

**EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO  
SEGÚN EN LA METODOLOGÍA “CITY BLUEPRINT FRAMEWORK” EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA**

**LAURA CAMILA ALBA PARDO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**

**TUNJA**

**2018**

**EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO  
SEGÚN EN LA METODOLOGÍA “CITY BLUEPRINT FRAMEWORK” EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA**

**LAURA CAMILA ALBA PARDO**

**Tesis para optar por el título de Ingeniera Civil**

**Director: Ing. CAMILO LESMES FABIÁN**

**PhD en AntropoGeografía**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**

**TUNJA**

**2018**

**II**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del primer jurado**

---

**Firma del segundo jurado**

Tunja, Boyacá. 17 de julio de 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Como primera medida, el mayor agradecimiento se lo lleva quien me puso en este camino y me permitió compartir muchas experiencias que me han hecho ser quien soy hoy por hoy, Dios. Asimismo, la vida me ha premiado con una familia extraordinaria, a mi mamá, mi papá, mi hermano y a mi tía les agradezco el apoyo financiero y emocional que han tenido desde que emprendimos, juntos, esta aventura de altos y bajos, de estudiar Ingeniería Civil.

Daniel, gracias por tu compañía, apoyo y paciencia directa e indirectamente en estos cinco años.

También quiero expresar mi gratitud y admiración a la Ingeniera Blanca Katherine Gómez y al Ingeniero Camilo Lesmes Fabián quienes, en su posición, de supervisora en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá y tutor por parte de la universidad, me brindaron las herramientas para poder realizar este trabajo; ambos desde su enfoque, fueron piezas fundamentales en este proceso.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
2.1. Descripción de la Problemática .....	2
2.2. Preguntas de Investigación .....	2
2.3. Justificación .....	2
2.4. Objetivos .....	3
2.4.1. Objetivo General .....	3
2.4.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1. El agua .....	4
3.1.1. El Agua como Derecho Humano .....	4
3.1.2. Vulnerabilidad del Recurso Hídrico en Colombia.....	5
3.1.3. Usos Primordiales del Agua.....	6
3.2. Manejo del Recurso Hídrico .....	8
3.2.1. El Paradigma de la Gestión Integrada de los Recurso Hídricos .....	8
3.3. Sostenibilidad del Recurso Hídrico.....	11
3.3.1. Uso Sostenible de los Recursos Hídricos.....	13
3.4. Contaminación en Aguas Superficiales .....	15
3.4.1. El Recurso Hídrico y la Salud Pública.....	16
3.5. Calidad del Recurso Hídrico .....	17
3.5.1. Índices de calidad de agua .....	18
3.6. Metodologías de Evaluación de Sostenibilidad del Recurso Hídrico .....	19
3.6.1. Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura.....	19
3.6.2. Índice de Desarrollo Sostenible (DS) .....	20
3.6.3. El Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISA) .....	21
3.6.4. Índice del Planeta Vivo (World Wildlife Fund International) .....	21

3.7. Problemática del Recurso Hídrica en la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	22
3.7.1. Caracterización de la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	23
3.7.2. Precipitación en la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	25
3.7.3. Temperatura en la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	26
3.7.4. Geología en la Cuenca Alta del Río Chicamocha.....	26
3.7.5. Demografía en la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	27
<b>4. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>28</b>
4.1. Europa .....	28
4.2. América del Norte.....	28
4.3. América del Sur .....	29
4.4. Asia .....	29
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
5.1. Caracterización del Sistema.....	30
5.2. Metodología “City Blueprint Framework” .....	30
5.3. Estrategias de Mitigación.....	35
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
6.1. Indicadores del City Blueprint Framework.....	36
6.1.1. Seguridad del Agua.....	36
6.1.2. Calidad del Agua.....	37
6.1.3. Agua potable .....	41
6.1.4. Saneamiento.....	45
6.1.5. Infraestructura .....	49
6.1.6. Solidez Climática.....	50
6.1.7. Biodiversidad y atractivo .....	52
6.1.8. Gobernanza .....	54
6.2. Tendencias y Presiones .....	55
6.2.1. Indicador Social .....	55
6.2.2. Indicador Ambiental .....	60

6.2.3. Indicador Financiero .....	64
<b>7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
7.1. Indicadores de la Metodología “City Blueprint Framework” .....	67
7.2. Estrategias de Mitigación para Aumentar la Sostenibilidad de la Cuenca .....	74
7.2.1. Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) .....	76
7.2.2. Planificación Predial .....	76
7.2.3. Mejoramiento del Uso del Agua .....	77
7.2.4. Aumento de la Calidad de Saneamiento en la Cuenca .....	77
7.2.5. Planificación Comunitaria Participativa .....	78
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre criterios, situaciones y enfoques de manejo de cuencas .....	10
Tabla 2. Diferencias entre sostenibilidad fuerte y débil.....	14
Tabla 3. Principales efectos perjudiciales de la contaminación sobre la salud humana .....	17
Tabla 4. Relación de los indicadores considerados con la metodología DS .....	20
Tabla 5. Áreas de las subcuencas del río Chicamocha.....	23
Tabla 6. Precipitación promedio anual para el período 1990-2014 en la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	26
Tabla 7. Resumen del Marco Tendencias y Presiones (TPF) .....	31
Tabla 8. Resumen del Marco City Blueprint Framework (CBF).....	32
Tabla 9. Indicadores del City Blue Index .....	32
Tabla 10. Categorización de la GIRH basada en el análisis del BCI.....	34
Tabla 11. Huella hídrica por subzona hidrográfica.....	36
Tabla 12. Estaciones de calidad y cantidad del recurso hídrico en la Cuenca Alta del Río Chicamocha...	37
Tabla 13. ICA <sub>5</sub> .....	39
Tabla 14. ICA <sub>6</sub> .....	39
Tabla 15. Población con acceso de agua en la cuenca del Río Alto Chicamocha .....	42
Tabla 16. Convención de colores para clasificación del IRCA.....	45
Tabla 17. Verificación parámetros del tanque de aireación - PTAR Tunja .....	47
Tabla 18. Características del tanque de aireación - PTAR Tunja .....	47
Tabla 19. Proyectos financiados por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia.....	49
Tabla 20. Avifauna en las áreas de la Cuenca Río Alto Chicamocha.....	52
Tabla 21. Distribución porcentual de la población no nucleada por Unidad de Trabajo de la Cuenca Alta del Río Chicamocha, 1964 – 2005 .....	56
Tabla 22. Densidad de la población no nucleada por UT 1964 - 2005 (personas/km <sup>2</sup> ) .....	57
Tabla 23. Tasa de cobertura bruta para Boyacá.....	59
Tabla 24. Relación entre relieve y pendiente de la cuenca .....	61
Tabla 25. Amenazas del mapa de calor de riesgos.....	63
Tabla 26. IPC según ciudades 2017 - 2018.....	66
Tabla 27. Evaluación de indicadores del BCI.....	67
Tabla 28. Evaluación de los indicadores del TPI.....	70
Tabla 29. Puntajes más bajo de indicadores BCI.....	73
Tabla 30. Puntajes más bajos del TPI .....	74
Tabla 31. Indicadores de importancia .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Unidades de trabajo de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.....	24
Figura 2. Estación automática - Descarga GENSA .....	38
Figura 3. Hidrograma de calidad del agua de las corrientes.....	40
Figura 4. Cobertura total de acueducto .....	42
Figura 5. Cobertura total de alcantarillado .....	46
Figura 6. Envolverte ronda hídrica, geomorfología y ecostémica .....	51
Figura 7. Mapa de la cuenca según el censo de 2005 .....	57
Figura 8. Índice de escasez de los municipios de la jurisdicción de Corpoboyacá .....	61
Figura 9. Sección del río Chicamocha a la altura de Paipa.....	62

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución del nivel de riesgo en Boyacá de acuerdo con el IRCA.....	44
Gráfica 2. Tasa de cobertura bruta 2015 para Boyacá.....	59
Gráfica 3. Mapa de calor de riesgos.....	64
Gráfica 4. Tasa global de participación, de ocupación y de desempleo Boyacá 2008-2017.....	65
Gráfica 5. Diagrama de araña para el BCI.....	70
Gráfica 6. Diagrama de araña para el TPI.....	72
Gráfica 7. TPI de la Cuenca Alta del Río Chicamocha .....	72

## NOMENCLATURA

BCI	Blue City Index
CAR	Corporaciones Autónomas Regionales
CBF	City Blueprint Framework
Corpoboyacá	Corporación Autónoma Regional de Boyacá
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DS	Desarrollo Sostenible
EDA	Enfermedades Diarreicas Agudas
EIP	European Innovation Partnerships
ENA	Estudio Nacional del Agua
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
ICA	Índice de Calidad de Agua
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IPC	Índice de precios al consumidor
IRCA	Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano
ISA	Índice de Sostenibilidad Ambiental
LPI	Living Planet Index
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
msnm	Metros sobre el nivel del mar
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
TPI	Trends and Pressures Index (Índice de Tendencias y Presiones)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de flujo ascendente)
UT	Unidad de Trabajo

## RESUMEN

El agua es el soporte fundamental dentro de las sociedades y no se concibe actividad sin que juegue un rol fundamental, sin embargo, su disponibilidad se ve paulatinamente disminuida a medida que la contaminación y la excesiva generación de residuos aumentan. A todo esto se le suma la falta de políticas ambientales en el tema del manejo de los recursos hídricos. Es el caso de la aguda contaminación que existe en la Cuenca Alta del Río Chicamocha siendo perjudicado por las constantes descargas de aguas residuales desde la ciudad de Tunja, pasando por las industrias de Paipa, Duitama, Sogamoso, hasta llegar a Vado Castro en Tópaga, a la altura de Acerías Paz del Río. De esta forma, y teniendo en cuenta que la problemática de la calidad y cantidad de agua de esta región es alta, se concibe la posibilidad de evaluar la sostenibilidad en el marco del manejo del recurso hídrico de la Cuenca Alta del Río Chicamocha mediante la metodología “City Blueprint Framework” (CBF), la cual es una herramienta de diagnóstico compuesta por tres estadios de evaluación importantes como lo son, los ámbitos social, económico y ambiental de un territorio. Además esta metodología introduce de manera funcional el tema de la gobernanza de cuencas en el territorio nacional dando como resultado último la identificación de las falencias que se presentan en la zona para los ámbitos mencionados.

La aplicación de esta metodología, en la Cuenca Alta del Río Chicamocha se hizo, como primera medida, desde la información recopilada en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), pasando por un diagnóstico de los indicadores “Trends and Pressures Index” (TPI) y “Blue City Index” (BCI) y confrontando esta valoración con la categorización en diferentes ciudades en las que se ha aplicado. Como resultado se obtuvo un valor de BCI de entre 2-4 para lo cual se describe que la cuenca se puede denominar como “región derrochadora” presentando mayores problemas, como se había identificado en el análisis de información inicial, con la baja cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales, alta facilidad de inundación, entre otros problemas que se describen con mayor detalle a lo largo del texto. Este trabajo de investigación se realizó dentro de la pasantía llevada a cabo en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá durante el período de enero a julio de 2018.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más cuantioso, importante e imprescindible para la existencia de vida en el mundo entero, sin embargo, la contaminación, el calentamiento global y sus efectos, se han convertido en los grandes enemigos de las fuentes hídricas (Pineda, 2017) las cuales afectan directamente las condiciones de vida de las comunidades. Además es preciso afirmar que la disponibilidad de agua está estrechamente relacionada con la eficacia de los procesos económicos de las actividades antrópicas que dependen de una cuenca (Sánchez, Jiménez, Velásquez, Piedra, & Romero, 2004). De esta forma es importante resaltar el papel fundamental que juegan las prácticas de manejo de los recursos hídricos en el progreso económico, social y ambiental de un país, enmarcadas dentro del desarrollo sostenible, en donde se pretenden aplicar estrategias orientadas a reducir las inundaciones, prevenir la erosión, mitigar los impactos generados por la contaminación del agua y prever que la calidad y cantidad del mismo se mantenga y/o aumente para beneficio de los asentamientos humanos y de las actividades económicas.

La escasez y el manejo inadecuado de los recursos hídricos son factores determinantes y de suma limitación en el desarrollo sostenible en un territorio; tal como sucede en la Cuenca Alta del Río Chicamocha la cual corresponde a una de las zonas hidrográficas más importantes del departamento de Boyacá, sin embargo, presenta problemáticas serias con respecto a la presencia de grandes focos de población y que ocupan una extensión cercana al 30% de la totalidad que posee la cuenca; lo anterior sumado con la existencia, dentro de su jurisdicción de “El corredor Industrial de Boyacá”, ecosistemas en extinción, cultivos inadecuados en algunas zonas, obras de saneamiento básico deficiente y la acción institucional inadecuada (Corpoboyacá, 2015) lo que resulta en que el manejo de la cuenca sea un trabajo de alta complejidad para la población afectada. Es ahí donde se hace necesario la aplicación de metodologías que evalúen la sostenibilidad del recurso hídrico. En este caso de estudio se usó la metodología “City Blueprint Framework”, la cual tiene en cuenta los ámbitos social, económico y ambiental de la cuenca, siendo implementada en ciudades como Ho Chi Minh City, Vietnam, Rotterdam, Malta, Londres, Oslo, Budapest (Van Leeuwen & Sjerps, 2014). En el presente proyecto, se aplicó a la Cuenca Alta del Río Chicamocha, cumpliendo con los parámetros de ejecución de la metodología.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Descripción de la Problemática**

El río Chicamocha es denominado como “la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso” (El Tiempo, 2007) debido a la grave contaminación y falencias en el manejo del recurso hídrico. A la cuenca llegan constantes descargas de aguas residuales desde su inicio en la capital boyacense, al recibir la contaminación producida por Acerías Paz del Río, Termo Paipa, sobrantes de las aguas termominerales de las piscinas de Paipa, del complejo industrial de Maguncia y Metalúrgica Boyacá entre otras industrias del departamento. Por otra parte, la limitada disponibilidad de aguas superficiales hace que los agricultores propios de la zona reutilicen las aguas residuales en el riego de sus cultivos propiciando el brote de enfermedades de origen hídrico como el cólera, la hepatitis A y B, la fiebre tifoidea, la poliomiélitis, la meningitis y gastroenteritis, o en el peor de los casos la pérdida de vidas humanas o animales. Asimismo las descargas que se le hacen al río son causantes de contaminación visual y causan molestias por olores desagradables limitando el suministro de agua para acueductos, agricultura y pesca (Torres E. , 2009). Teniendo en cuenta que en la Cuenca Alta del Río Chicamocha, las actividades agrícolas, ganaderas, de pesca y sobretodo industriales hacen parte de la economía de la región, es de gran importancia impulsar el manejo sostenible de las aguas residuales dentro de las políticas de gestión integrada del recurso para evitar que se presente restricción en la disponibilidad de agua para las comunidades de la cuenca.

### **2.2. Preguntas de Investigación**

- a) ¿Cómo incide el ámbito social, económico y ambiental en la sostenibilidad de una cuenca?
- b) ¿Cuáles posibles correctivos, de acuerdo con los factores de sostenibilidad, se pueden plantear para mejorar las condiciones de la cuenca?

### **2.3. Justificación**

En el campo de la Ingeniería Civil, la sostenibilidad y el medio ambiente juegan un rol fundamental dentro de los enfoques actuales de la profesión, aún más cuando el sistema estudiado es una cuenca altamente contaminada por la acción inescrupulosa y falta de implementación de estrategias de mitigación. Además, la ejecución de planes de manejo ambiental es hasta ahora, un proceso nuevo pero de gran interés para distintos estadios como la academia, la comunidad y las instituciones que tienen a su cargo la ordenanza de las cuencas. Ante estos graves problemas, la posibilidad de que se implemente el concepto del manejo de recurso hídrico es una alternativa viable con el fin de mejorar la sostenibilidad de la cuenca misma (Andrade Medina & Bermúdez Cárdenas, 2010). Dentro de la problemática ambiental que aqueja a nuestros ecosistemas y de forma más clara a las fuentes hídricas se pueden observar que no sólo la contaminación hace parte de este gran problema (Sarmiento, 2014), también la falta de implementación de planes de gobernanza, manejo y ordenanza de las cuencas. Es por ello que el presente estudio del manejo de la sostenibilidad de la Cuenca Alta del Río Chicamocha es de gran relevancia por la aplicación de la metodología “City Blueprint Framework” que incluye dentro de sus preceptos indicadores que al ser evaluados dan cuenta del estado actual de la región o ciudad y de cuáles son los ítems a lo que se debe tener mayor relevancia y atención. En este sentido, esta evaluación sirve como instrumento planificador a futuras apreciaciones de la región en cuanto al tema de la sostenibilidad.

## **2.4. Objetivos**

### *2.4.1. Objetivo General*

Evaluar la sostenibilidad en la Cuenca Alta del Río Chicamocha, teniendo en cuenta los aspectos social, económico y ambiental de la región.

### *2.4.2. Objetivos Específicos*

- a) Caracterizar el sistema de la cuenca de acuerdo con la información proporcionada por Corpoboyacá.
- b) Evaluar el sistema y la sostenibilidad mediante la metodología BCI y TPI para la región.
- c) Plantear estrategias de mitigación para los indicadores que representen mayor afectación dentro de la metodología aplicada.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. El agua

El problema de los recursos hídricos a través del tiempo se ha tornado cada vez más grave como resultado de la aceleración del proceso de urbanización y la falta de políticas ambientalistas, no solamente en Colombia si no en el mundo entero (Corpoboyacá, 2006), donde se generan reflexiones expresando la imposibilidad de generar un ambiente de supervivencia con propiedades únicas para, por ejemplo en casos micrométricos, propiciar el intercambio de información dentro de las células considerándose éstas como base fundamental de la vida en el planeta, o en espacios más amplios como la regulación de los ciclos de un ecosistema (Hernández & Hansen, 2011). Es también elemento esencial de los orígenes de la vida, de los organismos y de su interacción con el ambiente, sin embargo, esta relación también puede ser perjudicial, ocasionando problemas aún más graves en la fauna y flora de la zona (Briñez, Guarnizo, & Arias, 2012). Es allí donde la mantención de la existencia de este recurso en los ecosistemas es una realidad necesaria y de gran atención en los gobiernos actuales expresada con su presencia desde hace muchos años en el debate político y ambiental (Castelán, 2009). El agua como recurso estable, abunda, pero sólo en la teoría, ya que se demuestra una vez que en las poblaciones donde escasea mayormente es por los altos niveles demográficos que presenta, sin embargo, aparece un ítem importante en este aspecto el cual reconstruye el orden ambiental y socioeconómico llamado sostenibilidad, el cual es la clave en un entorno carente de agua de calidad porque busca mitigar la incertidumbre de la falta de este principal recurso (Iníquez, 2010).

##### *3.1.1. El Agua como Derecho Humano*

El agua, sin alguna duda es uno de los factores estratégicos para el desarrollo, el cual se considera como un recurso multifuncional, debido a esto se le ha dotado de una importancia muy alta a nivel mundial ya que de este depende la vida en el planeta y por esta razón se convierte en un factor decisivo de la calidad de vida de cada una de las civilizaciones (Rodríguez, 2009). A causa de esto, los países iberoamericanos tienen como objetivo abastecer en cantidad de agua a cada uno de sus habitantes (Miranda, Aramburú, Junco, & Campos, 2010). Las Naciones Unidas dentro de todas sus premisas declararon un derecho humano el acceso a agua potable segura por y para todos los

países en todo el planeta. A pesar de este estamento un gran porcentaje de las civilizaciones rurales de Iberoamérica escasea de este recurso y como mayor afectación en los lugares donde medianamente hay el recurso, este se encuentra afectado por contaminantes y enfermedades hídricas para la población (IBEROARSEN, 2008). El agua ha sido muy importante para la población desde hace mucho tiempo, así como su calidad y disponibilidad. El abastecimiento, uso y consumo del agua son requeridos en todas las actividades cotidianas del ser humano, implementándose este desde el uso doméstico convencional, hasta la transformación y la aplicación en las industrias. Por lo tanto, no se observa el desarrollo continuo y adecuado de una población buscando mejorar la calidad de vida sin la presencia del agua (Arroyave, Builes, & Rodríguez, 2012).

En la actualidad hay una crisis en cuanto al ámbito de la gestión del agua, consecuente a esto la comisión mundial del agua según estudios e investigaciones de proyecciones dice que alrededor de los próximos 30 años el uso del agua para consumo humano y otras finalidades aumentará al 150% y que debido a este exceso de consumo aproximadamente el 50% de la población mundial vivirá en condiciones graves, quizá hasta precarias por falta de agua (Rojas Padilla et al, 2013). Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, el conflicto por el apoderamiento del agua a nivel mundial día a día empeora especialmente en zonas que ya están necesitadas de este recurso como lo es Asia meridional, oriente medio y el norte de África, además de otras regiones que ya empiezan a sufrir este mismo agotamiento del recurso (Bistoni, Hued, Videla, & Sagretti, 1999).

### *3.1.2. Vulnerabilidad del Recurso Hídrico en Colombia*

En la Primera Comunicación Nacional del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), publicada hace aproximadamente 10 años, se presentó el primer análisis sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico ante los diferentes escenarios de cambio climático. En este análisis se profundizó en temas como la vulnerabilidad, la cual fue subdivida en dos aspectos principales, uno de estos es la capacidad de los recursos hídricos con el fin de conservar y mantener su régimen hidrológico, ante posibles variaciones climáticas, y el otro es la fragilidad de los usuarios del recurso ante cambios importantes como la oferta y disponibilidad de agua (Berdugo, Andrés, Maldonado, & Garzón, 2004). De igual manera, se ahondó en numerosas investigaciones dentro del cerco de los Estudios Nacionales del Agua. Además cabe resaltar que el nivel de detalle

ha mejorado constantemente junto con la disponibilidad de información y toma de datos en el país. No obstante, el Estudio Nacional del agua (ENA) calificó algunos índices para verificar la disponibilidad del agua a nivel nacional, entre estos podemos encontrar la vulnerabilidad, la presión y la escasez (Valencia A. , 2010). De lo anteriormente mencionado según el IPPC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático), la alta variabilidad del clima es un factor altamente dañino para la funcionalidad y operación adecuada de diferentes tipos de infraestructuras hidráulicas. Gracias a esta investigación, se dedujo que es fundamental tener modelos de gestión de recursos hídricos los cuales son esenciales para confrontar a los extremos coligados con la variabilidad y el cambio climático que de él se desprenden (García, Piñeros, Bernal, & Ardila, 2012).

### *3.1.3. Usos Primordiales del Agua*

Teniendo en cuenta que en nuestro país el agua, el recurso principal y más importante se encuentra repartido de forma irregular en función del espacio en el que se encuentra, se le adiciona un deterioro existente e incesante en cuanto a la calidad del mismo por acciones no enfocadas en la sostenibilidad y/o mejor aprovechamiento del recurso hídrico (Fernández, Ramírez, & Solano, 2002). La vulnerabilidad en la población colombiana frente a cambios ambientales se ha convertido en uno de las afectaciones directas más importantes y a la cual no se le ha dado la suficiente importancia ya que en la actualidad aunque se trabaje arduamente en la reducción de emisiones de gases para evitar el efecto invernadero, no es suficiente para suplir los efectos causados por el cambio climático (García-González, Carvajal Escobar, & Jiménez-Escobar, 2007). El sector agrícola juega un papel fundamental ya que gracias a este y a su amplia extensión el 61% del agua total del país, es filtrada y limpiada medianamente por procesos naturales (Loaiza Cerón, Reyes Trujillo, & Carvajal Escobar, 2012). Según la Organización de las Naciones Unidas para el año 2015 aproximadamente el 66% de la población mundial sufrirá escasez de agua (Manga, Logreira, & Serralt, 2001). Colombia es uno de los países con mayor precipitación anual en el mundo teniendo un valor promedio de 3000 mm, tanto así que esta pluviosidad es 6 veces mayor a la del promedio de cada país en América Latina y además es suficiente para triplicar la cantidad de agua de esa región. Dicho esto, El recurso hídrico generado en términos de rendimiento es de 58 lt/seg por Km<sup>2</sup> el cual es considerado una escorrentía suficiente para alimentar a lagos, ríos y

quebradas (Marín, 2003). Teniendo en cuenta lo anterior se presenta a continuación los cuatro principios basados en los usos primordiales del agua (Barkin, 2006).

**a) Agua como derecho humano:** El acceso al agua potable y a los servicios de saneamiento básicos hacen parte de esa gran división que existe en la calidad de vida de las personas, siendo esta problemática una amenaza al derecho humano que constituye su libre acceso (Becerra & Salas, 2016).

**b) Agua para las necesidades ambientales:** Todas las especies precisan un mínimo de bienestar que viene directamente relacionado con el lugar donde vive, las condiciones de calidad de vida y cómo obtiene los recursos para sobrevivir. Es así que el agua propicia un ambiente de supervivencia y mejora en la calidad de vida (PNUMA, 2008).

**c) Agua para usos sociales y comunitarios:** El agua también es usada por las ciudades, las cuales consumen habitualmente más agua que los de las zonas rurales por la implantación de las industrias intensivas y el excesivo uso que hacen del agua. Las ciudades son dependientes de su entorno, del que toman el agua y en el que depositan sus aguas residuales, produciendo impactos significativos más allá de los límites de la ciudad (Sandoval & Günther, 2015).

**d) Agua para el desarrollo económico:** El agua es fundamental para las tres dimensiones del desarrollo sostenible y es un elemento común para conseguir los objetivos sociales, el desarrollo económico y los límites ambientales. Para ello es necesario avanzar hacia enfoques que tengan en cuenta las interacciones entre la alimentación, la energía, la salud, el medio ambiente y todas las dimensiones en las que el agua juega un papel importante (ONU, 2015).

El agua es el denominador común en muchos aspectos del desarrollo, por ello la solución a los problemas hídricos debe ser sostenible y adaptada de manera flexible a las circunstancias específicas locales o regionales, ya que no existe un enfoque universal para el manejo del agua (Madroño & Jiménez, 2006).

El recurso hídrico es esencial para la vida y es derecho de todos acceder a él. Sin embargo, un gran porcentaje de la población mundial no cuenta con este elemento y su calidad es deficiente. Esto se explica en parte por factores como la desigual distribución geográfica de las fuentes de agua, la contaminación, el deterioro de los ecosistemas que prestan servicios ambientales, así como el

derroche y la falta de conciencia estatal, que conlleva a una ineficaz gestión del agua y un escaso compromiso político de los gobiernos (Baccaro, y otros, 2006). Es por ello que la conservación de la calidad ambiental de los ecosistemas y de los respectivos recursos naturales genera gran importancia; todos estos movimientos sociales, académicos, culturales, entre otros, generan cambio de comportamiento entre los individuos (Arroyave, Builes, & Rodríguez, 2012).

### **3.2. Manejo del Recurso Hídrico**

El PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) es el encargado de desarrollar y gestionar los recursos hídricos, el cual se enfoca en ámbitos fuertemente ligados al agua como lo son el desarrollo económico, el uso de la tierra y la salud entre otros (Valencia, Díaz, & Ibarrola, 2007). Este programa se encarga de diseñar y aplicar las leyes e implementarlas en sus respectivas instituciones buscando encontrar las responsabilidades de los actores tanto locales como nacionales tanto en el sector privado como público (Water Governance Facility, 2011). Como último recurso el PNUD encargado de la gobernabilidad del recurso hídrico determina quién obtiene, cómo lo obtiene y cuándo obtiene las responsabilidades pertinentes (Solanes & González-Villareal, 1996). El programa que tiene el gobierno ante el recurso hídrico manifiesta situaciones culturales y políticas de orden nacional, y con esto se busca un equilibrio de las tres principales ramas, la social, la económica y la ambiental (Ordóñez, Álvarez, & Jardón, 2010). Por esta razón los entes gubernamentales tienen tres bases fundamentales dentro de las cuales están los marcos normativos, que se encargan de proteger la totalidad de los recursos hídricos, además de fomentar el desarrollo económico y social. Asimismo están las instituciones facilitadoras de gestiones del agua y por último los mecanismos y la estructura reglamentaria para la toma de decisiones óptima del desarrollo sostenible. Estos elementos fundamentales integran a sectores enfocados en el uso del agua para la gente, alimentos, naturaleza e industria, sabiendo que la crisis del principal elemento es inminente por variados factores, entre estos las decisiones gubernamentales (Zamudio, 2012).

#### *3.2.1. El Paradigma de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*

El paradigma de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) ha tenido un buen recibimiento, haciendo que, el agua vista como recurso y ecosistema sea prioridad en la toma de

decisiones y formulación de políticas y Colombia no es la excepción, pues a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el apoyo del IDEAM se vienen adelantando esfuerzos, siendo probable la reducción de la vulnerabilidad del agua dulce debido al cambio climático (García, Piñeros, Bernal, & Ardila, 2012).

La GIRH se crea por la preocupación de la necesidad del agua que está siendo amenazada por el imparable crecimiento demográfico el cual implica un aumento en la demanda del recurso y por lo tanto en su contaminación (Madroñero & Jiménez, 2006). Los países con necesidades insatisfechas con respecto al manejo de cuencas tienen que centrarse en el servicio social hídrico y saneamiento, sin llegar a descuidar los demás recursos que permiten el ciclo hidrológico (Benegas, Jiménez, Faustino, & Gentes, 2008) y es ahí donde la GIRH es una herramienta contundente para que los servicios básicos sean propiciados y las políticas existentes con respecto al agua como derecho fundamental se cumplan a cabalidad.

Brasil y Colombia son los países que lideran la oferta mundial de recurso hídrico, aunque paradójicamente, este recurso escasea en las zonas con mayor concentración de habitantes y, por lo tanto, donde existe mayor actividad económica. En estos países, las políticas pro-ambientales han perdurado un tiempo considerable, sin embargo, no necesariamente se desenvuelven como se esperaría, aunque existen instrumentos orientados a la gestión de agua a nivel de las cuencas, haciendo que funcionen de manera diferente, ya sea estructuralmente o en las herramientas utilizadas (Bucher, Castro, & Floris, 1997). Por su parte, Colombia implementa las principales herramientas de GIRH como concesiones, tasa por uso de agua, tasa por contaminación, etc., a través de las corporaciones ambientales regionales no obstante no existe participación formal de la sociedad civil dentro de la gestión lo cual impide el avance del proceso de adecuación de las zonas hacia un ambiente más sostenible (Rojas Padilla, y otros, 2013).

Cuando se habla de manejo de recursos hídricos, es posible identificar cuatro categorías claramente definidas por (Banco Mundial, 1998) las cuales son:

**a) Desarrollo de los recursos hídricos orientados a proyectos:** Caracterizado por priorizar los proyectos independientes de agua potable, generación de energía hidroeléctrica navegación, recreación, entre otros, así los beneficios producidos son igualmente individuales, por lo tanto, hay una fuente definida por proyecto.

**b) Desarrollo subsectorial de los recursos hídricos:** En el cual se establecen proyectos que usan de manera similar en un marco subsectorial, así los beneficios se aumentan identificando fuentes nuevas de agua para el sector. Casi todos los proyectos nacen de los planes de agua potable, riego y saneamiento.

**c) Manejo subsectorial de los recursos hídricos:** La innovación institucional o los proyectos de infraestructura son los encargados de resolver los problemas hídricos que se identifican ya sea por la actualización de los programas de estado o por una reestructuración subsectorial.

**d) Gestión integrada de los recursos hídricos:** Se tienen en cuenta todos los usos del agua, incluyendo el medio ambiente y los conflictos entre los usuarios creando así los proyectos. Los usos son resueltos mediante una mayor oferta y también por innovación institucional y el manejo de la demanda. En esta, las decisiones se toman en conjunto dentro para la resolución de problemas (Degioanni & Camarasa, 2000).

Es así que, dentro del nuevo paradigma de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos aplicada a las cuencas hidrográficas, se hace una aproximación multidisciplinaria que tiene aceptación dentro de los tres criterios tal y como se expresa en la Tabla 1, para lo cual existen situaciones que tienen un enfoque directamente afectado por esto.

**Tabla 1. Relación entre criterios, situaciones y enfoques de manejo de cuencas**

Criterios	Situaciones	Enfoques
Ecológico	Deforestación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua</li> <li>- Suelo</li> <li>- Forestal</li> <li>- Recursos naturales</li> <li>- Conservación</li> <li>- Sostenibilidad</li> <li>- Ambiental</li> <li>- Uso múltiple</li> <li>- Manejo integral</li> </ul>
	Inundaciones	
	Quemas	
	Contaminación	
	Salinización	
	Erosión	
	Acidificación	
	Compactación	
	Baja fertilidad del suelo	
	Sequía y aridificación	
Social	Pobreza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Educación ambiental</li> <li>- Transferencia de tecnología</li> <li>- Extensión</li> <li>- Sectorial</li> <li>- Desarrollo rural</li> </ul>
	Baja calidad de vida	
	Falta de organización	
	Inseguridad	
	Procesos de participación	
	Falta de asistencia técnica	
	Ausencia de leyes	

	Falta de voluntad política	- Manejo integral
	Tenencia de la tierra	- Incidencia
		- Asociatividad
Económico	Baja productividad	- Desarrollo rural
	Baja rentabilidad	- Desarrollo económico
	Acceso al crédito	- Agronegocios
	Falta de incentivos	- Sectorial
	Valor agregado incipiente	- Manejo integral
	Mercado	

Fuente: (World Vision Canada, 2010)

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es un concepto que ha surgido en la última década como respuesta a la crisis del agua generada por la presión del crecimiento poblacional. La GIRH parte de asumir cómo los recursos hídricos son protegidos, manejados, utilizados, asignados y conservados junto con decisiones de gobierno, por lo cual se cree que la crisis del agua es en realidad una crisis de gobernabilidad (Zamudio, 2012). La cogestión de cuencas hidrográficas en América Latina busca superar las debilidades asociadas a iniciativas de manejo de cuencas que se han venido implementando en la región. A pesar de las mejores intenciones y algunas experiencias y lecciones favorables, el impacto sobre la sustentabilidad de los recursos naturales no ha sido suficiente para responder a las necesidades de la población y de los ecosistemas (Benegas, Jiménez, Faustino, & Gentes, 2008).

El manejo de cuencas hidrográficas se puede definir como la actividad ordenada y planificada que lleva a cabo el hombre dentro de las cuencas hidrográficas, para el aprovechamiento óptimo y sostenido de sus recursos hídricos, de tal forma que se refleje en el bienestar social y económico de la población en general (SENA, 1997).

### 3.3. Sostenibilidad del Recurso Hídrico

El problema inicial que existe para definir el desarrollo sostenible está enmarcado en la definición separada de las dos palabras mismas ya que por ello se generan diversas dinámicas sociales, ambientales y que también tienen su trascendencia dentro del espacio y el tiempo (Gutiérrez, Aguilera, & González, 2011). Ante esto, cada autor puede dar sus interpretaciones, por lo que aquí se presentan algunas de ellas.

Para (Morales, 1997) el término Desarrollo Sostenible se define como un proceso dinámico en el que interviene el manejo de los recursos naturales, la potenciación del ser humano, el enfoque del desarrollo científico y tecnológico, la formulación de nuevos esquemas legales y administrativos y la orientación de la economía; todo esto con el fin de forjar una generalizada satisfacción en las necesidades básicas de la población actual sin demeritar el progreso próximo y la calidad de este mismo.

La concepción de sostenibilidad que tiene (Novo, 2009), se encasilla dentro de uno de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”. Sin embargo, las perspectivas de que esta meta pueda alcanzarse son muy negativas, es así que el cambio climático está siendo relegado a un segundo plano debido a la increpante crisis económica, en una estrecha visión que oculta la gravedad del cambio global que está experimentando el planeta.

Otra definición de este concepto está dada en los términos de usar eficientemente nuestros recursos naturales para alcanzar metas sociales y económicas, al tiempo que se mantiene la base de recursos y la capacidad de carga ambiental para las generaciones venideras (Castillo, 2004). En el sentido más amplio, esta base de recursos naturales comprende también conocimiento, infraestructura, tecnología, bienes durables y los individuos. En el proceso de desarrollo es posible que los recursos naturales se conviertan en otros bienes durables y de esa forma continúan siendo parte de la base general de recursos.

Un desarrollo sostenible es posible si existe un marco institucional fortalecido para efectivizar la formulación de políticas nacionales, que busquen garantizar el uso sostenible del medio ambiente y a la vez beneficien el desarrollo económico y la calidad de vida de la población actual y de las futuras generaciones (Cisneros, 2005). El desarrollo sostenible es un concepto amplio e incluyente; en su esfera, aborda el crecimiento y el progreso económico en términos materiales e inmateriales, medible en indicadores de calidad de vida y de consumo; incluye la dimensión social en función del bienestar humano en su esfera física y sicosocial; por último, reconoce la naturaleza y su finitud (Daza, Reyes, Loaiza, & Fajardo, 2012). Sin embargo, en lo que todos los autores coinciden es en lo referente a la importancia de los recursos naturales, primordiales para existir y generar avances, tanto en el presente como en el futuro, en todos los aspectos que aquejan a una comunidad (Toledo, 1999). Se podría pensar que el concepto de desarrollo sostenible es un concepto nuevo, no empero éste apareció en el transcurrir de la historia de la sociedad y su interacción con la clase política.

Esto dado en contraposición al sistema capitalista en donde los recursos eran finitos y el crecimiento de manera sustentable era visto como una utopía. Pese a esto, desde esos circuitos es poco probable cambiar los sistemas económicos actuales, pero reducir prácticas que traen desequilibrios ecológicos, disminución de biodiversidad, sí es posible sin hacer cambios en los modos de producción (Castro, 2014). El manejo sostenible de los recursos hídricos es uno de los principales asuntos a enfrentar para poner al planeta en la vía del desarrollo sostenible, puesto en evidencia por el crecimiento poblacional, la variabilidad climática, las prácticas inadecuadas (Andrade & Navarrete, 2004) teniendo como primer escalón la lucha contra la pobreza en equilibrio con el medio ambiente. En América Latina y el Caribe, las fuerzas que impulsan cada vez más este cambio están constituidas por las crecientes demandas y por la escala de los proyectos, la necesidad de utilizar mejor los recursos escasos, la necesidad de la sostenibilidad ambiental, el reconocimiento de que el agua reviste importancia tanto económica como social y el hecho de que al maximizar en forma independiente los beneficios de cada uso concreto crean graves conflictos en cuanto a la cantidad y la calidad (García L. , 1998).

### *3.3.1. Uso Sostenible de los Recursos Hídricos*

Un desarrollo de recursos hídricos que no sea sostenible tiene la característica de tener una planificación deficiente. En muchas partes del mundo, los recursos de agua dulce son escasos. Es por ello que hay muchas maneras de poner en peligro el uso futuro del agua, bien mediante su explotación excesiva (extracción) o arriesgando el uso futuro del recurso (Van Hofwegen & Jaspers, 2000). Las decisiones acerca de la planeación de los recursos hídricos, el diseño, la construcción de infraestructura para suministro de agua, el tipo y área de los cultivos, las cuotas de agua y la operación de embalses, dependen de las condiciones climáticas y de un adecuado manejo de los recursos hídricos por parte de los especialistas, técnicos y operadores de los sistemas hidráulicos (Martínez & Patiño, 2009). Dicho concepto no está exento de críticas y revaluación permanente. La mayoría de tratadistas consideran posible la armonía entre los objetivos de las tres dimensiones (económica, social y ambiental). La contabilidad para la sostenibilidad, diferenciándose de la concepción anterior, proclama la subordinación dimensional, en virtud, de que el crecimiento y el progreso económico no pueden pretender la misma importancia que la conservación de la naturaleza y la viabilidad de la vida del hombre y otras especies en el planeta (Mejía & Vargas, 2012). Desde el concepto de la sostenibilidad se han desarrollado dos versiones

del mismo (Tabla 2): la sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. La primera se ubica, al igual que el concepto de desarrollo sostenible, dentro del paradigma de la economía estándar, mientras que la segunda ha sido formulada por economistas heterodoxos, vinculados a la ecología. De esta manera el desarrollo sostenible, en cualquiera de sus formas, debe contrarrestar las consecuencias posibles del deterioro del medio ambiente.

**Tabla 2. Diferencias entre sostenibilidad fuerte y débil**

Sostenibilidad Débil	Sostenibilidad Fuerte
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepto más antropocéntrico (tecnocéntrico) que ecocéntrico.</li> <li>- concepto mecanista.</li> <li>- Sostenibilidad sinónimo de viabilidad. Del sistema socioeconómico.</li> <li>- Capital natural sustituible por capital humano. Constancia del capital total.</li> <li>- La sustituibilidad exige monetizar el medio natural.</li> <li>- Creencia en un desarrollo sostenible, que en realidad es sostenido.</li> <li>- Medio ambiente localista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepto más ecocéntrico que antropocéntrico.</li> <li>- Concepto sistémico.</li> <li>- Sostenibilidad: relación viable entre el sistema socioeconómico y el ecosistema.</li> <li>- Sostenibilidad incompatible con crecimiento.</li> <li>- Capital natural complementario del (no sustituible por) capital humano. Constancia del capital natural.</li> <li>- Muchos recursos, procesos y servicios naturales son inconmensurables monetariamente.</li> <li>- Diversas evoluciones sostenibles (históricamente han existido).</li> <li>- medio ambiente global y sistémico.</li> </ul>

Fuente: (Luffiego García & Rabadán Vergara, 2000)

Los sistemas de recursos hídricos sólo pueden persistir en un ambiente natural que permita la regeneración de aguas de suficiente calidad. Por lo tanto, sólo se debería permitir el uso del recurso hasta el punto en que generaciones futuras no se vean afectadas, posibilitando que ese grupo humano pueda continuar haciendo un uso sostenible del agua (Calvo Brenes & Mora Molina, 2007). Existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume una población. Se consideran importantes: las fuentes de abastecimiento naturales; la infraestructura de redes de almacenamiento y distribución de agua; los aspectos culturales y socioeconómicos que condicionan la aceptación o rechazo a ciertas formas de abastecimiento y potabilización de agua y, por último, factores políticos que afectan la normatividad relativa a la inversión en el desarrollo y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua potable; por esta razón, la accesibilidad y cobertura de acueducto y alcantarillado, constituyen engranajes indispensables para el mantenimiento de la salud y el bienestar (Chán & Peña, 2015).

### **3.4. Contaminación en Aguas Superficiales**

Actualmente existe una creciente preocupación mundial por disminuir significativamente los impactos ambientales que ponen en grave riesgo la vida sobre el planeta. Diferentes debates locales, nacionales e internacionales, se han gestado con respecto al desarrollo sostenible en diferentes escalas, con predominio de propuestas que giran en torno a la comprensión de las relaciones que operan al interior de una ciudad, y de ésta con su entorno inmediato (Pinzón & Echeverri, 2012). Es así que el crecimiento del espacio urbano, sobre todo en los países en vías de desarrollo, ha sido desordenado e incontrolable, y su resultado es el predominio de ciudades ambientalmente insostenibles, que favorecen la segregación, el anonimato y la individualidad (Campos, Cárdenas, & Guerrero, 2008). Otros factores que han contribuido a esta realidad son el predominio de las fuerzas libres del mercado por encima de la planeación, la fuerte migración del campo, la concentración de la actividad económica, así como el modelo de desarrollo y cultural difundido. Todo lo anterior se ha conjugado para que en las urbes aparezcan nuevos problemas ambientales y se agudicen los relativos a la contaminación y al mal uso de los recursos naturales (Andrade Medina & Bermúdez Cárdenas, 2010).

Referente al deterioro de los recursos naturales, se estima que por procesos de deforestación en Colombia son tan altos que la cobertura arbórea ha disminuido (Loaiza Cerón, Reyes Trujillo, & Carvajal Escobar, 2012), generando una alteración en la infiltración y escorrentía superficial. El uso inapropiado de la tierra facilita la pérdida de suelo y el incremento de la sedimentación en los cauces de los ríos. Factores que afectan directamente en la cantidad del recurso hídrico disponible para consumo humano. Se suma el problema de contaminación creado por el vertido de desechos que producen una disminución en la cantidad y calidad del recurso hídrico disponible (Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009).

Los recursos naturales están en proceso de degradación, presentándose serios conflictos en el uso de la tierra y en el manejo del agua como sequías, inundaciones, sedimentación y contaminación (Cisneros, 2005). El agua se ve sometida a alteraciones en su calidad y cantidad, no sólo por la contaminación humana, sino también por el manejo inadecuado de bosques y suelos (Madroñero & Jiménez, 2006), no obstante, es posible revertir tal situación de deterioro y de daño e incluso alcanzar el nivel de sostenibilidad deseado, siempre y cuando se maneje la zona de una forma integral, con enfoque participativo, en equidad y género (Benitez & Miranda, 2013).

La degradación y pérdida de ecosistema y las rápidas modificaciones de las cuencas hidrográficas, han provocado la interrupción de ciclos hidrológicos naturales. En muchos casos, eso ha aumentado la frecuencia y gravedad de las inundaciones, la sequía y la contaminación (Barceló & López, 2008). La degradación y pérdida de la diversidad biológica impone importantes desventajas económicas y sociales y costos a las poblaciones humanas de esas cuencas hidrográficas por la pérdida de servicios de ecosistema de humedales a los que antes tenían acceso. La demanda de recursos hídricos sigue aumentando, al igual que los niveles de contaminantes. La escasez de agua y el acceso limitado o reducido a ella para usos domésticos, agrícolas e industriales son factores decisivos que limitan el desarrollo en muchos países (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). Se ha estimado que por cada volumen unitario de agua usada por actividades domésticas y/o industriales y que es devuelto a un cuerpo de agua, la contaminación actúa dañando de 8 a 10 volúmenes equivalentes de agua natural (García L. , 1998) lo que significa un elevado costo social desde el punto de vista de la salud, por lo cual las enfermedades que se transmiten por contacto con el agua aumentan las tasas de morbilidad y mortalidad en toda América Latina (Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escobar, 2007). Esto sugiere la necesidad de una alta inversión para reponer la calidad del recurso hídrico.

#### *3.4.1. El Recurso Hídrico y la Salud Pública*

En la Tabla 3 se menciona cuál es la proporción de las enfermedades producidas por el contacto con agua, de donde se puede resaltar la diversa variedad de éstas y que pueden ser de mínima afectación como el vómito, la diarrea hasta procesos cancerígenos de gran relevancia. Asimismo también es importante resaltar la contaminación de fuentes hídricas por  $\text{NO}_3^-$  la cual puede provocar procesos de toxicidad en seres humanos, sobre todo en menores causando la conocida “enfermedad del niño azul”, la cual genera la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina en los niños con resultado de muerte (Perdomo, Casanova, & Ciganda, 2001). Por este motivo en Estados Unidos se estableció un valor máximo permisible de nitrógeno en forma de nitratos de 10 mg/L y un agua con valor superior a este se considera no apto para consumo humano. Las descargas municipales dominan el panorama de la contaminación de las aguas superficiales de Colombia y constituyen la principal y más generalizada causa de la degeneración de los recursos hídricos superficiales y la contaminación por descargas industriales está concentrada por los corredores industriales (Aguilar, Tolón, & Lastra, 2011).

**Tabla 3. Principales efectos perjudiciales de la contaminación sobre la salud humana**

<b>Efectos Directos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Bloqueo de la capacidad de transportar y liberar oxígeno de la hemoglobina (metahemoglobina).</li><li>- Desarrollo de procesos cancerígenos en el tracto digestivo por la formación de nitrosaminas.</li></ul>
<b>Efectos Indirectos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Trastornos fisiológicos (nauseas, vómitos, diarrea, gastroenteritis, neumonía, dolores musculares, etc.) y síndromes de intoxicación como consecuencia de la ingestión de agua o alimentos conteniendo toxinas algales.</li><li>- Enfermedades infecciosas (malaria, encefalitis, cólera, etc.) al verse favorecido el desarrollo de organismos trasmisores (mosquitos) o causantes (bacterias) de tales enfermedades.</li></ul>

Fuente: (Camargo & Alonso, 2007)

El 95% de las aguas residuales municipales se vierten a los ríos, sin tratamiento y en las costas se ve reflejado este panorama cuando la contaminación llega allí y está formada por desechos líquidos que vienen siendo transportados desde el interior del país. Lo cual resulta de gran importancia por convertirse en un gran problema que podría tener consecuencias en la oferta nacional de agua. De igual forma la contaminación de las aguas superficiales con desechos líquidos industriales se concentra en un 95% en las áreas metropolitanas (Escobar, 2004).

### **3.5. Calidad del Recurso Hídrico**

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar (Rojas, 2002). Está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y a la cantidad misma del agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación. Calidad del agua, es el término ampliamente usado, sin embargo, la cuantificación científica resulta bastante importante y esta solución es una estrategia básica en el desarrollo de los fundamentos para el manejo de los recursos hídricos (Loaiza Cerón, Reyes Trujillo, & Carvajal Escobar, 2011).

La calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones, sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión

de agentes que causan enfermedades, tales como: EDA, hepatitis A, polio y parasitosis por protozoarios y helmintos; entre estas, amebiasis, giardiasis, cryptosporidiasis y helmintiasis. La diferencia entre prevenir o transmitir este tipo de enfermedades de origen hídrico depende de varios factores, los principales son: la calidad y la continuidad del servicio de suministro de agua. Sin embargo, esos riesgos no pueden eliminarse por completo porque estas enfermedades también pueden difundirse por contacto personal, aerosoles y alimentos (Amado, y otros, 2006). La importancia de la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano es aportar información que permita la toma de decisiones para el mejoramiento de su calidad y, así, proporcionar beneficios significativos para la salud, reduciendo la posibilidad de transmisión de enfermedades por agua contaminada (Kammerbauer, y otros, 2008).

Un parámetro empleado para evaluar la calidad del agua para consumo humano es el número de bacterias coliformes, las cuales son indicadoras de la posible contaminación con material fecal, ya que comúnmente habitan el tracto digestivo de animales y humanos, aunque también se encuentran en otros ambientes. La presencia de coliformes también constituye una alerta de la contaminación posible con microorganismos más patógenos como *Salmonella*, *Vibrio cholerae* y especies de *Shigella* que son transmitidos por el agua (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2008).

Los países de América Latina no han podido llegar a una cobertura total en abastecimiento y saneamiento de agua. El problema es aún más serio en calidad del agua y protección del recurso hídrico (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988). La percepción que tiene la comunidad sobre la salud pública, se basa en las normas establecidas para la reutilizar el agua residual ellos indican que se debe tener poco contacto humano con los tratamientos aplicados a los efluentes, sin embargo, se indica que las estrategias de limpieza de aguas residuales más apropiadas son: promover la calidad del agua al límite inferior particularmente el DBO, y el amonio, promover o aumentar los tratamientos primarios de las aguas residuales e imponer un estricto control en las descargas industriales (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

### 3.5.1. Índices de calidad de agua

Un índice de calidad de agua consiste, básicamente, en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, el cual sirve como expresión de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un

símbolo o incluso, un color (Álvarez, Panta, Ayala, & Acosta, 2008). La aplicación de índices de calidad del agua (ICA), es una metodología que aporta información reproducible sobre los atributos del agua y, una alternativa para dictaminar un cuerpo de agua sin recurrir a recopilaciones estadísticas de las tendencias, variable por variable y sitio por sitio. Los ICA resumen y simplifican, en un único valor numérico, el cúmulo de información disponible sobre la calidad del agua. Estos índices facilitan el manejo de datos, evitan que las fluctuaciones en las mediciones invisibilicen las tendencias ambientales y permiten comunicar, en forma simple y veraz, la condición del agua para un uso deseado o efectuar comparaciones temporales y espaciales entre cuerpos de agua. Por lo tanto, resultan útiles o accesibles para las autoridades políticas y el público en general. Existen ICA contruidos a partir de parámetros fisicoquímicos, que varían según la naturaleza del cuerpo de agua, el posible uso del agua, las condiciones climáticas y geológicas de la región y el criterio de expertos (Lozano Ortiz, 2005) siendo el caso de Colombia, el más usado el impartido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

El riesgo que representa a la salud la presencia de sustancias químicas es distinto al que suponen los contaminantes microbiológicos porque, por lo general, estos últimos tienen efectos más agudos (Camacho & Díaz Granados, 2003). De otra parte, son pocas las sustancias químicas que, en las concentraciones que normalmente pueden detectarse en el agua contaminada, causan problemas a la salud con efectos inmediatos, ya que normalmente éstos se manifiestan tras largos períodos de exposición, por lo que las sustancias químicas que revisten especial importancia están representadas por los contaminantes acumulativos. Por eso se afirma que la vigilancia y el control de los contaminantes químicos tienen importancia secundaria cuando el agua está contaminada por microorganismos (Beamonte, Casino, Veres, & Bermúdez, 2004).

### **3.6. Metodologías de Evaluación de Sostenibilidad del Recurso Hídrico**

#### *3.6.1. Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura*

Para evaluar la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en sistemas productivos agrícolas es esencial considerar una variedad de criterios; por ello, un índice integrador ofrece la ventaja de interpretación sobre una larga lista de valores numéricos o evaluaciones no cuantitativas. De esta forma, se facilita la comparación entre distintas alternativas, logrando ser más prácticos a la hora

de transmitir información a pobladores y tomadores de decisiones. Considerando lo anterior, el ISRHA (Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura), combina el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS) y el Enfoque de Presión-Estado-Respuesta (PER); estos procedimientos constan de tres fases principales:

**a) Transformación de los datos obtenidos a indicadores**, mediante categorización y evaluación de su alta o baja incidencia en la sostenibilidad del recurso hídrico.

**b) Síntesis de indicadores**, según el factor de análisis al que pertenecen para obtener los indicadores de evaluación del ISRHA.

**c) Generación del índice y planteamiento de recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos.** Posteriormente, utilizando la evaluación del ISRHA, se identifican puntos críticos y fortalezas en la sostenibilidad del recurso en los sistemas productivos agrícolas de la microcuenca, para plantear estrategias de sostenibilidad que permitan reducir el efecto de las actividades antrópicas (Loaiza Cerón, Reyes Trujillo, & Carvajal Escobar, 2012).

### 3.6.2. Índice de Desarrollo Sostenible (DS)

Conceptualmente, se ha considerado la variable “Desarrollo Sostenible”, como el estado de explotación y utilización de los recursos de un espacio territorial, en el cual se satisfacen las necesidades de la generación presente, sin poner en peligro los recursos disponibles para las generaciones futuras (Pérez, Rincón, Materán, Montiel, & Urdaneta, 2002). Mientras que desde el punto de vista operacional, se definió como la expresión matemática adimensional, conformada por la suma ponderada, de los índices de sostenibilidad económica, social y ambiental, de cada una de las comunidades o espacios territoriales, explicadas a través de las siguientes dimensiones e indicadores (Tabla 4).

**Tabla 4. Relación de los indicadores considerados con la metodología DS**

Indicadores	Relación con el Desarrollo Sostenible
Tasa de analfabetismos (%)	-
Tasa de permanencia de productores (%)	+
Morbilidad	-
Índice de pobreza (%)	-
Ingreso per cápita (\$US)	+

Tasa de desempleo (%)	-
Índice de utilización de la tierra (%)	+
Disponibilidad de créditos (%)	+
Agrobiodiversidad	+
Tasa de utilización de plaguicidas (%)	-
Tasa de utilización de fertilizantes (%)	-

Fuente: (Pérez, Rincón, Materán, Montiel, & Urdaneta, 2002)

### 3.6.3. *El Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISA)*

Este es un índice reciente y es una iniciativa del “Global Leaders for Tomorrow Environmental Task Force” del “World Economic Forum” y desarrollado por el “Yale Center for Environmental Law and Policy”, el “Center for International Earth Science Information Network” de la Universidad de Columbia. El ISA<sub>31</sub> es un indicador, jerárquicamente estructurado, que comprende 67 variables de igual peso ponderado en el total, dividido en 5 componentes. Así, el ISA combina 22 indicadores medioambientales que van desde la calidad del aire, reducción de desechos hasta la protección de bienes comunes internacionales. La calificación obtenida por cada país es desglosada en 67 materias más específicas, como la medición del dióxido de azufre en el aire urbano y muertes asociadas a malas condiciones sanitarias (Quiroga, 2001).

El ISA mide cinco puntos centrales:

- El estado de los sistemas medioambientales de cada país.
- El éxito obtenido en la tarea de reducir los principales problemas en los sistemas ambientales.
- Los progresos en la protección de sus ciudadanos por eventuales daños medio ambientales.
- d) La capacidad social e institucional de cada nación tenga para tomar acciones relativas al medio ambiente.
- Nivel de administración que posea cada país.

### 3.6.4. *Índice del Planeta Vivo (World Wildlife Fund International)*

Este es un índice de sostenibilidad ambiental, cuyo aporte más notorio es que es de aplicación global, aunque presenta algunos componentes que se desglosan nacionalmente. No obstante, su metodología pudiese ser replicada para aplicación a nivel de países y macro regiones. El Índice del Planeta Vivo (Living Planet Index (LPI)), mide los cambios en la salud de los ecosistemas

naturales del mundo desde 1970, enfocándose en los bosques, aguas dulces, y biomas marinos de nuestro planeta, ya que estos contienen el fuerte de la biodiversidad de la Tierra. Las personas presionan los bosques, aguas dulces y ecosistemas marinos a través de la producción y el consumo de recursos como granos, pescado, madera, agua y a través de la emisión de contaminantes como dióxido de carbono (Quiroga, 2001). El LPI es un índice agregado que primariamente mide la abundancia y se construye agregando tres distintos indicadores: el área de cobertura boscosa natural del mundo, la población de especies de agua dulce y la población de especies marinas.

### **3.7. Problemática del Recurso Hídrica en la Cuenca Alta del Río Chicamocha**

Como primera medida es importante hacer claridad en cuanto al concepto de “cuenca”. Una cuenca hidrográfica, es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas. Las cuencas hidrográficas y los sistemas costeros y marinos afectados por las descargas de las cuencas son unidades geográficas importantes en el manejo de los humedales y los recursos hídricos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). En los componentes de una una cuenca se encuentran todos los elementos o factores del ambiente natural: el agua, la vegetación, la fauna, el aire, el clima y el ambiente, de donde se distinguen tres componentes fundamentales (Acero Suárez, 1995):

- a) Zona alta** o zona de captación de aguas en donde se localizan los nacimientos de agua y las zonas de reserva, siendo la más frágil de la cuenca.
- b) Zona media** donde tiende a aumentar la pendiente y se incrementa el caudal de las aguas.
- c) Zona baja** donde la topografía baja de nivel considerablemente y se presentan depósitos de sedimentos en el lecho del río y éste se desborda.

Dentro de las funciones que cumple una cuenca hidrográfica están: suministrar agua potable para el riego y la industria; reducir las amenazas de inundaciones y sequías; generar energía hidroeléctrica; mantener un equilibrio entre los organismos y el ambiente; proveer las condiciones para que se lleve a cabo el ciclo del agua así como también las áreas para la creación y el turismo.

### 3.7.1. Caracterización de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

El nacimiento del río Chicamocha se origina por la confluencia del río Tuta que nace en la población del mismo nombre y del río Jordán al occidente de Tunja. En su recorrido pasa por Cómbita y Oicatá, baña el altiplano de Tunja, Tuta, Paipa, Duitama y entra a Sogamoso hasta la altura de la vereda Vado Castro en Tópaga. Entre sus afluentes más importantes están los mencionados en la Tabla 5, la cual recopila la información de todas las unidades de trabajo por las que está compuesta la cuenca.

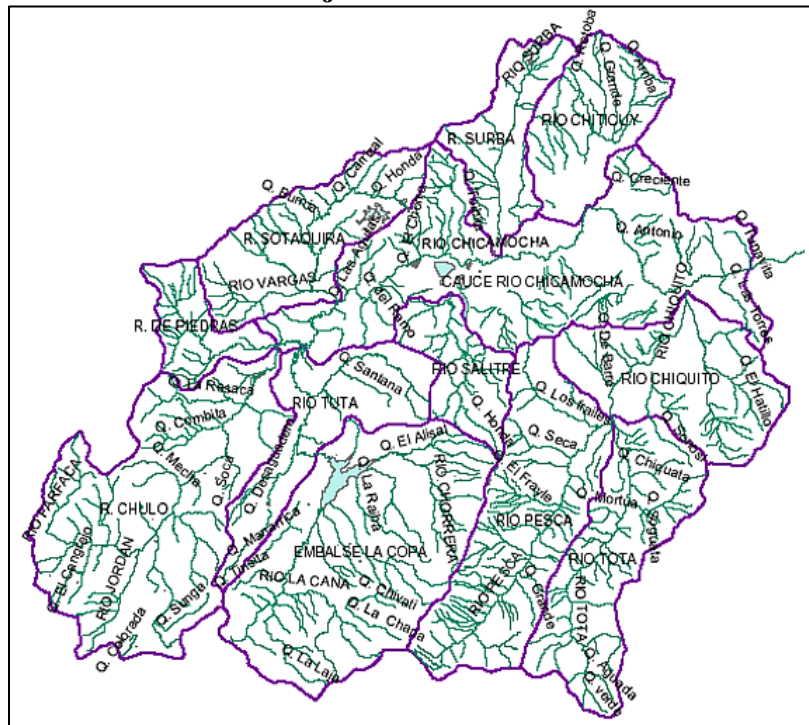
**Tabla 5. Áreas de las subcuencas del río Chicamocha**

Unidad de Trabajo	Longitud de Cauce [Km]	Área [Ha]	Cauce Principal	Quebradas y Ríos Tributarios
Río Jordán	37,35	31.800,00	Jordán	R. Farfaca
				R. La Vega
				R. Jordán.
Río Piedras	4,13	5.395,80	Piedras	R. Chorrera
				R. Toca
Río Tuta	5,54	12.462,00	Tuta	R. Cormechoque
				R. Sisachoque
				R. Cana
				Q. El Alisal
				Q. La Raiba
Embalse La Copa	1,37	32.083,70	R. La Cana	Q. La Laja
				Q. Chivati
				Q. Chapa
Río Pesca	30,9	21.868,90	R. Pesca	R. Pesca
Río Tota	19,35	16.440,10	R. Tota	R. Tota
				R. Moniquirá
Río Chiquito	13,90	15.654,7	Chiquito	Canal Venecia
				Q. Tunavita
				R. Vargas
Río Sotaquirá	11,10	13.961,1	Sotaquirá	R. Ocusa
				R. Suavita
Río Surba	19,26	8.663,2	Surba	Q. Becerras
				Q. Carizas
				Tibasosa
				Q. El Hogar
				Q. Buenavista
				Q. La Nutria
Río Chiticuy	12,44	11.079,5	Chiticuy	Q. Quaquina – R. Penitente
				Q. Bonza

				Q. Chamela
				Q. Las Torres
				NN
Río Salitre	14,68	6.912,2	Salitre	Q. El Chisme
				Q. Arena de drenaje
				Q. El Arenal
				Q. Medina
				Q. El Espinal
				Q. Maldita
				Q. Las Águilas
Río Chicamocha	62,46	36.444,7	Chicamocha	Q. Carvajal
				Q. El Rosal
				Q. El Totumo
				Q. Toibita
				Q. Del Ramo
				Canal Venecia

Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

**Figura 1. Unidades de trabajo de la Cuenca Alta del Río Chicamocha**



Fuente: (Corpoboyacá, 1994)

La Cuenca Alta del Río Chicamocha es considerada como la más importante del departamento. El área de la cuenca corresponde a 214.000 Has. Aproximadamente comprende 22 cabeceras municipales desde Tunja, Soracá, Motavita, Chivatá, Combita, Oicatá, Siachoque, Toca, Tuta,

Sotaquirá, Paipa, Duitama, Santo Rosa, Tibasosa, Firavitoba, Pesca, Iza, Nobsa, Tota, Cuítiva y Sogamoso. Cuenta con un una población promedio de 380.730 habitantes urbanos y 517.089 habitantes en total (Corpoboyacá, 2015).

La importancia de esta cuenca recae en que provee de agua a acueductos urbanos y rurales al departamento de Boyacá y además suministra agua para la industria y actividades agropecuarias. También es de gran relevancia porque el 70% de la población del departamento se encuentra asentada alrededor de la cuenca y los centros urbanos están en sus orillas. Sin embargo, las actividades agroindustriales y mineras han alterado las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de sus aguas haciéndolas no aptas para el consumo humano y en algunos sectores, presenta restricciones para usos agrícolas, por lo cual es necesaria la aplicación de tratamientos complejos para su potabilización y utilización (Corpoboyacá, 1994).

La Cuenca Alta del Río Chicamocha está formada por un altiplano y sus bordes, situados en la alta montaña de los Andes ecuatoriales de Colombia. Las depresiones generadas por el plegamiento de las rocas sedimentarias, elevadas a gran altitud por los procesos de la orogenia andina se convirtieron en lagos, que se fueron colmatando con los sedimentos provenientes de las cadenas montañosas de los bordes, transportados por el agua y la gravedad. Así se origina el paisaje actual de planicies de origen lacustre y fluvio-lacustre, rodeadas por cadenas de montañas en rocas sedimentarias con algunos cuerpos volcánicos en los alrededores de Paipa con un relieve de pendientes predominantemente suaves (Corpoboyacá, 2001). Como es habitual en los altiplanos, el clima de la cuenca se caracteriza por los bajos niveles de precipitación. La principal fuente de humedad, los vientos alisios provenientes del Oriente del país descargan la humedad en el flanco oriental de la cordillera. Después de pasar la divisoria de aguas con la cuenca el aire desciende, se calienta, reduciendo su humedad relativa y produciendo un efecto secante. Los bordes del altiplano son bastantes secos, lo cual supone unas limitaciones importantes para una utilización intensiva (Instituto Nacional de Adecuación de Tierras, 1994).

### *3.7.2. Precipitación en la Cuenca Alta del Río Chicamocha*

El análisis de la precipitación muestra que en la Cuenca Alta del Río Chicamocha se presenta una variabilidad espacial en la precipitación anual que en promedio es de 869 mm/año. A nivel de

subcuencas se identifica la mayor precipitación en el Río Surba con 1162.1 mm/año en la parte norte de la cuenca, extendiéndose hacia la zona noroeste.

**Tabla 6. Precipitación promedio anual para el período 1990-2014 en la Cuenca Alta del Río Chicamocha**

Subcuencas Hidrográficas	Precipitación Promedio Anual (mm)
<i>Río Chiquito</i>	809.70
<i>Río Chiticuy</i>	1054.20
<i>Quebrada El Aroma</i>	956.20
<i>Río Surba</i>	1162.10
<i>Quebrada Toibita</i>	1111.60
<i>Río Sotaquirá</i>	1226.90
<i>Río de Piedras</i>	1160.10
<i>Río Jordán</i>	774.30
<i>Río Tuta</i>	746.50
<i>Quebrada Honda Grande</i>	874.20
<i>Directos Alto Chicamocha</i>	879.60

Fuente: (Consortio POMCA, 2015)

### 3.7.3. Temperatura en la Cuenca Alta del Río Chicamocha

El comportamiento espacial de la temperatura de la cuenca está determinado principalmente por la relación entre la elevación y la temperatura, donde se estiman variaciones de 6°C cada 1000 m.s.n.m. en las épocas de baja precipitación y 6.2 °C cada 1000 m.s.n.m. en las épocas de alta precipitación, siendo 5.2 °C/año el menos valor para los páramos y 14.6 °C/año para las zonas con menor elevación.

### 3.7.4. Geología en la Cuenca Alta del Río Chicamocha

La Cuenca Alta del Río Chicamocha, está ubicada en la parte central de la Cordillera Oriental, la cual fue sometida a una serie de procesos tectónicos y estructurales en algunos momentos extensivos y en otros fueron de forma compresiva. Esta intensa actividad tectónica genera una gran complejidad estructural, en la cual se pueden identificar dos grandes fallas de carácter regional que limitan la cuenca: las Fallas de Boyacá y de Soapaga, directamente afectadas por fallas y otras estructuras plegamiento de carácter más local. Los principales lineamientos de falla en la zona son: la falla de Boyacá, la falla de Soapaga, el sistema de fallas de La Laguna, la falla de Pesca, la falla de Sotaquirá, la falla de Gámeza y la falla de Chivatá y las principales estructuras de plegamiento son: el sinclinal de Tunja, sinclinal de Los Medios, sinclinal de Cómbita, sinclinal

de Tota, sinclinal de San Miguel, sinclinal del Pilar, anticlinal de Motavita, anticlinal de Iza y el anticlinal de Chorrera.

### *3.7.5. Demografía en la Cuenca Alta del Río Chicamocha*

La Cuenca Alta del Río Chicamocha tiene la problemática de ser la más conflictiva en términos demográficos, dado que el 64% de la totalidad de sus habitantes se encuentran asentados en los 21 municipios con 13 subcuencas que la conforman y que ocupan una extensión cercana al 30% de la totalidad que posee la cuenca. Además cuenta con escenarios de alta complejidad como son: El corredor Industrial de Boyacá, ecosistemas de subpáramo y páramo en extinción, uso inadecuado de áreas de recarga del acuífero de Tunja, cultivos inadecuados en las zonas altas, tímida participación ciudadana, acción institucional inadecuada y obras de saneamiento básico deficiente (Corpoboyacá, 2015).

## **4. ESTADO DEL ARTE**

Los desafíos en las ciudades son la razón por la cual fue desarrollada la metodología “City Blueprint”. Teniendo sus inicios en la evaluación de la primera ciudad, Rotterdam en 2011. El CBF es una evaluación de referencia de la sostenibilidad de la gestión del agua en un municipio u otra región. Este proyecto forma parte de la Asociación de Innovación de la Comisión Europea sobre el Agua y también está estrechamente vinculado a la Asociación Europea para la Innovación en Ciudades Inteligentes. Con este enfoque, se han evaluado 45 municipios y regiones, dentro de las cuales son Rotterdam, Dar es Salaam, Hamburgo, Estambul, Ho Chi Minh City, Ámsterdam y Melbourne (EIP Water, 2017). Los investigadores Kees van Leeuwen y Stef Koop, desde el KWR Watercycle Research Institute en Holanda desarrollaron la metodología “City Blueprint Framework” donde a través de la evaluación de 24 indicadores se puede tener certeza del estado real de las condiciones de sostenibilidad de una zona. Cabe resaltar que todas las aplicaciones anteriores han sido para ciudades o zonas urbanas.

### **4.1. Europa**

Una de las primeras aplicaciones que se hicieron de la metodología CBF se hizo en la ciudad de Rotterdam, Países Bajos en 2012, y hacia el año 2013 se aplicó en dos ciudades holandesas más (Maastricht y Venlo) y en Dar es Salaam en Tanzania. En estos tres sitios se hizo una recolección de datos a través de las entidades encargadas del uso de la información sobre el manejo de los recursos hídricos, gubernamentales y no gubernamentales. Después de esto se procedió a hacer en la evaluación donde se una distinción para las ciudades holandesas y la africana. Para las primeras, se encontró que tienen índices de sostenibilidad cercanos a los de Rotterdam por estar situadas en el mismo país y sobre las riveras de los mismos cuerpos hídricos. En el caso de la ciudad africana, se encontraron deficiencias en cuanto al componente de saneamiento e infraestructura poniendo de antemano una advertencia sobre la baja cantidad de agua que se está consumiendo y que esta oferta debe ser ampliada en un futuro cercano (Van Leeuwen & Chandy, 2013).

### **4.2. América del Norte**

La más reciente puesta en práctica de la metodología CBF se hizo con el fin de determinar el manejo hídrico de las zonas urbanas y la gobernabilidad en seis ciudades en los Estados Unidos: Nueva York, Boston, Milwaukee, Phoenix, Portland y Los Ángeles, donde se aplicaron los dos marcos conocidos BCI y el TPI y además se le incluyó un tercero, “The Water Governance Capacity Framework (CBF)”, el cual proporciona un marco de referencia para identificar las barreras y oportunidades para desarrollar la capacidad de gobernanza, sin embargo, cabe resaltar que sólo la ciudad de Nueva York se le aplicó el CBF, las otras cinco ciudades fueron evaluadas bajo los otros dos indicadores (BCI y TPI). La preferencia en la escogencia de las ciudades dependió del tamaño de la población, el acceso a la información, la variación en su clima y la cultura (Feingold, Koop, & Van Leeuwen, 2018).

#### **4.3. América del Sur**

En Colombia, existe una primera aproximación al trabajo de indicadores de sostenibilidad ambiental, realizado por el Departamento de Planificación Nacional, que comenzó a trabajar un sistema (1996-1997) de acuerdo al modelo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), modificado para las necesidades particulares del Departamento de Planificación, y bajo un acuerdo de cooperación con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (Quiroga, 2001). Sin embargo todos los esfuerzos que se han realizado en este tema aún son prematuros en avance y en aplicación para el país.

#### **4.4. Asia**

En el continente asiático se hizo el mismo estudio para Ciudad Ho Chi Minh, la cual es la más grande de Vietnam y la más vulnerable a inundaciones como resultado de una subsidencia del suelo, alta pluviometría y por el cambio climático. Al aplicar la metodología se pudo establecer que dentro de los problemas más serios que tiene la ciudad sobre agua ocurren por la alta contaminación y la sobreexplotación de las reservas subterráneas. Por ejemplo el caso de estudio para Ho Chi Minh City fue sólo una muestra para desarrollos similares, los cuales están tomando lugar en Beijing, Shanghái, Manila y Bangkok, siendo objeto de grandes desafíos en la gestión integrada de recursos hídricos (Van Leeuwen, Dan, & Dieperink, 2015).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Caracterización del Sistema**

Se trabajó con un estudio de caso específico, como lo es la Cuenca Alta del Río Chicamocha, en donde se realizó una observación en bases de datos desde la Corporación Autónoma Regional de Boyacá teniendo en cuenta estudios anteriores de la cuenca, en los que se precisen datos de demografía, condiciones sociales, económicas, ambientales de la población de la zona.

### **5.2. Metodología “City Blueprint Framework”**

La metodología usada en este trabajo consistió esencialmente en revisión de literatura y de documentos de los diferentes aspectos relacionados con la historia y la aplicación proyectos de manejo del recurso hídrico, visto desde el punto de sostenibilidad del sistema. Dentro de esta misma estrategia se revisó documentación sobre políticas internacionales de gestión del agua asociadas a eventos internacionales relacionados con el tema, además de las metodologías que permiten la evaluación la sostenibilidad, especialmente en Europa, lugar que ha sido precursor de este tema y aún más en la metodología CBF, la cual, después de la revisión bibliográfica resultó ser la más óptima con el fin de aplicar los instrumentos de manejo del agua en cada territorio.

El City Blueprint Framework es una metodología base para el gestión integrada de recursos hídricos, la cual ha sido aplicada en 45 ciudades (H.A. Koop & J. Van Leeuwen, 2015), principalmente en Europa, donde a través de un rápido escáner se evalúa el estado de sostenibilidad de la ciudad dando como derivación un diagrama de araña donde están los resultados de los indicadores. El CBF permite la comparación de los resultados con otras ciudades y se divide en dos marcos separados, un marco de Tendencias y Presiones (TPF) por sus siglas en inglés “Trends and Pressures Framework” y el CBF.

Las “Tendencias y Presiones” proporcionan un contexto más amplio pero suplementario al CBF, compuesto por 12 indicadores (Tabla 7) que son igualmente distribuidos de acuerdo a las tres líneas de acción: ambiental, social y económico. De esta manera, el TPF puede crear conciencia sobre los temas que mayor dificultad u oportunidad representan para la GIRH.

**Tabla 7. Resumen del Marco Tendencias y Presiones (TPF)**

Objetivo	Evaluación del Desempeño de la Sostenibilidad de la GIRH	
Marco conceptual	Presiones sociales	Tasa de urbanización
		Carga de enfermedad
		Tasa de educación
		Estabilidad política
	Presiones ambientales	Riesgo de inundación
		Escasez de agua
		Contaminación de agua
		Mapa de riesgos de calor
	Presiones económicas	Presión económica
		Tasa de desempleo
		Tasa de pobreza
		Tasa de inflación
Datos	Datos públicos o provistos por parte de autoridades	
Calificación	<b>0,00- 0,50:</b> No afecta <b>0,50-1,50:</b> Afectación baja <b>1,50-2,50:</b> Afectación media <b>2,50-3,50:</b> Si afecta <b>3,50-4,00:</b> Afectación alta	
Puntaje general	Se hace la media aritmética de los 12 indicadores. Los indicadores calificados de entre 3 o 4 puntos son el mayor interés.	

Fuente: (Van Leeuwen & Chandy, 2013)

El CBF (Tabla 8) revela a primera vista dónde se encuentran los puntos fuertes y débiles de una zona y puede servir como el primer paso clave en la planificación estratégica a largo plazo para hacer que las ciudades sean sostenibles y conscientes del agua. Además es una herramienta interactiva fácil de entender de la que se generan estrategias decisivas, donde a través de las experiencias con otras ciudades se puede generar un intercambio de información para aprender importantes lecciones de otras ciudades donde ya se han implementado las mejores prácticas. La plataforma City Blueprint se está expandiendo con en la actualidad, a 57 ciudades en 30 países diferentes (Van Leeuwen & Koop, 2015). Las ciudades con muchas presiones o con un TPI alto son ciudades con puntajes de desempeño BCI bajos, con condiciones de desafíos hídricos más serios.

**Tabla 8. Resumen del Marco City Blueprint Framework (CBF)**

Objetivo	Evaluación del estado actual de la GIRH
Marco conceptual	24 indicadores divididos en 8 categorías: Seguridad del agua Calidad de agua Agua potable Saneamiento Infraestructura Solidez climática Biodiversidad y atractivo Gobernanza
Datos	Datos públicos o provistos por parte de autoridades
Calificación	<b>0-2:</b> Afectación alta <b>2-4:</b> Si afecta <b>4-6:</b> Afectación media <b>6-8:</b> Afectación media <b>8-10:</b> No afecta
Puntaje general	Se hace la media geométrica de los 24 indicadores. Los indicadores calificados de entre 3 o 4 puntos son el mayor interés.

Fuente: (Van Leeuwen & Chandy, 2013)

**Tabla 9. Indicadores del City Blue Index**

Indicador	Descripción
<b>1. Seguridad del Agua</b>	
Huella hídrica total	Volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por la comunidad
Escasez de agua	Relación entre la huella hídrica total y los recursos hídricos renovables totales
Autosuficiencia hídrica	Relación entre la huella hídrica interna y la total. La autosuficiencia es del 100% si toda el agua necesaria está disponible y se toma desde su propio territorio
<b>2. Calidad de Agua</b>	
Calidad de agua superficial	Evaluación de la calidad del agua preferiblemente basada en estándares internacionales para DBO y microcontaminantes orgánicos/inorgánicos
Calidad de agua subterránea	Evaluación de calidad preferiblemente basada en estándares internacionales, por ej. riesgos microbianos, nutrientes, DBO y microcontaminantes orgánicos/inorgánicos
<b>3. Agua Potable</b>	
Suficiente para beber	Porcentaje de la población de la población, con servicio de suministro de agua potable
Fugas en el sistema de agua	Porcentaje de agua perdida en el sistema de distribución
Eficiencia del agua	Evaluación de la amplitud de las medidas para mejorar la eficiencia del uso del agua
Consumo	Consumo doméstico de agua per cápita (litros/día)

Calidad	Porcentaje de agua potable que cumple con las directrices de calidad del agua de la OMS o la Directiva de la UE sobre agua potable
<b>4. Saneamiento</b>	
Saneamiento seguro	Porcentaje de población de la ciudad atendida por recolección y tratamiento de aguas residuales
Calidad de lodos	Porcentaje de lodo de aguas residuales que se puede usar de forma segura en la agricultura a partir de microcontaminantes orgánicos/inorgánicos
Eficiencia de energía	Evaluación de la exhaustividad de las medidas para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales
Recuperación de energía	Porcentaje de aguas residuales tratadas con técnicas para generar y recuperar energía
Recuperación de nutrientes	Porcentaje de aguas residuales tratadas con técnicas para recuperar nutrientes, especialmente fosfato
<b>5. Infraestructura</b>	
Mantenimiento	Porcentaje de infraestructura para la recolección, distribución y tratamiento de aguas residuales menores de 40 años
Separación de agua residual y agua pluvial	Porcentaje de separación de las infraestructuras para la recolección de aguas residuales y aguas pluviales
<b>6. Solidez Climática</b>	
Compromisos de las autoridades locales con el cambio climático	Evaluación de cuán ambiciosas y comprehensivas son las estrategias y los compromisos reales con respecto al cambio climático
Medidas de adaptación al cambio climático	Evaluación de las medidas adoptadas para proteger a los ciudadanos contra la inundación y la escasez de agua, incluido el drenaje sostenible
Edificios resistentes al clima	Evaluación de la eficiencia energética para la calefacción y la refrigeración, incluida la energía geotérmica
<b>7. Biodiversidad y Atractivo</b>	
Biodiversidad	Biodiversidad de los ecosistemas acuáticos según la DMA (Directiva Marco del Agua)
Atractivo	Agua que respalda la calidad del paisaje urbano medida por el sentimiento de la comunidad dentro de la ciudad
<b>8. Seguridad del Agua</b>	
Gestión y planes de acción	Medida de los compromisos locales y regionales de adaptación, multifuncional, infraestructura y diseño para SWC, como lo demuestra la ambición de los planes de acción y los compromisos reales
Participación pública	Proporción de personas que se ofrecen como voluntarios para un grupo u organización como una medida de la fortaleza de la comunidad local y la disposición de los residentes para participar en actividades para las cuales no reciben remuneración.

Fuente: (Van Leeuwen & Chandy, 2013)

Dentro de la misma metodología el autor muestra una categorización de los BCI (Tabla 10) con el fin de que la calificación de los indicadores sea de forma generalizada y con los mismos parámetros de evaluación.

**Tabla 10. Categorización de la GIRH basada en el análisis del BCI**

<b>Puntaje BCI</b>	<b>Categorización de GIRH</b>
<b>Regiones que Carecen de Servicios Básicos de Agua</b>	
<b>0 – 2</b>	El acceso al agua potable de calidad es suficiente y el acceso a instalaciones de saneamiento son insuficientes. Por lo general, la contaminación del agua es alta debido a la falta de Tratamiento de aguas residuales. La producción de desechos sólidos es relativamente baja, pero sólo se recoge parcialmente y, si se recolecta, se coloca casi exclusivamente en vertederos. El consumo de agua es bajo, pero las fugas del sistema de agua son altas debido a los graves déficits de inversión en infraestructura. Los servicios básicos de agua no se pueden ampliar ni mejorar debido a la rápida urbanización. Las mejoras se ven obstaculizadas debido a la capacidad de gestión y las lagunas de financiación
<b>Regiones Derrochadoras</b>	
<b>2 – 4</b>	Los servicios básicos de agua se cumplen en gran medida, pero el riesgo de inundación puede ser alto y el tratamiento de aguas residuales está mal cubierto. Con frecuencia, sólo se aplica una porción primaria y una pequeña parte del tratamiento de aguas residuales secundario, lo que lleva a una contaminación a gran escala. El consumo de agua y las fugas de infraestructura son altos debido a la falta de conciencia ambiental y mantenimiento de la infraestructura. La producción de desechos sólidos es alta y los desechos se vierten casi por completo en los vertederos. La gobernabilidad es reactiva y la participación de la comunidad es baja.
<b>Regiones Eficientes en Agua</b>	
<b>4 – 6</b>	Ciudades que implementan soluciones tecnológicas centralizadas y bien conocidas para aumentar la eficiencia del agua y controlar la contaminación. La cobertura secundaria de tratamiento de aguas residuales es alta y la proporción de tratamiento de aguas residuales terciario está aumentando. Las tecnologías eficientes en agua se aplican parcialmente, las fugas de infraestructura se reducen sustancialmente pero el consumo de agua sigue siendo alto. La recuperación de energía de tratamiento de aguas residuales es relativamente alta, mientras que la recuperación de nutrientes es limitada. Tanto el reciclaje de residuos sólidos como la recuperación de energía se aplican parcialmente. Estas ciudades suelen ser vulnerables al cambio climático e inundaciones por drenaje, debido a estrategias de adaptación deficientes, separación limitada de aguas pluviales y bajas proporciones de superficie verde. La gobernanza y la participación de la comunidad han mejorado.
<b>Ciudades Eficientes en el Uso de Recursos y Adaptables</b>	
<b>6 – 8</b>	Las técnicas de tratamiento de aguas residuales para recuperar energía y nutrientes a menudo se aplican. El reciclaje de desechos sólidos y la recuperación de energía están ampliamente cubiertos, mientras que la producción de desechos sólidos aún no se ha reducido. Las técnicas eficientes

	<p>en agua se aplican ampliamente y el consumo de agua se ha reducido. La adaptación climática en la planificación urbana se aplica incorporación de infraestructuras verdes y separación de aguas pluviales. Se establecen iniciativas integrales, centralizadas y descentralizadas, así como también planificación a largo plazo, participación comunitaria e iniciativas de sostenibilidad para hacer frente a los recursos limitados y al cambio climático.</p>
<b>Regiones conscientes del Agua</b>	
<b>8 - 10</b>	<p>No hay puntaje BCI que esté dentro de esta categoría hasta el momento. Estas ciudades aplican recursos completos y recuperación de energía. No hay puntaje BCI que esté dentro de esta categoría hasta el momento. Estas ciudades aplican la recuperación total de recursos y energía en su tratamiento de aguas residuales y tratamiento de desechos sólidos, integran totalmente el agua en la planificación urbana, tienen infraestructuras multifuncionales y adaptables, y las comunidades locales promueven la toma de decisiones y el comportamiento integrado y sustentable. Las ciudades son en gran parte autosuficientes en agua, atractivas, innovadoras y circulares mediante la aplicación de múltiples (de) soluciones centralizadas. En su tratamiento de aguas residuales y tratamiento de desechos sólidos, integran completamente el agua en la planificación urbana, tienen infraestructuras multifuncionales y adaptables, y las comunidades locales promueven la sostenibilidad toma de decisiones y comportamiento integrados. Las ciudades son en gran medida autosuficientes en agua, atractivas, innovadoras y circulares mediante la aplicación de múltiples (de) soluciones centralizadas.</p>

Fuente: (Feingold, Koop, & Van Leeuwen, 2018)

### **5.3. Estrategias de Mitigación.**

Las estrategias de mitigación se fundamentan en la evaluación de los indicadores de la metodología, los cuales dan cuenta de las falencias profundas de la cuenca como sistema, las cuales estarán enmarcadas dentro del principio de políticas ambientales teniendo en cuenta a la autoridad ambiental.

## 6. RESULTADOS

La evaluación de los ítems se hizo de forma cualitativa para luego proceder a valorarlas cuantitativamente según la escala de medición del indicador como se explica en la Tabla 8.

### 6.1. Indicadores del City Blueprint Framework

#### 6.1.1. Seguridad del Agua

##### a) Huella Hídrica Total

La huella hídrica se relaciona con el volumen de agua usado para realizar un proceso de tipo antrópico el cual no retorna a la cuenca de donde fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original (IDEAM, 2015; Tolón, Lastra, & Fernández, 2013).

**Tabla 11. Huella hídrica por subzona hidrográfica**

Subzona Hidrográfica	Huella Hídrica Mm <sup>3</sup> /Año	Porcentaje Nacional
<i>Río Yaguará y Río Iquirá</i>	79.10	26.60
<i>Alto Sinú – Urrá</i>	68.80	23.10
<i>Río Prado</i>	18.50	6.20
<i>Río Bogotá</i>	17.30	5.80
<i>Río Porce</i>	11.30	3.80
<i>Río Guavío</i>	10.00	3.40
<i>Río Garagoa</i>	4.50	1.50
<b><i>Río Chicamocha</i></b>	<b>2.10</b>	<b>0.70</b>
<i>Río La Miel (Samaná)</i>	0.60	0.20

Fuente: (IDEAM, 2015)

##### b) Escasez del Agua

El cálculo del índice de escasez indica que existe suficiente cantidad de agua para realizar las actividades que se desarrollan en la cuenca (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006) el cual se hizo de acuerdo a la metodología establecida en la Resolución Número 0865 del 22 de Julio de 2004. No obstante, al no existir datos confiables se evaluó la oferta hídrica superficial, obteniendo que en general, y de acuerdo con la interpretación del Índice de Escasez planteado en la “Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial” (IDEAM, 2004). La Cuenca Alta del Río Chicamocha no presenta problemas de disponibilidad del recurso hídrico.

### c) Autosuficiencia Hídrica

La autosuficiencia hídrica se mide hallando la relación entre la huella hídrica total de la subzona hidrográfica y la huella hídrica total del área hidrográfica (Van Leeuwen & Chandy, 2013). Cabe resaltar que el área hidrográfica a la que pertenece el Río Chicamocha es el Magdalena Cauca, la cual tiene una huella hídrica de 7.30 Mm<sup>3</sup>/año representando el 68.60% de la huella hídrica nacional y para el Río Chicamocha es del orden de 2.10 Mm<sup>3</sup>/año. Siendo este último valor inferior a la huella hídrica del área hidrográfica se determina que la autosuficiencia es del 100% porque el agua que es necesaria para las actividades antrópicas está disponible y es tomada del propio territorio.

#### 6.1.2. Calidad del Agua

##### a) Calidad de Agua Superficial

La Corporación Autónoma Regional de Boyacá, en su intento de ser partícipe de la descontaminación de la Cuenca Alta del Río Chicamocha ha realizado varias campañas de monitoreo de calidad del recurso hídrico desde el 2015 a 2017. Además generó el proyecto de “Redes de monitoreo de calidad y cantidad del recurso hídrico”, en donde se tienen en cuenta diferentes parámetros estudiados en tiempo real a través de la plataforma MAIGRAI. Es así que se instalaron a lo largo de la cuenca 15 estaciones automáticas (Tabla 12) las cuales tienen la función de que conectadas al servidor ubicado en las oficinas de Corpoboyacá envía datos en tiempo real del estado de la calidad y cantidad de agua superficial que existe en el cauce del río desde Tunja en el barrio Arboleda pasando por varios municipios como Paipa (Figura 2) hasta llegar al municipio de Soatá.

**Tabla 12. Estaciones de calidad y cantidad del recurso hídrico en la Cuenca Alta del Río Chicamocha**

Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud
<i>Estación Arboleda</i>	Tunja	5°34'19,51741" N	73°19'54,08094" W	2699.67
<i>Estación PTAR</i>	Oicatá	5°35'01,49202" N	73°19'13,84277" W	2651.315
<i>Estación Playa Abajo</i>	Tuta	5°41'57,87925" N	73°14'44,98517" W	2586.269
<i>Estación Vereda Agua Blanca</i>	Tuta	5°40'13,35757" N	73°13'19,87149" W	2584.462

<i>Estación Confluencia Tuta - Chicamocha</i>	Tuta	5°42'28,88036" N	73°13'20,66605" W	2563.152
<i>Estación ElectroSochagota</i>	Paipa	5°45'32,62451" N	73°09'38,67526" W	2526.505
<i>Estación Descarga GENSA</i>	Paipa	5°46'20,11574" N	73°07'36,38992" W	2516.782
<i>Estación Compuerta Lago Sochagota</i>	Paipa	5°46'06,70959" N	73°06'53,04495" W	2515.225
<i>Estación Vía Pantano de Vargas</i>	Paipa	5°46'23,97588" N	73°04'18,59923" W	2511.402
<i>Estación Vereda Agua Tendida</i>	Duitama	5°47'05,14118" N	73°01'19,36372" W	2507.888
<i>Estación Acerías Paz del Río</i>	Corrales	5°46'08,28099" N	72°52'00,49298" W	2497.344
<i>Estación El Molino</i>	Tópaga	5°47'23,18761" N	72°48'49,66640" W	2506.266
<i>Estación Puente Acerías</i>	Paz Del Río	5°59'17,70461" N	72°44'35,47147" W	2228.326
<i>Estación Puente Pinzón</i>	Soatá	6°19'22,51374" N	72°38'54,33513" W	1376.876
<i>Estación Entrada Lago Sochagota</i>	Paipa	5°45'29,183" N	73°07'7,071" W	2517.284

Fuente: Autor, 2018

**Figura 2. Estación automática - Descarga GENSA**



Fuente: Autor, 2018

Para el año 2015, en los distintos muestreos hechos se determinaron que los parámetros como: pH, oxígeno disuelto, turbiedad, nitrógeno amoniacal, sulfatos, fenoles, grasas y aceites, tensoactivos, níquel, plomo, cromo, cianuro y coliformes fecales, superan los valores admisibles en los puntos de muestreo (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2015) para la norma ambiental vigente (Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1984).

Además se tuvo en cuenta dentro del proceso de control de la calidad del recurso hídrico de la cuenca, el Índice de Calidad del Agua (ICA) a través de la metodología del IDEAM (IDEAM, 2010), con datos obtenidos de los reportes generados por las estaciones automáticas, dando como resultado lo presentado en la Tabla 13 y 14. En el 2017, se establecieron los usos para el que está destinada la cuenca, siendo estos, el uso agrícola, pecuario y consumo humano o uso doméstico y para este último, es necesario realizar un tratamiento convencional debido a la presencia de coliformes totales reportados para las estaciones evaluadas.

**Tabla 13. ICA<sub>5</sub>**

ICA Promedio	Calificación
0.329772254	Mala
0.370366878	Mala
0.397897993	Mala
0.305132896	Mala
0.467359325	Mala
0.474401652	Mala
0.507214698	Regular
0.475391206	Mala
0.519665685	Regular
0.485305658	Mala
0.506557966	Regular
0.475394543	Mala
0.389382581	Mala
<b>ICA<sub>5</sub></b>	<b>0.43875718</b>
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>Mala</b>

Fuente: Autor, 2018

**Tabla 14. ICA<sub>6</sub>**

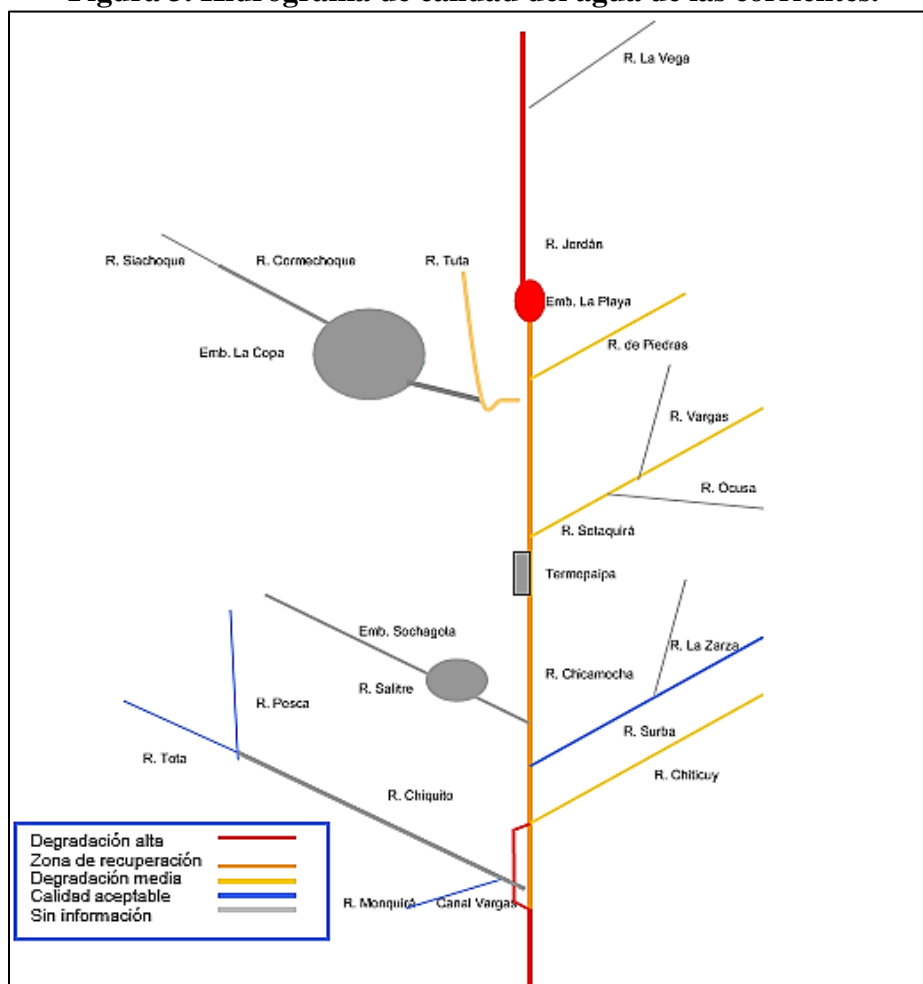
ICA Promedio	Calificación
0.343137309	Mala
0.376366878	Mala
0.394368581	Mala
0.344531062	Mala
0.495265004	Mala

0.453010816	Mala
0.548645369	Regular
0.504340937	Regular
0.659699659	Regular
0.543392436	Regular
0.562155286	Regular
0.504344273	Regular
0.407675264	Mala
<b>ICA<sub>6</sub></b>	<b>0.47207176</b>
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>Mala</b>

Fuente: Autor, 2018

Para lo cual, se obtiene una calificación “Mala” en los dos índices de calidad de agua para cinco y seis variables, y ya que esto es una premisa fundamental para la sostenibilidad de la cuenca, se valora como “0”.

**Figura 3. Hidrograma de calidad del agua de las corrientes.**



Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

En la figura 3 se puede observar cómo es el trascurso de la calidad del agua desde el río la Vega en Tunja, en donde hasta la primera parte antes de llegar al Embalse La Playa, el nivel de degradación es alto, además las corrientes siguientes son de degradación media con una zona de recuperación en el cauce principal.

#### b) Calidad de Agua Subterránea

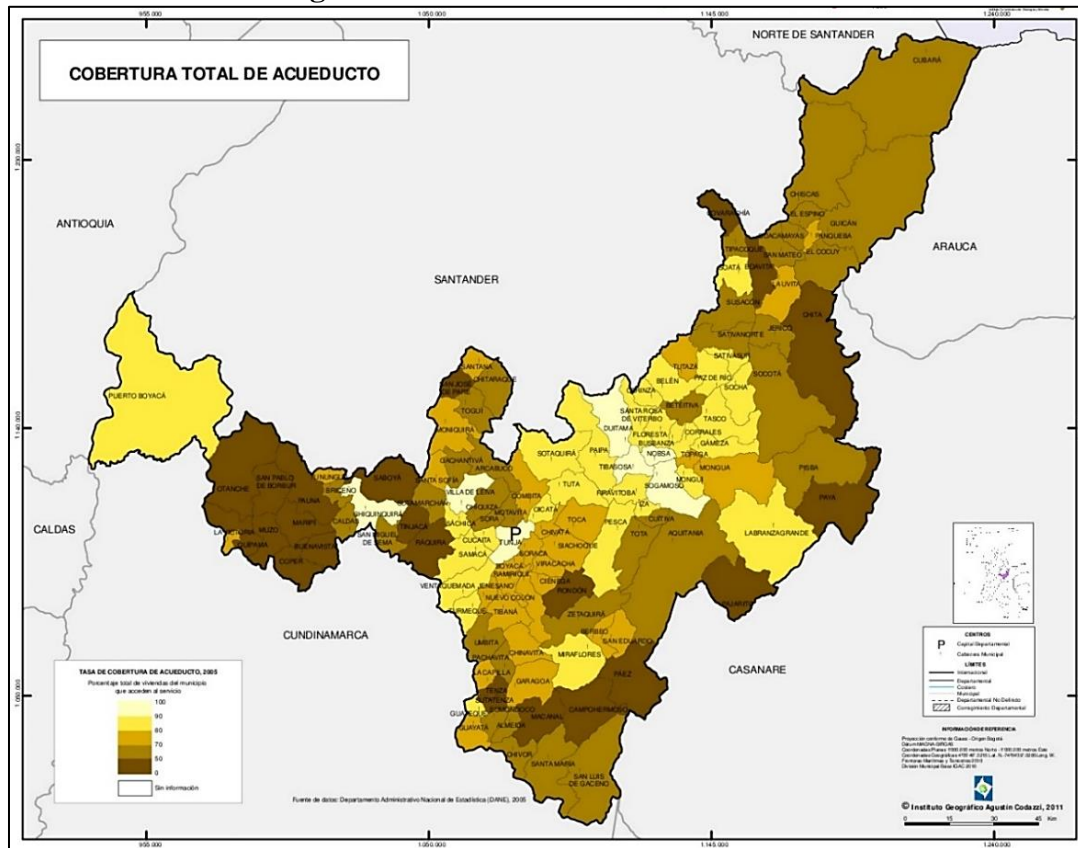
En Duitama debe haber un mínimo de 14 pozos profundos, la mayoría de los cuales pueden extraer caudales entre 5 y 50 l/s. Se estima que del acuífero principal se extrae un volumen anual del orden de 2.000.000 de metros cúbicos. La información obtenida en estudios previos, indica que las características del acuífero son tales que no posee recarga y por lo tanto, bajo el actual régimen de explotación, no se garantiza un aprovechamiento sostenible del agua subterránea, lo cual hace prever una crisis en el futuro suministro de agua potable si se llega a afectar el acuífero aluvial por sobre explotación (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006).

### 6.1.3. Agua potable

#### a) Suficiencia para Beber

En la década de los 90 se produjo una excepcional ampliación de la cobertura de agua potable en el departamento de Boyacá, lo que condujo a que el cubrimiento alcanzado se nivelara con la cobertura nacional. En relación con la extensión del sistema de alcantarillado ha sido más gradual, situándose por debajo del promedio nacional. Las fuentes abastecedoras de los acueductos municipales son primordialmente ríos y quebradas, siendo el principal cuerpo de agua el río Chicamocha y fuente abastecedora para Paipa, Duitama, Tibasosa y Nobsa, sin embargo los acueductos que suministran agua potable a los 22 municipios de la cuenca obtienen el recurso hídrico de aguas superficiales y de aguas subterráneas, mientras que la población rural recurre, ante las insuficiencias y deficiencias de los acueductos en el campo, a las fuentes superficiales, pozos, aljibes y manantiales. Contrastando con la Figura 4 y Tabla 15, se corrobora la información de que para los 22 municipios de la cuenca todos tienen un porcentaje de cobertura superior al 70%.

**Figura 4. Cobertura total de acueducto**



Fuente: (IGAC, 2011)

**Tabla 15. Población con acceso de agua en la cuenca del Río Alto Chicamocha**

Municipio	Cobertura Acueductos		
	Urbano	Rural	Promedio Total
Chivatá	74%	74%	74%
Cómbita	95%	80%	88%
Corrales	100%	100%	100%
Cuítiva	99%	99%	99%
Duitama	95%	53.50%	74%
Firavitoba	100%	40%	70%
Iza	97%	75%	86%
Motavita	86%	85%	86%
Nobsa	100%	100%	100%
Oicatá	92%	82%	87%
Paipa	92%	77.04%	85%
Pesca	99.70%	70.80%	85%
Santa Rosa de Viterbo	100%	72%	86%
Siachoque	95%	90%	93%
Sogamoso	99.80%	58.70%	79%
Sora	99%	35%	67%

Soracá	98%	75%	87%
Sotaquirá	100%	92%	96%
Tibasosa	98.60%	98.60%	99%
Toca	100%	90%	95%
Tópaga	98%	54%	76%
Tota	95%	80%	88%
Tunja	100%	98%	99%
Tuta	100%	80%	90%
<b>Promedios totales</b>	<b>96%</b>	<b>77%</b>	<b>87%</b>

Fuente: (Consortio POMCA, 2015)

De la tabla anterior se infiere que el porcentaje de población con acceso a agua potable es del 87%, siendo la cobertura, tanto en la zona urbana y rural, alta.

#### b) Fugas del Sistema de Agua

Según el RAS 2000, este valor no debe superar el 40% (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010), correspondiente a la diferencia entre el volumen de agua que entra a las plantas de tratamiento y el agua que sale. Dado que en solo un 10% del total de los acueductos censados tiene planta de tratamiento se considera que este porcentaje de pérdidas es bajo; si se tiene en cuenta además, que los administradores de los acueductos no tienen dentro de sus proyectos de inversión, la construcción de plantas de tratamiento. En este caso se establecen como pérdidas técnicas un 10% del total de la dotación neta máxima (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006), lo cual es un valor mínimo con respecto a la cantidad de agua mencionada.

#### c) Eficiencia del Agua

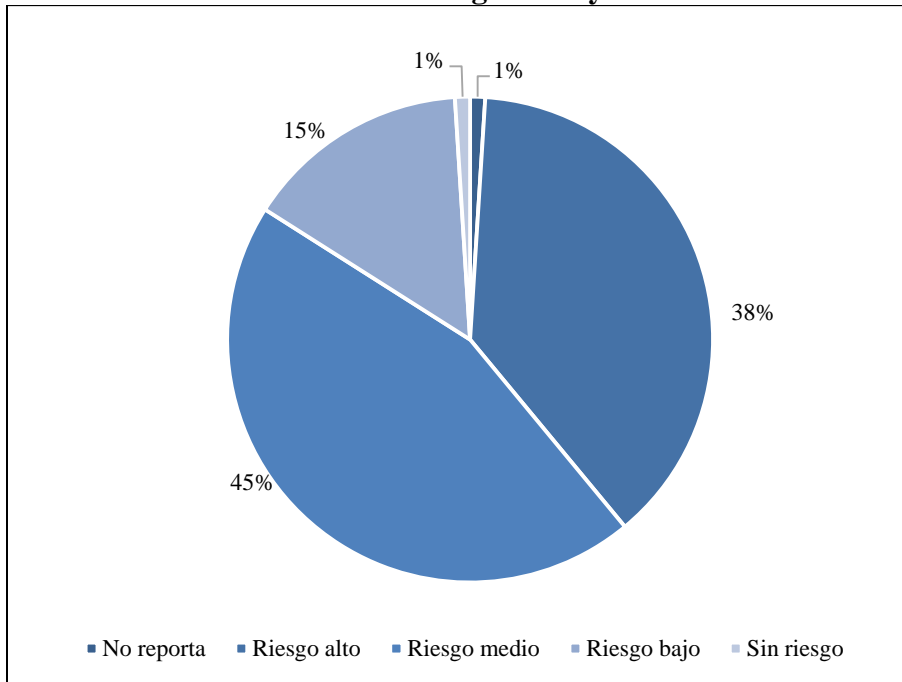
El sector de agua potable y saneamiento básico, presenta en los municipios de la cuenca contrastes en relación con las coberturas y calidad en las áreas de acueductos y alcantarillados. En acueducto, en particular para la zona urbana, la mayoría de los municipios presentan coberturas superiores al 50%, y algunos de ellos, tiene planta de tratamiento. Las redes de alcantarillado son inferiores a las de acueducto, aunque el cubrimiento de ellas no es menor al 59%. En el tratamiento de aguas residuales, se constata que los municipios realizan un tratamiento preliminar o primario y uno secundario. Sin embargo, queda pendiente aumentar coberturas y mejorar la calidad, para llegar a niveles del 100% (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006).

d) Consumo Doméstico de Agua Per Cápita

De acuerdo a la información obtenida de datos históricos de consumo, se obtuvo que se tiene una dotación neta mínima de 100 L/hab/día y una dotación máxima de 150 L/hab/día de acuerdo al nivel de complejidad “Bajo”. Dado que el uso principal que se da al recurso en estas zonas, es el uso residencial, se toma este como componente principal para la determinación de la demanda y se incluye un 5% del total de la dotación, para considerar los demás usos, como son: riego y abrevadero. Según las correcciones establecidas se tiene una dotación neta mínima de 99.75 L/hab/día y una dotación neta máxima de 150.1 L/hab/día (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006). Si se considera un promedio de 5 habitantes por vivienda, según la población total en la zona de estudio, se obtienen 5239 viviendas; lo que indica un consumo máximo por vivienda de 0.010 L/s/vivienda, para una dotación bruta de 184.5 L/Hab/día.

e) Calidad de Agua Según la OMS

**Gráfica 1. Distribución del nivel de riesgo en Boyacá de acuerdo con el IRCA**



Fuente (Vargas, 2014)

Para evaluar este ítem dentro de la metodología se hizo mediante los resultados del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), definido como el riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el estado de las características físicas, químicas y

microbiológicas del agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social, 2007), en donde al analizar los resultados de los IRCAs promedio de los municipios del departamento de Boyacá (Gráfica 1) reportados se encontró que en la mayoría de los municipios de la cuenca incluida Tunja, consumieron agua no apta para consumo humano con niveles de riesgo para la salud entre Bajo, Medio y Alto, según la Resolución 2115 de 2007.

**Tabla 16. Convención de colores para clasificación del IRCA**

Convención de Colores					
Sin Riesgo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Inviabile Sanitariamente	No reporta
0 – 50	5.1 – 14	14.1 – 35	35.1 – 80	80.1 – 100	

Fuente: (Vargas, 2014)

Es por ello que obtiene una calificación de “0” porque la calidad de agua potable consumible es en definitiva un riesgo para la salud humana y afecta directamente a la sostenibilidad de la cuenca.

#### 6.1.4. Saneamiento

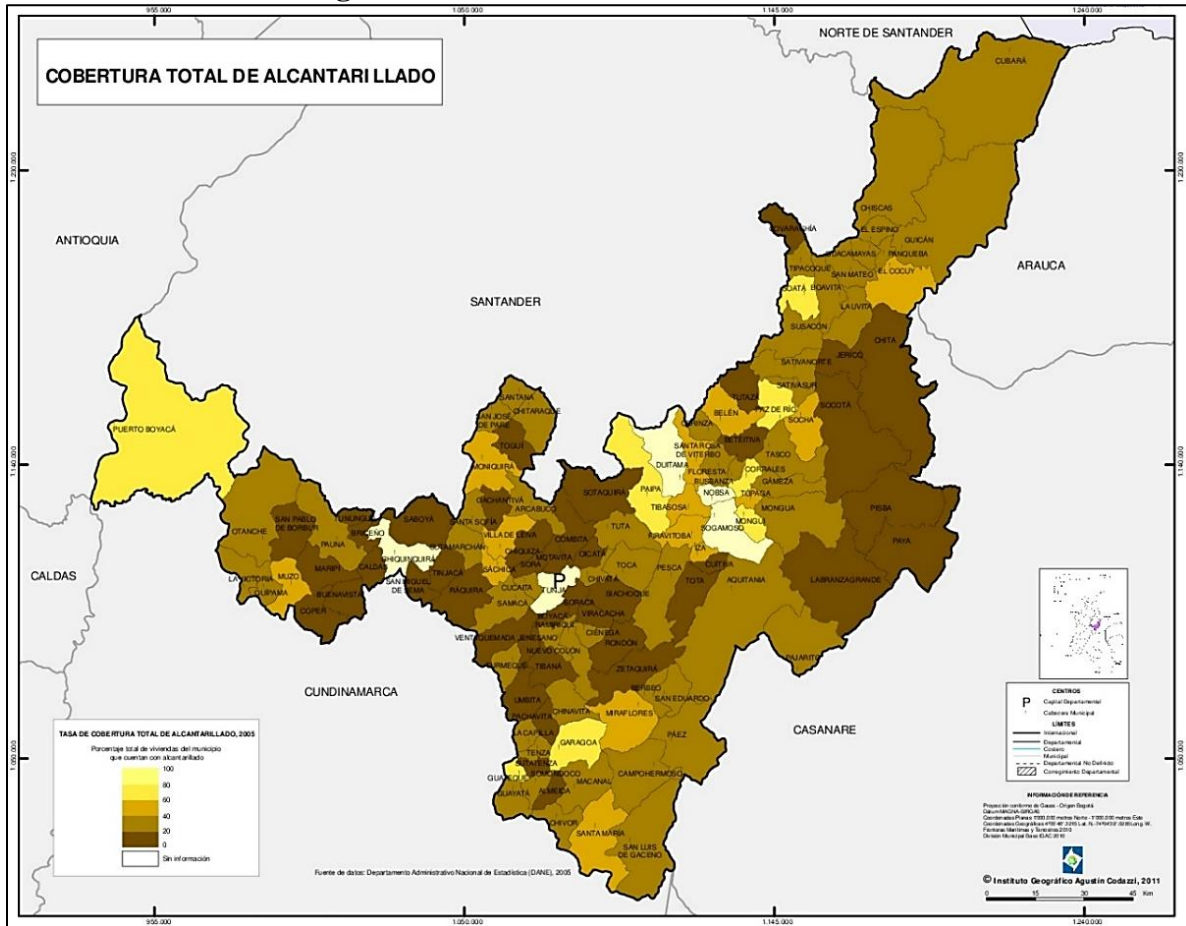
##### a) Saneamiento Seguro

Para el saneamiento se ve una situación mucho más crítica ya que de los 22 municipios que hacen parte de la jurisdicción de la cuenca muy pocos tienen una tasa de cobertura superior al 60% (Figura 5) lo cual dificulta el traslado de aguas residuales y a esto se le suma la ineficiencia en la puesta en marcha de la planta de tratamiento de Tunja, ubicada sobre el sector nororiental de la ciudad, la cual tiene como mayor objeto ayudar a la descontaminación de la Cuenca Alta del Río Chicamocha, el segundo más contaminado en el país, después del río Bogotá (El Espectador, 2015). La planta está estructurada básicamente por 3 módulos, los cuales tienen estructuras iguales con el fin de tratar un caudal de 120 litros por segundo.

En la ciudad de Sogamoso, con recursos de Corpoboyacá, del municipio, departamento y de la nación se avanza en la construcción de la PTAR para la ciudad, la cual se encuentra en ejecución cercana al 95% la construcción del primer módulo con una capacidad de 160 l/s con lo cual se pretende dar tratamiento a cerca del 50% de las aguas residuales de Sogamoso (ESPB, s.f.). El manejo de las aguas residuales de los centros urbanos está en condiciones deficientes pues sólo

Paipa cuenta con un tratamiento final de éstas. Las demás poblaciones, incluidas las ciudades de Tunja, Duitama, Sogamoso, Santa Rosa y Nobsa vierten las aguas residuales a los ríos que finalmente terminan en el Chicamocha, siendo las generadoras de los altos índices de contaminación del recurso hídrico de la cuenca.

**Figura 5. Cobertura total de alcantarillado**



Fuente: (IGAC, 2011)

La situación de las aguas residuales en los municipios es igualmente deficitaria dado que la mayoría de éstos las vierten en cultivos, potreros, caños, quebradas o ríos. Adicionalmente se da el hecho de que en los municipios el servicio de alcantarillado no cubre el 100% de las viviendas, lo que conlleva a que los hogares que están por fuera de este servicio viertan los desechos líquidos y excretas en los solares de las casas, siendo generadores de malos olores, de proliferación de animales como moscas y roedores, y en no pocas veces sean contaminantes de corrientes subterráneas (Cubillos, 2016). La construcción del indicador toma como referencia la población urbana, pues las plantas de tratamiento de aguas residuales se ubican en los centros urbanos. Las

ciudades que cuentan con tratamiento de aguas residuales son: Paipa, Nobsa y Motavita. Estas se caracterizan por baja concentración de población urbana. El indicador nos arroja un bajo porcentaje de población con tratamiento de aguas residuales, sólo alcanza al 4.4%. El cubrimiento en este frente es precario, pues como antes se afirmó la población es baja y de otra parte solo el 13% de los municipios cuentan con tratamiento de aguas residuales.

b) Calidad de los Lodos

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Tunja, existe un tanque de aireación (Tabla 17) dedicado a la conservación y obtención de los lodos, de donde se hace una descripción sobre el tiempo de retención, la profundidad de sedimentación y la tasa de desbordamiento, los cuales se encuentran dentro de los límites establecidos. En cuanto a la estructura, los pisos y paredes de la estructura se encuentran libres de fisuras y perforaciones, el sistema de recolección de lodos es amplio donde se garantiza la entrada de las volquetas y la fácil recolección del lodo por medio de la tubería.

**Tabla 17. Verificación parámetros del tanque de aireación - PTAR Tunja**

Parámetro	Valor	Valores Referencia	Tomado de	Unidad	Cumple
Tiempo de retención	4.0000	>6	RAS 2000	h	NO
Carga orgánica	0.5287	0.05 – 0.25	RAS 2000	KgDBO5/ Kg SSLVM/d	NO
Carga volumétrica	0.0107	<4	RAS 2000	KgDBO5/m <sup>3</sup> /d	SI
Edad de lodos	38.8651	15 – 40	RAS 2000	d	SI

Fuente: (Pineda, 2017)

**Tabla 18. Características del tanque de aireación - PTAR Tunja**

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	0.1850	m <sup>3</sup> /s
Geometría	Rectangular	-
DBO afluente	134.50	mg/L
SS afluente	212.00	mg/L
DBO efluente	40.35	mg/L
SS efluente	63.60	mg/L
Concentración sólidos totales lodo sed	15000	mg/L
Biomasa en el reactor	7151135.04	g SSV
	7151.1350	Kg SSV
Producción de lodo	715113.5040	g SSV
	715.1135	Kg SSV
Lodo seco	893.8919	Kg/d

Caudal de lodos de desecho	59.5928	m <sup>3</sup> /s
----------------------------	---------	-------------------

Fuente: (Pineda, 2017)

Con la implementación de la PTAR en el módulo dos de su totalidad 120 lt/s, del sistema UASB y Lodos activados con Aireación Extendida se beneficiarán de manera directa todos los habitantes del municipio de Tunja, así como todos los municipios que se encuentran ubicados en la parte baja de la cuenca del Río Chicamocha. Con el tratamiento se generarán valores de eliminación de la carga contaminante por encima del 90%, con una remoción por el orden de 397.648,83 kg/año de sólidos suspendidos totales y de 511,262.78 kg-año de DBO (ANLA, 2013).

#### c) Eficiencia Energética

Como anteriormente se mencionó, la PTAR – Oicatá es la única forma de modificar las características físicas, químicas, biológicas del río para evitar vertimientos de más carga contaminante al Chicamocha, por lo cual la eficiencia energética juega un papel fundamental en el funcionamiento de la planta por lo que para esta estructura se tiene un reactor MBR, tecnología que consiste en un reactor biológico integrado con un sistema de membranas (Ambrona, 2015) usada en España donde ha tenido mayor acogida esta tecnología, sin embargo, en el mundo existen más de 1,000 plantas con esta tecnología, que ofrecen una combinación de rendimiento, eficiencia energética, durabilidad, facilidad de uso y fiabilidad. En América Latina hay muchas plantas de MBR, algunas de éstas se encuentran en las ciudades de Campiñas Campos do Jordão y Sao José dos Campos muy cerca de Sao Paulo, en Brasil; y en Vallejo, Saltillo y Guadalajara para México (Pineda, 2017).

#### d) Recuperación de Energía

El porcentaje de aguas residuales tratadas con técnicas para generar y recuperar energías es nula (Orfertv, 2017) por lo cual la calificación para la recuperación de energía es de “0”.

#### e) Recuperación de Nutrientes

No existe recuperación de fosfato para la zona, sin embargo se realizan aportes de nutrientes a la producción agrícola, por cuestiones de un incremento en rendimiento de los cultivos de los campesinos asociado al aporte de nutrientes de las aguas del canal principal (Corpoboyacá, 2009). Es decir que el riego es la forma principal de reutilización de aguas residuales, ya que la

tecnificación de este procedimiento es lento y requiere de una adecuada gestión, en la que deben controlarse el contenido de micronutrientes, el nivel de salinidad, el contenido en micro nutrientes, entre otros. Además, se debe tener en cuenta que las aguas reutilizadas presentan cantidades significativas de Nitrógeno (N) y Potasio (P) que puede utilizarse como fertilizante en la agricultura. (Torres E. , 2009).

#### 6.1.5. Infraestructura

##### a) Mantenimiento

Recientemente, a través del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia se han hecho varias inversiones para aumentar la eficiencia de las estructuras de recolección, distribución y tratamiento de aguas residuales (Tabla 19).

**Tabla 19. Proyectos financiados por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia**

Cuenca Programa SAVER	Ciudad o Municipio	Nombre del Proyecto	Asignación de la Nación	Total Proyecto
Chicamocha	Tunja	Descontaminación río Chicamocha, Construcción de la PTAR de Tunja	\$4.580.764.387	\$ 13.158.235.225
	Sogamoso	Construcción de la PTAR – Primera etapa	\$ 3.270.027.529	\$ 8.350.424.612

Fuente: (Minvivienda, 2018)

Asimismo en la PTAR se dispone de dos desarenadores idénticos que trabajaran intercaladamente, con fines de mantenimiento (Pineda, 2017). Sin embargo la inversión debe ser más alta con respecto al área de la cuenca lo cual representa una afectación alta para conformar un sistema sostenible. La Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá adelantó procesos de impermeabilización de estructuras de concreto reforzado de la PTAR Sogamoso con el fin de evitar los anteriores imprevistos presentados cuando las aguas residuales y sus gases entraron en contacto con dicha estructura (Gobernación de Boyacá, 2017).

## b) Separación de Aguas Residuales y Pluviales

La situación de las aguas residuales en los municipios es igualmente deficitaria dado que la mayoría de éstos las vierten en las quebradas, ríos o hasta en los cultivos. Adicionalmente se da el hecho de que en los municipios el servicio de alcantarillado no cubre el 100% de las viviendas, lo que conlleva a que los hogares que están por fuera de este servicio viertan los desechos líquidos y excretas en los solares de las casas, siendo generadores de malos olores, de proliferación de animales como moscas y roedores, y en no pocas veces sean contaminantes de corrientes subterráneas (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006). Esto sumado a que no existe sistema de separación de caudales de aguas residuales y pluviales, lo que dificulta aún más el tratamiento de las descargas de aguas residuales de los municipios que existen en la Cuenca Alta del Río Chicamocha, donde la mayoría emiten sus efluentes de alcantarillado sanitario sin el adecuado tratamiento previo (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006).

Las aguas residuales resultantes de las actividades humanas incluyen residuos de origen doméstico, (excretas, aguas jabonosas, desechos sólidos, etc.), residuos líquidos industriales, residuos líquidos agrícolas y aguas lluvias que se evacúan por vía de las redes de alcantarillado, las cuales son vertidas a los ríos y quebradas de la cuenca del río Chicamocha.

### 6.1.6. *Solidez Climática*

## c) Compromisos de las Autoridades en el Cambio Climático

A través del proyecto “Formulación e implementación de las acciones para la adaptación a del cambio climático” en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, se hace un acompañamiento técnico y jurídico a los Municipios de la Jurisdicción en la implementación de acciones de prevención para afrontar los eventos causados por fenómenos naturales como incendios forestales, avenidas torrenciales, inundaciones y remoción en masa, así como aquellas para lograr la adaptación al cambio climático (Corpoboyacá, 2017).

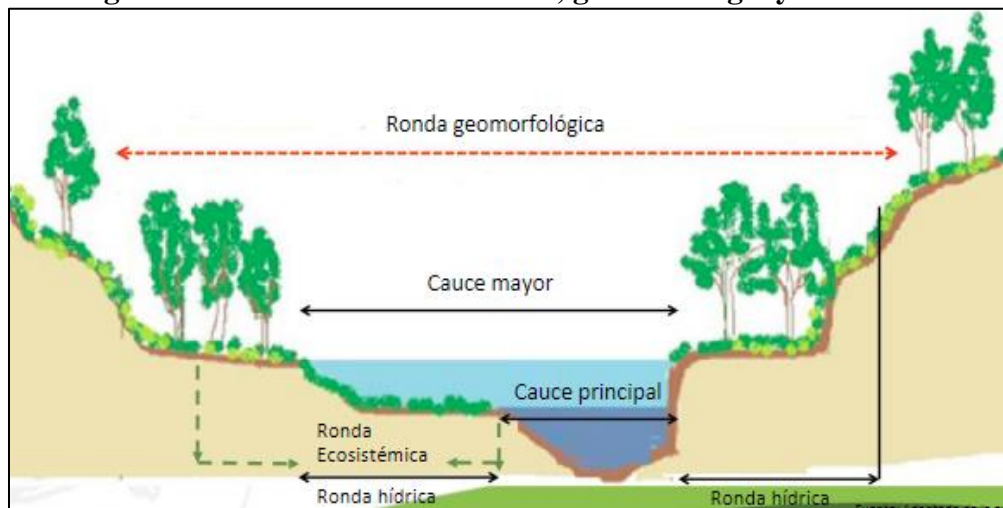
Además, a través de la Gobernación de Boyacá, se formalizó la Creación del Comité Intersectorial de Cambio Climático del departamento, espacio de interacción que vincula a los sectores público y privado, para trabajar en la formulación e implementación de un Plan Integral de Gestión; adoptar

medidas de mitigación y adaptación, a corto, mediano y largo plazo; es decir que sobre este indicador tiene una calificación de afectación baja de acuerdo a los esfuerzos de las autoridades.

#### d) Adaptación de Medidas al Cambio Climático

Para la cuenca se ha estado realizando el “Proyecto Cauce principal Río Chicamocha” en donde se supone la realización de estudios técnicos necesarios para definir la ronda de protección ambiental, la cota máxima de inundación y las alternativas de adecuación hidráulica en el cauce principal de la cuenta al del rio Chicamocha. Con el fin de prevenir sucesos como los ocurridos con la ola invernal de 2010 a 2012 que dejó como consecuencia más de 22917 familias afectadas, 860 viviendas destruidas y 12.126 viviendas averiadas. En esta consultoría se realizaron estudios hidrológicos para estimar el caudal asociado al promedio máximo de los últimos quince años; estudios topográficos generando modelos digitales de terrenos mediante tecnología LIDAR, batimetrías del cauce y levantamiento de estructuras hidráulicas mediante topografía convencional; estudios hidráulicos entre otros estudios, identificando las cotas máximas de inundación de 180 km para un periodo de retorno de 50 y 100 años (Consortio Río Chicamocha, 2017).

**Figura 6. Envoltente ronda hídrica, geomorfológica y ecostémica**



Fuente: (Consortio Río Chicamocha, 2017)

La implementación de estos estudios permitirá la identificación de las zonas de utilidad pública y las zonas de amenaza alta, media y baja por inundación a lo largo de toda la cuenca. Es importante

ver que se genera una afectación media por ser este, de los pocos proyectos con el fin de proteger a, la población de posibles inundaciones.

e) Edificios Resistentes al Clima

No existen estructuras en la cuenca que tengan eficiencia energética para calefacción y refrigeración, incluida la energía geotérmica, esto por cuestiones de falta de implementación e investigación de nuevas tecnologías en el país.

6.1.7. Biodiversidad y atractivo

a) Biodiversidad

En referencia a la fauna silvestre (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) el río Alto Chicamocha presenta una alta diversidad en especies, 43 especies de mamíferos, 116 especies de aves, 6 especies de reptiles, 4 de anfibios y 6 especies de peces. De la misma forma la cuenca cuenta con suficientes hábitats que pueden albergar estas especies. También cuenta con la implementación de áreas o ecosistemas protegidos en la región tanto de orden nacional, regional como municipal, con el fin de proteger la fauna (Consortio POMCA, 2015). Esto quiere decir que al ser tan amplia y variada la cantidad de especies de la cuenca la sostenibilidad debe ser alta por lo cual se valora como “Si afecta”.

**Tabla 20. Avifauna en las áreas de la Cuenca Río Alto Chicamocha**

Especie	Distribución Altitudinal	Nombre Vernáculo	Cobertura Vegetal	Tipo De Importancia	Nicho (Gremio) Trófico	Hábitos De Vida	Período De Actividad	Tipo De Registro
<b>Familia: Anatidae</b>								
Spatula discors	0-3500	Pato, totema	Lagunas	EM	Om	Sm	D	O
Anas andium	2500-4000	Totema, pato	Lagunas	LC	Om	Aq	D	En
Nomoxys dominicus	0-2800	Pato sabanero	Lagunas	LC	Om	Sm	D	En
Oxyura jamaicensis	2400-4000	Pato montañoero	Lagunas	EN	Om	Sm	D	O

Dendrocygna autumnalis	0-2600	Pato	Lagunas	LC	Om	Sm	D	En
<b>Familia: Tinamidae</b>								
Nothocercus julius	1800-3500	Tinamú	Coberturas arbóreas	LC	Fr, Hb	Sm	D	O
<b>Familia: Cracidae</b>								
Penelope montagnii	2200-3700	Pava Andina	Coberturas arbóreas	LC	Fr, Hb	A	D	En
<b>Familia: Odontophoridae</b>								
Colinus cristatus	0-2500	Perdíz	Herbazales	LC, ECN, C	Ga	T	D	O
<b>Orden: Podicipediformes</b>								
<b>Familia: Podicipedidae</b>								
Podilymbus podiceps	0-3200	Pato sabanero	Lagunas	LC	Om	Aq	D	En
<b>Familia: Ardeidae</b>								
Ardea alba	0-2800	Garza blanca grande	Lagunas	LC	Ps	Aq	D	O
Egretta caerulea	0-2800	Garza azul	Lagunas	LC	Ps	Aq	D	O
Bubulcus ibis	0-2200	Garza ganadera	Lagunas	LC	Om	Sm	D	O
Butorides striata	0-3000	Garcita gris	Lagunas	LC	Ps	Aq	D	O
<b>Familia: Rallidae</b>								
Rallus semiplumbeus	200-3000	Rascón andino	Lagunas	EE, EN	Om	T, Sm	D	En
Porzana carolina	0-3000	Polluela, Sora	Lagunas	LC, EM	Om	T, Sm	D	O
Neocrex erythrops	0-2000	Polluela	Lagunas	LC	Om	T, Sm	D	O
Porphyrio martinicus	0-2600	Calamoncillo Americano	Lagunas	LC	Om	T, Sm	D	En
Gallinula galeata	<3000	Polla gris	Lagunas	LC	Om	T, Sm	D	O
Gallinula melanops	2300-3000	Gallineta Pintada	Lagunas	CR	Om	T, Sm	D	En
Fulica americana	<3500	Focha Americana	Lagunas	LC	Om	T, Sm	D	O
<b>Familia: Charadriidae</b>								
Vanellus chilensis	0-3000	Alcaraván	Lagunas	LC	Om	T, Sm	D	O
Pluvialis squatarola	<3600	Chorlito Gris	Lagunas	LC, EM	Om	T, Sm	D	O
<b>Familia: Scolopacidae</b>								
Tringa solitaria	0-3500	Andarríos, Gaviotín	Lagunas	LC, EM	Om	Aq	D-CR	En
Gallinago nobilis	2800-4000	Agachadiza	Lagunas	NT	Om	Aq	D	En

Gallinago jamesoni	3000-4300	Polla de agua	Lagunas	LC	Om	Aq	CN	En
<p>Convenciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gremio trófico: Hb (herbívoro), Ga (Granívoro), Om (Omnívoro), Hm (hematófago), Ps (piscívoro),</li> <li>• Hábitos de vida: A (Arborícola), T (terrestre), Sm (semiacuático), Aq (acuático).</li> <li>• Período de actividad: D (diurno), CN (crepuscular-nocturno).</li> <li>• Tipo de registro: En (encuesta), O (observado).</li> </ul>								

Fuente: (Consortio POMCA, 2015)

#### b) Atractivo

En el caso del atractivo de la cuenca, se observa que las coberturas vegetales han sido fragmentadas a través del tiempo, lo que se refleja en paisajes completamente transformados como los observados en el municipio de Nobsa. A la fragmentación se sumaban las quemadas o talas que se realizaban para obtener terrenos que fueran productivos y amplios para generar cultivos y pastizales más extensos. También se ha transformado el paisaje por la expansión del casco urbano de municipios como Duitama y Sogamoso (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2005). El paisaje del río Jordán se encuentra en un 90% transformado o remplazado por edificaciones públicas y privadas. La población presenta un volumen significativo, con tasas de crecimiento también notables en el contexto de la Cuenca Alta del Río Chicamocha, lo que reduce el área agrícola y ganadera y, con ello aumenta la presión social sobre la poca cobertura vegetal nativa de bosque montano alto que existe alrededor de los cascos urbanos de los municipios (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2005), además de los malos olores de todo el río lo cual impide admirar las ofertas ambientales que ofrece el paisaje (Torres E. , 2009).

#### 6.1.8. Gobernanza

##### c) Gestión y Planes de Acción

El Plan de Ordenamiento (POMCA) de la Cuenca Alta del Río Chicamocha es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables y la única forma de establecer un diagnóstico, formulación, ejecución y evaluación de las políticas ambientales implementadas sobre la zona (Corpoboyacá, 2015), el cual ha sido desarrollado por el Consorcio Río Chicamocha desde el año 2005, en conjunto con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la

Universidad Nacional de Colombia. Además se le hizo una actualización para el 2015 donde se hizo una ampliación a la información de la población, la zona y las actividades propias de ésta (Corpoboyacá, 2016). Y con respecto a la metodología se califica con “Afectación media” ya que su puesta en marcha es reciente y desde la autoridad ambiental se deberían generar proyectos de este tipo en mínima escala posibilitando la apertura de nuevas problemáticas y asimismo nuevas soluciones que puedan ayudar a complementar la labor hecha en toda la cuenca.

#### d) Participación Ciudadana

A través del diagnóstico del POMCA del río Chicamocha se realizaron varios talleres donde se medía la participación de la ciudadanía, en los cuales participaron 408 personas de 832 que se convocaron, lo que significa que atendió la invitación el 49% de los convocados. Estos datos nos muestran que el promedio de personas asistentes por taller fue de 34 y el promedio de representantes de la comunidad por municipio fue de 18 personas. La participación en los talleres estuvo compuesta principalmente por cinco sectores: las juntas de acción comunal de barrios y veredas de donde asistieron 63 personas para un 15% del total; los representantes de junta de acueducto y distritos de riego con 57 personas, cifra equivalente a 13%; mientras tanto de las ONG y promotores ambientales comunitarios participaron 24 personas lo cual equivale solamente al 5%. La participación más alta provenía del sector educativo donde sumando estudiantes, directivos y profesores se reunieron 80 personas alcanzando un porcentaje de 19%. Esta cifra sólo fue superada por el sector institucional que sumaron 128 personas con un porcentaje de 31% del total. Del sector productivo se pudo identificar que participaron 18 personas. Otros sectores no definidos en los que se cuenta los independientes representan el 9%, con un total de 38 personas (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006). Siendo la cuenca una zona muy amplia, la participación de la población es baja pero se hace la distinción de que se tuvo la participación de varios sectores incluidos el educativo.

## **6.2. Tendencias y Presiones**

### *6.2.1. Indicador Social*

#### a) Tasa de Urbanización

Al cotejar los tamaños de población nucleada y no nucleada se observa una clara superioridad de la primera sobre la segunda en los 41 años de observación en el estudio (Tabla 21), y esto es consecuente con el rápido proceso de urbanización ocurrido en Colombia en el período de 1951 a 1964, cuando se pasó del predominio de la población rural al de la población urbana.

**Tabla 21. Distribución porcentual de la población no nucleada por Unidad de Trabajo de la Cuenca Alta del Río Chicamocha, 1964 – 2005**

Municipio	1964		1973		1985		1993		2005	
		% Respecto al Total No Nucleada de la Cuenca		% Respecto al Total No Nucleada de la Cuenca		% Respecto al Total No Nucleada de la Cuenca		% Respecto al Total No Nucleada de la Cuenca		% Respecto al Total No Nucleada de la Cuenca
Río Jordán	20.5	18.7	17.7	17.4	21.6	18.6	19.2	16.6	21.3	15.7
Río Piedras	2.0	1.9	2.4	2.4	2.7	2.4	2.7	2.3	2.7	2.0
Embalse La Copa	13.5	12.3	13.8	13.6	14.7	12.7	15.8	13.7	17.6	12.9
Río Tuta	4.9	4.5	5.3	5.2	5.6	4.9	5.3	4.6	5.6	4.2
Río Sotaquirá	3.5	3.2	3.3	3.3	4.0	3.5	4.4	3.8	4.8	3.6
Río Salitre	2.7	2.5	2.9	2.9	3.5	3.1	2.6	2.3	3.1	2.3
Cauce Río Chicamocha	20.7	18.9	20.2	19.8	26.0	22.4	23.7	20.5	27.5	20.2
Río Pesca	11.1	10.1	7.7	7.5	9.2	8.0	8.2	7.1	9.2	6.8
Río Tota	6.1	5.6	5.4	5.3	5.7	4.9	4.9	4.3	5.2	3.8
Río Chiquito	11.8	10.8	12.1	11.9	12.0	10.4	15.1	13.0	21.5	15.8
Río Surba	5.9	5.4	4.8	4.8	4.5	3.9	6.6	5.7	8.5	6.3
Río Chiticuy – Q. El Hato	6.8	6.2	5.9	5.9	5.9	5.1	7.1	6.2	8.7	6.4
CUENCA	110.2	100	102.0	100	116.1	100.0	116.0	100	136.3	99.9

Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

Sin embargo, se puede observar mejor esta distribución de personas a partir de los índices de densidad de población y el coeficiente de poblamiento (Tabla 22).

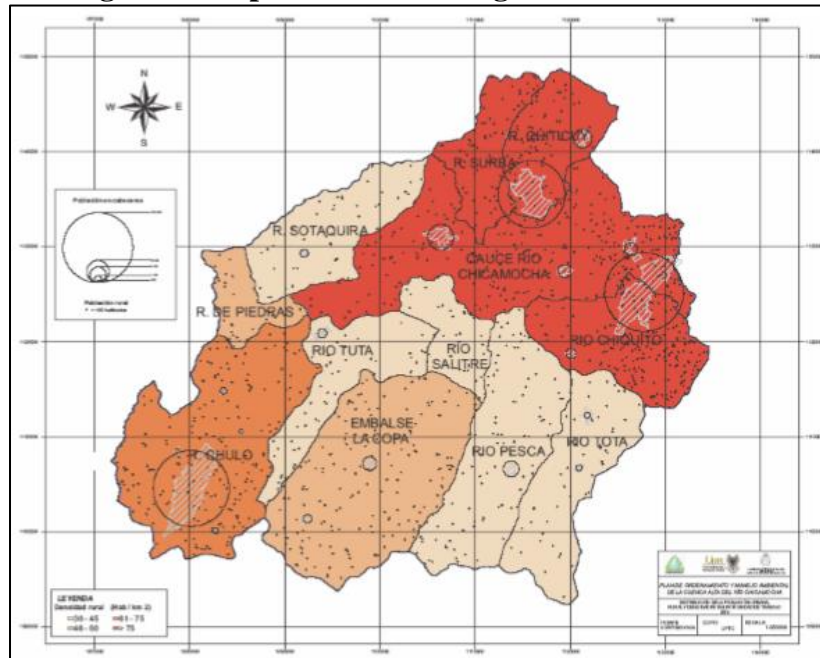
**Tabla 22. Densidad de la población no nucleada por UT 1964 - 2005 (personas/km2)**

Unidad de Análisis	1964	1973	1985	1993	2005
Boyacá	33	31	34	34	33
Cuenca	56	48	55	55	64
<b>Subcuencas (UT)</b>					
Río Jordán	65	56	68	60	67
Río Piedras	39	45	52	50	52
Embalse La Copa	42	43	46	49	55
Río Tuta	40	43	45	43	46
Río Sotaquirá	25	24	29	32	35
Río Salitre	39	42	52	38	45
Cauce río Chicamocha	57	56	72	65	76
Río Pesca	51	36	43	38	43
Río Tota	38	33	35	30	32
Río Chiquito	76	78	77	97	138
Río Surba	69	57	53	77	99
Río Chiticuy – Q. El Hato	62	54	54	65	79

Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

En el caso de la densidad de población por unidad de trabajo (UT) (Figura 7) la mayor población no nucleada es para el río Chiquito en San Luis de Gaceno, río Jordán río Surba y cauce del río Chicamocha, lo cual refuerza la importancia poblacional de estas unidades.

**Figura 7. Mapa de la cuenca según el censo de 2005**



Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

## b) Carga de Enfermedad

La información disponible sobre la calidad del ambiente y su influencia en la salud de la población ha confirmado que las intoxicaciones por mercurio y órgano fosforados, fluorosis dental y esquelética, acumulación de metaloides, paridad de olfato, alergias y dermatitis, gastroenteritis y problemas respiratorios son algunas de las manifestaciones más frecuentes en la salud de los pobladores de la cuenca relacionadas con el tema ambiental (Briñez, Guarnizo, & Arias, 2012).

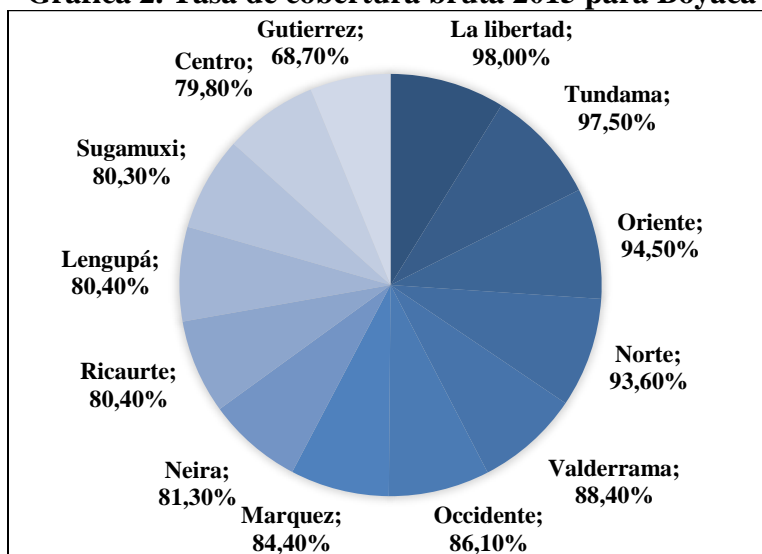
Se observa que al atravesar Tunja, el río termina siendo una alcantarilla muy contaminada, facilitando la generación de enfermedades respiratorias como Rinofaringitis aguda (1.322 casos año), infección aguda de las vías respiratorias superiores (583 casos); además de las enfermedades gastrointestinales por contaminación cruzada con fuentes de agua para consumo humano (Consortio POMCA, 2015). Una mirada más amplia en el número de causas nos permite detectar otras enfermedades relacionadas con el manejo del agua y el medio ambiente tales como la Enfermedad Diarreica Aguda, (EDA), casos de hepatitis B, entre otras. En Duitama, predominan las causas de consulta externa por Rinofaringitis como la tercera causa de morbilidad (1.033 casos año) y la gastroenteritis y diarrea de origen infeccioso en el sexto lugar con 849 casos al año, enfermedades predominantes en los grupos menores de 10 años (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006).

Sumado a lo anterior, las estadísticas ubican la diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso en el undécimo lugar de consulta anual por consulta externa presentándose 814 casos reportados, la caries dental no especificada ubicada en tercer lugar con 1314 casos reportados y la caries de la dentina con 920 casos reportados, datos que presuponen un inadecuado trato de aguas en el municipio y un inadecuado empoderamiento frente a los factores de riesgo y protectores para la presencia de EDA y enfermedades dentales, además de la utilización de un sistema de regadíos de alimentos con aguas con residuos sanitarios e industriales. Situación similar viven en mayor o menor grado todos los municipios de la cuenca por cuanto los cuerpos de agua tienen condiciones proporcionalmente similares (Manrique-Abril, Manrique Abril, Manrique-Abril, & Tejedor Bonilla, 2006).

## c) Tasa de Educación

La tasa de educación se mide por medio de la cobertura bruta que tenga la población y en el contexto actual del departamento de Boyacá, y de su sistema educativo en particular, los principios de equidad, disminución de la pobreza y de calidad educativa tienen el carácter de fundamentos y de fuerzas impulsoras de las iniciativas gubernamentales.

**Gráfica 2. Tasa de cobertura bruta 2015 para Boyacá**



Fuente: (Gobernación de Boyacá, 2016)

Con relación al cierre de brechas educativas, el departamento muestra una Tasa de cobertura bruta de 88,26% (promedio) para el 2014 y de 85,64% para el año 2015 (Gráfica 2). Las subregiones con mejores posiciones en el 2015 fueron: La Libertad (98%), Tundama (97,5%), Oriente (94,5%), Norte (93,6%) y Valderrama (88,4%). Las subregiones Centro, Gutiérrez, Lengupá, Neira y Ricaurte presentan tasas de cobertura menores al promedio departamental en casi todos los niveles educativos y en ambos años.

**Tabla 23. Tasa de cobertura bruta para Boyacá**

Año	Transición	Primaria	Secundaria	Media	Básica	Total
2010	72.63%	95.64%	87.17%	68.99%	89.97%	86.58%
2011	67.89%	91.97%	86.38%	70.07%	87.38%	84.58%
2012	82.92%	88.71%	86.81%	68.88%	87.38%	84.36%
2013	75.75%	88.09%	86.91%	67.40%	86.42%	83.29%
2014	74.60%	86.26%	88.02%	67.44%	85.85%	82.82%
2015	72.82%	84.83%	87.42%	68.55%	84.74%	82.07%

Fuente: (Gobernación de Boyacá, 2016)

#### d) Estabilidad Política

La oferta institucional comprende, como es evidente, diferentes niveles de intervención, acorde a las competencias de los actores; que si bien son las mismas en macro o micro nivel, desde las diferentes instituciones, su accionar maneja la oferta en sentido vertical, desde la normatividad, el diseño y el establecimiento de planes y programas, hasta la materialización o ejecución de los mismos, de tal manera tenemos que entes como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, entre sus competencias principales, establece su acción en la normatividad y el establecimiento de funciones administrativas y políticas públicas para el manejo del ámbito ambiental, principalmente de la gobernanza y de la articulación interinstitucional, también delimita competencias a entes regionales, como alcaldías municipales o las CARS, quienes adoptan normativas y diseñan planes de acuerdo a su realidad circundante y a su vez, deben dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes (Consortio POMCA, 2015).

### 6.2.2. *Indicador Ambiental*

#### a) Riesgo de Inundación

En todo el territorio del valle aluvial del río Chicamocha y en sectores aledaños, el fenómeno de inundación es bastante frecuente dadas las condiciones climáticas y fisiográficas existentes, que favorecen su ocurrencia y los procesos de deforestación de las vertientes. Sucede principalmente en la rivera de las quebradas por desbordamiento, en zonas donde no hay un sistema específico de recolección de aguas lluvias y en el centro de la ciudad por incapacidad del alcantarillado, afectando la población, la infraestructura de las vías y de las casas (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006). Conservando el orden de los elementos amenazantes, de acuerdo con la distribución espacial de la precipitación, en lo que a erosión se refiere, las UT más vulnerables a los efectos nocivos de las precipitaciones son: el cauce del río Chicamocha, el Río Chiquito, donde Sogamoso y Nobsa son las poblaciones más susceptibles, y la de Pesca representada por el municipio de Firavitoba, también afectado por los altos niveles de precipitación que se registran por el páramo Siscunsi. Para el municipio de Duitama existe un grado menor de vulnerabilidad. En la Tabla 24 aparece la identificación de la relación entre el relieve y pendiente de la cuenca que en términos generales se dividen en montañas que agrupan crestas, crestones, filas y vigas, altiplanicie

estructura que incluye lomas y glaciés y formas aluviales con relieve plano como vallecitos o valles que incluyen planos de inundación y terraza, lo cual influye considerablemente en cuan amplia va a ser la afectación de una inundación en la población de la cuenca.

**Tabla 24. Relación entre relieve y pendiente de la cuenca**

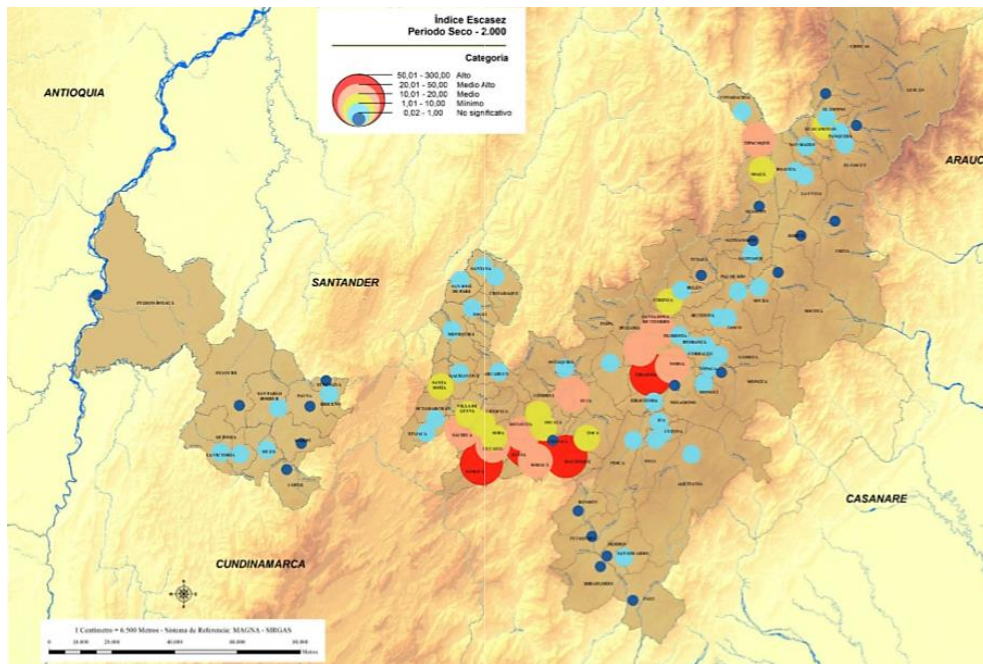
Relieve	Pendiente
Plano a casi plano	0 – 3%
Ligeramente inclinado, ligeramente ondulado	3 – 7%
Moderadamente inclinado, ligeramente quebrado	7 – 12%
Fuertemente inclinado, fuertemente ondulado	12 – 25%
Ligeramente escarpado, fuertemente quebrado	25 – 50%
Escarpado	50 – 75%
Muy escarpado	>75%

Fuente: (Corpoboyacá, UPTC, UNAL, 2006)

b) Escasez de Agua

El análisis realizado en el Estudio Nacional del Agua evalúa la relación entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes en una unidad de análisis, el cual utilizó la clasificación citada por las Naciones Unidas que expresa la medida de escasez en relación con los aprovechamientos hídricos como un porcentaje de la disponibilidad de agua (IDEAM, 2015).

**Figura 8. Índice de escasez de los municipios de la jurisdicción de Corpoboyacá**



Fuente: (Corpoboyacá, 2015)

Para el territorio de Boyacá los municipios con un índice de escasez alta son Tunja, Samacá, Tibasosa y Siachoque con índices superiores al 50%, seguida de los municipios de Duitama, Santa Rosa de Viterbo, Nobsa, Tuta, Tipacoque, Motavita, Sáchica, Cucaita y Soracá con un índice entre 21 y 50% que corresponde a medio alto (Figura 8).

### c) Contaminación de Agua

Al hacer un recorrido desde su inicio en Tunja el río Chicamocha comienza una progresiva contaminación por vertimientos sin control de diferentes urbanizaciones, con depósitos de desperdicios y materias orgánicas, vertimiento de residuos hospitalarios e industriales, al llegar a Tuta estas aguas son usadas para consumo animal y como riego de hortalizas, pastos y frutales lo cual representa gran peligro para la salubridad de la población servida (Sarabia, Cisneros, Acevez de Alba, Durán, & Castro, 2011); el río continua su recorrido atravesando Oicatá donde el depósito de pesticidas y residuos de fincas agrícolas y ganaderas van dándole una mayor carga infectante a las aguas, al pasar por el complejo turístico de Paipa (Figura 9), el río recibe los vertimientos controlados de las fuentes de agua salina y del lago Sochagota.

**Figura 9. Sección del río Chicamocha a la altura de Paipa**



Fuente: Autor, 2018

Los vertimientos continúan en Duitama y Nobsa con focos controlables como el matadero y el vertimiento de aguas negras al mismo río; en Sogamoso se observa que el río empieza a recuperar

color, pero en Belencito se depositan aguas y residuos dándole un aspecto de lodo negro y junto con los municipios de Gámeza, Tópaga, Tasco contaminan con depósitos de grasas de automotor las riberas del río. Al llegar a Paz de Río, el lavado de carbón y el depósito de polvillo de carbón en la producción de acero, convierte al Chicamocha en una gran mancha.

d) Mapa de Calor de Riesgos

El mapa de calor de riesgos es una herramienta usada para mejorar la comprensión de los riesgos e impactos que se requieran mayor atención dentro de una organización, sistema o entidad. En donde como primera medida se identifican los riesgos (Tabla 25) y qué tipo de eventos internos o externos los están causando y esto se hace a través de la evaluación estimando la frecuencia y cuáles deben ser priorizados. Los fenómenos naturales de tipo tectónico, climático, hidrológico e geomorfológico, constituyen elementos que han modelado el paisaje mediante su acción a lo largo de millones de años. Ante su magnitud e intensidad las acciones de intervención humana se reducen a la prevención, usando métodos de zonificación y de alerta temprana a su ocurrencia (Wilson, Quintero, Boschetti, Benavidez, & Mancuso, 2000). Por ejemplo, existen fenómenos hidrometeorológicos extremos que dan origen a grandes crecidas o sequías, ante lo cual la acción humana sólo puede desarrollar estrategias de mitigación de efectos y de advertencia oportuna (Morales, 1997).

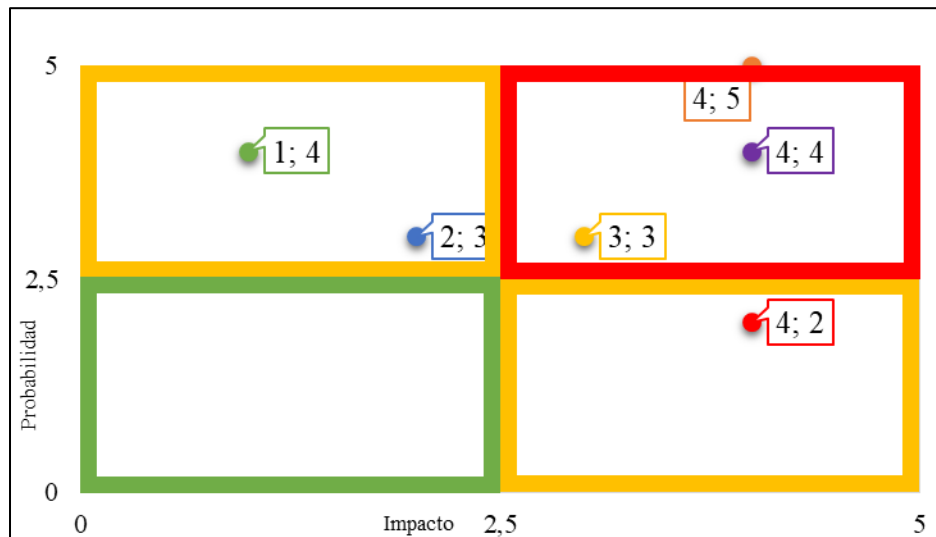
**Tabla 25. Amenazas del mapa de calor de riesgos**

Convenciones	Tipo de Riesgo	Probabilidad	Impacto
Naranja	Amenaza de inundación	4	5
Morado	Amenaza sanitaria	4	4
Amarillo	Amenaza sísmica	3	3
Verde	Amenaza por movimientos de masa	1	4
Rojo	Amenaza por vulnerabilidad económica	4	2
Azul	Amenaza por vulnerabilidad social	2	3

Fuente: Autor, 2018

La Gráfica 3 es la representación de unos cuadrantes marcados con colores donde se agrupan los riesgos según el grado de criticidad. De esta manera para los riesgos más críticos se deben ubicar en el cuadrante de color *Rojo*, los de criticidad media se ubican en los cuadrantes de color *Amarillo* y finalmente los menos críticos se ubican en el cuadrante de color *Verde*.

**Gráfica 3. Mapa de calor de riesgos**



Fuente: Autor, 2018

Asimismo la gráfica, muestra que para la cuenca, la amenaza de inundación tiene una probabilidad alta y un impacto de ocurrencia mucho más agudo, además se puede determinar que los impactos con respecto a las probabilidades son mucho más altos.

### 6.2.3. Indicador Financiero

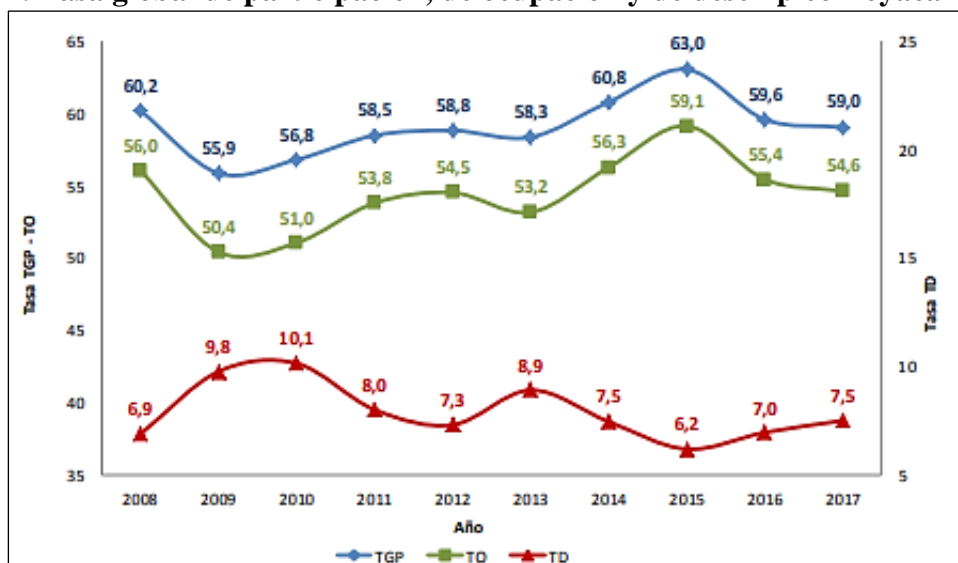
#### a) Presión Económica

De acuerdo con los datos preliminares publicados por el DANE, durante el 2014 Boyacá logró un incremento del PIB de 4,0%, frente a 4,4% del consolidado nacional, mejorando el desempeño departamental de un año atrás. Esto gracias al notorio incremento en el sector de Construcción, tanto para obras civiles como para edificaciones. Asimismo, la Explotación de Minas y Canteras continuó aportando de forma importante al crecimiento del departamento, especialmente en lo referente a la extracción de petróleo (DANE, 2015).

#### b) Tasa de Desempleo

En 2017, Boyacá presentó una tasa global de participación de 59,0%, una tasa de ocupación de 54,6% y una tasa de desempleo que se ubicó en 7,5%.

**Gráfica 4. Tasa global de participación, de ocupación y de desempleo Boyacá 2008-2017**



Fuente: (DANE, 2018)

Tunja se caracteriza por tener una tasa de desempleo por encima del consolidado nacional, no obstante, el comercio exterior del departamento se vio reducido en sus exportaciones, así como en las importaciones. La tasa de desempleo en Tunja se redujo al igual que la informalidad, con lo cual logró mantener la predominancia del empleo formal por sobre el informal. Lo anterior se vio acompañado por una tasa de ocupación y un subempleo subjetivo similar a los de un año atrás, al tiempo que el subempleo objetivo mostró descenso.

#### c) Tasa de Pobreza

En Boyacá, altos niveles de pobreza están asociados a bajos niveles de actividad económica: el departamento, para el 2010, presentó una tasa del 46,6% de pobreza, y ha venido decreciendo la diferencia del nivel de pobreza del departamento y el nivel nacional, al tiempo que ha venido mejorando su posición con respecto a otros departamentos. Algunos municipios de la cuenca tienen tasas de pobreza que superan el 65%, sobre todo en las áreas rurales, mientras que otros han experimentado exitosas reducciones de dichas tasas, como Duitama, Nobsa, Sogamoso y Pesca, a partir de su crecimiento económico, debido a su carácter industrial y otras actividades como la producción de leche, minería, turismo, transporte y comercio (Consortio POMCA, 2015). En el año 2013 el porcentaje de personas en situación de pobreza para el departamento de Boyacá fue de 39,3%, mientras que en el año 2012 fue de 35,6%, presentando un aumento de 3,7 puntos porcentuales respecto al año 2012 (DANE, 2013). Por su parte en el año 2013, el porcentaje de

personas en situación de pobreza extrema fue de 13,7% mientras que el en 2012 fue de 11,0%, presentando un aumento del 2,7 puntos porcentuales respecto al año 2012 (Corpoboyacá, 2015).

d) Tasa de Inflación

El índice de precios al consumidor representa el valor del costo de la vida, ya que es un índice que recoge la variación que han tenido cada mes los precios de los bienes y servicios consumidos por los hogares (SBIF, s.f.), dado que la inflación está ligada a los precios, lo está también con el dinero (Ochoa & Martínez, 2005) y para la capital boyacense se presenta el valor en la Tabla 26.

**Tabla 26. IPC según ciudades 2017 - 2018**

<b>(IPC) Según Ciudades 2017 - 2018</b>													
Variaciones Anuales (12 Meses) 2017													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Total IPC	5.4	5.1	4.6	4.6	4.3	3.9	3.4	3.8	3.9	4.0	4.1	4.0	4.3
Medellín	6.1	6.4	5.6	5.4	5.7	5.2	4.5	4.6	4.5	4.6	4.4	4.1	5.1
Barranquilla	6.3	5.3	4.8	4.8	4.6	4.6	3.8	3.6	3.8	3.2	3.4	3.2	4.3
Bogotá D.C.	5.4	5.1	4.7	5.0	4.4	4.1	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.6	4.5
Cartagena	5.7	5.0	4.3	3.8	3.9	3.7	3.0	2.7	2.9	3.0	3.3	3.1	3.7
<b>Tunja</b>	<b>4.4</b>	<b>3.8</b>	<b>3.2</b>	<b>2.9</b>	<b>2.2</b>	<b>2.4</b>	<b>1.8</b>	<b>2.7</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.5</b>	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>
Manizales	6.7	6.3	5.9	5.5	5.5	5.1	4.1	4.7	4.5	4.5	4.7	4.2	5.1
Florencia	5.3	5.4	5.3	4.8	4.0	3.6	2.7	4.8	3.6	3.2	3.0	2.9	4.1
Popayán	5.2	4.9	4.4	4.3	4.3	4.2	3.3	4.2	4.0	3.9	4.0	4.0	4.2
Valledupar	3.8	2.8	2.9	2.8	2.3	1.8	0.9	1.6	3.0	3.2	3.6	3.4	2.7

Fuente: (DANE, 2018)

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Indicadores de la Metodología “City Blueprint Framework”

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la evaluación de los indicadores pertenecientes al marco del Blue City Index.

**Tabla 27. Evaluación de indicadores del BCI**

No.	Indicadores Blue City Index	Puntaje	Calificación	Justificación
<b>1. Seguridad del Agua</b>				
1	Huella hídrica total	7	Afectación baja	De acuerdo a la Tabla 11 la huella hídrica para el Río Chicamocha es de 2.10 Mm <sup>3</sup> /año, lo cual no representan un gran porcentaje de la huella total en el país, siendo este valor de 0,70
2	Escasez de agua	7	Afectación baja	La cuenca no presenta problemas de disponibilidad del recurso hídrico.
3	Autosuficiencia hídrica	10	No afecta	Siendo la huella hídrica de la cuenca inferior a la del área hidrográfica se determina que la autosuficiencia es del 100% porque el agua que es necesaria para las actividades antrópicas está disponible y es tomada del propio territorio
<b>2. Calidad del Agua</b>				
4	Calidad del agua superficial	0	Afectación alta	Según los valores obtenidos de las tablas 13 y 14 la calificación del IDEAM para calidad del agua es "Mala"
5	Calidad del agua subterránea	2	Afectación alta	Existe insuficiencia en la calidad y aprovechamiento sostenible del agua subterránea
<b>3. Agua Potable</b>				
6	Suficiencia para beber	8	Afectación baja	De la figura 4 se infiere que el porcentaje de población con acceso a agua potable es del 87%, siendo la cobertura, tanto en la zona urbana y rural, alta.

7	Fugas del sistema de agua	7	Afectación baja	Se establece un valor de pérdidas del 10% lo cual es un valor mínimo con respecto a la dotación neta máxima
8	Eficiencia del agua	4	Si afecta	La cobertura de alcantarillados es baja y el tratamiento de aguas residuales sólo se hace en pocos puntos de la cuenca
9	Consumo doméstico de agua per cápita	6	Afectación media	El nivel de complejidad es "Bajo" por lo cual se identifica una dotación bruta de 184.5 L/hab/día
10	Calidad de agua potable según la OMS	0	Afectación alta	La calificación del IRCA para los municipios de la cuenca es de "Riesgo medio" incluida la capital
<b>4. Saneamiento</b>				
11	Saneamiento seguro	0	Afectación alta	Sólo el 13% de la población de toda la cuenca con tratamiento de aguas residuales
12	Calidad de los lodos cloacales	0	Afectación alta	Al ser la PTAR Oicatá la única planta de tratamiento en toda la cuenca se imposibilita que toda la generación de lodos sea tratada.
13	Eficiencia energética	0	Afectación alta	Se tiene un reactor MBR para toda la cuenca por lo cual es mínima la eficiencia de energía con respecto a toda la zona
14	Recuperación energética	0	Afectación alta	No hay formas de recuperación de energía en la planta de tratamiento
15	Recuperación de nutrientes	0	Afectación alta	No existe recuperación de fosfato, sin embargo la recuperación se hace a través de la producción agrícola lo cual también genera un peligro sanitario
<b>5. Infraestructura</b>				
16	Mantenimiento	2	Afectación alta	Las estructuras son de más de 40 años de funcionamiento y las nuevas aún están en adecuaciones
17	Separación de aguas residuales y pluviales	0	Afectación alta	No se hace, en toda la cuenca, la separación de aguas residuales y pluviales
<b>6. Solidez Climática</b>				
18	Compromisos de las autoridades en el cambio climático	7	Afectación baja	A través de las autoridades ambientales se formulan proyectos para la adaptación al cambio climático.

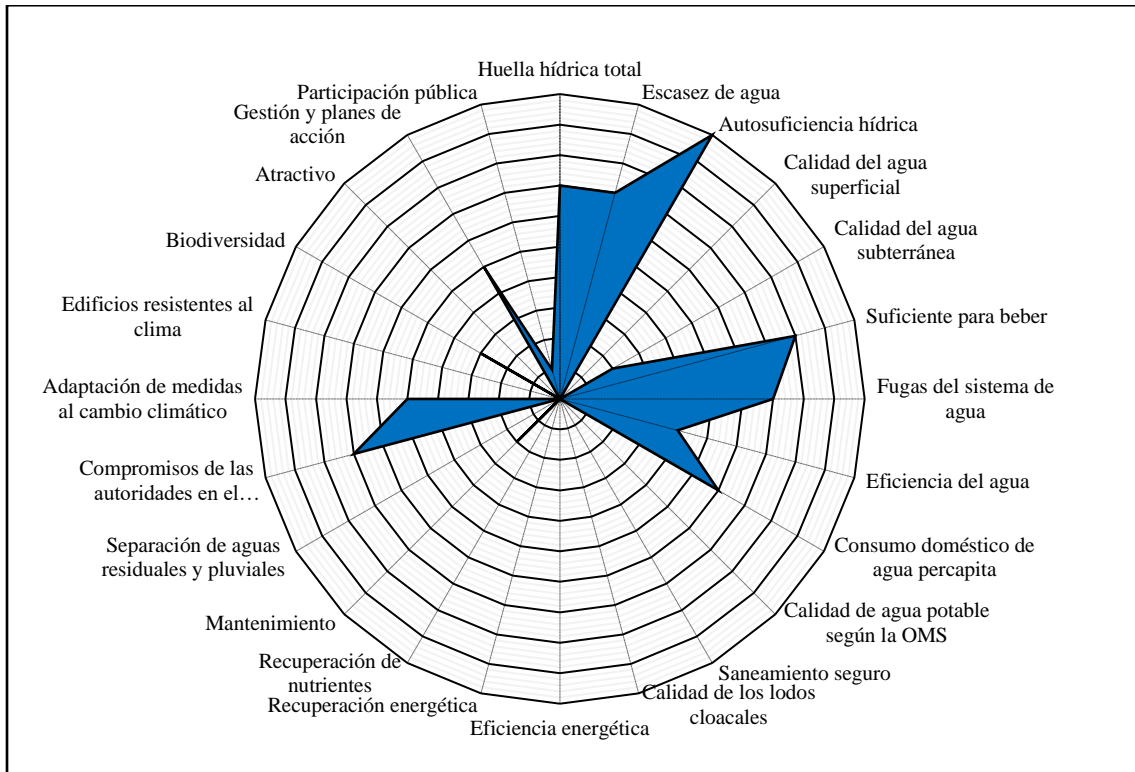
19	Adaptación de medidas al cambio climático	5	Afectación media	Realización de proyectos en todo el cauce principal del río con el fin de conocer el nivel máximo de inundación así como la zona aledaña que se debe respetar
20	Edificios resistentes al clima	0	Afectación alta	No existen edificaciones en la cuenca que tengan eficiencia energética
<b>7. Biodiversidad y Atractivo</b>				
21	Biodiversidad	3	Si afecta	Es amplia la biodiversidad acuática lo cual al ser tan bajos los índices de calidad del agua tienen mayor peligro
22	Atractivo	0	Afectación alta	El atractivo ha decaído por malos olores del río, visualmente se ha perdido material vegetal
<b>8. Gobernanza</b>				
23	Gestión y planes de acción	5	Afectación media	El POMCA es la herramienta de ordenamiento, ejecución y evaluación de las condiciones de la cuenca en distintos aspectos
24	Participación pública	1	Afectación alta	La participación es mínima con respecto a la cantidad de personas que habitan la cuenca.
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,755</b>	<b>Si Afecta</b>	

Fuente: Autor, 2018

Según la Tabla 10, en donde se hace la categorización de los resultados para BCI, la cuenca se encuentra dentro de la categoría de calificación “2 – 4” descrito como “**Región derrochadora**” con la siguiente descripción:

“Los servicios básicos de agua se cumplen en gran medida, pero el riesgo de inundación puede ser alto y el tratamiento de aguas residuales está mal cubierto. Con frecuencia, sólo se aplica una porción primaria y una pequeña parte del tratamiento de aguas residuales secundario, lo que lleva a una contaminación a gran escala. El consumo de agua y las fugas de infraestructura son altos debido a la falta de conciencia ambiental y mantenimiento de la infraestructura. La producción de desechos sólidos es alta y los desechos se vierten casi por completo en los vertederos. La gobernabilidad es reactiva y la participación de la comunidad es baja.” (Feingold, Koop, & Van Leeuwen, 2018).

**Gráfica 5. Diagrama de araña para el BCI**



Fuente: Autor, 2018

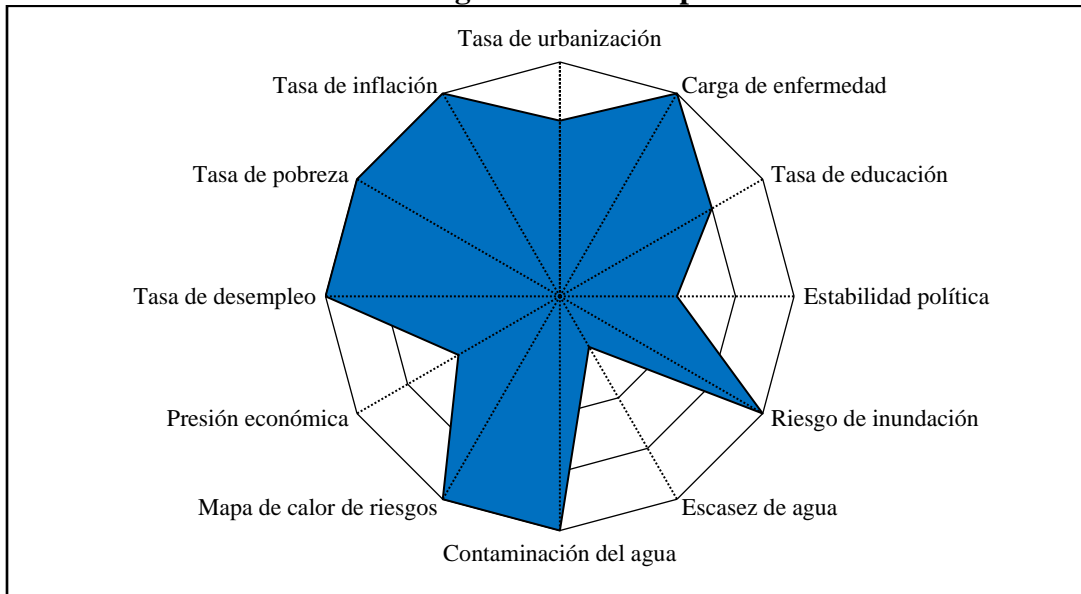
**Tabla 28. Evaluación de los indicadores del TPI**

No.	Indicadores Tendencias y Presiones	Puntaje	Calificación	Justificación
<b>1. Social</b>				
1	Tasa de urbanización	3	Si afecta	La densidad poblacional es alta en zonas rurales y en el cauce principal del río
2	Carga de enfermedad	4	Afectación alta	Las tasas de morbilidad a lo largo del río son altas con enfermedades predominantes como las respiratorias, hepatitis b, gastrointestinales
3	Tasa de educación	2	Afectación media	Al ser la tasa de cobertura bruta de cerca del 88% las condiciones de educación en la cuenca son altas y la afectación a esta población es media
4	Estabilidad política	2	Afectación media	Existen varios actores políticos que se interesan por modificar

				las condiciones de la cuenca desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible hasta las alcaldías de los municipios.
<b>2. Ambiental</b>				
5	Riesgo de inundación	4	Afectación alta	El riesgo de inundación es alto por la incapacidad del alcantarillado y de las condiciones topográficas de la zona que imposibilitan el paso del agua de manera natural
6	Escasez de agua	4	Afectación alta	El índice de escasez del agua es alto para las ciudades principales de la cuenca como Tunja, Duitama, Sogamoso, entre otras
7	Contaminación del agua	4	Afectación alta	Los vertimientos al río son constantes y de gran carga contaminante para este desde su inicio en Tunja hasta Tópaga
8	Mapa de calor de riesgos	4	Afectación alta	Los impactos analizados se habían tenido en cuenta donde la probabilidad de que pasen es alta además del impacto de que esa amenaza suceda es grave
<b>3. Financiero</b>				
9	Presión económica	2	Afectación media	Las actividades que se realizan en la cuenca influyen de manera positiva dentro el PIB de la nación
10	Tasa de desempleo	3	Si afecta	La tasa de desempleo es baja, sin embargo el comercio exterior de la zona se vio afectada negativamente
11	Tasa de pobreza	4	Afectación alta	Presenta altos niveles de pobreza que superan al 65% y sobre todo en las áreas rurales
12	Tasa de inflación	3	Si afecta	El IPC es de cerca del 3,80%
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.25</b>	<b>Si afecta</b>	

Fuente: Autor, 2018

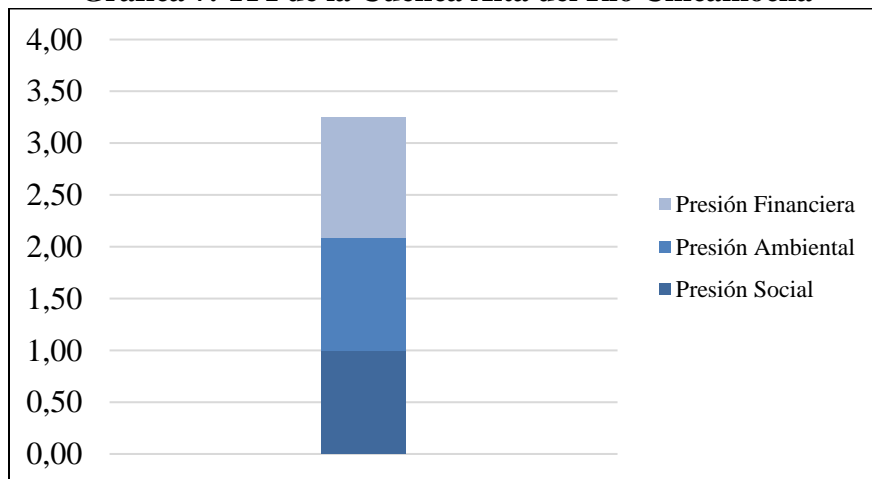
**Gráfica 6. Diagrama de araña para el TPI**



Fuente: Autor, 2018

Según (Van Leeuwen & Sjerps, 2015) el valor del Índice de Tendencias y Presiones da cuenta de cuáles son los desafíos principales del territorio, de acuerdo a esto se presentan mayor problemas en el área ambiental, lo cual significa que se ha incrementado la demanda del uso intensivo de los recursos naturales y esto a su vez, ha provocado el deterioro de los ecosistemas y los propios recursos. Estos factores de manera combinada o aislada provocan la declinación y la pérdida de muchas especies y afectan a la totalidad de los elementos de la naturaleza: el agua, el suelo, la cobertura vegetal, los animales y el clima.

**Gráfica 7. TPI de la Cuenca Alta del Río Chicamocha**



Fuente: Autor, 2018

Teniendo en cuenta los anteriores resultados y confrontándolos con la calificación proporcionada en las Tablas 7 y 8 se puede verificar que existen diez indicadores del BCI que tienen el puntaje más bajo que es de “cero” (Tabla 29) y para el TPI existen siete indicadores con valoración de “cuatro” (Tabla 30) la cual indica que es el valor más crítico. Además es importante identificar cuáles son los indicadores que tuvieron menos calificación para cada indicador por separado, esto con el fin de generar un análisis más profundo de cuáles son los problemas notados en común por el TPI y el BCI.

**Tabla 29. Puntajes más bajo de indicadores BCI**

No.	Indicadores Blue City Index	Puntaje
1	Huella hídrica total	7
2	Escasez de agua	7
3	Autosuficiencia hídrica	10
<b>4</b>	<b>Calidad del agua superficial</b>	<b>0</b>
5	Calidad del agua subterránea	2
6	Suficiente para beber	8
7	Fugas del sistema de agua	7
8	Eficiencia del agua	4
9	Consumo doméstico de agua per cápita	6
<b>10</b>	<b>Calidad de agua potable según la OMS</b>	<b>0</b>
<b>11</b>	<b>Saneamiento seguro</b>	<b>0</b>
<b>12</b>	<b>Calidad de los lodos cloacales</b>	<b>0</b>
<b>13</b>	<b>Eficiencia energética</b>	<b>0</b>
<b>14</b>	<b>Recuperación energética</b>	<b>0</b>
<b>15</b>	<b>Recuperación de nutrientes</b>	<b>0</b>
16	Mantenimiento	2
<b>17</b>	<b>Separación de aguas residuales y pluviales</b>	<b>0</b>
18	Compromisos de las autoridades en el cambio climático	7
19	Adaptación de medidas al cambio climático	5
<b>20</b>	<b>Edificios resistentes al clima</b>	<b>0</b>
21	Biodiversidad	3
<b>22</b>	<b>Atractivo</b>	<b>0</b>
23	Gestión y planes de acción	5
24	Participación pública	1

Fuente: Autor, 2018

**Tabla 30. Puntajes más bajos del TPI**

No.	Indicadores Tendencias y Presiones	Puntaje
1	Tasa de urbanización	3
<b>2</b>	<b>Carga de enfermedad</b>	<b>4</b>
3	Tasa de educación	3
4	Estabilidad política	2
<b>5</b>	<b>Riesgo de inundación</b>	<b>4</b>
6	Escasez de agua	1
<b>7</b>	<b>Contaminación del agua</b>	<b>4</b>
<b>8</b>	<b>Mapa de calor de riesgos</b>	<b>4</b>
9	Presión económica	2
<b>10</b>	<b>Tasa de desempleo</b>	<b>4</b>
<b>11</b>	<b>Tasa de pobreza</b>	<b>4</b>
<b>12</b>	<b>Tasa de inflación</b>	<b>4</b>

Fuente: Autor, 2018

Las tablas anteriores muestran los valores que, dentro de la calificación de cada indicador, son los más deficientes, los cuales demuestran que los estadios más comprometidos dentro del BCI, están en los componentes de calidad de agua, saneamiento e infraestructura. Para el caso del TPI el módulo más crítico es el ambiental. Teniendo en cuenta esto, la cuenca presenta problemas serios con la parte ambiental de su funcionamiento mostrando un manejo aceptable en el ámbito financiero y social, aun cuando estos dos componentes deben ser más óptimos para futuras evaluaciones.

## 7.2. Estrategias de Mitigación para Aumentar la Sostenibilidad de la Cuenca

**Tabla 31. Indicadores de importancia**

Indicadores	Puntaje
<b>1. Blue City Index (BCI)</b>	
Huella hídrica total	7
Escasez de agua	7
Autosuficiencia hídrica	10
<b>Calidad del agua superficial</b>	<b>0</b>
Calidad del agua subterránea	2
Suficiente para beber	8
Fugas del sistema de agua	7
Eficiencia del agua	4

Consumo doméstico de agua per cápita	6
<b>Calidad de agua potable según la OMS</b>	<b>0</b>
<b>Saneamiento seguro</b>	<b>0</b>
<b>Calidad de los lodos cloacales</b>	<b>0</b>
<b>Eficiencia energética</b>	<b>0</b>
<b>Recuperación energética</b>	<b>0</b>
<b>Recuperación de nutrientes</b>	<b>0</b>
Mantenimiento	2
Separación de aguas residuales y pluviales	0
Compromisos de las autoridades en el cambio climático	7
Adaptación de medidas al cambio climático	5
Edificios resistentes al clima	0
Biodiversidad	3
Atractivo	0
Gestión y planes de acción	5
Participación pública	1
<b>2. Tendencias y Presiones</b>	
Tasa de urbanización	3
Carga de enfermedad	4
Tasa de educación	3
Estabilidad política	2
<b>Riesgo de inundación</b>	<b>4</b>
Escasez de agua	1
<b>Contaminación del agua</b>	<b>4</b>
<b>Mapa de calor de riesgos</b>	<b>4</b>
Presión económica	2
Tasa de desempleo	4
Tasa de pobreza	4
Tasa de inflación	4

Fuente: Autor, 2018

Es así como en la Tabla 31 se presentan los indicadores de importancia para hacer el análisis de estrategias de mitigación, en el área ambiental siendo ésta la de mayor relevancia en el tema de la evaluación realizada en el manejo sostenible del recurso hídrico. Estas estrategias están enfocadas en mejorar las condiciones de la cuenca con el fin de superar los niveles encontrados en la presente evaluación y aumentar la calificación de la región dentro de la metodología, en posteriores observaciones de la misma.

### *7.2.1. Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA)*

La implementación de programas como el “Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, PUEAA” crean cuatro soluciones para mejorar la disponibilidad del agua: producirla más, distribuirla mejor, desperdiciarla menos y contaminarla menos. En este programa se juntan proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la administración y prestación de servicios de saneamiento básico o en todo caso usuarios del recurso hídrico con el fin de garantizar su sostenibilidad, generando a largo plazo bienestar y siendo el objetivo primordial, orientar las acciones de la población a un adecuado manejo del agua en todas las actividades cotidianas.

Es además una herramienta de planificación, que usada junto con la evaluación de sostenibilidad del City Blueprint Framework, permite ver la participación de los diferentes actores en el manejo del agua, reflejando la actual situación de la cuenca y el balance entre la demanda y la oferta del recurso hídrico, con el fin de planificar una inversión de recursos para alcanzar metas de mejoramiento de las cuencas abastecedoras y crear una cultura en el uso responsable del agua.

Dentro de este programa se proponen las campañas educativas a la comunidad donde se traten temas de conservación de las fuentes abastecedoras y de las unidades de trabajo por la que está dividida la Cuenca Alta del Río Chicamocha, así como la utilización de dispositivos ahorradores de agua, buscando además la eficiencia administrativa de los entes prestadores del servicio y de la autoridad ambiental.

### *7.2.2. Planificación Predial*

La planificación es una herramienta metodológica que permite orientar el desarrollo integral del espacio teniendo en cuenta su ubicación dentro de la dinámica local y regional, a través de un ejercicio de transformación, ocupación y/o utilización de los espacios geográficos. Éste debe ser un proceso flexible y dinámico que permita realizar cambios o ajustes según se modifiquen las circunstancias ya sea por cambios sociales, nuevas problemáticas o una perspectiva modificada de un problema. Dentro de los aspectos a tener en cuenta en un proceso de planificación predial está la implementación desde lo local para trascender a lo regional y enmarcar la realidad de un predio con el entorno y viceversa, esto con el fin de articular un sistema y comprender los aspectos más

relevantes de la vida del habitante rural para entender las dinámicas más básicas de la sociedad y poder incrementar el avance de expansión de esta política. Sin embargo, en cuencas hidrográficas la participación ciudadana tiene que ser un actor de abundante ayuda para que los afectados estén al tanto de las decisiones que se tomen y las comunidades estén involucradas desde el proceso de diagnóstico hasta la evaluación.

Es así que dentro de la planificación predial se debe realizar un estudio de evaluación de la sostenibilidad para lograr articular de manera armónica la producción con la conservación.

### *7.2.3. Mejoramiento del Uso del Agua*

Dentro de la cuenca y desde las autoridades encargadas del recurso hídrico, deben existir programas de conservación que intenten reducir la demanda de agua así como en la eficiencia y la equidad en la utilización del agua, la preservación de los ríos evitando las descargas continuas que se realizan a los cuerpos hídricos de aguas residuales.

Existen unas premisas en la estrategia para el aprovechamiento sostenible del agua, las cuales están enmarcadas dentro de la concientización y motivación a los pobladores y actores sociales de la cuenca hacia una gestión sostenible de los recursos. Asimismo está en el considerar a la comunidad y autoridades responsables como los principales escenarios de las acciones que se proponen en la estrategia, para el logro del manejo sostenible del recurso hídrico.

### *7.2.4. Aumento de la Calidad de Saneamiento en la Cuenca*

Uno de los principales problemas que se presentan en la cuenca es el bajo saneamiento que existe y las constantes descargas de aguas residuales a lo largo del río alto del Chicamocha, por lo cual la idea de estudios, construcción y puesta en marcha de más plantas de tratamiento en toda la región no es alejada de la realidad que se vive actualmente. Siendo las principales ciudades las que deben estar al frente de la contaminación propia de sus residuos. Es por eso que allí es en donde se deben propiciar estas estructuras, lo cual haría que la carga contaminante que le llega al río disminuya considerablemente. También se propone desarrollar acciones para disminuir del proceso de deterioro de la calidad del agua para sus diversos usos alcanzando el nivel de vida con las condiciones higiénicas y sanitarias requeridas según lo que establece el sistema de normas y la legislación ambiental vigente, igualmente rehabilitar los sistemas de tratamiento existentes con

cobertura al 100 % de la población residente en la cuenca e incrementar la captación de agua de lluvia en las viviendas y como última medida alcanzar un manejo adecuado de los suelos de la cuenca de modo que se logre contener los procesos de degradación de los suelos e iniciar su progresiva recuperación.

#### *7.2.5. Planificación Comunitaria Participativa*

La planificación comunitaria participativa es un proceso en el que la comunidad ayuda a identificar las alternativas más acertadas entre varias opciones posibles para mitigar la destrucción de los recursos naturales, así como generar un compromiso de generar y adoptar prácticas para el aprovechamiento de estos recursos. En este proceso también se incluye programas de educación ambiental; extensión y acercamiento con las relaciones con el gobierno municipal, departamental y ambiental; generar la figura de vigilantes ambientales para aumentar el control de la cuenca en cuanto a la deficiencia de los recursos; mejoramiento de los desechos y creación de un sistema de alerta temprana para deslizamientos e inundaciones.

Se deben, además, crear espacios de participación y redes de trabajo colaborativo en donde se materialicen las practicas participativas, es decir donde los actores inciden en la gestión de sus intereses hacia los cambios deseados y contribuyen con la construcción de aprobaciones equitativas y mutuas.

## 8. CONCLUSIONES

Es importante resaltar la inmensa importancia que tiene la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la sostenibilidad de un territorio y más cuando, como se vio a lo largo del trabajo, el ámbito ambiental es el más crítico. Sin embargo, no por esto los componentes social y económico de la cuenca se deban dejar a un lado y se eviten esfuerzos en subir los índices de sostenibilidad. Es así que el índice de sostenibilidad en la cuenca es bajo con respecto a varias ciudades en el mundo, dando como resultado condiciones bajas de participación ciudadana, baja calidad en el tratamiento de aguas residuales, alta posibilidad de inundaciones, baja calidad de agua y disposición ineficiente de residuos sólidos y de aguas residuales.

La urgencia de la GIRH es cada vez más alta debido a la falta de adaptación al cambio climático y la vasta urbanización. El CBF está orientado al desempeño y, por lo tanto, mide con mayor precisión los esfuerzos propios de las regiones para mejorar su GIRH, con lo que se enfatiza en mejorar la sostenibilidad propia de los territorios. Al mostrar las principales presiones sociales, financieras y ambientales, el TPF proporciona una visión general de las oportunidades y limitaciones más importantes para la GIRH y puede ayudar a priorizar los problemas hídricos específicos de la cuenca. El BCI demostró ser bajo y el TPI mostró correlaciones altamente negativas con los indicadores del ámbito ambiental. El BCI y el TPI se correlacionaron negativamente lo que implica que las ciudades que experimentan muchas presiones sociales, ambientales y/o financieras se asocian con un bajo rendimiento de la GIRH como es el caso de la Cuenca Alta del Río Chicamocha. Es de suma urgencia mejorar su GIRH, sin embargo se enfrenta a muchos desafíos, como la rápida urbanización, el cambio climático y las barreras institucionales y financieras.

Ante el estado actual de la cuenca, el cual es deficiente, es indispensable promover y establecer programas de sensibilización en manejo de recurso hídrico, protección y conservación de ecosistemas estratégicos, implementación de tecnologías limpias de producción, construcción y puesta en funcionamiento de más plantas de tratamiento de aguas residuales, consiguiendo una reducción, en la medida de lo posible, del riesgo a través de la disminución de la peligrosidad para la salud humana, las actividades económicas, el patrimonio cultural y el medio ambiente en la

cuenca, todo en la base de la optimización de los sistemas de tratamiento y disposición de recursos sólidos e hídricos frente a problemas existentes.

El disponer de los indicadores proporcionados por la metodología “City Blueprint Framework” es de gran relevancia para hacer planteamientos ambiciosos en cuanto el agua y los distintos estadios en la sociedad en regiones con grandes limitaciones de políticas ambientales y de participación ciudadana. La aplicación de esta metodología es un punto de partida dentro de programas de mayor avance para mejorar la sostenibilidad en el manejo del recurso hídrico y marca una pauta dentro de futuras evaluaciones para beneficiar el ejercicio de cara al desarrollo integral de la cuenca.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero Suárez, J. (1995). *Cuenca hidrográfica del río Chicamocha*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Tunja. Recuperado el 28 de Junio de 2018
- Aguilar, C., Tolón, A., & Lastra, X. (2011). Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 155-174. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Revista Limnética*, 4, 51-56. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., & Acosta, E. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Revista Información Tecnológica*, 19(6), 21-32. doi:doi:10.1612/inf.tecnol.3975it.07
- Amado, J., Rubiños, E., Gavi, F., Alrcón, J., Hernández, E., Ramírez, C., . . . Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional de BOTÁNICA EXPERIMENTAL*, 75, 71-83. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Ambrona, D. (2015). *Descripción del sistema Bioreactor de Membranas*. Madrid, España. Recuperado el 25 de Junio de 2018, de <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/spain/es-es/prensa/Eventos/Eficienciaenergetica/Documents/SISTEMA%20BIOREACTOR%20D E%20MEMBRANAS.pdf>
- Andrade Medina, P., & Bermúdez Cárdenas, D. C. (Julio-Diciembre de 2010). La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 17(2), 73-93. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74816991004>
- Andrade, Á., & Navarrete, F. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Programa de las Naciones

- Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA-, México D.F., México. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- ANLA. (2013). *Certificación N° 3982*. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, Bogotá, D.C. Recuperado el 24 de Abril de 2018
- Arroyave, J., Builes, L., & Rodríguez, E. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Journal of engineering and technology*, 1(1), 40-48. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., & Andreoli, Y. (Diciembre de 2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(3), 95-110. Recuperado el 05 de Junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86435307>
- Banco Mundial. (1998). *Estrategia para el manejo integrado de los recursos hídricos*. Washington, D.C.
- Barceló, D., & López, M. J. (2008). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Fundación Nueva Cultura del Agua, Barcelona. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Barkin, D. (2006). *La gestión del agua urbana en México: Retos, debates y bienestar*. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Beamonte, E., Casino, A., Veres, E., & Bermúdez, J. (2004). Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. *Revista Estadística Española*, 46(156), 357-384. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Becerra, J. d., & Salas, I. (Enero - Junio de 2016). El derecho humano al acceso al agua potable: Aspectos filosóficos y constitucionales de su configuración y garantía en Lationamérica. *Revista Prolegómenos - Derechos y Valores*, XIX(37), 125-146. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/prole.1683>
- Benegas, L., Jiménez, F., Faustino, J., & Gentes, I. (Octubre de 2008). Experiencias y desafíos para la cogestión de cuencas hidrográficas en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente*(55), 129-133. Recuperado el 30 de Mayo de 2018

- Benitez, P., & Miranda, L. (Septiembre de 2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 7-23. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37028958001>
- Berdugo, M., Andrés, B., Maldonado, A., & Garzón, J. (2004). Evaluación y dinámica de uso del recurso hídrico en el corregimiento de Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 9(1), 23. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Bistoni, M. d., Hued, A., Videla, M., & Sagretti, L. (1999). Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*(72), 325-335. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Briñez, K., Guarnizo, J., & Arias, S. (Mayo-Agosto de 2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Rev. Fac.Nac. Salud Pública*, 30(2), 175-182. Recuperado el 06 de Junio de 2018
- Bucher, E., Castro, G., & Floris, V. (1997). *Conservación de ecosistemas de agua dulce: Hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos*. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Calvo Brenes, G., & Mora Molina, J. (Octubre-Diciembre de 2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. *Revista Tecnología en Marcha*, 20(4), 59-67. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Camacho, L., & Díaz Granados, M. (2003). Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de solutos y de calidad del agua en Ríos - Caso Río Bogotá. *Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*, 73-82. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Camargo, J., & Alonso, A. (Mayo de 2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas Revista científica de ecología y medio ambiente*, 16(2), 99-110. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=486>

- Campos, C., Cárdenas, M., & Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). *Revistas Universitas Scientiarum*, 13(2), 103-108. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Castelán, E. (2009). *Análisis y perspectiva del recurso hídrico en México*. Centro del Tercer Mundo para el Manejo, Cd. de México. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Castillo, E. (2004). Evaluación de los niveles de desarrollo sostenible en espacios territoriales (granjas de producción sostenible) en provincias centrales. *Investig. pens. crit.*, 2, 10-18. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Castro, A. (Mayo de 2014). Planificación territorial en la Ciudad De Cartagena: una relación dialéctica entre desarrollo sostenible y sostenibilidad ambiental. *AGLALA*, 5(1), 1-20. doi:DOI 10.22519/22157360.893
- Chán, M., & Peña, W. (Junio de 2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Ica, Guatemala. *Cuadernos de investigación UNED*, 7(1), 19-23. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Cisneros, J. (2005). *Valoración económica de los beneficios de la protección del recurso hídrico y propuesta de un marco operativo para el pago por servicios ambientales en Copán Ruinas, Honduras*. Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Cartago, Costa Rica. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Consortio POMCA. (2015). *Actualización del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río alto Chicamocha - NSS (2403-01)*. Resumen ejecutivo, Corporación Autónoma Regional de Boyacá "Corpoboyacá", Tunja. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Consortio Río Chicamocha. (2017). *Taller de socialización "Proyecto Cauce principal Río Chicamocha"*. Presentación, Tunja, Colombia. Recuperado el 09 de Abril de 2018, de [https://issuu.com/gegarba/docs/proyecto\\_adeacuacio\\_\\_n\\_hidra\\_\\_ulica\\_](https://issuu.com/gegarba/docs/proyecto_adeacuacio__n_hidra__ulica_)
- Corpoboyacá. (1994). *Estudio del plan de ordenamiento del recurso hídrico en la cuenca alta del río Chicamocha Anexo 1: Aspectos hidrológicos*. Tunja. Recuperado el 07 de Abril de 2018

- Corpoboyacá. (1994). *Estudio del plan de ordenamiento del recurso hídrico en la cuenca alta del río Chicamocha. Informe general de los estudios básicos y diagnóstico del recurso hídrico*. Tunja. Recuperado el 06 de Abril de 2018
- Corpoboyacá. (2001). *Estado de la calidad del recurso hídrico superficial en la Cuenca alta del río Chicamocha*. Tunja.
- Corpoboyacá. (2006). *Sistemas de producción sostenible en cuencas hidrográficas*. Tunja: Milenio Editores e Impresión. Recuperado el 19 de abril de 2018
- Corpoboyacá. (2009). *Implementación tasas retributivas por vertimientos puntuales. Determinación de la meta global de descontaminación*. Informe técnico consejo directivo, Corporación Autónoma Regional de Boyacá "Corpoboyacá", Subdirección Administración Recursos Naturales, Tunja, Colombia. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Corpoboyacá. (2015). *Atlas geográfico y ambiental Corpoboyacá*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá "Corpoboyacá", Tunja, Boyacá. Recuperado el 04 de mayo de 2018
- Corpoboyacá. (03 de Noviembre de 2015). *Corpoboyacá*. Obtenido de <http://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cuenca-alta-del-rio-chicamocha/>
- Corpoboyacá. (2016). *Resolución No. 2769*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Subdirección de Ecosistemas y Gestión Ambiental, Tunja, Colombia. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Corpoboyacá. (10 de Marzo de 2017). *Gestión del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático*. Recuperado el 26 de Junio de 2018, de Portal Corpoboyacá: <http://www.corpoboyaca.gov.co/proyectos/gestion-del-riesgo-de-desastres-y-adaptacion-al-cambio-climatico/>
- Corpoboyacá, UPTC, UNAL. (2005). *Escenarios de ordenación de la cuenca alta del río Chicamoch*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Tunja, Colombia. Recuperado el 01 de Junio de 2018

- Corpoboyacá, UPTC, UNAL. (2006). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha - Diagnóstico Capítulo I*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Tunja, Colombia. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Corpoboyacá, UPTC, UNAL. (2006). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha - Diagnóstico Capítulo II*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Tunja, Colombia. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Corpoboyacá, UPTC, UNAL. (2006). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha - Diagnóstico Capítulo III*. Diagnóstico Capítulo III, Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Tunja. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Cubillos, F. (2016). *Generación del mapa de inundación del río Chicamocha departamento de Boyacá, mediante una aplicación SIG*. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- DANE. (2013). *Boletín de Prensa DANE. Boyacá: Pobreza Monetaria 2013*. Bogotá, D.C. Recuperado el 26 de Junio de 2018
- DANE. (2015). *Informe de coyuntura económica regional*. Informe, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Tunja, Colombia.
- DANE. (2018). *Colombia, variación anual del Índice de Precios al Consumidor*. Gobierno de Colombia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá, D.C. Recuperado el 26 de Junio de 2018
- DANE. (2018). *Mercado laboral por departamentos*. Boletín técnico, Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Daza, M., Reyes, A., Loaiza, W., & Fajardo, P. (Agosto de 2012). Índice de sostenibilidad del recurso hídrico agrícola para la definición de estrategias sostenibles y competitivas en la Microcuenca Centella Dagua – Valle del Cauca. *Revista Gestión y Ambiente*, 15(2), 47-58. Recuperado el 01 de Junio de 2018

- Degioanni, A., & Camarasa, A. (2000). Bases Metodológicas para la Evaluación, Uso y Gestión Sostenible de los Recursos Agrarios. Aplicación a la cuenca Santa Catalina (Argentina). *Revista Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 291-311. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- EIP Water. (2017). *The City Blueprint® Approach*. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, Países Bajos. Recuperado el 05 de Abril de 2018
- El Espectador. (20 de Octubre de 2015). Planta de tratamiento de aguas residuales en Tunja entrará en operación en diciembre. *El Espectador*. Recuperado el 25 de Junio de 2018, de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-tunja-entrara-articulo-593850>
- El Tiempo. (19 de noviembre de 2007). *El río Chicamocha es la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso*. Recuperado el 16 de abril de 2018, de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3822070>
- Escobar, J. (2004). *Síndromes de sostenibilidad ambiental del desarrollo en Colombia*. Organización de la Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- ESPB. (s.f.). *Sogamoso también avanza en la construcción de PTAR*. Obtenido de Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá S.A ESP: [http://espb.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=379:sogamoso-tambien-avanza-en-la-construccion-de-ptar&catid=201:boletin-prensa&Itemid=656](http://espb.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=379:sogamoso-tambien-avanza-en-la-construccion-de-ptar&catid=201:boletin-prensa&Itemid=656)
- Feingold, D., Koop, S., & Van Leeuwen, K. (2018). The City Blueprint Approach: Urban Water Management and Governance in Cities in the U.S. *Environmental Management*(61), 9-23. doi:10.1007/s00267-017-0952-y
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2002). Índices fisicoquímicos de calidad del agua un estudio comparativo. *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible*, 211-219. Recuperado el 05 de Junio de 2018

- García, C., Piñeros, A., Bernal, F., & Ardila, E. (Enero-junio de 2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*(36), 60-64. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- García, L. (1998). *Manejo integrado de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- García-González, M. L., Carvajal Escobar, Y., & Jiménez-Escobar, H. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Ingeniería y Competitividad*, 9(1), 19-29. Recuperado el 01 de Junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323498002>
- Gobernación de Boyacá. (2016). *Boletín estadístico*. Gobernación de Boyacá, Oficina Asesora de Planeación, Tunja, Colombia. Recuperado el 30 de Abril de 2018
- Gobernación de Boyacá. (09 de Febrero de 2017). *Empresa de Servicios Públicos hizo mantenimiento a PTAR de Sogamoso*. Recuperado el 26 de Junio de 2018, de <http://www.boyaca.gov.co/prensa-publicaciones/noticias/15451-empresa-de-servicios-p%C3%BAblicos-hizo-mantenimiento-a-ptar-de-sogamoso>
- Gutiérrez, J., Aguilera, L., & González, C. (2011). Evaluación preliminar de la sustentabilidad de una propuesta agroecológica, en el subtrópico del altiplano central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 567-580. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- H.A. Koop, S., & J. Van Leeuwen, C. (19 de agosto de 2015). Application of the Improved City Blueprint Framework in 45 Municipalities and Regions. *Water Resour Manage*, 29, 4629-4647. doi:DOI 10.1007/s11269-015-1079-7
- Hernández, A., & Hansen, A. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 27(2), 115-127. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- IBEROARSEN. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones ibérica e Iberoamericana*. Argentina. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.enea.gov.ar/xxi/ambiental/iberoarsen>

- IDEAM. (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Consejo Interamericano para el Desarrollo Integral de la Organización de los Estados Americanos, Lima, Perú. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- IDEAM. (2010). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D.C. Recuperado el 18 de Abril de 2018
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- IGAC. (2011). *Cobertura total de acueducto para Boyacá*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial Nacional SIGOT, Bogotá, D.C. Recuperado el 26 de Junio de 2018
- IGAC. (2011). *Cobertura total de alcantarillado*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial Nacional, Bogotá, D.C. Recuperado el 26 de Junio de 2018
- Iníguez, C. (2010). Uso y valor del recurso hídrico urbano. Sistema de agua potable en Culiacán, México. *URBANO 21*, 41-47. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Instituto Nacional de Adecuación de Tierras. (1994). *Estudio de plan de ordenamiento del recurso hídrico en la cuenca Alta del Río Chicamocha Informe final V.1*. Santafé de Bogotá, D.C. Recuperado el 05 de Abril de 2018
- Kammerbauer, H., León, J., Castellón, N., Gómez, S., Faustino, J., & Prins, C. (2008). Modelo de cogestión adaptativa de cuencas hidrográficas. *Recursos Naturales y Ambiente*(59-60), 117-122. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Loaiza Cerón, W., Reyes Trujillo, A., & Carvajal Escobar, Y. (Julio-Diciembre de 2011). Modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 77-89. Recuperado el 01 de Junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281821988007>

- Loaiza Cerón, W., Reyes Trujillo, A., & Carvajal Escobar, Y. (Julio- Diciembre de 2012). Aplicación del Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura (ISRHA) para definir estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(2), 160-181. Recuperado el 30 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85224945003>
- Lozano Ortiz, L. (Diciembre de 2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*(7), 5-11. Recuperado el 05 de Junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400702>
- Luffiego García, M., & Rabadán Vergara, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 473-486.
- Madroñero, S., & Jiménez, F. (2006). Manejo del recurso hídrico y estrategias de gestión integral en la microcuenca del río Mijitayo, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*(56-57), 43-50. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Manga, J., Logreira, N., & Serralt, J. (2001). Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible. *Ingeniería & Desarrollo*(9), 12-21. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Manrique-Abril, F. G., Manrique Abril, D. A., Manrique-Abril, R. A., & Tejedor Bonilla, M. F. (2006). Contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha y algunas aproximaciones sobre la salud humana. *Rev. Salud. hist. sanid. on-line*, 1(1), 10-22. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Marín, R. (2003). *Colombia: Potencia hídrica*. Informe, Bogotá, Colombia. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Martínez, P., & Patiño, C. (2009). *Efectos del Cambio climático en los recursos hídricos de México*. Presentación de PowerPoint, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F. Recuperado el 31 de Mayo de 2018

- MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental. (2015). *Monitoreo de calidad de agua de la corriente principal de la cuenca alta y media del río Chicamocha*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Mejía, E., & Vargas, L. (Enero-Diciembre de 2012). Contabilidad para la sostenibilidad ambiental y social. *Lúmina 13*, 48-70. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Ministerio de la Protección Social. (2007). *Decreto 1575 de 2007*. Bogotá, D.C. Recuperado el 25 de Junio de 2018, de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico] : TÍTULO B*. (Segunda ed.). Bogotá, D.C., Colombia: Viceministerio de Agua y Saneamiento (Ed.). Recuperado el 21 de Junio de 2018
- Minvivienda. (04 de Abril de 2018). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia*. Recuperado el 05 de Junio de 2018, de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia Web site: [http://www.minvivienda.gov.co/Paginas/Viceministerios/Viceministerio\\_Agua/programas/Saneamiento%20y%20manejo%20de%20vertimientos.aspx](http://www.minvivienda.gov.co/Paginas/Viceministerios/Viceministerio_Agua/programas/Saneamiento%20y%20manejo%20de%20vertimientos.aspx)
- Miranda, M., Aramburú, A., Junco, J., & Campos, M. (2010). Situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú, 2007-2010. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública*, 27(4), 506-511. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Morales, J. (10 de Septiembre de 1997). *Manejo sostenibles de cuencas: Una introducción*. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, San Dionisio, Matagalpa, Nicaragua. Recuperado el 29 de Mayo de 2018, de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S944.5.W3T3\\_Taller\\_sobre\\_Manejo\\_Sostenible\\_de\\_Cuencas\\_Una\\_introducci%C3%B3n\\_1997,\\_San\\_Dionisio.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S944.5.W3T3_Taller_sobre_Manejo_Sostenible_de_Cuencas_Una_introducci%C3%B3n_1997,_San_Dionisio.pdf)
- Novo, M. (2009). La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible. *Revista de Educación*, 195-217. Recuperado el 31 de Mayo de 2018

- Ochoa, H., & Martínez, A. (Junio de 2005). El comportamiento de la inflación en Colombia durante el período 1955-2004. *Rev. estud.gerenc*, 21(95). Recuperado el 26 de Junio de 2018
- ONU. (2015). *Nota informativa: Agua y Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas, Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio.
- Ordóñez, A., Álvarez, R., & Jardón, S. (Segundo trimestre de 2010). Aprovechamiento de las aguas subterráneas como recurso hídrico y energético. *Seguridad y Medio Ambiente*(118), 46-60. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Orfertv. (10 de Febrero de 2017). *Visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tunja "Ptar"*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=SIVPOHCyklU>
- Perdomo, C., Casanova, O., & Ciganda, V. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Revista Agrociencia*, V(1), 10-22.
- Pérez, J., Rincón, N., Materán, M., Montiel, N., & Urdaneta, F. (Abril de 2002). Desarrollo Sostenible de tres comunidades de productores agrícolas del estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19(2). Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Pérez-Castillo, A., & Rodríguez, A. (Diciembre de 2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Trop*, 56(4), 1905-1918. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Pineda, L. (2017). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja - Boyacá*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C.
- Pinzón, M. V., & Echeverri, I. C. (Enero-Junio de 2012). La sostenibilidad ambiental regional: Una propuesta metodológica para su estudio más allá de la ecología urbana. *Revista Luna Azul*(34), 131-147. Recuperado el 31 de Mayo de 2018

- PNUMA. (2008). *Evaluación de las necesidades ambientales e situaciones post-desastre: Metodología práctica para su ejecución*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Santiago de Chile. Recuperado el 27 de Junio de 2018
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Manual, Organización de Naciones Unidas, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, Santiago de Chile. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Rodríguez, C. (2009). *Evaluación ambiental de las condiciones de explotación y uso del recurso hídrico subterráneo en el barrio Cerro Los Leones, Tandil*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo y Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Rojas Padilla, J. H., Perez Rincón, M. A., Malheiros, T. F., Madera Parra, C. A., Guimarães Prota, M., & Dos Santos, R. (Abril de 2013). Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(1), 73-97. Recuperado el 30 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92826320007>
- Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Lima, Perú. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (Diciembre de 2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>

- Sánchez, K., Jiménez, F., Velásquez, S., Piedra, M., & Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 88-95. Recuperado el 25 de 05 de 2018, de <http://ciat-library.ciat.cgiar.org>
- Sandoval, A., & Günther, M. (Otoño de 2015). Organizació social y autogestión del agua: Comunidades de la Ciénega de Chapala, Michoacán. *Rev. Política y Cultura*(44), 107-135. Recuperado el 27 de Junio de 2018
- Sarabia, I., Cisneros, R., Acevez de Alba, J., Durán, H., & Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 27(2), 103-113. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Sarmiento, M. (2014). *Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de mina de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España)*. Tesis doctoral, Universidad de Huelva, Departamento de Geodinámica y Paleontología, Huelva, España. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- SBIF. (s.f.). *¿Qué es y para qué sirve el IPC?* Recuperado el 25 de Junio de 2018, de <http://www.bancafacil.cl/bancafacil/servlet/Contenido?indice=1.2&idPublicacion=4000000000000100&idCategoria=1>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas*. Manual, Gland, Suiza. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (26 de Junio de 1984). Recuperado el 03 de Abril de 2018, de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617#>
- SENA. (1997). *Manual técnico para el manejo integral de cuencas hidrográficas*. Manual técnico, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Bogotá D.C. Recuperado el 31 de Mayo de 2018

- Solanes, M., & González-Villareal. (1996). *Los Principios de Dublin Reflejados en una Evaluación Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada del Agua*. Informe técnico. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Toledo, V. (1999). Campesinidad, agroindustrialidad, sostenibilidad: los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural. *Revista de Geografía Agrícola*, 7-19. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Tolón, A., Lastra, X., & Fernández, V. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. *Revista Electrónica de Medioambiente. UCM*, 14(1), 56-86. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Torres, E. (2009). *Propuesta de gestión del uso y manejo de las aguas del Río La Vega de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales, Bogotá. Recuperado el 04 de Abril de 2018
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (Julio-Diciembre de 2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Valencia, A. (2010). *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá, D.C. Recuperado el 20 de Junio de 2018
- Valencia, J., Díaz, J., & Ibarrola, H. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos en México: Nuevo paradigma en el manejo del agua. *La gestión integrada de los recursos hídricos*, 201-209. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Van Hofwegen, P., & Jaspers, F. (2000). *Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos: Lineamientos para la evaluación de marcos institucionales*. Agencia de Desarrollo de los Países Bajos (NEDA), Washington D.C.

- Van Leeuwen, C., & Chandy, P. (2013). The city blueprint: experiences with the implementation of 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. *Water Science & Technology: Water Supply*, 13(3), 769-781. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Van Leeuwen, C., & Sjerps, R. (2014). *EIP Water. City Blueprints® of 30 cities and regions*. Watercycle Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands . Recuperado el 01 de Junio de 2018
- Van Leeuwen, C., & Sjerps, R. (2015). The City Blueprint of Amsterdam: an assessment of integrated water resources management in the capital of the Netherlands. *Water Science & Technology: Water Supply*, 15(2), 404-410. Recuperado el 05 de Junio de 2018
- Van Leeuwen, C., Dan, N., & Dieperink, C. (2015). The Challenges of Water Governance in Ho Chi Minh City. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1-8. doi:DOI: 10.1002/ieam.1664
- Van Leeuwen, K., & Koop, S. (2015). *The City Blueprint® Approach*. Watershare, The Netherlands. Recuperado el 19 de Abril de 2018, de <https://www.watershare.eu/tool/city-blueprint/>
- Vargas, A. (2014). *Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano años 2013 con base en el IRCA*. Informe, Ministerio de salud y protección social, Subdirección de salud ambiental, Bogotá, Colombia. Recuperado el 05 de Abril de 2018
- Water Governance Facility. (2011). *Regional capacity building programme on water integrity in sub-Saharan Africa*.
- Wilson, M., Quintero, C., Boschetti, N., Benavidez, R., & Mancuso, W. (2000). Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en entornos ríos. *Revista Facultad de Agronomía*, 20(1), 23-30. Recuperado el 01 de Junio de 2018
- World Vision Canada. (2010). *Manual de Manejo de Cuencas*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018
- Zamudio, C. (Diciembre de 2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico. *Revista Gestión y Ambiente*, 15(3), 99-112. Recuperado el 30 de Mayo de 2018