

**MODELACIÓN DEL MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO:
ESTUDIO DE CASO DE TIBANÁ, BOYACÁ.**

DIEGO ALEJANDRO CRUZ CABEZA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

TUNJA

2018

**MODELACIÓN DEL MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO:
ESTUDIO DE CASO DE TIBANÁ, BOYACÁ.**

DIEGO ALEJANDRO CRUZ CABEZA

Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil

Director: Camilo Andrés Lesmes Fabián

Ph.D. en AntropoGeografía

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

TUNJA

2018

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, Boyacá, 17 de julio de 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios gracias por ser la base de mi moral, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que también me permitió continuar con salud, fuerzas y perseverancia para conseguir mis metas, para que con cada avance en mi vida fueran y sean grandes experiencias.

Gracias a mi madre Blanca Doris Cruz Cabeza, por ser la principal promotora de mis sueños y metas, gracias a ella por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía fueron de gran ayuda, gracias por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a mi Universidad Santo Tomas, gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todos los ingenieros y docentes que fueron participes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Agradezco al Ingeniero Camilo Lesmes Fabián, director del presente proyecto, por su acompañamiento, por su aporte de su amplio conocimiento, por sus consejos y por orientarme durante el transcurso de la investigación y desarrollo del trabajo.

Del mismo modo a mis amigos, por su compañía, consejos y momentos vividos durante el transcurso de mi educación profesional.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	14
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
1.1. IMPACTO DEL AGUA COMO RECURSO	15
1.2. RECURSO HÍDRICO EN EL MUNDO	16
1.3. AGUA POTABLE EN COLOMBIA	18
1.3.1. IRCA Nacional:	21
1.3.2. IRCA Departamental:	22
1.4. AGUA POTABLE EN BOYACÁ	23
1.5. INFRAESTRUCTURA PARA MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO	25
1.6. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA	28
1.6.1. Sistemas en Colombia	28
1.6.2. Características del abastecimiento de agua	29
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	31
3. OBJETIVOS	32
3.1. OBJETIVO GENERAL	32
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN	33

4.1.	CARACTERIZACION DEL SISTEMA	33
4.2.	“THE CITY BLUEPRINT”	33
4.2.1.	Marco de Tendencias y Presiones (Trends and Pressures Framework - TPF):	34
4.2.2.	Marco del plan de la ciudad (City Blueprint Framework - CBF).	36
5.	RESULTADOS	41
5.1.	DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ	41
5.1.1.	Localización:	41
5.1.2.	Características físicas del terreno:	42
5.1.3.	Hidrografía.	43
5.2.	MANEJO DEL RECURSO HIDRICO	45
5.2.1.	Captación	45
5.2.2.	Planta de Tratamiento de Agua Potable	45
5.2.3.	Uso	50
5.2.4.	Vertimiento	50
5.3.	EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO	53
5.3.1.	Marco de Tendencias y Presiones (Trends and Pressures Framework - TPF):	53
5.3.2.	Marco del plan de la ciudad (City Blueprint Framework - CBF):	58
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
6.1.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SEGÚN LA METODOLOGÍA “THE CITY BLUPRINT”	63
6.2.	ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD DEL MANEJO INTEGRADO DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ	66

6.2.1. Tipo de PTAR recomendada	67
6.2.2. Aspectos para la implementación de plantas de aguas residuales	67
6.2.3. Procesos/Tratamientos de una PTAR	68
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
GLOSARIO	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXOS	79

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Marco de Tendencias y Presiones.	35
Tabla 2. Rangos Índice de Tendencias y Presiones.	35
Tabla 3. Indicadores BCI	36
Tabla 4. Categorización del puntaje BCI	39
Tabla 5. Localización de los nacimientos de agua en Tibaná.	43
Tabla 6. Subcuencas del río Garagoa para la jurisdicción de CORPOCHIVOR	44
Tabla 7. Población del municipio de Tibaná.	53
Tabla 8. Rangos probabilidad e impacto de Riesgos.	55
Tabla 9. TPI del municipio de Tibaná.	57
Tabla 10. BCI del municipio de Tibaná.	59
Tabla 11. Resultados del puntaje total del BCI del municipio de Tibaná.	66

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Población con acceso a agua de buena calidad.	17
Figura 2. Recursos de agua dulce internos renovables per cápita-agregado regional en metros cúbicos.	18
Figura 3. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas, Km ³	19
Figura 4. Porcentaje de la población con acceso al suministro de agua.	20
Figura 5. Distribución del nivel de riesgo de las muestras reportadas al SIVICAP, Colombia.	21
Figura 6. Comportamiento del IRCA nacional, Colombia 2000-2016	22
Figura 7. Niveles de riesgo por departamento, Colombia 2016.	23
Figura 8. Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios, Boyacá.	24
Figura 9. Comportamiento del IRCA consolidado Boyacá, 2005 – 2016	25
Figura 10. The City Blueprint.	33
Figura 11. Municipio de Tibaná.	41
Figura 12. Ubicación de Tibaná en Boyacá.	42
Figura 13. Mejoramiento de pH con cal.	46
Figura 14. Filtración rápida en grava.	47
Figura 15. Filtración lenta en arena.	48
Figura 16. Dosificación del cloro.	49
Figura 17. Aplicación de cloro.	49
Figura 18. Tanques de almacenamiento.	50
Figura 19. Vertimiento en el Rio “San Joaquín”:	51
Figura 20. Vertimiento en el Predio de “Indira Sanabria”:	51

Figura 21. Vertimiento en la Quebrada “Los Perros”:	52
Figura 22. Modelo del Manejo Integrado del Recurso Hídrico del municipio de Tibaná.	52
Figura 23. Riesgo de acuerdo a su probabilidad e impacto.	56
Figura 24. Valores de los indicadores del Marco de Tendencias y Presiones aplicado en el municipio de Tibaná.	58
Figura 25. Valores de los indicadores de la metodología “The City Blueprint” aplicada en el municipio de Tibaná.	62

NOMENCLATURA

MIRH	Manejo Integrado de los Recursos Hídricos
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
SIVICAP	Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano
IRCA	Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano
TPF	Marco de Tendencias y Presiones
TPI	Índice de Tendencias y Presiones
CBF	City Blueprint Framework
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
BCI	Blue City Index
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
RSU	Residuos Sólidos Urbanos

RESUMEN

La disponibilidad del agua es actualmente una de las principales preocupaciones a nivel mundial, de manera que se sitúa como tema prioritario de seguridad y como cuestión clave para garantizar la calidad de vida de la población humana, la manutención de la biodiversidad y la productividad de las actividades económicas. El suministro de agua (cantidad y calidad) allí donde el usuario lo necesite debe ser fiable y predecible para apoyar las inversiones sostenibles. Ello requiere infraestructuras tanto materiales como inmateriales que se financien, exploten y mantengan de forma fiable el recurso hídrico. Por lo que el presente trabajo se ejecuta con el propósito de realizar un modelo del manejo del recurso hídrico desde la captación hasta su vertimiento del municipio de Tibaná, Boyacá, para así evaluar el sistema de agua potable de la zona urbana mediante un diagnóstico del sistema y elaborar un plan estratégico con el fin de ejecutarlo a largo plazo mejorando los procesos del sistema para que sea sostenible. Este trabajo de investigación se realizó dentro de la pasantía llevada a cabo en la “Secretaría de Planeación y Obras Públicas” en la Alcaldía Municipal de Tibaná, durante el tiempo comprendido entre el veintiséis (26) de enero y el dieciséis (16) de junio de dos mil dieciocho (2018).

Palabras clave: Recurso hídrico, sostenibilidad, agua potable, abastecimiento, manejo integrado.

ABSTRACT

Water availability is currently one of the main concerns worldwide, so it is a priority safety issue and a key issue to guarantee the quality of life of the human population, the maintenance of biodiversity and the productivity of the economic activities. The water supply (quantity and quality) where the user needs it must be reliable and predictable to support sustainable investments. This requires both physical and intangible infrastructures that finance, exploit and maintain water resources reliably. For this reason, the present work is carried out with the purpose of carrying out a model of the water resource management from the catchment until its discharge from the municipality of Tibaná, Boyacá, in order to evaluate the drinking water system of the urban area through a system diagnosis, and to elaborate a strategic plan with the purpose of executing it in the long term improving the processes of the system so that it is sustainable. This research work was carried out within the internship carried out in the "Secretary of Planning and Public Works" in the City Hall of Tibaná, during the time between the twenty-sixth (26) of January and the sixteenth (16) of June Two thousand and eighteen (2018).

Key words: Water resource, sustainability, drinking water, supply, integrated management.

INTRODUCCION

El acceso al agua potable y al saneamiento es esencial para los derechos humanos, la dignidad y la supervivencia de mujeres y hombres de todo el mundo, en especial los más desfavorecidos (BOKOVA 2017).

Para vivir adecuadamente, una persona necesita contar con al menos 20 litros diarios de agua, lo que implica un volumen de 7.300 litros por persona al año. Infortunadamente, muchas personas no tienen acceso a esta cantidad, no sólo por las condiciones ambientales sino por la falta de infraestructura o la calidad del agua, que no la hace apta para el consumo humano (ROBLES 2015).

El recurso hídrico ha sido una de las prioridades del hombre desde su existencia, se ha mantenido como un recurso vital y fuente de vida, las primeras actividades del manejo del agua se les atribuye a los romanos en su necesidad de hacer llegar el recurso a comunidades alejadas a este tipo de fuentes, después de muchos siglos aún existen minorías con dificultades para acceder a un servicio de agua potable constante y de calidad, que se ve reflejado en problemas de salud, calidad de vida y equidad social. (JIMENEZ 2005)

La riqueza hídrica colombiana también se manifiesta en la favorable condición de almacenamiento superficial, representada por la existencia de cuerpos de agua lenticos, distribuidos en buena parte de la superficie total y por la presencia de enormes extensiones de ecosistemas de humedales (CAMPOS 2012).

Con el fin de evaluar el sistema del manejo del recurso hídrico del municipio de Tibaná, en esta investigación se aplica la metodología “The City Blueprint”, que revela puntos fuertes y débiles del sistema estudiado. Según indicadores del Blue City Index (BCI), el municipio está muy bien en cuanto a la calidad y distribución del agua para consumo, pero se encuentra en un nivel muy bajo en el manejo de aguas residuales, esto se debe a que no tiene un PTAR. Por lo que en esta investigación se proponen soluciones que puede seguir los entes encargados de los servicios (Acueducto – Alcantarillado) para mejorar el sistema y que sea sostenible.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El avance en el conocimiento se produce porque el saber acumulado es la base sobre la que se desarrollan las nuevas investigaciones mediante un proceso de refutación, confirmación o la exploración de nuevas formulaciones que contribuyan a la explicación de los fenómenos de estudio. Es de esta forma como el conocimiento progresa, se desarrollan teorías y se explican los fenómenos del mundo físico y social. A continuación se presenta una revisión bibliográfica, la cual representa el entorno global del manejo del recurso hídrico, permitiendo contextualizar hallazgos y estudios previos en los cuales se han trabajado temáticas similares al desarrollo del presente trabajo de investigación.

1.1. IMPACTO DEL AGUA COMO RECURSO

La disponibilidad del agua es actualmente una de las principales preocupaciones a nivel mundial, de manera que se sitúa como tema prioritario de seguridad y como cuestión clave para garantizar la calidad de vida de la población humana, la manutención de la biodiversidad y la productividad de las actividades económicas (LABRA 2017).

El agua impregna todos los aspectos de la vida en la Tierra. Al igual que el aire que respiramos, sostiene la vida humana, animal y vegetal, proporciona servicios vitales para la salud humana, los medios de subsistencia y el bienestar, además contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas, por lo cual, es vital su debido uso y gestión (UNESCO 2016).

Este recurso es imprescindible para la vida, sin embargo pocas veces se piensa en la multitud de usos que habitualmente se le otorga, o en las numerosas actividades de nuestra vida cotidiana en las que está presente, y en definitiva como nuestra vida cambiaría si su disponibilidad estuviera limitada (JUNTA DE ANDALUCIA 2010).

Este creciente desabastecimiento de los recursos hídricos ha incitado a los gobiernos, en sus distintos niveles, a crear planes y programas que fomenten el cuidado del agua, de manera que es importante el tema de la vinculación de todos

los niveles de gobierno, con el objeto de conseguir un buen uso y gestión de los recursos hídricos (LABRA 2017).

1.2. RECURSO HÍDRICO EN EL MUNDO

Es de vital importancia la reflexión sobre la importancia del agua en el planeta. Según las Naciones Unidas la población mundial crece a un ritmo de 80 millones de personas al año, por lo que el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor (ONU 2016)

Aunque el 70 % de la superficie del mundo está cubierta por agua, solamente el 2.5 % del agua disponible para el consumo humano es dulce, mientras que el restante 97.5 % es agua salada. Casi el 70 % del agua dulce está congelado en los glaciares, y la mayor parte del resto se presenta como humedad en el suelo, o yace en profundas capas acuíferas subterráneas inaccesibles. Menos del 1 % de los recursos de agua dulce del mundo están disponibles para el consumo humano (ONU 2016).

La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmósfera mediante la evapotranspiración y corre hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales. El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y de cultivo no irrigadas, así como los ecosistemas (UNESCO 2003).

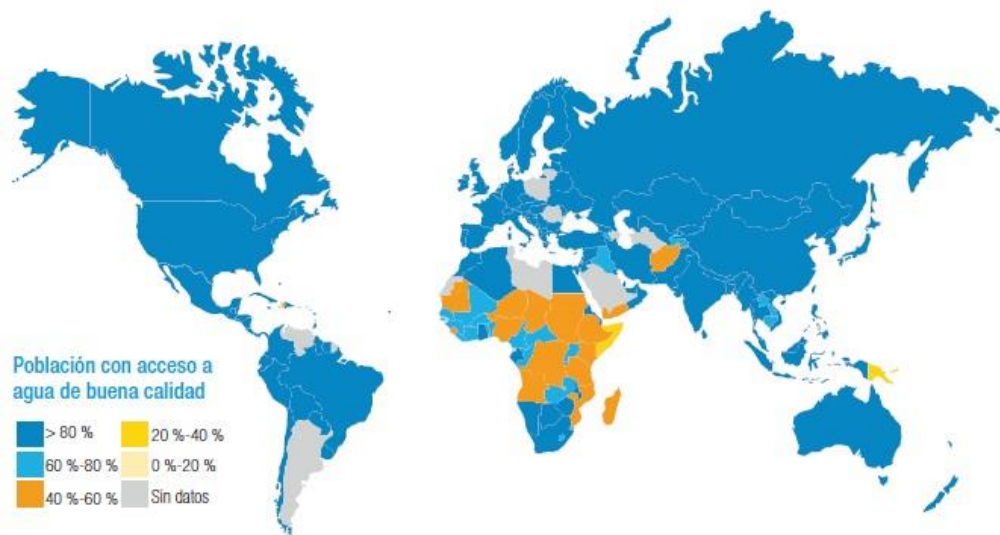
Tratar el agua como un bien económico puede ayudar a equilibrar la oferta y demanda de agua, sustentando de este modo, el flujo de bienes y servicios de este importante activo natural (GLOBAL WATER PARTNERSHIP 2000). También es decisivo para avanzar en la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en su conjunto, puesto que el agua es un hilo conductor de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus metas interrelacionadas (BOKOVA 2017).

La cantidad de agua dulce en el planeta es constante, esto es, 10.5 millones de km³, el problema está en que parte de ella se contamina, y cada día hay más y más habitantes en el planeta, por tanto, se necesita más agua y esto reduce la ración disponible para cada persona (AGUIRRE 2018).

Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego (FAO, 2010). A nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua (UNESCO 2015).

Para vivir adecuadamente, una persona necesita contar con al menos 20 litros diarios de agua, lo que implica un volumen de 7.300 litros por persona al año. Infortunadamente, muchas personas no tienen acceso a esta cantidad, no sólo por las condiciones ambientales sino por la falta de infraestructura o la calidad del agua, que no la hace apta para el consumo humano (ROBLES 2015).

Figura 1. Población con acceso a agua de buena calidad.

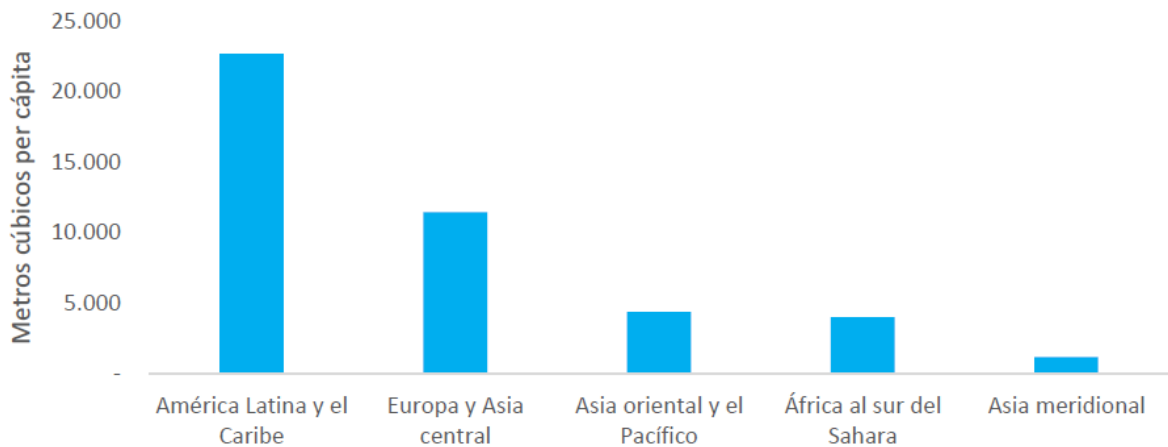


Fuente: (ROBLES 2015)

1.3. AGUA POTABLE EN COLOMBIA

Latinoamérica tiene la mayor disponibilidad de recursos de agua dulce del mundo. Como lo muestra la Figura 2, los recursos agregados para la región alcanzan niveles de 22.651 metros cúbicos per cápita, superando al segundo mejor del mundo (Europa y Asia Central) por 11.222 metros cúbicos per cápita (FINDETER 2017).

Figura 2. Recursos de agua dulce internos renovables per cápita-agregado regional en metros cúbicos.



Fuente: (FINDETER 2017)

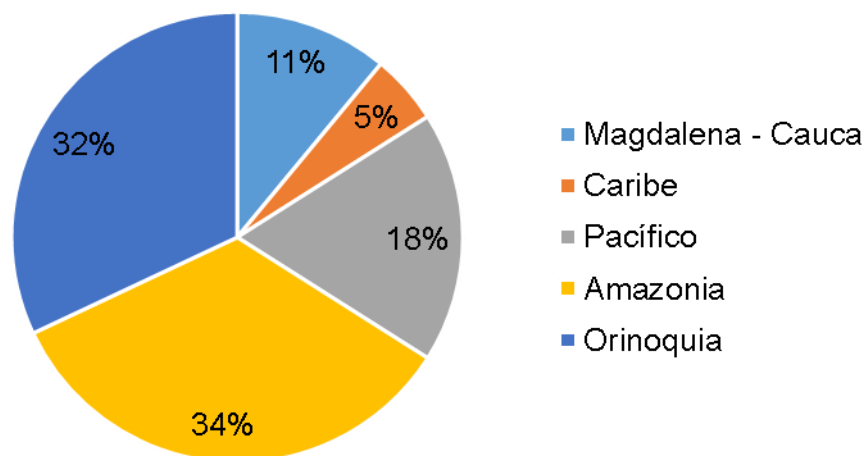
Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor (CAMPOS 2012).

En Colombia el acceso al agua se considera un derecho fundamental y se define como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico” (Corte Constitucional de Colombia, 2017). Por este motivo, garantizar la disponibilidad del recurso es una de las prioridades establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo, que pretende reducir

brechas en la provisión de servicios públicos como el agua potable (FINDETER 2017).

Según estimaciones del IDEAM, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía medial anual de 1830 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en escorrentía superficial generando un caudal medio de 67000 m³/seg, equivalente a un volumen anual de 2084 km³ que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia (CAMPOS 2012).

Figura 3. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas, Km³



Fuente: (CAMPOS 2012)

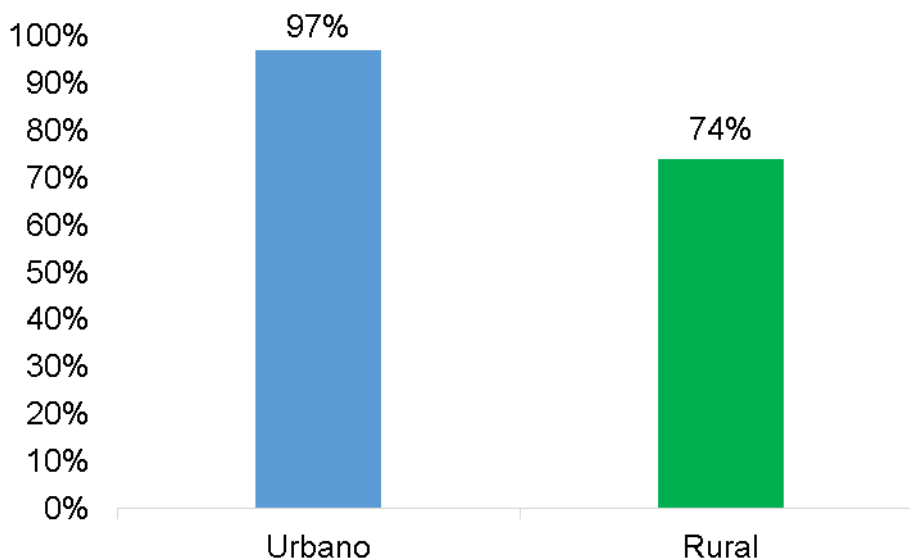
Siguiendo los lineamientos propuestos en la agenda mundial, primero con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y luego con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), Colombia logró que más ciudadanos pudieran acceder tanto a agua potable como a saneamiento básico (FINDETER 2017).

La riqueza hídrica colombiana también se manifiesta en la favorable condición de almacenamiento superficial, representada por la existencia de cuerpos de agua lenticos, distribuidos en buena parte de la superficie total y por la presencia de enormes extensiones de ecosistemas de humedales (CAMPOS 2012).

Durante el periodo 2010-2015, la proporción de personas que podían acceder a suministros de agua potable aumentó, lo que se tradujo en que 91,4 de cada 100 personas tuvieran acceso, cuando en el 2000 solo 88,4 (de 100) lo tenían. Esto permitió mejorar las condiciones de ciudadanos que debían caminar durante largas jornadas para obtener el recurso o que tenían acceso a fuentes de agua contaminadas (FINDETER 2017).

A pesar de estos avances, Colombia todavía no logra asegurar agua potable y saneamiento básico para todos sus habitantes, como lo propone el ODS número 6. Esto puede deberse a la existencia de una gran brecha entre las zonas urbanas y rurales del país (a favor de la urbana). Por ejemplo, en la zona urbana 97 personas de 100 pueden acceder a suministros de agua potable, mientras que en la rural solo 74 (de 100) lo logran (FINDETER 2017).

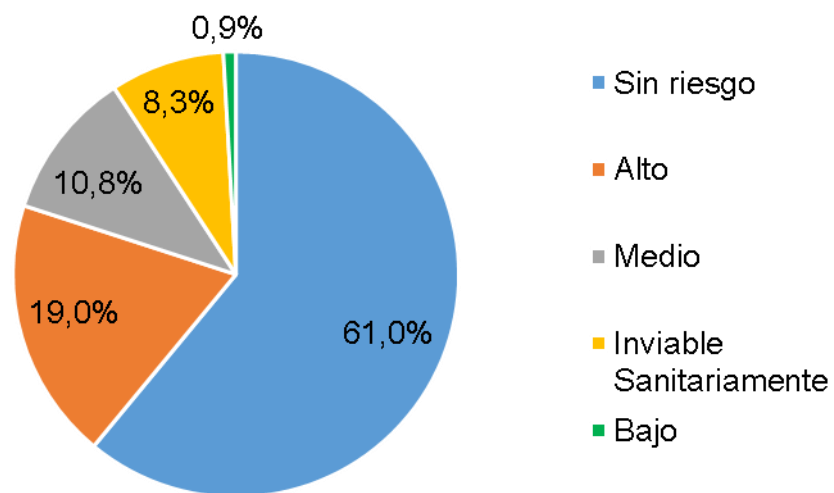
Figura 4. Porcentaje de la población con acceso al suministro de agua.



Fuente: (FINDETER 2017)

Durante el año 2016 fueron reportadas al SIVICAP un total de 41.314 muestras de las cuales, el 50,6% (20.890) fueron recolectadas en puntos de muestreo ubicados en la zona urbana y el 14,6% (6.066) ubicados en el área rural, con un 34,8% (14.358) de muestras sin dato del sitio de recolección. Del total de muestras reportadas, el 61,0% (25.208) se encontró sin riesgo, el 0,9% (384) presentó riesgo bajo, el 10,8% (4.455) riesgo medio, el 19,0% (7.832) alto y el 8,30% (3.435) fueron inviables sanitariamente (SIVICAP 2017).

Figura 5. Distribución del nivel de riesgo de las muestras reportadas al SIVICAP, Colombia.



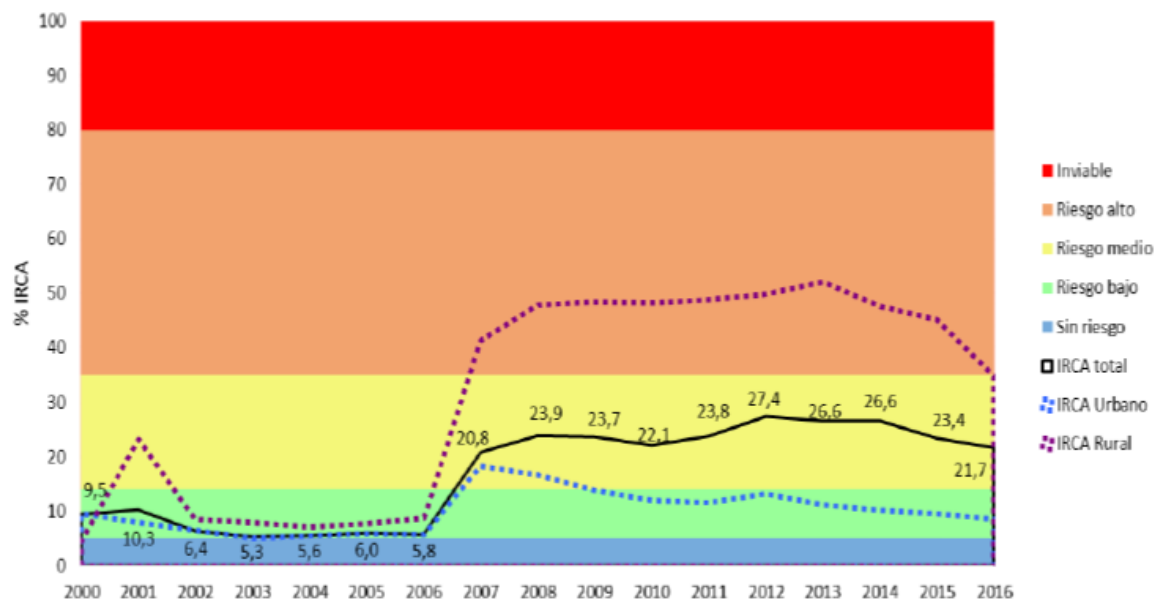
Fuente: (SIVICAP 2017)

1.3.1. IRCA Nacional:

El IRCA nacional para el año 2016 fue de 21,7, calculado a partir de las muestras recolectadas en las redes de suministro de los prestadores del servicio, lo cual indica un nivel de riesgo medio para el país durante este año. Al hacer una comparación del IRCA del país en los diferentes años desde el 2000, se encontró que el país tuvo un agua con riesgo bajo desde el 2000 al 2006 y a partir del año 2007 hasta la fecha ha mantenido un agua con nivel de riesgo medio, con una variación en los valores del IRCA. El cambio drástico en el comportamiento del IRCA

en el 2007 podría explicarse probablemente a que en este año se implementó el decreto 1575 en el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano que aplica a todas las personas prestadoras que suministran o distribuyen agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, siendo de obligatorio cumplimiento (SIVICAP 2017).

Figura 6. Comportamiento del IRCA nacional, Colombia 2000-2016

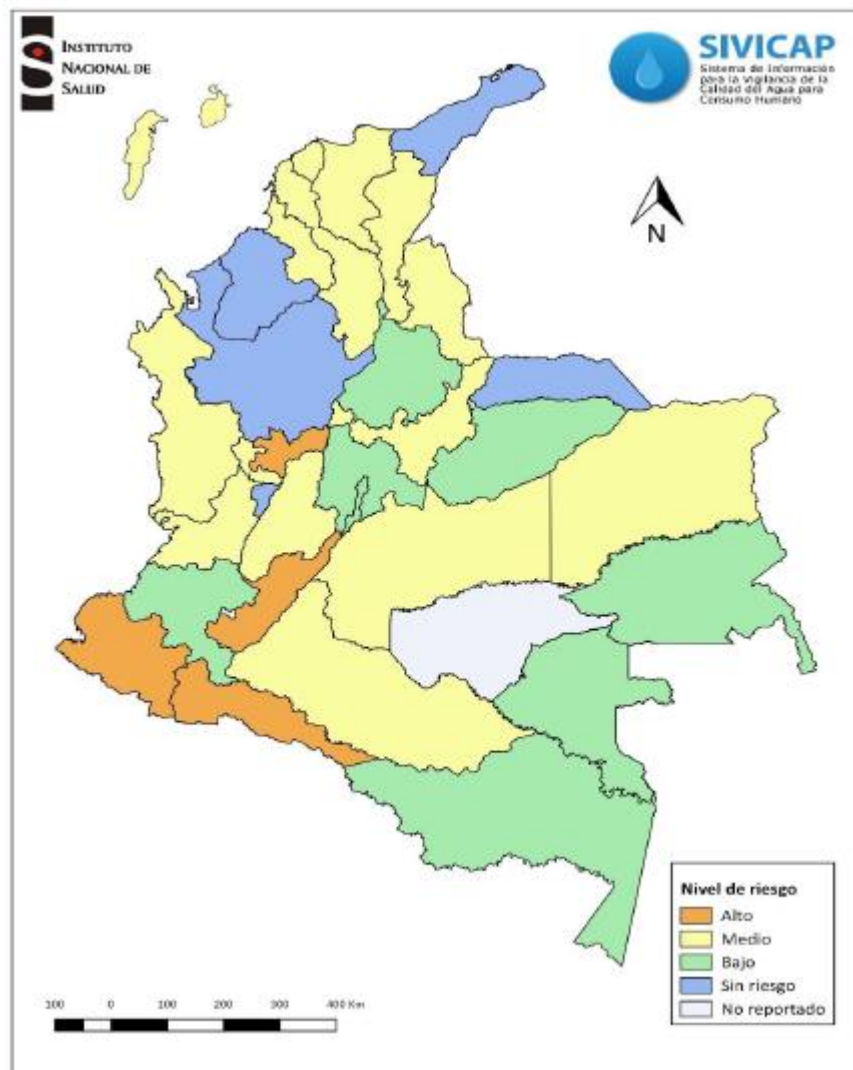


Fuente: (SIVICAP 2017)

1.3.2. IRCA Departamental:

El análisis de la calidad del agua por departamentos evidenció que el 15,6% (5) presentó un nivel sin riesgo, correspondiente a los departamentos de Antioquia, Arauca, Córdoba, La Guajira y Quindío. El 84,4% (27) presentó algún nivel de riesgo, siendo principalmente de riesgo medio en el 47,0% (15) de los departamentos, seguido de riesgo bajo en el 25,0% (8) y riesgo alto en el 12,5% (4); no hubo departamentos con calidad el agua inviable sanitariamente (SIVICAP 2017).

Figura 7. Niveles de riesgo por departamento, Colombia 2016.



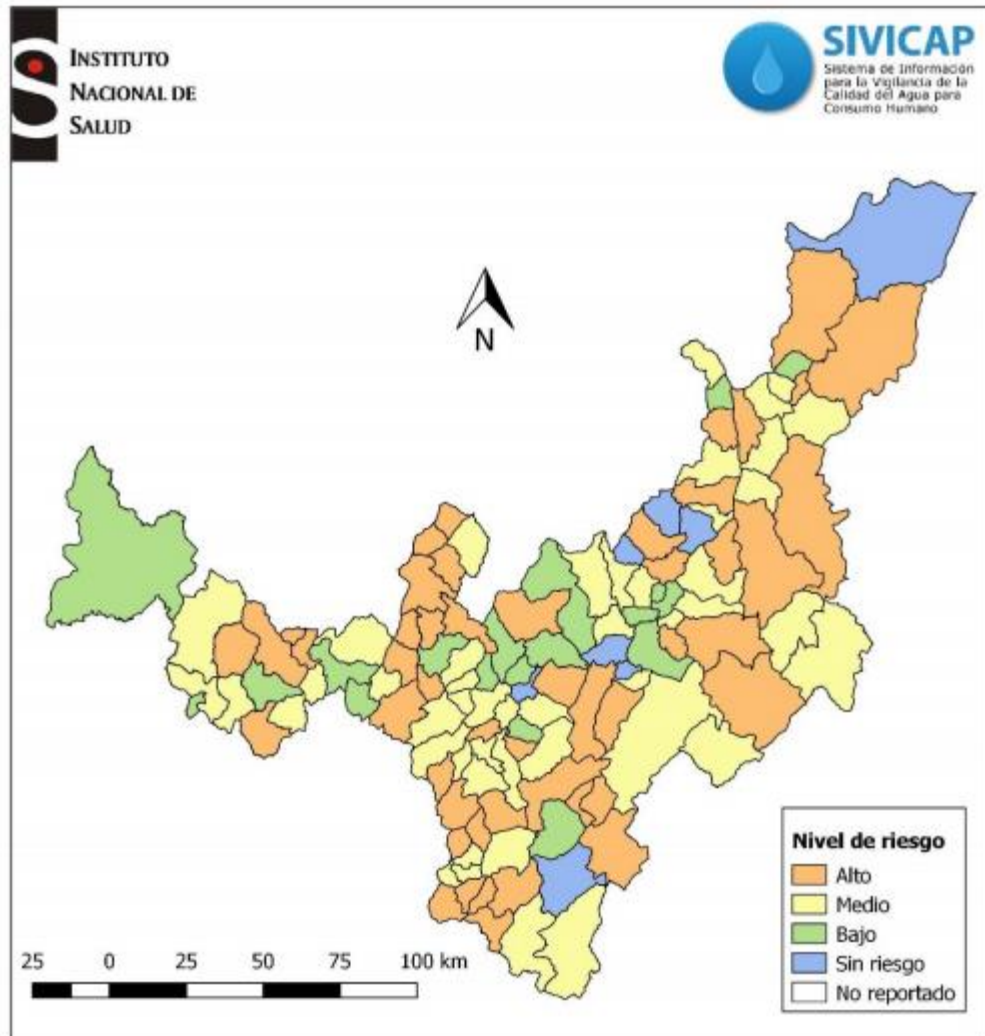
Fuente: (SIVICAP 2017)

1.4. AGUA POTABLE EN BOYACÁ

El departamento de Boyacá cuenta con 123 municipios y de todos se reportó información de la calidad del agua para consumo humano en el SIVICAP. Fueron registradas un total de 3.686 muestras lo cual arrojó un IRCA consolidado para el departamento de 27,0 considerándose el agua con nivel de riesgo medio. El análisis del IRCA evidenció que el 6,5 % (8) de los municipios tuvieron agua sin riesgo, el

15,4% (19) presentó riesgo bajo, el 38,2% (47) y el 39,8% (49) presentó riesgo alto (SIVICAP 2017).

Figura 8. Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios, Boyacá.



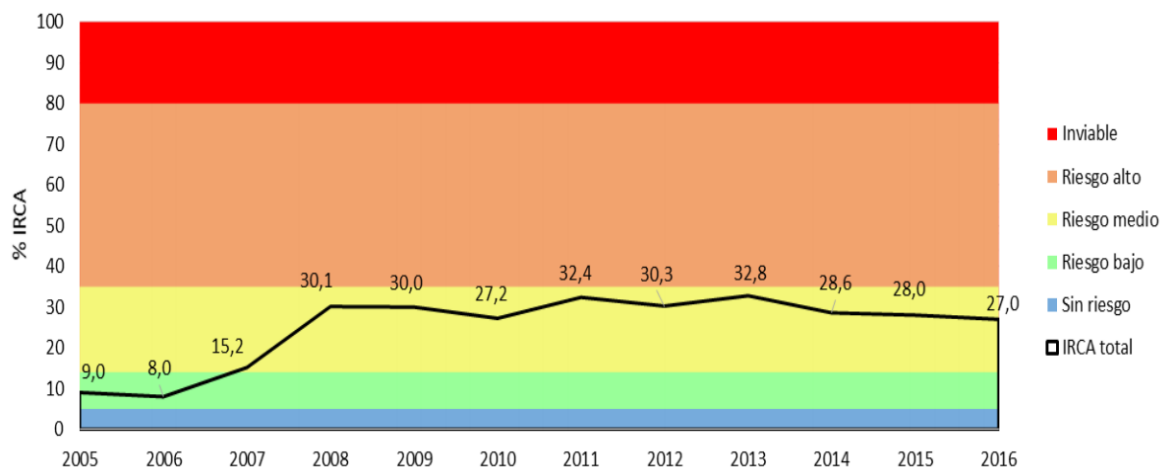
Fuente: (SIVICAP 2017)

Del total de muestras reportadas en el departamento durante el 2016, el 43,6% (1.608) fueron tomadas en la zona urbana, el 49,7% (1.831) en la zona rural y no hubo información de la zona de reporte para el 6,7% (247) de las muestras. Todos los municipios reportaron datos en la zona urbana, de los cuales, el 58,5% (72) presentó agua sin riesgo, el 25,2% (31) riesgo bajo, el 15,4% (19) riesgo medio y el

0,8% (1) riesgo alto. Por su parte, el 99,2% (122) de los municipios reportaron muestras en la zona rural, de los cuales el 3,3% (4) presentó agua sin riesgo, el 9,0% (11) nivel de riesgo bajo, el 24,6% (30) riesgo medio, el 54,9% (67) riesgo alto y el 8,2 (10) fueron inviables sanitariamente (SIVICAP 2017). Comportamiento del IRCA y nivel de riesgo en Boyacá:

El IRCA para el departamento de Boyacá en el año 2016 fue de 27,0% para un nivel de calidad de agua con riesgo medio. Al analizar los datos desde el 2005, año a partir del cual se tienen datos en el SIVICAP para el departamento, se evidenció que durante los años 2005 y 2006 el nivel de riesgo fue bajo y a partir del 2007 el nivel de riesgo ha sido medio (SIVICAP 2017).

Figura 9. Comportamiento del IRCA consolidado Boyacá, 2005 – 2016



Fuente: (SIVICAP 2017)

1.5. INFRAESTRUCTURA PARA MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

El agua potable proviene de un sistema productivo compuesto por instalaciones que captan el agua cruda desde sus fuentes, la transforman en apta para el consumo humano y la distribuyen a los consumidores a través del sistema de distribución. Estas instalaciones se agrupan en las etapas de producción y distribución, y en ellas se producen diferencias entre el volumen de agua que ingresa y el que sale (ALBARRÁN 1997).

El suministro de agua (cantidad y calidad) allí donde el usuario lo necesite debe ser fiable y predecible para apoyar las inversiones sostenibles desde el punto de vista financiero en las actividades económicas. Ello requiere infraestructuras tanto materiales como inmateriales que se financien, exploten y mantengan de forma fiable (UNESCO 2015).

Las medidas de control y reducción de pérdidas que pueden ser adoptadas por una empresa dependen del conocimiento de su nivel real de pérdidas en cada una de las etapas del sistema. Para tal efecto se debe realizar un diagnóstico que permita conocer la situación en que se encuentra la infraestructura física instalada, la eficiencia operativa y comercial de la empresa y las medidas de reducción de pérdidas que ya son usadas (ALBARRÁN 1997).

Las infraestructuras para reducir el riesgo de escasez de agua y gestionar los desastres relacionados con los recursos hídricos pueden hacer que los esfuerzos de una ciudad o municipio para desarrollarse resulten más sostenibles reduciendo su vulnerabilidad y/o aumentando la resiliencia de las economías ante acontecimientos extremos (UNESCO 2015).

La evaluación de la calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos, y sus posibles cambios a largo plazo debido a cambios en el uso del agua para el consumo, en el clima o en el uso de suelos, son altamente dependientes de información confiable proveniente del monitoreo y de sistemas de medición; esto lleva a la necesidad que se reasignen recursos para la inversión, operación y mantenimiento en este aspecto de la infraestructura de agua (GLOBAL WATER PARTNERSHIP 2000).

Al atender las necesidades y los deseos de cada municipio, se procura poner en uso prácticas de manejo integrado en materia de recursos hídricos que sean razonables, eficientes y sostenibles en las condiciones en que han de ser aplicadas y de alentar el tipo de análisis y planificación que sirva para que los municipios adopten mejores disposiciones institucionales, mejoren la infraestructura existente

y fomenten una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos (GARCIA 1998).

Un estudio sugiere que un dólar de inversión en infraestructuras hídricas y alcantarillado aumenta la producción privada (producto interior bruto) a largo plazo en 6,35 dólares y produce 2,62 dólares más de ganancias en otras industrias. Estos beneficios se acumulan en términos de puestos de trabajo creados, producción final e inversión en el sector privado (UNESCO 2015).

Esta múltiple variabilidad incrementa la demanda de desarrollo de infraestructura y la necesidad de manejar la oferta y demanda de agua. El desafío en administrar la variabilidad es claramente mayor en los países más pobres los que presentan menores recursos humanos y financieros para enfrentar los problemas. El efecto del cambio climático global puede sumarse a este desafío (GLOBAL WATER PARTNERSHIP 2000).

Se sugieren que las obras de infraestructura se realicen con base en el flujo natural de los ríos, su destinación y capacidad, para que estos puedan volver a ser un eje productivo sin que se interrumpa su lógica natural (ALISOS 2011).

Cuando se observan las inversiones necesarias para la infraestructura del recurso hídrico, uno debe distinguir entre los distintos actores que llevan la responsabilidad de procurar (pero no necesariamente proveer) cada tipo de inversión:

- Las inversiones que reduzcan desequilibrios espaciales y temporales en la disponibilidad de agua, que protejan a la gente de inundaciones extremas y eventos de sequía y que provean bienes públicos, son responsabilidad de las autoridades públicas, ya sean nacionales u sub-nacionales.
- Las inversiones diseñadas para distribuir agua a un gran número de usuarios (domésticos, industria, productores de energía o regantes) y para remover los desechos o los excesos de agua, son responsabilidad de los gobiernos regionales o locales, instituciones especiales de irrigación u otras autoridades de agua diversas.

- Las inversiones que permitan a cada usuario resolver sus problemas de aguas son de su responsabilidad personal (GLOBAL WATER PARTNERSHIP 2000).

Las inversiones en infraestructuras hidráulicas por sí solas no son suficientes para mejorar la productividad agrícola. Los agricultores necesitan tener acceso a insumos como abonos y semillas, acceso al crédito y a una mejor educación e información acerca del uso de los insumos y de las técnicas más modernas (UNESCO 2015).

1.6. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA

1.6.1. SISTEMAS EN COLOMBIA

En Colombia existen zonas en las cuales es muy difícil el suministro de agua potable como lo son las zonas rurales o la región del Pacífico. Estas poseen una grave deficiencia en el servicio de acueducto y alcantarillado, el agua potable suministrada aparte de poseer una alta demanda se ha reportado varias veces con problemas de salubridad, lo que ha ocasionado diversas enfermedades asociadas a estas condiciones de saneamiento e higiene (MONTERO, 2016).

Actualmente en Colombia la implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas, significa el uso de mano de obra, maquinarias, compra de materiales, es decir genera un costo adicional al determinado para un proyecto típico, por lo que es importante establecer si realmente es necesaria esta obra, y si se obtienen los beneficios ambientales y económicos que justifiquen dicha inversión (REYES 2014).

En Colombia el abastecimiento de agua presentó una cobertura de acueducto total (rural y urbano), en el año 2012 del 75,15%. En el caso del sector urbano para este mismo año tuvo una cobertura del 97% y el rural 53,3%. Lo anterior representa buenos niveles de cobertura de acueducto en las viviendas urbanas; no obstante, solo alrededor de la mitad de las viviendas del sector rural de Colombia presentan

cobertura de acueducto, evidenciando una alta disparidad en la cobertura de agua potable entre las cabeceras y las zonas rurales (ARBOLEDA 2016).

Colombia es un país muy rico en recursos naturales que alberga una vasta variedad de fauna y flora en todo el territorio y no posee aun grandes problemas ambientales que poseen otros países, el agua es un recurso categorizado como no renovable, pero en creciente demanda muy limitado y en algunas zonas de difícil preservación y accesibilidad (MONTERO 2016).

En distintas partes del país no se tiene una infraestructura optima que cumpla con los requisitos para abastecer a estas personas sin presentar ningún tipo de falla; de acuerdo a esto tienen que acoplarse a soluciones momentáneas y que en algunos casos son perjudiciales para la salud humana (BENAVIDES 2006).

1.6.2. CARACTERÍSTICAS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA

Todo sistema de abastecimiento de agua se proyecta para atender las necesidades de una población durante un periodo determinado. Cuando dichos sistemas no satisfacen con los objetivos específicos sujetos a impedimentos y restricciones que afectan de algún modo al funcionamiento ya sea por el deterioro de sus estructuras y crecimiento de la población, se hace necesario evaluar y diseñar nuevas alternativas que puedan corregir problemas y dar soluciones al sistema (BENAVIDES 2006).

En la actualidad, el agua cobra cada día un valor mayor, pues las fuentes de abastecimiento son cada vez más reducidas y con un recurso de menor calidad en especial en las captaciones superficiales, lo cual ha obligado a los acueductos municipales a abastecerse en muchas ocasiones de pozos profundos para obtener un agua de mejor calidad y cantidad, con unos sobre costos de bombeo (REYES 2014).

Hoy en día la construcción está dando mayor importancia al establecimiento de medidas sostenibles, en las que cualquier edificación emplea mejores prácticas de ingeniería para minimizar el impacto ambiental que ésta genera en su entorno e

involucran tanto la fase construcción como la de operación de dicha edificación. Es por eso que se hace énfasis en la conveniencia del manejo y uso eficiente de aguas con el fin de utilizar la menor cantidad de agua proveniente de fuentes de abastecimiento convencional y se abre paso entonces la alternativa para el aprovechamiento de fuentes naturales en las que se reducen los costos tanto de suministro como de transporte del líquido vital (REYES 2014).

Los sistemas de captación y almacenamiento de lluvias podrían llegar a convertirse en una parte fundamental para todo tipo de construcciones sostenibles. El agua siendo un recurso natural muy importante cada vez es más escaso, gracias a la instalación de estos sistemas, se puede llegar a ahorrar una gran parte del consumo potable en un hogar. El agua almacenada puede ser reutilizada para distintos usos ya sean no potables como el uso de sanitarios, riego, jardinería, lavados o potables con su correcto proceso de desinfección (MONTERO 2016).

Es importante que se empleen mecanismos de protección en las zonas de abastecimiento con el fin de mantener suministro del agua a futuro, además establecer una supervisión continua a las estructuras del sistema con el fin de revisar en ellas los aspectos técnicos para evitar problemas en el sistema (BENAVIDES 2006).

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demanda cada vez más este recurso para uso del consumo, así como para llevar a cabo actividades económicas (DURAN 2006). Por esto surge la necesidad de garantizar el abastecimiento y recolección del agua como recurso y fuente principal de vida. La dificultad no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud. Por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo, ya que es claro que cuando existe abastecimiento de agua adecuado, la salud mejora en proporciones óptimas (UNICEF 2005). Del mismo modo es fundamental reducir las pérdidas que se generan en los sistemas de acueducto y así lograr un menor desperdicio de agua potable y un recaudo económico mayor para que empresas prestadoras del servicio funcionen de manera sostenible.

La mayor parte de los problemas de operación, mantenimiento y gestión tienen su origen en unas capacitaciones inadecuadas, tanto desde el punto de vista técnico como de usuarios (OLIETE 2005). Para comprender mejor los problemas asociados al agua en un municipio, es necesario conocer cuál es su distribución respecto a la de la población, de este modo detectamos las zonas con mayores problemas. La recolección de datos se debe llevar a cabo con metodologías participativas para conseguir sacar a la luz la mayor información posible, y acabar definiendo entre todos la solución más adecuada para el problema detectado.

Es indispensable que la calidad del agua sea adecuada durante todo el sistema de abastecimiento, por lo que es necesario la protección de fuentes de agua y sistemas de distribución adecuados y bien mantenidos, para reducir considerablemente los problemas en el proceso del agua.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un modelo del sistema del manejo de agua desde la captación hasta su vertimiento del municipio de Tibaná, Boyacá.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1.** Elaborar un diagnóstico del sistema de manejo del recurso hídrico del municipio de Tibaná.
- 3.2.2.** Evaluar el sistema de manejo del recurso hídrico con el fin de definir estrategias para mejorar su sostenibilidad.
- 3.2.3.** Proyectar un plan estratégico con el fin de ejecutarlo a largo plazo mejorando los procesos del sistema para que sea sostenible y adecuado.

4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

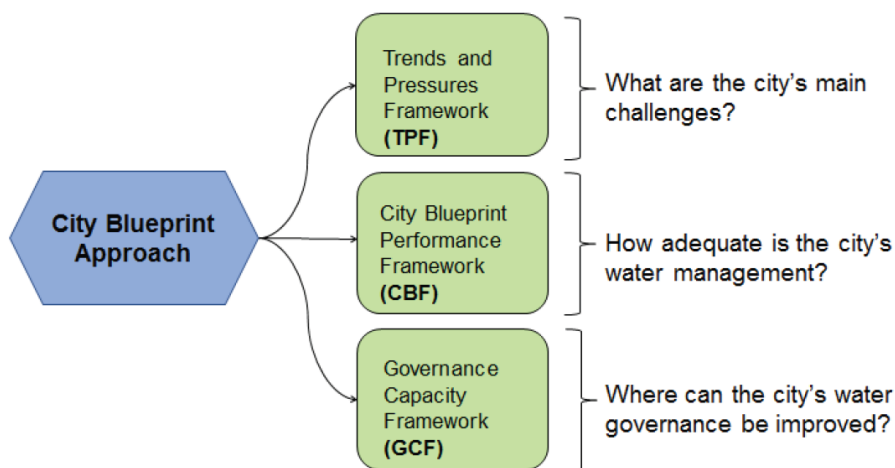
4.1. CARACTERIZACION DEL SISTEMA

Se pretende realizar un modelo del manejo del sistema del recurso hídrico, señalizando cada uno de los procesos, los subprocesos que se dividen de estos y el funcionamiento de cada uno. Esto con el fin de tener una descripción completa del sistema de explotación del recurso hídrico en el municipio de Tibaná, en el departamento de Boyacá.

4.2. “THE CITY BLUEPRINT”

Con el fin de evaluar el nivel de sostenibilidad en el manejo del recurso hídrico, se aplicó la metodología “The City Blueprint”, la cual es una herramienta de diagnóstico y consta de tres marcos complementarios: **a)**- Los principales desafíos de las ciudades se evalúan con el Marco de Tendencias y Presiones (TPF); **b)**- La forma en que las ciudades gestionan su ciclo del agua se realiza con City Blueprint Framework (CBF); y **c)**- Las posibles mejoras en cuanto a su gestión del agua se hace con Governance Capacity Framework (GCF) (WATERSHARE 2018).

Figura 10. The City Blueprint.



Fuente: (WATERSHARE 2018)

El TPF resume los principales aspectos sociales, ambientales y financieros sobre los cuales las ciudades apenas tienen influencia, mientras que el CBF proporciona una visión clara del desempeño de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en los municipios y las regiones. Los indicadores CBF se dividen en las siguientes siete categorías: calidad del agua, tratamiento de residuos sólidos, servicios básicos de agua, tratamiento de aguas residuales, infraestructura, robustez climática y gobernanza (WATERSHARE 2018).

“The City Blueprint” es una evaluación inicial o un escaneo rápido que evalúa el estado real de la GIRH de una ciudad y muestra los resultados del indicador en un diagrama de araña. Es un primer paso en el proceso de planificación estratégica de GIRH en las ciudades. “The City Blueprint” permite la comparación con otras ciudades líderes y, por lo tanto, puede promover el aprendizaje de ciudad a ciudad. El proceso “The City Blueprint” es un enfoque interactivo que involucra a todas las partes interesadas desde el principio del proceso. Es un primer paso en la comprensión estratégica y la planificación a largo plazo de la GIRH en las ciudades. Las principales partes interesadas incluyen servicios de agua, empresas, organizaciones no gubernamentales, etcétera (LEEUWEN y KOOP 2015).

4.2.1. Marco de Tendencias y Presiones (Trends and Pressures Framework - TPF):

El marco de tendencias y presiones proporciona un contexto más amplio a las circunstancias únicas de la ciudad que configuran la gestión diaria del agua en las ciudades, pero que difícilmente pueden influir en la ciudad. El marco proporciona información suplementaria al marco de rendimiento del “The City Blueprint”. Las 12 tendencias descriptivas y los indicadores de presión son igualmente desconfiados en una categoría social, ambiental y financiera, basada en información clave de organizaciones internacionales (WATERSHARE 2018).

Tabla 1. Marco de Tendencias y Presiones.

	PRESIÓN	INDICADOR
Tendencias y Presiones	Presiones Sociales	1. Tasa de Urbanización
		2. Carga de la Enfermedad
		3. Tasa de Educación
		4. Inestabilidad Política
	Presiones Ambientales	5. Inundación
		6. Escasez de Agua
		7. Calidad del Agua
		8. Riesgo de Calor
	Presiones Financieras	9. Presión Económica
		10. Tasa de Desempleo
		11. Índice de Pobreza
		12. Tasa de Inflación

Fuente: (WATERSHARE 2018)

Las 12 tendencias descriptivas y los indicadores de presión tienen una escala de 0 a 4 puntos, y se han utilizado las siguientes clases: 0-0.5 puntos (sin preocupación), 0.5-1.5 puntos (poca preocupación), 1.5-2.5 puntos (preocupación media) 2.5-3.5 puntos (preocupación) 3.5-4.0 puntos (gran preocupación). El puntaje general, el Índice de tendencias y presiones (TPI) proporciona una visión general básica de las presiones sociales, ambientales y financieras (WATERSHARE 2018).

Tabla 2. Rangos Índice de Tendencias y Presiones.

TPI	0,00 - 0,50	Sin Preocupación
	0,51 - 1,50	Poco Riesgo
	1,51 - 2,50	Medio
	2,51 - 3,50	Preocupación
	3,51 - 4,00	Gran Preocupación

Fuente: (WATERSHARE 2018)

4.2.2. Marco del plan de la ciudad (City Blueprint Framework - CBF).

El conjunto de indicadores orientados al rendimiento proporciona una actual actuación de Servicios urbanos del ciclo del agua (Urban Water Cycle Services - UWCS). Además, el Índice del Plan de la Ciudad (Blue City Index - BCI) es el puntaje general de los 25 indicadores que varía de 0 a 10 puntos. El BCI muestra profundas diferencias entre ciudades. Además, las ciudades con muchas presiones (ciudades que tienen un TPI alto) son ciudades con bajos puntajes de desempeño BCI. Estas ciudades tienen los desafíos acuáticos más serios. También dentro de Europa las diferencias en el rendimiento son sustanciales y muestran las mejoras de la sala mediante el intercambio de conocimientos, experiencias y mejores prácticas (WATERSHARE 2018).

Tabla 3. Indicadores BCI

CATEGORÍA	INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Calidad del Agua	WWT secundaria	Medida de la población urbana conectada a las plantas de tratamiento de aguas residuales secundario.
	Terciaria WWT	Medida por la población urbana conectada a las plantas de tratamiento de aguas residuales terciaria.
	Calidad del Agua Subterránea	Medida de la calidad del agua subterránea relativa. Una puntuación más baja se da Indicador de menor calidad.
Tratamiento de Residuos Sólidos	Desechos Sólidos Recogidos	Representa residuos recogidos desde / producidos por los hogares, pequeñas actividades comerciales, oficinas, edificios, instituciones tales como escuelas y edificios gubernamentales, y las pequeñas empresas que amenaza o eliminar los residuos en los mismos utilizados para los residuos municipales recogidos

	Los Residuos Sólidos Reciclados	Porcentaje de residuos sólidos que se recicla o abono.
	La Energía de los Residuos Sólidos Recuperados	Porcentaje de residuos sólidos que se incineran con recuperación de energía.
Servicios Básicos de Agua	El Acceso al Agua Potable	La proporción de la población con acceso a agua potable asequible. Una puntuación más baja del indicador se da cuando el porcentaje es menor.
	El Acceso al Saneamiento	Una medida del porcentaje de la población cubierta por recogida y tratamiento de aguas residuales. Una puntuación más baja del indicador se da cuando el porcentaje es menor.
	Calidad del Agua Potable	Una medida del grado de cumplimiento de las normas locales de agua potable. Una puntuación más baja del indicador se da cuando el cumplimiento es menor.
Tratamiento de Aguas Residuales	La Recuperación de Nutrientes	Medida del nivel de recuperación de nutrientes desde el sistema de aguas residuales.
	Recuperación de Energía	Medida de recuperación de energía desde el sistema de aguas residuales.
	Lodos de Depuradora Reciclaje	Una medida de la proporción de los lodos de depuradora reciclados o reutilizados.
	WWT la Eficiencia de Energía	Una medida de la eficiencia energética de la depuración de aguas residuales
Infraestructura	Alcantarillado Edad Promedio	Una medida de la proporción del sistema de aguas residuales para los que se separan los flujos de aguas residuales y aguas pluviales sanitarias. Una puntuación indicador inferior se da donde la proporción de alcantarillas combinado es mayor.

	Fugas en el Sistema de Agua	Una medida del porcentaje de agua perdida en el sistema de distribución debido a fugas
	La separación de las Aguas Pluviales	Una medida de la proporción del sistema de aguas residuales para los que se separan los flujos de aguas residuales y aguas pluviales sanitarias.
Robustez Climático	Espacio Verde	Representa el porcentaje de área verde y azul, que es esencial para combatir el efecto de isla de calor en zonas urbanas.
	La Adaptación al Clima	Una medida del nivel de las medidas adoptadas para adaptarse a las amenazas del cambio climático.
	Consumo de Agua Potable	Medida del consumo medio anual de agua per cápita.
	Edificios Robustos Clima	Una medida de si existe una política clara para que los edificios sean robustos con respecto a su contribución a las preocupaciones sobre el cambio climático
Gobernanza	Planes de Gestión y de Acción	Una medida de la aplicación del concepto de gestión de recursos hídricos (GIRH) en la ciudad
	Participación Pública	Una medida de la proporción de personas que participaron o haciendo un trabajo remunerado.
	Medidas de Eficiencia Hídrica	Medida de la aplicación de medidas de eficiencia de agua en el rango de los usuarios del agua en toda la ciudad.
	Atractivo	Una medida de cómo las características del agua superficial están contribuyendo a la capacidad de atracción de la ciudad y el bienestar de sus habitantes.

Fuente: (LEEUWEN y KOOP 2015)

Los resultados permiten una categorización simple de los diferentes niveles de sostenibilidad para la Gestión Integrada Recursos Hídricos urbana.

Tabla 4. Categorización del puntaje BCI

Puntaje BCI	Categorización de GIRH en las ciudades
0-2	Ciudades que carecen de servicios básicos de agua
	<p>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</p>
2-4	Ciudades derrochadoras
	<p>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.</p>
4-6	Ciudades eficientes en agua
	<p>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.</p>

6-8	Ciudades eficientes en el uso de recursos y adaptativas
	<p>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 en agua se aplican ampliamente y el consumo de agua se ha reducido. La adaptación climática en la planificación urbana se aplica, p. 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>
8-10	Ciudades sabias del agua
	<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>

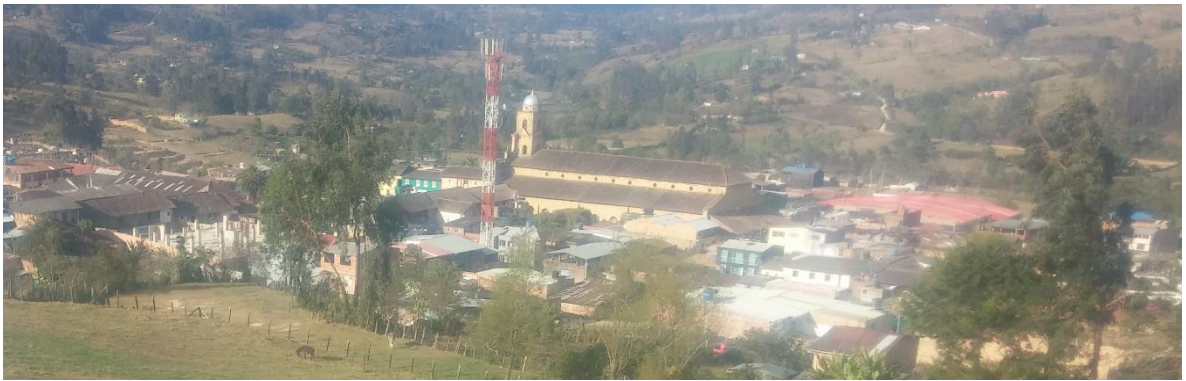
Fuente: (LEEUWEN y KOOP 2015)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ

Tibaná es un municipio de la Provincia de Márquez, ubicado al sur oriente del departamento de Boyacá. Se caracteriza por depender económicamente de la producción agropecuaria en un porcentaje aproximado del 90%, la cual se realiza en minifundios y producción familiar (ALCALDIA MUNICIPAL DE TIBANÁ 2016).

Figura 11. Municipio de Tibaná.

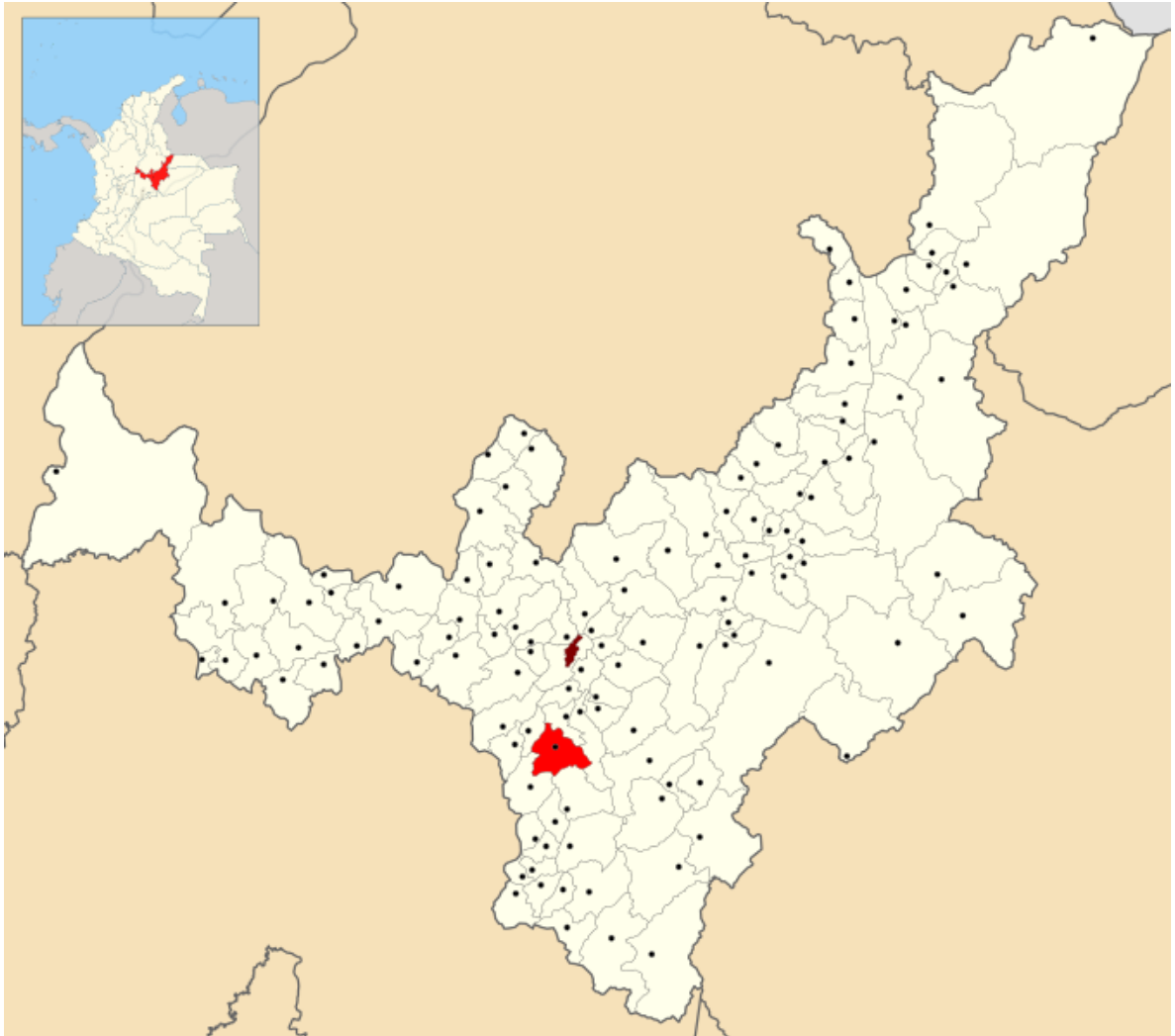


Fuente: Estudio.

5.1.1. Localización:

El municipio de Tibaná dista de Tunja a 38 Km. Para el año 2015 registro una población de 9.186 habitantes. Su cabecera está localizada a los 05° 19' 14" de latitud Norte, 73° 24' 02" de longitud Oeste y una extensión aproximada de 121.76 km², cuenta con 29 veredas; limita por el Norte con Jenesano, por el Este con Ramiriqui y Chinavita, por el Sur con Chinavita y Umbita y por el Oeste con Turmequé y Nuevo Colón (ESE Tibaná 2013).

Figura 12. Ubicación de Tibaná en Boyacá.



Fuente: (ALCALDIA MUNICIPAL DE TIBANÁ 2016)

5.1.2. Características físicas del terreno:

La cabecera municipal se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2115 m. Temperatura media de 16°C, cuenta con dos tipos de clima:

- **Frio Húmedo:** Tipo de clima presente en altitudes entre 2000 y 3000 m.s.n.m., con temperatura promedio entre 12 y 18 grados centígrados y un índice de humedad entre 60 y 100 %. Localizado especialmente en las veredas de Quichatoque, San José, El Carmen y parte de Chiguata.

- **Frio Seco:** Tipo de clima presente en altitudes entre 2000 y 3000 m.s.n.m., con temperatura promedio entre 12 y 18 grados centígrados y un índice de humedad entre 20 y 60 %.

También, el municipio cuenta con buenas fuentes de agua por el terreno quebradizo no se pueden aprovechar, entre ellas tenemos: El rio Tibaná que nace en el páramo de chontales y desemboca en el rio Sunuba en el sitio de las minas donde toma el nombre de rio Garagoa, también tiene 5 quebradas: Juan Ruiz, Colorado, La Cabala, Ruche y Suta. La distribución espacial de las lluvias es de forma bimodal de abundantes precipitaciones entre los meses de mayo y agosto con un máximo centrado en el mes de julio y periodo seco a finales y a comienzo de año (ESE Tibaná 2013).

5.1.3. Hidrografía.

La hidrografía comprende todos los ríos y sus afluentes que están dentro de un territorio, para lo cual se establece una clasificación por subcuenca y microcuenca o afluentes de la corriente de aguas principal,

Existen otras fuentes hídricas las cuales abastecen la población, estas son los nacimientos y pozos (naturales) o reservorios que el hombre hace para satisfacer sus necesidades hídricas.

Tabla 5. Localización de los nacimientos de agua en Tibaná.

VEREDA	NUMERO DE NACIMIENTOS	VEREDA	NUMERO DE NACIMIENTOS
BATAN	6	PIE DE PEÑA	10
BAYETA	8	PIEDRAS DE CANDELA	8
CARARE	10	QUICHATOQUE	8
CHIGUATA	14	RUCHE	16
EL CARMEN	10	SAN JOSE	4
GAMBITA	10	SASOTQUE	4
JUANA RUIZ	3	SIRAMA	4
LAJA	5	SIRATA	3
LAVADEROS	10	SIUMAN	5
MANGLES	10	SUPANECA	9

MARANTA	10	SUTA ARRIBA	12
MOMBITA	4	ZANJA	14
TOTAL		197	

Fuente: (ALCALDIA MUNICIPAL DE TIBANÁ 2016)

El municipio de Tibaná, se encuentra enmarcado en la cuenca del río Garagoa, la cual se forma de dos cuencas, la del río Garagoa que viniendo desde el norte y se une en el sitio llamado "Las Juntas" con el río Súnuba que desciende desde la parte alta de la cordillera oriental en sentido occidente–oriente. Son tributarios del río Garagoa las siguientes corrientes principales: Teatinos, Boyacá, Juyasía, Tibaná, Fusavita, Bosque, Guaya, Albarracín y Turmequé; y del Súnuba la Quebrada Tocola y los ríos Machetá y Aguacía. La Unión de los ríos Súnuba y Garagoa forma el río Batá que después de convertirse en el embalse La Esmeralda, que provee al país en un 8% de su consumo de energía, y desembocando en el río Lengupá para finalmente tributar a la gran cuenca del río Orinoco.

Tabla 6. Subcuencas del río Garagoa para la jurisdicción de CORPOCHIVOR

CUENCA	No .	SUBCUENCA	AREA TOTAL (Ha)	MICROCUENCAS
Rio Garagoa	1	Rio Bata	9435	158
	2	Embalse La Esmeralda	28500	
	3	Rio Sunuba	19964	
	4	Rio Guaya	9475	
	5	Rio Garagoa Sector Medio	22037	
	6	Rio Fusavita	12589	
	7	Rio Bosque	8862	
	8	Rio Tibaná	22628	
	9	Rio Turmequé	21690	
	10	Rio Teatinos	8935	
	11	Rio Juyasia	12925	
	12	Rio Albarracín	10344	

	13	Rio Macheta	1154
	14	Quebrada La Tocola	240
	SUBTOTAL		188778

Fuente: Estudio.

5.2. MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

La zona urbana del municipio de Tibaná cuenta con determinados procedimientos a lo largo del manejo del recurso hídrico, esto para que el agua sea apta para el consumo humano:

5.2.1. Captación

El abastecimiento del agua para el municipio, se recoge principalmente en dos partes:

5.2.1.1. Sector de “Chorro Blanco”: En la quebrada que se encuentra en la vereda de “Quichatoque”, se capta el recurso. En este sitio la concesión dada por CORPOCHIVOR es de 5 L/s, este caudal se recoge mediante una bocatoma de fondo.

5.2.1.2. Quebrada “Colorado”: Esta quebrada se localiza en la vereda de “Chiguata”, en la cual se capta el agua a través de una bocatoma de fondo. El permiso para recoger el recurso es de 4 L/s dado por CORPOCHIVOR.

En cada sitio de captación, el agua recogida pasa por un desarenador, para luego dirigirla a la planta de tratamiento de agua potable, que se ubica a las afueras de la zona urbana del municipio.

5.2.2. Planta de Tratamiento de Agua Potable

La PTAP que tiene el municipio, fue diseñada para abarcar un caudal máximo de 10 L/s, esta tiene diferentes procesos para hacer el agua apta para consumo humano, entre los cuales se encuentran:

5.2.2.1. Mejoramiento de pH: La cal en todos sus formatos –cal hidratada para el caso del municipio de Tibaná – y la dolomía calcinada son los productos alcalinos más efectivos y de menor coste en el tratamiento de aguas de consumo, así como aguas residuales y de lodos. De hecho, la mayoría de la cal que se produce se destina a mejorar la calidad del agua que consumimos las personas y las que utilizan las industrias. En este sentido, la cal permite ablandar el agua, purificarla, eliminar su turbiedad, neutralizar la acidez, eliminar impurezas, etc. Del mismo modo, mediante el uso de la cal hidratada se puede ajustar el pH del agua para que sea óptimo de cara a los tratamientos posteriores de potabilización como se realiza en planta de tratamiento en estudio.

Figura 13. Mejoramiento de pH con cal.



Fuente: Estudio.

5.2.2.2. Filtración rápida: En el proceso de filtración rápida el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades que pueden oscilar entre 4 y 50 m/h. A

estas velocidades apenas se forma biopelícula y los procesos biológicos van a ser escasos y, si existen, se va a tratar de eliminarlos. Se busca hacer funcionar todo el lecho del filtro. Los mecanismos de eliminación de partículas que van a preponderar serán los físicos.

Figura 14. Filtración rápida en grava.



Fuente: Estudio.

5.2.2.3. Filtración lenta: La filtración lenta en arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua. consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos del agua. Ello constituye una

tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente.

Figura 15. Filtración lenta en arena.



Fuente: Estudio.

5.2.2.4. Desinfección: La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor. Si bien los procesos anteriores remueven el mayor porcentaje de microorganismos patógenos del agua, la eficiencia de los mismos no llega al 100%. El cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas: Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto, es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo, la determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo

costo, en las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.

Figura 16. Dosificación del cloro.



Fuente: Estudio.

Luego la dosificación es llevada a la cámara de cloración donde se mezcla con agua filtrada para que se realice el proceso de desinfección.

Figura 17. Aplicación de cloro.



Fuente: Estudio.

5.2.3. Uso

El municipio cuenta con 2 tanques de almacenamiento de 80 m³ cada uno. De los cuales se distribuye agua potable las 24 horas del día.

Figura 18. Tanques de almacenamiento.



Fuente: Estudio.

Las redes de distribución cubren el 100 % de población urbana. El servicio es prestado por el municipio a 725 suscriptores aproximadamente. El uso que le da cada habitante es independiente a la labor que se dedique.

5.2.4. Vertimiento

Conforme a la investigación realizada, luego del uso que le da la población al agua, se realiza el vertimiento, el municipio de Tibaná no cuenta con Planta de Tratamiento de aguas residuales, por lo que el vertimiento se realiza en tres partes:

- 5.2.4.1. Río “San Joaquín”:** La descarga se realiza por medio de una tubería de 24 pulgadas en concreto directamente a la fuente receptora, ubicado en la calle 8 en la vía que conduce al río Tibaná.
Coordenadas: E = 1075720 N = 1070938. **Altura:** 1704 m.s.n.m.

Figura 19. Vertimiento en el Río “San Joaquín”:



Fuente: Estudio

- 5.2.4.2. Predio de “Indira Sanabria”:** Vertimiento de agua residual domestica por medio de tubería de 12 pulgadas en PVC directamente a la fuente receptora, recoge las aguas provenientes del sector comprendido entre la calle 1 con carrera 5. Este vertimiento es cerca de la plaza de mercado y el terminal. **Coordenadas:** E= 1075735 N= 1079746. **Altura:** 1840 m.s.n.m.

Figura 20. Vertimiento en el Predio de “Indira Sanabria”:



Fuente: Estudio

5.2.4.3. Quebrada “Los Perros”: Vertimiento de agua residual mezclada con la Quebrada los Perros lo cual asegura una dilución de la carga contaminante aportante. El vertimiento está hecho con una tubería de 20 pulgadas y se encuentra cubierto por maleza. De esta pequeña quebrada solo quedan vestigios por donde fluye libremente un pequeño caudal de agua residual.

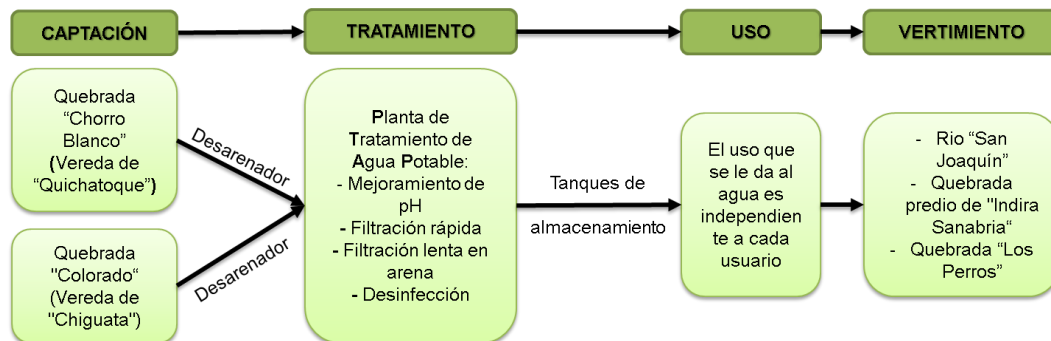
Figura 21. Vertimiento en la Quebrada “Los Perros”:



Fuente: Estudio

Teniendo todos los procesos por los que pasa el agua, se realiza un modelo del sistema de manejo:

Figura 22. Modelo del Manejo Integrado del Recurso Hídrico del municipio de Tibaná.



Fuente: Estudio

5.3. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

Mediante la metodología “City Blueprint” se evalúa la sostenibilidad de la gestión integrada de los recursos hídricos del municipio, revelando puntos fuertes y débiles del sistema estudiado.

A continuación se presenta el Marco de Tendencias y Presiones (TPF) y Marco del plan de la ciudad (CBF), cada uno de estos evaluados según los aspectos e indicadores del “The City Blueprint”.

5.3.1. Marco de Tendencias y Presiones (Trends and Pressures Framework - TPF):

El marco de tendencias y presiones proporciona un contexto más amplio a las circunstancias únicas del municipio que configuran la gestión diaria del agua en el sistema, esto mediante 12 indicadores con los que se puede evaluar y dar el nivel de preocupación de acuerdo a las circunstancias por las que pase el municipio de Tibaná.

De acuerdo a la situación que vive el municipio, se averiguaron cada uno de los aspectos, proporcionando un contexto más amplio de circunstancias únicas del municipio que dan forma a la gestión del agua urbana cotidiana.

5.3.1.1. Presión Social:

5.3.1.1.1. Tasa de Urbanización: El grado de urbanización del municipio de Tibaná es de 14,8%, lo que indica que es un municipio de más rural que urbano. Tiene una densidad poblacional de 75 Hab/Km².

Tabla 7. Población del municipio de Tibaná.

Municipio	Población Urbana		Población Rural		Población Total
	Población	Porcentaje	Población	Porcentaje	
Tibaná	1360	14,8%	7826	85,2%	9186

Fuente: (ESE Tibaná 2013)

- 5.3.1.1.2. Carga de la Enfermedad:** La baja calidad del agua sigue siendo una gran amenaza para la salud humana. La carga de enfermedad se puede atribuir al abastecimiento inseguro de agua y al inadecuado saneamiento e higiene. En el municipio de Tibaná no tiene una afectación (0,00), puesto que el agua que se distribuye es apta para el consumo humano (ESE Tibaná 2013).
- 5.3.1.1.3. Tasa de Educación:** El municipio de Tibaná presenta una cobertura de educación media de 48,6%, es un índice bueno respecto al promedio total del departamento (48,4%). (ALCALDIA MUNICIPAL DE TIBANÁ 2016)
- 5.3.1.1.4. Inestabilidad Política:** No existe inestabilidad política, puesto que solo existe una empresa (SERVIMARQUEZ) que se encarga de los servicios de acueducto, aseo y alcantarillado del municipio de Tibaná.
- 5.3.1.2. Presión Ambiental:**
- 5.3.1.2.1. Inundación:** Debido a la zona geográfica donde se encuentra el Tibaná y a sus redes de alcantarillado, el municipio no se encuentra en algún peligro de inundación,
- 5.3.1.2.2. Escasez de Agua:** El municipio no tiene preocupación respecto al recurso hídrico, ya que en distintas partes cuenta con yacimientos de agua, protegidos adecuadamente.
- 5.3.1.2.3. Calidad del Agua:** Dado que existen nacederos en las veredas del municipio, este cuenta con una calidad del agua muy alta (0,00). Esto también es por las infraestructuras con las que cuenta para distribuir el recurso hídrico.
- 5.3.1.2.4. Riesgo de Calor:** Estos son algunos de los riesgos que pueden ocurrir en el municipio de Tibaná, como: contaminación del agua, incendios, taponamiento de alcantarillado, deslizamientos y corrupción. Se evalúan de acuerdo a la probabilidad que pasen y al impacto que puede tener en un rango de 0 a 5.

Tabla 8. Rangos probabilidad e impacto de Riesgos.

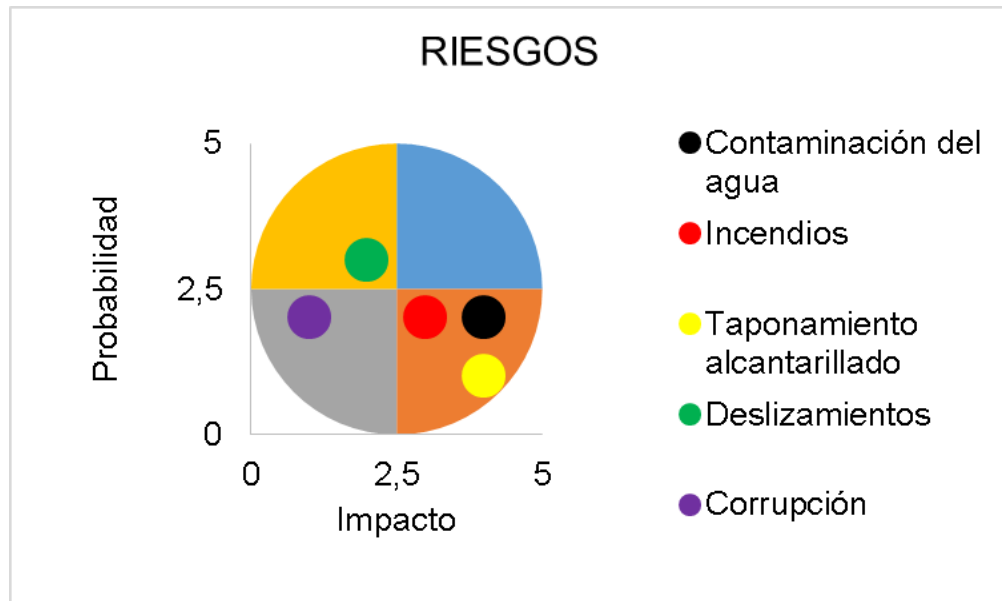
Tipo de Riesgo	Probabilidad	Impacto
Contaminación del agua	2	4
Incendios	2	3
Taponamiento alcantarillado	1	4
Deslizamientos	3	2
Corrupción	2	3

Fuente: Estudio.

De acuerdo a los riesgos evaluados según su probabilidad e impacto, se sabe qué riesgo tiene mayor afectación en el municipio. Mediante la siguiente grafica se observa el resultado:

- **Zona Gris:** Indica que tiene baja probabilidad que ocurra, así como bajo impacto. Resultados en esta zona son de poca preocupación.
- **Zona Amarilla:** Indica que tiene alta probabilidad que ocurra, así como bajo impacto. Resultados en esta zona son de media preocupación.
- **Zona Naranja:** Indica que tiene baja probabilidad que ocurra, pero un alto impacto si ocurre. Resultados en esta zona son de media preocupación.
- **Zona Azul:** Indica que tiene alta probabilidad que ocurra, así como mayor impacto si ocurre. Resultados en esta zona son de mucha preocupación.

Figura 23. Riesgo de acuerdo a su probabilidad e impacto.



Fuente: Estudio.

5.3.1.3. Presión Financiera:

5.3.1.3.1. Presión Económica: Existe preocupación económica, debido a que en la parte rural del municipio, es muy alto el costo para obtener un punto de agua distribuido por acueducto, esto con lleva a que en distintas zonas, las personas no consigan agua de alta calidad (3,00).

5.3.1.3.2. Tasa de Desempleo: En Boyacá la tasa de desempleo es de un 7,5%, es menor que la presenta Colombia (12%) de acuerdo a cámara y comercio. Esto incide directamente en el dinero que se requiere para producir estrategias de mercado.

5.3.1.3.3. Índice de Pobreza: Existe preocupación en la parte rural del municipio, ya que habitantes no cuentan con los recursos apropiados para vivir satisfactoriamente ni para invertir en infraestructura.

5.3.1.3.4. Tasa de Inflación: Este es un aspecto que se debe tener en cuenta, puesto que puede llegar afectar altamente a los habitantes del municipio de Tibaná, ya que una alza en los precios puede influir

directamente a que un usuario no pueda obtener la distribución del agua apropiadamente, por lo que existe preocupación en un futuro

Teniendo información sobre cada uno de los aspectos del Marco de Tendencias y Presiones, se realiza una evaluación de los mismos, esto se hace mediante los valores que indican la preocupación según los rangos del TPI, se concluye que la presión social tiene un promedio de 1,25, la presión ambiental de 0,50 y la presión financiera de 2,38, para un promedio total de 1,38, esto se resume de esta forma:

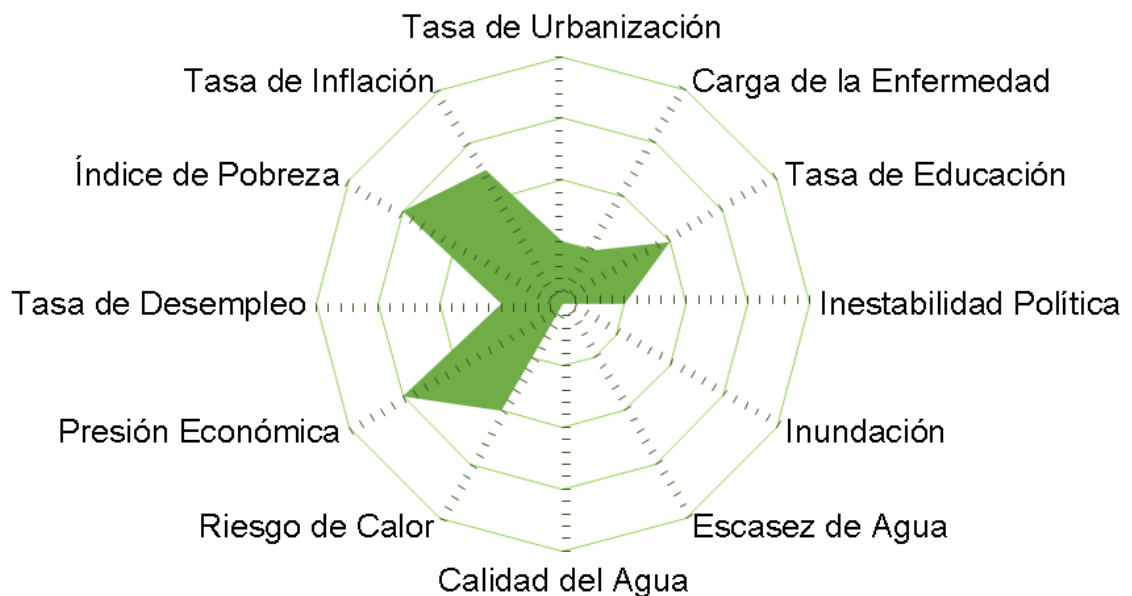
Tabla 9. TPI del municipio de Tibaná.

	PRESIÓN	INDICADOR	PUNTAJE	PREOCUPACIÓN
Tendencias y Presiones	Presiones Sociales	1. Tasa de Urbanización	1,00	Poco Riesgo
		2. Carga de la Enfermedad	1,00	Poco Riesgo
		3. Tasa de Educación	2,00	Medio
		4. Inestabilidad Política	1,00	Poco Riesgo
		Promedio Presión Social	1,25	Poco Riesgo
	Presiones Ambientales	5. Inundación	0,00	Sin Preocupación
		6. Escasez de Agua	0,00	Sin Preocupación
		7. Calidad del Agua	0,00	Sin Preocupación
		8. Riesgo de Calor	2,00	Medio
		Promedio Presión Ambiental	0,50	Sin Preocupación
	Presiones Financieras	9. Presión Económica	3,00	Preocupación
		10. Tasa de Desempleo	1,00	Poco Riesgo
		11. Índice de Pobreza	3,00	Preocupación
		12. Tasa de Inflación	2,50	Medio
		Promedio Presión Financiera	2,38	Medio
PROMEDIO TOTAL			1,38	Poco Riesgo

Fuente: Estudio

Mediante los indicadores del Marco de Tendencias y Presiones, se realizó un diagrama de araña, con esto se puede observar fácilmente los indicadores que más afectan y preocupan al municipio.

Figura 24. Valores de los indicadores del Marco de Tendencias y Presiones aplicado en el municipio de Tibaná.



Fuente: Estudio

La evaluación de TPF hecha al municipio de Tibaná, da como resultado un TPI de 1,38, lo que indica que tiene poco riesgo en este aspecto. La principal causa que afecta al TPI es la presión financiera.

5.3.2. Marco del plan de la ciudad (City Blueprint Framework - CBF):

Evaluando el recurso hídrico en el municipio mediante la metodología descrita, se permite entender rápidamente qué tan avanzado es en la gestión sostenible del agua, mostrando los puntos débiles en los cuales un plan estratégico debe enfocarse.

Tabla 10. BCI del municipio de Tibaná.

CATEGORÍA	INDICADOR	VALOR	JUSTIFICACIÓN
Calidad del Agua	WWT secundaria	0	La población urbana no tiene plantas de tratamiento de aguas residuales secundaria
	Terciaria WWT	0	La población urbana no tiene plantas de tratamiento de aguas residuales terciario.
	Calidad del Agua Subterránea	0	No se tienen datos acerca del agua subterránea del municipio.
Tratamiento de Residuos Sólidos	Desechos Sólidos Recogidos	9	Los residuos en el municipio de Tibaná son recogidos satisfactoriamente cada semana, estos divididos en basura orgánica e inorgánica.
	Los Residuos Sólidos Reciclados	9	Los residuos que se reciclan son los orgánicos, estos se utilizan en compostaje.
	La Energía de los Residuos Sólidos Recuperados	0	El municipio no recupera energía de los residuos sólidos recuperados.
Servicios Básicos de Agua	El Acceso al Agua Potable	9	En la parte urbana del municipio de Tibaná, se tiene un buen acceso al agua potable, ya que el 100% de los usuarios reciben el líquido.

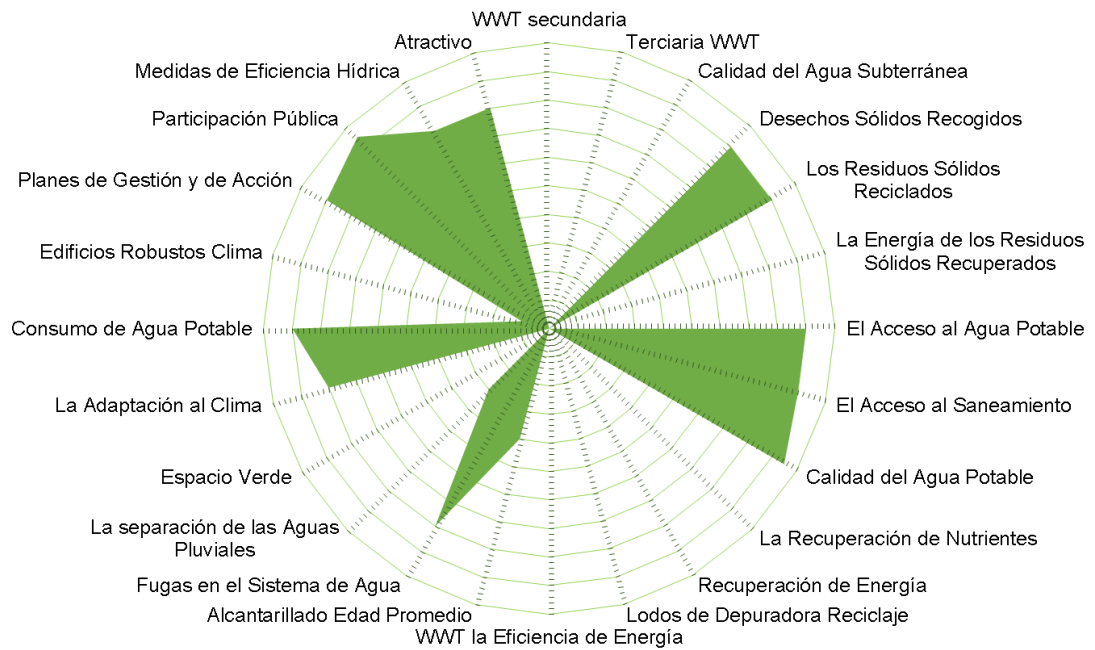
	El Acceso al Saneamiento	9	Todos los habitantes de la parte urbano del municipio tiene acceso a saneamiento con su respectiva recolección de residuos
	Calidad del Agua Potable	9,5	De acuerdo al Índice de Riesgo de la Calidad del Agua es óptima, teniendo un buen puntaje, y siendo apta para consumo humano.
Tratamiento de Aguas Residuales	La Recuperación de Nutrientes	0	No se recuperan los nutrientes debido a la ausencia de un WWT
	Recuperación de Energía	0	No hay recuperación de energía, ya que carece de WWT.
	Lodos de Depuradora Reciclaje	0	No se realiza ningún procedimiento
	WWT la Eficiencia de Energía	0	No se realiza ningún procedimiento
Infraestructura	Alcantarillado Edad Promedio	4	La red de alcantarillado tiene de 20 años, por lo que se acerca al final su vida útil
	Fugas en el Sistema de Agua	8	En el sistema de agua potable hay pocas fugas (9). En el alcantarillado existen algunas fugas a través del sistema (7).
	La separación de las Aguas Pluviales	3	En la parte urbana del municipio de Tibaná, en pocas calles existe la separación de aguas pluviales.

Robustez Climático	Espacio Verde	0	No se tiene áreas verdes en la parte urbana.
	La Adaptación al Clima	8	La empresa "SERVIMARQUEZ" cuenta con un "Plan de contingencias u Operacional de Emergencias" Respecto al cambio climático.
	Consumo de Agua Potable	9	Siendo el agua apta para consumo de humano, el agua es consumida satisfactoriamente y en grandes cantidades.
	Edificios Robustos Clima	1	Las autoridades competentes del municipio de Tibaná aún no han contemplado el uso eficiente de los edificios ante un cambio de clima.
Gobernanza	Planes de Gestión y de Acción	9	Existen diferentes planes en las políticas de la mejora de la gestión de los recursos hídricos y la protección de los recursos naturales por parte del municipio de Tibaná.
	Participación Pública	9,5	Para el recurso hídrico en la parte rural existe gran participación ciudadana , ya que los mismos habitantes de las diferentes zonas manejan los acueductos
	Medidas de Eficiencia Hídrica	8	La empresa "SERVIMARQUEZ" prestadora del servicio del agua, se encarga de realizar constantes campañas al cuidado del agua y a la buena recolección de los residuos.
	Atractivo	8	Para el bienestar de los habitantes, en el municipio de Tibaná se utiliza el agua superficial,

Fuente: "Secretaria de Planeación y Obras Civiles" de la Alcaldía Municipal.

Teniendo la información dada por el municipio, organizada y evaluada de manera adecuada, se realiza una presentación gráfica de acuerdo a sus puntuaciones que tienen un rango de 0 a 10 para evaluar la sostenibilidad de la gestión integrada de los recursos hídricos del municipio. Esto con el fin de ver los puntos del proceso donde son débiles o nulos y enfocarse para mejorar el sistema.

Figura 25. Valores de los indicadores de la metodología “The City Blueprint” aplicada en el municipio de Tibaná.



Fuente: Estudio

6. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SEGÚN LA METODOLOGÍA “THE CITY BLUPRINT”

6.1.1. Marco de Tendencias y Presiones (Trends and Pressures Framework - TPF):

Según los resultados del Marco de Tendencias y Presiones del municipio de Tibaná, la presión social es de poca preocupación, no se debe preocupar por la presión ambiental y tiene una preocupación media en la presión financiera. El valor del Índice de Tendencias y Presiones (TPI) revela cuáles son los desafíos principales del municipio, de acuerdo a esto se presentan mayores problemas en el área financiera, lo que significa un problema económico, por lo que la primera medida es reducir costos de puntos de agua, para que habitantes que no cuenten con puntos de agua, se les facilite conseguir agua potable. Del mismo se sugiere la aplicación de acciones para reducir la desigualdad y la pobreza, para así invertir en infraestructura, mejorando la calidad de vida de los habitantes del municipio.

6.1.2. Marco del plan de la ciudad (City Blueprint Framework - CBF):

Luego de aplicada la metodología, se analizan los resultados dados, esto se realiza mediante categorías:

6.1.2.1. Calidad del Agua: En esta categoría se habla acerca de si el municipio está conectado a plantas de tratamiento de aguas residuales y a la calidad del agua subterránea. De acuerdo a los resultados, el municipio de Tibaná no cuenta con ningún tipo de PTAR, los vertimientos se realizan en diferentes partes, por lo que tienen una evaluación muy baja en este aspecto y que es de gran preocupación.

6.1.2.2. Tratamiento de Residuos Sólidos: A pesar de que no se recupera energía con los residuos sólidos, el municipio se encuentra muy bien respecto a su tratamiento, puesto que los residuos son recogidos satisfactoriamente cada semana, recogiendo los días miércoles la

basura orgánica y los días jueves la basura inorgánica. Estos últimos se envían al municipio de Turmequé para realizar compostaje con ellos. Se sugiere seguir con el mismo plan de recolección. Del mismo modo se propone la incineración de los residuos, pues es una de las alternativas de importancia creciente en la eliminación de los residuos sólidos urbanos (RSU), ya que permite disminuir su volumen hasta en un 90%, aunque genera algunos subproductos gaseosos que, de no manejarse adecuadamente, pueden causar la contaminación del ambiente (ESCOBAR 2015).

6.1.2.3. Servicios Básicos de Agua: Es lo que destaca al municipio de Tibaná, de acuerdo a la metodología aplicada, pues es su mejor aspecto según los resultados. El 100% de la población urbana tiene el servicio de acueducto y saneamiento, y según datos IRCA del municipio, la calidad del agua es muy buena. Por lo que se propone que sigan con los mismos planes para dar los servicios, para que sean adecuados.

6.1.2.4. Tratamiento de Aguas Residuales: Los resultados de “City Blueprint”, indica que es el aspecto más bajo. El problema radica en que el municipio no tiene Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, por lo que no se realiza ningún procedimiento de recuperación de energía, ni de nutrientes. Este último es importante para disminuir la contaminación de las aguas superficiales, así como para reducir nuestra dependencia de los recursos no renovables. Según la información recolectada en este estudio, la PTAR está en un proyecto del municipio para su construcción en 4 años aproximadamente. Por lo que sugiere adelantar los procesos para que la infraestructura esté edificada lo antes posible, esto con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes y evitar futuros daños ambientales por el mal vertimiento de aguas residuales.

- 6.1.2.5. Infraestructura:** Una de las infraestructuras que reduce la evaluación de este aspecto es la red de alcantarillado, puesto que esta pronto a llegar a su vida útil para la cual fue diseñada. De acuerdo a información de la Secretaria de Planeación y Obra Publicas de la Alcaldía Municipal, existe un proyecto para remodelar gran parte del alcantarillado urbano, esto para mejorar su eficiencia de la red. Respecto a la fugas que ocurren en el sistema de agua, se propone realizar un monitoreo en la red, para identificar donde ocurren pérdidas, para solucionar el problema de manera adecuada.
- 6.1.2.6. Robustez Climática:** Aunque lo edificios e infraestructuras construidas no fueron contemplados para un cambio climático, la empresa “SERVIMARQUEZ” tiene con un “Plan de contingencias u Operacional de Emergencias”, se sugiere seguir paso a paso las indicaciones del plan si se llega a presentar un cambio climático. Esta categoría abarca también el consumo de agua potable, el cual es bueno por la calidad del recurso y por sus redes de distribución que cubre el 100% de la población urbana.
- 6.1.2.7. Gobernanza:** Según la información recolectada, existen diferentes planes en las políticas de la mejora de la gestión de los recursos hídricos y la protección de los recursos naturales por parte del Alcaldía Municipal de Tibaná y la empresa prestadora de los servicios “SERVIMARQUEZ”. Del mismo modo esta empresa se encarga de realizar constantes campañas al cuidado del agua y a la buena recolección de los residuos.
- Uno de los aspectos de esta categoría es la participación pública, en la que se propone seguir incitando a la comunidad, para que ellos mismo se encarguen de los acueductos rurales, como se ha hecho últimamente, pues es lo mejor, ya que ellos garantizan la viabilidad y sostenibilidad de los acueductos.

De acuerdo al puntaje de BCI total se puede evaluar el municipio, según como lo indica la metodología.

Tabla 11. Resultados del puntaje total del BCI del municipio de Tibaná.

#	CATEGORÍA	PROMEDIO
1	Calidad del Agua	0,0
2	Tratamiento de Residuos Sólidos	6,0
3	Servicios Básicos de Agua	9,2
4	Tratamiento de Aguas Residuales	0,0
5	Infraestructura	5,0
6	Robustez Climático	4,5
7	Gobernanza	8,6
PROMEDIO TOTAL BCI		4,8

Fuente: Estudio

Siendo el puntaje total del BCI igual a 4,8, estando la categoría de calificación “4 – 6” descrito como **“MUNICIPIO EFICIENTE EN EL AGUA”**, la cual tiene la siguiente descripción: *“Ciudades bien conocidas por aumentar la eficiencia del agua y controlar la contaminación. Las tecnologías eficientes en agua se aplican parcialmente, las fugas de infraestructura se reducen sustancialmente pero el consumo de agua sigue siendo alto. El reciclaje de residuos sólidos se aplica parcialmente. La gobernanza y la participación de la comunidad han mejorado”* (LEEJWEN y KOOP 2015).

6.2. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD DEL MANEJO INTEGRADO DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación, dados por la metodología “The City Blueprint”, indica que el mayor problema en el manejo de recurso hídrico del municipio de Tibaná, es el tratamiento de aguas residuales, puesto que no tiene ningún tipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, por lo que se propone la construcción de dicha infraestructura. Según la información recolectada, el municipio de Tibaná, tiene proyectada la construcción de planta en

aproximadamente 4 años, por lo que se sugiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

6.2.1. Tipo de PTAR recomendada

Para tomar la decisión de qué tipo de PTAR se debe construir es necesario tener en cuenta la complejidad de los factores y actores que intervienen, para esto hay que tener en cuenta (MOBIUS 2017):

- La cantidad, calidad y periodicidad del efluente.
- Normatividad de vertimiento o disposición final y su proyección.
- Área para su construcción y zona de manejo o aprovechamiento agronómico de efluente tratado.
- Condiciones climáticas.
- Caracterización de vecindario para el manejo de los residuos (rural, urbano, industrial).
- La prospección productiva de la empresa o asentamiento humano.
- La posibilidad de valorización energética y agronómica de los efluentes y residuos.
- Por último, la oferta tecnológica más eficiente y más económica de acuerdo a este contexto

6.2.2. Aspectos para la implementación de plantas de aguas residuales

Estos son algunos factores que se deben darle atención preventiva antes de la construcción de una PTAR (CONSTRUIR 2017):

- La ubicación de la planta de tratamiento y su distancia con la casa más cercana. Esta situación debe ser valorada para evitar que malos olores lleguen a las viviendas.
- El sitio de disposición de los lodos o la materia orgánica que se separa del agua cuando la planta produce una cantidad grande, se debe cerciorar que esté ubicado en un lugar donde no ocasione fuentes de contaminación y que los deshechos sean tratados adecuadamente.

- Se debe adaptar el proceso de mantenimiento más económico para que sea sostenible, no se pueden implementar sistemas que utilizan altas cantidades de energía porque resulta inviable para el municipio. El proceso más económico es el de lagunas facultativas, su materia orgánica se alimenta del oxígeno que producen las algas y producen el lodo que es sedimentando al fondo de la laguna. Es el más barato, pero requiere de grandes áreas.
- Asegurarse que el proceso sea bien diseñado para que el mismo no produzca malos olores. Todos los procesos van condicionados a la topografía y al área disponible para la planta de tratamiento.
- El mal olor o la coloración indica que hay un problema que debe ser evaluado de manera que exista información de lo que ocurre para buscar una solución y resolver el problema dándole mantenimiento a la planta de tratamiento.

6.2.3. Procesos/Tratamientos de una PTAR

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano (MOBIUS 2017):

6.2.3.1. Pre-tratamiento

Sistemas de enfriamiento, remoción de sólidos flotantes mediante rejillas, remoción de arenas y grasas.

- **Remoción de sólidos o cribado:** Los sólidos que se remueven son de gran tamaño por medio de rejillas grandes para evitar problemas de taponamiento de tuberías o que lleguen a dañar algún equipo.
- **Remoción de arena:** Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo.

6.2.3.2. Tratamiento primario

Este tratamiento es para reducir principalmente sólidos sedimentables.

- **Sedimentación:** Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares con tiempos de retención suficientes para que las partículas sólidas sean separadas por gravedad.

La sedimentación es un proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas. Los sólidos, más pesados que el agua, se precipitan produciéndose su separación del líquido. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden depositarse y el material flotante como la grasa que no ha sido retenida en el pre tratamiento sea retenida en este proceso.

El propósito principal de la etapa primaria es producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que pueden ser tratados separadamente.

- **Tanque de homogenización:** Estos tanques son concebidos para reducir los picos de caudal, temperatura, pH y contenidos orgánicos para ser introducidos de manera homogénea en los reactores para su tratamiento.

6.2.3.3. Tratamiento secundario biológico

El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva los desechos orgánicos provenientes de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones, detergentes y en general residuos orgánicos de procesos industriales. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos para este fin.

- **Fangos activados o lodos activados:** El nombre del proceso se deriva de la formación de una masa de "microorganismos activos" capaz de estabilizar

un desecho orgánico en condiciones aerobias (el ambiente aerobio se logra mediante aireación difusa o mecánica en un tanque de aireación). En esencia es la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, a medida que las bacterias reciben el oxígeno, consumen la materia orgánica del agua residual y la transforma en sustancias más simples. Este caldo bacteriano recibe el nombre de lodo activado. La mezcla de lodos activados y agua residual recibe el nombre de licor mezclado que se lleva a un tanque de sedimentación para su purga.

- **Reactor biológico de cama móvil:** El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos para que se reúna la biomasa. Esta conversión da como resultado un sistema de crecimiento.
- **Reactores biológicos de membrana:** Los reactores biológicos de membrana MBR son un sistema con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de fangos. Esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y sólidos disueltos. La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso de fangos activos.
- **Sedimentación secundaria:** El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria.

6.2.3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). Se trata de remover nitrógeno o fósforo del efluente tratado u otros contaminantes difíciles a remover.

- **Filtración:** La filtración de arena retiene gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración retiene las toxinas residuales.
- **Lagunaje:** El tratamiento de lagunas proporciona sedimentación y mejora biológica adicional por almacenaje en charcos o lagunas artificiales. Se trata de una imitación de los procesos de autodepuración que un río o un lago somete las aguas residuales de forma natural. Estas lagunas son altamente aerobias y se da a menudo la colonización por macrofitos nativos, especialmente cañas.
- **Desinfección:** El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la cloración, o la luz UV.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo del sistema de manejo del recurso hídrico, fue realizado en base a la presente situación del municipio de Tibaná, Este sistema inicia con la captación del agua en dos partes, el primero es en la quebrada que se ubica en el sector de “Chorro Blanco” y la segunda parte es en la quebrada “El colorado”. Esta recolección pasa por un desarenador en cada punto y se conecta a la Planta de Tratamiento de Agua Potable, los procesos de esta planta empiezan con un mejoramiento de pH con cal hidrata, pasa por varios filtros entre los cuales se encuentra una filtración rápida en grava y filtración lenta en arena y termina con la desinfección que se hace con una dosis optima de cloro. De la planta sale hacia dos tanques de almacenamiento, cada uno con una capacidad de 80 m³, de aquí se distribuye al 100% de la población urbana. Luego del uso del agua se hace el vertimiento en 3 partes. De acuerdo a esto, el sistema urbano es óptimo, ya que distribuye el agua adecuadamente y la calidad es alta según datos IRCA del municipio.

Evaluando la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico del municipio de Tibaná, mediante la metodología “The City Blueprint”, se observa que el sistema de distribución es muy satisfactorio, dado a cada uno de los procesos explicados. De esta forma es importante decir que el puntaje de BCI es de 4,8, lo que según categorización de la metodología el municipio es “*Eficiente en el agua*”. Es relevante decir que este puntaje se da por los indicadores enfocados en el servicio y calidad del agua, pues el puntaje baja por los indicadores respecto al tratamiento de aguas residuales, debido a que el municipio no cuenta con una PTAR, ni realiza procedimientos de recuperación de nutrientes y de energía.. Por lo que se debe observar cada categoría de la evaluación para dar describir adecuadamente la sostenibilidad del sistema.

El problema principal del sistema de manejo del recurso hídrico en el municipio de Tibaná, es la falta de una planta de tratamiento, por lo que se sugiere adelantar los procesos para la pronta construcción de la infraestructura, teniendo en cuenta el tipo de planta y los aspectos para su implementación, para que todos los procesos

del sean óptimos y el sistema sea sostenible. Del mismo modo se propone la extracción de energía y nutrientes con tecnologías de tratamiento de las aguas residuales de bajo costo, estas pueden producir agua rentable y salubre para determinados usos, por ejemplo los riegos agrícolas. Además, la venta de las materias primas extraídas de las aguas residuales puede ser una fuente complementaria de ingresos que contribuya a cubrir los costos de inversión y funcionamiento del sistema.

GLOSARIO

ABASTECIMIENTO: Suministro o fuente de agua por medio de una fuente natural o artificial que puede ser captada para diferentes fines.

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua que puede ser encontrada en la zona satura del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

BOCATOMA: Término genérico utilizado para las obras de captación, derivación o toma en un río o quebrada en que se desvía agua para una presa o acueducto.

CAPTACIÓN: Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de fuente de abastecimiento.

CUENCA: Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

DESARENADOR: Cámara destinada a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

ESCORRENTÍA: Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales.

INFILTRACIÓN: Es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra a través de los poros del suelo.

LODO: conjunto de sedimentos de mayor tamaño que se precipitan gracias a s peso propio.

MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS: Se refiere a la planeación, explotación y distribución de bienes acuíferos en ecosistemas de pastizales con miras a lograr una asignación equitativa del recurso que permita preservar el medio ambiente natural, facilitar el desarrollo económico y sustentar actividades recreativas.

PRECIPITACIÓN: Es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

PÉRDIDAS TÉCNICAS: Son las pérdidas que se generan en acueductos y que a su vez se dividen en dos, pérdidas visibles y no visibles que son generadas por rupturas en las tuberías reboses o fugas en las estructuras de almacenamiento o tratamiento o fugas en los accesorios de la red.

PLAN DE CONTINGENCIA: Es un conjunto de procedimientos alternativos a la operatividad normal de cada institución.

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: La colección, tratamiento, almacenaje, y distribución de un agua desde su fuente hasta los consumidores.

SOSTENIBILIDAD: Se refiere a las características del desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones.

VERTIMIENTO: Conjunto de materiales de desecho que se vierten en algún lugar, especialmente residuos líquidos domésticos o industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIRRE, Maria. *El Problema Del Agua En El Mundo*. 2018.
- ALBARRÁN, Manuel. *Reducción De Pérdidas En Sistemas De Agua Potable*. 1997.
- ALCALDIA MUNICIPAL DE TIBANÁ. *Plan De Desarrollo*. 2016.
- ALISOS. *Memorias Colombia-Holanda, Alianza Colombo-Holandesa Por El Agua*. 2011.
- ARBOLEDA, Nixon. *Diagnóstico Del Sistema De Aprovechamiento Del Agua Lluvia En El Consejo Comunitario De La Comunidad Negra De Los Lagos, Buenaventura*. 2016.
- BENAVIDES, Leonardo. *Optimización Del Acueducto Por Gravedad Del Municipio De Timaná (Huila)*. 2006.
- BOKOVA, Maria. *Día Mundial del Agua*. 22 de Marzo de 2017. <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2017/>.
- CAMPOS, Maria. *Proyecto: Desarrollo De Capacidades Para El Uso Seguro De Aguas Servidas En Agricultura*. 2012.
- CONSTRUIR. *Implementación De Plantas De Aguas Residuales*. 27 de Diciembre de 2017. <http://revistaconstruir.com/9-pasos-adecuado-mantenimiento-plantas-tratamiento-aguas-negras/>.
- DURAN, Manuel. *Los Problemas Del Abastecimiento De Agua Potable En Una Ciudad Media*. 2006.
- ESCOBAR, Carlos. *Generación De Energía A Partir De Los Residuos Sólidos Urbanos*. 2015.
- ESE Tibaná. *Análisis Situacional de Salud con el Modelo de los Determinantes de Salud*. 2013.

- FINDETER. *Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico, Agosto 2017.* 2017.
- GARCIA, Luis. *Manejo Integrado De Los Recursos Hídricos En América Latina Y El Caribe.* 1998.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP. *Manejo Integrado De Recursos Hídricos.* 2000.
- JIMENEZ, Maria. *Agua Vital Y Escasa.* 2005.
- JUNTA DE ANDALUCIA. *EL AGUA COMO RECURSO.* 2010.
- LABRA, Luis. *Uso Y Gestión Del Agua En La Zona Otomí-Tepehua: Vinculando Los Niveles De Abajo Hacia Arriba Y De Arriba Hacia Abajo.* 2017.
- LEEUEWEN, Kess, y Stef KOOP. *Application Of The Improved City Blueprint Framework In 45 Municipalities And Regions.* 2015.
- MOBIUS. *Tipos De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales.* 17 de Agosto de 2017. <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>.
- MONTERO, Sebastián. *Estado Del Arte De Los Sistemas De Captación Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias Como Alternativa En El Ahorro De Agua Potable En Viviendas.* 2016.
- OLIETE, Sergio. *Abastecimiento De Agua Y Saneamiento.* 2005.
- ONU. *La Escasez Del Agua Un Problema Del Presente.* 7 de Junio de 2016. <http://radiosoh.com/escasez-del-agua-un-problema-del-presente/>.
- REYES, Maria. *Descripción De Los Sistemas De Recolección Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias.* 2014.
- ROBLES, Maria. *Manejo Sostenible Del Agua.* 2015.
- SIVICAP. *Estado De La Vigilancia De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano En Colombia.* 2017.

UNESCO. *Agua Para Todos, Agua Para La Vida*. 2003.

—. *Agua Para Un Mundo Sostenible*. 2015.

—. *Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016*. 2016.

UNICEF. *El Agua Potable Y El Saneamiento Básico En Los Planes De Desarrollo*. 2005.

WATERSHARE. *The City Blueprint*. 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados IRCA, urbano y rural por municipios, Boyacá, 2016

Municipio	Población total	Cabecera municipal (Urbano)	Resto (rural)	Muestras totales	IRCA municipal	Nivel de riesgo general	Promedio IRCA urbano	Nivel de riesgo urbano	Promedio IRCA RURAL	Nivel de riesgo RURAL
Almeida	1.699	270	1.429	20	41,3	Alto	0,4	Sin riesgo	74,7	Alto
Aquitania	15.060	6.352	8.708	34	21,8	Medio	0	Sin riesgo	35,3	Alto
Arcabuco	5.243	1.972	3.271	32	40,1	Alto	1,9	Sin riesgo	63	Alto
Belén	7.255	3.731	3.524	32	36,1	Alto	1,4	Sin riesgo	59,7	Alto
Berbeo	1.934	538	1.396	22	51,6	Alto	5	Sin riesgo	83,9	Inviabile sanitariamente

Betétiva	2.024	385	1.639	22	50,7	Alto	23	Medio	69,9	Alto
Boavita	6.914	2.930	3.984	25	39	Alto	1,6	Sin riesgo	73,4	Alto
Boyacá	4.414	400	4.014	27	41,6	Alto	0,5	Sin riesgo	62,1	Alto
Briceño	2.568	542	2.026	17	45	Alto	24,7	Medio	62,9	Alto
Buenavista	5.777	838	4.939	16	26,2	Medio	0	Sin riesgo	59,8	Alto
Busbanzá	1.192	460	732	16	6,07	Bajo	4,5	Sin riesgo	8,1	Bajo
Caldas	3.596	248	3.348	28	28,3	Medio	17,2	Medio	43,2	Alto

Campohermoso	3.813	967	2.846	18	2,93	Sin riesgo	3,4	Sin riesgo	2,4	Sin riesgo
Cerinza	3.714	1.549	2.165	27	2,98	Sin riesgo	0,4	Sin riesgo	4,3	Sin riesgo
Chinavita	3.499	1.220	2.279	27	54,3	Alto	17,3	Medio	79,7	Alto
Chiquinquirá	66.203	56.894	9.309	59	11,5	Bajo	3,8	Sin riesgo	27,3	Medio
Chíquiza	5.433	93	5.340	12	18,3	Medio	14,6	Medio	29,5	Medio
Chiscas	4.200	895	3.305	21	35,4	Alto	14,1	Medio	51,3	Alto
Chita	9.407	2.031	7.376	18	37,3	Alto	10,5	Bajo	70,8	Alto

Chitaraque	5.596	1.129	4.467	21	27,9	Medio	9,3	Bajo	41,9	Alto
Chivatá	6.315	2.638	3.677	20	3,38	Sin riesgo	0	Sin riesgo	5,6	Bajo
Chivor	1.752	493	1.259	22	42,4	Alto	10,3	Bajo	64,6	Alto
Ciénega	4.694	1.331	3.363	29	38,2	Alto	6,6	Bajo	50,3	Alto
Cómbita	14.812	1.132	13.680	46	12,5	Bajo	0,4	Sin riesgo	17,2	Medio
Coper	3.610	765	2.845	21	42,2	Alto	2,6	Sin riesgo	72	Alto
Corrales	2.251	1.551	700	20	13	Bajo	7,1	Bajo	25,2	Medio

Covarachía	2.825	517	2.308	15	27,3	Medio	2,9	Sin riesgo	63,7	Alto
Cubará	6.730	2.013	4.717	8	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo	SD	SD
Cucaita	4.687	1.923	2.764	23	33,2	Medio	24,6	Medio	39,7	Alto
Cúitva	1.892	218	1.674	12	14,6	Medio	9,4	Bajo	21,8	Medio
Duitama	113.105	103.063	10.042	183	16,5	Medio	0,3	Sin riesgo	32,2	Medio
El Cocuy	5.197	2.770	2.427	24	20,3	Medio	2,2	Sin riesgo	38,3	Alto
El Espino	4.205	1.314	2.891	21	7,65	Bajo	3,2	Sin riesgo	11	Bajo

Firavitoba	5.864	2.125	3.739	24	2,63	Sin riesgo	0	Sin riesgo	5,3	Bajo
Floresta	4.478	1.811	2.667	26	27	Medio	2,1	Sin riesgo	62,5	Alto
Gachantivá	2.617	362	2.255	21	46,5	Alto	0,2	Sin riesgo	81,2	Inviabile sanitariamente
Gameza	4.776	1.562	3.214	22	20,6	Medio	16,6	Medio	30,7	Medio
Garagoa	16.974	13.753	3.221	43	20,9	Medio	2,6	Sin riesgo	27,3	Medio
Guacamayas	1.657	491	1.166	23	20,1	Medio	21,9	Medio	18,9	Medio
Guateque	9.552	7.186	2.366	35	27,8	Medio	5,7	Bajo	70,1	Alto

Guayatá	5.013	1.294	3.719	21	37,9	Alto	1,7	Sin riesgo	77,7	Alto
Güicán	6.801	1.713	5.088	27	39,8	Alto	0	Sin riesgo	57,2	Alto
Iza	2.373	1.037	1.336	22	2,15	Sin riesgo	0	Sin riesgo	3,6	Sin riesgo
Jenesano	7.659	2.006	5.653	32	16,6	Medio	1,4	Sin riesgo	27	Medio
Jericó	3.956	641	3.315	17	28,4	Medio	0	Sin riesgo	69	Alto
La Capilla	2.499	964	1.535	28	58,6	Alto	5	Sin riesgo	76,4	Alto
La Uvita	2.435	997	1.438	20	25,7	Medio	6,5	Bajo	41,4	Alto

La Victoria	1.674	869	805	16	7,9	Bajo	4,1	Sin riesgo	12,8	Bajo
Labranzagrande	5.068	1.164	3.904	10	36,9	Alto	0	Sin riesgo	61,4	Alto
Macanal	4.827	1.119	3.708	22	39,5	Alto	2,2	Sin riesgo	65,4	Alto
Maripí	7.424	972	6.452	22	5,3	Bajo	0,4	Sin riesgo	9,4	Bajo
Miraflores	9.779	5.710	4.069	49	8,85	Bajo	0,4	Sin riesgo	15,2	Medio
Mongua	4.657	1.614	3.043	26	39,3	Alto	0,6	Sin riesgo	78	Alto
Monguí	4.985	2.816	2.169	26	56,2	Alto	28,3	Medio	80,2	Inviabile sanitariamente

Moniquirá	21.345	10.590	10.755	47	40,5	Alto	11	Bajo	83,9	Inviabile sanitariamente
Motavita	8.195	905	7.290	22	13,4	Bajo	6,2	Bajo	18,4	Medio
Muzo	8.914	5.335	3.579	25	28,3	Medio	7,9	Bajo	57,6	Alto
Nobsa	16.353	6.474	9.879	51	7,86	Bajo	0	Sin riesgo	20	Medio
Nuevo Colón	6.602	1.321	5.281	27	23	Medio	8,3	Bajo	30,4	Medio
Oicatá	2.831	304	2.527	21	10,4	Bajo	6,1	Bajo	13,5	Bajo
Otanche	10.671	4.186	6.485	13	34,2	Medio	15,2	Medio	64,5	Alto

Pachavita	2.453	389	2.064	21	40,9	Alto	7,2	Bajo	66,2	Alto
Páez	2.867	1.169	1.698	19	39,9	Alto	5,7	Bajo	70,7	Alto
Paipa	31.021	19.272	11.749	66	10,1	Bajo	1,5	Sin riesgo	6,8	Bajo
Pajarito	1.670	706	964	9	25,8	Medio	0	Sin riesgo	58	Alto
Panqueba	1.452	600	852	20	45,9	Alto	0,5	Sin riesgo	76,2	Alto
Pauna	10.797	2.628	8.169	23	37,5	Alto	0,7	Sin riesgo	71,3	Alto
Paya	2.537	586	1.951	14	27,3	Medio	0,6	Sin riesgo	63	Alto

Paz De Río	4.618	2.906	1.712	22	4,79	Sin riesgo	0,7	Sin riesgo	8,9	Bajo
Pesca	7.862	1.984	5.878	32	41,8	Alto	10,4	Bajo	60	Alto
Pisba	1.323	393	930	14	30,8	Medio	0	Sin riesgo	72	Alto
Puerto Boyacá	55.694	38.032	17.662	84	8,71	Bajo	0,4	Sin riesgo	27,2	Medio
Quípama	7.776	1.596	6.180	19	19,3	Medio	0	Sin riesgo	33,3	Medio
Ramiriquí	9.926	5.026	4.900	39	23,4	Medio	15,2	Medio	29,7	Medio
Ráquira	13.682	3.509	10.173	31	44	Alto	32,5	Medio	57,9	Alto

Rondón	2.796	546	2.250	17	33,6	Medio	0,8	Sin riesgo	80,4	Inviabile sanitariamente
Saboyá	12.309	789	11.520	18	35	Medio	2,3	Sin riesgo	61,1	Alto
Sáchica	3.780	1.889	1.891	44	43,2	Alto	2,3	Sin riesgo	58,5	Alto
Samacá	20.116	5.997	14.119	52	24	Medio	1,4	Sin riesgo	37,5	Alto
San Eduardo	1.867	839	1.028	21	55,9	Alto	4,1	Sin riesgo	94,7	Inviabile sanitariamente
San José De Pare	5.158	1.074	4.084	20	56,9	Alto	9,6	Bajo	82,4	Inviabile sanitariamente
San Luis De Gaceno	4.996	1.771	3.225	23	27,4	Medio	5,7	Bajo	55,6	Alto

San Mateo	3.582	1.478	2.104	23	28,3	Medio	25,3	Medio	30,3	Medio
San Miguel De Sema	4.548	488	4.060	14	5,09	Bajo	0,4	Sin riesgo	11,3	Bajo
San Pablo De Borbur	10.478	1.301	9.177	16	39,9	Alto	0,5	Sin riesgo	70,5	Alto
Santa María	3.918	2.279	1.639	19	25	Medio	1,4	Sin riesgo	76,4	Alto
Santa Rosa De Viterbo	13.407	7.156	6.251	44	21,3	Medio	6	Bajo	31,3	Medio
Santa Sofia	2.658	712	1.946	33	49,7	Alto	4,2	Sin riesgo	66,8	Alto
Santana	7.671	2.353	5.318	27	40,3	Alto	8,5	Bajo	56,2	Alto

Sativanorte	2.306	523	1.783	16	39,3	Alto	15,3	Medio	70,1	Alto
Sativasur	1.094	263	831	14	17,4	Medio	7,6	Bajo	30,5	Medio
Siachoque	8.967	1.586	7.381	27	34	Medio	2,2	Sin riesgo	49,9	Alto
Soatá	7.069	5.237	1.832	31	36,6	Alto	3,2	Sin riesgo	57,7	Alto
Socha	7.092	3.849	3.243	31	58	Alto	30,8	Medio	75,2	Alto
Socotá	7.934	1.041	6.893	22	47,4	Alto	0	Sin riesgo	80,3	Inviabile sanitariamente
Sogamoso	112.790	98.500	14.290	125	11,4	Bajo	0,6	Sin riesgo	36,2	Alto

Somondoco	3.555	795	2.760	16	45,5	Alto	10,6	Bajo	72,6	Alto
Sora	3.027	501	2.526	21	15	Medio	6,1	Bajo	21,7	Medio
Soracá	5.279	750	4.529	33	18,8	Medio	1,5	Sin riesgo	15,5	Medio
Sotaquirá	7.578	714	6.864	66	45,4	Alto	18,3	Medio	48,6	Alto
Susacón	3.027	968	2.059	22	24,7	Medio	7,4	Bajo	34,6	Medio
Sutamarchán	5.890	1.355	4.535	27	44,5	Alto	14,9	Medio	71,9	Alto
Sutatenza	4.033	771	3.262	13	32,3	Medio	14,1	Medio	53,4	Alto

Tasco	6.296	1.909	4.387	33	20,8	Medio	8,9	Bajo	16	Medio
Tenza	4.052	1.230	2.822	21	33,3	Medio	6,9	Bajo	49,6	Alto
Tibaná	9.136	1.603	7.533	27	23,5	Medio	0,3	Sin riesgo	44,9	Alto
Tibasosa	14.196	4.811	9.385	27	21	Medio	1,7	Sin riesgo	39	Alto
Tinjacá	3.039	457	2.582	13	22,8	Medio	8,6	Bajo	54,8	Alto
Tipacoque	3.160	856	2.304	15	9,98	Bajo	2,5	Sin riesgo	21,3	Medio
Toca	10.106	3.638	6.468	32	37,1	Alto	6,9	Bajo	57,8	Alto
Togüí	4.931	762	4.169	27	55,9	Alto	1,9	Sin riesgo	82,9	Inviabile sanitariamente

Tópaga	3.694	1.414	2.280	27	24,8	Medio	12,9	Bajo	16,8	Medio
Tota	5.348	559	4.789	25	50,8	Alto	2,2	Sin riesgo	75,5	Alto
Tunja	191.924	184.125	7.799	202	19,8	Medio	0,6	Sin riesgo	14,5	Medio
Tununguá	1.861	387	1.474	22	48,2	Alto	11,1	Bajo	75,2	Alto
Turmequé	6.050	2.561	3.489	68	49,7	Alto	0	Sin riesgo	61,1	Alto
Tuta	9.734	2.704	7.030	31	10,7	Bajo	7,3	Bajo	12,5	Bajo
Tutazá	1.854	195	1.659	16	2,52	Sin riesgo	1,2	Sin riesgo	4,2	Sin riesgo

Umbita	10.322	1.847	8.475	21	38,4	Alto	0,1	Sin riesgo	67	Alto
Ventaquemada	15.532	2.431	13.101	40	26,1	Medio	0	Sin riesgo	28,8	Medio
Villa De Leyva	16.984	10.265	6.719	72	12	Bajo	0	Sin riesgo	20,6	Medio
Viracachá	3.201	373	2.828	20	11,9	Bajo	3,7	Sin riesgo	18,7	Medio
Zetaquirá	4.489	1.057	3.432	23	49,4	Alto	11,6	Alto	84,1	Inviabile sanitariamente

Fuente: (SIVICAP 2017)