica superficial para el mismo espacio-tiempo. Debido a la poca información para hallar la oferta hídrica subterránea, se considera solo la oferta hídrica superficial (IDEAM, 2015).

Ecuación 32

$$IUA: \left(\frac{Dh}{Oh}\right) * 100$$

Donde: Dh: Demanda hídrica sectorial
Oh: Oferta hídrica superficial disponible*

*La Oh se refiere a la Oferta hídrica total disponible (OHTD)

Ecuación 33

$$Dh = \sum(Volumen\ de\ agua\ extraída\ para\ usos\ sectoriales\ en\ un\ período\ determinado)$$

$$Dh = Ch + Csp + Csm + Css + Ce + Ca + Aenc$$

Dónde: Ch: Consumo humano o dómestico
Csp: Consumo del sector agrícola
Csm: Consumo del sector industrial
Css: Consumo del sector servicios
Ce: Consumo del sector energía
Ca: Consumo del sector acuícola
$Aenc$: Agua extraída no consumida

** En este cálculo no se tuvo en cuenta la demanda del sector acuícola, sin embargo, se tuvo en cuenta la demanda pecuaria o consumo de animales domésticos.

Tabla 21 Rangos y categorías del IUA

Rango (Dh/Oh)	Categoría IUA	Significado
>100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 - 100	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy Bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: (IDEAM, 2015)

Consumos o demandas del Recurso hídrico

Para este análisis se tuvieron en cuenta los siguientes consumos (ver anexo 4)

Tabla 22 Consumos analizados

a) Consumo doméstico	
b) Consumo industrial	
c) Consumo servicios	Consumo sector educativo
	Consumo sector salud
	Consumo sector comercial
d) Consumo sector energía	
e) Consumo pecuario	
f) Consumo Agrícola	

a) Consumo humano o domestico

Se tuvieron en cuenta tres censos, 1993, 2005, 2018, de los cuales se obtuvo la información por municipio, con estos datos se halló la población por el método aritmético, geométrico y exponencial, para el periodo de referencia (1981-2010), resultado que posteriormente fue promediado (Anexo 4). Con la información proyectada para el periodo de referencia se realizó una regresión lineal para todos los municipios, encontrando la línea y ecuación de tendencia, información necesaria para proyectar los años del periodo 2041-2070.

La población se distribuyó de acuerdo con la cabecera y zona rural, teniendo en cuenta el porcentaje de área del municipio que pertenecía a la cuenca y si la cabecera municipal se encontraba en la cuenca, esto para los municipios del borde, con la finalidad de no sobreestimar la población de un municipio que solo se encontraba en un porcentaje dentro de la cuenca. Ya con la información de población, se asignó de acuerdo con el nivel de complejidad del municipio (Tabla 23), la dotación en L/ha-día. Finalmente se determinaron las pérdidas en la red de conducción técnicas y comerciales, las primeras corresponden a fallas en las tuberías y la segunda a conexiones erradas, teniendo en cuenta el informe de la Comisión de Regulación de agua llamado pérdidas de agua en sistemas de acueducto, uso eficiente y ahorro del agua, se encontró que en país el porcentaje promedio de perdidas o IANC (indice de agua no contabilizada) es de 43% (CRA, 2006).

Tabla 23 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Dotación neta mínima (L/hab-día)
Bajo	100
Medio	120
Medio alto	130
Alto	150

Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2003)

b) Consumo del sector industrial

El DANE posee en su biblioteca virtual los anuarios del país y las encuestas nacionales de manufactura, por año; sin embargo, está información es escaza y está definida por departamentos, en pocos casos se obtiene información discriminada por algunos municipios, allí se encuentra

información del número de establecimientos de acuerdo al tipo de actividad manufacturera o CIIU, para este análisis se recolectó información hasta el año 1997, valores que al no tener una función matemática se procedieron a promediar para tener un valor dentro del periodo de referencia. Para el valor por municipios se procedió a obtener el porcentaje de industrias dentro de cada municipio para los años que contaban con esa información y ese se extrapoló al resto de años (Anexo 4). El Reglamento de agua potable y saneamiento básico (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010) define dotaciones para algunos tipos de empresas, con estos datos se aproximó un consumo para las industrias encontradas. Teniendo en cuenta la metodología ENA (2010) las pérdidas a considerar son del 40% (IDEAM, 2010).

Tabla 24 Consumos para producción de algunos tipos de industria

INDUSTRIA	**RANGO DE CONSUMO (**m^3**/día)**
Azucarera-	4.5-6.5
Química (a)	5-25
Papel y celulosa (b)	4.-70
Bebidas (c)	6-17
Textil	62-97
Siderúrgica	5-9
Alimentos (d)	4.5-5

Fuente: (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010)

Consumo del sector servicios

Para este consumo se tuvieron en cuenta tres categorías consumo del sector educación, consumo del sector salud y consumo del sector comercial y se sumó el 40% de pérdidas de acuerdo con el ENA (2010) (Anexo 4).

- Consumo sector Educativo

Con los datos de los anuarios de la biblioteca virtual del DANE, se encontró la cantidad de alumnos de preescolar, primaria, secundaria, Sena y Universitario del periodo de referencia hasta el 2008, sin discriminarse por municipio únicamente para los departamentos (Santander y Boyacá). Estos datos se promediaron para obtener el valor del periodo de referencia. Con los datos compilados se realizó una regresión para encontrar los datos del periodo de referencia, con lo cual se obtuvo la siguiente función matemática, posteriormente se promedió el número de alumnos del periodo de referencia para educación elemental (preescolar y primaria) y media y superior.

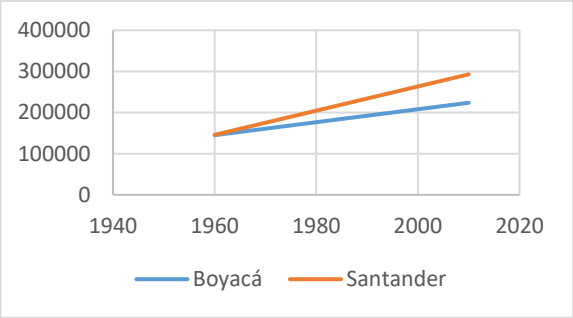


Figura 26 Estudiantes pre-Escolar y primaria de Boyacá y Santander

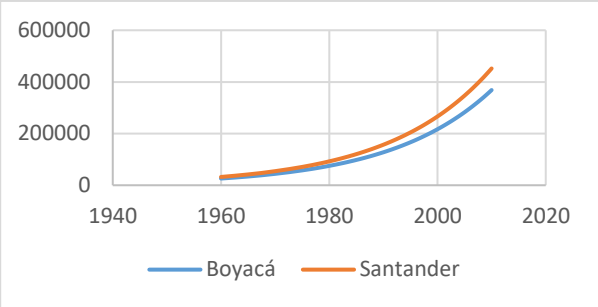


Figura 27 Estudiantes media y superior de Boyacá y Santander

Teniendo en cuenta los porcentajes de población en cada municipio, se distribuyó la cantidad de estudiantes, esto teniendo en cuenta que, a mayor población, mayor número de estudiantes. Para obtener el consumo se tuvo en cuanta las dotaciones estipuladas en el RAS.

Tabla 25 Consumo para uso escolar

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno-Jornada
Educación media y superior	25 L/alumno-Jornada

Fuente: (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010)

- Consumo del sector Salud

Con los datos obtenidos de los anuarios de DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2007) se logró recopilar información de camas hospitalarias (UCI, quirófanos, Urgencias) y camas en puestos de salud en el periodo de 1976-2007 (algunos años faltantes), sin embargo, se encontró relación de aumento en el número de camas, conforme pasaba el tiempo por lo que se aplicó una regresión de tipo exponencial para proyectar los años faltantes y así, completar el periodo de referencia, posteriormente se promediaron los datos (Anexo 4).

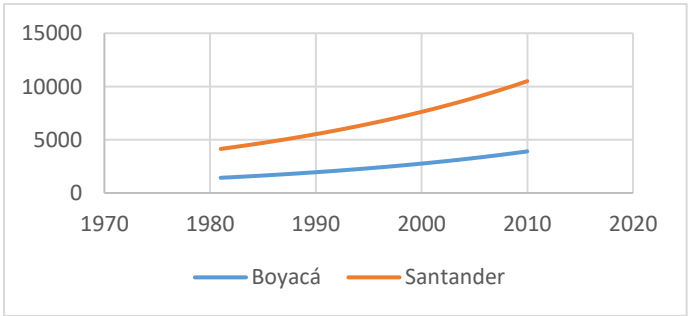


Figura 28 Número de camas en hospitales de Boyacá y Santander

Con información de la población hallada al inicio de esta metodología, se obtuvo una distribución equitativa de camas por persona, posteriormente se multiplico por el número de personas en cada municipio. Finalmente, el consumo se obtuvo de las dotaciones de RAS

Tabla 26 Consumo institucional

TIPO DE INSTALACIÓN		CONSUMO DE AGUA
SALUD	Hospitales, clínicas y centros de salud	800 L/cama-día

Fuente: (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010)

- Consumo del sector comercial

En el sistema único de información de servicios públicos domiciliarios, sección acueducto, se encuentra la plataforma O3 Web, de la cual se obtuvo el consumo de comercio para cada municipio del año 2005-2019, se tomaron los promedios del periodo de referencia.

c) Consumo del sector energía

Para este sector se consultaron las termoeléctrica e hidroeléctricas en funcionamiento durante el periodo de referencia, encontrándose que para ese periodo solo funcionaba Termo Paipa con una generación de energía de 167 MWH para lo cual consume 370 m^3/h (Pinillos Lucio, 2015) (Anexo 4).

d)Consumo del sector Pecuario

Para este sector se obtuvo información de los anuarios de Dane, donde se reporta información de los siguientes animales de granja: Aves (pollos, patos y pavos), Porcinos, Bovinos, Ovinos, Caprinos, Equinos, Cuys y conejos, entre los años 1988 a 2004, únicamente por departamento. Para la distribución por municipios se tuvo en cuenta el porcentaje de coberturas de pastos de acuerdo con el Mapa de coberturas de la Tierra (Sistema de Información ambiental Colombiano SIAC, 2012), y se distribuyeron de acuerdo con este porcentaje el consumo en m^3/año sumado por todos los tipos de animales. Para el consumo se tuvo en cuenta los valores dados por la Estudio Nacional del agua (IDEAM, 2010) y datos encontrados según expertos como Tv Agro, finalmente se tuvieron en cuenta los siguientes consumos:

Tabla 27 Consumo animales

ANIMAL	L/día/animal
Pollos, pavos y patos	0.3
Porcinos menores de seis meses	5
Porcinos mayores de 6 meses	8
Bovinos <12 meses	20
Bovinos entre 13-24 meses	45
Bovinos mayores a 24 meses	66
Ovinos y caprinos	4
Equinos	8
Cuys y conejos	1.6

f) Consumo del sector Agrícola

Para el sector agrícola se obtuvo la información de la Encuesta Nacional Agropecuaria de los años del periodo de 1993 a 2004, para los años restantes que comprenden el periodo 1981-2010 se indagaron los anuarios del DANE, en estas fuentes se extrajo la información referente a la cantidad de hectáreas sembradas de diferentes productos agrícolas por el departamento de Santander y Boyacá.

Con la información clasificada por año a nivel departamental, se promedian las áreas de cada uno de los cultivos para obtener un solo valor del periodo comprendido entre 1981 y 2010, así como también el porcentaje que representan cada uno de estos dentro del departamento. Después se obtiene el total de hectáreas de tierras cultivables de la cuenca a nivel municipal, teniendo como insumo el mapa de coberturas (2012) de la cuenca del río Chicamocha. Para la obtención de los datos de precipitación y temperatura por municipio se sacaron puntos cada 2 km con la ayuda del software ARCGIS. Seguidamente se promediaron los datos de los puntos obtenidos dentro de cada municipio (Anexo 4).

Con la información obtenida en los pasos anteriores se seleccionan de la lista de cultivos encontrados en las fuentes de información aquellos que puedan cultivarse en el área de estudio de acuerdo con la temperatura, a continuación, se enlistan los cultivos seleccionados por cada departamento.

Tabla 28 Cultivos seleccionados para la cuenca del río Chicamocha

Cultivo	Tipo de cultivo	Temperatura °C	Departamento
Cacao	Permanente	18 a 32	Boyacá y Santander
Caña		15 a 28	Boyacá y Santander
Café		18 a 23	Boyacá y Santander
Plátano		17 a 35	Boyacá y Santander
Cebada	Transitorio	6 a 20	Boyacá y Santander
Trigo		10 a 24	Boyacá y Santander
Arveja		13 a 21	Boyacá y Santander
Cebolla bulbo		12 a 23	Boyacá
Cebolla larga		11 a 20	Boyacá
Frijol		15 a 27	Boyacá y Santander
Tomate		15 a 25	Boyacá y Santander
Papa		12 a 18	Boyacá y Santander

En los municipios en los que se pueden dar los cultivos de la lista anterior de acuerdo con su temperatura se les asigna el porcentaje de cultivo teniendo en cuenta el resultado del primer paso de esta metodología. Seguidamente se realiza la suma de cada uno de estos porcentajes por municipio, se asume que esa suma es el 100% de las tierras cultivables, por lo tanto, se aplica una regla de tres simple para obtener el total de hectáreas sembradas de cada cultivo en los municipios y comprobar que la suma de esas hectáreas del total de tierras cultivables. Posteriormente se asigna el respectivo coeficiente de cultivo (Kc) a cada uno de los cultivos seleccionados, en la siguiente tabla (29) se observan los Kc asignados.

Tabla 29 Coeficientes de cultivo Kc

Cultivo	Kc	Cultivo	Kc
Cacao	0.53	Arveja	1.05
Caña	0.8	Cebolla bulbo	2.85
Café	1.09	Cebolla larga	0.9
Plátano	1.13	Frijol	0.83
Cebada	0.7	Tomate	0.83
Trigo	0.71	Papa	0.63

Fuente: (IDEAM, 2010)

Luego se halla la ETP y precipitación (P) en m^3 por cada uno de los cultivos en cada municipio teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 34

$$ETP\ m^3 = \frac{ETP\ en\ mm * área\ de\ cultivo}{1000}$$

Ecuación 35

$$P\ m^3 = \frac{P\ en\ mm * área\ de\ cultivo}{1000}$$

Para hallar el consumo de agua en m^3 de cada uno de los cultivos a nivel municipal se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 36

$$Consumo\ agrícola = P * (ETP * Kc)$$

Finalmente se totalizo el consumo de agua en m^3 por cada uno de los cultivos que se pueden dar tanto en el departamento de Santander como en el de Boyacá y así se obtuvo el resultado final del consumo de agua en m^3 del sector agrícola en la cuenca del río Chicamocha.

5.3.2.7 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico

Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH), es el índice resultado de aplicar todos los demás índices, este índice permite identificar el grado de fragilidad de los sistemas hídricos, para mantener la oferta al abastecimiento, que ante amenazas podría generar riesgos de desabastecimiento (IDEAM, 2020). El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA) (Anexo 4), como se muestra a continuación:

Tabla 30 Interpretación del IVH

Vulnerabilidad del recurso hídrico correlación IRH-IUA					
IUA Extremo= % (oferta/Demanda)		**Índice de regulación**			
Rango	**Categoría**	**Alta**	**Moderado**	**Baja**	**Muy baja**
<1	Muy Bajo	Muy baja	Baja	Media	Media
1-10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10-20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20-50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
50-100	Muy Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
>100	Crítico	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: (IDEAM, 2010)

5.3.2.8 Índice de stress hídrico relativo

El programa mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO ha definido una serie de indicadores para medir el nivel de estrés sobre el recurso que incluye el índice de stress hídrico relativo también conocido como demanda de agua relativa (RWSI), establece la

demanda disponible para uso industrial, doméstico y de agricultura. Se calcula a partir de la siguiente ecuación (Ocampo, 2012) (Anexo 4)

Ecuación 37

$$RSWI = \frac{(D + I + A)}{Q}$$

Donde:

Q: Suministro de agua km^3/año
D: Demanda de agua para uso doméstico km^3/año
I: Demanda de agua para uso industrial km^3/año
A: Demanda de agua para agricultura km^3/año

Tabla 31 Interpretación índice de stress hídrico relativo

Índice de escasez	Calificación	Observación
>0.4	Alto	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico. Es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda de agua por los sectores productivos y se restringe el desarrollo económico. Se requieren fuertes inversiones para mejorar la eficiencia de utilización en los sectores productivos
0.2 - 0.4	Medio	La oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda. Es necesario el ordenamiento de la cuenca y asignar prioridades a los distintos usos
0.10 - 0.2	Moderado	La disponibilidad de agua se puede convertir en factor limitante del desarrollo. Se debe implementar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento a largo plazo
<0.1	Bajo	No se experimentan presiones sobre el recurso hídrico en términos de cantidad de agua

Fuente: (Ocampo, 2012)

5.3.2.9 Índice de disponibilidad per cápita

Este índice se expresa en m^3 /habitante-año, relaciona la población y la cantidad de agua disponible, medida en términos de escorrentía superficial.

Ecuación 38

$$I_d = \frac{Q_s}{P}$$

Donde:

Q_s= Volumen de agua superficial escurrido en un año de una región, expresado en metros cúbicos al año

P= Población del país, expresada en cantidad de habitantes al año

Tabla 32 Interpretación índice de disponibilidad per cápita

Índice de disponibilidad per cápita de agua m^3 /hab-año	Categoría	Observación
1700 - 1001	Estrés hídrico	Ampliar las medidas de adaptación y adecuar dispositivos para el aprovechamiento de aguas lluvias y subterráneas
1000 - 501	Escasez de agua	Implementar medidas de ahorro y uso eficiente del agua
< 500	Escasez severa de agua	Se presentan problemas imposibles de superar; el desarrollo económico se restringe fuertemente

Fuente: (Ocampo, 2012)

Para el desarrollo de este índice se tuvo en cuenta la población y obtenida por la metodología descrita en el índice de uso del agua doméstico, y El escurrimiento ESC obtenido anteriormente para el índice de OHTS, transformado a las unidades pertinentes m^3/año. Sin embargo, los valores superaron el rango de 1001-1700 m^3/hab-año, es decir hubo zonas con mayor disponibilidad del agua.

5.4. Fase 2 Índices escenario prospectivo (2041-2070)

FASE 2: Diseño de escenarios de cambio climático
Objetivo específico 3: Construir el escenario promedio RCPs, por sus siglas en inglés, "Caminos Representativos de concentración" para el periodo 2041-2070 aplicado a la cuenca del río Chicamocha.
Actividades 1. Establecimiento de los caudales futuros haciendo uso del software WEAP 2. Construcción de los índices con datos del multiescenario RCP

5.4.1. Clima futuro

5.4.1.1 Escenarios, temperatura y precipitación

Los escenarios de interés a analizar fueron los escenarios RCP "Caminos Representativos de concentración" (RCPs, por sus siglas en inglés), definidos en el Quinto Informe del IPCC (AR5), estos escenarios se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2.6 y 8.5 vatios por metro cuadrado (W/m^2) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017).

El IDEAM junto con otras instituciones del país elaboraron la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, donde presentan los escenarios RCP de Cambio Climático en el periodo 2011-2100, para las variables de precipitación y temperatura media en Colombia. Por lo cual el IDEAM tomó los 16 modelos globales que mejor representaban el clima de referencia de Colombia (1976-2005) y con el método Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta ("Reliability Ensemble Averaging" REA Method, por sus siglas en inglés) obtuvo resultados en el contexto nacional y regional, sobre el comportamiento de estas variables, adicional realizaron ensambles multimodelo y multiescenario que permitieron promediar los escenarios RCP en cada uno de los periodos de tiempo considerados (2011-2040; 20141-2070 y 2071-2100) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017). Para este trabajo como ya se mencionó se abordó el periodo futuro 2041-2070, en donde se usó en ensamble multiescenario para este periodo de tiempo, para ello se descargó la información en formato ráster de la página del sistema de información ambiental colombiano (SIAC) y se extrajo el aumento de la temperatura y la variación de la precipitación para el área de estudio, posteriormente se sumó o restó esa variación, según el caso, para los datos climáticos del periodo de referencia 1981-2010.

5.4.1.2 Caudales.

Software WEAP: El software WEAP (Water Evaluation And Planning) es un programa creado por el Stockholm Environment Institute (SEI por sus siglas en inglés), que apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua con la demanda, esto a través de los módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca para el caso de la oferta y caracterización por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades en el caso de la demanda. WEAP permite realizar simulaciones a nivel mensual, a partir del mes asociado a la temporada definida. Cada mes es independiente del mes anterior, con excepción del almacenamiento en los embalses y los acuíferos presentes. El programa consta de cuatro métodos de simulación, de los cuales el de humedad del suelo es el más utilizado. En este método se representa la cuenca mediante dos capas de suelo, así como el potencial para la acumulación de nieves (Huamán & Victor, 2016).

Los caudales para el escenario prospectivo se hallaron en el software WEAP ("Water Evaluation And Planning" System), el procedimiento realizado se describe a continuación: Los pasos que se deben seguir para llevar a cabo el modelo con éxito se describen a continuación y se se pueden ver los documentos relacionados en el Anexo 5:

a) El primer paso a realizar es el esquema de la cuenca hidrográfica, se deben subir las capas de la delimitación de la cuenca, las subcuencas que de ahora en adelante serán las unidades hidrológicas, las principales corrientes (ríos y quebradas) y las estaciones de caudal que serán llamadas medidores de caudal; todas estas capas se suben en el sistema de coordenadas WGS 84 para que el software los pueda leer.

b) Seguidamente se procede a definir el método que va a utilizar el programa para estimar la *hidrología*, en este caso se eligió *Escurrimiento de lluvia (método de la humedad del suelo)* y también se definen los años y pasos de tiempo del modelo, para el presente estudio el año base en el escenario cuentas corrientes es 1981, y el periodo de tiempo en el escenario *reference* es (1982-2010).

En la pestaña Datos, se encuentra la información de *hidrología*, en donde se tuvieron en cuenta 9 parámetros que corresponden al método elegido anteriormente. De acuerdo con USAID (2013) a cada uno de ellos se les asigna un valor dependiendo del tipo de cobertura del suelo presente en la cuenca hidrográfica, en la tabla 33 se detalla esta información.

Tabla 33 Parámetros del modelo

	Supuestos clave en WEAP				
Cobertura del suelo	Coeficiente de cultivo, Kc	Capacidad de agua del suelo, Sw	Capacidad agua profunda, Dw	Factor de resistencia a la escorrentía, RRF	Conductividad de la zona radicular, Ks
Bosque	1.10	238.47	408.13	4	71888.8
Baja intensidad urbana	0.71	238.47		3.30	71888.8
Media intensidad urbana	0.71	238.47		3.30	71888.8
No bosque	0.80	238.47		3.50	71888.8
Zonas áridas	0.75	238.47		3.30	71888.8
Tierra agrícola	0.95	238.47		3.50	71888.8

Cobertura del suelo	Conductividad profunda, Kd	Dirección preferencial de flujo, f	Nivel de humedad en la zona de raíces (Z1) inicial	Nivel de humedad en la zona profunda (Z2) inicial
Bosque	734.77	0.30	30	30
Baja intensidad urbana		0.70	30	
Media intensidad urbana		0.70	30	
No bosque		0.65	30	
Zonas áridas		0.70	30	
Tierra agrícola		0.50	30	

Fuente: (IGAC, 2005) (USAID, 2013), modificado por autoras

c) Posteriormente se procede a subir la información de cada una de las unidades hidrológicas, como lo son: El área en km^2 y el porcentaje de área que representa cada cobertura dentro de la unidad hidrológica.

d) El siguiente paso es vincular los supuestos clave mencionados en el item b), a cada una de las unidades hidrológicas.

e) Luego de subir la información de las áreas, se procede a vincular la información de clima a cada unidad hidrológica, los parámetros que se tienen en cuenta son: Precipitación, temperatura, humedad, velocidad del viento, fracción de nubosidad y la latitud. En la figura 33 se puede observar cómo desde la herramienta *lectura desde archivo* se vincula toda la información requerida.

f) El siguiente paso es vincular la serie de tiempo de caudales medidos al medidor de caudal, en el caso de la cuenca del río Chicamocha se tuvo en cuenta la información de las 26 estaciones limnigráficas y limnimétricas del IDEAM.

g) Cuando se sube la información correspondiente al uso del suelo, clima y caudales para el escenario reference, se debe crear un escenario llamado RCP basado en cuentas corrientes para que replique la información, y se pueda cambiar la información que determina los escenarios de cambio climático, en este caso se modificó la información de uso del suelo y clima (precipitación y temperatura).

h) Por último, se procede a correr el modelo haciendo clic en la pestaña resultados, el programa arroja la gráfica de caudales simulados para las diferentes estaciones. Esta información se exporta a Excel para procesar los datos y así obtener los índices correspondientes para el escenario prospectivo.

Los datos obtenidos se validaron aplicando dos índices estadísticos que permiten determinar el desempeño del modelo, estos fueron: Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y Raíz del error cuadrático medio (RMSE). A continuación, se detallan las ecuaciones y la interpretación para cada uno de ellos (Cabrera, 2020).

NSE: Si la simulación es perfecta, E=1; si se intentara ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces E=0 (Cabrera, 2020) (Ecuación 39)

RMSE: El rango de valores que puede tomar va desde 0 hasta el infinito (positivo). El 0 corresponde a un ajuste perfecto mientras que valores más grandes indican un menor ajuste (Cabrera, 2020) (Ecuación 40)

Ecuación 39

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{sim,i} - Q_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2}$$

Ecuación 40

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{sim,i} - Q_i\right)^2}{n}}$$

La figura 29 se muestra el esquema general que se realizó en el software WEAP de la cuenca del río Chicamocha con información proveniente del IDEAM y el IGAC.

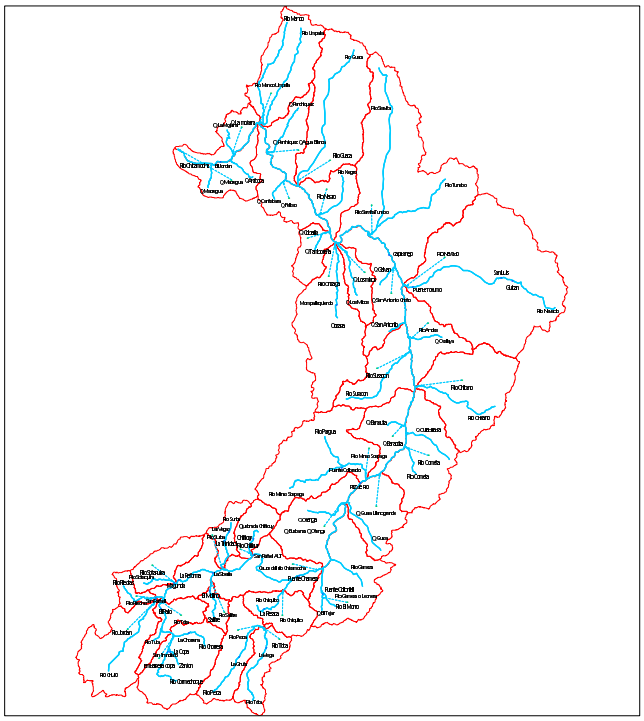


Figura 29 Esquema de la cuenca del río Chicamocha en WEAP
Fuente: (WEAP, 2020)

5.4.2. Índices escenario futuro

Los índices del escenario futuro siguen la metodología descrita en el numeral 5.3.2, con algunas variaciones mencionadas en este apartado, la Oferta hídrica total superficial (OHTS) se desarrolló con los datos anteriormente mencionados de temperatura y precipitación, con los cuales se calculó el balance hídrico con base en el Estudio Nacional del agua (2010), igualmente para el Índice de aridez (IA). Para el Índice de regulación hídrica (IRH), se tomaron los datos de los caudales simulados de cada una de las 26 estaciones pertenecientes a la cuenca del río Chicamocha, a partir de la simulación realizada en el software WEAP. La metodología aplicada para obtener esa información se detalla en el Anexo 6. El Caudal ambiental (Qamb), para el escenario prospectivo se calculó para cada una de las 26 estaciones de la cuenca, teniendo en cuenta la información de caudales simulados (Ver anexo 6). La Oferta hídrica total disponible (OHTD) e Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico se desarrollaron de acuerdo al apartado anterior (ver Anexo 7). El Índice de stress hídrico relativo se realizó teniendo en cuenta la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS), y los consumos de agua para el sector doméstico, industrial y agrícola calculados para el escenario futuro (Anexo 7). El Índice de disponibilidad per cápita se desarrolló teniendo en cuenta las proyecciones de población realizadas (Anexo 7).

5.4.2.1 Índice de uso del agua (IUA)

De acuerdo con la Ecuación 32 del numeral 5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA) (ver Anexo 7). A continuación, se especifican los consumos por sectores:

a) **Consumo humano o doméstico**

Se realizó con la misma metodología del numeral 5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA) a). Es importante mencionar que algunos municipios decrecieron o aumentaron de forma relevante en población (ver anexo 7), por lo que pasaron a diferente nivel de complejidad por ende de acuerdo con el reglamento técnico agua potable y saneamiento básico, cambió su dotación de agua por habitante. A demás para este periodo 2041-2070 se tuvo en cuenta la actualización del RAS, razón por la cual las dotaciones disminuyeron de la siguiente forma:

Tabla 34 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Dotación neta mínima (L/hab-día)
Bajo	90
Medio	115
Medio alto	125
Alto	140

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

Para determinar las pérdidas para este ítem del periodo futuro, se tuvo en cuenta el IANC (índice de agua no contabilizada) para un lapso que denominaron largo plazo, como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35 Niveles eficientes de pérdidas de agua, que deben ser aceptados desde el punto de vista regulatorio

N° de habitantes	IANC (largo plazo)
Mayores a 600 000	22.4%
600 000 -12 000	18.7%
Menores a 12 000	16.5%

Fuente: (CRA Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2006)

b) **Consumo del sector industrial**

El consumo del sector industrial para el escenario prospectivo se realizó a partir del promedio de los crecimientos (%) del número de nuevas empresas del sector industrial en los últimos años en los departamentos de Boyacá y Santander, teniendo en cuenta que la creación de empresas es proporcional al consumo del recurso hídrico debido a la demanda creciente. (Ver tabla 36 y 37) Adicionalmente se consultó el Geovisor del DANE Directorio Estadístico de Empresas, para verificar la existencia de establecimientos industriales en los municipios que al año 2010 no registraban ningún tipo de industria y se le asignó un consumo de agua a cada una de estas empresas como se especifica en el numeral 5.4.2.6 Índice de uso del agua (IUA) sección b) (Ver Anexo 7). El consumo futuro para cada uno de los municipios se calculó a partir del incremento hallado anteriormente y la suma de las pérdidas del 40% que establece la metodología ENA (IDEAM, 2010).

Tabla 36 Porcentaje de crecimiento para la industria en Boyacá

INDUSTRIA BOYACA	Años				
	2015	2016	2017	2018	
# de empresas	662	850	1356	788	
Porcentaje de crecimiento	2015	2016	2017	2018	%
		28.40	59.53	-41.89	**15.35**

Fuente: (Cámara de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso & Fundación Centro de Desarrollo Tecnológico para la Sostenibilidad y Competitividad Regional, 2019)

Tabla 37 Porcentaje de crecimiento para la industria en Santander

INDUSTRIA SANTANDER	Años			
	2017	2018	2019	
# de empresas	1643	1598	1732	
Porcentaje de crecimiento	2017	2018	2019	%
	3.5	-2.7	8.3	**3.03**

Fuente: (Cámara de comercio de Bucaramanga, 2021)

c) **Consumo del sector servicios**

- Consumo sector educativo

De acuerdo con el numeral 5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA) sección c) consumo sector educativo, se realizó proyecciones con regresiones para establecer la cantidad de estudiantes del periodo futuro, con lo cual se encontró que la población estudiantil aumenta como se muestra en las figuras (figura 30 y 31), para los departamentos. A nivel municipal se distribuyó la población estudiantil, teniendo en cuenta la proporción de la población, posteriormente se asignó dotación de acuerdo con la Tabla 23 (Anexo 7).

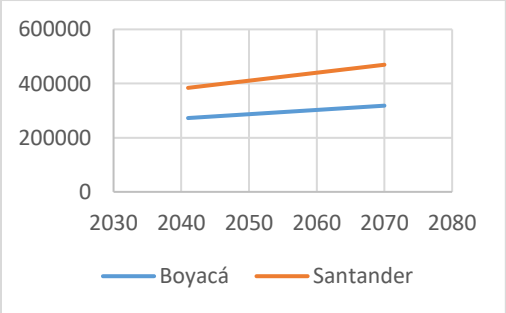


Figura 30 Estudiantes preescolar y primaria periodo 2041-2070

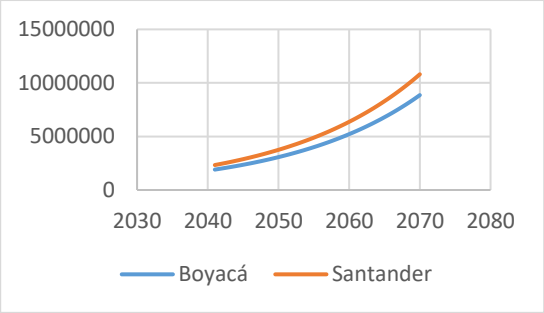


Figura 31 Estudiantes Media y superior periodo 2041-2070

- Consumo del sector salud

De acuerdo al numeral 5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA). Se obtuvo el número de camas por habitante que para el departamento de Boyacá en el periodo de referencia (1981-2010) es de

0.00235 camas/habitante (2.36 camas por 1000 habitantes) y para el departamento Santander 0.007705 camas/Hab (7.705 camas por cada 1000 habitantes), este indicador se usó con las proyecciones de población del periodo futuro y se encontró en número de camas por municipio y de acuerdo con la Tabla 23 se asignó la dotación (Ver Anexo 7).

- Consumo del sector comercial

De acuerdo con los porcentajes de crecimiento en el número de empresas del sector comercial para los últimos años en los departamentos de Boyacá y Santander (Ver tablas 38 y 39), se realizó un incremento porcentual de los consumos del periodo de referencia (1981-2010) para hallar los consumos futuros y posteriormente adicionar el porcentaje de pérdidas que establece el ENA en su metodología (Ver Anexo 7).

Tabla 38 Porcentaje de crecimiento para el comercio en Boyacá

COMERCIO BOYACÁ	Años				
# de empresas	2015	2016	2017	2018	
	4847	5380	7747	4473	
Porcentaje de crecimiento	2015	2016	2017	2018	%
		11.00	44.00	-42.26	**4.24**

Fuente: (Cámara de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso & Fundación Centro de Desarrollo Tecnológico para la Sostenibilidad y Competitividad Regional, 2019)

Tabla 39 Porcentaje de crecimiento para el comercio en Santander

COMERCIO SANTANDER	Años			
# de empresas	2017	2018	2019	
	8461	8200	7234	
Porcentaje de crecimiento	2017	2018	2019	%
	10.7	-3.1	7.2	**4.93**

Fuente: (Cámara de comercio de Bucaramanga, 2021)

d) **Consumo del sector energía**

En el departamento de Boyacá y Santander no se tienen proyectos a futuro en cuanto la construcción de hidroeléctricas y termoeléctricas (Anexo 7).

e) **Consumo del sector pecuario**

Debido a que la información recolectada (número de animales) del periodo de referencia no presentaba alguna relación o función matemática que permitiera proyectar en el tiempo los valores, se tomó la determinación de aumentar el consumo de agua para el periodo futuro en un 25%, teniendo en cuenta que no se tiene certeza de las tendencias en consumo de carne, pero que

sin embargo la población (habitantes) de la cuenca aumenta respecto al periodo de referencia en un 37% (Anexo 7).

f) **Consumo del sector agrícola**

Software TerrSet: Es un sistema geotemporal que incluye varias aplicaciones para análisis y seguimiento de datos geoespaciales, y modelado terrestre desarrollado por Clarck Labs. Este programa ofrece herramientas para abordar el cambio climático, cambios en el uso del suelo y variaciones de ecosistemas. La aplicación usada específicamente en esta investigación fue Land Change Modeler, que tiene la finalidad de modelar y analizar impactos relacionados con los cambios en el uso del suelo y la pérdida de biodiversidad asociada a ellos (UNIGIS, 2015).

El consumo agrícola se realizó con la misma metodología del numeral 5.3.2.6 Índice de uso del agua (IUA) sección f); pero las coberturas para las áreas agrícolas fueron obtenidas mediante el uso del software TerrSet, para lo cual se hizo necesario dos mapas de coberturas para comparar el crecimiento de las coberturas, en este caso año 2000 y año 2017, mapas descargados del SIAC, también debieron ser cargados otros aspectos como elevación (obtenido del DEM), pendientes (realizado mediante ArcGIS), vías y centros urbanos (DANE), estos aspectos son importantes, debido a que la elevación y la pendiente limitan el uso del suelo para uso agrícola, así como las vías y centros poblados generan un mayor crecimiento de coberturas como territorios artificializados. Las coberturas que se tuvieron en cuenta fueron agrupaciones de la leyenda de los mapas correspondiente a la categorización de Corine Land Cover, las cuales se agruparon como se muestra en la tabla 40. Posteriormente el programa evaluó 4 modelos para generar las coberturas potenciales y con base en ello, se dio la opción de que proyectará al año 2055 las coberturas del área de estudio. Este año fue elegido teniendo en cuenta que el periodo futuro comprende el periodo 2041-2070, y el año promedio, corresponde al año 2055.

Tabla 40 Homologación coberturas

Cobertura 2000	Leyenda 2055	Cobertura 2017
Arbustal vegetación acuática sobre cuerpos de agua	**Bosques, Herbazales, Arbustales y vegetación secundaria o en transición (B, H, A, Vs-T)**	Arbustal abierto y denso Vegetación secundaria
Herbazal Plantación forestal		Herbazal abierto y denso Plantación forestal

Cobertura 2000	Leyenda 2055	Cobertura 2017
Bosque de galería y ripario Bosque denso Bosque fragmentado		Bosque de galería y ripario Bosque abierto alto y bajo Bosque denso alto y bajo Bosque fragmentado con pastos y cultivos
Ríos Cuerpos de agua artificiales vegetación acuática sobre cuerpos de agua Lagunas, lagos y ciénagas naturales	**Aguas continentales y áreas húmedas (cuerpos de agua)**	Laguna Cuerpo de agua artificial Cuerpo de agua artificial Turberas Río
Cultivos permanentes arbustivos Cultivos permanentes herbáceos Tubérculos Mosaico de cultivos Mosaico de cultivos con espacios naturales Mosaico de pastos y cultivos Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales Otros cultivos transitorios	**Territorios agrícolas**	Cultivos permanentes Cultivos transitorios Mosaico de cultivos y espacios naturales Mosaico de cultivos y pastos Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
Mosaico de pastos con espacios naturales Pastos arbolados Pastos enmalezados Pastos limpios	**Pastos**	Mosaico de pastos y espacios naturales Mosaico de pastos con espacios naturales Pastos
Tejido urbano continuo Zonas de extracción minera Zonas industriales o comerciales Tejido urbano discontinuo	**Territorio artificializado**	Territorio artificializado
Zonas arenosas naturales Tierras desnudas y degradadas Afloramientos rocosos	**Áreas abiertas sin o con poca vegetación (Árido)**	Áreas abiertas sin vegetación Zonas arenosas naturales Afloramientos rocosos
Zonas glaciares y nivales	**Zonas glaciares y nivales y nubes**	Zonas de glaciales y nieves

5.5. Fase 3 Zonificación, priorización de subcuencas y acciones para la gestión del recurso hídrico

FASE 3: Zonificación, priorización de subcuencas y acciones para la gestión del recurso hídrico.
Objetivo específico 4:

Diseñar las acciones de gestión asociadas al índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) para la cuenca del río Chicamocha en el territorio de Boyacá.
Actividades 1. Para cada una de las subcuencas se realiza el análisis de la vulnerabilidad calculada con los escenarios de cambio climático, para definir zonas de alta vulnerabilidad. 2. De acuerdo con la zonificación anterior, se priorizan las subcuencas y se darán lineamientos para la gestión del recurso hídrico como medida de adaptación al cambio climático.

La priorización de las microcuencas se realizó, teniendo en cuenta los tres índices resultado, los cuales son el índice de stress hídrico relativo, el índice de distribución per cápita y el IVH, para ello se realizó una tabla de priorización, cruzando los resultados del IVH con los resultados de los otros dos índices, asignándose un valor de priorización (Ver Mapa, Anexo 50).

6. Resultados y discusión

6.1. Fase 1 Caracterización morfométrica para el periodo de referencia

6.1.1. Diagnóstico área de estudio

6.1.1.1 Descripción del área de estudio

El río Chicamocha se encuentra ubicado en gran parte del departamento de Boyacá (Cuenca alta y media) y en el departamento de Santander (cuenca baja), el drenaje principal tiene una longitud de 306.95 Km; corresponde a una cuenca hidrográfica de orden 8. El río toma su nombre en la confluencia de los ríos Jordán y Tuta a una altura de 2567 m.s.n.m (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ, 2006) y desemboca junto con el Río Suarez, formando el Río Sogamoso, a una altura de 353 m.s.n.m, este a su vez desemboca en la macrocuenca del Río Magdalena (Figura 32). La jurisdicción corresponde por ende a Corpoboyacá y la CAS (Santander) a quienes les corresponde velar por el ordenamiento y reglamentación de este recurso hídrico.

Entre los principales ríos se encuentra: Río Chiquito, Río Surba, Río Nevado, Río Tunebo, Río Negro, Río Guaca, Río Umpalá, Río Cormechoque, Río Pesca, Río Gameza, Río Moniquirá,

Río Soapaga, Río Jabonera. Además, cuenta con lagos y lagunas como: Lago Sochagota, Laguna los Patos, Laguna Batanera, Laguna Grande, Laguna de Ortices, entre otras.

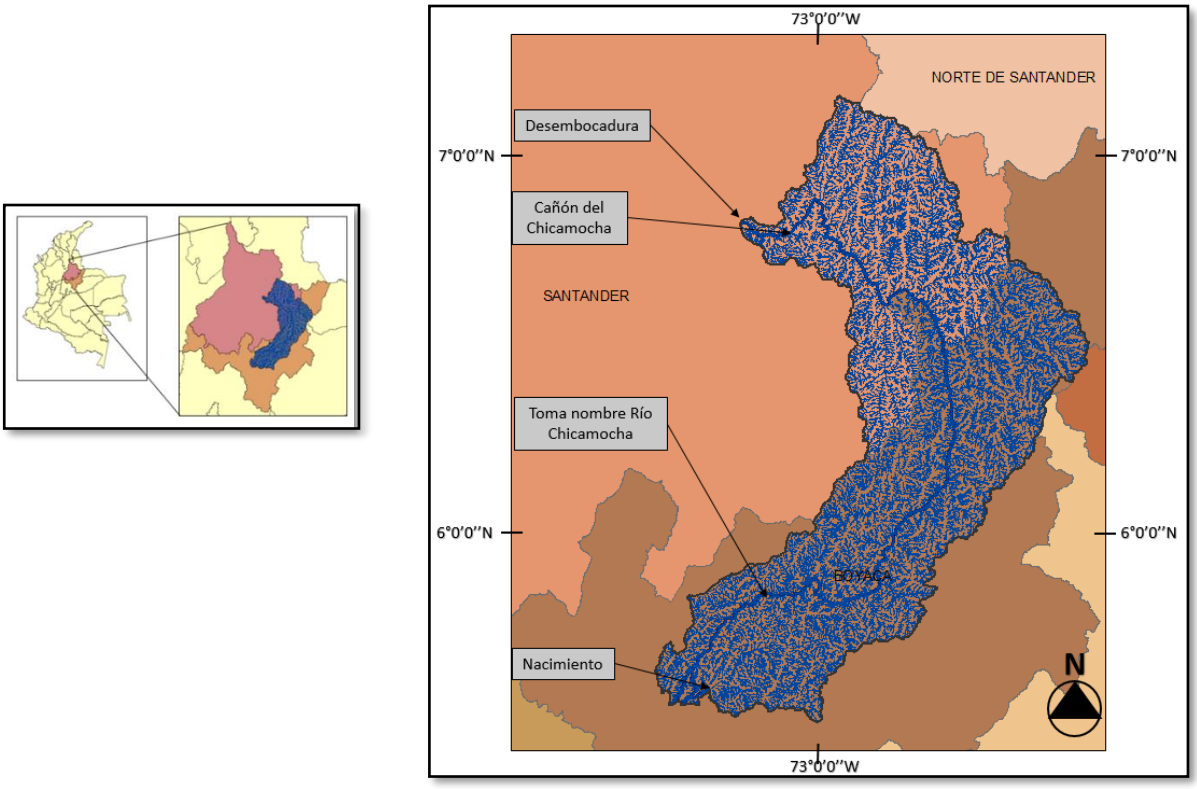


Figura 32 Ubicación geográfica cuenca Río Chicamocha

6.1.1.2 Temperatura

La temperatura en la cuenca del río Chicamocha (1981-2010) comprende un rango entre 6.5°C en su costado más oriental, donde se encuentran las alturas más importantes a 5300 msnm y 20.5°C en parte de la cuenca media y cuenca baja en su desembocadura a 350 msnm. La temperatura media corresponde a 15.2°C (Ver mapa temperatura, Anexo 8).

6.1.1.3 Precipitación

Las precipitaciones en la cuenca del Río Chicamocha (1981-2010) comprenden entre 686 mm en la cuenca alta, es decir, al sur de la cuenca hasta 1857mm en la cuenca baja, precipitación media de 1115 mm (Ver mapa precipitación, Anexo 9).

6.1.1.4 Cuencas

En esta investigación la cuenca está dividida en cuenca alta de acuerdo con el diagnóstico del Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del Río Chicamocha (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ, 2006), en la cuenca media de acuerdo con el documento Formulación del plan de ordenación y manejo ambiental cuenca media del Río Chicamocha (Universidad Distrital FJC, Corpoboyacá, 2008), adicionándole tres microcuencas Río Onzaga, Quebrada Los Micos y Río Servitá-Tunebo, finalmente y debido a que la cuenca baja aún está sin delimitación, se tomaron las subcuencas restantes como cuenca baja (Ver mapa de cuencas, Anexo 10), en la tabla 41 se relacionan las áreas de las respectivas microcuencas.

Tabla 41 Distribución de la Cuenca del Río Chicamocha

#	Cuenca	Nombre microcuenca	Área(ha)	
1	Alta	Río Jordan	31879.1	215189.2
2		Río Tuta	12447.5	
3		Embalse La Copa	32087.9	
4		Río Pesca	21508.9	
5		Río Tota	15744.3	
6		Río Piedras	5511.4	
7		Río Sotaquira	14020.5	
8		Río Salitre	5523.2	
9		Cauce del Río Chicamocha	41570.3	
10		Río Chiquito	15787.9	
11		Río Surba	8514.6	
12		Río Chiticuy	10593.6	
13	Media	Río Gameza o Leonera	35428.6	562507.0
14		Q. Buzbanza Q. Otenga	27239.4	
15		Río Minas Soapaga	49834.6	
16		Q. Guasa Llanogrande	22375.0	
17		Río Cometa	34674.2	
18		Q. Baracuta	17699.0	
19		Río Chitano	43761.7	
20		Río susacón o Jabonera	23655.1	
21		Río Andes Q. Ocaya	19174.8	
22		Río Nevado	108747.3	
23		Q. San Antonio Cristo	24414.4	
24		Río Onzaga	48224.7	
25		Q. Los micos	11107.6	
26		Río Servitá-Tunebo	96170.5	
27	Baja	Q. Cobaria	10764.8	180173.8

#	Cuenca	Nombre microcuenca	Área(ha)	
28		Río Guaca	52718.6	
29		Río Negro	15092.6	
30		Quebradas Felisco. Basteña. Cantavara. Calichana. San José	19533.0	
31		Q. Perchiquez. Q. Agua Blanca	16370.4	
32		Río Manco-Umpalá	34824.2	
33		Quebradas La mojarra. Salvavidas. El Poni	12328.9	
34		Quebradas Macregua. Aratoca. La Tinta	18541.2	
TOTAL				**957869.9**

6.1.1.5 Coberturas de la tierra

El mapa de coberturas de la cuenca del río Chicamocha (Anexo 11) para el período de referencia se obtuvo del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). La cuenca presenta 39 coberturas de acuerdo con el sistema de clasificación Corine Land Cover, en la tabla 42 se enlistan estas coberturas y la respectiva homologación que se realizó con las coberturas introducidas en el software WEAP.

Tabla 42 Homologación de coberturas

Corine Land Cover	Categorías WEAP
Tejido urbano continuo, Zonas industriales o comerciales	Media intensidad urbana
Tejido urbano discontinuo, Aeropuertos, Zonas verdes urbanas, Instalaciones recreativas	Baja intensidad urbana
Zonas de extracción minera, Zonas arenosas naturales, Afloramientos rocosos, Tierras desnudas y degradadas	Árido
Otros cultivos transitorios, Hortalizas, Tubérculos, Cultivos permanentes herbáceos, Cultivos confinados, Mosaico de cultivos, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de cultivos con espacios naturales	Tierra agrícola
Pastos limpios, Pastos arbolados, Pastos enmalezados, Mosaico de pastos y cultivos, Mosaico de pastos con espacios naturales, Zonas glaciares y nivales	No bosque
Bosque denso, Bosque abierto, Bosque fragmentado, Bosque de galería y ripario, Plantación forestal, Herbazal, Arbustal, Vegetación secundaria o en transición	Bosque

Corine Land Cover	Categorías WEAP
Zonas pantanosas, Turberas, Vegetación acuática sobre cuerpos de agua, Ríos, Lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	Cuerpos de agua
Nubes	Nubes

Fuente: (MINAMBIENTE, 2020)

En la tabla 43 se observa el porcentaje de área que presenta cada cobertura dentro de la cuenca del río Chicamocha, el mayor porcentaje lo tienen las coberturas Bosque (44.23) y No bosque (41.59).

Tabla 43 Coberturas 2010-2012, cuenca Chicamocha

Cobertura	Área (Ha)	% Área
Baja intensidad urbana	1966.20	0.21
Bosque	422734.09	44.23
Cuerpos de agua	3893.96	0.41
Media intensidad urbana	4861.85	0.51
No bosque	397557.06	41.59
Nubes	436.29	0.05
Tierra agrícola	105230.18	11.01
Zonas áridas	19178.92	2.01
TOTAL	955858.55	100.00

6.1.2. Morfometría cuenca Río Chicamocha

6.1.2.1 Morfometría de captación

La cuenca del río Chicamocha es una cuenca de gran extensión, ya que es una de las subzonas hidrográficas pertenecientes a la zona hidrográfica del Río Sogamoso que a su vez hace parte del área hidrográfica del Magdalena – Cauca. El tiempo de concentración (Tc) calculado para la cuenca es alto, esto teniendo en cuenta la longitud máxima que presenta y su factor de forma, el cual indico que la cuenca es alargada y por lo tanto esta menos sujeta a eventos torrenciales en un evento máximo de precipitación. El coeficiente de compacidad ratifica nuevamente que la cuenca es alargada, dando una forma oval oblonga a rectangular oblonga, por último, el índice de alargamiento indica que la cuenca tiende a ser rectangular por lo que su resultado es mayor a la unidad. (CAR, 2017)

La cuenca presenta una pendiente de 37.97%, es decir, muy fuertemente accidentado; lo cual implica un tiempo de concentración mayor, puesto que el flujo de agua presenta restricciones geomorfológicas que hacen que su velocidad disminuya y por consiguiente tarde más tiempo en llegar al final de la cuenca. Una red de drenaje de tipo dendrítico como el que presenta la cuenca del río Chicamocha tiende a tener valores altos de la relación de bifurcación. En cuanto más redondeada es una cuenca, menor será la relación de bifurcación y mayor el riesgo de crecidas bruscas en la desembocadura, por lo tanto, la cuenca al presentar una forma alargada va a tener una relación de bifurcación alta (4.19) y un retraso de la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal, y una mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas. (Gonzalez de Matuco, 2004)

La densidad de drenaje de la cuenca del río Chicamocha es 1.78 km/km^2 (baja), indicando un área pobremente drenada, y que posiblemente presente una respuesta lenta a un evento de precipitación (mayor Tc) (CAR, 2017). Según la densidad de drenaje, podría decirse que la cuenca en su mayoría está compuesta por texturas gruesas, ya que estás son más difíciles de erosionar y formar drenajes, sin embargo, esto es erróneo, dado a que la erosividad encontrada en la cuenca es Muy alta según los índices de Fournier y relación de bifurcación, teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo a la geología y geomorfología encontrada, los suelos de la cuenca del Río Chicamocha son de textura franca ya que contiene acumulaciones gruesas de arena y gravilla hasta arcillas muy finas, más específicamente riolitas, paragneises, cuarzomonzonitas, areniscas finas y rocas sedimentarias blandas; la densidad baja entonces se explica por la pendiente de la cuenca (37%) que es alta, lo que hace que el escurrimiento se concentre y no amplíe la cantidad de drenajes (Cálculos, Ver anexo 1).

a) ÁREA CUENCA (A):

De acuerdo con el decreto 1640 de 2012 la cuenca del río Chicamocha se define como el "*Nivel subsiguiente de la subzona hidrográfica y corresponde a aquellas cuencas con áreas de drenaje mayores a 500 km^2 dentro de una subzona hidrográfica y que sean afluentes directos del río principal.".* Cabe aclarar que el área acá mencionada, es una cuantificación de la proyección de la cuenca sobre un plano horizontal, por ende, entre

mayor sea el relieve, mayor será el error de cálculo de este parámetro, (Monserrat, 1985), sin embargo, es una primera aproximación cualitativa de caudales y comportamientos del agua dentro de la cuenca.

Tabla 44 Área

Longitud Km^2	9558.57

b) PERÍMETRO CUENCA (P):

Tabla 45 Perímetro

Cuenca	**Longitud Km**
	772,45

c) TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc)

Longitud del río principal (L) =306.95 Km; 306946.08 m

$$Tc = \frac{0.000325\ (306946.08^{0.77})}{0.01613^{0.385}} = 26.73\ Horas$$

Se puede decir que la cuenca del Río Chicamocha cuenta con un Tc alto, debido a la morfología de esta, en los siguientes índices se da como resultado que la cuenca tiende a ser rectangular, una justificación para este tiempo de retención.

Tabla 46 Tiempo de concentración

Tiempo de concentración	**Longitud del Río**	**Tc Californiana (h)**	**Tc Kirpich (h)**
Cuenca Alta	100.30	11.72	11.78
Cuenca Media	128.75	10.16	10.21
Cuenca Baja	77.90	5.87	5.90

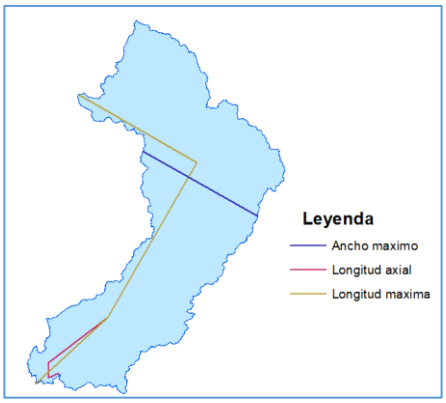


Figura 33 Mediciones

d) LONGITUD AXIAL (Long. Axial): 205.55 Km

e) LONGITUD MÁXIMA (Long. Máx.): 203.89 Km

Tabla 47 Longitudes

	Longitud axial (Km)	Longitud máxima(km)
Cuenca Alta	60.58	57.92
Cuenca Media	96.48	97.48
Cuenca Baja	48.49	48.49

*Es importante mencionar que la longitud máxima es mayor que la axial, debido a la forma del río en la Cuenca alta

f) ANCHO PROMEDIO: 46.57 Km

$$AP = \frac{9558{,}59\ Km^2}{205{,}55\ Km} = 46.50\ Km$$

Tabla 48 Ancho promedio

	Ancho promedio (AP) (Km)
Cuenca Alta	35.45
Cuenca Media	58.18
Cuenca Baja	37.08

g) FACTOR FORMA:

$$Ff = \frac{46.50\ Km}{205.55\ Km} = 0.23$$

Tabla 49 Factor de forma para toda la cuenca

Valores	Forma de la cuenca
0.22 - 0.3	Alargada

Tabla 50 Factor de forma Cuenca alta, media y baja

	Factor de forma (Ff)	
Cuenca Alta	0.59	Ligeramente ensanchada
Cuenca Media	0.60	Ensanchada

Cuenca Baja	0.76	Ensanchada

Las cuencas que tienden a ser alargadas tienen un tiempo de concentración mayor que las redondas, ya que el agua tarda un tiempo más en salir de la cuenca. En cuanto a la profundidad de los suelos, según este índice, el río al estar en una cuenca alargada presenta suelos más profundos, en comparación con una cuenca ovalada. Respecto a la disponibilidad de agua en el tiempo, estas cuencas presentan un caudal promedio en el tiempo, lo que indica disponibilidad de agua durante todo el año. Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma (Lux, s.f), debido a que no concentra el escurrimiento de una lluvia intensa, por ende, esta cuenca no forma fácilmente crecidas.

h) COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELLIUS

$$Kc = 0.28 \frac{772.45\ Km}{\sqrt{9558.59\ Km^2}} = 2.21$$

Tabla 51 Coeficiente de compacidad para toda la cuenca

Valor	Descripción
>1.5	Forma oval oblonga a rectangular oblonga

Tabla 52 Coeficiente de compacidad cuenca alta, media, baja

	Coeficiente de compacidad (Kc)	
Cuenca Alta	1.66	Oval oblonga a rectangular oblonga
Cuenca Media	1.89	
Cuenca Baja	1.73	

Este coeficiente indica la tendencia de la cuenca a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, entre más cercano a uno, indicará en mayor grado esta cualidad, (Lux, s.f) al estar en un rango alto El Río Chicamocha indica moderada tendencia a concentrar agua de escurrimiento.

i) COEFICIENTE DE CIRCULARIDAD

Tabla 53 Coeficiente circularidad cuenca alta, media, baja

	Coeficiente de circularidad (Cc)	
Cuenca total	0.20	Alargada
Cuenca Alta	0.36	Alargada
Cuenca Media	0.28	Alargada
Cuenca Baja	0.33	Alargada

j) ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

Ancho Máximo (Ancho Máx.) = 70.95 Km

$$Ia = \frac{203.89\ Km}{70.95\ Km} = 2.87$$

Tabla 54 Índice de alargamiento cuenca alta, media, baja

	Índice de alargamiento (IA)	
Cuenca Alta	1.08	Alargamiento
Cuenca Media	1.37	Alargamiento
Cuenca Baja	0.90	Casi alargada

Es mayor a 1, así que se trata de una cuenca alargada. Este índice, está directamente relacionado con el tiempo de concentración de caudal en la cuenca. así que como ya se mencionó la cuenca del Río Chicamocha tiene un Tc mayor que una cuenca redondeada.

k) ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD

$$Ih = \frac{9558{,}59 Km^2}{203{,}89\ Km * 70{,}95\ Km} = 0.66$$

Es una cuenca que tiende a ser más rectangular que redonda, ya que se acerca más a 1. Una vez más se confirma que está cuenca tiende a ser más rectangular-alargada.

Tabla 55 Índice de homogeneidad cuenca alta, media, baja

	Índice de homogeneidad (Ih)	
Cuenca Alta	0.69	Mas Rectangular que redonda
Cuenca Media	0.81	Más Rectangular que redonda
Cuenca Baja	0.69	Mas Rectangular que redonda

l) ÍNDICE DE ASIMETRÍA

$$Ad = \frac{Área\ vertiente\ max}{Área\ vertiente\ min} \qquad Ad = \frac{6241{,}60\ \ Km^2}{3316{,}99\ Km^2} = 1.88$$

El canal principal no es central, es decir, la cuenca no es simétrica. Lo que indica mayor disponibilidad en una de las vertientes, este aspecto tan importante, debe tenerse en cuenta en el ordenamiento de la cuenca.

6.1.2.2 Morfometría relieve.

a) ALTITUD MEDIA

$$E = \frac{(26438613.3\ Km * msnm)}{98578.6\ Km} = 2766\ msnm$$

b) MEDIANA DE ALTITUD

Representa la cota que divide el área en dos áreas iguales por arriba y por debajo, en este caso el área es de 9558.59 km^2, lo que significa que la mitad de esta área es 4779.29 km^2, que prolongando según la curva hipsométrica corresponde a una altura de 2970 msnm. La curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada, la curva hipsométrica de cuenca del Río Chicamocha presenta la siguiente curva hipsométrica (Figura 34), que se puede analizar de acuerdo con la figura 35.

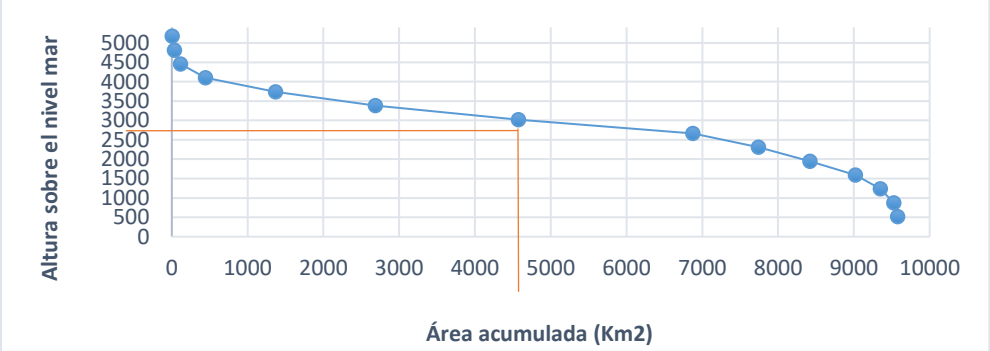


Figura 34 Curva hipsométrica

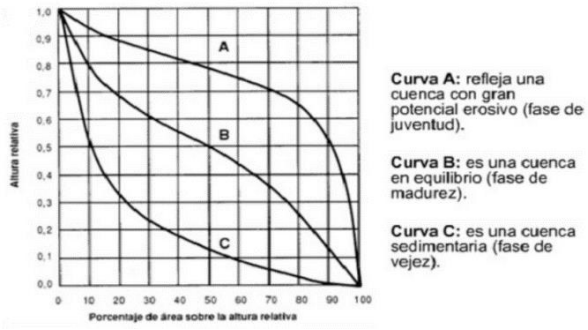


Figura 35 Formas de la curva hipsométrica
Fuente: (Rojas, 2015)

Teniendo en cuenta la curva hipsométrica anterior, se infiere que la cuenca corresponde a una cuenca en equilibrio, debido a la forma de la curva, ya que se asemeja a la curva B de la figura 35, y esto significa que contiene aún material para ser erosionado. Las cuencas más evolucionadas,

presentan una línea cóncava (curva c), esto significa que por el tiempo han sufrido procesos de erosión. Sin embargo, se podría analizar que está en un proceso intermedio entre la curva A y la curva C, es decir, está en un proceso de transición pasando a una cuenca sedimentaria.

Tabla 56 Mediana de altitud y altitud media para cuenca alta, media, baja

	Mediana de altitud (curva hipsométrica) (msnm)	**Altitud media € (msnm)**
Cuenca Alta	2900.00	2904.12
Cuenca Media	3125.00	2937.83
Cuenca Baja	2000.00	2064.78

c) ALTURA MEDIA

- VOLUMEN DE LA CUENCA
  - ❖ MÉTODO DE LA ECUACIÓN

Se encontró que la ecuación con mayor r^2 fue la recta polinómica, el cual fue de 0.9377. La ecuación fue la siguiente:

$$-1 * 10^{-17}X^2 - 3 * 10^{-7}X + 4552$$

La integral se desarrollará teniendo en cuenta las áreas acumuladas entre curvas de nivel.

Intervalo: [9558585543-5083845.02] m^2

$$v = \int_{5083845.02}^{9558585543} [-1 * 10^{-17}X^2 - 3 * 10^{-7}X + 4552]$$

$$v = -1 * 10^{-17}\frac{x3}{3} - 3 * 10^{-7}\frac{x2}{2} + 4552x]$$

$$v = 2.69 * 10^{13}\, m^3$$

$$OH = \frac{2.69 * 10^{13}\, m^3}{9558585543\, m^2} = 2814.22m$$

d) COEFICIENTE DE MASIVIDAD

$$Cm = \frac{OH}{OB} \qquad Cm = \frac{2814.22m}{9558.59Km^2} = 0.29$$

Tabla 57 Coeficiente de masividad

Rangos	**Descripción**

0 - 35	Moderadamente montañoso

e) COEFICIENTE OROGRÁFICO

$$Co = Cm * OH$$

$$Co = 0.29 * 2814.22 = 827.75$$

Tabla 58 Coeficiente Orográfico

Co >6	Relieve Montañoso

f) ÍNDICE O COEFICIENTE DE FOURNIER IMF

$$Imf = \sum_{i=1}^{12} (\frac{P1^2}{P2})$$

Ecuación 41

Donde;

P1, precipitación media mensual multianual

P2, precipitación media multianual

Fuente: (Ignacio & Delgado, 2011)

El mes más lluvioso corresponde al mes de mayo (figura 36)

$$Imf = \sum_{i=1}^{12} (\frac{48.9^2 + 73.9^2 + 116.8^2 + 186.4^2 + 211.6^2 + 169^2 + 162.1^2 + 151.9^2 + 162.9^2 + 196.9^2 + 149.7^2 + 77.2^2}{1693.89})$$

$$If = 160.83 \text{ Ton/ha/año}$$

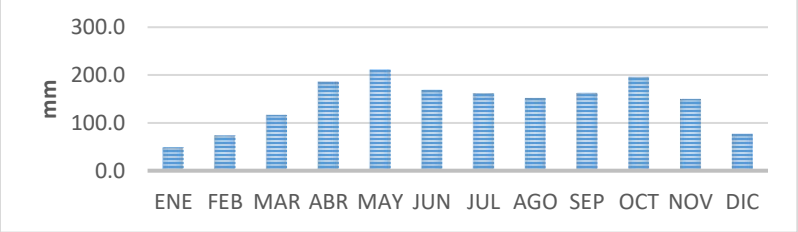


Figura 36 Comportamiento precipitación multianual 1981-2010

Fuente: (IDEAM, 2010), Modificado por autores

Tabla 59 Valores de referencia del índice de Fournier (IF) para áreas montañosas tropicales

IF	Calificación
>160	Muy Alto

Por lo anterior, el río Chicamocha se encuentra en una clasificación muy alta, es decir, la erosión por lluvias es máxima, es decir, la sedimentación arrastrada por el río es importante, y hace un aporte en sedimentos significativa al río Sogamoso.

g) PENDIENTE MEDIA

- Método de Alvord
  - $Pm = 25m * \left(\frac{106014823.3\ m}{9558585543\ m2}\right) * 100 = 27.72\%$

Tabla 60. Descripción de la pendiente media

20 - 35	Fuertemente accidentado

- Método de la cuadrícula

Tabla 61 Pendiente media

	Pendiente Media de la cuenca (msnm)	
Cuenca Total	37.97	Muy Fuertemente accidentado
Cuenca Alta	21.28	Fuertemente accidentado
Cuenca Media	40.43	Muy Fuertemente accidentado
Cuenca Baja	50.24	Escarpado

6.1.2.3 Morfometría red de drenaje.

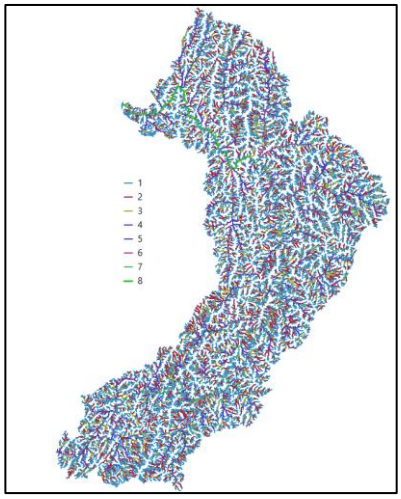


Figura 37 Ordenes de los ríos

Tabla 62. Drenajes

Orden	Longitud km	Número ríos	Promedio longitudes
1	8925.83	16818	0.53
2	4253.97	2964	1.44
3	1982.65	804	2.47
4	1020.93	181	5.65
5	391.44	41	9.55
6	175.67	10	17.57
7	172.88	2	86.44
8	91.16	1	91.16
Total	**17014.53**	**20821**	

a) RELACIÓN DE CONFLUENCIA

Este índice describe la erosión en las corrientes. En la tabla 64 se puede observar que la erosión en esta cuenca es importante, incluso en los órdenes más pequeños, es decir, que en sí toda la cuenca debe priorizarse cuando se habla de manejo ambiental.

Tabla 63 Cálculo del rb

	rb
1 Vs 2	5.67
2 Vs 3	3.69
3 Vs 4	4.44
4 Vs 5	4.41
5 Vs 6	4.10
6 Vs 7	5.00
7 Vs 8	2.00
Suma	29.32

$$rb = \frac{29.32}{7} = 4.19$$

Tabla 64 Descripción relación de confluencia

Valor	**Descripción de la erosión**
4 - 5	Muy erosivo

Los valores bajos (valores cercanos a 2) suelen corresponder a cuencas de menor pendiente (Gil, 2009). Las altas relaciones de bifurcación como en este caso indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes y los bajos valores suelen presentar los más altos riesgos de inundación por concentración brusca de la escorrentía (Campo, Aldalur, & Fernández, 2012).

b) RELACIÓN DE LONGITUD

Tabla 65 Calculo de rL

2 Vs 1	2.70
3 Vs 2	1.72
4 Vs 3	2.29
5 Vs 4	1.69
6 Vs 5	1.84
7 Vs 6	4.92
8 Vs 7	1.05
Suma	16.22

$$rL = \frac{16.22}{7} = 2.32$$

Altos valores de Rl (> 3) revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones Rl (< 3) muestran mayor concentración de caudales (Campo, Aldalur, & Fernández, 2012), sin embargo y debido a que el Tc es alto, se infiere que este tiempo de concentración del caudal será menor.

c) DENSIDAD DE DRENAJE

$$Dd = \frac{17014.53\ km}{9558.59\ \ Km^2} \qquad Dd = 1.78\ Km/Km^2$$

Este resultado indica que la densidad de drenaje es baja, con ello se relacionan muchos otros datos, este índice da una mirada general al comportamiento de la cuenca; cuando la densidad es baja, se relaciona con tiempos de concentración altos, la densidad baja en drenajes suele sustentarse con el tipo de textura, en este caso, la variable que explica la densidad encontrada es la alta pendiente, que dificulta el recorrido del agua, haciendo que está se concentre

d) FRECUENCIA DE LOS TALWEGS

$$Fx = \frac{20821}{9558.59\ Km} = 2.18$$

La cuenca del Río Chicamocha es una cuenca medianamente drenada, ya que tiene Dd inferior a 2.5 Km/Km^2, aunque tenga Fx mayor a 1.

e) GRADO DE INCLINACIÓN DEL RÍO

$$Pm = \frac{(5300 - 350)}{306946.08} * 100 = 1.613\%$$

Tabla 66 Pendientes por cuenca

	Pendiente río (%)
Cuenca Total	1.6
Cuenca Alta	1.4
Cuenca Media	3.5
Cuenca Baja	5.2

6.1.3. Periodo de referencia (1981-2010)

Los índices acá descritos denotan vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en su mayoría, para los municipios de la cuenca alta del Río Chicamocha, en el periodo de referencia (1981-2010), los cuales se ubican en zona de bajas precipitaciones, afectados por la oferta hídrica, sin embargo, tienen las mayores poblaciones de la cuenca, en síntesis, es la cuenca alta la que presenta mayores vulnerabilidades, por consiguiente, requiere de medidas urgentes para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

6.1.3.1 Climatología

6.1.3.1.1 Zonas de vida

Las zonas de vida son áreas delimitadas por parámetros de precipitación, altitud y temperatura. La combinación de estos factores define ciertos rangos en donde pueden existir formaciones vegetales particulares, definidas en categorías como Bosque Húmedo Montano, Bosque Seco Subtropical, Bosque Pluvial Montano, etc. El sistema de zonas de vida de Holdridge es uno de los modelos más utilizados para hacer esta clasificación.

En el mapa zonas de vida periodo de referencia (Anexo 12) se pueden observar las zonas de vida existentes en la cuenca del río Chicamocha, de acuerdo con la clasificación del Holdridge se identificaron 12 zonas de vida (Ver tabla 67). En la tabla 67 se puede observar que la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) tiene el mayor porcentaje en la cuenca con un 34.75%, se caracteriza por presentar precipitaciones entre los 1000 a 2000 mm y temperaturas entre los 12 a 17 °C, y se localiza principalmente en los municipios de Sotaquira y Chiscas en Boyacá, y Piedecuesta, Guaca, Carcasí y San Andrés en Santander. El bosque seco montano bajo (bs-MB) tiene un 27.31% de representación dentro de la cuenca, esta zona de vida presenta precipitaciones entre los 500 a 1000 mm y temperaturas entre los 12 a 17 °C, y se localiza principalmente en los municipios de Tasco, Sogamoso, Tuta, Pesca y Tota en Boyacá. El bosque húmedo premontano (bh-PM) ocupa el 20.97% de la cuenca, presenta precipitaciones entre los 1000 a 2000 mm y con temperaturas entre los 17 a 24°C, y se encuentra principalmente en los municipios de Covarachia en Boyacá y Mogotes, Aratoca, San Joaquín, Molagavita y Onzaga en Santander.

Tabla 67 Zonas de vida (1981-2010)

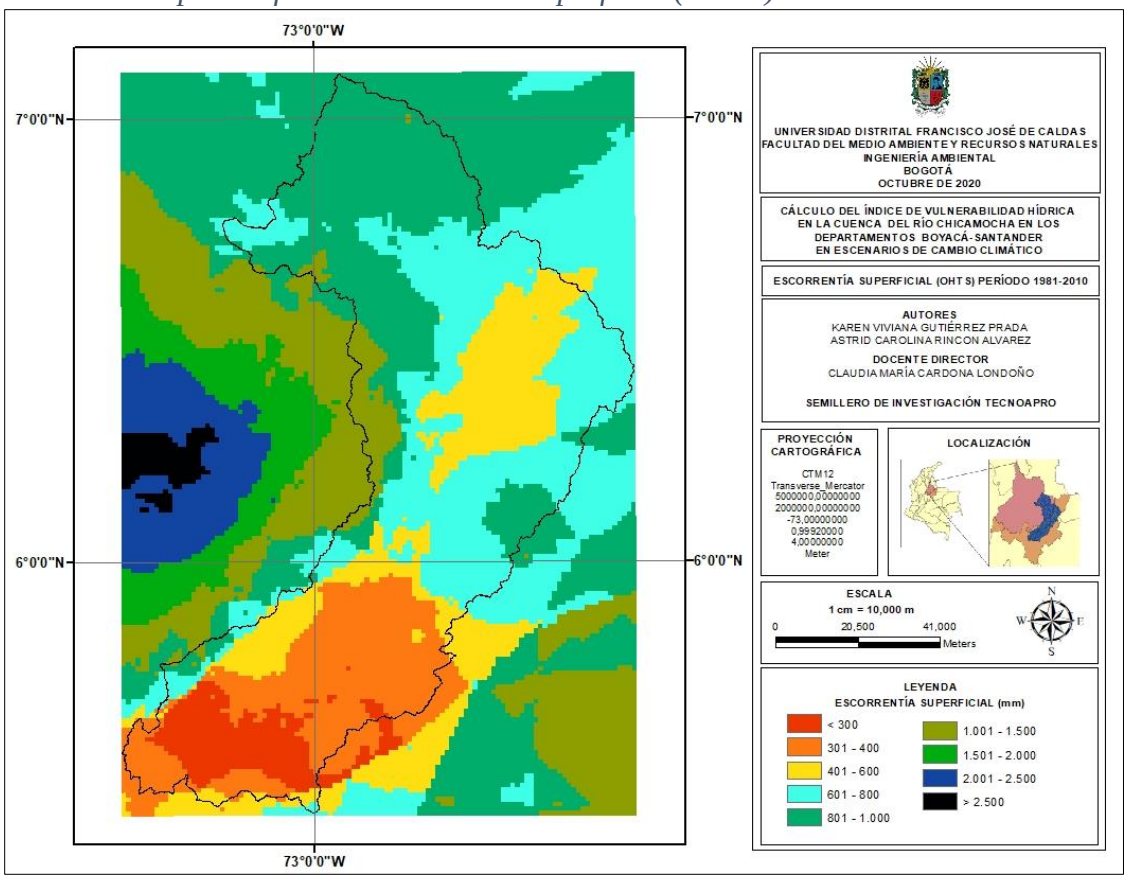
ZONA DE VIDA	ÁREA (HA)	% ÁREA
Bosque húmedo montano	34411.28	3.60
Bosque húmedo montano bajo	332178.45	34.75
Bosque húmedo premontano	200470.88	20.97
Bosque muy húmedo montano	37768.00	3.95
Bosque muy húmedo premontano	1455.78	0.15
Bosque pluvial montano	2097.36	0.22
Bosque seco montano bajo	261045.70	27.31
Bosque seco premontano	5006.56	0.52
Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano	34040.82	3.56
Transición de bosque húmedo montano bajo a bosque seco montano bajo	6070.25	0.64

ZONA DE VIDA	ÁREA (HA)	% ÁREA
Transición de bosque húmedo montano a bosque seco montano bajo	3733.50	0.39
Transición de bosque húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	37579.95	3.93
TOTAL	955858.55	100.00

6.1.3.2 Oferta hídrica total superficial (OHTS)

La oferta hídrica total superficial representa el total de agua (volumen) que escurre por la superficie de la cuenca y conforma los ríos y quebradas, el ENA (2010) lo define como:" Balance de agua en un intervalo de tiempo, donde el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua". En el mapa 1 (Anexo 13) se puede evidenciar que la cuenca alta es la que tiene menor escurrimiento (<400 mm) y a medida que avanza la cuenca se tiene escurrimiento o agua total de hasta 1500 mm anuales, esto básicamente se debe al aumento de caudal conforme aumenta el orden de los drenajes.

Mapa 1 Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) 1981-2010



6.1.3.3 Índice de aridez (IA).

Este índice da una idea general del déficit o suficiencia de la precipitación, se puede observar que la cuenca del río Chicamocha presentó para el periodo de referencia, en gran porcentaje del área valores moderados, especialmente cuenca baja y una parte de la cuenca media; otra parte con una porción de valores moderados a excedentes en la cuenca alta y media y algunas zonas en la cuenca media con valores moderados deficitarios (ver mapa índice de aridez, Anexo 14)

6.1.3.4 Índice de regulación hídrica (IRH).

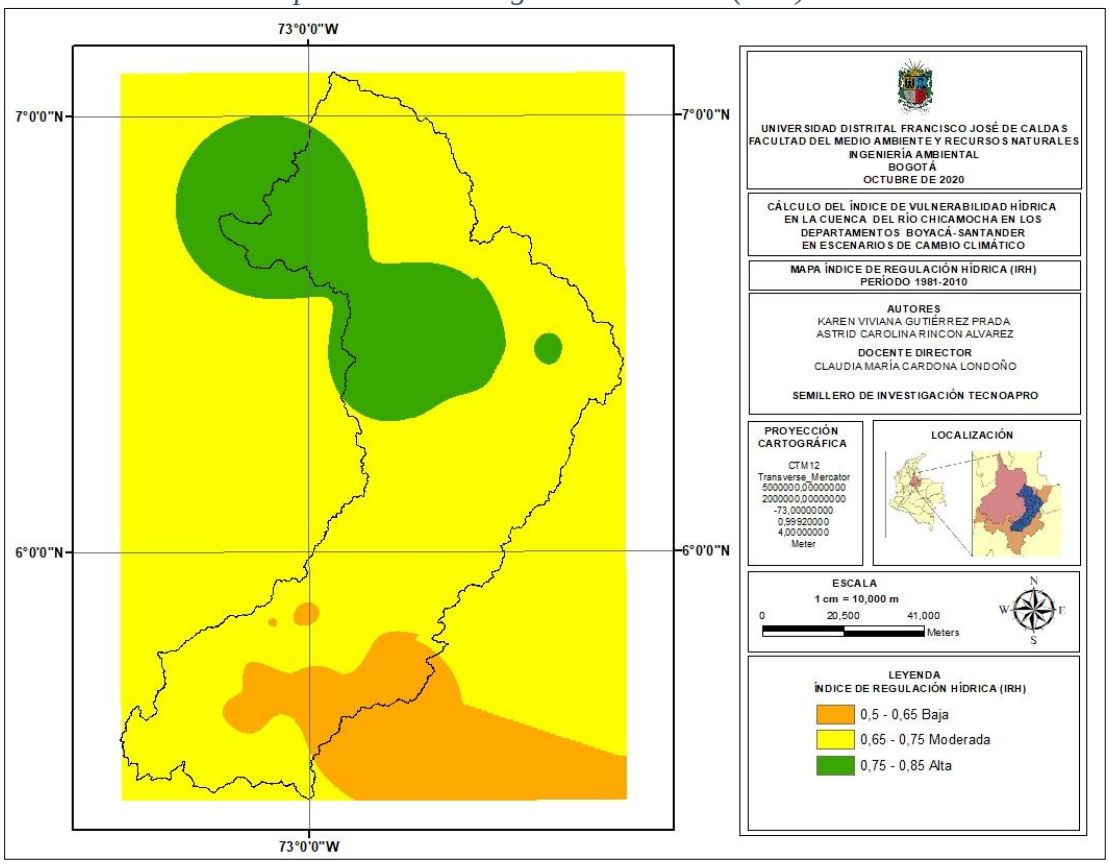
Este índice evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, es decir, evalúa tanto las condiciones climáticas con las interacciones morfométricas de la cuenca como la interacción de las anteriores con las coberturas asociadas, debido a la capacidad del suelo de retener agua (almacenamiento) y por ende regular el comportamiento del agua en su conjunto (IDEAM, 2010) (para los cálculos, Ver anexo 3)

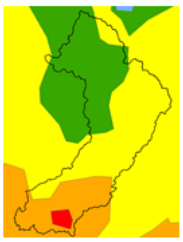
Tabla 68 Resultados índice de regulación hídrica (IRH) 1981-2010

	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	CORRIENTE	IRH	
1	24037020	LA COPA	Tuta	0.76235356	Alto
2	24037130	LA REFORMA	Chicamocha	0.7250029	Medio
3	24037190	SAN RAFAEL	Chicamocha	0.72256065	Medio
4	24037270	CHITICUY	Quebrada Chiticuy	0.60805585	Bajo
5	24037290	PUENTE CHAMEZA	Chicamocha	0.68129785	Medio
6	24037040	GUICAN	Nevado	0.74317022	Medio
7	24037070	MAGUNCIA	Sotaquira	0.69470097	Medio
8	24037080	LA GRUTA	Pesca	0.67046613	Medio
9	24037120	LA VEGA	Iza	0.63583122	Bajo
10	24037300	PUENTE COLONIAL	Monguí	0.59538611	Bajo
11	24037370	MOMPA IZQUIERDO	Onzaga	0.77483622	Alto
12	24037380	SAN LUIS	Nevado	0.75428951	Alto
13	24037390	CAPITANEJO	Chicamocha	0.75510594	Alto
14	24037450	EL MOLINO	Salitre	0.57392737	Bajo
15	24037480	TRINIDAD LA	Surba	0.63640254	Bajo
16	24037510	PAZ DE RIO	Chicamocha	0.67111219	Medio
17	24037110	LA RESACA	Chiquito	0.60069189	Bajo
18	24037320	LA SIBERIA	Chicamocha	0.71865019	Medio
19	24037100	VEGAS LAS	Surba	0.72769525	Medio
20	24037090	SAN RAFAEL 2	Chulo	0.70	Medio

	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	CORRIENTE	IRH	
21	24037030	EL PALO - AUT	Tuta	0.69365851	Medio
23	24037590	LA CHORRERA	La Chorrera	0.56610808	Bajo
22	24037580	SAN FRANCISCO	Rio grande	0.67807863	Medio
24	24037490	PUENTE TOTUMO - AUT	Nevado	0.7532537	Medio
25	24037410	PUENTE COLORADO	Minas	0.70	Medio
26	24037360	EL JORDAN	Chicamocha	0.76753794	Alto

Mapa 2 Índice de regulación hídrica (IRH) 1981-2010





(ENA,2010)

Se puede evidenciar de acuerdo con el mapa 2 (Anexo 15) que aúnque hay IRH bajo, las condiciones en gran parte de la cuenca para el periodo de referencia se encontraba en regulación

media, lo que indica que las coberturas del suelo para ese periodo son coberturas que disminuyen la regulación del agua en el suelo y evitan su capacidad de almacenamiento. En la parte inferior, se puede ver una imagen de los resultados del ENA (IDEAM, 2010), se identifica que en la cuenca alta, habían para ese año valores críticos de regulación, sin embargo al ser el compilado de 30 años de datos no se evidencia este valor, se puede inferir que las condiciones en el 2010 condujeron a que el IRH fuesen más críticas.

En la tabla 69 se analizó cuáles son las coberturas con mayor porcentaje dentro de cada cuenca, de acuerdo con el mapa de coberturas 2010-2012, los resultados arrojaron que corresponden a pastos, mosaicos de cultivos y pastos. Respecto a las cuencas que dieron IRH alto se puede ver que contienen menor porcentaje de áreas en las coberturas mencionadas y conforme disminuye el IRH aumenta el porcentaje de área en esas coberturas. Esto se debe a la relación de las coberturas con el ciclo hidrológico, pues las coberturas de porte bajo no generan mayores aportes de evapotranspiración como si lo hacen las coberturas boscosas.

Tabla 69 Relación coberturas e IRH

COBERTURAS	PROMEDIO (%) DE ÁREAS SEGÚN IRH		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Pastos limpios	15	9	14
Mosaico de pastos y cultivos	24	28	14
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	12	10	9
Mosaico de pastos con espacios naturales	9	7	11
Otras coberturas	40	46	52
Total	**100**	**100**	**100**
Suma coberturas agrícolas y en pastos	**60**	**54**	**48**

6.1.3.5 Caudal ambiental (Qamb).

El Caudal ambiental según el ENA es aquella porción de agua que se retira de la oferta hídrica total superficial, necesaria para garantizar el volumen del recurso hídrico en la sostenibilidad de los diferentes ecosistemas (Ver mapa, anexo 16), el caudal ambiental en la desembocadura de la cuenca comprende 49.37 m^3/s (cálculos, Ver anexo 3).

Tabla 70 Resultados Qamb, OHTS y OHTD

	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	Qamb (m^3/s)	OHTS (mm/año)	OHTD (mm/año)
1	24037020	LA COPA	0.93	258.2	255.1
2	24037130	LA REFORMA	2.04	395.4	388.7
3	24037190	SAN RAFAEL	2.32	373.0	365.3
4	24037270	CHITICUY	0.12	386.2	385.8
5	24037290	PUENTE CHAMEZA	3.54	327.4	315.8
6	24037040	GUICAN	2.04	657.8	651.0
7	24037070	MAGUNCIA	0.58	398.8	396.9
8	24037080	LA GRUTA	0.3	269.3	268.3
9	24037120	LA VEGA	0.18	323.8	323.2
10	24037300	PUENTE COLONIAL	0.26	357.4	356.5
11	24037370	MOMPA IZQUIERDO	4.3	929.0	914.8
12	24037380	SAN LUIS	4.02	638.0	624.8
13	24037390	CAPITANEJO	29.27	705.5	609.2
14	24037450	EL MOLINO	0.05	365.1	365.0
15	24037480	TRINIDAD LA	0.25	487.5	486.7
16	24037510	PAZ DE RIO	15.13	628.8	579.0
17	24037110	LA RESACA	0.43	303.7	302.3
18	24037320	LA SIBERIA	2.3	495.6	488.0
19	24037100	VEGAS LAS	0.24	488.1	487.3
20	24037090	SAN RAFAEL 2	0.38	277.1	275.9
21	24037030	EL PALO - AUT	1.07	282.0	278.5
22	24037590	LA CHORRERA	0.08	258.2	256.0
23	24037580	SAN FRANCISCO	0.68	289.6	289.3
24	24037490	PUENTE TOTUMO - AUT	8.9	504.7	475.4
25	24037410	PUENTE COLORADO	0.73	619.5	617.1
26	24037360	EL JORDAN	49.37	722.5	559.9

6.1.3.6 Oferta hídrica total disponible (OHTD).

Se evidencia el mismo comportamiento del OHTS, en el cual se obtiene menor cantidad de agua superficial en la cuenca alta, pero en este caso disminuye en 100 mm aproximadamente, los correspondientes al caudal ambiental (en la cuenca baja hasta 50 m^3/s), esto teniendo en cuenta las interpolaciones realizadas (ver mapa, Anexo 17)

6.1.3.7 Índice de uso del agua (IUA).

A continuación, se relacionan los consumos totales por municipio (Tabla 71), en la columna 1 los números corresponden al número de municipio en el mapa (cálculos, Anexo 4) (Ver mapa, Anexo 18).

Tabla 71 Consumos en m^3/año por sectores evaluados

MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (1981-2010)						
		Domestico	Industrial	Servicios	Energía	Pecuario	Agrícola	TOTAL
1	Aratoca	433651	402495	48578		525841	559886	1970451
2	Belén	868507	34965	45108		347134	612932	1908645
3	Betéitiva	179808		10343		96542	41123	327816
4	Boavita	976194		38140		663892	510341	2188566
5	Busbanzá	29204		3695		34063	1158	68121
6	Capitanejo	404604		36145		225107	522710	1188566
7	Carcasí	331942		30452		703513	4418414	5484320
8	Cepitá	105533		12178		92789	309443	519944
9	Cerinza	316868		17170		317916	87136	739090
10	Cerrito	222956		30043		389594	6371504	7014096
11	Chiscas	179415		19359		560009	983550	1742333
12	Chita	444993		48440		171204	1452731	2117368
13	Chivatá	213522		24588		272042	629646	1139798
14	Cómbita	423269	34965	44161		683189	3153551	4339135
15	Concepción	272604		28819		431243	3227267	3959933
16	Corrales	167209		10380		56345	56828	290764
17	Covarachía	261564		17419		432695	220298	931976
18	Cuítiva	51276		13652		86243	6948	158120
19	Curití	123027		49177		145227	187542	504972
20	Duitama	6722296	349652	987194		217050	670490	8946682
21	El Cocuy	395216		41129		278983	1543783	2259111
22	El Espino	215929		19002		451375	103596	789902
23	Enciso	263572		23103		192835	944001	1423511
24	Firavitoba	390447		26250		469225	438773	1324695
25	Floresta	315975		19092		260164	50259	645490
26	Gameza	325869		24008		318785	966795	1635457
27	Guaca	431981		39611		516180	6644153	7631925
28	Guacamayas	187346		8673		276961	279087	752066
29	Güicán	206351		44450		374795	1135856	1761452
30	Iza	85849		12250		98912	5400	202411
31	Jericó	365739		21328		328661	908103	1623832
32	Jordán	63451		7183		123116	2265	196015
33	La Uvita	475789		16413		416941	229949	1139093
34	Los Santos	219299		46796		322500	1246786	1835382

MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (1981-2010)						
		Domestico	Industrial	Servicios	Energía	Pecuario	Agrícola	TOTAL
35	Macaravita	246467		19032		239724	726794	1232018
36	Málaga	1206144	321996	218385		316105	1864084	3926714
37	Mogotes	108338		41092		37494	36558	223482
38	Molagavita	529885		43095		413111	2952882	3938972
39	Mongua	207606		20850		412919	301911	943287
40	Monguí	276465		22817		173772	318706	791760
41	Motavita	186970		29338		362783	665871	1244962
42	Nobsa	686826	139861	69315		115260	31505	1042767
43	Oicatá	122616	34965	14123		610526	636607	1418837
44	Onzaga	436044		39888		621830	5158316	6256078
45	Paipa	1042543	69930	178104	4537680	788317	1775519	8392094
46	Panqueba	162545		7323		238227	118053	526148
47	Paz de Río	390327		28741		248742	186995	854805
48	Pesca	624889		38478		344365	2139232	3146964
49	Piedecuesta	305798	724491	752283		276255	879895	2938723
50	San Andrés	716123		60083		773748	12660259	14210215
51	San Joaquín	224267		19517		304075	310992	858852
52	San José de Miranda	341077		30530		332037	1305924	2009568
53	San Mateo	486881		22182		435396	345405	1289863
54	San Miguel	221445		18143		125129	607718	972436
55	Santa Bárbara	114187		13439		72019	679337	878982
56	Santa Rosa de Viterbo	686299	454547	58765		317634	377288	1894533
57	Sativanorte	234645		12288		352879	329933	929745
58	Sativasur	97220		5546		109959	86132	298857
59	Siachoque	500911		43245		801360	2456837	3802354
60	Soatá	1264390		52564		721290	380184	2418428
61	Socha	501663		32889		441509	1552965	2529025
62	Socotá	398612		38415		408326	3368245	4213597
63	Sogamoso	7951944	279721	1195128		346649	1627109	11400552
64	Sora	28675		12023		2471	53220	96388
65	Soracá	252400		31337		321247	436380	1041364
66	Sotaquirá	468693	34965	39455		955280	3780033	5278426
67	Susacón	308109		16902		671126	426104	1422241
68	Tasco	381402		28421		246628	1322494	1978945
69	Tibasosa	510160	34965	73138		314204	815093	1747560
70	Tipacoque	276771		15556		501533	198178	992039
71	Toca	647064		48421		938178	2912646	4546309
72	Tópaga	205596		22099		134005	110684	472385
73	Tota	191749		25933		42990	1003039	1263711

MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (1981-2010)						
		Domestico	**Industrial**	**Servicios**	**Energía**	**Pecuario**	**Agrícola**	**TOTAL**
74	**Tunja**	8022756	174826	1640039		406626	791064	11035310
75	**Tuta**	462485	34965	43763		709866	5021566	6272646
76	**Tutazá**	160700		8852		34801	790935	995289
77	**Villanueva**	81701		30979		167085	112971	392735
78	**Viracachá**	2563		12300		9752	300	24914
	TOTAL	**48945206**	**3127310**	**7039147**	**4537680**	**27078302**	**100178270**	**190905916**

Los 10 municipios que mayor consumo tienen se pueden visualizar en la figura 38, sin embargo, el sector que los pone en esta posición es diferente, el municipio de San Andrés tiene el mayor consumo en el sector agrícola, igual que Guaca, Cerrito, Tuta, Onzaga, Carcasí, al contrario de Tunja, Duitama y Sogamoso que tienen sus mayores consumos en el sector doméstico. Se puede visualizar en el mapa (Anexo 18) que los municipios con mayor consumo son Tunja, Paipa, Sogamoso y Duitama para la cuenca alta, en la media está Onzaga y Carcasi, y para la cuenca baja Guaca. Encontrándose para el periodo de referencia que el sector que mayor consumo de agua genera es el sector agrícola, seguido del doméstico y pecuario, como se muestra en la figura 39.

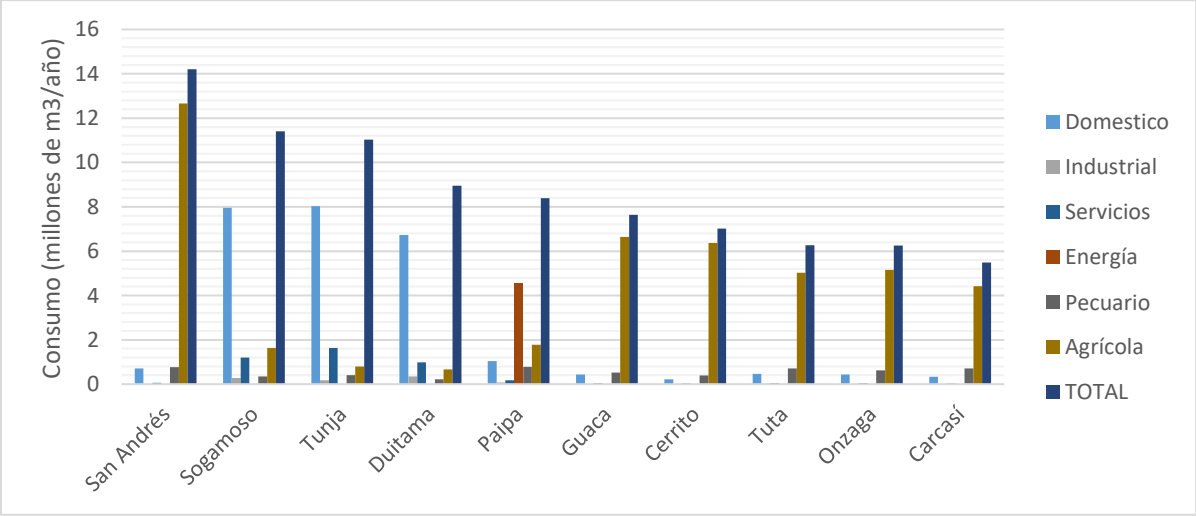


Figura 38 10 municipios con mayores consumos de agua

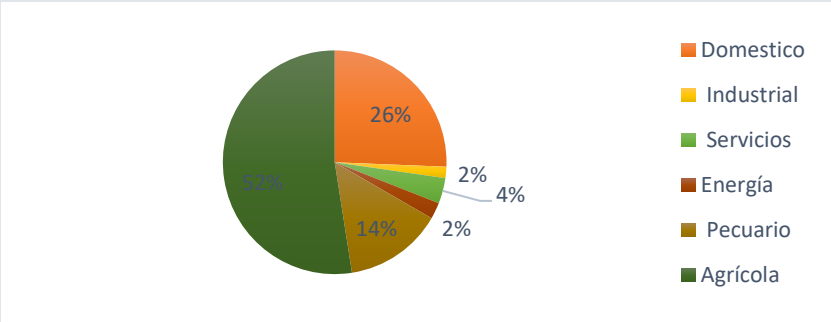


Figura 39 Porcentajes consumo por sectores en la Cuenca del Río Chicamocha

a) Uso del agua domestico

La cantidad de agua para uso doméstico total en la cuenca del río Chicamocha en promedio para el periodo 1981-2010 es 34 millones de m^3 (34.227.417), sin tener en cuenta el índice de agua no contabilizada (IANC), sumando el IANC o pérdidas del 43% (promedio nacional), se aumenta a 48 millones de m^3 (48.945.206), es decir, un aumento de 14717789. En el estudio del ENA 2010 se clasifica la cuenca en un rango de consumo anual de 20 a 50 Mll de m^3 (IDEAM, 2010).

En el mapa (Anexo 19) se aprecia que los municipios que mayor consumo doméstico presentan son los de la cuenca alta específicamente Tunja, Duitama y Sogamoso con consumos entre 1.300.000 y 8.100.000 m^3/año (cálculos, Anexo 4).

b) Consumo del sector servicios, industria y energía

En la cuenca alta se puede observar (mapa, Anexo 20) que los municipios al igual que para el consumo doméstico que mayor demanda de agua generan son Tunja, Duitama y Sogamoso, seguido de los municipios del denominado corredor industrial de Boyacá. Al norte en la cuenca baja, Piedecuesta y Aratoca. Sin embargo, en la cuenca media, el único municipio con mayor consumo es Málaga y los restantes con consumos inferiores a 110000 m^3. Es importante mencionar que la única industria energética encontrada en el periodo 1981-2010 es Termo Paipa, por lo cual el consumo de está fue sumado a este municipio (Paipa). En el sector servicios se incluye educación, salud y comercio. Las pérdidas o IANC para este cálculo fueron el 40%, sumando un consumo de alrededor de 15 millones de m^3 (cálculos, Anexo 4).

Tabla 72 Consumo sector industria, servicios y energía

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3/año)					
		Industrial	**Educación**	**Salud**	**Comercio**	**Energía**	**Total Servicios**
1	ARATOCA	402495	24931	21809	1838	0	451073
2	BELEN	34965	26381	12329	6398	0	80073
3	BETEITIVA	0	7578	2765	0	0	10343
4	BOAVITA	0	24282	13858	0	0	38140
5	BUSBANZÁ	0	3156	539	0	0	3695
6	CAPITANEJO	0	15797	20348	0	0	36145
7	CARCASI	0	13759	16694	0	0	30452
8	CEPITA	0	5809	6369	0	0	12178
9	CERINZA	0	12297	4873	0	0	17170
10	CERRITO	0	18205	11213	625	0	30043
11	CHISCAS	0	16600	2759	0	0	19359
12	CHITA	0	41597	6843	0	0	48440
13	CHIVATA	0	21304	3284	0	0	24588
14	COMBITA	34965	37651	6509	0	0	79126
15	CONCEPCION	0	15109	13710	0	0	28819
16	CORRALES	0	7414	2571	395	0	10380
17	COVARACHIA	0	10020	4023	3377	0	17419
18	CUITIVA	0	6655	946	6051	0	13652
19	CURITI	0	33301	7425	8451	0	49177
20	DUITAMA	349652	384330	82704	520160	0	1336846
21	EL COCUY	0	18818	6078	16233	0	41129
22	EL ESPINO	0	14084	3321	1598	0	19002
23	ENCISO	0	9848	13255	0	0	23103
24	FIRAVITOBA	0	18416	6005	1829	0	26250
25	FLORESTA	0	14233	4859	0	0	19092
26	GAMEZA	0	18997	5011	0	0	24008
27	GUACA	0	17886	21725	0	0	39611
28	GUACAMAYAS	0	5791	2881	0	0	8673
29	GUICAN	0	30684	3173	10592	0	44450
30	IZA	0	6521	1584	4145	0	12250
31	JERICO	0	14799	5625	905	0	21328
32	JORDAN	0	3236	3829	118	0	7183
33	LA UVITA	0	9096	7317	0	0	16413
34	LOS SANTOS	0	34740	11029	1027	0	46796
35	MACARAVITA	0	6637	12395	0	0	19032
36	MALAGA	321996	51314	55992	111079	0	540381
37	MOGOTES	0	33059	6538	1495	0	41092
38	MOLAGAVITA	0	16447	26649	0	0	43095

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3/año)					
		Industrial	Educación	Salud	Comercio	Energía	Total Servicios
39	MONGUA	0	17657	3193	0	0	20850
40	MONGUI	0	18565	4252	0	0	22817
41	MOTAVITA	0	25950	2875	513	0	29338
42	NOBSA	139861	57705	10563	1048	0	209176
43	OICATA	34965	11225	2263	635	0	49088
44	ONZAGA	0	16434	21929	1525	0	39888
45	PAIPA	69930	104751	14800	58554	4537680	4785715
46	PANQUEBA	0	4824	2500	0	0	7323
47	PAZ DE RIO	0	17851	6003	4888	0	28741
48	PESCA	0	28868	9610	0	0	38478
49	PIEDECUESTA	724491	374704	15379	362199	0	1476774
50	SAN ANDRES	0	23593	36015	475	0	60083
51	SAN JOAQUIN	0	7261	11279	977	0	19517
52	SAN JOSE DE MIRANDA	0	13376	17153	0	0	30530
53	SAN MATEO	0	14694	7488	0	0	22182
54	SAN MIGUEL	0	7007	11137	0	0	18143
55	SANTA BARBARA	0	6548	6891	0	0	13439
56	SANTA ROSA VITERBO	454547	45884	10554	2326	0	513312
57	SATIVANORTE	0	8680	3609	0	0	12288
58	SATIVASUR	0	3752	1794	0	0	5546
59	SIACHOQUE	0	34674	7703	868	0	43245
60	SOATA	0	25250	17949	9366	0	52564
61	SOCHA	0	24863	7715	312	0	32889
62	SOCOTA	0	30237	6130	2048	0	38415
63	SOGAMOSO	279721	377169	97833	720127	0	1474849
64	SORA	0	11493	529	0	0	12023
65	SORACA	0	21468	3882	5987	0	31337
66	SOTAQUIRA	34965	32247	7208	0	0	74420
67	SUSACON	0	12163	4738	0	0	16902
68	TASCO	0	22555	5865	0	0	28421
69	TIBASOSA	34965	48192	7846	17101	0	108104
70	TIPACOQUE	0	11300	4256	0	0	15556
71	TOCA	0	38470	9951	0	0	48421
72	TOPAGA	0	18937	3162	0	0	22099
73	TOTA	0	18982	2949	4003	0	25933
74	TUNJA	174826	592104	98704	949231	0	1814865
75	TUTA	34965	33587	7112	3063	0	78728
76	TUTAZA	0	5657	2471	723	0	8852

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3/año)					
		Industrial	Educación	Salud	Comercio	Energía	Total Servicios
77	VILLANUEVA	0	16281	4931	9768	0	30979
78	VIRACACHA	0	12253	47	0	0	12300
TOTAL		3127310	3247993	939104	2852053	4537680	14704140

c) Consumo del sector Pecuario

Los municipios en la cuenca alta que mayor consumo presentan (mapa, anexo 21) son Siachoque, Toca, Tuta, Ocaita, Combita, Sotaquira, Paipa Tunja y Firavitoba; en la cuenca media están Cerrito, Concepción, Carcasi, Chiscas, Onzaga, Soata, Boavita, Susacón, Mongua, Socha, Socotá, entre otros; en la cuenca baja los municipios de Aratoca, Molagavita, San Andrés y Guaca.

El consumo total de la cuenca está alrededor de 27 millones de m^3, cabe resaltar que no se tuvo en cuenta el consumo acuícola. El ENA 2010 (IDEAM, 2010) reporta para la cuenca un consumo en un rango entre 10 a 25 millones de m^3, la diferencia radica en la población de animales tenidos en cuenta para el consumo, en este caso fueron aves, porcinos, ovinos, caprinos, conejos, cuys, bovinos y equinos teniendo en cuenta que son los datos reportados en los anuarios del DANE (Cálculos, Anexo 4). A continuación los municipios con mayores consumos.

Tabla 73 Resultado consumo Pecuario

MUNICIPIO	CONSUMO SECTOR PECUARIO m^3
SOTAQUIRA	955280
TOCA	938178
SIACHOQUE	801360
PAIPA	788317
SAN ANDRES	773748
SOATA	721289
TUTA	709866
CARCASI	703513
COMBITA	683189
SUSACON	671126

MUNICIPIO	CONSUMO SECTOR PECUARIO m^3
BOAVITA	663892
ONZAGA	621829
OICATA	610526
CHISCAS	560009
ARATOCA	525841
GUACA	516180
TIPACOQUE	501533
FIRAVITOBA	469225
EL ESPINO	451375
SOCHA	441509

MUNICIPIO	CONSUMO SECTOR PECUARIO m^3
SAN MATEO	435396
COVARACHIA	432695
CONCEPCION	431243
LA UVITA	416941
MOLAGAVITA	413111
MONGUA	412919
SOCOTA	408325
TUNJA	406626
CERRITO	389594
GUICAN	374795

d) Consumo del sector Agrícola

El consumo agrícola para la cuenca del río Chicamocha dio como resultado 100.178.270 m^3, de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua, el área en donde se encuentra la cuenca tiene un consumo agrícola entre 100 y 200 millones de m^3 de agua, es decir, la información calculada para la cuenca en estudio se encuentra dentro de este rango. De acuerdo con la tabla 74 (mapa, Anexo 22), el municipio con mayor consumo de agua para el sector agrícola es San Andrés en el departamento de Santander con un porcentaje del 12.64%, los municipios Tuta, Onzaga, Cerrito y Guaca también tienen un consumo representativo dentro de la cuenca con los siguientes porcentajes 5.01, 5.15, 6.36 y 6.63 respectivamente. Esto se debe principalmente al gran número de hectáreas de tierras cultivables que posee cada municipio y del número de productos agrícolas que se cultivan dentro de este (cálculos, Anexo 4).

Tabla 74 Resultados consumo Agrícola

Municipios	m^3/año Agrícola	Municipios	m^3/año Agrícola	Municipios	m^3/año Agrícola
San Andrés	12660259	Carcasí	4418414	Molagavita	2952882
Guaca	6644153	Sotaquirá	3780033	Toca	2912646
Cerrito	6371504	Socotá	3368245	Siachoque	2456837
Onzaga	5158316	Concepción	3227267	Pesca	2139232
Tuta	5021566	Cómbita	3153551	Málaga	1864084

Los municipios con un alto índice de uso de agua (mapa, Anexo 23) para el periodo de referencia fueron ubicados en la cuenca alta (Tunja, Tota y Sogamoso), en IUA moderado, también ubicados en su mayoría en la cuenca alta están Cerinza, Cuitiva, Duitama, Jordán, Monguí, Motavita, Sativasur, Soatá, Toca y Topaga, los municipios restantes se encuentran con un IUA de bajo a muy bajo, Es importante mencionar que este índice relaciona la oferta con la demanda hídrica, por ende, los municipios resaltados en amarillo y naranja en el mapa son los que a futuro deben desarrollar medidas de mitigación al cambio climático.

6.1.3.8 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico.

Este índice no solo relaciona la oferta y demanda del recurso hídrico, sino que adiciona el factor de la regulación hídrica, que implícitamente da inferencia sobre las coberturas de la cuenca,

es decir, que este índice tiene una capacidad importante de medir la vulnerabilidad al desabastecimiento. Los municipios con mayores dificultades durante el periodo de referencia fueron los de la cuenca alta (tabla 75). Los municipios con valores altos de IVH (Ver mapa 3, anexo 24) son Tunja, Sogamoso, en nivel medio está Combita, Tuta, Paipa, Duitama, Soracá y Siachoque, en la cuenca alta; en la cuenca media no hay problemas de desabastecimiento y en la cuenca baja en nivel moderado está Málaga (cálculos, Anexo 4).

Tabla 75 Resultados Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 1981-2010

#	Municipio	IUA	IRH	IVH	#	Municipio	IUA	IRH	IVH
1	Aratoca	Bajo	Alta	Baja	**41**	Motavita	Bajo	Moderada	Baja
2	Belén	Bajo	Moderada	Baja	**42**	Nobsa	Bajo	Moderada	Baja
3	Betéitiva	Muy Bajo	Moderada	Baja	**43**	Oicatá	Bajo	Moderada	Baja
4	Boavita	Bajo	Moderada	Baja	**44**	Onzaga	Bajo	Alta	Baja
5	Busbanzá	Muy Bajo	Moderada	Baja	**45**	Paipa	Moderado	Moderada	Media
6	Capitanejo	Bajo	Alta	Baja	**46**	Panqueba	Bajo	Moderada	Baja
7	Carcasí	Bajo	Moderada	Baja	**47**	Paz de Río	Bajo	Moderada	Baja
8	Cepitá	Muy Bajo	Alta	Muy Baja	**48**	Pesca	Bajo	Moderada	Baja
9	Cerinza	Bajo	Moderada	Baja	**49**	Piedecuesta	Bajo	Moderada	Baja
10	Cerrito	Bajo	Moderada	Baja	**50**	San Andrés	Bajo	Moderada	Baja
11	Chiscas	Bajo	Moderada	Baja	**51**	San Joaquín	Muy Bajo	Alta	Muy Baja
12	Chita	Bajo	Moderada	Baja	**52**	San José de Miranda	Bajo	Alta	Baja
13	Chivatá	Bajo	Moderada	Baja	**53**	San Mateo	Bajo	Moderada	Baja
14	Cómbita	Moderado	Moderada	Media	**54**	San Miguel	Bajo	Alta	Baja
15	Concepción	Bajo	Moderada	Baja	**55**	Santa Bárbara	Muy Bajo	Moderada	Baja
16	Corrales	Bajo	Moderada	Baja	**56**	Santa Rosa de Viterbo	Bajo	Baja	Media
17	Covarachía	Bajo	Alta	Baja	**57**	Sativanorte	Muy Bajo	Moderada	Baja
18	Cuítiva	Bajo	Baja	Media	**58**	Sativasur	Muy Bajo	Moderada	Baja
19	Curití	Muy Bajo	Alta	Muy baja	**59**	Siachoque	Moderado	Moderada	Media
20	Duitama	Moderado	Moderada	Media	**60**	Soatá	Bajo	Alta	Baja
21	El Cocuy	Bajo	Moderada	Baja	**61**	Socha	Bajo	Moderada	Baja
22	El Espino	Bajo	Moderada	Baja	**62**	Socotá	Bajo	Moderada	Baja
23	Enciso	Bajo	Moderada	Baja	**63**	Sogamoso	Alto	Baja	Alta
24	Firavitoba	Bajo	Baja	Media	**64**	Sora	Bajo	Moderada	Baja
25	Floresta	Bajo	Moderada	Baja	**65**	Soracá	Moderado	Moderada	Media
26	Gameza	Bajo	Baja	Media	**66**	Sotaquirá	Bajo	Moderada	Baja
27	Guaca	Bajo	Moderada	Baja	**67**	Susacón	Bajo	Moderada	Baja

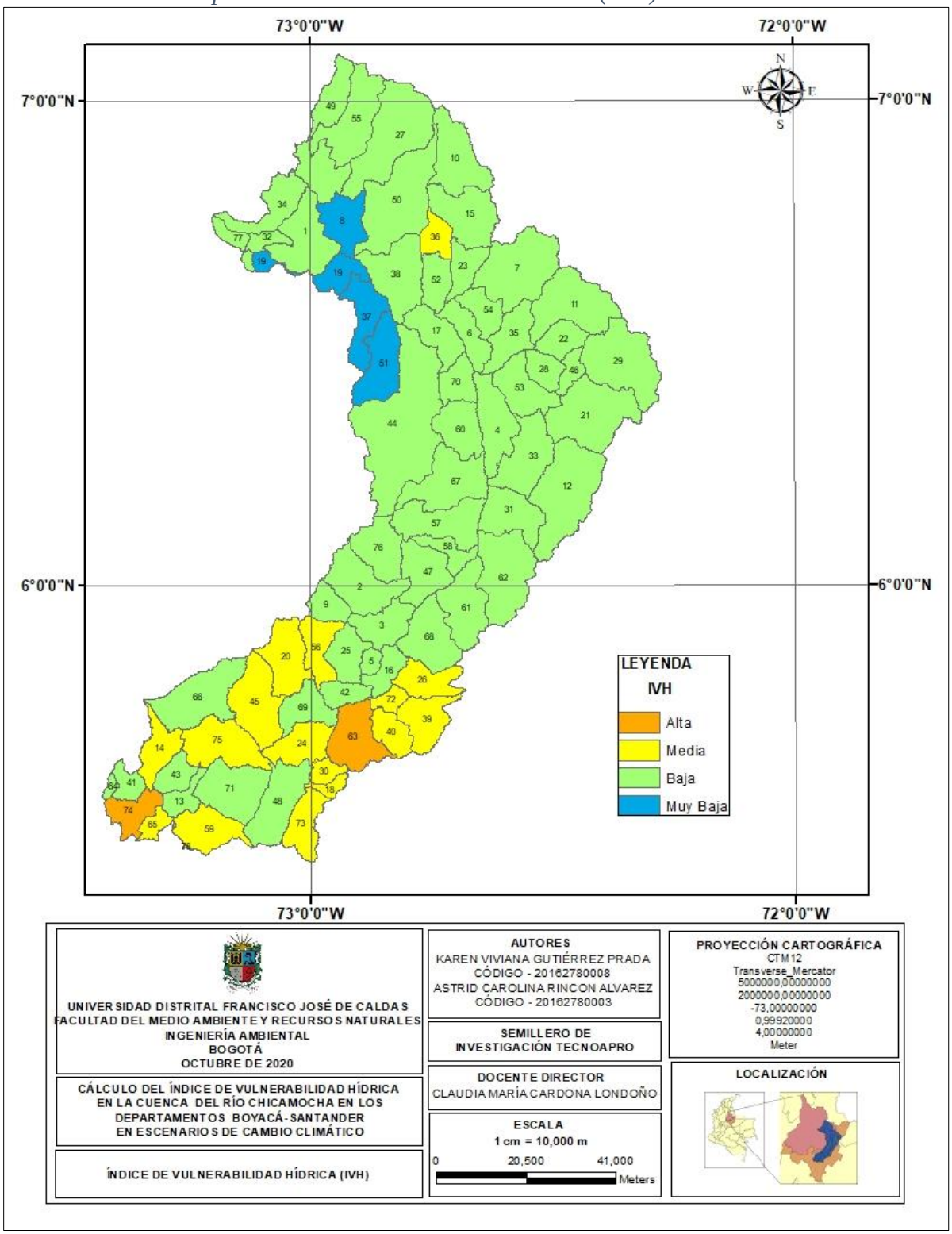
#	Municipio	IUA	IRH	IVH
28	Guacamayas	Bajo	Moderada	Baja
29	Güicán	Bajo	Moderada	Baja
30	Iza	Bajo	Baja	Media
31	Jericó	Bajo	Moderada	Baja
32	Jordán	Bajo	Alta	Baja
33	La Uvita	Bajo	Moderada	Baja
34	Los Santos	Bajo	Alta	Baja
35	Macaravita	Bajo	Moderada	Baja
36	Málaga	Moderado	Moderada	Media
37	Mogotes	Muy Bajo	Alta	Muy Baja
38	Molagavita	Bajo	Alta	Baja
39	Mongua	Bajo	Baja	Media
40	Monguí	Bajo	Baja	Media

#	Municipio	IUA	IRH	IVH
68	Tasco	Bajo	Moderada	Baja
69	Tibasosa	Bajo	Moderada	Baja
70	Tipacoque	Bajo	Alta	Baja
71	Toca	Bajo	Moderada	Baja
72	Tópaga	Bajo	Baja	Media
73	Tota	Bajo	Baja	Media
74	Tunja	Alto	Moderada	Alta
75	Tuta	Moderado	Moderada	Media
76	Tutazá	Bajo	Moderada	Baja
77	Villanueva	Bajo	Alta	Baja
78	Viracachá	Bajo	Moderada	Baja
Promedio cuenca		4,69	0,69	Baja
		Bajo	Moderada	

6.1.3.1 Índice de stress hídrico relativo.

Los municipios Sogamoso y Tunja presentan un stress del recurso hídrico medio, en donde la oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda. Es necesario el ordenamiento de la cuenca y asignar prioridades a los distintos usos. Los municipios Tuta y Duitama presentan un índice de stress hídrico relativo moderado, en donde la disponibilidad de agua se puede convertir en factor limitante del desarrollo. Se debe implementar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento a largo plazo. Para el resto de los municipios (94.87%) que se encuentran dentro de la cuenca del río Chicamocha el índice de stress hídrico es bajo, es decir, que no se presentan presiones sobre el recurso hídrico en términos de cantidad de agua. Como se puede observar en el mapa 18, ningún municipio dio un alto valor en lo que se refiere al índice calculado (Ver mapa, Anexo 25).

Mapa 3 Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 1981-2010



6.1.3.1 Índice de disponibilidad per cápita.

Como se evidencia en el mapa (Anexo 26), la cuenca alta, la que presenta mayor población, es la que posee mayor déficit hídrico por persona. De acuerdo con el IDEAM, el promedio mundial de disponibilidad hídrica por persona son 7700 m^3, pero Colombia tiene un promedio nacional es de 50000 m^3/año-persona (IDEAM, s.f). Los datos más inquietantes son los presentados en la cuenca alta, con valores de escasez hídrica severa y escasez de agua, los cuales pueden restringir el desarrollo de la economía en la cuenca alta. En la cuenca media y baja se pueden apreciar valores de excedentes de agua (cálculos, Anexo 4).

6.2. Fase 2 escenario prospectivo (2041-2070)

6.2.1. Clima futuro.

6.2.1.1 Temperatura y precipitación multiescenario RCP.

Como se puede ver en los mapas (Anexo 27, 28), la temperatura para el periodo futuro o multiescenario aumentará para toda la cuenca del Río Chicamocha, en diferentes proporciones y se puede evidenciar que aumentará conforme a la altitud, puesto que en las zonas más altas aumentará menos de un grado, y en las zonas más bajas de la cuenca aumentará en un rango de 1.55 a 1.75°C. La temperatura mínima podría llegar a ser 7.26°C, la máxima 22.25°C y el promedio 16.36°C. Respecto a la precipitación (Anexo 29, 30), la precipitación para la cuenca del Río Chicamocha aumentará en su mayoría hasta 100mm, pero la cuenca alta podrá aumentar hasta 400 mm. La precipitación mínima podría llegar a ser 770 mm, máxima 1867 mm, en promedio 1189 mm.

6.2.1.2 Zonas de vida

En el mapa (Anexo 31) se pueden observar las zonas de vida existentes en la cuenca del río Chicamocha para el periodo comprendido entre los años 2041 y 2070, de acuerdo con la clasificación de Holdridge se identificaron 11 zonas de vida (Ver tabla 76). Se puede observar que la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) tiene el mayor porcentaje en la cuenca con un 34.98%, se caracteriza por presentar precipitaciones entre los 1000 a 2000 mm y temperaturas entre los 12 a 17 °C, y se localiza principalmente en los municipios de Toca en Boyacá, y Piedecuesta, Santa Barbara y Guaca en Santander. El bosque húmedo premontano (bh-PM) ocupa el 30.04% de la cuenca, presenta precipitaciones entre los 1.000 a 2.000 mm y con temperaturas

entre los 17 a 24 °C, y se encuentra principalmente en los municipios de Concepción, San Joaquín, Aratoca, Molagavita y Onzaga en Santander.

La zona de vida Transición de bosque húmedo montano bajo a bosque seco montano bajo (Transición de bh-MB a bs-MB) representa el 11.88% del total de las zonas de vida, presenta precipitaciones entre los 900 a 1000 mm y temperaturas entre los 15 a 16 °C y se localiza principalmente en Corrales, Tibasosa, Floresta, Beteitiva, Duitama y Paipa en Boyacá.

Tabla 76 Zonas de vida 2041-2070

ZONA DE VIDA	ÁREA (HA)	% ÁREA
Bosque húmedo montano	56572.06	5.92
Bosque húmedo montano bajo	334381.22	34.98
Bosque húmedo premontano	287142.23	30.04
Bosque muy húmedo montano	3099.80	0.32
Bosque seco montano bajo	35271.78	3.69
Bosque seco premontano	62361.09	6.52
Transición de bosque húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	8634.26	0.90
Transición de bosque seco montano bajo bosque húmedo montano bajo	113559.95	11.88
Transición de bosque húmedo premontano a bosque seco premontano	42815.55	4.48
Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano	7375.42	0.77
Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	4645.18	0.49
TOTAL	955858.55	100.00

En la tabla 77 se observa el cambio porcentual de las zonas de vida del periodo de referencia con respecto al escenario prospectivo en la cuenca. El mayor cambio se da en la zona de vida transición de bosque húmedo montano bajo a bosque seco montano bajo con un aumento de 1771%, le sigue el bosque seco premontano con un 1146%, el bosque húmedo montano con un 64% y el bosque húmedo premontano con un 43%. En cuanto a la disminución de áreas, encontramos que la zona de vida transición de bosque húmedo montano a bosque seco montano bajo, bosque muy húmedo premontano y bosque pluvial montano ya no van a estar en el futuro. El bosque muy húmedo montano y el bosque seco montano bajo tendrán una disminución del 92% y 86% respectivamente. Y van a aparecer nuevas zonas de vida como transición de bosque húmedo

premontano a bosque seco premontano y transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano bajo con un 4.48% y un 0.49% respectivamente.

Tabla 77 Cambio porcentual de zonas de vida en la cuenca

Periodo de referencia (1981-2010)	%	Escenario prospectivo (2041-2070)	%	Diferencia
Bosque húmedo montano	3.60%	Bosque húmedo montano	5.92%	2.32%
Bosque húmedo montano bajo	34.75%	Bosque húmedo montano bajo	34.98%	0.23%
Bosque húmedo premontano	20.97%	Bosque húmedo premontano	30.04%	9.07%
Bosque muy húmedo montano	3.95%	Bosque muy húmedo montano	0.32%	-3.63%
Bosque seco montano bajo	27.31%	Bosque seco montano bajo	3.69%	-23.62%
Bosque seco premontano	0.52%	Bosque seco premontano	6.52%	6.00%
Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano	3.56%	Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano	0.77%	-2.79%
Transición de bosque húmedo montano bajo a bosque seco montano bajo	0.64%	Transición de bosque húmedo montano bajo a bosque seco montano bajo	11.88%	11.25%
Transición de bosque húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	3.93%	Transición de bosque húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	0.90%	-3.03%
Transición de bosque húmedo montano a bosque seco montano bajo	0.39%	No	0.00%	-0.39%
Bosque muy húmedo premontano	0.15%	No	0.00%	-0.15%
Bosque pluvial montano	0.22%	No	0.00%	-0.22%
No	0.00%	Transición de bosque húmedo premontano a bosque seco premontano	4.48%	4.48%
No	0.00%	Transición de bosque muy húmedo montano a bosque húmedo montano bajo	0.49%	0.49%

6.2.1.3 Caudales

En la figura 40 se pueden observar los caudales simulados para la estación La Reforma en un periodo de 30 años. De igual forma, para las estaciones restantes (25) se utilizó la información obtenida mediante el software WEAP ("Water Evaluation And Planning" System). (Cálculos, Ver anexo 5)

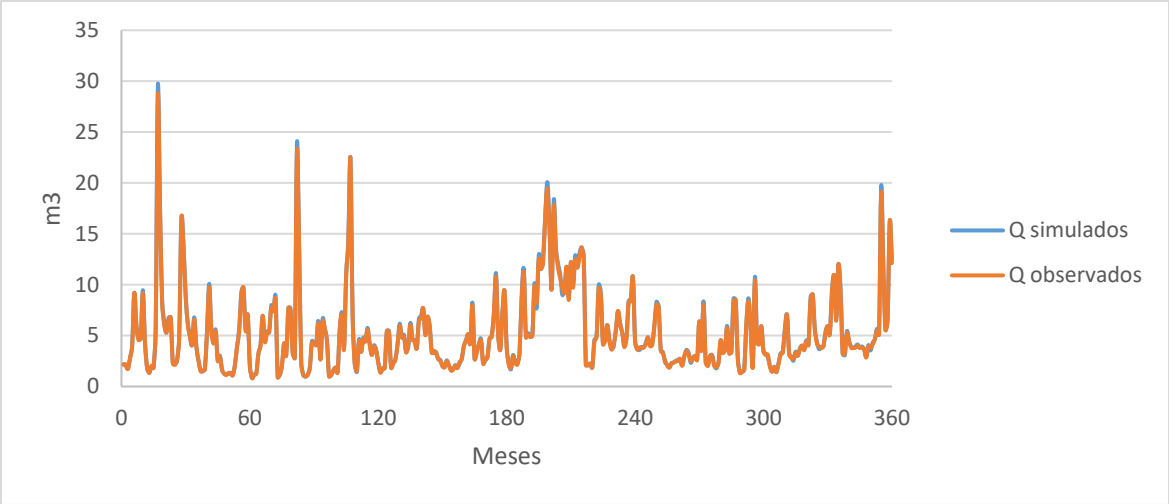


Figura 40 Caudales simulados para la estación La Reforma

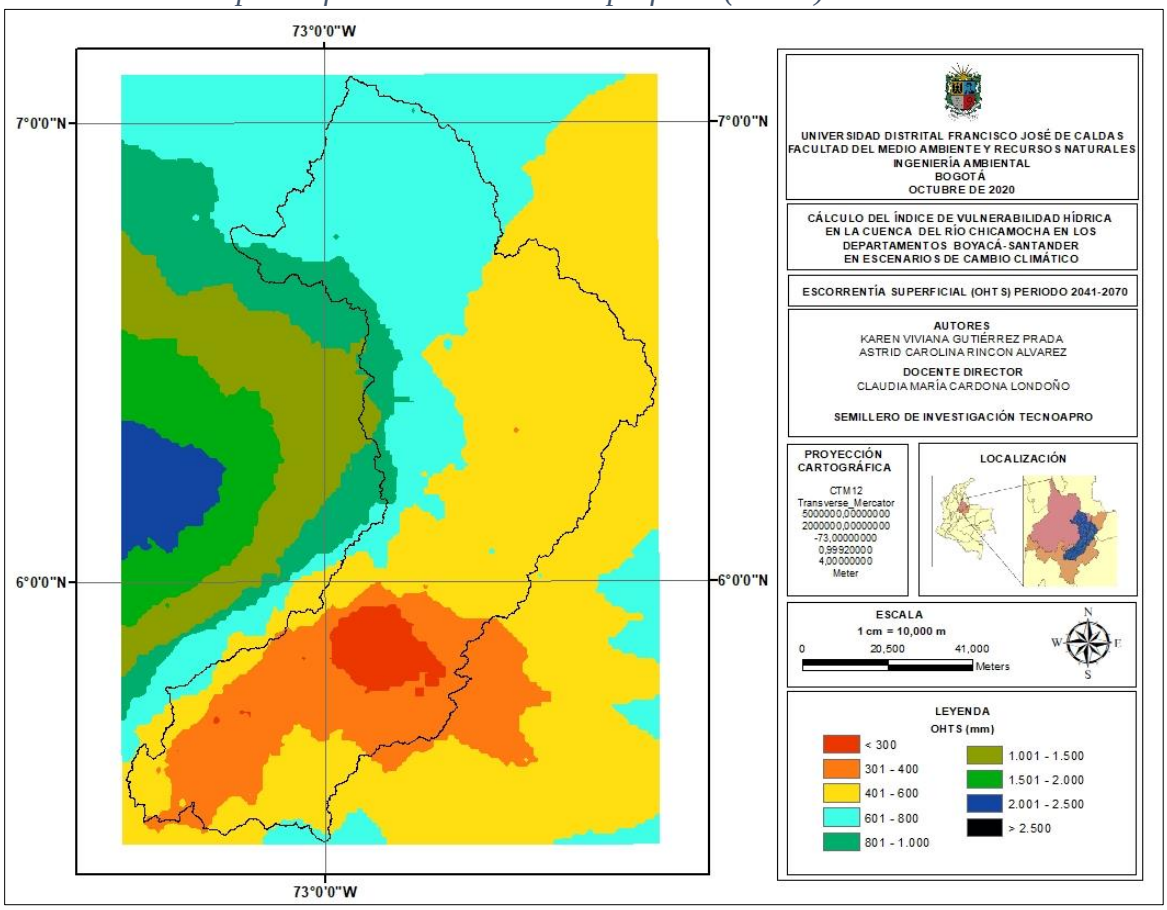
6.2.2. Índices escenario prospectivo (2041-2070)

El escenario prospectivo 2041-2070 comprende los datos climáticos promedio de los escenarios RCP, así como una serie de comportamientos de acuerdo con series históricas de datos, a las cuales se les realizó proyecciones matemáticas como los consumos domésticos, educación, salud, comercio, industrias, respecto al pecuario se proyectó un porcentaje de aumento en la cantidad de animales, en el agrícola proyecciones basadas en dos años de referencia (2000 y 2017) y energía con base en los proyectos planeados en esta área.

6.2.2.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS)

Como se puede observar en el mapas 4 y anexos 32 y 33, la escorrentía superficial disminuye en la cuenca media y baja, en valores de hasta 400mm, sin embargo, se puede visualizar que en la cuenca alta o se mantienen los valores de escorrentía o aumentan hasta en 400mm, esto se debe al aumento de las precipitaciones en la cuenca alta en esa proporción, sin embargo, el resto de la cuenca, media y baja se ve mayormente afectada por el aumento de la temperatura que puede ser en algunos casos en más de un grado (cuenca baja amento de la temperatura en un rango de 1.55 a 1.75 °C), lo que consecutivamente aumenta la evapotranspiración real en la cuenca, disminuyendo la escorrentía superficial, por ende la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca.

Mapa 4 Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) 2041-2070



6.2.2.2 Índice de aridez (IA).

En el mapa (Anexo 34) se puede evidenciar que la cuenca para el periodo futuro tendrá altos excedentes, esto se debe principalmente al aumento de precipitación en la cuenca, sin embargo, es importante recordar que el IA da una caracterización cualitativa del clima, donde refleja la suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región (IDEAM, 2010), por lo cual no es un indicador de los excedentes hídricos para uso de las necesidades humanas, teniendo en cuenta que la escorrentía superficial dio valores de disminución de la escorrentía, se infiere que el suelo de la cuenca podrá retener el agua suficiente para el sostenimiento de los ecosistemas, dado que, como dice el ENA 2010 (IDEAM, 2010) el índice de aridez representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración potencial (ETP) y de evapotranspiración real (ETR).

6.2.2.3 Índice de retención y regulación hídrica (IRH).

El índice de retención y regulación hídrica (IRH), mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas. En la tabla 78 se puede observar que para el periodo 2041-2070, la única estación que tuvo un cambio cualitativo respecto al período de referencia fue San Luis en el río Nevado, las demás estaciones tuvieron leves cambios en los resultados cuantitativos, haciendo que se mantuvieran en la misma categoría (cálculos, Anexo 6).

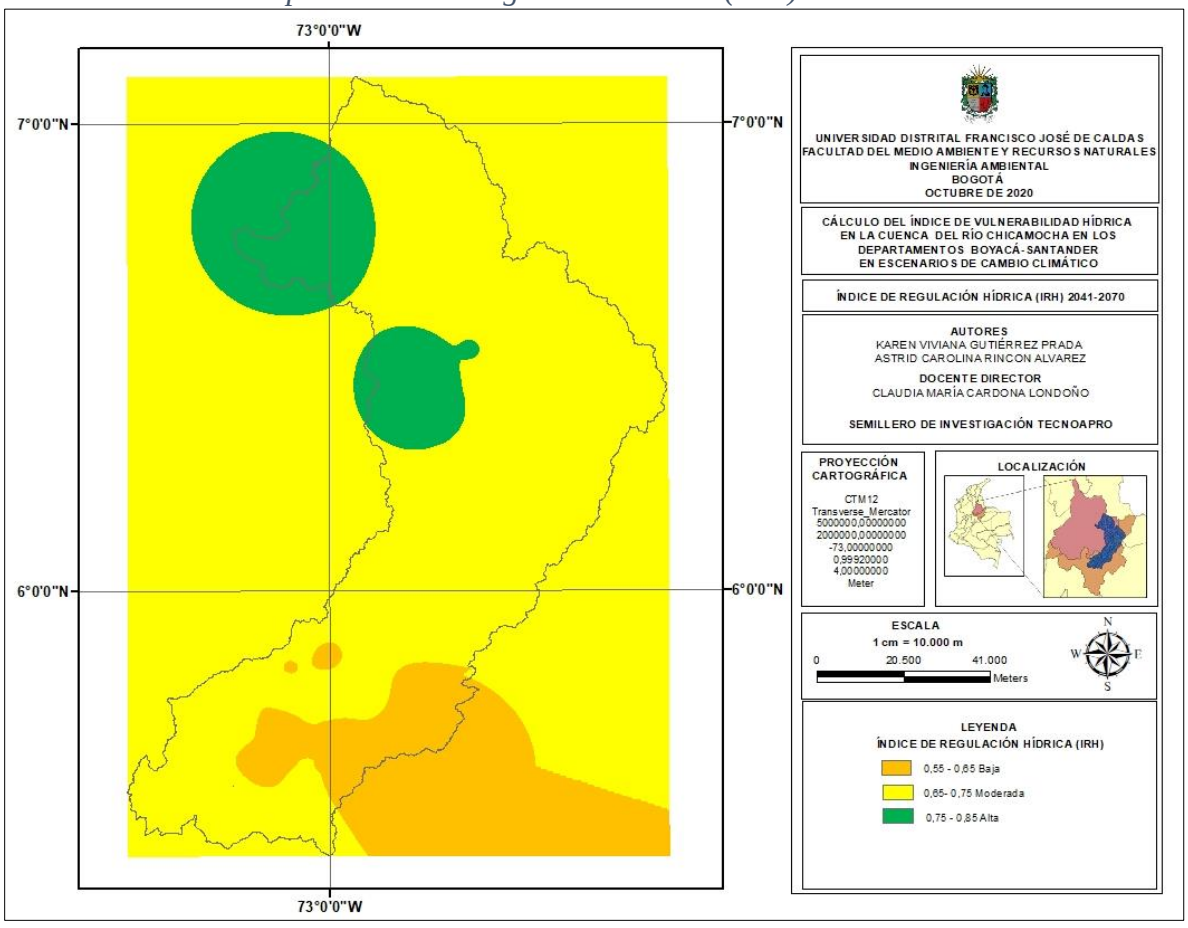
Tabla 78 Resultados índice de regulación hídrica (IRH) 2041-2070

	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	CORRIENTE	IRH	
1	24037020	LA COPA	Tuta	0.7667	Alto
2	24037130	LA REFORMA	Chicamocha	0.7202	Medio
3	24037190	SAN RAFAEL	Chicamocha	0.7362	Medio
4	24037270	CHITICUY	Quebrada Chiticuy	0.6035	Bajo
5	24037290	PUENTE CHAMEZA	Chicamocha	0.6799	Medio
6	24037040	GUICAN	Nevado	0.7398	Medio
7	24037070	MAGUNCIA	Sotaquira	0.6985	Medio
8	24037080	LA GRUTA	Pesca	0.6698	Medio
9	24037120	LA VEGA	Iza	0.6417	Bajo
10	24037300	PUENTE COLONIAL	Monguí	0.5997	Bajo
11	24037370	MOMPA IZQUIERDO	Onzaga	0.7766	Alto
12	24037380	SAN LUIS	Nevado	0.7490	Medio
13	24037390	CAPITANEJO	Chicamocha	0.7503	Alto
14	24037450	EL MOLINO	Salitre	0.5609	Bajo
15	24037480	TRINIDAD LA	Surba	0.6271	Bajo
16	24037510	PAZ DE RIO	Chicamocha	0.6686	Medio
17	24037110	LA RESACA	Chiquito	0.6340	Bajo
18	24037320	LA SIBERIA	Chicamocha	0.7201	Medio
19	24037100	VEGAS LAS	Surba	0.7277	Medio
20	24037090	SAN RAFAEL 2	Chulo	0.7000	Medio
21	24037030	EL PALO - AUT	Tuta	0.6802	Medio
22	24037590	LA CHORRERA	La Chorrera	0.5599	Bajo
23	24037580	SAN FRANCISCO	Rio grande	0.6718	Medio
24	24037490	PUENTE TOTUMO - AUT	Nevado	0.7448	Medio
25	24037410	PUENTE COLORADO	Minas	0.6963	Medio
26	24037360	EL JORDAN	Chicamocha	0.7675	Alto

Tabla 79 Relación coberturas 2055 e IRH

COBERTURAS	PROMEDIO (%) DE ÁREAS SEGÚN IRH		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Zonas áridas	0.32	1.37	6.94
Bosques	21.24	34.56	22.95
Cuerpos de agua	0.00	0.42	1.69
Intensidad urbana (territorios artificializados)	1.64	0.76	0.35
No bosque (pastos y glacial)	8.32	15.68	58.52
Territorios agrícolas	68.48	47.22	9.56
TOTAL	**100**	**100**	**100**
Suma coberturas agrícola y pastos	**76.8**	**62.29**	**68.08**

Mapa 5 Índice de regulación hídrica (IRH) 2041-2070



En el mapa 5 (Anexo 35) se puede observar que la cuenca baja del río Chicamocha presenta una retención de humedad baja y moderada, y en la cuenca media y baja la retención es moderada y alta, esta última presente en la desembocadura del río Chicamocha. Por otra parte, se realizó un análisis de las coberturas del año 2055 que predominan en cada una de las categorías del índice de

regulación hídrica (IRH), con el fin de visualizar que tipo de coberturas inciden más en el aumento y/o disminución de este índice. En la tabla 79 se puede observar que los territorios agrícolas son inversamente proporcionales al índice, es decir, a medida que el porcentaje de áreas de cultivo aumenta el IRH se hace más pequeño; por otra parte, las coberturas de bosque contribuyen en gran parte a la alta retención de humedad en la cuenca.

6.2.2.4 Caudal ambiental (Qamb).

La estación El Jordán se encuentra ubicada en la desembocadura del río Chicamocha, esta estación presenta un caudal ambiental de 49.47 (m^3/s) (Ver tabla 80) (cálculos, Anexo 6). En el mapa (Anexo 36) se puede observar la distribución del caudal ambiental a lo largo de toda la cuenca del río Chicamocha, en la parte alta y media, se encuentran los menores valores entre 0 y 18 m^3/s, en la parte baja de la cuenca los valores de caudal ambiental aumentan hasta llegar a la desembocadura del río Chicamocha y se encuentran en un rango de 18 y 50 m^3/s. En el mapa (Anexo 37) se puede evidenciar en azul oscuro aquellas estaciones que aumentaron el caudal hasta en 0.49 m^3/s ubicadas en su mayoría en la cuenca alta y en azul claro las que disminuyeron hasta en 0.46 m^3/s (cuenca media y baja), y en verde las que no cambiaron.

Tabla 80 Resultados Qamb, OHTS y OHTD 2041-2070

	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	Qamb (m3/s)	OHTS (mm/año)	OHTD (mm/año)
1	24037020	LA COPA	0.93	397.61	393.73
2	24037130	LA REFORMA	2.08	332.43	324.88
3	24037190	SAN RAFAEL	2.29	382.75	374.42
4	24037270	CHITICUY	0.12	346.77	345.65
5	24037290	PUENTE CHAMEZA	3.60	288.88	276.43
6	24037040	GUICAN	2.07	469.40	461.63
7	24037070	MAGUNCIA	0.60	323.41	320.78
8	24037080	LA GRUTA	0.30	472.88	470.92
9	24037120	LA VEGA	0.19	447.17	445.63
10	24037300	PUENTE COLONIAL	0.27	342.33	340.75
11	24037370	MOMPA IZQUIERDO	4.34	800.81	784.86
12	24037380	SAN LUIS	4.07	469.41	455.02
13	24037390	CAPITANEJO	28.84	583.16	487.01

	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	Qamb (m3/s)	OHTS (mm/año)	OHTD (mm/año)
14	24037450	EL MOLINO	0.05	323.54	322.70
15	24037480	TRINIDAD LA	0.26	335.94	334.40
16	24037510	PAZ DE RIO	15.62	499.81	447.36
17	24037110	LA RESACA	0.44	386.90	384.64
18	24037320	LA SIBERIA	2.36	351.39	342.91
19	24037100	VEGAS LAS	0.24	335.94	334.45
20	24037090	SAN RAFAEL 2	0.38	298.76	296.89
21	24037030	EL PALO - AUT	1.09	330.39	326.12
22	24037590	LA CHORRERA	0.08	326.66	325.73
23	24037580	SAN FRANCISCO	0.68	377.36	374.33
24	24037490	PUENTE TOTUMO - AUT	8.44	499.88	471.05
25	24037410	PUENTE COLORADO	0.73	465.58	462.22
26	24037360	EL JORDAN	49.47	762.92	598.46

6.2.2.5 Oferta hídrica total disponible (OHTD).

La oferta hídrica total disponible es el resultado de la diferencia entre la oferta hídrica total superficial y el caudal ambiental, los resultados para cada estación se encuentran en la tabla 80. En el mapa (Anexo 38) se puede observar la distribución de este índice a lo largo de la cuenca del río Chicamocha, en la parte baja, se encuentran valores entre 501 y 600 mm, en la parte media valores entre 401 y 800 mm, los valores menores a 400 mm se encuentran en la parte alta de la cuenca. Se puede observar que hay más oferta hídrica en la cuenca baja y media.En el mapa (Anexo 39) se observa que la cuenca alta tendrá un aumento en la oferta hídrica total disponible, de hasta 200 mm, asimismo en las subcuencas de la zona alta, como, por ejemplo, cauce del río Chicamocha y Sotaquira tendrán una disminución en la oferta de hasta 100 mm. En la cuenca media la disminución de la oferta hídrica será de hasta 200 mm; por último, en la cuenca baja los valores de aumento se dan en la subcuencas de la quebrada La Mojarra y la quebrada Macregua en la desembocadura del río Chicamocha, con valores de hasta 50 mm, el resto de la cuenca baja tendrá una disminución de hasta 150mm. En general, más del 85% de la cuenca va a presentar una disminución en la oferta hídrica para el periodo comprendido entre el año 2041 y 2070.

6.2.2.6 Índice de uso del agua (IUA).

En la tabla 81 se relacionan los consumos de agua totales por municipio para el periodo 2041-2070, en la columna 1 los números corresponden al número de municipio en el mapa (cálculos, Anexo 7).

Tabla 81 Consumos en m^3/año por sectores evaluados 2041-2070

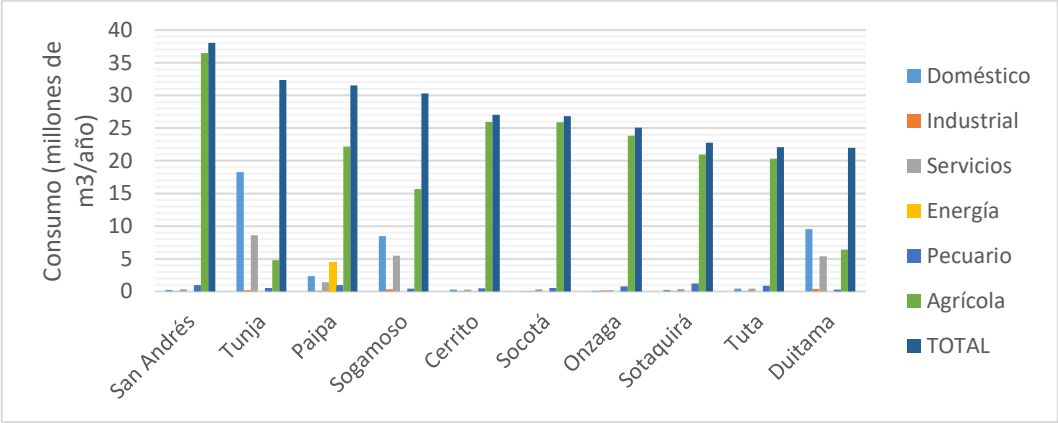
MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (2041-2070)						
		Doméstico	**Industrial**	**Servicios**	**Energía**	**Pecuario**	**Agrícola**	**TOTAL**
1	**Aratoca**	447114	414691	366409		657301	4454735	6340250
2	**Belén**	190525	40332	343934		433917	9710400	10719108
3	**Betéitiva**	42391	0	89234		120678	1716965	1969268
4	**Boavita**	67061	88416	281137		829865	1784972	3051450
5	**Busbanzá**	66337	0	40563		42579	252663	402142
6	**Capitanejo**	197487	17111	214921		281384	372288	1083191
7	**Carcasí**	89829	0	176856		879391	18515076	19661152
8	**Cepitá**	63981	2632	80684		115987	51761	315045
9	**Cerinza**	86421	5894	146039		397395	2430989	3066738
10	**Cerrito**	303281	44225	262005		486992	25947778	27044280
11	**Chiscas**	33976	0	191365		700012	3159798	4085151
12	**Chita**	92558	0	480046		214005	9878456	10665066
13	**Chivatá**	265275	0	257043		340052	2288876	3151246
14	**Cómbita**	540521	40332	458187		853986	9689945	11582971
15	**Concepción**	174802	148195	203019		539054	12928850	13993919
16	**Corrales**	88485	10610	90998		70432	2214003	2474527
17	**Covarachía**	56190	0	121516		540869	1222313	1940887
18	**Cuítiva**	26036	14736	83892		107804	511413	743880
19	**Curití**	156961	112931	413799		181533	39951	905175
20	**Duitama**	9539098	403323	5381980		271312	6383184	21978897
21	**El Cocuy**	81030	2947	236826		348728	14533857	15203389
22	**El Espino**	126388	0	168916		564219	1178592	2038115
23	**Enciso**	94357	2632	133520		241043	1678966	2150519
24	**Firavitoba**	345758	2947	230461		586532	10576344	11742043
25	**Floresta**	68901	0	166851		325205	2942745	3503702
26	**Gameza**	90201	44208	222578		398481	3494378	4249847
27	**Guaca**	211119	53701	241092		645226	19941324	21092461
28	**Guacamayas**	38467	139697	68620		346201	1476407	2069393
29	**Güicán**	35889	5894	362889		468494	13000134	13873301
30	**Iza**	89310	171527	84794		123640	1295984	1765255

MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (2041-2070)						
		Doméstico	Industrial	Servicios	Energía	Pecuario	Agrícola	TOTAL
31	**Jericó**	71996	103435	174254		410826	6789583	7550094
32	**Jordán**	43802	0	46950		153895	1	244648
33	**La Uvita**	46070	0	106780		521177	6726456	7400483
34	**Los Santos**	532199	112931	491408		403125	74682	1614345
35	**Macaravita**	39173	0	84357		299655	4557494	4980679
36	**Málaga**	1266010	331753	930203		395131	7091288	10014385
37	**Mogotes**	34603	55523	384844		46867	10202	532038
38	**Molagavita**	58828	0	200206		516389	8820324	9595747
39	**Mongua**	83255	103435	206838		516149	1861244	2770921
40	**Monguí**	180501	13557	221226		217215	2554578	3187077
41	**Motavita**	342837	52460	314698		453479	2093219	3256693
42	**Nobsa**	1159083	161329	728719		144075	1610727	3803933
43	**Oicatá**	167364	40332	137606		763158	2914865	4023325
44	**Onzaga**	74075	149511	205034		777287	23858838	25064744
45	**Paipa**	2348790	80665	1404565	4537680	985396	22191327	27010743
46	**Panqueba**	39079	65428	57645		297784	1079193	1539130
47	**Paz de Río**	89354	494232	222999		310927	2361725	3479238
48	**Pesca**	76818	101973	334024		430456	14620621	15563892
49	**Piedecuesta**	2568053	746443	5062705		345319	373163	9095683
50	**San Andrés**	232799	51069	310222		967185	36476275	38037550
51	**San Joaquín**	43752	4738	93522		380093	3175360	3697466
52	**San José de Miranda**	138109	0	176732		415046	2771452	3501339
53	**San Mateo**	45629	0	170482		544245	2631259	3391615
54	**San Miguel**	61371	0	93789		156412	1041953	1353525
55	**Santa Bárbara**	87349	22354	94664		90024	977018	1271409
56	**Santa Rosa de Viterbo**	508703	524320	552609		397043	4898410	6881085
57	**Sativanorte**	35903	0	101325		441098	3395191	3973517
58	**Sativasur**	19888	2947	44102		137449	284018	488404
59	**Siachoque**	237071	22988	408553		1001700	8044938	9715250
60	**Soatá**	244593	2947	308624		901612	3617862	5075638
61	**Socha**	352089	99026	302620		551886	8879672	10185292
62	**Socotá**	63234	5894	350805		510407	25904099	26834439
63	**Sogamoso**	8441698	322658	5493415		433311	15636854	30327937
64	**Sora**	18166	2947	132123		3089	149631	305956
65	**Soracá**	230491	264068	263250		401558	1352043	2511411
66	**Sotaquirá**	227091	40332	379542		1194100	20925879	22766944
67	**Susacón**	42519	17683	141450		838907	3632346	4672905

MUNICIPIO		CONSUMO POR SECTORES m^3/año (2041-2070)						
		Doméstico	Industrial	Servicios	Energía	Pecuario	Agrícola	TOTAL
68	**Tasco**	125940	0	263673		308285	6952799	7650696
69	**Tibasosa**	1009854	40332	624670		392755	9400436	11468047
70	**Tipacoque**	72561	0	133715		626916	1369095	2202288
71	**Toca**	363081	8252	465439		1172722	13653631	15663125
72	**Tópaga**	186095	91363	225769		167507	1265676	1936409
73	**Tota**	88997	0	225598		53737	4398131	4766463
74	**Tunja**	18237977	201662	8625559		508282	4786741	32360221
75	**Tuta**	445402	40332	409912		887333	20313851	22096831
76	**Tutazá**	38608	2947	67859		43502	8264868	8417784
77	**Villanueva**	14497	66074	198347		208856	6264	494037
78	**Viracachá**	761	2947	29861		12190	884	46643
	TOTAL	**54545867**	**6217870**	**43603464**	**4537680**	**33847878**	**507469314**	**650222074**

Los 10 municipios con mayores consumos de agua dentro de la cuenca para el escenario prospectivo se observan en la figura 48, San Andrés sigue encabezando la lista, Socotá y Sotaquirá son los dos nuevos municipios que para el futuro tendrán mayores consumos de agua. Se puede observar que los municipios de Tunja, Sogamoso y Duitama tendrán un incremento en el consumo de agua por parte del sector doméstico, debido a que actualmente son las ciudades con mayor población dentro del departamento de Boyacá.

Figura 41. 10 municipios con mayor consumo de agua en el futuro



De acuerdo con la figura 49 los sectores con mayor consumo de agua dentro de la cuenca del río Chicamocha para el periodo 2041-2070 son el agrícola, doméstico y servicios.

El sector pecuario representa el 5% del consumo total de agua dentro de la cuenca, el sector industrial solo alcanza un pequeño 1% y el sector de la energía se mantiene constante.

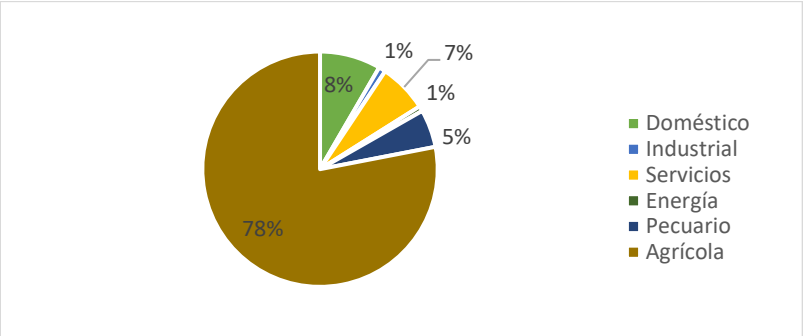


Figura 42 Porcentajes consumo por sectores en la Cuenca del Río Chicamocha (2041-2070)

En el mapa (Anexo 40) se puede observar que los municipios de Viracachá y Sora en Boyacá y Cepita y Jordán en Santander presentan los menores consumos de agua para los diferentes sectores, entre 46000 y 315000 m^3/año, los municipios de Sogamoso, Paipa y Tunja en Boyacá y San Andrés en Santander presentan los mayores valores de consumo entre 30.300.000 y 38.100.000 m^3/año.

Consumos o demandas del recurso hídrico para el periodo futuro o multiescenario

Los cálculos de proyección de demandas, IUA, IVH, y demanda per cápita pueden observarse en el anexo 7.

a) Consumo humano o doméstico

La cantidad de agua para uso doméstico en la cuenca del Río Chicamocha para un año promedio durante el periodo multiescenario o futuro es 54 millones de m^3 (54545869), teniendo en cuenta el IANC, sin tener en cuenta estas pérdidas, es de 46 mll de m^3 (46111410). Las pérdidas fueron calculadas entre un 16.5 y 18.7% dependiendo de la población del municipio, esto como valores tentativos como metas a largo plazo propuestas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2006). En el mapa (Anexo 41) se puede observar que los municipios que mayor consumo doméstico de acuerdo con las tendencias

de crecimiento de la población son los de la cuenca alta y algunos de la cuenca baja como Tunja, Sogamoso, Paipa, Duitama y en la cuenca baja Piedecuesta y Málaga.

b) Consumo del sector servicios, industrial y energía

En la tabla 82 se enlistan los consumos de agua por municipio para el sector industria servicios y energía para el periodo 2041-2070. En el sector servicios se incluye educación, salud y comercio. Las pérdidas o IANC para este cálculo fueron el 40%. El consumo total de estos sectores fue de 54 mll de m^3 (54359014). En el sector industrial y en el sector servicios (educación, salud y comercio) los municipios con mayores consumos son Duitama, Santa Rosa de Viterbo, Sogamoso y Tunja en la cuenca alta y Paz de Río en la cuenca media en Boyacá, y Aratoca y Piedecuesta en la cuenca baja y Málaga en la cuenca media en Santander.

En el sector industrial los municipios con menores valores (2000-3000 m^3) son: Firavitoba, Sora y Viracachá en la cuenca alta, y El Cocuy, Sativasur, Soatá y Tutazá en la cuenca media en Boyacá, y Cepita en la cuenca baja y Enciso en la cuenca media en Santander, principalmente estos municipios tienen industria lechera. En cuanto al sector servicios los municipios con menores consumos son: Busbanzá, Sativasur y Tutaza en la cuenca media en Boyacá, y Macaravita en la cuenca media y Jordan y Cepita en la cuenca baja en Santander. Es importante mencionar que la única industria energética encontrada en el periodo 1981-2010 es Termo Paipa, por lo cual el consumo de está fue sumado a este municipio (Paipa) y el valor se mantuvo constante para el escenario prospectivo.

Tabla 82 Consumo del sector industria, servicios y energía 2041-2070

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3)					
		Industrial	Educación	Salud	Comercio	Energía	Total Servicios
1	ARATOCA	414691	282912	80740	2758	0	781100
2	BELEN	40332	300357	10404	33173	0	384266
3	BETEITIVA	0	86276	2958	0	0	89234
4	BOAVITA	88416	276457	4679	0	0	369552
5	BUSBANZÁ	0	35934	4629	0	0	40563
6	CAPITANEJO	17111	179259	35662	0	0	232032

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3)					
		Industrial	Educación	Salud	Comercio	Energía	Total Servicios
7	CARCASI	0	156129	20727	0	0	176856
8	CEPITA	2632	65921	14763	0	0	83317
9	CERINZA	5894	140008	6030	0	0	151933
10	CERRITO	44225	206582	54767	656	0	306229
11	CHISCAS	0	188994	2371	0	0	191365
12	CHITA	0	473588	6458	0	0	480046
13	CHIVATA	0	242557	14486	0	0	257043
14	COMBITA	40332	428670	29517	0	0	498519
15	CONCEPCION	148195	171453	31566	0	0	351213
16	CORRALES	10610	84412	6174	412	0	101608
17	COVARACHIA	0	114075	3921	3520	0	121516
18	CUITIVA	14736	75767	1817	6308	0	98628
19	CURITI	112931	377890	28344	7565	0	526730
20	DUITAMA	403323	4458320	427891	495769	0	5785303
21	EL COCUY	2947	214250	5654	16922	0	239773
22	EL ESPINO	0	160349	6902	1666	0	168916
23	ENCISO	2632	111748	21772	0	0	136152
24	FIRAVITOBA	2947	209674	18881	1907	0	233409
25	FLORESTA	0	162044	4808	0	0	166851
26	GAMEZA	44208	216284	6294	0	0	266786
27	GUACA	53701	202968	38124	0	0	294793
28	GUACAMAYAS	139697	65936	2684	0	0	208317
29	GUICAN	5894	349343	2504	11042	0	368784
30	IZA	171527	74242	6232	4321	0	256321
31	JERICO	103435	168485	5024	746	0	277689
32	JORDAN	0	36719	10107	123	0	46950
33	LA UVITA	0	103566	3215	0	0	106780
34	LOS SANTOS	112931	394226	96105	1078	0	604339
35	MACARAVITA	0	75318	9039	0	0	84357
36	MALAGA	331753	593300	210327	126577	0	1261956
37	MOGOTES	55523	375143	7984	1716	0	440366
38	MOLAGAVITA	0	186632	13574	0	0	200206
39	MONGUA	103435	201029	5809	0	0	310273
40	MONGUI	13557	211369	9857	0	0	234783
41	MOTAVITA	52460	295442	18722	535	0	367158
42	NOBSA	161329	669396	58232	1092	0	890048
43	OICATA	40332	127804	9139	662	0	177938
44	ONZAGA	149511	186487	17092	1454	0	354545

#	Municipio	Consumo sector servicios, industria y energía (m^3)					
		Industrial	Educación	Salud	Comercio	Energía	Total Servicios
45	PAIPA	80665	1215136	118002	71428	4537680	6022910
46	PANQUEBA	65428	54919	2727	0	0	123073
47	PAZ DE RIO	494232	203233	6235	13531	0	717231
48	PESCA	101973	328664	5360	0	0	435997
49	PIEDECUESTA	746443	4332356	426640	303709	0	5809148
50	SAN ANDRES	51069	267732	42039	450	0	361291
51	SAN JOAQUIN	4738	82401	10095	1025	0	98261
52	SAN JOSE DE MIRANDA	0	151792	24940	0	0	176732
53	SAN MATEO	0	167298	3184	0	0	170482
54	SAN MIGUEL	0	79510	14161	118	0	93789
55	SANTA BARBARA	22354	74306	20155	203	0	117018
56	SANTA ROSA VITERBO	524320	522404	27779	2425	0	1076929
57	SATIVANORTE	0	98820	2505	0	0	101325
58	SATIVASUR	2947	42714	1388	0	0	47049
59	SIACHOQUE	22988	394770	12946	837	0	431541
60	SOATA	2947	287475	13357	7792	0	311571
61	SOCHA	99026	283068	19227	325	0	401645
62	SOCOTA	5894	344258	4412	2134	0	356699
63	SOGAMOSO	322658	4375250	378665	739500	0	5816073
64	SORA	2947	130855	1268	0	0	135070
65	SORACA	264068	244422	12587	6241	0	527318
66	SOTAQUIRA	40332	367141	12401	0	0	419874
67	SUSACON	17683	138483	2967	0	0	159133
68	TASCO	0	256795	6877	0	0	263673
69	TIBASOSA	40332	559039	50734	14897	0	665002
70	TIPACOQUE	0	128652	5063	0	0	133715
71	TOCA	8252	437993	19827	7620	0	473692
72	TOPAGA	91363	215606	10162	0	0	317131
73	TOTA	0	216115	6210	3273	0	225598
74	TUNJA	201662	6868558	818092	938909	0	8827221
75	TUTA	40332	382396	24323	3193	0	450244
76	TUTAZA	2947	64411	2694	754	0	70806
77	VILLANUEVA	66074	184753	3345	10250	0	264421
78	VIRACACHA	2947	29808	53	0	0	32808
TOTAL		6217870	37268447	3486403	2848614	4537680	54359014

En el mapa (Anexo 42) se observa que los municipios con mayor consumo en el sector industria, servicios y energía en el periodo 2041-2070 son: Duitama, Sogamoso, Paipa, Tunja en Boyacá en la cuenca alta, Piedecuesta en Santander en la cuenca baja. Los municipios con menor consumo son Viracachá en la cuenca alta y Busbanzá y Sativasur en Boyacá en la cuenca media, y Jordán en Santander en la cuenca baja.

c) Consumo del sector pecuario

Los municipios que mayor consumo hídrico presentarán en el periodo 2041-2070, en el sector pecuario (mapa, Anexo 43) están distribuidos por toda la cuenca, en su mayoría se encuentran en la cuenca alta Siachoque, Topaga, Paipa, Topaga, Sotaquira, Combita y Oicatá, en la cuenca media se destacan por su mayor consumo Socha, Socotá, Boavita, Soata, Onzaga, Soata, y en la cuenca baja Aratoca y San Andrés.

d) Consumo del sector agrícola

A continuación, antes de realizar el análisis de este ítem, enunciaremos algunos resultados que el software TerrSet realizó (figura 43) acerca de las coberturas, inicialmente, el software comparó las coberturas del año 2000 y las del 2017, por lo cual y como se muestra en la figura 43 hubo pérdidas y ganancias de área en las diferentes coberturas, el área que mayor produjo ganancias en color verde (aumento de cobertura) fue la cobertura Pastos, seguido de B, H, A, Vs-T (Bosques, Herbazales, Arbustos, Vegetación secundaria y en transición) y territorios agrícolas.

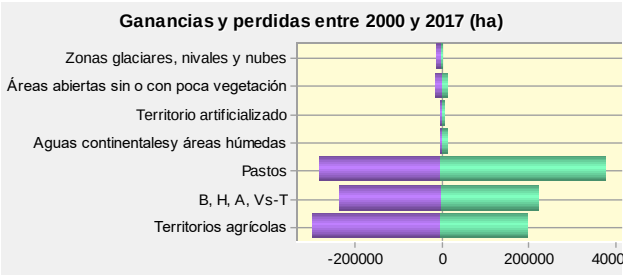


Figura 43 Ganancias y pérdidas de coberturas 2010-2017

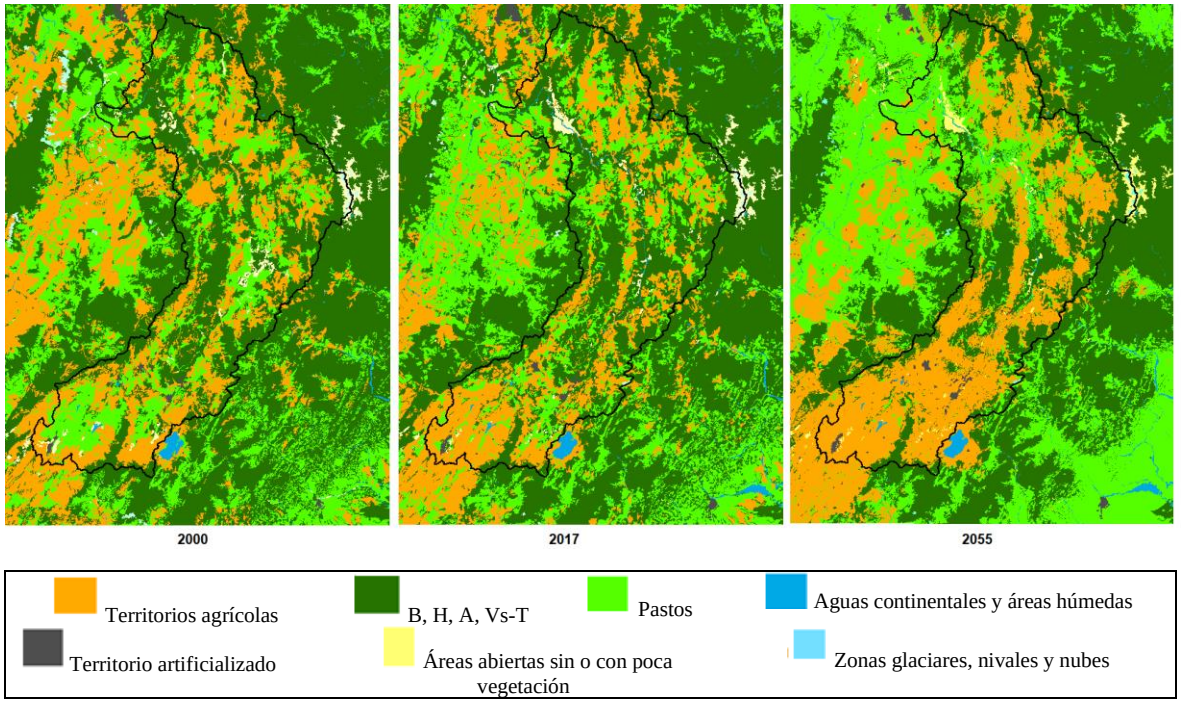


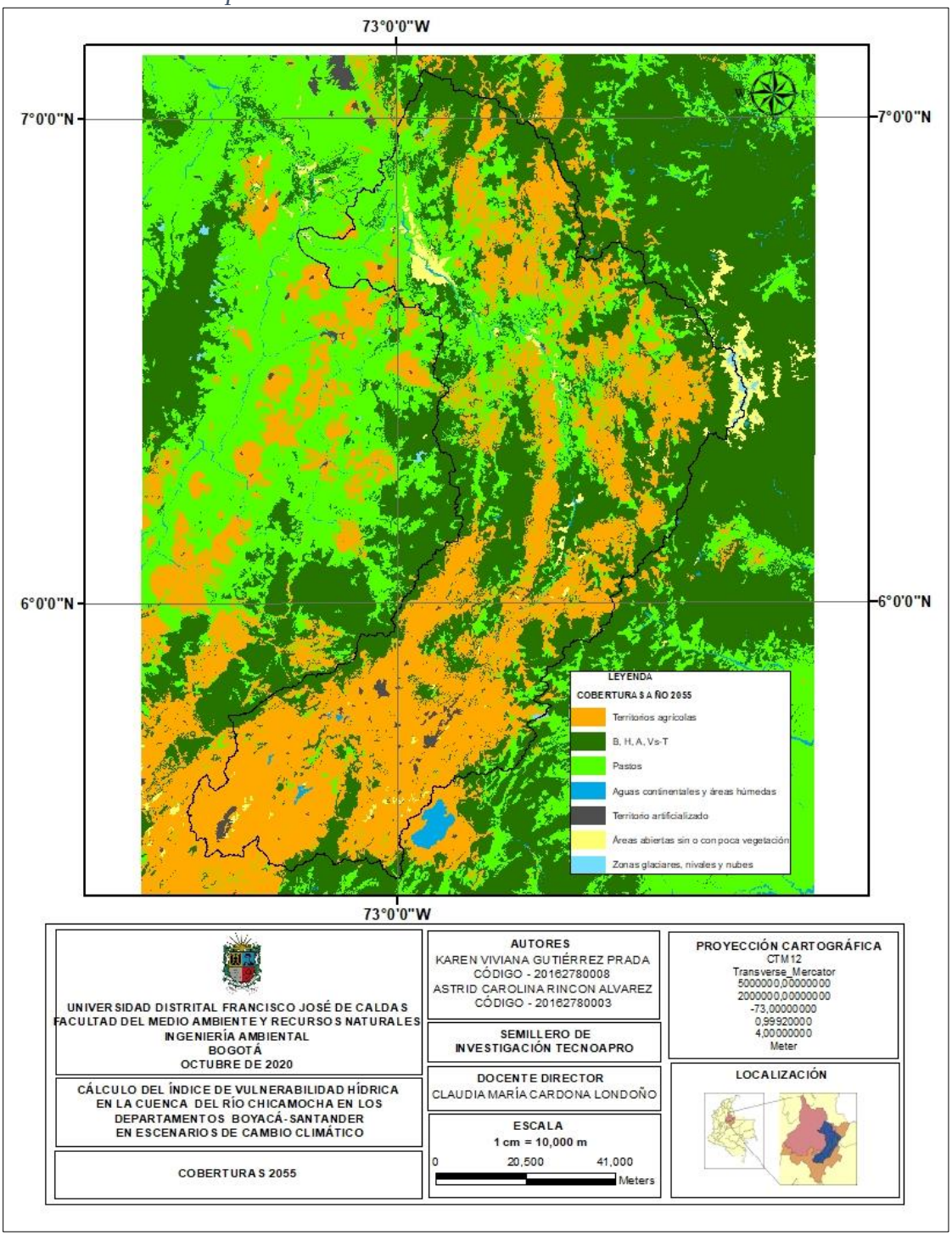
Figura 44 Línea del tiempo coberturas Cuenca Río Chicamocha 2055 (TerrSet)

Se puede evidenciar el aumento de la cobertura de cultivos en la cuenca alta para el año 2017 (figura 44), TerrSet tuvo en cuenta 4 transiciones potenciales para generar el modelo final, correspondientes en su mayoría a cambios de otras coberturas a la cobertura de cultivos. Se puede evidenciar que en el lado occidental correspondiente al Río Suarez las coberturas cambian de cultivos a pasto. Se ve también como disminuyen en algunas zonas la cobertura de bosques. En el mapa 6 (Anexo 44) se puede visualizar que las áreas con coberturas agrícolas podrían ocupar el 45% (Tabla 83), incrementándose sus áreas sobre la cuenca alta.

Tabla 83 Coberturas 2055

COBERTURA	% ÁREA
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	1.82
Aguas continentales y áreas húmedas	0.51
B, H, A, Vs-T	32.69
Pastos	19.00
Territorio artificializado	0.77
Territorios agrícolas	44.99
Zonas glaciares, nivales y nubes	0.20
SUMA	100

Mapa 6 Coberturas obtenidas con TerrSet año 2055



En el mapa (Anexo 45) se ilustra el consumo de agua del sector agrícola en la cuenca del río Chicamocha para el escenario prospectivo, donde el resultado fue de 507.469.314 m^3, en comparación con el periodo de referencia, el incremento es bastante alto debido a que los

territorios agrícolas aumentaran (Ver tabla 83). Los mayores consumos se dan tanto en la cuenca alta como en la cuenca baja, estos municipios son: Paipa en la cuenca alta y Socotá en la cuenca media en Boyacá, y Onzaga, Cerrito en la cuenca media y San Andrés en la cuenca baja en Santander; este último municipio sigue siendo el que mayor recurso hídrico demanda para este sector tanto para el periodo de referencia como para el escenario prospectivo. De acuerdo con el mapa (Anexo 46) los municipios que presentan un índice de uso del agua ***muy bajo*** en el periodo comprendido entre el año 2041 y 2070 son: Mogotes y Cepitá en Santander en la cuenca baja del Chicamocha. De igual forma, se observa que el índice de uso del agua (IUA) en la categoría ***bajo*** representa el 42.31% del total de los municipios, los cuales presentan una presión baja de la demanda del recurso hídrico con respecto a la oferta disponible, y se ubican principalmente en la cuenca media y baja del Chicamocha, algunos de estos son: Betéitiva, Boavita, Busbanzá y Chiscas en Boyacá, y Aratoca, Capitanejo, Curití y Enciso en Santander.

El (IUA) en la categoría ***moderado*** se da a lo largo de toda la cuenca, representando el 29.5%, algunos de los municipios dentro de esta categoría son: Belén, Cerinza, Chivatá y Corrales en Boyacá, y Carcasí, Macaravita y Molagavita en Santander. El (IUA) en la categoría ***alto*** se ubica en la cuenca alta y baja, algunos de los municipios que se encuentran dentro de esta categoría son: Combita, Duitama, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo en Boyacá, y Cerrito, Málaga y San Andrés en Santander, en estos municipios la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible y representan el 21.79% del total de la cuenca. Los municipios que presentan un (IUA) en la categoría ***muy alto*** son Paipa y Sogamoso, y en la categoría ***crítico*** son Tunja ubicados en la cuenca alta; estos municipios a futuro deben plantear estrategias que permitan reducir en gran parte el consumo de agua en los diferentes sectores, para que la presión sobre la oferta de agua disminuya.

6.2.2.7 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico.

De acuerdo con la tabla 84 y el mapa 7 (Anexo 47), los municipios que presentan una vulnerabilidad ***baja*** para el escenario prospectivo representan el 40% respecto al total de municipios, estos se encuentran en la cuenca media, algunos de estos son: Onzaga en Santander y Boavita en Boyacá, y en la cuenca baja encontramos los siguientes: Los Santos y Aratoca en Santander. En cuanto a la vulnerabilidad ***muy baja***, encontramos los municipios

Cepitá y Mogotes en Santander en la cuenca baja del río Chicamocha. La cuenca del río Chicamocha para el escenario prospectivo va a presentar una vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico *alta* en el 30% de los municipios que hacen parte de esta, así como una vulnerabilidad *media* en el 27% de estos.

Tabla 84 Resultado índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 2041-2070

#	Municipio	IUA	IRH	IVH	#	Municipio	IUA	IRH	IVH
1	Aratoca	Bajo	Alto	Baja	41	Motavita	Alto	Moderado	Alta
2	Belén	Moderado	Moderado	Media	42	Nobsa	Alto	Moderado	Alta
3	Betéitiva	Bajo	Moderado	Baja	43	Oicatá	Moderado	Moderado	Media
4	Boavita	Bajo	Moderado	Baja	44	Onzaga	Bajo	Moderado	Baja
5	Busbanzá	Bajo	Moderado	Baja	45	Paipa	Muy alto	Moderado	Alta
6	Capitanejo	Bajo	Moderado	Baja	46	Panqueba	Bajo	Moderado	Baja
7	Carcasí	Moderado	Moderado	Media	47	Paz de Río	Bajo	Moderado	Baja
8	Cepitá	Muy bajo	Alto	Muy baja	48	Pesca	Alto	Moderado	Alta
9	Cerinza	Moderado	Moderado	Media	49	Piedecuesta	Bajo	Alto	Baja
10	Cerrito	Alto	Moderado	Alta	50	San Andrés	Alto	Moderado	Alta
11	Chiscas	Bajo	Moderado	Baja	51	San Joaquín	Bajo	Alto	Baja
12	Chita	Bajo	Moderado	Baja	52	San José de Miranda	Bajo	Moderado	Baja
13	Chivatá	Moderado	Moderado	Media	53	San Mateo	Bajo	Moderado	Baja
14	Cómbita	Alto	Moderado	Alta	54	San Miguel	Bajo	Moderado	Baja
15	Concepción	Moderado	Moderado	Media	55	Santa Bárbara	Bajo	Moderado	Baja
16	Corrales	Moderado	Moderado	Media	56	Santa Rosa de Viterbo	Alto	Moderado	Alta
17	Covarachía	Bajo	Alto	Baja	57	Sativanorte	Bajo	Moderado	Baja
18	Cuítiva	Bajo	Bajo	Media	58	Sativasur	Bajo	Moderado	Baja
19	Curití	Bajo	Alto	Baja	59	Siachoque	Alto	Moderado	Alta
20	Duitama	Alto	Moderado	Alta	60	Soatá	Bajo	Moderado	Baja
21	El Cocuy	Moderado	Moderado	Media	61	Socha	Moderado	Moderado	Media
22	El Espino	Bajo	Moderado	Baja	62	Socotá	Alto	Moderado	Alta
23	Enciso	Bajo	Moderado	Baja	63	Sogamoso	Muy alto	Bajo	Alta
24	Firavitoba	Alto	Bajo	Alta	64	Sora	Bajo	Moderado	Baja
25	Floresta	Moderado	Moderado	Media	65	Soracá	Alto	Moderado	Alta
26	Gameza	Moderado	Bajo	Alta	66	Sotaquirá	Alto	Moderado	Alta
27	Guaca	Moderado	Moderado	Media	67	Susacón	Bajo	Moderado	Baja
28	Guacamayas	Bajo	Moderado	Baja	68	Tasco	Moderado	Moderado	Media

#	Municipio	IUA	IRH	IVH
29	Güicán	Moderado	Moderado	Media
30	Iza	Moderado	Bajo	Alta
31	Jericó	Moderado	Moderado	Media
32	Jordán	Bajo	Alto	Baja
33	La Uvita	Bajo	Moderado	Baja
34	Los Santos	Bajo	Alto	Baja
35	Macaravita	Moderado	Moderado	Media
36	Málaga	Alto	Moderado	Alta
37	Mogotes	Muy bajo	Alto	Muy baja
38	Molagavita	Moderado	Moderado	Media
39	Mongua	Bajo	Bajo	Media
40	Monguí	Moderado	Bajo	Alta

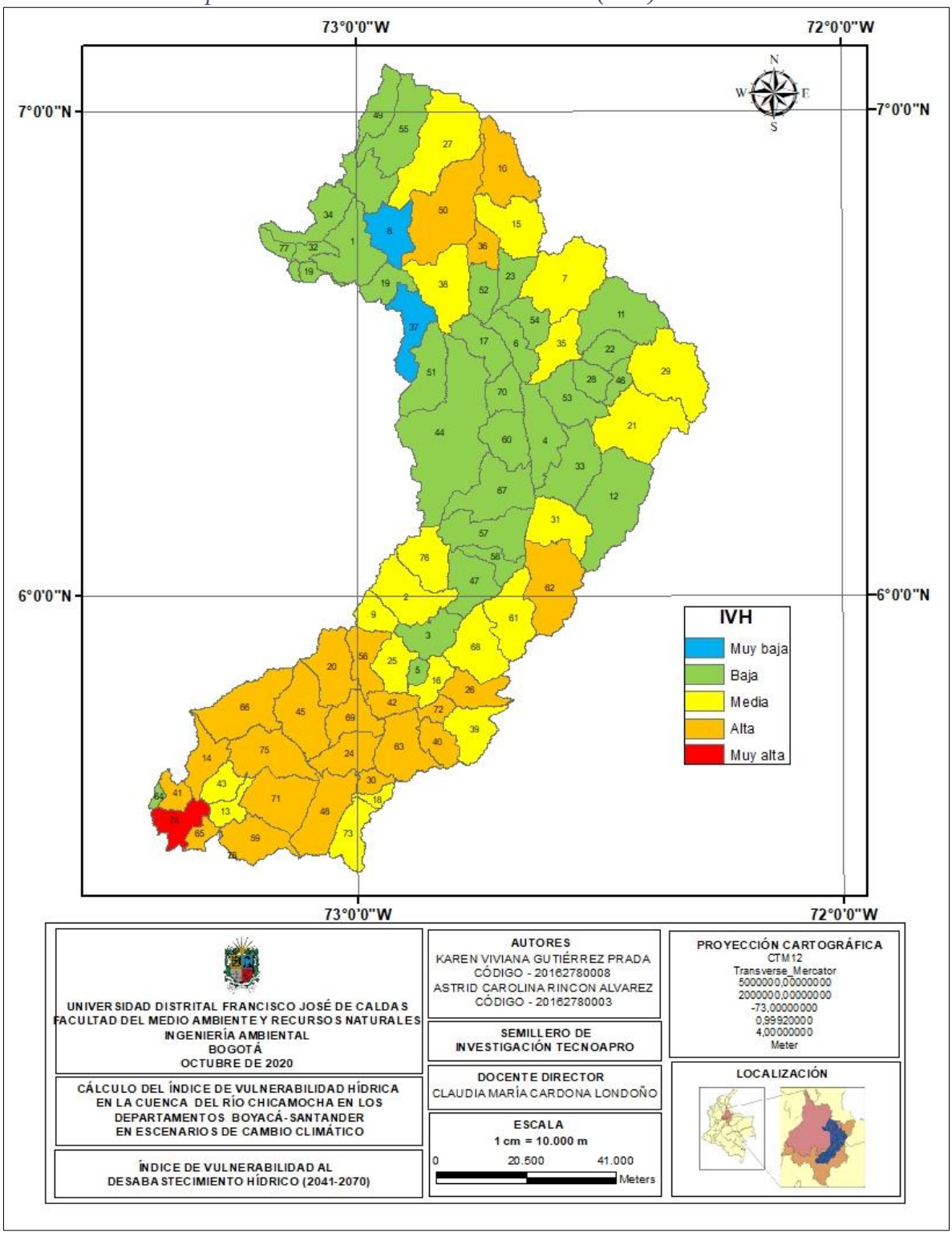
#	Municipio	IUA	IRH	IVH
69	Tibasosa	Alto	Moderado	Alta
70	Tipacoque	Bajo	Moderado	Baja
71	Toca	Alto	Moderado	Alta
72	Tópaga	Moderado	Bajo	Alta
73	Tota	Moderado	Moderado	Media
74	Tunja	Critico	Moderado	Muy alta
75	Tuta	Alto	Moderado	Alta
76	Tutazá	Moderado	Moderado	Media
77	Villanueva	Bajo	Alto	Baja
78	Viracachá	Moderado	Moderado	Media
Promedio cuenca		15.78	0.70	Media
		Moderado	Moderado	

El municipio de Tunja va a presentar una vulnerabilidad *muy alta*, por lo tanto, es imprescindible que el ente territorial aplique medidas que permitan reducir la vulnerabilidad en cambios extremos de temperatura y precipitación.

6.2.2.8 Índice de stress hídrico relativo.

Como se observa en el mapa (Anexo 48), los municipios Paipa, Sogamoso y Tunja presentan un stress del recurso hídrico *alto* para el escenario prospectivo, en donde existe una fuerte presión sobre el recurso, es decir, la oferta hídrica es insuficiente para atender la alta demanda de agua por los sectores productivos y se restringe el desarrollo económico. Por tal motivo, es importante el diseño e implementación de medidas que permitan el desarrollo de la economía sin que el recurso hídrico se ve afectado en cantidad y disponibilidad. El índice de stress hídrico *medio* se presenta en la cuenca alta en los siguientes municipios: Cerrito y Málaga en la cuenca baja en Santander, Socotá en la cuenca media, y Combita, Duitama, Firavitoba, Santa Rosa de Viterbo, Sotaquirá, Tibasosa y Toca en la cuenca alta en Boyacá. En estos municipios la oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda. Por ello es importante el ordenamiento de la cuenca y la asignación de prioridades a los diferentes usos.

Mapa 7 Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) 2041-2070



Los municipios que presentan un índice de stress hídrico *moderado* representan el 29% del total de estos dentro de la cuenca, y se encuentran en las tres partes de la cuenca (alta, media y baja), allí la disponibilidad de agua se puede convertir en un factor limitante del desarrollo. Para ello se debe implementar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento a largo plazo. Para el resto de los municipios (53%) que se encuentran dentro de la cuenca del río Chicamocha el índice de stress hídrico es *bajo*, es decir, que no se presentan presiones sobre el recurso hídrico en términos de cantidad de agua.

6.2.2.9 Índice de disponibilidad per cápita.

Se puede observar en el mapa (Anexo 49) que a diferencia del desarrollo del mismo índice para el periodo de referencia 1981-2010, algunos municipios debido al aumento de la escorrentía en la cuenca alta mejoran su disponibilidad de agua por habitante, es el caso de Siachoque, Toca, Pesca, Cerinza, Belén, Floresta, Gameza, Tópaga, Monguí. Algunos como Paipa y Piedecuesta, debido al aumento en la población empiezan a disminuir su disponibilidad del recurso hídrico por persona. En general, el panorama sigue siendo crítico para los municipios de la cuenca alta por los valores en rangos de escasez severa y escasez, que impedirán el desarrollo de la economía.

A continuación, en la tabla 85 se muestra el cuadro comparativo entre los índices calculados para los dos periodos de tiempo establecidos en la investigación, los cuales fueron el periodo de referencia y el escenario prospectivo.

Tabla 85 Cuadro comparativo entre los dos periodos evaluados

Temperatura		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
6.5 - 20.5°C (Promedio 15.2 °C)	7.26 - 22.25°C (promedio 16.36 °C)	Zonas más altas aumentará menos de un grado, y en las zonas más bajas de la cuenca aumentará en un rango de 1.55 a 1.75 °C.
Precipitación		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
686 – 1857 mm (promedio 1115 mm)	770 - 1867 mm (promedio 1189 mm)	Aumentará en su mayoría hasta 100 mm, pero la cuenca alta podrá aumentar hasta 400 mm

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
Menos de 400mm en la cuenca alta y hasta 1500 en la cuenca media-baja	Menos de 600mm en la cuenca alta Cuenca Media 400-600mm y una parte 600-800mm Cuenca baja 600-800, una parte 800-1000mm	Disminuye en la cuenca baja y media hasta en 400mm, debido al aumento de la temperatura, que a su vez eleva la tasa de evaporación. En la cuenca alta aumenta hasta 200mm
Índice de Regulación Hídrica (IRH)		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
Cuenca Alta: Una parte Baja y restante moderada Cuenca Media: Moderada y una parte en alta Cuenca Baja: Moderada y en su mayoría Alto.	Cuenca Alta: Una parte Baja y restante moderada Cuenca Media: Moderada y una parte en alta Cuenca Baja: Moderada y en su mayoría Alto.	En la cuenca baja para el periodo de referencia hay una mayor evidencia de un IRH alto respecto al escenario futuro. La estación de caudal que obtuvo un IRH diferente al pasado fue San Luis sobre el río Nevado, pasando de *alto* a *medio*.
Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD)		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
Cuenca alta: 250-600 mm Cuenca media: 401-920 mm Cuenca baja: 401-800 mm	Cuenca Alta: 270 - 500 mm Cuenca Media: 401 - 800 mm Cuenca Baja: 501 - 600 mm	En la cuenca alta y media, la oferta disminuye hasta en 100 mm, en la cuenca baja la disminución es aún mayor con 200 mm
Índice de Uso del Agua (IUA)		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
Consumo total: 190 905 916 m^3 **No hay municipios con categoría Crítico y muy alto** **Alto:** 2.6% de los municipios y se encuentran en la cuenca alta. (Tunja y Sogamoso). **Moderado**: 8.9% de los municipios, 6 de ellos en la cuenca alta (Soraca, Combita, Tuta, Siachoque, Paipa, Duitama) y Málaga en la cuenca media.	**Consumo total:** 645 684 392 m^3 **Crítico:** 1.28% correspondiente al municipio de Tunja (cuenca alta) **Muy alto**: 2.56% de los Municipios (Paipa y Sogamoso) en la cuenca alta. **Alto:** 21.79% de los municipios, 13 en la cuenca alta, 3 en la cuenca media y 1en la cuenca baja.	Aumento de 238% Los municipios que presentaron los mayores consumos aumentaron así: Cerrito: 286% Paipa: 222% Tunja: 193% San Andrés: 168% Sogamoso: 166% Duitama: 146%

Bajo: 79% de los municipios distribuidos en toda la cuenca. **Muy Bajo:**10.3% de los municipios 5 de ellos en la cuenca media (Busbanza, Beteitiva, Sativasur, Sativanorte y San Joaquín) y 4 en la baja (Santa Barbara, Cepita, Curiti, Mogotes) Se evidencia mayor IUA en la Cuenca alta y solo un municipio en la cuenca baja, los menores IUA se encuentran en la cuenca baja.	**Moderado:** 29.49% de los municipios, 4 de ellos en la cuenca alta (Oicata, Chivata, Tota e Iza), 16 municipios, 5 en la cuenca alta, 16 en la cuenca media y 2 en la cuenca baja (Molagavita y Guaca) **Bajo:** 42.31% de los municipios, 2 en la cuenca alta, 24 en la cuenca media y 7 en la cuenca baja. **Muy bajo:** 2.56% Cepita y Mogotes en la cuenca baja	En el IUA se evidencia que empeoran las condiciones para la cuenca, en la cuenca alta 16/23 municipios estarán en rango alto a crítico del IUA. La cuenca media pasará de 1 municipio a 16 en moderado y 3 en alto. La cuenca baja pasó de 0 municipios en condiciones moderadas a 2 y 1 en alto.
Doméstico		
Consumo total: 48 945 206 m^3	**Consumo total:** 54 545 867m^3	.Aumento de 11.44%
Servicios, industria y energía		
Consumo total: 14 704 137 m^3	**Consumo total:** 54 359 014 m^3	Aumento del 260%
Pecuario		
Consumo Total: 27 078 302 m^3	C**onsumo Total** 33 847 877 m^3	Aumento del 25%
Agrícola		
Consumo Total: 100 178 270 m^3	**Consumo Total:** 507 469 314 m^3	Aumento del 406%
Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)		
Período de referencia	Escenario prospectivo	Delta
Categorías del IVH **Alta**: 2.6% de los municipios (Tunja y Sogamoso) en la cuenca alta **Media:** 20.5% de los municipios de los cuales 12 se encuentran en la cuenca alta y 4 en la cuenca media. **Bajo:** 71.8% de los municipios distribuidos en toda la cuenca. **Muy Baja:** 5.1% de los municipios 1 en la cuenca media y baja (San Joaquín) y tres en la cuenca baja	**Categorías del IVH** **Muy alta:** 1.3% correspondiente a Tunja **Alta:** 29.5% de los municipios De los cuales 16 están en la cuenca alta, 6 en la cuenca media y cuenca baja (San Andrés). **Media:** 26.9% de los municipios 5 en la cuenca alta, 14 en la media y 2 en la baja **Baja:** 39.7% de los municipios de la cuenca, Sora en la cuenca alta, 23 en la cuenca media y en la baja 7.	En la cuenca alta se evidencia una nueva categoría del IVH correspondiente a Muy alta. Los municipios en categoría Alta aumentan en 26.9%. La categoría baja que indica valores adecuados en el uso del recurso hídrico disminuye en 32.1%. En la cuenca media ya se evidencian problemas de desabastecimiento hídrico.

(Cepita, Mogotes, Curiti) Se evidencia que los municipios más críticos índice (Alto y Medio) se encuentran en la cuenca alta y en la parte alta de la cuenca media. Y los menores en la cuenca baja,	**Muy baja:** 2.6% Cepita y Mogotes en la cuenca baja. La cuenca alta presenta los índices crítico y alto y la cuenca medía en su parte alta valores moderados y altos, la cuenca baja empieza a tener IUA altos en San Andrés.	
Índice de stress hídrico relativo		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
No hay municipios con categoría Alto **Stress medio:** 2.56% de los municipios (Sogamoso y Tunja) cuenca alta **Stress moderado:** 2.26% de los Municipios (Tuta y Duitama) Cuenca alta **Stress bajo:** 94.87% de los Municipios restantes, totalidad de la cuenca media, Baja y parte del alta.	**Stress alto:** 3.85% de los municipios, Paipa, Sogamoso y Tunja (cuenca alta). **Stress medio:** 14.1% de los municipios, en la cuenca alta 8 municipios y en la media 3 (Socotá, Málaga y Cerrito). **Stress moderado:** 29.49% de los municipios, 8 en la cuenca alta, 13 en la media y 2 en la baja. **Stress bajo:** 52.56% de los Municipios, 4 en la cuenca alta, 27 en la media y 10 en la baja.	La presión sobre el recurso hídrico aumenta en las tres partes de la cuenca. Tres municipios ejercen mayor presión sobre el recurso a tal punto que aumentan a stress alto. La categoría de stress medio aumenta en 11.54%. El stress moderado aumentará en 27.23%. y el stress bajo disminuyó en 42.31%.
Índice de disponibilidad per cápita		
Período de referencia	**Escenario prospectivo**	**Delta**
Todos los municipios que Muestran criticidad en este índice, se encuentran en la con un rango de <500-17000 m^3/hab-año. **Escasez severa:** 2.56% de los Municipios, Tunja y Sogamoso (<500 m^3/hab-año) **Escasez:** 1.28% correspondiente A un municipio (Duitama) (501-1000 m^3/hab-año) **Estrés hídrico:** 1.28% (1 municipio Nobsa) (1001-17000 m^3/hab-año)	Todos los municipios que Muestran criticidad en este índice, se encuentran en la cuenca alta excepto Malaga (cuenca media) rangos de <500-17000 m^3/hab-año. **Escasez severa:** 3.85% de los Municipios, Tunja, Sogamoso Y Duitama (<500 m^3/hab-año) **Escasez:** 1.28% correspondiente A un municipio (Nobsa) (501-1000 m^3/hab-año) **Estrés hídrico:** 2.56% (2 municipio Paipa y Málaga) (1001-17000 m^3/hab-año)	Empeora para los casos más críticos y mejora para la cuenca media y baja. Aumentó en 2.56% los municipios con escasez y estrés hídrico, se suma Duitama a Escasez severa, Nobsa empeora a Escasez, Paipa y Málaga ascienden a estrés hídrico. Sin embargo, se puede evidenciar que aumenta la cantidad de municipios con valores alrededor del promedio nacional en 21%

El multiescenario RCP para el periodo 2041-2070, nos indica aumentos de temperatura y de precipitación, en general, en la mayor parte de la cuenca, con algunas variaciones en las que aumenta o disminuye solo uno de los dos parámetros. De acuerdo con lo analizado la temperatura fue un factor determinante para generar un cambio en las zonas de vida, puesto que es una variable asociada a las condiciones atmosféricas, por ende, puede transformar ecosistemas. La temperatura se relaciona directamente con la evaporación, al aumentar la temperatura en la cuenca, se aumentará la evaporación, y aunque aumente la precipitación, el caudal de escorrentía se verá disminuido de acuerdo con los balances hídricos realizados; estas variaciones ocasionan que cambien las condiciones climáticas y por ende la denominada zona de vida. El aumento de hasta 1.1°C y 400 mm en la cuenca alta propició el cambio de zona de vida de bs-MB a bh-MB. Cuando se mantuvo la precipitación constante y aumentó la temperatura, pasó de bh-MB a bs-MB. En la cuenca media de bs-MB a bh-PM, debido al aumento de 400 mm de precipitación, también algunas zonas que aumentaron la temperatura en 1.5°C pasaron de zonas húmedas a secas, o de ecosistemas muy húmedos a húmedos, y en la zona baja el aumento de hasta 1.75°C y 200 mm realizaron cambios en las zonas de vida de bs-MB a bh-PM, también en algunos lugares disminuyó la precipitación haciendo que áreas muy húmedas se volvieran húmedas.

Además de los cambios en las zonas de vida, se tienen varias implicaciones, por un lado, la dinámica del balance hídrico, los caudales de escorrentía, el caudal ambiental, y por otro las dinámicas sociales y económicas. Se prevé que los sitios aptos para el cultivo de ciertos alimentos u otras actividades por la variación de la escorrentía y los cambios de los parámetros climáticos en algunas zonas cambien, con ello la variedad de productos que históricamente ha ofrecido el sistema agronómico.

El aumento en la oferta hídrica total superficial (OHTS) en la cuenca alta, no se asume de forma positiva, debido al aumento de áreas agrícolas y aumento de la población; respecto a la cuenca baja, sin embargo, no aumentará la OHTS sino por el contrario disminuirá, y aun así se incrementará la población y zonas agrícolas. Estos dos factores se asocian de manera negativa teniendo en cuenta que aumentan la demanda de agua, por un lado el crecimiento poblacional (que de acuerdo con las proyecciones aumentará en 263907 habitantes) genera mayor requerimiento de servicios, alimentos y manufactura y por otro lado, el área del sector

agrícola de acuerdo con las proyecciones generadas en el software Terrset, aumentará hasta en un 45%, lo que significa una mayor demanda del recurso hídrico (de acuerdo con los resultados en un 460% respecto al periodo de referencia). Por ello, lo descrito anteriormente contrasta con la disminución de la OHTD (oferta hídrica total disponible) y la aparición de futuras problemáticas.

El aumento de la población e intensidad en la agricultura, además del aumento de la demanda, trae consigo varios problemas, por un lado la calidad del recurso hídrico y aumento de vertimientos y por otro la expansión de la frontera agrícola que a su vez puede ocasionar la fragmentación de ecosistemas estratégicos para la conservación del recurso hídrico, perdiéndose conectividad de los flujos de las galerías filtrantes para el agua subsuperficial, que mantiene el sistema radicular de las plantas. Las coberturas agrícolas y pastizales que están en su mayoría en la cuenca alta, tienen una relación inversa con la regulación del agua en la cuenca, debido al componente suelo, el cual es el factor que relaciona la cantidad de agua que cae en la cuenca, con su capacidad de almacenamiento, por lo tanto, la disminución de las áreas boscosas incide en la regulación del ciclo hidrológico, ya que, a menor área boscosa, hay menor evapotranspiración y un cambio en la regulación y retención del agua en el suelo, por consiguiente a mayor cobertura agrícola y antrópica, menor capacidad de la cuenca de regular y retener el recurso agua, debido a que estas coberturas transpiran poco y asimismo es su aporte al ciclo hidrológico.

Por otro lado, el índice de aridez expresa la disponibilidad natural de agua o el grado de suficiencia e insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas, de acuerdo con los resultados obtenidos para el escenario prospectivo la cuenca alta y media presentan altos excedentes de agua y de forma moderada para la cuenca baja, es decir, las condiciones de la cuenca respecto al periodo de referencia mejoran. Es importante aclarar que este índice no tiene en cuenta los factores asociados a las actividades antrópicas que puedan incidir sobre la disponibilidad natural hídrica de la cuenca y su resultado es netamente cualitativo.

En relación con los factores anteriormente expuestos, el 57.7% de los municipios que conforman la cuenca del río Chicamocha tendrán una vulnerabilidad al desabastecimiento

hídrico por factores climatológicos, y por la alta demanda de agua para los sectores económicos que allí se desarrollan, en contraste con el 23.1% de municipios con vulnerabilidad hídrica en el periodo de referencia; lo que significa que la cuenca presenta fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que debido a diversas amenazas o fenómenos climáticos como el niño podría generar riesgo de desabastecimiento de agua. La situación es más compleja para los municipios de la cuenca alta, el sistema hídrico a largo plazo en el municipio de Tunja será vulnerable a la escasez hídrica, en donde se pueden presentar fenómenos como las sequías y procesos de desertización, que influyan en el caudal ambiental, debido al aumento de la demanda hídrica. Cuando se tiene en cuenta la demanda hídrica de los sectores doméstico, agrícola e industrial, sigue siendo la cuenca alta la que refleja los resultados más críticos y la parte alta de la cuenca media, lo que indica que el recurso tendrá una escasez a largo plazo.

6.3. Fase 3 zonificación, priorización de subcuencas y acciones para la gestión del recurso hídrico

Evidentemente se priorizan para su ordenamiento y manejo, las microcuencas que muestran en el IVH, índice de stress hídrico, y disponibilidad per cápita valores desfavorables reiterados en el periodo de referencia y en el multiescenario prospectivo RCP (Ver Mapa, Anexo 50).

Tabla 86 Priorización de Microcuencas

	IVH				
Índice de disponibilidad per cápita y stress hídrico relativo	**MB**	**B**	**M**	**A**	**MA**
Stress hídrico **Alto** y/o per cápita **escasez severa**					
Stress hídrico **Medio** y Moderado y/o per cápita **escasez**					
Stress hídrico **bajo** y Moderado y/o per cápita **estrés hídrico**					

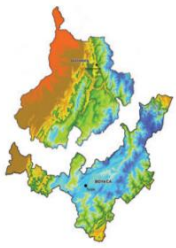
1	Priorización Alta
2	Priorización Media
3	Priorización Baja

Es por esto que todas las microcuencas de la cuenca Alta a excepción de la microcuenca Río Tota (Priorización *Media*), tuvieron priorización *Alta*, es decir, las microcuencas: Río Jordán, Río Piedras, Río Sotaquirá, Río Surba, Río Chiticuy, Embalse la copa, Río Pesca, Cauce del Río Chicamocha, Río Tuta, Río Salitre y Río Chiquito. En la

cuenca media tuvieron priorización *Alta* Río Cometa, Río Gameza o leonera, y las microcuencas en *Media*: Quebrada Buzbanza-Q. Otenga, Río Minas Soapaga, Quebrada Guasa-Llano Grande, Río Nevado y Río Servitá-Tunebo, las demás siete microcuencas en priorización *Baja*. En la cuenca baja debido a su consumo hídrico futuro se debe priorizar de manera urgente (*Alta*) la microcuenca del Río Guaca por la demanda agrícola futura del municipio San Andrés y en *Media* la cuenca del Río Negro.

A continuación, se exponen las acciones diseñadas para la gestión del recurso hídrico en la cuenca del río Chicamocha, que permitan al territorio reducir su vulnerabilidad ante una situación de desabastecimiento hídrico en el futuro.

Ficha 1 Estrategia de conocimiento

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>Ficha No.</td><td>1.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">OBJETIVO: Oferta: Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país</td><td>Tipo de Estrategia</td><td>Adaptación</td></tr>
<tr><td colspan="2">ESTRATEGIA</td><td colspan="2">AMENAZA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Conocimiento</td><td colspan="2">Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático</td></tr>
<tr><td colspan="2">LÍNEA DE ACCIÓN</td><td colspan="2">ACTORES</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ampliar y consolidar, a nivel de cuenca, el conocimiento de la oferta hídrica total y disponible de la cuenca del río Chicamocha, para tener balances hídricos confiables.</td><td colspan="2" rowspan="2">Empresas de servicio de acueducto y alcantarillado, IDEAM, Corpoboyacá, CAS, Alcaldías municipales, comunidad.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cuantificar los bienes y servicios ambientales relacionados con el agua que prestan los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica y por el recurso hídrico en sí mismo.</td></tr>
<tr><td colspan="3">ACCIONES</td><td>IMAGEN</td></tr>
<tr><td colspan="3">1. Actualizar la información de vulnerabilidad hídrica para la cuenca, teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático que se definan para Colombia de acuerdo con las comunicaciones generadas por el IDEAM. Es importante mencionar que la última comunicación es del año 2017.</td><td rowspan="2">
Figura 45 Escenarios de cambio climático. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015)</td></tr>
<tr><td colspan="3">2. Usar el aporte de esta investigación respecto a la información de la caracterización de la cuenca, específicamente, balance hídrico, demanda por sectores económicos e índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, para los periodos 1981-2010 y 2041-2070; como insumo a la fase diagnóstico y prospectiva del Plan de manejo y ordenación del Bajo río Chicamocha, el cual se encuentra en fase de aprestamiento.</td></tr>
</table>

	Ficha No.	1.1
3. Monitorear los fenómenos hidrometeorológicos y de fenómenos naturales (fenómenos de El Niño y La Niña, deslizamientos, inundaciones e incendios forestales) como insumo base para las proyecciones del clima a futuro en la cuenca hidrográfica.		 *Figura 46 Estación Climatológica.* (IDEAM, 2005)
4. Disponer de información consolidada, sistematizada y actualizada de todas las instituciones que componen el SINA, en el Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC) específicamente el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) de variables climáticas para el cálculo de la oferta hídrica. La recopilación de esta información permite evaluar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico de forma local y con mayor frecuencia, para la toma de decisiones.		*Figura 47 Sistema de Información del Recurso Hídrico.* (Minambiente, s.f)
5. Impulsar los procesos de educación ambiental en temas de riesgo, vulnerabilidad y cambio climático, como estrategia de divulgación y conocimiento del comportamiento del clima actual y sus incidencias en las actividades humanas.		 *Figura 48 Taller ambiental en escuela en la cuenca del río Chicamocha.* (Villamizar, 2008)

Ficha 2 Estrategia de Planificación

	Ficha No.	1.2
OBJETIVO: Oferta: Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país	**Tipo de Estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Planificación	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Realizar análisis estratégico de la macrocuenca Magdalena-Cauca para establecer pautas y directrices para su ordenamiento y manejo sostenible.	Corpoboyacá, CAS, Gobernadores de Boyacá y Santander, Alcaldías municipales.	
Promover la articulación de los planes de ordenamiento territorial (POT) y demás instrumentos de ordenación a los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), como determinantes para la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.		

	Ficha No.	1.2
Orientar estrategias de ocupación del territorio en los planes de ordenamiento territorial, para que tengan en cuenta la disponibilidad y calidad de agua.		
ACCIONES	**IMAGEN**	
1. Realizar seguimiento, evaluación y actualización de los Planes PGOF (Plan General de Ordenación y Manejo Forestal) adoptados para Corpoboyacá por la resolución 0680 de 2011 y para la CAS 1271 de 2011. Además, que sean una herramienta para el seguimiento y monitoreo de los proyectos REDD+ (Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques).		
2. Incluir zonas de especial importancia ecosistémica para el suministro de agua como estrategia de adaptación al cambio climático en las diferentes "entidades territoriales" (departamentos, distritos, municipios y territorios indígenas).		
3. Armonizar los diferentes planes: Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCAS) de la cuenca alta, media y baja, los Planes PGOF (Plan General de Ordenamiento Forestal) de las corporaciones ambientales Corpoboyacá, CDMB y CAS, los PIGCCT (Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Territoriales) de los departamentos de Boyacá y Santander y los o planes de ordenamiento territorial POT de los municipios de la cuenca.	*Figura 49 Junto con el gobernador Ramiro Barragán, el director Herman Amaya, firmó el Convenio Especial de Cooperación para la Formulación del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial de Boyacá – PIGCCT.* (Corpoboyacá, 2020)	

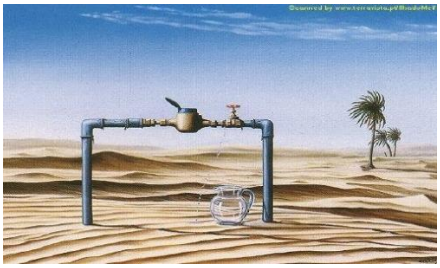
Ficha 3 Estrategia conservación

	Ficha No.	1.3
OBJETIVO: Oferta: Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Conservación	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Promover y apoyar procesos nacionales, regionales y locales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, a través de acciones como la formulación e implementación de planes de manejo cuando haya lugar.	Comunidad, alcaldías municipales, Gobernadores de Boyacá y Santander, CAS, Corpoboyacá.	
Adquirir, delimitar, manejar y vigilar las áreas donde se encuentran los ecosistemas clave para la regulación de la oferta del recurso hídrico.		

	Ficha No.	1.2
Definir los caudales mínimos necesarios para el mantenimiento de las corrientes superficiales y de sus ecosistemas acuáticos asociados, e implementar medidas para garantizarlos.		
ACCIONES	**IMAGEN**	
1. Mantener y mejorar los cuerpos de agua, nacederos y fuentes hídricas como parte de su restauración en las cuencas priorizadas del río Chicamocha. 2. En el contexto local, adquirir predios y zonas de reserva natural de especial importancia ecosistémica municipal (páramos, rondas hidráulicas, nacimientos de agua, y demás establecidos en las determinantes ambientales de cada corporación), como estrategia de conservación y preservación del recurso hídrico.	 *Figura 50 Voluntarios realizarán limpieza en la ronda del río Chicamocha entre Duitama y Tibasosa* (Entreojos, 2019)	
3. Realizar un inventario de las áreas de cierre de proyectos mineros que impliquen un proceso de restauración del ecosistema, con el objetivo de dar cumplimiento a los planes de cierre y abandono y garantizar la no degradación de los suelos y el recurso hídrico de la cuenca. 4. Delimitar y definir la vocación de uso del suelo, en particular donde haya conflictos por sobreutilización, adicionalmente disminuir procesos erosivos que ocasionen sedimentación en los cuerpos hídricos y mejorar la capacidad de retención hidrológica de los suelos, sobre todo en la cuenca alta, que cuenta con valores de regulación hídricos (IRH) bajos. 5. Satisfacer el consumo de agua de los diferentes sectores productivos (doméstico, servicios, agrícola, pecuario, industrial y energía) sin que se vean afectados los caudales mínimos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos de la cuenca hidrográfica.	 *Figura 51 Bosques secos del Chicamocha: la importancia de preservar este ecosistema con el apoyo de la comunidad* (Corpoboyaca, 2019)	

Ficha 4 Estrategia de Caracterización y cuantificación de la demanda del agua en cuencas priorizadas

	Ficha No.	2.1
OBJETIVO: Demanda: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Caracterización y cuantificación de la demanda del agua en cuencas priorizadas	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	

<table>
<tr><td></td><td>Ficha No.</td><td>2.1</td></tr>
<tr><td>Realizar inventarios y registros de usuarios (legales y por legalizar) del recurso hídrico, a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional, en relación con las aguas superficiales.</td><td colspan="2" rowspan="3">Empresas prestadoras
del servicio público de agua, IDEAM.</td></tr>
<tr><td>Cuantificar la demanda y calidad de agua requerida para el desarrollo de las actividades de los principales sectores usuarios del recurso hídrico, a nivel sectorial y regional.</td></tr>
<tr><td>Implementar y hacer seguimiento periódico a los sistemas de medición de los consumos de agua para usuarios priorizados en el Plan Hídrico Nacional.</td></tr>
<tr><td>ACCIONES</td><td colspan="2">IMAGEN</td></tr>
<tr><td>1. Disponer de información consolidada, sistematizada y actualizada a nivel municipal y de microcuencas, sobre los consumos de las empresas que presten el servicio público de suministro de agua doméstico, las industrias, distritos de riego, acueductos veredales, establecimientos de comercio, empresas de energía y demás que hagan uso del recurso hídrico; en el Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC) específicamente el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH). La recopilación de esta información permitiría evaluar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico de forma local y con mayor frecuencia, para la toma de decisiones.</td><td colspan="2" rowspan="2">
Figura 52 La micromedición y las pérdidas en los sistemas de acueducto (CRA, Andesco, 2012)</td></tr>
<tr><td>2. Modificar y/o actualizar los sistemas de medición del consumo del recurso hídrico en cada uno de los municipios que componen la cuenca del río Chicamocha, para cuantificar el consumo real de los sectores demandantes que permita la obtención de resultados más precisos referente a la demanda hídrica.</td></tr>
</table>

Ficha 5 Estrategia para la incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores productivos usuarios del agua

<table>
<tr><td></td><td>Ficha No.</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td>OBJETIVO: Demanda: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.</td><td>Tipo de estrategia</td><td>Adaptación</td></tr>
<tr><td>ESTRATEGIA</td><td colspan="2">AMENAZA</td></tr>
<tr><td>Incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores productivos usuarios del agua</td><td colspan="2">Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático</td></tr>
<tr><td>LÍNEA DE ACCIÓN</td><td colspan="2">ACTORES</td></tr>
<tr><td>Estructurar e implementar el componente ambiental de los planes departamentales de agua y saneamiento (PDA).</td><td colspan="2">Gobernadores de Santander y Boyacá, alcaldes.</td></tr>
</table>

	Ficha No.	2.2
Incorporar las directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en los planes estratégicos y de acción de los principales sectores usuarios del recurso hídrico priorizados en el Plan Hídrico Nacional.		
ACCIONES		**IMAGEN**
1. Integrar los escenarios de cambio climático al componente ambiental de los planes departamentales de agua y saneamiento, con la finalidad de planificar sistemas agrícolas adaptados al cambio climático y las incidencias de este sobre el suelo, el agua y los cultivos actuales.		
2. Realizar los planes estratégicos y de acción con las directrices de la PNGIRH, teniendo en cuenta que en las proyecciones realizadas a largo plazo el sector agrícola será el mayor consumidor del recurso hídrico en la cuenca del río Chicamocha.		*Figura 53 Cultivos en Duitama* (Corpoboyacá, 2017)

Ficha 6 Estrategia para el uso sostenible y eficiente de agua

	Ficha No.	2.3
OBJETIVO: Demanda: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Uso eficiente y sostenible del agua	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Adoptar programas de reducción de pérdidas de agua y mejoramiento de la infraestructura obsoleta existente en los sistemas de abastecimiento de agua para cualquier uso.	Alcaldías, empresas prestadoras del servicio público de agua, comunidad.	
Incrementar la utilización de tecnologías ahorradoras y de uso eficiente del agua.		
Incrementar la implementación de los programas uso eficiente y ahorro de agua (PUEAA), en empresas de acueducto y alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios, priorizados en el Plan Hídrico Nacional.		
Desarrollar e implementar mecanismos que promuevan cambios en hábitos de consumo no sostenible en los usuarios del agua.		
ACCIONES	**IMAGEN**	
1. Planificar los programas de uso eficiente y ahorro del agua enmarcados dentro del cronograma de desarrollo municipal en los POT		

	Ficha No.	2.3
2. Mejorar la infraestructura de abastecimiento del recurso hídrico y las obras hidráulicas en el sistema, en el marco de los PUEAA (Programas de Uso Eficiente y Ahorro de Agua) de los acueductos urbanos y veredales de los municipios que componen la cuenca del Río Chicamocha; de acuerdo con la caracterización de los asentamientos humanos (densificación, expansión o conglomerados).	 *Figura 54 Acueducto de Los Santos en Santander* (Vanguardia, 2008)	
3. Diseñar las acciones que transformen los hábitos de consumo no sostenibles en los beneficiarios del recurso hídrico.	 *Figura 55 Terrazas de cultivo en el cañón del Chicamocha* (Cofederación Agro solidaria, 2017)	
4. Incentivar el uso de tecnologías limpias para el ahorro de agua en la cuenca del Río Chicamocha		

Ficha 7 Estrategia de Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica

	Ficha No.	3.1
OBJETIVO: Riesgo: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica.	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Generar conocimiento sobre los riesgos asociados al recurso hídrico, mediante acciones como la identificación y caracterización de la vulnerabilidad de los ecosistemas clave y sistemas artificiales para la regulación hídrica.	Universidades, Corporaciones Autónomas Regionales, Autoridades ambientales, Institutos de investigación, Alcaldías Municipales	
Sistematizar la información relacionada con los riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica, y divulgarla a la comunidad para que los conozca y los prevenga.		
ACCIONES		**IMAGEN**

	Ficha No.	3.1
1. Divulgar la información histórica del estado de los ecosistemas de importancia hídrica y su estado actual, como insumo al monitoreo del recurso hídrico para los tomadores de decisión (autoridades ambientales y comunidades).		 *Figura 56 Páramo* (Rincon, PNN Los Nevados, 2018)
2. Sistematizar la información climática procesada que dé inferencias del cambio climático, y tenga repercusión sobre la oferta y disponibilidad del recurso hídrico generando un sistema de alertas tempranas a los municipios.		 *Figura 57 Símbolo de alerta temprana* (Defensoría del Pueblo Colombia, 2021)

Ficha 8 Estrategia Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación

	Ficha No.	3.2
OBJETIVO: Riesgo: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.	**Tipo de Estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
1. Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y a la disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo territorial y en los planes de atención y prevención de desastres de los entes territoriales.	Alcaldías municipales, con el apoyo de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Corporaciones Autónomas Regionales, Empresas de servicios públicos municipales	
2. Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y a la disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, Planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), Programas de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), planes de manejo de aguas subterráneas y planes de manejo de los otros ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica.		
ACCIONES		**IMAGEN**

	Ficha No.	3.2
1. Incluir la gestión del riesgo y cambio climático en los instrumentos de planeación (Planes municipales de gestión del riesgo de desastres (PMGRD), Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), Planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), Programas de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), Planes de manejo de aguas subterráneas y los demás planes de manejo de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica), dentro de una armonización que permita la unificación en un único proyecto que tenga fuentes de financiación.		 *Figura 58 Cambio climático* (CEPAL, Naciones Unidas, 2021)
2. Formular el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial (PIGCCT) del departamento de Boyacá (convenio especial de cooperación para su formulación), así como su divulgación, ejecución y reporte de los avances y logros del PIGCCT a 2030 del departamento de Santander formulado en el año 2016.		 *Figura 59 Boyacá se adapta* (Gobernación de Boyacá, 2021)

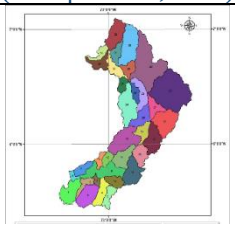
Ficha 9 Estrategia Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica

	Ficha No.	3.3
OBJETIVO: Riesgo: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
1. Diseñar e implementar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático en los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, así como por parte de los siguientes sectores: hidroenergía, agricultura, navegación fluvial y, abastecimiento de agua potable. 2. Diseñar e implementar a nivel regional y local, medidas de reducción de riesgos por variabilidad climática (fenómenos de El Niño y La Niña) y por otras amenazas naturales que afecten los ecosistemas clave para la regulación hídrica, así como la oferta y disponibilidad hídrica de los principales usuarios del agua en el país.	Sectores económicos y sus agremiaciones Oficinas del gestión del riesgo a nivel municipal, y departamental, IDEAM	
ACCIONES		**IMAGEN**
1. Realizar control integral de incendios, manejo de matorrales y arbustos, cortafuegos, control de foráneos, como medida de prevención y mitigación de los impactos ocasionados por los incendios forestales en los ecosistemas clave para el recurso hídrico.		 *Figura 60 Incendio forestal* (MINAMBIENTE, 2021)

	Ficha No.	3.3
2. Implementar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático por parte de los siguientes sectores: Hidroenergía, agricultura, pecuario, abastecimiento de agua potable de acuerdo con los planes de gestión de cambio climático sectoriales (PGICCS).		 *Figura 61 Sectores económicos* (Pérez & Izquierdo, 2021)
3. Modelar los fenómenos del niño y de la niña para los diferentes periodos de recurrencia, que permita a los tomadores de decisión programar alertas tempranas como medida de prevención de desastres.		 *Figura 62 Fenómeno del Niño* (Revista SEMANA, 2021)

Ficha 10 Estrategia Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico

	Ficha No.	4.1
OBJETIVO: Fortalecimiento institucional: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Mejorar la capacidad de gestión integral del recurso hídrico en las autoridades ambientales y otros tomadores de decisiones.	Autoridades ambientales, Alcaldías municipales Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	
Orientar e incrementar las acciones de conservación y uso eficiente del recurso hídrico que desarrollen voluntariamente los usuarios del recurso (particulares, entidades públicas y privadas, y comunidad en general).		
Reglamentar los cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional.		
ACCIONES		**IMAGEN**
1. Destinar el 1% del total de sus ingresos corrientes para invertirlos en los proyectos de conservación del recurso hídrico establecidos en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA´s)		 *Figura 63 Recurso hídrico* (Rincon, Vegetación de páramo, 2018)

	Ficha No.	4.1
2. Fortalecer la capacidad de las entidades territoriales para formular, monitorear y evaluar acciones de adaptación al cambio climático que se incluyan en los procesos de planificación.		 *Figura 64 Adaptación al CC* (El Espectador, 2021)
3. Implementar los planes de manejo de la cuenca del río Chicamocha, desde las acciones de conservación para reducir la vulnerabilidad hídrica en las microcuencas, particularmente en la fase de aprestamiento en su estrategia de participación de los actores de esta.		 *Figura 65 Microcuencas río Chicamocha*
4. Reglamentar el uso de las aguas, el aprovechamiento de cualquier corriente o depósito de aguas públicas, así como las derivaciones que beneficien varios predios en la cuenca del río Chicamocha, por parte de la autoridad ambiental competente, en este caso la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) y Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), de acuerdo con lo previsto en los artículos 156 Y 157 del Decreto-ley 2811 de 1974, cuando lo estime conveniente, de oficio o a petición de parte.		 *Figura 66 Normas recurso hídrico* (MINAMBIENTE, 2021)

Ficha 11 Estrategia Sostenibilidad financiera

	Ficha No.	4.2
OBJETIVO: Fortalecimiento institucional: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Sostenibilidad financiera	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Cuantificar y priorizar las inversiones, así como, apropiar los recursos necesarios para el financiamiento del Plan Hídrico Nacional.	Asociaciones campesinas, alcaldías municipales, comunidad en general	
Articular y optimizar las fuentes existentes de financiamiento para la gestión integral del recurso hídrico y gestionar las nuevas fuentes que sean necesarias para el cierre financiero de los programas y proyectos prioritarios del Plan Hídrico Nacional.		
ACCIONES		**IMAGEN**

	Ficha No.	4.2
1. Fortalecer la capacidad de gestión asociativa para que haya una cogestión en los proyectos, y que estos tengan continuidad pese al cambio de gobernadores y alcaldes, entre otros.		 *Figura 67 Campesinado* (Castilla, 2021)
2. Diseñar mecanismos e instrumentos que permitan incentivar la conservación del recurso hídrico, tales como préstamos para adecuación de infraestructura para el turismo de naturaleza, pagos por servicios ambientales, así como también subsidios para agricultores que realicen prácticas más sostenibles en su actividad económica.		
3. Realizar vigilancia y control por parte de la comunidad a las inversiones realizadas en el Plan Hídrico Nacional.		*Figura 68 Ente de control* (Alcaldía de Sonsón, 2021)

Ficha 12 Estrategia Participación

OBJETIVO	**Ficha No.**	5.1
Gobernabilidad: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.	**Tipo de estrategia**	Adaptación
ESTRATEGIA	**AMENAZA**	
Participación	Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático	
LÍNEA DE ACCIÓN	**ACTORES**	
Implementar programas masivos de comunicación e información a nivel nacional, regional y local, acerca de las acciones desarrolladas y proyectadas para implementar el Plan Hídrico Nacional.	Alcaldías municipales Asociaciones de campesinos, asociaciones municipales, comunidades	
Desarrollar e implementar esquemas de gestión comunitaria local hacia un uso y manejo responsable del agua.		
ACCIONES	**IMAGEN**	
1. Identificar los actores clave de la cuenca, con el fin de hacer partícipe a la comunidad que se beneficia y, por lo tanto, tienen una relación directa en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico para que se incluyan y sean partícipes de las decisiones y repliquen modelos y resultados.	 *Figura 69 Actores de la cuenca* (Autoridad Nacional del Agua-Perú, 2021)	
2. Promover los programas de familias guardabosques con el fin de implementar y visibilizar los acuerdos para la conservación del recurso hídrico definidos en los diferentes planes como POMCA, territoriales, PIGCCT entre otros.		

Ficha 13 Estrategia Cultura del agua

<table>
<tr><td colspan="2">OBJETIVO</td><td>Ficha No.</td><td>5.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Gobernabilidad: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.</td><td>Tipo de estrategia</td><td>Mitigación</td></tr>
<tr><td colspan="2">ESTRATEGIA</td><td colspan="2">AMENAZA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cultura del agua</td><td colspan="2">Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ante el cambio climático</td></tr>
<tr><td colspan="2">LÍNEA DE ACCIÓN</td><td colspan="2">ACTORES</td></tr>
<tr><td colspan="2">Implementar campañas de sensibilización y campañas educativas acerca de la gestión integral del recurso hídrico, que incluyan a todos los sectores usuarios del agua.</td><td colspan="2">Alcaldías municipales</td></tr>
<tr><td colspan="2">ACCIONES</td><td colspan="2">IMAGEN</td></tr>
<tr><td colspan="2">1. Identificar los conflictos relacionados con el manejo del recurso hídrico en la cuenca desde los espacios de socialización de impactos, las áreas de conservación, exclusión y aprovechamiento, manejo y distribución, en cumplimiento de la gestión integral del recurso hídrico.</td><td colspan="2">
Figura 70 Socialización
(Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2021)</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. Realizar actividades de educación ambiental como estrategia de participación, para mejorar la gestión del recurso hídrico en la cuenca por parte de los sectores productivos y la comunidad.</td><td colspan="2">
Figura 71 Educación Ambiental
(Fondo Acción, 2021)</td></tr>
</table>

7. Conclusiones

7.1. La morfometría indica que la cuenca posee un relieve muy fuertemente accidentado o muy montañoso debido a su alta pendiente (38%), sobre todo en la cuenca baja, donde se presenta el denominado Cañón del Chicamocha, la cuenca presenta una forma alargada de acuerdo al factor de forma (0.23), y el coeficiente de circularidad (0.20), el coeficiente de compacidad con un valor de 2.21, indica que es oval oblonga a rectangular oblonga; lo que significa que el recorrido del agua es de gran longitud (307 km) y el tiempo de concentración de la escorrentía es alto (27 horas) , esto incide de varias maneras, la primera la cuenca está menos sujeta a eventos torrenciales en un evento de máxima precipitación, es decir, no forma fácilmente crecidas, sin embargo una vez se concentra el caudal las crecidas son más bruscas. La cuenca posee tanto materiales con texturas finas como gruesas, es una cuenca en fase

intermedia por lo que tiene la capacidad de ser erosiva de acuerdo al índice modificado de Fournier (160.83 Ton/ha/año) y la relación de confluencia (4.19). Respecto a la disponibilidad de agua, se da un régimen de lluvias bimodal, lo que indica disponibilidad de agua durante todo el año, pero este tiende a ser mayor alrededor del mes de mayo y en el mes de octubre.

7.2. En consecuencia, con los componentes del índice de vulnerabilidad para el periodo 1981-2010, la cuenca presenta los menores valores de escorrentía en la cuenca alta, en un rango de menos de 300 hasta 400mm, una porción importante de la cuenca media con caudales entre 400 a 600mm y es la cuenca baja la que mayor escurrimiento presenta 800 a 1000mm. En contraste los municipios de la cuenca alta debido al alto consumo de agua presentan los IUA más desfavorables, con 8 municipios, dos en índice *Alto* (Tunja y Sogamoso) y los restantes en *Moderado*, debido a lo anterior el índice de vulnerabilidad hídrica es *Alto* para Tunja y Sogamoso (cuenca alta) y *Moderado* para 16 municipios, de los cuales 12 se encuentran en la cuenca alta, 72% de los municipios se ubican en categoría *Baja*, Duitama no presenta IVH *Alto*, pero refleja en los índices de stress hídrico y disponibilidad per cápita, *stress moderado* y *escasez hídrica* (501-100 m3/hab/año), respectivamente, se evidencia por ende una urgente intervención en lo que concierne al manejo del recurso hídrico para estos municipios ubicados en la cuenca alta.

7.3. A partir de la construcción del escenario prospectivo promedio RCPs, se pueden dar aproximaciones para el periodo 2041-2070, el escenario tendencial implica lo siguiente, la cuenca del río Chicamocha para el periodo futuro va a presentar un incremento en la temperatura hasta en un rango de 1.55 a 1.75°C y disminuciones o aumentos en diferentes zonas de hasta 400mm en precipitación. En vista de estos cambios, las zonas de vida van a tener un cambio porcentual, el bosque muy húmedo montano y el bosque seco montano bajo, tendrán una disminución del 92% y 86%, respectivamente. Por otra parte, la temperatura también repercute sobre la oferta hídrica total disponible (OHTD), en donde más del 85% de la cuenca va a presentar una disminución en la oferta hídrica, en conformidad con lo anterior, la producción de alimentos será entonces un reto para las siguientes generaciones al no contar

con suficiente oferta hídrica de no tenerse en cuenta los lineamientos estratégicos estimados en las fichas estratégicas.

7.4. Teniendo en cuenta la construcción del escenario RCPs, el uso del agua en el futuro en la cuenca del río Chicamocha, para el sector agrícola se incrementará a 78% del consumo total para ese período, debido a que las áreas agrícolas aumentan. Por consiguiente, el índice de uso del agua evidencia que las condiciones para la cuenca en el futuro empeoran, puesto que, en la cuenca alta 16/23 municipios estarán en rango *Alto* a *Crítico*, la cuenca media pasará de 1 municipio a 16 en categoría *Moderado* y 3 en *Alto* y la cuenca baja pasó de 0 a 2 municipios en condiciones *Moderadas* y 1 en *Alto*. En general el 57.7% de los municipios que conforman la cuenca del río Chicamocha tendrán una vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (categorías *Muy alta*, *Alta* y *Media*), lo que significa que la cuenca presentará fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que debido a diversas amenazas o fenómenos climáticos como el niño podría generar riesgo de desabastecimiento del recurso.

7.5. Se concluye que, para el diseño de las acciones de gestión, lo más consecuente desde el análisis de vulnerabilidad fue la creación de fichas donde se da cuenta de cada una de las metas que se deben presentar para la ordenación y manejo de las microcuencas priorzadas, asimismo se tuvieron en cuenta los lineamientos estratégicos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, de acuerdo con su estructura de objetivos, estrategias y líneas de acción.

8. Recomendaciones

8.1. Se recomienda la creación de un observatorio que permita llevar a cabo el seguimiento y evaluación de los POMCA de la cuenca del río Chicamocha, de acuerdo con las etapas establecidas en el decreto 1640 de 2012 (Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas), y de esta forma evidenciar los cambios trascendentales que surjan en relación con el índice de vulnerabilidad hídrica (IVH), stress hídrico relativo y disponibilidad per cápita, en los escenarios de cambio climático que se vayan actualizando de acuerdo con las comunicaciones nacionales y los informes de IPCC.

8.2. La metodología utilizada en la investigación permite integrar las variables de temperatura y precipitación a una serie de índices que evidencian el cambio del recurso hídrico en cuanto a la cantidad disponible en el futuro, en el caso particular de la cuenca del río Chicamocha, los resultados obtenidos fueron a nivel municipal, lo que muestra un análisis más detallado que lo realizado por el ENA a nivel nacional, sin embargo es dispendioso el uso y consulta de información a este nivel, normalmente no se encuentra toda la información necesaria, no obstante, los boletines del DANE de las encuestas agropecuarias fueron un recurso de información muy importante.

9. Bibliografía

©JAXA/METI ALOS PALSAR. (2010). [AP_18162_FBD_F0100_RT1; AP_18162_FBD_F0110_RT1; AP_18162_FBD_F0120_RT1; AP_18410_FBD_F0090_RT1; AP_18410_FBD_F0100_RT1; AP_18585_FBD_F0110_RT1]. Obtenido de https://asf.alaska.edu

Alarcón, J. C. (2017). El cambio climático como factor transformador del territorio. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60117/79558538.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alarcón, J. C., & Pabón, J. D. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en colombia. Vol. 16 Núm. 2. Obtenido de https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/4719

Alarcón, J. C., Zafra, C., & Echeverri, L. (2019). Cambio climático y recursos hídricos en Colombia. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. Obtenido de Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. Julio-Diciembre

Alcaldía de Sonsón. (28 de Enero de 2021). Personería. Obtenido de [Logotipo]: http://www.sonson-antioquia.gov.co/NuestraAlcaldia/Paginas/Personeria.aspx

Autoridad Nacional del Agua-Perú. (28 de Enero de 2021). LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA CREACIÓN DE CONSEJOS DE RECURSOS HÍDRICOS DE CUENCA. Obtenido de [Imagen]: Sistema Nacional de Información Ambiental

Bayer, A. (2015). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:

Cabrera, J. (2020). IMEFEN: INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO. Obtenido de Calibración de Modelos Hidrológicos: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf

Cámara de comercio de Bucaramanga. (Noviembre de 2021). Indicadores económicos de Santander. Obtenido de Nuevas empresas: https://www.camaradirecta.com/temas/indicadoresantander/santanderencifras/default.htm

Cámara de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso & Fundación Centro de Desarrollo Tecnológico para la Sostenibilidad y Competitividad Regional. (Mayo de 2019). Cámara de comercio de Duitama. Obtenido de Boyacá en cifras 2019:

https://ccduitama.org.co/documentos/Observatorio/Boyaca_Cifras_2019-comprimido.pdf
Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., & López de Armentia, A. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Obtenido de Universidad Nacional del Sur de Argentina: https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf
Campo, A. M., Aldalur, N. B., & Fernández, S. N. (Abril de 2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. Investigaciones geográficas, 77, 7-17. Obtenido de México: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100002#:~:text=La%20relaci%C3%B3n%20de%20longitud%20(Rl,orden%20inmediato%20inferior%20(Loi).
CAR. (2017). Estudio del ruido, sobre el medi ambiente aviario. Obtenido de car.gov.co/uploads/files/5c59f9ad6f59a.pdf
Castilla, A. (28 de Enero de 2021). Reconocimiento político del campesinado. Obtenido de [Imagen]: https://www.semillas.org.co/es/reconocimiento-pol-2
CEPAL, Naciones Unidas. (28 de Enero de 2021). La planificación para el desarrollo y la gestión del riesgo de desastres. Obtenido de [Imagen]: https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/nota/la-planificacion-para-el-desarrollo-y-la-gestion-del-riesgo-de-desastres
Cofederación Agro solidaria. (2017). [Imagen]. Obtenido de Recuperdo de http://www.agrosolidaria.org/index.php/terrazas
Collazos, S. A., Zuluaga, J., & Cortés, J. O. (2020). Aves del Cañón del Chicamocha, Colombia: un llamado para su conservación. Biota Colombiana, 21(1), 58-85. doi:10.21068/c2020.v21n01a05
Congreso de Colombia. (2018). LEY 1931 DE 2018 POR LA CUAL SE ESTABLECEN DIRECTRICES PARA LA GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. Bogotá. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765
Congreso de la República. (1974). Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Obtenido de Bogotá D.E: Congreso de la República: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan . Obtenido de Bogotá D.C: Congreso de la República de Colombia: https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-99-1993
Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1523 del 24 de abril de 2012 por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras

disposiciones. Obtenido de Bogotá D.C: Gobierno Nacional: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
Corpoboyacá. (Diciembre de 2015). MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CHICAMOCHA. Obtenido de https://cartografia.corpoboyaca.gov.co/public/folder/IQeBLPtoBkO5PY6HzIiSrw/PORH/MHidCueMedRioChi.pdf
Corpoboyacá. (2017). [Imagen]. Obtenido de Proyecto Cuenca Principal Río Chicamocha : Recuperado https://issuu.com/gegarba/docs/proyecto_adecuacio__n_hidra__ulica_
Corpoboyaca. (8 de Noviembre de 2019). Corpoboyaca. Obtenido de [Imagen]: Recuperado de https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/bosques-secos-chicamocha-importancia-preservar-ecosistema-con-la-comunidad/
Corpoboyacá. (31 de Octubre de 2020). [Imagen]. Obtenido de Disponible en https://www.facebook.com/CORP0BOYACA/posts/3680263965359696/
CORPOCHIVOR. (2015). Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas del Río Garagoa. https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2015/12/6-POMCA-RIO-GARAGOA.pdf.
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ. (2006). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA. Tunja.
Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Minambiente, Minhacienda, Fondo de adaptación, Consorcio Pomca Quindío. (2008). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Vieja.
CRA Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2006). PÉRDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO, USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA. Obtenido de https://www.smart-energy.com/wp-content/uploads/Cristian.pdf
CRA, Andesco. (7 de Mayo de 2012). [Imagen]. Obtenido de Recuperado de https://es.slideshare.net/andesco/2-marconormativomicromedicion
Cranshaw, W. (2018). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Juglans_neotropica#/media/Archivo:Juglans_neotrop3.jpg
CVC. (Febrero de 2020). Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Obtenido de CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA: PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf
Dalbosco, D. (25 de Abril de 2020). [Imagen]. Obtenido de https://colombia.inaturalist.org/photos/68840049
Defensoría del Pueblo Colombia. (28 de Enero de 2021). Defensoría Delegada para: Prevención de riesgos y Sistema de Alertas Tempranas. Obtenido de [Imagen]: https://www.defensoria.gov.co/es/delegadas/4/
Delgadillo, J., & Delgadillo, A. (2013). Calameo. Obtenido de El cañón del Chicamocha: más que turismo, una reflexión sobre su biodiversidad: https://ciencia.lasalle.edu.co/bi/vol1/iss1/4/

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2007). Anuario estádistico de Colombia. Obtenido de http://biblioteca.dane.gov.co/biblioteca/search_result

Echeverri, L., & Obando, F. H. (2003). Erosividad de las Lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. Redalyc. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 63(1), 5307-5318. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914617009.pdf

El Espectador. (28 de Enero de 2021). Las 5 medidas más costo-efectivas de adaptación al cambio climático. Obtenido de [Imagen]: https://blogs.elespectador.com/actualidad/volvamos-a-la-fuente/las-5-medidas-mas-costo-efectivas-de-adaptacion-al-cambio-climatico

Entreojos. (2019). Voluntarios realizarán limpieza en la ronda del río Chicamocha entre Duitama y Tibasosa. Obtenido de [Imagen]: Recuperado de https://entreojos.co/ambiente/educacion-ambiental/voluntarios-realizaran-limpieza-en-la-ronda-del-rio-chicamocha-entre-duitama-y-tibasosa

Fondo Acción. (28 de Enero de 2021). Historias de maestros que le apuestan a conservar el medioambiente. Obtenido de [Fotografía]: https://www.semana.com/educacion/articulo/panorama-de-la-educacion-ambiental-en-colombia/597973/

Gil, V. (2009). Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al análisis de crecida. Universidad Nacional del Sur. Obtenido de http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2069

Giral, Y. F., & Ruíz, Y. C. (2017). Zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las cuencas de los rios chicamocha, sogamoso y suarez y modelo hidraulico en el area de confluencia en el departamento de santander usando sig escala 1: 25000. UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2237?mode=full

Gobernación de Boyacá. (28 de Enero de 2021). Boyacá se adapta al cambio climático. Obtenido de [Imagen]: https://twitter.com/boyacaseadaptac

Gonzalez de Matuco, A. I. (Julio de 2004). Universidad del País Vasco. Obtenido de Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079160

Grosso, L. E., & Sanabria, E. S. (2019). Análisis del proceso de desertificación considerando el cambio climático para el periodo 2011-2100 en la Cuenca media del Río Chicamocha, Colombia. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Obtenido de https://repository.udca.edu.co/handle/11158/2728

Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. Redalyc, 7(1-2), 88-108. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/360/36070208.pdf

Gutiérrez, K. V., Rincon, A. C., & Cardona, C. M. (2020). CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHICAMOCHA EN LOS DEPARTAMENTOS BOYACÁ-SANTANDER EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Guzman, D. A. (1996). ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES ZONA JURISDICCIONAL DE LA CAR. Obtenido de

https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/33791/00011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Helloforos. (2017). Obtenido de https://www.helloforos.com/t/actividad-antiinflamatoria-de-hojas-flores-y-frutos-de-pegamosco/230599
Huamán, L. A., & Victor, O. E. (2016). EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO LOCUMBA UBICADA EN LA REGIÓN DE TACNA A TRAVÉS DEL PROGRAMA WEAP EN EL MARCO DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620955/HUAMAN_PL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Huertas, E. J. (2016). Universidad distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de Optar por el título de Ingeniero Ambiental: http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4599/1/HuertasUrregoErickJefrey2016.pdf
Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (s.f). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Obtenido de Universidad politécnica de Valencia.: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf.
IDEAM. (Diciembre de 2005). [Imagen]. Obtenido de Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/019711.htm
IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm
IDEAM. (2010). Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones-nacionales-de-cambio-climatico/segunda-comunicacion
IDEAM. (2011). Fuertes impactos del cambio climático en los páramos de Colombia. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Fuertes+Impactos+del+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+los+P%C3%A1ramos+de+Colombia.pdf/932d5138-9d91-45ac-baa8-4295634aeffb
IDEAM. (2011). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del Río Cauca. BERNARDO ARIAS.
IDEAM. (2011). Promedios climáticos 1981-2010. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima
IDEAM. (2012). Revisión del estado actual de los avances del quinto informe de evaluación AR5 del IPCC. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Revision+AR5+%28Leon+y+Rodriguez%29.pdf/4c62efad-ccd2-465a-ba0e-6ff1ee6f7726
IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

IDEAM. (2018). Glaciares de Colombia. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia
IDEAM. (2018). SIERRA NEVADA EL COCUY O GÜICÁN. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/sierra-nevada-cocuy-guican
IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018.
IDEAM. (01 de Marzo de 2020). Cambio climático. Obtenido de ¿Qué es la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y qué contiene? : http://www.cambioclimatico.gov.co/3ra-comunicacion-cambio-climatico
IDEAM. (10 de Marzo de 2020). Indicadores. Obtenido de Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) : http://www.ideam.gov.co/web/agua/ivh
IDEAM. (s.f). El IDEAM y la gestión integral del recurso hídrico. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/237324/Nelson+Vargas_IDEAM.pdf
IDEAM, MINAMBIENTE. (s.f). Sirh Sistema de Información del Recurso Hídrico. Obtenido de http://sirh.ideam.gov.co/Sirh/faces/oferta/estaciones.jspx
IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA. (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. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf
IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA. (2017). Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_TCNCC_COLOMBIA.pdf
IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA. (2017). Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Obtenido de Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-20100: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_TCNCC_COLOMBIA.pdf
IGAC. (2005). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá: http://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/SUELOS%20DE%20BOYACA%202005.pdf
Ignacio, S., & Delgado, M. I. (2011). Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista de la Facultad de Agronomía, 110, 82-90.
IPCC. (01 de Marzo de 2020). Actividades. Obtenido de https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
IPCC Panel Integubernamental de Cambio Climático. (2007). Resumen para Responsables de Políticas . En IPCC, Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson. Reino Unido: Cambridge University Press, Cambridge.

Jiménez, A. A., & Cortes, D. A. (2016). Modelación dinámica de la calidad del agua del río Chicamocha teniendo en cuenta el vertimiento de agua residual de la ciudad de Tunja. Bogotá: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2843

Jimenez, J. E. (s.f). [Imagen]. Obtenido de https://ecosdelbosque.com/flora/bocconia-frutescens

Joya, A. (2014). [Imagen]. Obtenido de https://ar.pinterest.com/pin/187814246943539162/?autologin=true

Latín-Wife. (s.f). [Imagen]. Obtenido de https://www.latin-wife.com/blog/colombia/cavendishia-cordifolia/

Lochlin, D. (14 de Marxo de 2015). [Imageb]. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cassia_sp_(7779103570).jpg

Lowe´s. (s.f). Obtenido de https://www.lowes.com/pd/1-Gallon-in-Planter-Croton/1001320618

Lux, B. (s.f). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf

MADS Y ASOCARS. (noviembre de 2016). LINEAMIENTOS Y HOJA DE RUTA PARA EL FORTALECIMIENTO DEL COMPONENTE DE CAMBIO CLIMÁTICO EN PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS - POMCA. Bogotá: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MADS, ASOCIACIÓN DE CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE-ASOCARS.

mariasimonaeneljardin. (2019). [Imagen]. Obtenido de http://mariasimonaeneljardin.blogspot.com/2008/03/arboloco-bogotano.html

Martínez, I. D., & Pinilla, A. G. (2017). ÍNDICE DE ESTADO LIMNOLÓGICO FLUVIAL PARA LOS RÍOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA, BOYACÁ-COLOMBIA. Obtenido de https://www.redalyc.org/jatsRepo/3217/321759619008/index.html

MINAMBIENTE & IDEAM. (2017). Guía metodológica para la estimación del caudal ambiental. Obtenido de http://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/guia_ca_version_cp.pdf

MINAMBIENTE & IDEAM. (19 de Marzo de 2019). Caudal ambiental como insumo para la gestión integral del recurso hídrico. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/2019-03-19%20-%20Taller%20Caudal%20ambiental%20-%20GIRH.pdf

MINAMBIENTE. (Noviembre de 2020). Sistema de Información Ambiental de Colombia. Obtenido de Catálogo de mapas: http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas

MINAMBIENTE. (28 de Enero de 2021). Normativa recurso hídrico. Obtenido de [Imagen]: https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/normativa-recurso-hidrico

MINAMBIENTE. (28 de Enero de 2021). Noticia El espectador: Más de 60 incendios forestales permanecen activos en el país. Obtenido de [Imagen]: https://www.elespectador.com/noticias/nacional/mas-de-60-incendios-forestales-permanecen-activos-en-el-pais/

Minambiente. (s.f). SIAC. Obtenido de [Imagen]: Recuperado de http://www.siac.gov.co/sirh

Ministerio de Ambiente. (2003). Reglamento Tecnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE. (2012). Decreto 1640 de 2012. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. 124.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Tecnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS; Titulo B. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico] : TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf

Monserrat, J. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografia, XIX, 41-68. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/39036417.pdf

Mora, W., & Gilberto, R. (2016). Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas HEC-RAS, GEO-RAS y ARCGIS, para el sector comprendido entre los municipios de corrales- paz de rio a lo largo del rio Chicamocha, en el departamento de Boyacá. Sogamoso, Boyacá: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1677

Ocampo, O. L. (2012). Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9268

Otalora, M. C., & Hernandez, J. S. (2018). ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARALA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502- 01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22411/1/Documento%20proyecto%20de%20grado%20final.pdf

P, M. (2013). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Baccharis_latifolia#/media/Archivo:Chilca.JPG

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (28 de Enero de 2021). Foto Socialización con comunidad Jalein. Obtenido de [Fotografia]: https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/en-la-guajira-avanza-la-implementacion-de-la-estrategia-de-uso-y-manejo-sostenible-de-la-biodiversidad-en-la-comunidad-indigena-wayuu-de-jalein-zona-de-influencia-del-parque-nacional-natural-macuira/

Pérez, I., & Izquierdo, S. (28 de Enero de 2021). Los sectores económicos. Obtenido de [Imagen]: https://sites.google.com/site/conociendosectores/home?overridemobile=true
Pinillos, A. M. (2015). Central de Generación Térmica TermoPaipa. Obtenido de https://www.slideshare.net/Hana-amapl/informe-visita-a-termopaipa
Plantas y hongos. (s.f). [Imagen]. Obtenido de http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Inga_spp.htm
Presidencia de la República. (2012). Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. Obtenido de Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf
Presidencia de la República. (2015). Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153
Procuraduría General de la Nación. (2020). PID Amazonía. Obtenido de TERRITORIOS SOSTENIBLES Guía de obligaciones ambientales para alcaldías y gobernaciones de Colombia: https://www.pidamazonia.com/sites/default/files/listado/Guia%20Obligaciones%20Ambientales%20Alcaldias%20y%20Gobernaciones.pdf
Ramirez, N. (29 de Enero de 2019). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/
Revista SEMANA. (28 de Enero de 2021). El fenómeno de El Niño llegó a su madurez. Obtenido de [Imagen]: https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/fenomeno-el-nino-llego-su-madurez/33789
Reyes Trujillo, A., Barroso, F. U., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Cali: UNIVALLE.
Rincon, A. C. (26 de Enero de 2018). PNN Los Nevados. Obtenido de [Fotografía].
Rincon, A. C. (25 de Octubre de 2018). Vegetación de páramo. Obtenido de [Fotografía].
Rincón, P., & Pascual, J. A. (2020). Caracterización hidrológica de la cuenca del río Chicamocha en Colombia, con el programa Hydro-BID. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/339325602_Caracterizacion_hidrologica_de_la_cuenca_del_rio_Chicamocha_en_Colombia_con_el_programa_Hydro-BID/citation/download
Rodriguez, C. A. (Marzo de 2019). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Oreopanax_bogotensis#/media/Archivo:Oreopanax_bogotensis.jpg
Rojas, L. J., & López, V. L. (2017). Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río blanco, en el municipio de la calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de cundinamarca - car. Revista Publicaciones e Investigación, Vol. 11 Número 1: 77-88. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/327368731_Vulnerabilidad_hidrica_de_la_cuenca_del_rio_blanco_en_el_municipio_de_la_calera_considerando_los_escenari

os_de_cambio_climatico_propuestos_por_la_corporacion_autonoma_regional_de_cundinamarca_-_car
Rojas, P. (2015). ¿Qué es una curva hipsométrica? Obtenido de https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/
shismay. (2 de Enero de 2021). [Imagen]. Obtenido de http://shismay.blogspot.com/2011/01/abatia-parviflora-uno-de-los-tesoros.html
Sistema de Información ambiental Colombiano SIAC. (2012). Mapa coberturas de la tierra.
UNIGIS. (27 de mayo de 2015). TerrSet. Sistema para el análisis y seguimiento de datos geoespaciales. Obtenido de https://www.unigis.es/terrset-sistema-para-el-analisis-y-seguimiento-de-datos-geoespaciales/
Universidad Distrital FJC, Corpoboyacá. (2008). FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CHICAMOCHA CONFORME LOS PRINCIPIOS Y DIRECTRICES SEÑALADOS EN EL DECRETO 1729 DE AGOSTO 6 DE 2002. Obtenido de https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/informe-aprestamiento-chicamocha1.pdf
USAID. (2013). United State Agency International Development. Obtenido de Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en ColombiaRíos del páramo al valle, por urbes y campiñas: https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/Water-sanitation/SEI-USAID-FS-2014-Modelacion-recurso-hidrico-rio-La-Vieja-Colombia.pdf
Vanguardia. (4 de Agosto de 2008). [Imagen]. Obtenido de Recuperado de https://www.vanguardia.com/politica/adicionan-7300-millones-para-acueducto-de-los-santos-en-santander-GBVL440996
Vélez, J. J., Ocampo, O. L., & Londoño, A. (2012). Análisis de Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271203019_Analisis_de_Vulnerabilidad_hidrica_de_la_cuenca_del_rio_Chinchina_para_condiciones_estacionarias_y_de_cambio_climatico
Ventura, H. C. (2015). Parametros cuencas hidrograficas. Obtenido de https://es.slideshare.net/harrycamposventura/definiciones-hidrologia-parametros-cuenca
Villamizar, N. J. (2008). Implementación del plan de manejo ambiental del proyecto: "Construcción, suministro, montaje y puesta en funcionamiento de un sistema de transporte por cable aéreo (teleférico) en el Cañon del Chicamocha. Obtenido de [Imagen]: Disponible en https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/235/digital_16624.pdf?sequence=1
WEAP. (Noviembre de 2020). Stockholm Environment Institute's U.S. Center. Water Evaluation And Planning system.
Wikipedia. (2014). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Tabebuia
Wikipedia. (s.f). [Imagen]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Baccharis_latifolia
wikiwand. (s.f). [Imagen]. Obtenido de https://www.wikiwand.com/es/Alnus_acuminata