

**Guía metodológica para la facilitar la inclusión de criterios de gestión sostenible del agua en procesos de planificación territorial. Caso de estudio: Unidad funcional MCV\_16 del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, Antioquia**

**Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Procesos Urbanos y Ambientales**

**John Alexander Correa Ocampo**

**Laura Sepúlveda Ospina**

**Asesor**

**Leonel Torres Acosta**

**Arquitecto**

**Universidad EAFIT**

**Facultad de Humanidades**

**Centro de Estudios Urbanos y Ambientales Urbam**

**Medellín – Antioquia**

**2018**

## Tabla de contenido

Lista de tablas .....	4
Lista de ilustraciones.....	5
Glosario y definiciones .....	7
Resumen.....	11
Palabras claves .....	13
Tema .....	13
1. Introducción .....	13
2. Justificación .....	16
3. Motivación personal.....	19
4. Problema .....	21
5. Pregunta .....	21
6. Hipótesis .....	21
7. Objetivos.....	22
7.1 Objetivo general .....	22
7.2 Objetivos específicos.....	22
8. Metodología .....	23
9. CAPÍTULO I. Estado del arte y marco teórico.....	26
9.1. Gestión sostenible del agua .....	26
9.2. Resiliencia sistemas socioecológicos asociados a la gestión del agua.....	30
10. CAPÍTULO II. Situación actual de la gestión del agua en el municipio de Rionegro .....	32
10.1. El recurso hídrico como eje estructurante en la cuenca del río Negro.....	32
10.2. Gestión del riesgo asociado al recurso hídrico para el municipio de Rionegro .....	36
10.3. Oferta y demanda de recurso hídrico en la cuenca del río Negro, municipio de Rionegro	41
10.4. Inclusión del recurso hídrico en el Plan de Ordenamiento Territorial para la densificación del módulo suburbano de concentración de vivienda .....	51
10.5. Proyecciones propuestas según documentos y estudios técnicos para la expansión del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, Antioquia .....	53

10.6.	Territorio objeto de estudio: unidad funcional MCV_16 .....	58
11.	CAPÍTULO III. Guía metodológica que incluye criterios de gestión sostenible del agua para que sean insumos en toma de decisiones de la planificación territorial de áreas de futura expansión urbana .....	61
11.1.	Contexto.....	63
11.1.1.	Sistema socioecológico en la gestión del agua.....	63
11.1.2.	Gestión sostenible del agua. ....	67
11.1.3.	Objetivos generales de la gestión sostenible del agua.....	67
11.1.4.	Auto eficiencia hídrica .....	69
11.1.5.	Metabolismo urbano.....	69
11.2.	Una guía para la gestión sostenible del agua que se aborda desde tres componentes	70
12.	Aplicación de la metodología y análisis para el caso de estudio en la Unidad Funcional MCV_16 el módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro .....	71
12.1.	Definición de objetivos de gestión sostenible del agua para ser implementados en la unidad funcional MCV_16 del módulo de concentración de vivienda del municipio de Rionegro (incluye consumo, contaminación y balance hídrico).....	72
12.2.	Escenario deseado para el consumo de agua en el módulo suburbano de concentración de vivienda MCV_16 .....	74
12.3.	Reconocimiento del sistema de abastecimiento .....	75
12.4.	Implementación de dispositivos de ahorro y control del agua en las residencias .....	79
12.5.	Recolección y aprovechamiento de aguas lluvias .....	80
12.6.	Aprovechamiento de aguas subterráneas.....	81
12.7.	Reutilización de aguas grises.....	81
12.8.	Desarrollo de indicadores de gestión sostenible del agua .....	82
13.	Discusión.....	85
14.	Conclusiones .....	86
15.	Referencias bibliográficas.....	88

### **Lista de tablas**

Tabla 1. Índice de escasez para las microcuencas del área de estudio. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).....	43
Tabla 2. Caudales de aguas concesionadas por Cornare en las microcuencas del área de influencia. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).....	46
Tabla 3. Datos de consumo de agua diario por persona en un territorio de clima frío (CRA, 2015): .....	79
Tabla 4. Posible ahorro en el consumo de agua.....	79

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema metodología. ....	25
Ilustración 2. Vulnerabilidad a la inundación del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro.....	39
Ilustración 3. Vulnerabilidad frente a la inundación en el casco urbano del municipio de Rionegro .....	39
Ilustración 4. Caudales máximos para el río Negro en el periodo de retorno de los 100 años. ....	40
Ilustración 5. Mapa de peligrosidad para el río Negro en el periodo de retorno de los 100 años. ....	40
Ilustración 6. Prestadores de servicio de acueducto.....	45
Ilustración 7. Concesiones otorgadas en las microcuencas del área de influencia en el periodo 2006 – 2016.....	46
Ilustración 8. Caudal otorgado en las microcuencas del área de influencia en el periodo 2006 – 2016.....	47
Ilustración 9. Localización de las concesiones otorgadas periodo 2006 a julio 2016. ....	48
Ilustración 10. Puntos de captación de las concesiones de aguas otorgadas a los prestadores del servicio público de acueducto. ....	48
Ilustración 11. Viviendas potenciales. ....	53
Ilustración 12. Ubicación del territorio objeto de estudio.....	58
Ilustración 13. Estrella hídrica de oriente: sistema natural río Negro.....	59
Ilustración 14. Dinámica hidrológica cuenca del río Negro. ....	60
Ilustración 15. Ubicación geográfica y espacial del módulo suburbano de concentración de vivienda.....	61
Ilustración 16. Sistema socioecológico para la gestión del agua. ....	64
Ilustración 17. Transición del agua urbana. ....	66
Ilustración 18. Objetivos para alcanzar un sistema renovado.....	74
Ilustración 19. Escenario deseado para la gestión sostenible del agua. ....	75
Ilustración 20. Carta climatológica media mensual municipio de Rionegro, Antioquia. ....	80

### **Lista de anexos**

Anexo 1. Diagnóstico gestión del agua en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro.

Anexo 2. Matriz de análisis instrumentos normativos y documentos técnicos sobre la gestión del agua en el contexto nacional, regional y local.

Anexo 3. Documento guía metodológica para la inclusión de estrategias de gestión sostenible del agua.

## Glosario y definiciones

### Lista de acrónimos y siglas

**Cepal:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

**Ideam:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

**MCV:** módulo de concentración de vivienda.

**PNGIRH:** política nacional de gestión integral del recurso hídrico.

**POMCA:** plan de ordenación y manejo de la cuenca.

**POT:** plan de ordenamiento territorial.

**PTAR:** planta de tratamiento de aguas residuales.

**Urbam:** Centro de Estudios Urbanos y Ambientales.

### Glosario

**Balance hídrico:** es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

**Cambio climático:** alude a una variación del clima del planeta Tierra generado por la acción del ser humano. Este cambio climático es producido por el proceso conocido como efecto invernadero, que provoca el llamado calentamiento global.

**Capacidad de carga:** es el límite máximo al que puede extenderse la población de un ecosistema, es decir, la mayor cantidad poblacional que puede soportar indefinidamente un medio ambiente dado, en el cual la competencia entre las diferentes especies puede reducir a cero la tasa de crecimiento per cápita. El ecosistema está en capacidad de soportar a los organismos y al mismo tiempo mantener la productividad, adaptabilidad y capacidad de renovación hasta un límite determinado (Banrepcultural, 2015).

**Consumo de agua:** es el volumen de agua utilizado para el desarrollo de actividades que demanden su uso; aplica para usos domésticos, comerciales, industriales, agropecuarios, entre otros.

**Contaminación de agua:** alteración negativa física, química y/o biológica de la calidad del agua.

**Cuenca hidrográfica:** es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas (Wikipedia, 2019).

**Densificación urbana:** es la utilización de forma más intensiva del suelo urbano como estrategia para controlar que el crecimiento de la ciudad se realice mediante procesos dispersos.

**Drenaje urbano:** estructura natural o artificial que pretende evitar cualquier posible impacto negativo que las aguas de escorrentía urbana pudieran producir en el medio, reduciendo el caudal circulante por la superficie de las poblaciones o ciudades.

**Estructura ecológica principal:** es el eje estructural del ordenamiento territorial municipal, en el cual se consolida un conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables (Sistemasestructurantespot2023, 2009).

**Gestión del riesgo:** es un programa de trabajo y estrategias para disminuir la vulnerabilidad y promover acciones de conservación, desarrollo mitigación y prevención frente a desastres naturales y antrópicos (Calameo, 2019).

**Objetivos de gestión sostenible del agua:** se orientan a la planificación, conservación y aprovechamiento de los recursos hídricos de manera que se equilibren las necesidades sociales y económicas y se garantice la protección de los ecosistemas naturales.

**Resiliencia:** indica la capacidad que tienen los ecosistemas y comunidades de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad;

pudiendo regresar a un estado muy similar al original una vez que haya cesado la afectación (Eixoecologia, 2019).

**Servicios ecosistémicos:** son aquellos beneficios que un ecosistema aporta a la sociedad y que mejoran la salud, la economía y la calidad de vida de las personas (Creaf, 2016).

**Sistema socioecológico:** se utiliza para referirse a un concepto holístico, sistémico e integrador del “ser humano-en-la naturaleza”. Por lo tanto, se entiende como un sistema complejo y adaptativo en el que distintos componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, entre otros, están interactuando. Esto implica que el enfoque de la gestión de los ecosistemas y recursos naturales, no se centra en los componentes del sistema sino en sus relaciones, interacciones y retroalimentaciones (Meléndez y Figueroa, 2015).

**Tr= 100:** tasa de retorno de los 100 años.

**Vertimientos de aguas residuales:** es la disposición controlada o no de un residuo líquido producto de actividades domésticas, industriales, agropecuarias, mineras, entre otras, al suelo o a las fuentes de agua.

## Resumen

El acelerado crecimiento urbano y la expansión de las fronteras agrícola y pecuaria ha repercutido negativamente en la red hídrica de los territorios, afectando considerablemente la cantidad, calidad y disponibilidad del agua.

El municipio de Rionegro no es ajeno a esta situación de presión que se ejerce sobre los recursos naturales, y más aún que realizó la revisión excepcional del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), donde se definieron unas áreas de expansión que, de acuerdo con los estudios presentados por la Alcaldía Municipal, no cuentan con la certeza de abastecimiento de agua para el territorio, según las proyecciones de crecimiento.

Por otro lado, en la actualidad no se implementan herramientas que permitan articular las estrategias sobre el manejo integral del agua definidas en los diferentes instrumentos de gestión como políticas, planes, programas, entre otros, que permitan reconocer y ejecutar alternativas que materialicen las propuestas planteadas en dichos instrumentos.

En este sentido, se abordó la problemática anteriormente mencionada identificando el estado de la gestión del agua a nivel internacional, nacional, regional y local, con el propósito de identificar y construir objetivos de sostenibilidad que contribuyan al crecimiento de los territorios en armonía con la red hídrica existente en los mismos.

Todos estos insumos permitieron la elaboración de una guía metodológica que busca facilitar la inclusión de criterios de gestión sostenible del agua en procesos de planificación territorial, mediante la identificación de los elementos de un sistema socioecológico donde interactúa la comunidad con su entorno natural.

Se planteó la transición del sistema hasta obtener una gestión integral del agua, a través de la implementación de estrategias técnicas e institucionales con objetivos establecidos para el corto, mediano y largo plazo que permitan que los tomadores de decisiones propongan y desarrollen proyectos que se orienten a la optimización, mejora y renovación de los sistemas, contribuyendo con la gestión sostenible del agua desde el consumo, la contaminación y el balance hídrico.

Al implementar las estrategias técnicas e institucionales relacionadas con la gestión sostenible del agua se contribuirá con que el desarrollo de un territorio se realice de acuerdo con la capacidad de soporte que este presente frente a sus servicios ecosistémicos, teniendo como evidencia de la aplicación del componente de consumo en el módulo suburbano de concentración de vivienda MCV\_16 del municipio de Rionegro, donde se establecen acciones y herramientas que permiten ocupar el territorio con base en criterios de gestión sostenible del agua para la optimización y generación de nuevos sistemas de abastecimiento, la implementación de dispositivos de ahorro y uso eficiente, y la recolección y aprovechamiento de aguas lluvias.

### **Palabras claves**

Gestión sostenible del agua, consumo de agua, contaminación del agua, drenaje urbano, estructura ecológica principal, balance hídrico, gestión del riesgo.

### **Tema**

Gestión sostenible del agua en la planificación territorial.

## **1. Introducción**

Hacia finales del siglo XX la aparición de las megaciudades (aglomeraciones urbanas de más de 20 millones de habitantes como Ciudad de México, Tokio o Estambul) fue la mayor transformación que se vivió en el contexto urbano. Las megaciudades fueron los grandes motores del desarrollo económico y social, presentando un nuevo escenario global de competitividad y desafíos urbanos. Desde hace algunos años, sin embargo, los patrones de crecimiento urbano han cambiado, especialmente en contextos de países en vía de desarrollo, y por lo tanto, la atención se ha desplazado hacia otro tipo de ciudades (Terraza, Rubio Blanco & Vera, 2016).

Actualmente la urbanización está siendo liderada por una red de ciudades intermedias, pero de crecimiento acelerado; ciudades de menos de dos millones de habitantes con altas tasas de crecimiento, las llamadas: “ciudades emergentes”. Este nuevo patrón de poblamiento está creando grandes oportunidades, y generando también enormes retos. Las ciudades emergentes deben lograr un desarrollo sostenible mediante el impulso de nuevas estrategias de crecimiento, además de su resiliencia y adaptación al cambio climático (Terraza, Rubio Blanco & Vera, 2016).

En el mundo más del 60% de la población urbana vive en ciudades menores a 1 millón de habitantes en Colombia de acuerdo con el DANE, en 2005, más del 29% vivía en ciudades mayores a 100 mil habitantes, pero menores a 1 millón de habitantes. Para 2014, esta cifra aumentó a un 31% del cual el 88,2% se localizaba en las cabeceras municipales. Como rasgo característico se observa una consolidación de la urbanización y de las actividades económicas urbanas, pues entre 2005 y 2014 estas ciudades vienen ganando importancia y ejerciendo un liderazgo estratégico a escala regional y nacional, lo que les permite atribuirse poder político y económico (Torres & Caicedo, 2015).

Colombia tiene actualmente, declaradas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), quince ciudades emergentes entre las que se encuentran Bello, Manizales, Montería e Ibagué; adicionalmente diecinueve ciudades intermedias colombianas con mayor potencial de crecimiento integral. Entre estas se encuentra Rionegro, Antioquia (Torres & Caicedo, 2015).

Múltiples instituciones y expertos, por ejemplo, en temas urbanos han señalado las principales problemáticas a las que se enfrentan las ciudades de hoy en día, entre las que se tienen el crecimiento desordenado y discontinuo, la falta de definición entre lo urbano y rural, la invasión de áreas ecológicas y productivas, la baja densidad y compacidad urbana, la segregación socioespacial e injusticia social, la proliferación de asentamientos marginales en áreas vulnerables, la falta de nuevas centralidades y el deterioro del centro, la sustitución del uso residencial por uso exclusivamente comercial y/o servicios, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios en el uso del suelo, el inadecuado manejo de los desechos sólidos y la expansión innecesaria de la huella urbana, la baja dotación de áreas verdes y espacio público, la distribución inequitativa en los barrios más vulnerables, y los problemas de movilidad por la prevalencia del vehículo particular sobre el transporte público y no motorizado, además de la falta de infraestructura para la gestión adecuada del recurso hídrico.

Todo lo anteriormente expuesto pone de manifiesto la necesidad que tiene Rionegro de generar escenarios de planeación urbana racional, coherente y equilibrada que acompañen la transformación del territorio por medio de elementos integrales y dinámicos que se articulen entre sí y permitan que el Municipio obtenga un desarrollo social, económico y ambientalmente sostenible y no ponga en riesgo la capacidad y los servicios ecosistémicos.

Se pretendió realizar un análisis de los diferentes elementos que hoy planifican el territorio, donde se anteponga la gestión del recurso hídrico como eje fundamental de su ocupación, de esta manera se propusieron estrategias y se generaron lineamientos que permitan

la toma de decisiones para la densificación y ocupación del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, con base en tres ejes: consumo, contaminación y balance hídrico.

Las estrategias propuestas hacen parte de una guía metodológica que facilitará la inclusión de criterios de gestión sostenible del agua en procesos de planificación territorial.

Dicha guía se aplicó a la unidad del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, definida como MCV\_16 en el POT.

## **2. Justificación**

Cuando nos referimos a un territorio, debemos comprender que este debe ser analizado en términos de un sistema; es decir, evaluar y correlacionar cada uno de los elementos que lo componen, considerando todas las variables que intervienen en el y las relaciones existentes entre estas. De esta manera, cuando se afecta un elemento o se modifica su condición inicial o actual, esta alteración se reflejará en los demás elementos que componen el sistema territorial (Capra, 1996).

Siendo un sistema, el territorio exige ser planificado de una manera coherente, integral y dinámica, pensado desde las diferentes dimensiones. Por lo general las presiones están enmarcadas en necesidades asociadas a intereses individuales que sobrepasan los colectivos.

Ocupar el territorio no es lo mismo que planificarlo, y para planificarlo se necesita de una gestión colaborativa que integre el espacio con los servicios ecosistémicos que este presta, además del apoyo de todos los actores que confluyen en el, como la comunidad y los sectores público y privado.

En este sentido, la planificación del territorio es un proceso estratégico, a través del cual se realizan estudios y análisis respecto a las situaciones, dinámicas y problemáticas que lo afectan, mediante el cual se proponen estrategias y lineamientos que den respuesta a las necesidades presentes y futuras.

El municipio de Rionegro enfrenta un reto muy grande en la planificación de su sistema territorial, ya que se hace necesario articular y armonizar los diferentes instrumentos de ordenamiento y gestión, los servicios ecosistémicos, las potencialidades y las dinámicas que tienen influencia directa en el territorio para atender las necesidades que hoy presenta, como por ejemplo su alta presión y demanda inmobiliaria.

Es así como el Municipio llevó a cabo la revisión excepcional del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) (Acuerdo 056 de 2011), buscando con ello redefinir la estructura ecológica principal, ajustar el perímetro urbano y de expansión y revisar las densidades de ocupación y alturas, entre otros aspectos.

Como resultado de la revisión y ajuste del POT, en esta tesis se pretende realizar un análisis de la inclusión del recurso hídrico como eje fundamental para las densidades propuestas

en el módulo suburbano de concentración de vivienda y de esta manera viabilizar una estrategia de ocupación del territorio en armonía con los recursos naturales.

El territorio posee un alto nivel freático por su posición intertropical, donde confluyen y permanecen los vientos alisios por el choque con la cadena montañosa, siendo así que el valle del río Negro presenta un alto volumen de precipitación (Urbam, 2016).

El elemento estructurante natural que hace parte de la cuenca en referencia es el río Negro, el cual presenta como característica principal su forma meándrica, condicionada por la topografía plana. Este sistema a su vez conforma la estrella hídrica de oriente al confluir con fuentes principales como las quebradas La Pereira, La Mosca, Pantanillo, La Marinilla y Cimarronas.

La dinámica del río Negro tiene unas características asociadas a su aprovechamiento, donde su mayor uso se relaciona al abastecimiento del 30% del acueducto del Área Metropolitana y el 100% del acueducto urbano del municipio de Rionegro.

Se identifica que en todo el trayecto del río Negro existe una zona que está proyectada en el actual plan de ordenamiento territorial como el sector de mayor crecimiento para el municipio de Rionegro, denominada módulo suburbano de concentración de vivienda, convirtiéndose en el territorio objeto de estudio de la presente investigación por la relación que se presenta entre el sistema estructurante natural y su proyección para su ocupación.

La revisión excepcional del POT del municipio de Rionegro, adoptado mediante Acuerdo 002 de 2018, modifica el módulo suburbano de concentración de vivienda, el cual se redefine en tamaño y propone nuevos usos y densidades que determinan el desarrollo del polígono.

Mediante un análisis de los documentos del POT de Rionegro, el cual se puede evidenciar en el Anexo 1 de la presente tesis, se evidenció que esta revisión incluye un diagnóstico sobre el recurso hídrico muy general que no incorpora los tres planes de ordenamiento de cuencas (POMCA) que existen en el Municipio ni suficientes herramientas que se orienten a una gestión integral del agua. Adicionalmente, el estudio de capacidad carga para la habilitación de los módulos no ha sido aprobado por la Autoridad Ambiental Cornare y aunque existen compromisos por parte de la Alcaldía con la Corporación mediante Resolución 131-0886 de 2018, a la fecha de la elaboración de esta investigación, no habían sido subsanados según la secretaría de Planeación. Por otro lado, el POT carece de proyectos que garanticen la gestión sostenible del agua y la articulación con los planes, programas y proyectos propuestos desde el ámbito nacional y regional (ver anexo 2).

### **3. Motivación personal**

Desde nuestra experiencia hemos evidenciado las debilidades que se tienen frente a la planificación territorial y a la inclusión o articulación con el componente hídrico, lo cual repercute en problemas tangibles que hoy son visibles en el municipio de Rionegro, como son la

alteración de los ecosistemas naturales por los vertimientos de aguas residuales sin un tratamiento eficiente, los altos niveles de presión urbanística, las limitantes de las fuentes de abastecimiento, la deforestación y pérdida de cobertura vegetal, la minería manejada inadecuadamente, entre otros factores que nos hacen considerar y evaluar la capacidad institucional y los componentes técnicos que influyen en la gestión del recurso hídrico, con el fin de contribuir con la gestión sostenible de los sistemas socioecológicos conservando el equilibrio entre lo ambiental, lo económico y lo social.

Debido a que la corporación ambiental Cornare no ha aprobado el estudio de capacidad de carga presentado por la Alcaldía en la revisión excepcional del POT, donde es evidente la preocupación por la gestión del agua, y teniendo en cuenta las proyecciones de ocupación efectuadas en el POT de 2011 y en los estudios técnicos que realizaron la fundación Proantioquia en el 2015 y el Centro de Estudios Urbanos y Ambientales Urbam en el 2016, nos surge la necesidad de analizar esta decisión técnico institucional con base al recurso hídrico, con el fin de fortalecer su gestión y permitir que los tomadores de decisiones incorporen el agua como un elemento fundamental en la planificación territorial.

Es por lo anterior que desarrollamos una guía metodológica que permita incorporar a la planeación y ocupación de las áreas de expansión criterios de gestión sostenible del agua, con base en el consumo, la contaminación y el balance hídrico, a través de la implementación de estrategias que faciliten la definición de acciones que articulen el crecimiento urbano con el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, en especial el hídrico.

#### **4. Problema**

No se implementan herramientas que den apoyo a los lineamientos nacionales e internacionales, para incluir criterios de gestión sostenible del agua en los procesos de planificación de un territorio.

#### **5. Pregunta**

¿Cómo se pueden incluir herramientas y criterios de gestión sostenible del agua en los procesos de planificación territorial?

#### **6. Hipótesis**

Una guía metodológica que contenga herramientas con criterios de gestión sostenible del agua contribuirá a que los tomadores de decisiones incluyan el recurso hídrico como un elemento fundamental dentro de los procesos de planificación territorial.

## **7. Objetivos**

### **7.1 Objetivo general**

Desarrollar una guía metodológica que permita que los tomadores de decisiones cuenten con herramientas y criterios de gestión sostenible del agua para ser incluidos en los procesos de planificación territorial.

### **7.2 Objetivos específicos**

**7.2.1.** Analizar el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro (Acuerdo 002 de 2018) a la luz de documentos e instrumentos normativos que hacen referencia a la gestión del agua, con el fin de determinar la concordancia entre los mismos.

**7.2.2** Elaborar una guía metodológica bajo objetivos de sostenibilidad de la gestión del agua y que defina herramientas y criterios para que los tomadores de decisiones puedan incluirlos en los procesos de planificación territorial.

**7.2.3** Aplicar la guía metodológica propuesta al caso de estudio en el MCV\_16 del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro.

## 8. Metodología

Se propuso para la metodología de la tesis el desarrollo de tres etapas (ver ilustración 1), durante las cuales se realizó una revisión bibliográfica y se relacionaron componentes que son relevantes en el objeto de estudio, obteniendo insumos que permitieron definir estrategias con criterios de gestión sostenible del agua para la planificación territorial. Dichas etapas se desarrollaron como se describe a continuación:

### **Etapas 1.**

1. Establecimiento del estado del arte, el marco teórico y el diagnóstico sobre la gestión sostenible del agua, mediante una revisión bibliográfica de fuentes secundarias como documentos, estudios técnicos y modelos.
2. Análisis de la inclusión del recurso hídrico en la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro a la luz de los estudios técnicos que se han elaborado sobre el territorio.

Para efectos de lo anterior, se requirió:

- ✓ Revisar la información secundaria: documentos técnicos que describen el territorio en materia de gestión del agua y el riesgo asociado al recurso hídrico.

- ✓ Determinar los problemas y oportunidades del área de estudio: permitió identificar las herramientas con criterios de gestión sostenible del agua que se requieren para la densificación de áreas de futura expansión urbana.

## **Etapas 2.**

Desarrollo de la guía metodológica que permitió analizar e implementar diferentes estrategias de gestión sostenible del agua mediante:

- ✓ La definición de un contexto sobre la gestión sostenible del agua y el alcance que soportaría la guía.
- ✓ La identificación de herramientas con base a las revisiones bibliográficas previas de casos exitosos en otros países como en Barcelona (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona), Latinoamérica (Cepal) y Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental), al análisis de la política nacional del agua y a las experiencias personales, las cuales incluyeron la gestión de la oferta (consumo), la contaminación, el balance hídrico y la planificación del territorio con referencia en el recurso hídrico.
- ✓ El planteamiento de problemas, objetivos de sostenibilidad, escenarios actuales y deseados frente a la gestión del agua, posibles acciones de intervención, establecimiento de indicadores y/o parámetros que permiten medir la eficiencia y la eficacia, y recomendaciones que orientan la aplicación de las alternativas propuestas.

Lo anterior permitió definir herramientas que suministraron insumos para la toma de decisiones en la planificación territorial, a partir de la gestión sostenible del agua, donde se zonifique el territorio, se planteen instrumentos para la ocupación y se propongan alternativas de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

### Etapa 3.

Aplicación de la metodología propuesta al caso de estudio en la unidad funcional MCV\_16 del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro.

Esto permitió analizar si las estrategias propuestas en la guía metodológica pudieron contribuir con la densificación del territorio con criterios de gestión sostenible del agua, que admitan el equilibrio ecosistémico frente a la oferta, la demanda y el balance del recurso hídrico.

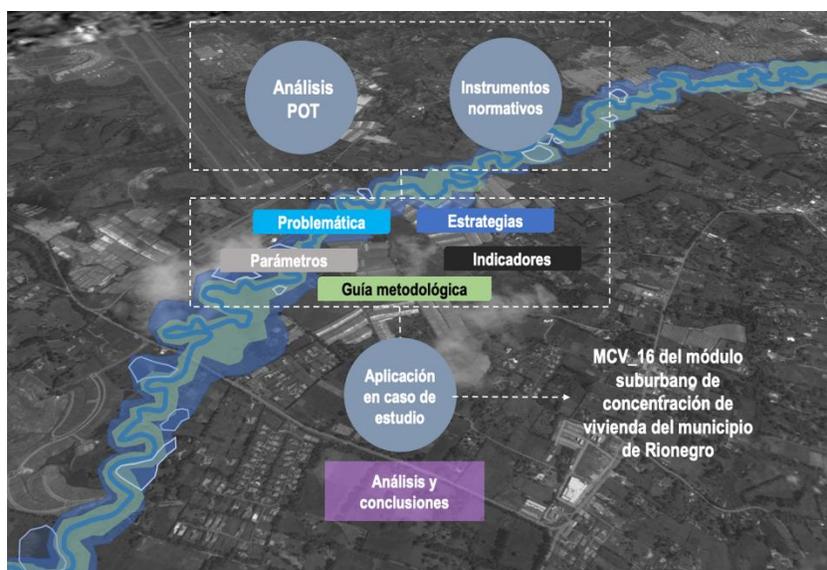


Ilustración 1. Esquema metodológica. Fuente: elaboración propia.

## **9. CAPÍTULO I. Estado del arte y marco teórico**

### **9.1. Gestión sostenible del agua**

La sustentabilidad o sostenibilidad del desarrollo es un concepto abstracto si no se asocia a objetivos claros que se deben alcanzar dentro de territorios definidos y a los procesos de gestión necesarios para hacerlo. La gestión de los recursos naturales dentro del territorio de una cuenca hidrográfica es una opción valiosa para guiar y coordinar procesos de gestión para el desarrollo, considerando las variables ambientales (Cepal, 1994).

Para la Cepal (1994), la demanda de un recurso natural como el agua tiene un doble efecto en el suministro. Por una parte, se extrae agua del medio (p. ej. ríos o pozos) y se utiliza en diferentes formas. Por otra parte, se la restituye al medio, en mayor o menor cantidad y calidad (por ejemplo, al mismo río o a otro, o al subsuelo). Esta doble interacción no es común a todos los recursos que se comercializan en el mercado. Así, pues, en la economía del agua no basta con considerar la eficiencia de extracción y uso, sino que también se debe considerar la eficiencia de la devolución.

En América Latina y el Caribe, los problemas en materia de abastecimiento de agua potable y saneamiento pueden analizarse en función de cuatro parámetros básicos: i) el actual déficit de cobertura, especialmente en lo que se refiere a los servicios de saneamiento y tratamiento de aguas servidas, por una parte, y a la población rural y los grupos de bajos

ingresos, por la otra; ii) el alto índice de crecimiento de la población y su notoria concentración en las áreas urbanas; iii) el incremento esperado del consumo per cápita a mediano y largo plazo; y iv) la mala calidad de los servicios y el pobre desempeño de las empresas del sector, especialmente su precaria situación financiera. A esto se suma el hecho de que la información disponible sobre los niveles de cobertura y la calidad de los servicios casi siempre es inadecuada (Cepal, 1999).

En este sentido Cepal (2002) sugiere cinco formas de integración necesarias para la gestión del agua:

- ✓ La integración de los intereses de los diversos usos y usuarios de agua y la sociedad en su conjunto, con el objetivo de reducir los conflictos entre los que dependen de y compiten por este escaso y vulnerable recurso.
- ✓ La integración de todos los aspectos del agua que tengan influencia en sus usos y usuarios (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia), y de la gestión de la oferta con la gestión de la demanda.
- ✓ La integración de los diferentes componentes del agua o de las diferentes fases del ciclo hidrológico (por ejemplo, la integración entre la gestión del agua superficial y del agua subterránea).
- ✓ La integración de la gestión del agua y de la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados.
- ✓ La integración de la gestión del agua en el desarrollo económico, social y ambiental.

Además, la gestión del agua a nivel de cuencas, o conjuntos de cuencas, se considera, cada vez más, como la manera más apropiada de compatibilizar la perspectiva nacional, en cuanto a lograr articular metas sociales, económicas y ambientales, con las aspiraciones regionales y locales. Es decir, las cuencas son territorios útiles para lograr metas tangibles de “desarrollo sostenible” adaptables a las condiciones de cada lugar (Cepal, 2002).

Por otro lado, con la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico emitida en el año 2010, surge una serie de iniciativas que buscan establecer directrices unificadas para el manejo del agua en Colombia, que además de apuntar a resolver la actual problemática del recurso hídrico, permitan hacer uso eficiente del mismo, preservándolo como una riqueza natural para el bienestar de las generaciones futuras. Se plantea como objetivo principal de la política garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión eficiente y eficaz, articulada al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social (MinAmbiente, 2010).

Dentro de la misma política se establecen unos criterios base que comprenden la necesidad de articular la gestión del agua con la ocupación sostenible del territorio y de esta manera garantizar la disponibilidad del recurso. Dichos criterios, según MinAmbiente (2010) se enmarcan en:

- ✓ La gestión y el uso sostenible del recurso hídrico, promoviendo una dinámica de ocupación del territorio en equilibrio con el agua.

- ✓ El agua como recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del territorio.
- ✓ La integración en la gestión de intereses económicos, sociales y ambientales, tanto de los usuarios directos del agua como de la sociedad en su conjunto.
- ✓ La integración de la gestión de todos los aspectos del agua (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia) que tengan influencia en sus usos y usuarios.
- ✓ La integración de la gestión a nivel de cuencas o sistemas hídricos interconectados.
- ✓ La integración de la gestión de la demanda de agua con la gestión de la oferta.
- ✓ La integración de la gestión del agua y de la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados.

De acuerdo con esta política se busca el uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables y mantener el equilibrio entre el aprovechamiento económico, social y la protección de los ecosistemas.

Por otro lado, la política nacional de cambio climático considera en algunas de sus estrategias la necesidad de incorporar, en la planificación territorial y del desarrollo sectorial, acciones de manejo y conservación de los ecosistemas y sus servicios, teniendo en cuenta el rol de los mismos en la reducción de emisiones y el aumento de la adaptación territorial y sectorial (MinAmbiente, 2016), incluyendo el aprovisionamiento de agua como un factor determinante en el ordenamiento del territorio.

En el mismo sentido, el plan nacional de gestión de riesgos de desastres comprende medidas de adaptación al cambio climático, las cuales deben ser incluidas en los instrumentos de planificación del desarrollo y del ordenamiento del territorio, incluyendo como primicia la evidente conexión entre la gestión del riesgo de desastres, la planificación territorial y la adaptación al cambio climático que hace necesaria la construcción de políticas en común, con acciones que medien en los ámbitos políticos, sociales, económicos y ambientales (Ungrd, 2015).

## **9.2. Resiliencia sistemas socioecológicos asociados a la gestión del agua**

Para entender la sustentabilidad de un sistema es necesario concebir el problema de investigación a través de unidades de análisis denominadas sistemas socioecológicos, que son sistemas en los que se dan interacciones entre sistemas sociales y ecológicos (Salas, Ríos y Álvarez, 2012).

Lo que hace que un sistema mantenga sus relaciones y funciones esenciales es la posibilidad de encontrar varios estados posibles luego de sufrir una perturbación. Sin embargo, un sistema no podría encontrar diferentes estados posibles si no tiene capacidad de experimentar cambios adaptativos que le permita alcanzarlos. Por esa razón, entendida como capacidad adaptativa, la resiliencia es considerada la propiedad y el fundamento de los sistemas socioecológicos sustentables (Salas, Ríos y Álvarez, 2012).

Una alta resiliencia socioecológica es sinónimo de sustentabilidad. Por el contrario, una resiliencia escasa supone una limitada sustentabilidad para el sistema (Salas, Ríos y Álvarez, 2012).

De ese modo, entender la generación de insostenibilidad en un sistema socioecológico es comprender el proceso adaptativo en el que se involucran las perturbaciones, las características del sistema que determinan su respuesta a esas perturbaciones y los cambios que se producen en el sistema.

Es así como se determinan unas características que condicionan la capacidad adaptativa en los sistemas socioecológicos según Salas, Ríos y Álvarez (2012):

Conectividad modular (conjunto de elementos interrelacionados), diversidad (rango de opciones que tiene un sistema para responder a una perturbación y continuar con sus procesos cruciales), mecanismos de retroalimentación (hace referencia a la controlabilidad interna del sistema y a la manera como este responde) y eficiencia (capacidad que tiene el sistema de llevar a cabo sus procesos principales sin agotar las fuentes de los recursos de los cuales depende).

Según la capacidad adaptativa, el sistema puede responder a la perturbación con dos tipos de cambios: adaptación o transformación, donde los sistemas socioecológicos pueden tener varios umbrales a partir de los cuales una perturbación puede desencadenar cambios en sus atributos esenciales. Esto se denomina cambio de régimen. Así, si su capacidad adaptativa es

escasa, la perturbación llevará a un cambio de propiedades esenciales y a la transformación del sistema en uno diferente (cambio de régimen) (Salas, Ríos y Álvarez, 2012).

## **10. CAPÍTULO II. Situación actual de la gestión del agua en el municipio de Rionegro**

### **10.1. El recurso hídrico como eje estructurante en la cuenca del río Negro**

Abordando el tema de la gestión integral del recurso hídrico desde el ámbito regional, lo cual enmarca el área de interés de estudio, es necesario reconocer que la cuenca del río Negro, por sus condiciones geomorfológicas, de vegetación y climáticas es una zona productora de aguas. Provee de este recurso a la población e industrias localizadas en el Valle de San Nicolás, igualmente mediante trasvase de los embalses de la Fe y Piedras Blancas abastece cerca del 30% del acueducto de área metropolitana del Valle de Aburrá. También surte de agua al sistema interconectado de los Embalses Peñol – Guatapé, que genera cerca de la tercera parte de la energía hidroeléctrica del país. En la cuenca del río Negro están asentados los municipios con mayor número de habitantes de la jurisdicción de Cornare (corporación ambiental), así como gran parte del sector productivo e industrial que representa la mayor presión por el recurso hídrico de toda la jurisdicción. No obstante, la cuenca del río Negro muestra una tendencia general al aumento de la demanda en cuanto a número de registros de concesiones en las bases

de datos, debido principalmente a la expansión urbanística e industrial, al fraccionamiento de la tierra y al incremento en los conflictos por el uso del recurso (Cornare, 2014).

Así mismo, la cuenca del río Negro presenta una alta densidad poblacional y una alta concentración de la actividad económica, urbana industrial y de servicios que desestimula la agricultura y la ganadería, lo que ha ejercido presión sobre el uso y disposición del suelo y del agua, sobre las coberturas boscosas y sobre la oferta ambiental en su conjunto, lo que hace la cuenca insostenible en el mediano y largo plazo (POMCA río Negro, 2017).

A pesar de que la cuenca mantiene niveles aceptables de la oferta y la disponibilidad de agua, la presión de la actividad económica y social sobre el recurso hídrico presenta en algunas subcuencas valores entre altos y muy altos. Por tanto, aumenta la posibilidad de un desabastecimiento. La calidad del agua de las fuentes superficiales tiende a disminuir a valores muy bajos ante el creciente vertimiento de aguas residuales asociadas al incremento de las cargas contaminantes, inclusive con presencia creciente de desechos tóxicos y metales pesados (POMCA río Negro, 2017).

Respecto a la cuenca, uno de los municipios que más desarrollo presenta es Rionegro y como objeto de estudio se plantea el módulo suburbano de concentración de vivienda, el cual presenta como eje estructurante natural el río Negro a lo largo de sus límites geográficos.

Es importante resaltar que el área de estudio a su vez está demarcada, según Cornare (2011), como una zona de amenaza muy alta y alta, en relación con el río Negro, desde los

límites con municipio de El Retiro, con la quebrada la Pereira en límites con el municipio de la Ceja y con el municipio de El Carmen de Viboral y con la quebrada La Mosca. Los niveles de amenaza alta se presentan principalmente en los tres drenajes del valle, debido a las características hidrológicas de sus cuencas: densidad de drenaje alta en la cabecera de las cuencas, precipitación alta en las cabeceras en algunos sectores del Municipio y usos del suelo en cultivo limpios y pastos. Estos factores facilitan el escurrimiento en las áreas que tributan a las corrientes y propician la acumulación rápida de agua en los canales principales ubicados en la zona baja, haciendo que los caudales se extiendan por fuera del canal y ocupen áreas de la llanura de inundación.

Sumado a esto, en el año 2016 la alcaldía de Rionegro y la entidad Financiera del Desarrollo Territorial S.A., Findeter, suscribieron un convenio en el cual uno de los estudios concluyentes fue la modelación y el análisis del territorio frente a la mancha de inundación en el periodo (tasa) de retorno de los cien años ( $T_r = 100$ ), donde es posible visualizar una mancha importante que debe tenerse en cuenta en el momento de generar estrategias para la ocupación y aprovechamiento del suelo.

En el módulo suburbano de concentración de vivienda la mayor área del territorio hoy conserva en su interior el río Negro en su cauce natural, con sus amplios meandros y el verde de su extensa llanura de inundación. El suelo mantiene las características rurales de baja densidad, actividad agrícola (floricultivos) y grandes latifundios con viviendas campestres aisladas. Contrastan algunos puntos en los que se concentran viviendas campestres bajo la forma de

parcelaciones. En la periferia, los corredores suburbanos presentan una ocupación más dura y densa y una oferta más diversificada de usos (Urbam, 2016).

Teniendo en cuenta el potencial que tiene el módulo suburbano de concentración de vivienda para el municipio de Rionegro, en cuanto al crecimiento y al desarrollo urbano, sobre esto se han adelantado una serie de estudios técnicos y normativos que proyectan la densificación del territorio e incluyen, a su vez, la capacidad de carga del ecosistema receptor. Estos estudios fueron abordados por Proantioquia (2009), Urbam (2016) y Alcaldía de Rionegro (2017).

Dichos documentos proveen insumos e instrumentos que deben ser evaluados y comparados para que se tengan en cuenta en el momento de tomar decisiones frente a la densificación del territorio de estudio, incluyendo nuevas variables y actores relevantes en la gestión integral del recurso hídrico.

Para establecer lineamientos de densificación del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro a partir de la gestión integral del agua, debemos considerar los siguientes factores de cambio: (i) oferta y disponibilidad hídrica, con los índices de aridez, retención y regulación hídrica; (ii) demanda del recurso hídrico, con los índices de uso del agua y vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico; (iii) calidad del recurso hídrico, con los índices de calidad del agua y de alteración potencial a la calidad del agua; y (iv) amenaza, riesgo y vulnerabilidad (POMCA río Negro, 2017).

## **10.2. Gestión del riesgo asociado al recurso hídrico para el municipio de Rionegro**

El problema que se enfrenta a nivel global con respecto a los efectos del cambio climático es alarmante, y la subregión del Valle de San Nicolás no está exenta. Dicho fenómeno pone en riesgo a los sistemas naturales, y por ende a las comunidades y los diferentes sectores económicos. Algunos de los impactos derivados de la variabilidad climática en la subregión están relacionados con el incremento en la frecuencia e intensidad de inundaciones, incendios y deslizamientos, pero sobre todo con la disponibilidad de agua. Ante este panorama la forma en que tradicionalmente se han usado los recursos naturales en el oriente antioqueño deberá responder a dichos desafíos haciendo especial énfasis en controlar los cambios en el uso del suelo para evitar la pérdida de la cobertura natural.

En el marco de la estrategia nacional de crecimiento verde y con el fin de alinear el país con las tendencias internacionales en políticas climáticas y ambientales, Cornare, en asocio con WWF y Fundación Natura, lidera el primer plan de crecimiento verde y desarrollo compatible con el clima en el oriente antioqueño. Este plan es una gran oportunidad para que los municipios jueguen un papel activo en su construcción e incluyan lineamientos de cambio climático en la planificación de sus territorios.

Según el Ideam, se estima que la temperatura en la subregión del Valle de San Nicolás puede incrementar hasta en 2,2° C para finales de siglo. Adicionalmente, Antioquia podrá aumentar la precipitación promedio en un 9,3% con respecto al valor actual (Cornare, 2017).

Para el caso específico del municipio de Rionegro, dada su topografía y geomorfología, las inundaciones son de tipo lenta y, en general, de mayor tiempo debido a la baja pendiente del valle, el cual cuenta con el río Negro como eje estructurante, y uno de los principales causantes de afectaciones por inundación (Alcaldía de Rionegro, 2018).

En el proceso de revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro incluye la elaboración de la red ecológica en todo el territorio municipal en la determinación de rondas hídricas. Dentro de esta información, se cuenta con la mancha de inundación asociada al período (tasa) de retorno de cien años ( $Tr=100$ ) y para el río Negro y las quebradas La Mosca, La Pereira y La Yarumal. Esta información fue incluida dentro del proceso de determinación de las áreas con amenaza por inundación para el municipio de Rionegro, específicamente dentro del suelo rural, ya que corresponden a resultados de detalle (análisis hidráulico para la construcción de la mancha de inundación para el periodo de retorno de cien años ( $Tr=100$ ) y que mejoran la precisión de las zonas con amenaza alta dentro del territorio de estudio (Alcaldía de Rionegro, 2018).

En este sentido, y con base en los estudios obtenidos bajo el proceso de revisión del POT, fue posible identificar que toda la llanura aluvial del río Negro se encuentra bajo amenaza alta, y que en general se determinó por la mancha de inundación para el período de retorno de cien años. Esta situación se presenta teniendo en cuenta las condiciones topográficas y geomorfológicas de la corriente, donde se tiene un canal o banca principal con llanuras de

inundación extensas y bien definidas y que permiten el tránsito del flujo de creciente a través de ellas (Alcaldía de Rionegro, 2018).

Las llanuras y áreas de retiro del río Negro son las mayores áreas inundables, como se ha mencionado (ver ilustraciones 2 y 3). Estas áreas han sido usadas tradicionalmente para la agricultura, floricultura, ganadería y protección (zonas de retiro). Sin embargo, los usos del suelo han ido cambiando, siendo la dinámica inmobiliaria del oriente antioqueño el principal detonante para su ocupación (Alcaldía de Rionegro, 2018).

Es por lo anterior que es vital tener aproximaciones realmente integrales que permitan identificar las relaciones entre los componentes ecológicos, sociales y económicos, a diferentes escalas espaciales y temporales, para una mayor comprensión de los sistemas urbanos y suburbanos. Por ello, es de suma importancia compatibilizar el crecimiento urbano con la protección del ambiente, haciendo énfasis en los servicios ecológicos y sociales que prestan los espacios verdes para el balance climático y mitigación de la contaminación: regulación de las temperaturas, efectivos corredores de vientos, purificación del aire, provisión de rutas alternativas de transporte y captura de carbono.



Ilustración 2. Vulnerabilidad a la inundación del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 3. Vulnerabilidad frente a la inundación en el casco urbano del municipio de Rionegro (aguas abajo del módulo de concentración de vivienda, mayo 2018). Fuente: Alcaldía de Rionegro (2018).

Según Findeter (2016), en el municipio de Rionegro las zonas más amenazadas por inundación están ubicadas a lo largo del río Negro (ver ilustración 4), barrios El Porvenir, Las Playas y el centro comercial Córdoba, las instalaciones de Bomberos y la zona industrial, zonas aguas abajo del área de estudio.



Ilustración 4. Caudales máximos para el río Negro en el periodo de retorno de los 100 años. Fuente: elaboración propia con base a Findeter (2016).

El análisis de la peligrosidad por inundaciones está relacionado no solamente con las zonas inundables, sino con las velocidades alcanzadas en cada punto, como se puede evidenciar en la ilustración 5.



Ilustración 5. Mapa de peligrosidad para el río Negro en el periodo de retorno de los 100 años. Fuente: elaboración propia con base en Findeter (2016).

Findeter en el año 2016 construyó un mapa de limitantes constructivas que sintetiza el conjunto de resultados obtenidos, el cual pretende servir de base para la planificación de la expansión de la ciudad considerando al mismo tiempo una posible mitigación del riesgo sísmico existente. Conviene destacar que en cualquier zona de la ciudad se puede construir siguiendo estrictamente el código sísmico, pero es de suma importancia tener en consideración que en las zonas de mayor amenaza (ver ilustración 5), se deberían llevar a cabo estudios de microzonificación sísmica o estudios geotécnicos para tener en cuenta, en el diseño de las estructuras, las amplificaciones del terreno que pueden generarse ante un evento sísmico, debido a la presencia de suelos muy blandos en esta zona.

Así mismo, Findeter (2016) propone como medida de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático que el Plan de Ordenamiento Territorial incorpore y tenga en cuenta para sus actuaciones los riesgos naturales. Una de las formas más efectivas para prevenir y mitigar el efecto de las inundaciones, es incrementar la resiliencia del territorio a través del mantenimiento de la integridad ecológica de los ecosistemas asociados a la regulación hídrica.

### **10.3.Oferta y demanda de recurso hídrico en la cuenca del río Negro, municipio de Rionegro**

La red hídrica de la cuenca del río Negro ha sido conformada a través de una multiplicidad de procesos naturales ocurridos durante las diferentes fases del levantamiento de la

cordillera central de los Andes. Ha labrado una red de más de 1.700 km de drenajes que constituyen la infraestructura natural territorial, a través de la cual se producen conexiones y flujos de materia y energía que permiten, además de la movilidad de la escorrentía y demás flujos de agua superficial y subterránea, la presencia y variedad de biodiversidad que aún existe por fragmentos en la extensión de la cuenca (Urbam, 2016).

La longitud de la red hídrica del río Negro, con sus afluentes, equivale a la distancia existente entre los municipios de Riohacha en La Guajira y Leticia en el Amazonas. Es decir, la red hídrica del río Negro equivale a la distancia meridiana de todo el territorio continental de Colombia. En el trabajo desarrollado por Proantioquia en el año 2009, se describe la red hídrica conformada por el río Negro y sus quebradas afluentes como un tesoro oculto y amenazado. Sin duda alguna, el río Negro es la más importante fuente de agua de la zona del altiplano. Inicia su recorrido en el Cerro Vaca de la denominada cordillera de Las Palmas, a unos 2.800 m s.n.m., corre en dirección nordeste y es alimentado al lado derecho por las quebradas del Hato, la Pereira y Cimarronas, y por el izquierdo, por las quebradas Tablazo, Tablacito, Chachafruto, Malpaso, La Mosca y La Porquera (Urbam, 2016).

En la tabla 1 se relaciona la oferta y demanda del recurso hídrico en el módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, de acuerdo con el estudio realizado en el marco de la revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de Rionegro, 2017), donde se tienen demandas que van desde muy baja a alta:

Tabla 1. Índice de escasez para las microcuencas del área de estudio. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).

Subcuenca	Microcuencas	Oferta (m3/s)	Demanda (m3/s)	Índice de escasez	Categoría	Explicación
Tablazo	El Estoraque	0,071	0,021	29,174	Medio alto	Demanda apreciable
	Tablazo	0,078	0,021	27,274	Medio alto	Demanda apreciable
	Chuscalito	0.035	0,013	36,008	Medio alto	Demanda apreciable
Río Negro parte media	Rionegro	0,016	0	1,282	Mínimo	Demanda muy baja
	El Hato	2,485	0,01	0,395	No significativo	Demanda no significativa
	San Antonio	2,64	0,022	0,836	No significativo	Demanda no significativa
Chachafruto	Las Palmas - El Volcán - El Hospital	0,046	0,008	17,175	Medio	Demanda baja
	Los Escobares	0,019	0	0,531	No significativo	Demanda no significativa
	Sajonia	0,035	0,053	153,294	Alto	Demanda alta
	El Yarumo	0,132	0,024	18,517	Medio	Demanda baja
	La Leonera - El Rincón	0, 272	0,002	0,812	No significativo	Demanda no significativa
	Chachafruto bajo	0,278	0,07	25,102	Medio alto	Demanda apreciable
Río Negro parte baja	Rionegro	7,786	0,002	0,019	No significativo	Demanda no significativa

Con base en la información contenida en el GeoPortal corporativo de Cornare, la Alcaldía de Rionegro construyó el índice de escasez, tomando para el efecto las microcuencas existentes en la cartografía (Alcaldía de Rionegro, 2017), donde se evidencia que, en el área de estudio de interés de la presente tesis (microcuenca El Hato), el nivel de escasez es no significativo.

La microcuenca que más demanda presenta es la de Sajonia, seguida por las microcuencas El Estoraque, Chachafruto Bajo, El Tablazo y río Negro bajo que presentan

demanda apreciable, El Yarumo y el Hospital que se encuentran con demanda baja, río Negro medio con demanda muy baja y las microcuencas Los Escobares, La Leonera, El Hato y San Antonio tienen una demanda no significativa.

Solo un acueducto presenta demanda alta, en el sector conocido como Sajonia. El resto, de acuerdo con los consumos promedio de la población atendida, presentan concesiones con caudales superiores a los tratados, lo que da indicios de tener una oferta mayor a la demanda y por ende mayor capacidad para atender una población potencialmente mayor (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Si al análisis de demanda se le incorporan los consumos individuales, es decir, aquellas concesiones que solo tienen un beneficiario, se obtiene como resultado una demanda alta en un 50% del área de estudio. Sin embargo, toda el área que se observa con demanda alta presenta acueductos operando actualmente con óptima capacidad, infraestructura y con buena calidad de agua para consumo humano, además con características administrativas y operativas capaces de suplir una mayor demanda del recurso por aumento en los suscriptores y usuarios, en especial los que se han considerado de acuerdo al ordenamiento jurídico sobre la materia como grandes prestadores (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Según la Alcaldía de Rionegro (2017) dentro del módulo suburbano objeto de estudio hay presencia de diferentes prestadores de servicios públicos, especialmente en lo referente al servicio de acueducto, donde las veredas que hacen parte del territorio tienen uno o más operadores (ver ilustración 6).

En la revisión y análisis de las concesiones otorgadas por Cornare se puede evidenciar que hay una fuerte presión por el uso de agua en las diferentes microcuencas que hacen parte del módulo de concentración de vivienda, confirmando la tendencia general en el aumento de la demanda de agua, debido principalmente a la expansión urbanística e industrial, al cambio de usos del suelo y al fraccionamiento de la tierra (Alcaldía de Rionegro, 2017).

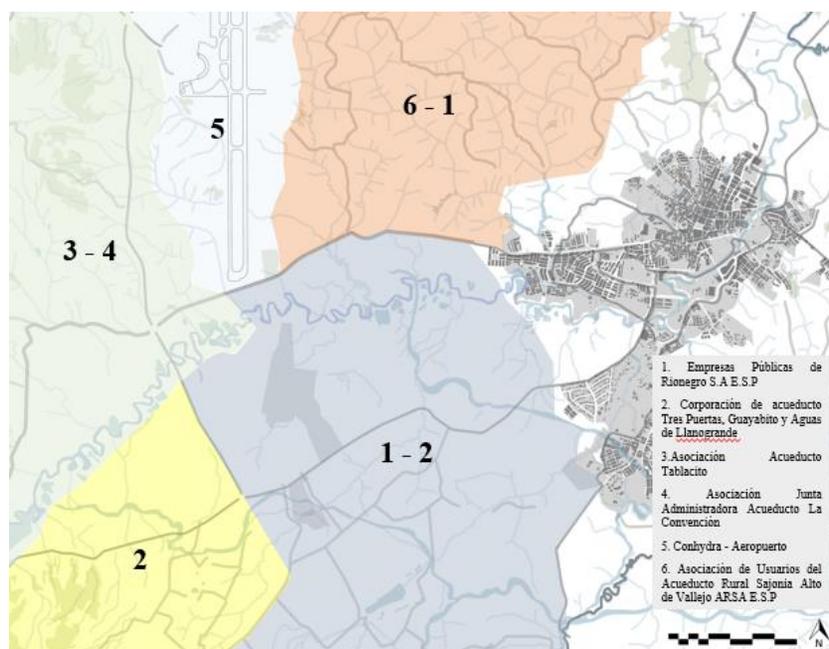


Ilustración 6. Prestadores de servicio de acueducto. Fuente: elaboración propia con base en Alcaldía de Rionegro (2017).

De las 91 microcuencas existentes en el municipio de Rionegro, trece se ubican en el área de influencia de los módulos suburbanos objeto del estudio realizado por la alcaldía de Rionegro en el 2017, con un total de 657 concesiones de aguas, según Cornare (2016) y un caudal otorgado de 140,7 L/s de acuerdo con las fuentes que reportan el caudal medio, el caudal mínimo y el caudal ecológico, es decir con excepción de las quebradas La Leonera, San Antonio y El

Hato, se tiene que el caudal medio asciende a 41,50 m<sup>3</sup>/s, el caudal mínimo a 6,28 m<sup>3</sup>/s, y el caudal ecológico a 7,51 m<sup>3</sup>/s, tal como se indica en la tabla 2 y en la ilustración 7.

Tabla 2. Caudales de aguas concesionadas por Cornare en las microcuencas del área de influencia. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).

Microcuenca	Concesiones otorgadas	Caudal otorgado (L/s)	m <sup>3</sup> /s		
			Caudal medio	Caudal mínimo	Caudal ecológico
La Leonera	4	0,072			
El Tablazo bajo	5	0,8	0,383	0,099	0,071
San Antonio	17	3,097			
Los Escobares	19	0,88	0,092	0,028	0,017
Chuscalito	31	3,87	0,173	0,05	0,031
Chachafruto bajo	36	3,22	1,363	0,203	0,252
Sajonia	38	19,06	0,164	0,051	0,026
El Estoraque	48	3,34	0,348	0,092	0,063
Río negro parte media	62	30,52	0,08	0,025	0,018
Hospital	74	6,22	0,222	0,063	0,039
El Hato	84	24,79			
Río negro parte baja	92	14,95	38,046	5,5	6,903
El Yarumo	147	29,95	0,626	0,166	0,097
Total	657	140,769	41,487	6,277	7,517

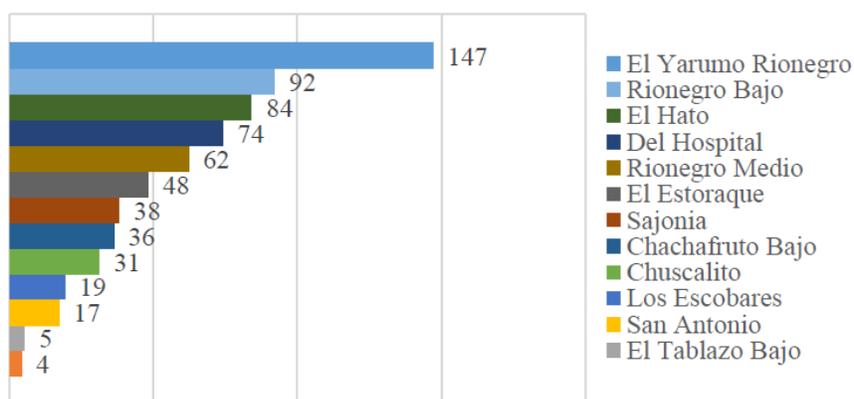


Ilustración 7. Concesiones otorgadas en las microcuencas del área de influencia en el periodo 2006 – 2016. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).

En la ilustración 8 se evidencia el caudal que fue otorgado para las distintas microcuencas; se puede observar que la del río Negro medio es la que presenta mayor caudal concedido, con un total de 30,52 L/s, seguido de la microcuenca El Yarumo con 29,95 L/s, El Hato con 24,79 L/s, Sajonia con 19,06 L/s y el río Negro bajo con 14,95 L/s. Las demás fuentes representan un caudal más bajo, desde 6,22 hasta 0,072 L/s (Alcaldía de Rionegro, 2017).

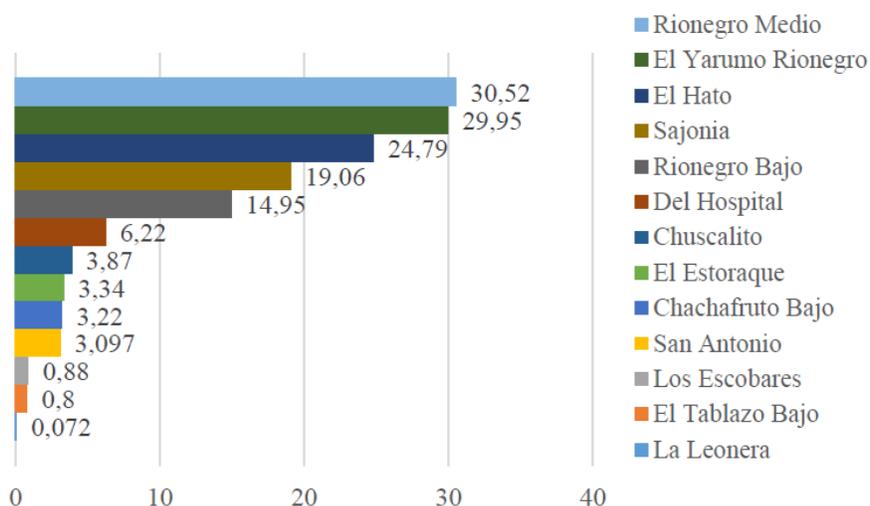


Ilustración 8. Caudal otorgado en las microcuencas del área de influencia en el periodo 2006 – 2016. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2017).

A continuación, en la ilustración 9 se presenta la localización de las concesiones que fueron otorgadas para el periodo del 2006 hasta el mes de julio del año 2016 (Alcaldía de Rionegro, 2017), donde se evidencia que aguas arriba del territorio objeto de estudio, es decir en las partes altas de las microcuencas, se ubican la mayoría de las concesiones.

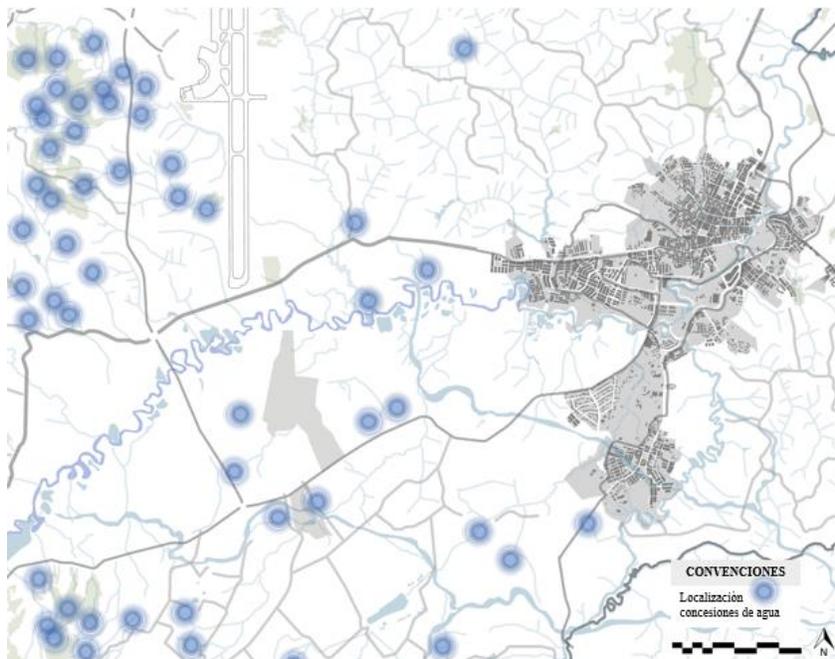


Ilustración 9. Localización de las concesiones otorgadas periodo 2006 a julio 2016. Fuente: elaboración propia con base en Alcaldía de Rionegro (2017).

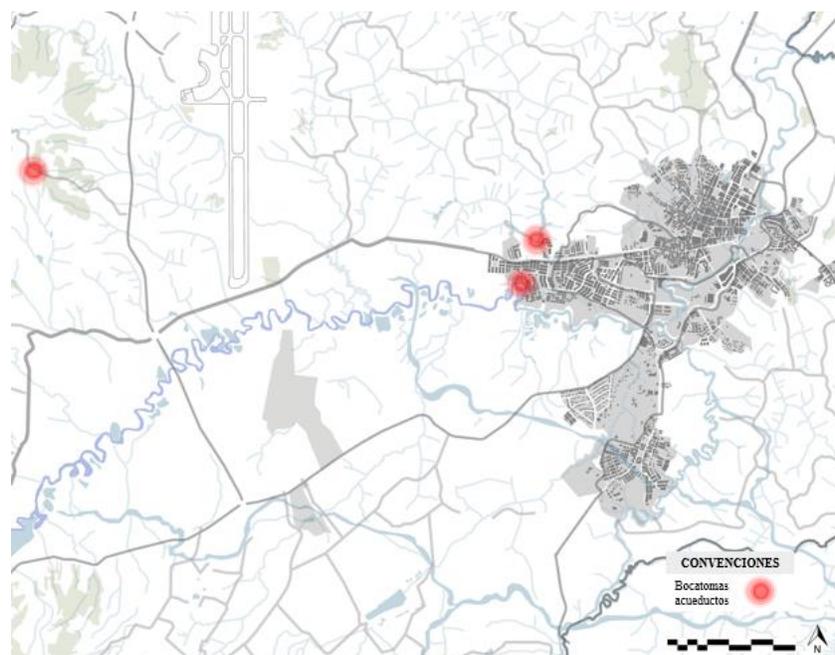


Ilustración 10. Puntos de captación de las concesiones de aguas otorgadas a los prestadores del servicio público de acueducto. Fuente: elaboración propia con base en Alcaldía de Rionegro (2017).

Por otro lado, el POT plantea (aunque esto no ha sido concertado con la autoridad ambiental Cornare) que en las áreas donde se pretende incrementar las densidades habitacionales se observa en términos generales una excelente calidad del agua, pues al menos uno de los acueductos presentes en cada vereda tiene buenos índices de calidad de agua. En el costado noroccidental del Municipio se observa que hay acueductos que han presentado valores por fuera de los estándares para consumo humano, lo que hace necesario, para aumentar la densificación, el fortalecimiento tanto técnico como administrativo de estos acueductos, pues no basta solo con asegurar el abastecimiento del recurso hídrico, sino también la calidad del mismo (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Para el módulo de concentración de vivienda se tiene una buena proyección de redes de servicios de acueducto que a futuro garantizarán el servicio eficientemente, toda vez que se tiene proyectada una red de 600 km en el costado noroccidental del Municipio con el proyecto Valles de San Nicolás de EPM, el cual puede estar superando las falencias encontradas previamente. Sin embargo, es una zona que puede estar demandando más recursos por usos como el de servicios, industria especializada y comercio, por lo que es un área con la cual se debe tener cuidado para no entrar en un déficit por este servicio (Alcaldía de Rionegro, 2017).

El estudio plantea que, a medida que se van ampliando las redes de servicio de acueducto, también se van expandiendo las redes de alcantarillado. Sin embargo, dado el contexto rural de los módulos, de alguna manera se dificulta la generación de redes continuas y un tratamiento y recolección del 100% de las aguas residuales, por esto la necesidad de generar mecanismos que

puedan ser una solución a corto y mediano plazo mientras se tienen las redes adecuadas (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Por todo lo expuesto anteriormente y en concordancia con el modelo de ciudad sostenible que tiene Rionegro planteado en el POT, el estudio técnico del módulo suburbano de concentración de vivienda contempla como variable que restringe el desarrollo del área de estudio, el manejo de las aguas residuales, por lo que evidencian los responsables del estudio la necesidad de plantear esquemas de desarrollo a corto, mediano y largo plazo dentro del área de estudio con el objeto de garantizar un equilibrio entre la prestación de los servicios públicos, especialmente saneamiento básico, toda vez que esto puede ser una variable que limita el crecimiento con calidad de las ciudades (Alcaldía de Rionegro, 2017).

En cuanto a la infraestructura con la cual disponen los prestadores del servicio de acueducto, el estudio de la Alcaldía dispone que la mayoría de los prestadores cuentan con una adecuada infraestructura para la prestación del servicio a los suscriptores que tienen actualmente. No obstante, frente a las tendencias de crecimiento del Municipio, en especial en el área de estudio, solo los grandes prestadores están en la capacidad para enfrentar las obras que se requieren en ampliación y optimización de los sistemas de acueducto, reposición de redes, optimización de plantas potabilizadoras, entre otras, de forma que corresponda a las necesidades de los usuarios y se dé cumplimiento a la normativa en la adecuada prestación del servicio (Alcaldía de Rionegro, 2017).

#### **10.4. Inclusión del recurso hídrico en el Plan de Ordenamiento Territorial para la densificación del módulo suburbano de concentración de vivienda**

En cuanto a la gestión del agua, el POT (2018) del municipio de Rionegro propone para el módulo suburbano de concentración de vivienda, con base en un estudio detallado de la recarga del acuífero presentada por Jorge Iván Tobón de la Universidad Nacional de Colombia en el 2003, como tesis para la maestría en Aprovechamiento de Recursos Hidráulico. Dicha investigación fue desarrollada en un área que coincide apropiadamente con el área de interés de esta tesis y encontró que la recarga del acuífero se da mediante la infiltración del 10-30% de las precipitaciones en el área. Por lo anterior y multiplicando la precipitación promedio anual (2018 mm) del área por su extensión (3.459,6 Ha), se encuentra que son recibidos 69.8 millones de m<sup>3</sup> de agua lluvia, de los cuales 6.98 millones de m<sup>3</sup> se infiltran y llegan a recargar el acuífero (10% de la precipitación y considerando la recarga mínima del acuífero). Si se divide la recarga anual del acuífero por los 365 días del año y se asigna el consumo recomendado de 150 L/persona, sería posible abastecer a 127 478 personas más, lo que garantizaría en supuesto el crecimiento que actualmente está proponiendo la entidad territorial.

Por otro lado, el actual POT establece que se deben fortalecer los acueductos veredales, tanto con infraestructura para la potabilización del agua, como para su tratamiento, dispone el desarrollo de proyectos que permitan la infiltración del agua, implementación de alianzas estratégicas entre prestadores de servicios públicos, ampliación del caudal concesionado de

acuerdo con las nuevas demandas y reposición de redes existentes de acueductos veredales que puedan garantizar continuidad y disponibilidad del recurso (ver Anexo 1).

A partir de la lectura del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro, en lo relacionado con la gestión del agua, se reconocieron unos problemas y unas oportunidades que demarcan la importancia de implementar estrategias que permitan un desarrollo sostenible desde el ámbito del aprovechamiento y uso eficiente del recurso hídrico y, por ende, la necesidad de implementar una guía que materialice los objetivos de la política nacional del agua en el contexto local. Los problemas se identificaron desde la presión urbanística, el crecimiento urbano desordenado, la desarticulación institucional, la insuficiente gestión pública para el monitoreo del uso y aprovechamiento del agua, los vertimientos de aguas residuales no tratadas, la deficiencia en la capacidad técnica y administrativa de las empresas prestadoras de servicios públicos y la baja presencia institucional. Las oportunidades se establecieron a través de la articulación institucional, la zonificación ambiental del territorio, la optimización de la infraestructura destinada al servicio de acueducto, la construcción de soluciones técnicas para el tratamiento eficiente de aguas residuales domésticas, la implementación de alianzas estratégicas entre prestadores de servicios públicos, el fortalecimiento de las empresas para la prestación del servicio y el saneamiento básico, y las alianzas público-privadas y comunitarias para el manejo sostenible de la oferta ambiental del ecosistema.

### 10.5. Proyecciones propuestas según documentos y estudios técnicos para la expansión del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, Antioquia

El Plan de Ordenamiento Territorial (2018) propone una densidad de vivienda para el módulo que oscila entre las 10 y 30 viv/ha (ver ilustración 11), lo cual sigue en trámite de concertación con la autoridad ambiental Cornare.

Con la densidad propuesta para el crecimiento del módulo de concentración de vivienda se proyecta que en este módulo se construyan aproximadamente 15 190 viviendas, es decir, será un territorio ocupado por 53 165 habitantes (ver ilustración 11).

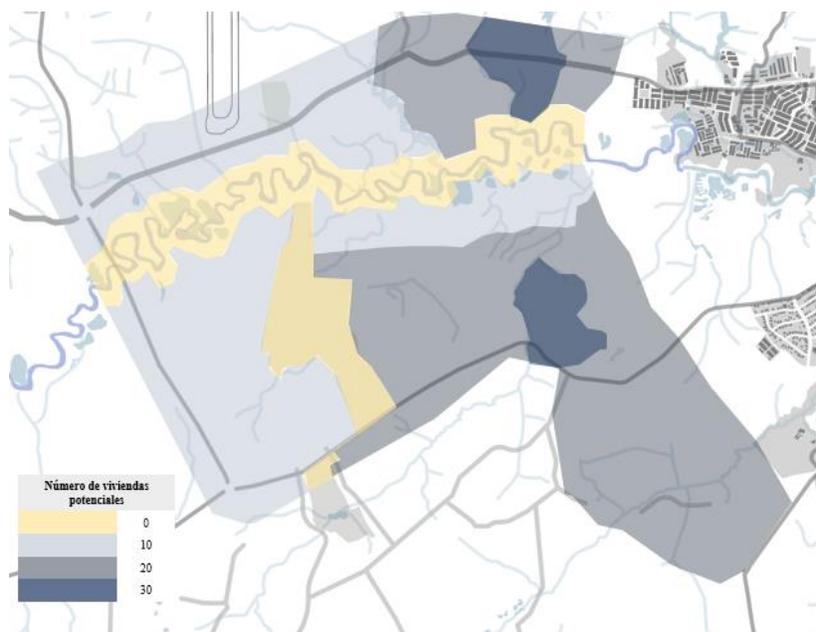


Ilustración 11. Viviendas potenciales. Fuente: Alcaldía de Rionegro (2018).

Por otro lado, Urbam (2016) determina como límites de crecimiento la disponibilidad del agua para el consumo humano doméstico, en donde describe que, en general, la zona rural del municipio presenta déficit en cuanto al abastecimiento de los acueductos, lo cual puede traducirse en una grave problemática si se tienen en cuenta las marcadas dinámicas de crecimiento poblacional en la zona rural, asociada principalmente con los procesos de transformación y demandas crecientes de los actuales procesos de suburbanización.

Este documento considera que la zona rural del Municipio presenta problemas en cuanto a la calidad de sus aguas, los cuales están asociados con actividades agropecuarias y agroindustriales, con la ausencia o insuficiencia de sistemas de alcantarillado con demanda creciente.

En este estudio se presentan tres escenarios de crecimiento para el área de interés en cuanto a la ocupación con viviendas: densificación exponencial (la población aumenta de manera lenta durante los primeros años y luego crece a una tasa cada vez más rápida, hasta llegar al tamaño máximo de población pre-establecido), densificación lineal (el crecimiento de la población crece a un ritmo constante y proporcional al de la vivienda) y densificación logarítmica (la población crece de manera rápida durante los primeros años y la tasa de crecimiento va disminuyendo en el tiempo hasta llegar al tamaño máximo de población).

Para estos tres escenarios se modelan dos tipos de densidad:

- a. Una densidad de 4 viviendas por hectárea.
- b. Una densidad de 20 viviendas por hectárea.

En ambos casos se asume que se dispone de mil millones de litros al año adicionales a lo que está hoy disponible, equivalentes a 33 L/s.

De lo anterior se obtiene que:

Una densidad de 4 viviendas por hectárea permite soportar la población creciente hasta un 208% durante el periodo de análisis (2016 – 2036).

Una densidad de 20 viviendas por hectárea no permite soportar la población creciente durante el periodo de análisis. Un crecimiento explosivo pone en riesgo todo el sistema de soporte al año de iniciar el proceso urbanístico creciente. El modelo que mejor soporta el crecimiento es el exponencial. El crecimiento exponencial le permite al municipio ajustar durante un periodo de diez años su capacidad institucional y de servicios para soportar el crecimiento proyectado.

En cuanto a las aguas residuales y con base al Acuerdo 282 de 2012, expedido por Cornare, puede inferirse que, en la actualidad, no se realiza ningún tratamiento de las aguas residuales que provienen del sector que corresponde al módulo de concentración de vivienda y que, de las aguas residuales que se producen desde el embalse de La Fe hasta la confluencia con la quebrada Marinilla, se vierte aproximadamente el 80% del total de las cargas contaminantes representadas por DBO y SST. Es decir, la capacidad de tratamiento llega apenas al 20%.

Actualmente se descarga al río Negro más del 70% del caudal de agua residual doméstica producida en el municipio y, dado que la eficiencia del sistema de tratamiento es del 20%, se termina vertiendo al río Negro más del 80% de la carga contaminante total.

Para el tema de aguas residuales también se plantean, para los tres escenarios, dos tipos de densidades:

- a. Una densidad de 4 viviendas por hectárea
- b. Una densidad de 20 viviendas por hectárea.

En ambos casos, se asume que se realiza un vertimiento de aguas residuales correspondiente al 80% de las aguas de consumo (equivalentes a 25 L/s) y se asumen porcentajes de remoción del 60% y del 80% respectivamente.

Es así que Urbam concluye que:

Una densidad de 4 viviendas por hectárea permite soportar como máximo la población exponencial creciente hasta el año 2021.

Una densidad de 20 viviendas por hectárea no permite soportar la población exponencial creciente desde el año 2019.

En el modelo exponencial se puede evidenciar que el sistema puede ajustarse durante un periodo de seis a siete años para incrementar la capacidad de carga del sistema y, de ese modo, atender la demanda de una población creciente.

Con una densidad de 20 viviendas por hectárea el modelo indica que no se puede soportar la población creciente desde el año 2017, o desde el año siguiente al inicio del proceso de crecimiento urbanístico con la modificación de la densidad. Para poder crecer a este ritmo, el municipio tendría que multiplicar por diez su capacidad institucional y de servicios para el año 2017, situación que se considera difícil de lograr en el corto periodo de un año.

Una densidad de 4 viviendas por hectárea permite soportar la población creciente durante el periodo de análisis.

Una densidad de 20 viviendas por hectárea permite soportar la población creciente desde el año 2017 hasta el año 2023 en un modelo exponencial.

En el módulo de concentración de vivienda, pasar de una densidad de 1,3 viv/ha a una densidad de 4 viv/ha permite soportar la población creciente en más de un 200% durante los próximos veinte años. Este cambio de densidad permite pasar de un par de miles de personas que habitan actualmente la zona, a más de 17 000 personas durante el periodo de análisis. Lo anterior implica que una densidad de 4 viviendas por hectárea permite construir más de 3000 nuevas viviendas en el módulo de concentración de vivienda, pero exige incrementar la oferta hídrica actual en más de mil millones de litros.

Para la zona de concentración de vivienda, con una densidad actual de 1,3 viv/ha y asumiendo habitación normal, se producen cerca de 100 toneladas anuales de DBO. Es decir, se produce una carga mayor que la cantidad máxima permitida actualmente.

Si se supone que se tiene un tratamiento de las aguas residuales que alcanza el 80% de eficiencia, entonces puede concluirse que una densidad de 3,8 viv/ha permitiría mantener descargas que están entre los límites máximos establecidos por la autoridad ambiental.

Si se dispone de sistemas de tratamiento con eficiencias del 90%, entonces la densidad máxima posible que es capaz de garantizar estos límites establecidos por la autoridad ambiental para la sostenibilidad de la calidad del río Negro alcanza un valor del 7,5 viv/ha. Esto significa

un crecimiento poblacional cercano al 500% respecto al valor actual, equivalente a 33 000 personas aproximadamente. Asumiendo eficiencias del 95%, se pueden alcanzar densidades máximas de 9 viv/ ha.

### 10.6. Territorio objeto de estudio: unidad funcional MCV\_16

El área de estudio se enmarca en la unidad funcional MCV\_16 del módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, el cual hace parte del Oriente Antioqueño. Rionegro es uno de los nueve municipios que conforman la Subregión de Oriente y es vecino inmediato del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Es reconocido como el Municipio más dinámico de la subregión y juega un rol importante como cabecera subregional (Urbam, 2016).

El módulo está delimitado por un sistema estructurante natural que hace parte de la cuenca del río Negro (ver ilustración 12), y cuenta con un área total de 1.180,18 ha (Alcaldía de Rionegro, 2017).

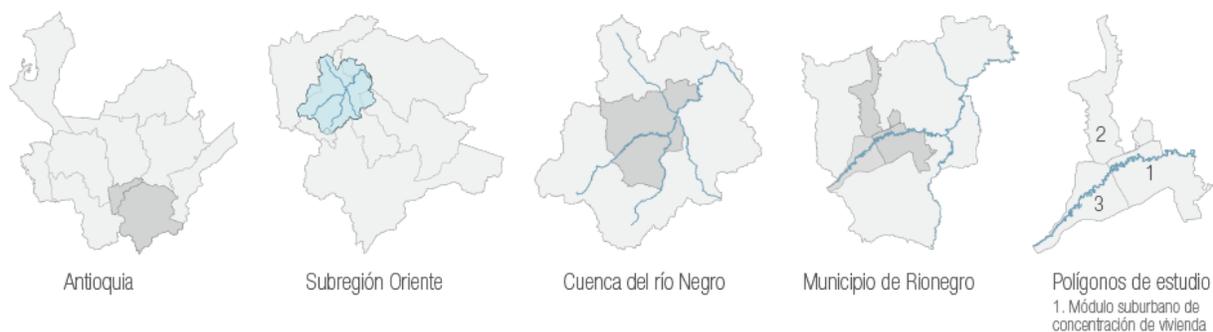


Ilustración 12. Ubicación del territorio objeto de estudio. Fuente: Urbam (2016).

El territorio posee un alto nivel freático por su posición intertropical, donde confluyen y permanecen los vientos alisios por el choque con la cadena montañosa, siendo así que el valle del río Negro presenta un alto volumen de precipitación (Urbam, 2016).

El elemento estructurante natural que hace parte de la cuenca en referencia es el río Negro, el cual presenta como característica principal asociada a su forma meándrica, condicionada por la topografía plana. Este sistema a su vez conforma la

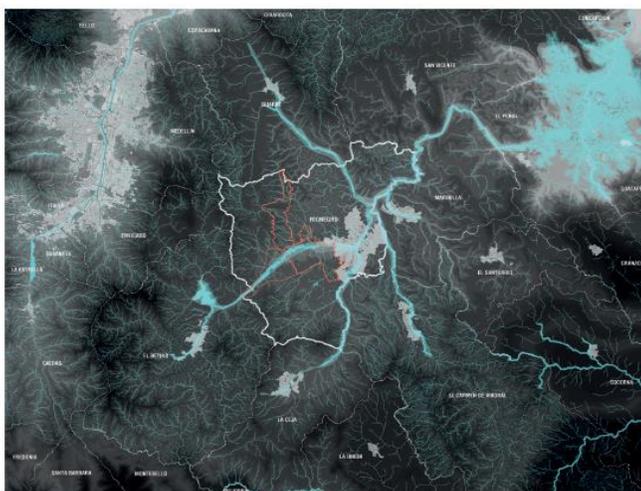


Ilustración 13. Estrella hídrica de oriente: sistema natural río Negro. Fuente: Urbam (2016).

confluencia con fuentes principales como las quebradas La Pereira, La Mosca, Pantanillo, La Marinilla y Cimarronas (ver ilustración 13).

La dinámica del río Negro tiene unas características asociadas a su aprovechamiento (ver ilustración 14). Su mayor uso se relaciona con el abastecimiento del 30% del acueducto del Área Metropolitana y el 100% del acueducto urbano del municipio de Rionegro (Urbam, 2016).

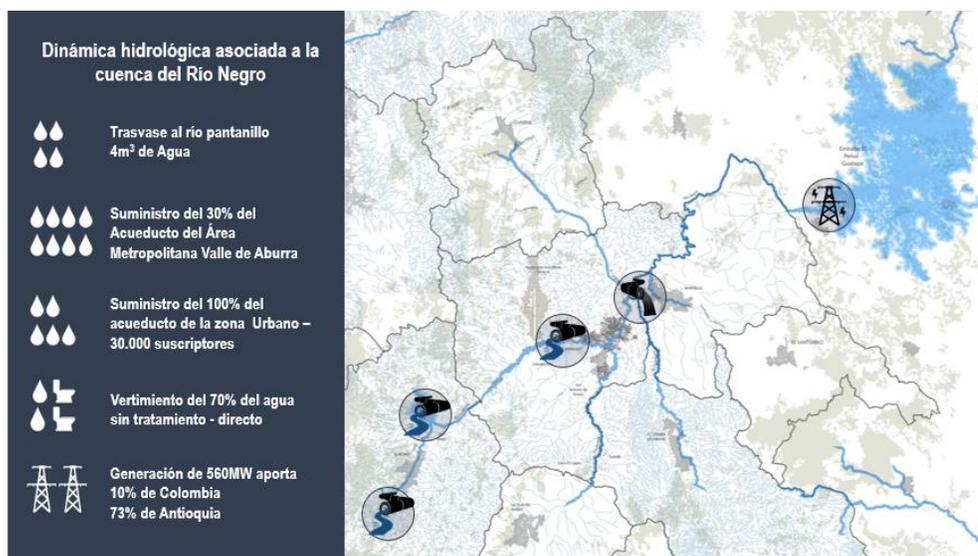


Ilustración 14. Dinámica hidrológica cuenca del río Negro. Fuente: elaboración propia.

Se identifica que en todo el trayecto del río Negro existe una zona que está proyectada en el actual plan de ordenamiento territorial como el sector de mayor crecimiento para el municipio de Rionegro, denominada módulo suburbano de concentración de vivienda, el cual está conformado por planes parciales como La María, que para la presente investigación será el territorio objeto de estudio por la relación que se presenta entre el sistema estructurante natural y su proyección para su ocupación.

La unidad funcional MCV\_16, donde se realizará la aplicación de la guía metodológica tiene una extensión de 36,31 ha, donde el área neta de aprovechamiento es de 27,07 ha y el índice de ocupación de 74,55%, lo que equivale a una proyección de 363 viviendas, según el actual POT del municipio de Rionegro.

En la actualidad, en el territorio de estudio (ver ilustración 15) existe una concentración de 29 viviendas por las 36,31 ha que tiene la unidad funcional, lo cual, bajo los parámetros del actual POT, incrementaría en 151% al soportar las 363 viviendas que se tienen proyectadas.

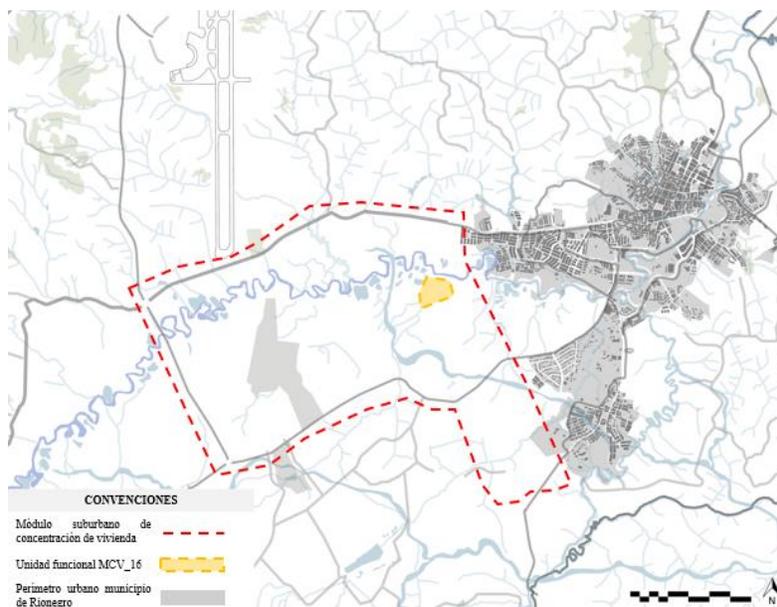


Ilustración 15. Ubicación geográfica y espacial del módulo suburbano de concentración de vivienda.  
Fuente: Google Earth (2018).

### **11. CAPÍTULO III. Guía metodológica que incluye criterios de gestión sostenible del agua para que sean insumos en toma de decisiones de la planificación territorial de áreas de futura expansión urbana**

Se entiende por guía metodológica el conjunto de acciones o pasos a seguir que contiene un documento técnico (UPV, 2011), y que es importante porque contribuye a identificar y evaluar

los impactos que se derivan sobre los ecosistemas, ayuda a establecer objetivos con temporalidades, permite identificar las interacciones que se dan en los procesos socioecológicos, coadyuva a minimizar la vulnerabilidad ambiental y social, coopera para que se prioricen los servicios ecosistémicos para ser incluidos en los procesos de planificación territorial y propone herramientas que pueden mejorar el metabolismo urbano de los territorios.

Esta guía propone la inclusión de criterios de gestión sostenible del agua en procesos de planificación territorial desde el consumo, la contaminación y el balance hídrico. Esto se hizo a través de la identificación de una problemática asociada a estos tres componentes y el establecimiento de objetivos en el corto, mediano y largo plazo, que permitan ejecutar acciones que optimicen, mejoren y renueven el sistema para el aprovechamiento y uso eficiente del recurso.

En este sentido se reconoció un escenario actual y se propuso un escenario futuro para una gestión sostenible del agua a través de la implementación de estrategias e indicadores que buscan facilitar la toma de decisiones y la definición de acciones que articulen el crecimiento urbano con el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, en especial del hídrico.

Los indicadores fueron elaborados a partir de la necesidad de estimar la demanda, disponibilidad y suficiencia hídrica que tiene un territorio, con el fin de proyectar su ocupación y densificación sin que afecte los servicios ecosistémicos existentes. De igual forma, se propuso identificar la capacidad de tratamiento y reutilización de aguas regeneradas como fuente alterna de abastecimiento y la disminución de la carga contaminante; además de la delimitación de áreas para la regulación y gestión del balance hídrico. Estos indicadores fueron identificados y

seleccionados con base a las revisiones bibliográficas previas y a las experiencias personales, toda vez que permiten medir y controlar de manera integral la gestión sostenible del agua.

## **11.1. Contexto**

### **11.1.1. Sistema socioecológico en la gestión del agua.**

Con el fin de entender la importancia que tiene la gestión del agua en la planificación de territorios sostenibles, es necesario entender que la capacidad adaptativa en un sistema socioecológico (donde interactúan elementos antrópicos y naturales) significa que las actividades humanas se ajustan a las características y dinámicas de los ecosistemas con los que se relacionan de manera que estos no produzcan transformaciones que lleven a estados prolongados de sufrimiento humano (Salas, Ríos y Álvarez, 2012).

En este sentido, Salas, Ríos y Álvarez (2012) expresa que existen características que condicionan la capacidad adaptativa de un sistema, las cuales están dadas por:

- ✓ Conectividad modular: elementos interrelacionados entre sí, donde el papel en la resiliencia del sistema está dado por un criterio cualitativo, más que cuantitativo.
- ✓ Diversidad: rango de opciones que tiene un sistema para responder a una perturbación y continuar con sus procesos cruciales.
- ✓ Mecanismos de retroalimentación: hace referencia al control interno del sistema y a la manera como este responde a señales que son recibidas del entorno.

- ✓ Eficiencia: capacidad que tiene el sistema de llevar a cabo sus procesos principales sin agotar las fuentes de los recursos de los cuales depende.

En el sistema socioecológico se generan interacciones entre las instituciones blandas y duras que permiten concertar contratos, los cuales llevan acuerdos implícitos entre las comunidades, los gobiernos y las empresas (Brown *et al*, 2008); estas relaciones están inmersas en un medio social, que necesariamente interactúan con un entorno natural que lleva inmerso unos servicios ecosistémicos y con lo que surge un metabolismo que representa todas las salidas del proceso las cuales se transforman en problemáticas u oportunidades que pueden alterar los sistemas (ver ilustración 16).

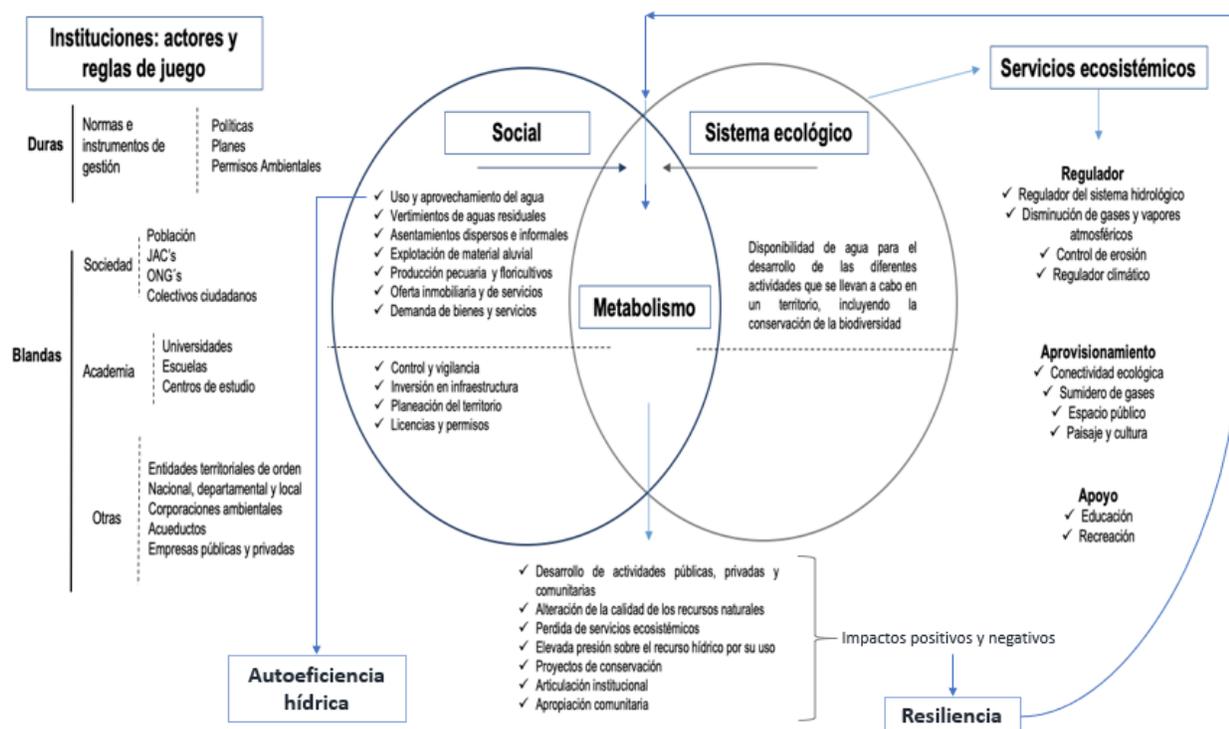


Ilustración 16. Sistema socioecológico para la gestión del agua. Fuente: Elaboración propia con base en Salas, 2012.

Según Brown *et al.* (2008), existen seis estados interconectados de transición para lograr una gestión del agua urbana sostenible (ver ilustración 17), donde los contratos generados en un estado influyen en la generación de las nuevas relaciones de las instituciones bajo premisas de valores normativos de reparación y protección ambiental, seguridad de suministro, control de inundaciones, salud pública, servicios, habitabilidad y sostenibilidad económica.

Los seis estados de transición propuestos por Brown *et al.* (2008) contemplan estrategias orientadas a una gestión del agua urbana sostenible en el corto, mediano y largo plazo, asociadas al consumo, la contaminación y el balance hídrico. Estos estados son:

1. Suministro del agua: busca la generación de bases normativas y la construcción de una infraestructura que dé seguridad al suministro del agua.
2. Contaminación: pretende la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales separativos, donde las grises se descontaminen de manera independiente de las negras y de esta manera puedan ser reutilizadas en procesos y actividades que admitan la calidad de las mismas.
3. Drenajes urbanos: se orienta en la construcción de sistemas de disipación de energía, manejo de aguas lluvias y concertación de contratos.
4. Canales y sistemas de protección: basados en la conservación ambiental, la restauración ecológica, la implementación de zonas de amortiguación (buffer strips), zonas de biorremediación y plantas de tratamiento de aguas residuales.

5. Ciclo del agua: orientado a las fuentes alternas de suministro de agua, a la gestión conjunta donde confluyen actores públicos, privados y académicos, y a los sistemas colectivos de reutilización del recurso hídrico.

6. Sistema sensible al agua: donde se incluyen valores normativos de reparación y protección ambiental, seguridad en el suministro, control de inundaciones, prácticas sostenibles y diseños sensibles al agua.

Finalmente, se deduce que mediante interacciones y acuerdos entre las diferentes instituciones se logra alcanzar un sistema sensible agua a través del tiempo como se puede evidenciar en la ilustración 17.

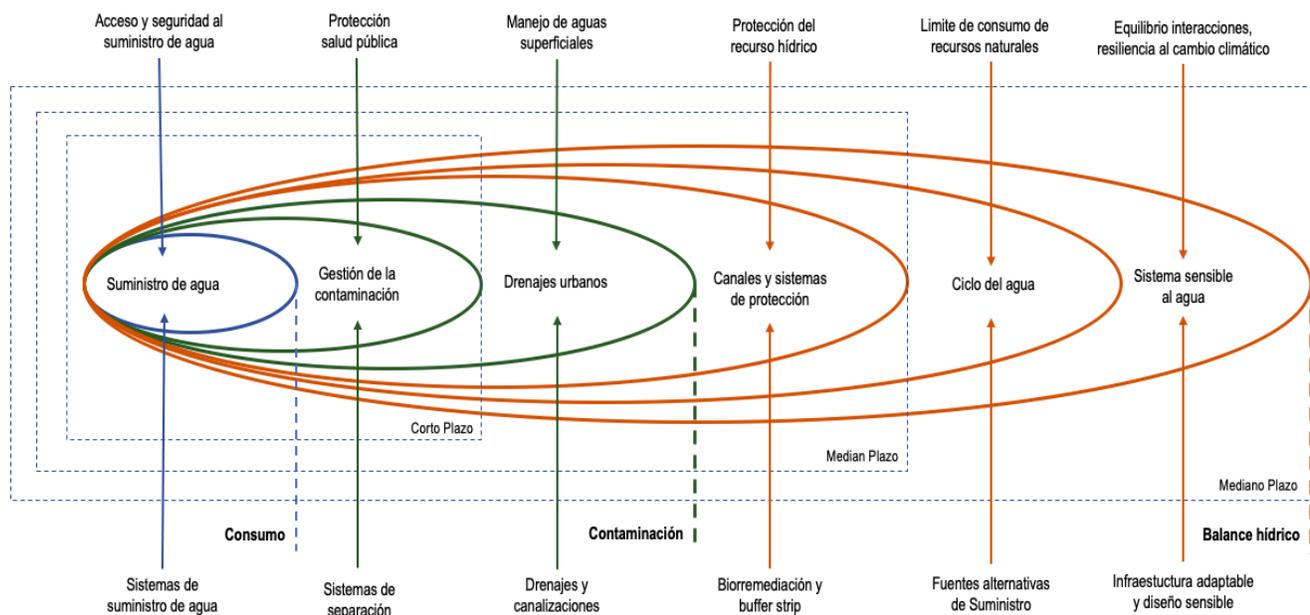


Ilustración 17. Transición del agua urbana. Fuente: Elaboración propia con base en Brown *et al.* (2008).

### **11.1.2. Gestión sostenible del agua.**

La gestión sostenible del agua es el proceso que permite el aprovechamiento de los recursos hídricos, a través de la planificación y la implementación de estrategias que equilibren las necesidades sociales y económicas y garanticen la protección de los ecosistemas naturales.

Conlleva implícito la resiliencia de los ecosistemas, donde el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, no alteran significativamente sus características de estructura y funcionalidad al realizarse de una manera sostenible.

### **11.1.3. Objetivos generales de la gestión sostenible del agua.**

- ✓ Preservar de la calidad del agua y saneamiento de las cuencas.
- ✓ Ordenar y regular los usos de la cuenca.
- ✓ Realizar un uso eficiente del agua.
- ✓ Manejar y conservar las cuencas y corrientes de agua.

En este sentido, y teniendo en cuenta la gestión sostenible del agua como un elemento importante dentro de la planificación del territorio, se elaboró una guía que contiene herramientas con acciones puntuales para abordar los componentes de consumo de agua, contaminación y balance hídrico.

El consumo de agua se aborda desde los sistemas de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, y la optimización y utilización eficiente del recurso hídrico en pro

de satisfacer la demanda de agua. La contaminación tiene en cuenta los sistemas de tratamiento y la regeneración de las aguas residuales y la gestión del balance hídrico incluye las medidas que permiten el libre flujo del agua y el conocimiento sobre los riesgos que afectan la oferta y disponibilidad de la misma.

Los nuevos desarrollos urbanísticos deben considerarse como elementos fundamentales del ciclo hidrológico, que puedan generar alternativas para el auto abastecimiento, la disminución en la demanda y la reducción de la contaminación, orientado en no generar un desbalance en el ciclo.

Es así como se debe iniciar con un pensamiento sobre un urbanismo ecosistémico, considerando este último como el conjunto de relaciones e interacciones que tiene un sistema pero con ciertas restricciones, el cual optimice el consumo del agua, no solo con la implementación de tecnologías de punta para su utilización, regeneración y descontaminación, sino que también tenga en cuenta procesos de concientización a través de la educación ambiental y la generación de incentivos que permitan una gestión integral del recurso hídrico (Rueda, s.f.).

La recirculación, regeneración y tratamiento del agua permitirá disminuir la presión sobre los recursos naturales al ser utilizadas en el ámbito doméstico, público, comercial o extraurbano (baños, limpieza, riego de parques y jardines, entre otros); así como es necesario tener en cuenta la escorrentía e infiltración de los suelos, ya que estos pueden alterar los ciclos hidrológicos, disminuyendo la recarga de acuíferos y fuentes superficiales.

Estas medidas no solo sirven para proteger el recurso hídrico, sino que deben considerarse los periodos de retorno definidos por la normativa vigente. En este caso se recomienda trabajar sobre un periodo (tasa) de retorno no inferior a los 100 años ( $Tr= 100$ ), los cuales determinan un área urbanizable disminuyendo la vulnerabilidad frente al riesgo por inundación.

#### **11.1.4. Auto eficiencia hídrica**

La eficiencia hídrica está compuesta por dos componentes, los cuales son la optimización en la demanda del agua mediante mecanismos y tecnologías que permitan generar un ahorro y eficiencia, y la sustitución de los métodos convencionales y la utilización de alternativas para el auto abastecimiento a través del aprovechamiento de aguas lluvias, la reutilización de aguas grises o la sustracción de aguas subterráneas (Rueda, s.f.).

#### **11.1.5. Metabolismo urbano**

Se entiende por metabolismo urbano el intercambio de materia, energía e información que se establece entre el asentamiento urbano y su entorno natural o contexto geográfico. Es importante tener en cuenta que el metabolismo urbano puede estar implícito en el urbanismo ecosistémico, el cual busca la máxima autosuficiencia funcional y metabólica de los ecosistemas urbanos. Así mismo, contempla que la autonomía de los flujos metabólicos para un área

determinada implica una disminución de la entropía proyectada en el sistema-entorno derivada del consumo masivo de materiales como energía, agua y alimentos (Rueda, s.f.).

### **11.2. Una guía para la gestión sostenible del agua que se aborda desde tres componentes**

Esta guía metodológica propone la inclusión de criterios de gestión sostenible del agua en procesos de planificación territorial desde el consumo, la contaminación y el balance hídrico. Esto se hará a través de la identificación de una problemática asociada a estos tres componentes y el establecimiento de objetivos en el corto, mediano y largo plazo, que permitan ejecutar acciones que optimicen, mejoren y renueven el sistema para el aprovechamiento y uso eficiente del recurso. Se reconoce un escenario actual y se propone un escenario futuro para una gestión sostenible del agua a través de la implementación de estrategias e indicadores que buscan facilitar la toma de decisiones y la definición de acciones que articulen el crecimiento urbano con el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, en especial del hídrico.

Los indicadores fueron elaborados a partir de la necesidad de estimar la demanda, disponibilidad y suficiencia hídrica que tiene un territorio, con el fin de proyectar su ocupación y densificación sin que afecte los servicios ecosistémicos existentes. De igual forma, se propone identificar la capacidad de tratamiento y reutilización de aguas regeneradas como fuente alterna de abastecimiento y la disminución de la carga contaminante; además de la delimitación de áreas para la regulación y gestión del balance hídrico. Estos indicadores fueron identificados y

seleccionados con base en el documento “El urbanismo ecológico de Rueda”, toda vez que permiten medir y controlar de manera integral la gestión sostenible del agua.

En el anexo 3 de la presente guía se incluyen las estrategias técnicas e institucionales que pueden ser incluidas en los procesos de planificación territorial, donde la gestión sostenible del agua sea un factor fundamental para que los tomadores de decisiones densifiquen los territorios con base al recurso hídrico.

## **12. Aplicación de la metodología y análisis para el caso de estudio en la Unidad Funcional MCV\_16 el módulo suburbano de concentración de vivienda del municipio de Rionegro**

Para el caso de estudio de la unidad funcional MCV\_16 del módulo de concentración de vivienda del municipio de Rionegro, se pretende implementar la guía desde el componente de estrategias técnicas relacionadas con el consumo de agua, lo cual se orientará en el ahorro y uso eficiente del recurso.

**12.1. Definición de objetivos de gestión sostenible del agua para ser implementados en la unidad funcional MCV\_16 del módulo de concentración de vivienda del municipio de Rionegro (incluye consumo, contaminación y balance hídrico)**

<b>Corto plazo (optimización)</b>	<b>Mediano plazo (mejora)</b>	<b>Largo plazo (renovación)</b>
<p>✓ Realizar un estudio de la capacidad de soporte del recurso hídrico para el abastecimiento de los nuevos proyectos urbanísticos donde se definan fuentes alternativas (superficiales, subterráneas y pluviales) donde se identifique la disponibilidad para la prestación del servicio.</p> <p>✓ Identificar actores importantes en la gestión del agua del territorio y</p>	<p>✓ Implementar campañas por la cultura del agua que gestione la demanda y busque la disminución de la presión que se ejerce sobre el recurso.</p> <p>✓ Gestionar la implementación de sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises tratadas.</p> <p>✓ Establecer desde las licencias de construcción los porcentajes mínimos de</p>	<p>✓ Aprovechar el agua lluvia y el agua gris tratada para la irrigación de parques y jardines, proveer de suministro a la industria con agua lluvia o agua reciclada y tratada según las calidades de uso requeridas, uso de agua lluvia para inodoros, aplicaciones externas y servicios de lavado, mejoramiento del tratamiento de agua lluvia y aguas grises para permitir mayor cantidad de usos.</p>

<p>definir procesos de articulación.</p> <p>✓ Mejorar la infraestructura de los prestadores de servicio de acueducto, con el propósito de garantizar la eficiencia y calidad del sistema, además de permitirles ampliar su cobertura.</p> <p>✓ Regular la implementación de dispositivos de ahorro, control y uso eficiente del agua, a través de las licencias urbanísticas que se emitirán para la ocupación de este módulo.</p>	<p>captación y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas tratadas como fuentes alternas de abastecimiento.</p> <p>✓ Generar incentivos tributarios y urbanísticos para los desarrollos que promuevan el ahorro y uso eficiente del agua.</p>	<p>✓ Abastecer el sistema con un mínimo del 30% del total de la demanda con fuentes alternativas.</p> <p>✓ Revisar la correcta articulación institucional de los actores relevantes en la administración y gestión del agua.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

La ilustración 18 muestra la implementación de los objetivos en los diferentes plazos previamente establecidos, hasta alcanzar un sistema renovado que, en últimas, es el escenario ideal para la gestión sostenible del agua:

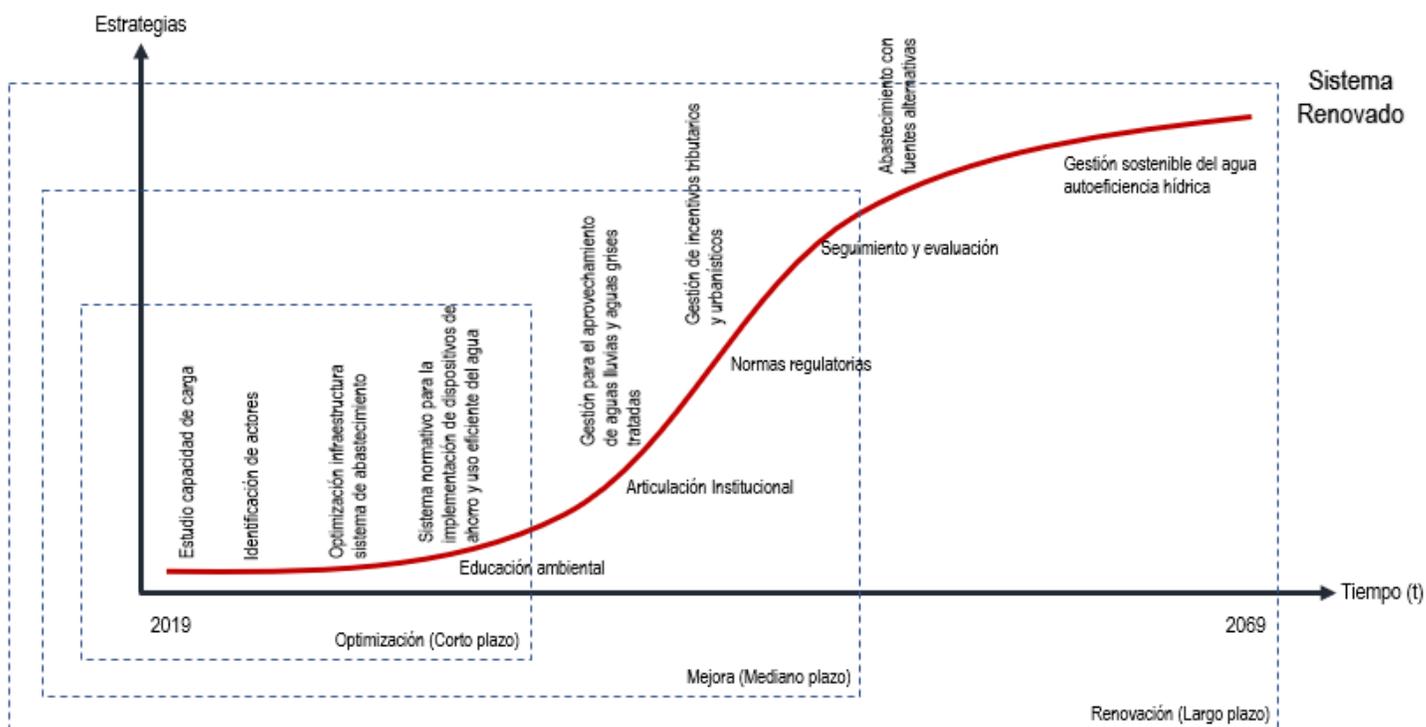


Ilustración 18. Objetivos para alcanzar un sistema renovado. Fuente: elaboración propia.

## 12.2. Escenario deseado para el consumo de agua en el módulo suburbano de concentración de vivienda MCV\_16

El escenario deseado planteado se basa en la implementación de estrategias técnicas que desde la gestión del consumo de agua contribuyen con la disminución de la presión del recurso hídrico y por ende se orienta hacia la sostenibilidad del ecosistema conjugando medidas de conservación, aprovechamiento, reciclaje y reutilización del recurso hídrico tal y como se presenta en la ilustración 19.

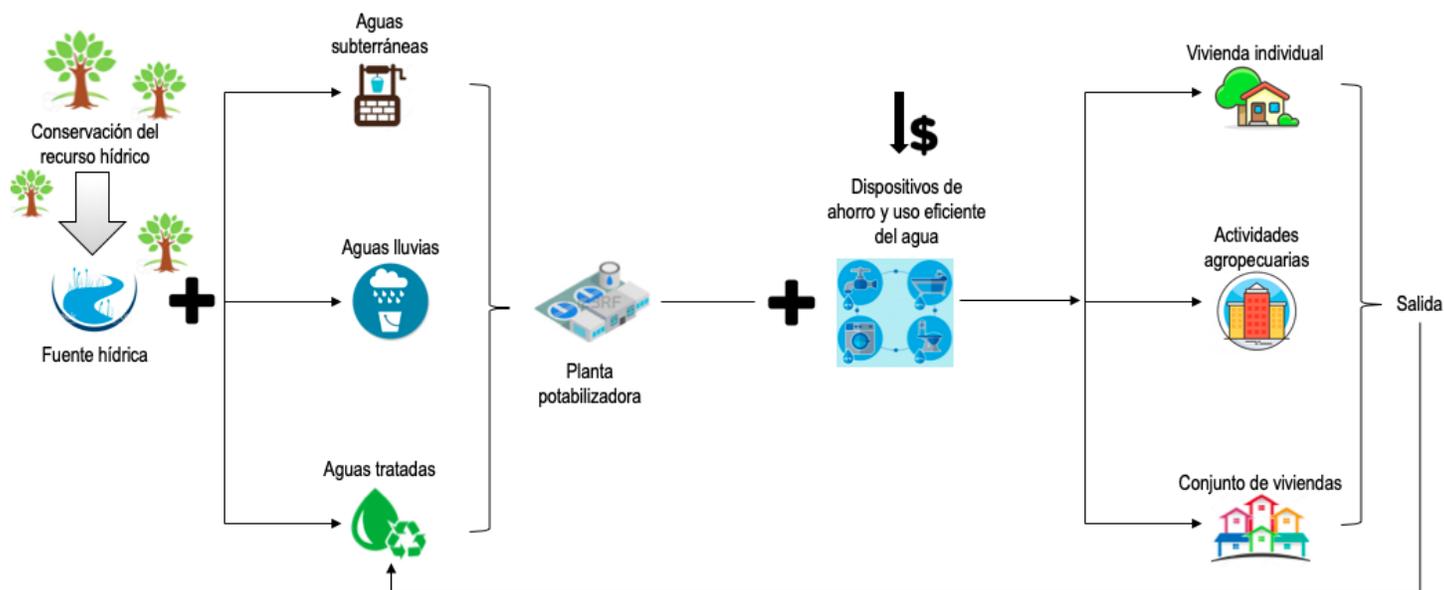


Ilustración 19. Escenario deseado para la gestión sostenible del agua. Fuente: elaboración propia.

### 12.3. Reconocimiento del sistema de abastecimiento

En el módulo de interés existen dos acueductos municipales: Corporación Tres Puertas, Guayabito y Aguas de Llanogrande, catalogado como pequeño prestador de carácter comunitario y EPRío EPM clasificado como un gran prestador del servicio. Dentro del área de estudio no se encuentra ningún punto de captación de aguas superficiales pertenecientes a los acueductos municipales de influencia (Alcaldía de Rionegro, 2017).

A continuación, se describen las condiciones actuales de los acueductos de influencia en el área de estudio:

✓ **Corporación del Acueducto Tres Puertas y Guayabito - Aguas Llanogrande:**

El acueducto beneficia a las veredas de Guayabito, Higuierón, Pontezuela, Cabeceras, Tres Puertas y Chipre. Se abastece de las microcuencas Pontezuela y la Duenda, con caudales concesionados respectivamente de 6,34 L/s y 11,87 L/s, con caudal tratado y suministrado de 12 L/s. La infraestructura del sistema de acueducto consta de: bocatoma, aducción, desarenado, planta de potabilización que consiste en filtros, tanque de almacenamiento, conducción y red de distribución. La empresa cuenta con 1051 suscriptores y manifiesta estar en capacidad de conectar 1028 nuevos suscriptores residenciales (Alcaldía de Rionegro, 2017).

✓ **Empresas Públicas de Rionegro EPRío S.A. E.S.P.:**

Es el operador del sistema de acueducto que beneficia las veredas de Chipre, Tres Puertas, Cabeceras en el Corregimiento Sur, Barro Blanco, Chachafruto, Abreo y Abreito en el corregimiento Centro y La Convención en el Corregimiento José María Córdova, con un total de 1293 suscriptores. La infraestructura de los sistemas de estos acueductos consta de bocatoma, aducción, desarenado, planta de potabilización que consiste en filtros, tanque de almacenamiento, conducción y red de distribución. Las redes primarias de estos sistemas son de PVC del orden de 6", 4" y 3". En los centros poblados rurales de Barro Blanco y La Amalita (Chipre), la empresa viene realizando la revisión del catastro de redes, con el fin de optimizar los sistemas por reposición, ampliación de cobertura e interconexión con circuitos existentes, los cuales tienen proyectos de ampliación de plantas de potabilización y almacenamiento. La Empresa manifiesta requerir ampliar la cobertura del servicio, para lo cual pretende ampliar las

redes, aumentar la capacidad de almacenamiento de agua potable. Entre estos proyectos se tiene la construcción de los tanques de almacenamiento en los sectores Fontibón y Cuatro Esquinas, con capacidad de almacenamiento de 5000 m<sup>3</sup>. Estos tanques serán construidos en concreto reforzado (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Así mismo, y en atención a la propuesta de densificación del módulo de concentración de vivienda planteada por la Entidad Territorial para la expansión de los servicios públicos en el componente de provisión de agua para el municipio de Rionegro a través del proyecto Valle San Nicolás, EPM tiene considerado la construcción de la siguiente infraestructura (Alcaldía de Rionegro, 2017):

- ✓ Una captación en el embalse La Fe.
- ✓ Una planta de potabilización (máxima capacidad actual 200 L/s, futura a 400 L/s).
- ✓ Un sistema de bombeo planta - Tanque La Fe de 324 L/s aproximadamente.
- ✓ Un tanque de almacenamiento de agua potable (tanque La Fe) de 4300 m<sup>3</sup> actual y expansión a 8000 m<sup>3</sup>.
- ✓ 32 km (10 km de acero) + (22 km) de red no regulada.
- ✓ 40 km aproximadamente para redes de distribución.
- ✓ 14,5 km de redes de recolección y transporte de aguas residuales (colectores).
- ✓ Un sistema de tratamiento de aguas residuales de 25 L/s.
- ✓ Inversión en planta potabilizadora, tanque y redes primarias (impulsión y bombeo):  
\$40 000 millones.

- ✓ Inversión en redes de acueducto \$70 000 millones.
- ✓ Inversión en alcantarillado \$49 000 millones.
- ✓ Inversión total del proyecto asociado a Rionegro: \$159 000 millones de pesos.

No obstante, el acueducto EPRío - EPM S.A. E.S.P., si bien presta el servicio de acueducto en parte del área de los módulos, su finalidad es la prestación del servicio en el área urbana del Municipio y gran parte de su disponibilidad de recurso hídrico se encuentra comprometida en los planes parciales que se desarrollarán en el área urbana y suelo de expansión del Municipio (Alcaldía de Rionegro, 2017).

Por otro lado, la microcuenca donde se encuentra el módulo MCV\_16, quebrada El Hato, presenta una demanda, según la Alcaldía de Rionegro (2018), en unas zonas alta y en otras, en menor proporción muy baja.

En cuanto a la captación de aguas subterráneas en el área de estudio, se tienen aproximadamente dos pozos de aprovechamiento ubicados en predios privados, los cuales poseen los respectivos permisos de concesiones por parte de Cornare, pero no se indica el caudal otorgado (Alcaldía de Rionegro, 2017).

En el área de estudio no se cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales que de manera colectiva den solución a los vertimientos que se generan. Por el contrario, las viviendas poseen tanques sépticos individuales, de los cuales se desconoce su funcionamiento y sus componentes.

#### 12.4. Implementación de dispositivos de ahorro y control del agua en las residencias

Se busca la implementación de tecnologías de ahorro de agua en las viviendas con el fin de reducir el consumo y, por ende, la presión que se deriva sobre el recurso hídrico por las diferentes actividades antrópicas, específicamente reductores de caudal, los cuales pueden ser utilizados en duchas, bañeras, lavaplatos, lavado de ropa, en sanitarios con tanques de bajo consumo, entre otros.

Tabla 3. Datos de consumo de agua diario por persona en un territorio de clima frío (CRA, 2015):

<b>Actividades de uso</b>	<b>Litros (L)</b>
Ducha (Aprox. 15 min)	60
Lavado de manos y dientes	3
Inodoro tres descargas aprox.)	18
Lavado de platos	15
Limpieza de casa	10
Preparación de alimentos	4
Lavadora	20
<b>Total</b>	<b>130</b>

A continuación, se refleja cómo es posible ahorrar hasta un 30% del consumo diario de agua de una persona (Rueda, s.f.) si se implementan los diferentes instrumentos de control:

Tabla 4. Posible ahorro en el consumo de agua.

<b>Actividades de uso</b>	<b>Litros (L)</b>	<b>Ahorro (L) 30% aprox.</b>	<b>Posible consumo (L)</b>
Ducha (Aprox. 15 min)	60	18	42
Lavado de manos y dientes	3	0,9	2,1
Inodoro (3 descargas)	18	5,4	12,6

Lavado de Platos	15	4,5	10,5
Limpieza de Casa	10	3	7
Preparación de alimentos	4	1,2	2,8
Lavadora	20	6	14
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>32,5</b>	<b>97,5</b>

### 12.5. Recolección y aprovechamiento de aguas lluvias

En cuanto al aprovechamiento de aguas lluvias, la ilustración 20 evidencia el potencial de pluviosidad que cae sobre el territorio objeto de estudio, lo cual favorece la recolección y uso del recurso.

MEDIOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEP	OCTU	NOVIEM	DICIEM
PRECIPITACIÓN	59.5	84.3	122.8	200.9	232.1	169.5	134.2	164	202.5	205	169.9	99.8
No. DIAS	14	15	17	22	24	20	17	20	23	24	22	15
T.MAX ABS.	28.8	27.8	26.8	26.1	27.4	25.4	25.6	26.8	25.5	25.2	24.5	25.6
T.MIN ABS.	6.8	6.8	6.6	8	8	7	5.4	5.4	5.8	6.6	5.8	6.4
TM. MAX MED	24.1	24.7	24.8	24.5	25	24.2	24	24.5	24.3	24	23.8	23.8
TEMP	16.7	17	17	17.3	17.3	17.4	17.2	17.2	17	16.4	16.5	16.6
TM. MIN MED	9.6	9.4	9.2	10	10.3	9.3	8	8.2	9	9.3	9.2	9.3
BRILLO	154	117.5	132.3	120.1	164.2	177.8	229	216.1	167.2	153.7	127.8	141.8
EVAPORACION	132.4	108.5	119.3	115.2	122.5	104.6	145.3	132.6	141.3	121.6	111.9	115.9

Ilustración 20. Carta climatológica media mensual municipio de Rionegro, Antioquia. Fuente: Ideam (2017).

#### Parámetros de evaluación:

- ✓ Promedio aproximado mensual de precipitaciones: 153,71 mm
- ✓ Promedio aproximado precipitación día: 5,12 mm
- ✓ Promedio aproximado días de lluvia al mes: 19,41 – equivalente al 65% del mes
- ✓ Consumo promedio aproximado de agua de una persona en clima frío: 130 L/día

1mm de agua lluvia equivale a 1L de agua en una superficie de 1m<sup>2</sup> (OPS 2004).

Si, en promedio, diariamente llueve 5,12 mm, se podrían captar a través de una cubierta de 1m<sup>2</sup> el total de 5,12 L de agua lluvia. Ahora, en promedio, las cubiertas poseen un área de 60m<sup>2</sup> por lo cual se ve la posibilidad de abastecimiento a través de aguas lluvias de 307,4 L/día, lo que quiere decir que, si según el POT de Rionegro el promedio de residentes de una vivienda es de 3,5 personas, se podría abastecer su demanda de agua en 87,8 L/día a través de la captación de aguas lluvias, lo que equivale al 67,56% de su demanda diaria.

#### **12.6. Aprovechamiento de aguas subterráneas**

El aprovechamiento de agua subterránea queda supeditada al análisis toxicológico y bacteriológico de los acuíferos presentes en el territorio, así como de la realización de estudios hidrogeológicos, hidrodinámicos, de transmisibilidad y geoelectrónicos, entre otros acercamientos técnicos que permitan diseñar y proyectar perforaciones de pozos profundos para la explotación de recursos hídricos.

#### **12.7. Reutilización de aguas grises**

Se pretende implementar dos sistemas separativos en el tratamiento de aguas residuales, los cuales permitan el tratamiento individual de las aguas negras y grises, para posteriormente reutilizar estas últimas en actividades de limpieza y riego.

Se debe tener en cuenta que las aguas grises pueden ser conducidas a un sistema de tratamiento no convencional como humedales de fitorremediación, lo que representa una posibilidad de crear espacios y hábitats que conservan la biodiversidad y así disminuir la construcción de plantas en concreto, las cuales solo se deberían emplear para la descontaminación de las aguas negras.

De conformidad con los datos de consumo de agua de una persona en clima frío, se tiene que la generación de aguas grises corresponde a aproximadamente 108 L/hab/día (duchas, lavado de manos y dientes, lavado de platos, limpieza de la casa, lavadora) (Ardila, 2013), descontando de los 130 L de consumo de agua diario los 18 L de aguas negras que provienen de las descargas de los sanitarios y los 4 L empleados en la producción de alimentos. Se tendría, por lo tanto, un potencial de aguas regeneradas a utilizar en labores de riego o aseo y limpieza de las viviendas de 108 L.

## **12.8. Desarrollo de indicadores de gestión sostenible del agua**

### **Indicador. Demanda de agua**

#### **Objetivo**

Identificar la capacidad del sistema de abastecimiento de agua de un territorio para satisfacer las necesidades de la población existente y sus proyecciones.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Fórmula de cálculo

$$DA = \frac{DtA}{Qdc} \times 100\%$$

*Demanda persona: 130 L/día*

*Habitantes x vivienda: 3,5 hab/viv*

*Demanda  $\frac{Viv}{L}$ . día: 455L/día*

*Vivienda actual: 29 viviendas*

*Viviendas proyectadas: 363 viviendas*

*Demanda actual: 13.195 L/día*

*Demanda proyectada: 165.165 L/día*

*Caudal concesionado: 86,17 L/s*

*Caudal utilizado: 76,25 L/s*

*Caudal disponible: 9,92 L/s*

*Caudal disponible: 428.544 L/día*

$$DA = \frac{165.165 \text{ L/día}}{428.544 \text{ L/díadc}} \times 100\% = 38,5\%$$

La demanda de la microcuenca El Hato es de 38,5%, lo que significa que puede ser suficiente para atender las demandas del crecimiento del territorio objeto de estudio, toda vez que la demanda no supera la capacidad de abastecimiento actual. No obstante, y teniendo en

cuenta que las demás áreas de expansión del municipio de Rionegro también incrementarán su población, se requiere implementar alternativas para el aprovechamiento y uso eficiente del agua, de manera que la presión sobre los ecosistemas disminuya y se garantice la resiliencia y recuperación natural de los sistemas socioecológicos.

El desarrollo de la guía puede permitir que el módulo de vivienda MCV\_16 se densifique acorde a la gestión sostenible del agua, donde se incluyen herramientas que permiten el aprovechamiento y uso eficiente del recurso, el mejoramiento de la calidad y la conservación del balance hídrico.

### 13. Discusión

En la actualidad existen diferentes instrumentos a nivel nacional, regional y local que incluyen la gestión del agua como un aspecto relevante en la planificación y ordenamiento de cuencas, no obstante, estos documentos no contemplan, en su mayoría, herramientas que describan cómo materializar las estrategias abordadas y ni cómo resolver, mediante la implementación de acciones puntuales, los problemas identificados.

El anexo 2 posee una matriz que cruza información acerca de los problemas, objetivos, estrategias, programas, proyectos y herramientas que consolidan el manejo del recurso hídrico en la política nacional para la gestión integral del agua, el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Negro, el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro, los documentos técnicos que hablan sobre el territorio que son Polígonos de Oriente de Urbam y la propuesta de intervención para el sector objeto de estudio de la fundación ProAntioquia.

Esta matriz evidencia los vacíos que tienen los instrumentos en cada ítem y la falta de acciones que los articulen, impidiendo que se concreten iniciativas en pro de la gestión sostenible del agua.

## 14. Conclusiones

La gestión sostenible de los recursos naturales presenta uno de los mayores desafíos para el crecimiento urbano y bajo el desarrollo de la presente tesis se pudo evidenciar que se han planteado metas muy amplias sin determinar los pasos necesarios para alcanzarlas; por lo que se requiere elaborar y materializar aspectos necesarios para hacer avances concretos en el manejo de bienes y servicios ambientales, en especial en lo relacionado con el agua.

Revisando la inclusión de la gestión del recurso hídrico en los planteamientos del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Rionegro, teniendo en cuenta que esto se consideró dentro del alcance de la presente tesis, se observó la poca articulación, reconocimiento e incorporación de los instrumentos de gestión existentes y la carencia de herramientas o acciones de carácter institucional y técnico que permitan desarrollar los objetivos que se proponen en los documentos sobre la gestión sostenible del agua.

En este sentido el trabajo de grado permitió identificar que es viable implementar una guía metodológica que contenga herramientas con criterios de gestión sostenible del agua, lo cual contribuya a que los tomadores de decisiones incluyan el recurso hídrico como un elemento fundamental dentro de los procesos de planificación territorial y de esta manera se genere una ocupación en equilibrio con los recursos naturales.

En cuanto a la metodología empleada en el trabajo de grado, es importante tener presente que existen otro tipo de indicadores que pueden complementar la guía, como son el

diseño urbano y de edificaciones, energía, manejo de residuos sólidos, gestión del riesgo, transporte y movilidad, biodiversidad, calidad ambiental, aspectos socioeconómicos, entre otros aspectos que pueden mejorar el metabolismo urbano y, por ende, alinearse con elementos de sostenibilidad.

Así mismo, es importante reconocer que la aplicación de algunos indicadores como herramientas de medición contemplados en la guía metodológica propuesta, debe ser considerada en el largo plazo, toda vez que están supeditados a la ocupación, desarrollo y dinámica del territorio.

En este proceso de gestión sostenible del agua es importante incluir la administración del riesgo, en el sentido de que, desde nuestra perspectiva, la vulnerabilidad frente a inundaciones y escasez del agua puede mitigarse con la implementación de estrategias y alternativas que la aprovechen, le den un uso eficiente y garanticen su conservación.

Finalmente, de acuerdo con nuestros criterios, las estrategias técnicas, deberán estar acompañadas de estrategias institucionales que permitan dar soporte normativo en la aplicación y mantenimiento de las mismas, teniendo en cuenta que a través de, por ejemplo, la generación de incentivos tributarios y urbanísticos, se podría garantizar la replicabilidad de acciones con criterios de gestión sostenible del agua.

## 15. Referencias bibliográficas

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 2018. Recurso hídrico subterráneo.  
Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>.
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE RIONEGRO. 2017. Documento Técnico de Soporte Proyecto Urbanístico Módulos Suburbanos de Concentración de Vivienda y de Interés Económico del Aeropuerto. Plan de Ordenamiento Territorial. Rionegro, Antioquia.
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE RIONEGRO. 2018. Caracterización escenario de riesgo de inundación, Plan de Gestión del Riesgo Rionegro, capítulo 3.
- AMBIENTELOGOSFERA. 2018. tratamiento de depuración de aguas: introducción a los tratamientos no convencionales. Disponible en:  
<https://www.ambientologosfera.es/2012/11/15/tratamiento-de-depuracion-de-aguas-introduccion-a-los-tratamientos-no-convencionales/>.
- ARCHIEXPO. 2018. Geomalla de refuerzo. Disponible en:  
<http://www.archiexpo.es/prod/terram/product-60830-1050527.html>.
- BANREPCULTURAL. 2015. Capacidad de carga de un ecosistema. Disponible en:  
[http://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php?title=Capacidad\\_de\\_carga\\_de\\_un\\_ecosistema](http://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php?title=Capacidad_de_carga_de_un_ecosistema).

ARDILA, Mónica. 2013. Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45618/1/1010165974.2013.pdf>.

BROWN, Rebekah, KEATH, Nina and WONG, Tony. 2008. Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States.

CAPRA, FRITJOF. 1996. La trama de la vida, una perspectiva de los sistemas vivos. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/23628553/Capra-Fritjof-La-trama-de-la-vida-1996>.

CALAMEO. 2019. Gestión de riesgos. Disponible en: <https://es.calameo.com/books/0028964027cc52ed8cfa7>.

CEPAL. 1994. La gestión del agua y las cuencas en América Latina.

CEPAL. 1999. Tendencias actuales de la gestión del agua en América Latina y el Caribe.

CEPAL. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.

CEPAL. 2005. Administración del agua en América Latina: situación actual y perspectivas.

CORNARE. 2011. Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de Rionegro. Disponible en: <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/RIONEGRO/Informe-Rionegro.pdf>.

CORNARE. 2011. Acuerdo 251, por medio del cual se fijan determinantes ambientales para la reglamentación de las rondas hídricas y las áreas de protección o conservación aferentes a las corrientes y nacimientos de agua en el oriente del departamento de Antioquia.

CORNARE. 2014. Plan de gestión ambiental regional 2014-2032. Disponible en: <http://www.cornare.gov.co/PGAR/Final-PGAR-2014-2032.pdf>.

CORNARE. 2017. Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente antioqueño. Disponible en: <https://www.cornare.gov.co/Plan-crecimiento-verde/PLAN-CRECIMIENTO-VERDE-Y-DESARROLLO-COMPATIBLE-CON-EL-CLIMA.pdf>.

CORONA. Sanitario Montecarlo reductor de caudal. Disponible en: [https://www.google.com.co/search?q=sanitario+ahorrador+corona&rlz=1C1CHZL\\_esCO735CO735&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi7uaqoy9\\_eAhWEmVkKHV-3CPwQ\\_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgre=Sv3aPWKV13wkKM:](https://www.google.com.co/search?q=sanitario+ahorrador+corona&rlz=1C1CHZL_esCO735CO735&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi7uaqoy9_eAhWEmVkKHV-3CPwQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgre=Sv3aPWKV13wkKM:)

CRA. 2015. Rango de consumo básico. Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico. Disponible en: [http://www.cra.gov.co/documents/Documento\\_de\\_Trabajo\\_y\\_Participacion\\_Ciudadana\\_750.pdf](http://www.cra.gov.co/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf).

CREAF. 2016. <http://blog.creaf.cat/es/conocimiento/que-son-los-servicios-ecosistemicos/>.

ECOINVENTOS. 2018. Sistema de captación de agua lluvia para usar como agua potable. Disponible en: <https://ecoinventos.com/sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-para-usar-como-agua-potable/>.

ECOINVENTOS. 2018. Tratamiento de aguas residuales. Disponible en: <https://ecoinventos.com/>.

EIXOECOLOGIA. 2019. Resiliencia. Disponible en: <http://eixoecologia.org/?q=es/node/177>.

FAO. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia: opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>.

FINDETER. 2016. Estudio de riesgos naturales en Rionegro, Colombia en convenio con la alcaldía municipal de Rionegro.

HURTADO, Carmen Elisa. 2012. Gestión Integral de Agua Urbana en la Microcuenca La Herrera. Caso de estudio Centralidad Santo Domingo. Medellín, Colombia. (Tesis de maestría) universidad Politécnica de Cataluña, España.

IDEAM. 2017. Climatografía de las principales ciudades. Disponible en: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rioneg/tabla.htm>.

MAIPORÉ. 2018. Manejo de aguas lluvias. Disponible en: [http://3.bp.blogspot.com/-  
l3E3m4ic5zU/Tlz-GDA32KI/AAAAAAAAAPQ/EOuZSZoKUJU/s1600/M-  
ManejoAguaLluvia2.JPG](http://3.bp.blogspot.com/-l3E3m4ic5zU/Tlz-GDA32KI/AAAAAAAAAPQ/EOuZSZoKUJU/s1600/M-<br/>ManejoAguaLluvia2.JPG).

MELÉNDEZ, Miguel Ángel y FIGUEROA, Ernesto Geovani. 2015. Desafíos de los administradores para gestionar la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos. Disponible en: [http://acacia.org.mx/busqueda/pdf/DESAFIOS\\_DE\\_LOS\\_ADMINISTRADORES\\_PARA\\_GES  
TIONAR\\_LA\\_SOSTENIBILIDAD\\_DE\\_LOS\\_SISTEMAS\\_SOCIO-ECOLOGICOS.pdf](http://acacia.org.mx/busqueda/pdf/DESAFIOS_DE_LOS_ADMINISTRADORES_PARA_GES<br/>TIONAR_LA_SOSTENIBILIDAD_DE_LOS_SISTEMAS_SOCIO-ECOLOGICOS.pdf).

MINAMBIENTE. 2010. Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-  
politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico](http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-<br/>politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico).

MINAMBIENTE. 2015. Plan Nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/plan  
nacional\\_restauracion/PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_RESTAURACI%C3%93N\\_2.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/plan<br/>nacional_restauracion/PLAN_NACIONAL_DE_RESTAURACI%C3%93N_2.pdf)

MINAMBIENTE. 2016. Política nacional de cambio climático. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica\\_Nacional\\_de\\_Cambio\\_Cli  
matico\\_-\\_PNCC\\_/PNCC\\_PoliticasyPublicas\\_LIBRO\\_Final\\_Web\\_01.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Cli<br/>matico_-_PNCC_/PNCC_PoliticasyPublicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf)

OPS. 2004. Organización Panamericana de la Salud. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>

ORDOÑEZ, Juan Julio. 2011. Cartilla técnica: aguas subterráneas – acuíferos. Disponible en: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterranas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf).

PALACIO, Castañeda Natalia. 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de Caldas, Antioquia. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>.

POMCA RÍO NEGRO. 2017. Formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Negro. Disponible en: [http://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesNegro/Diagnostico\\_Negro.pdf](http://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesNegro/Diagnostico_Negro.pdf).

PROANTIOQUIA. 2009. El río Negro y el sector de Llanogrande, propuesta para el rescate de su potencial ambiental y residencial.

PREFABRICADOS CAMACOL. 2018. Gramoquin. Disponible en: <https://prefabricadoscamacol.wordpress.com/gramoquin-1/>.

RUEDA, Salvador. S.f. Urbanismo ecológico. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Barcelona.

SALAS-ZAPATA, Walter Alfredo, RÍOS-OSORIO, Leonardo Alberto y ÁLVAREZ-DEL CASTILLO, Javier. 2012. Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad.

SISTEMASESTRUCTURANTESPOT2023. 2009. Sistemas estructurantes. Disponible en: [http://sistemasestructurantespot2023.blogspot.com/2009/06/estructura-ecologica-principal\\_18.html](http://sistemasestructurantespot2023.blogspot.com/2009/06/estructura-ecologica-principal_18.html).

TERRAZA, Horacio, RUBIO BLANCO, Daniel, & VERA, Felipe. 2016. De ciudades emergentes a ciudades sostenibles. Disponible en: <https://publications.iadb.org/handle/11319/8150>.

THELAND. 2015. Farmers divided on buffer strip legislation. Disponible en: [https://www.thelandonline.com/news/farmers-divided-on-buffer-strip-legislation/article\\_74e3b426-d48f-11e4-b7d4-3fc39252cde4.html](https://www.thelandonline.com/news/farmers-divided-on-buffer-strip-legislation/article_74e3b426-d48f-11e4-b7d4-3fc39252cde4.html).

TORRES, Patricia, & CAICEDO, Carlos. 2015. Las ciudades intermedias con mayor potencial en Colombia: Un sistema de identificación. Banco Interamericano de Desarrollo. Departamento de Países del Grupo Andino. Disponible en: [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6890/Las\\_ciudades\\_intermedias\\_con\\_mayor\\_potencial\\_Colombia.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6890/Las_ciudades_intermedias_con_mayor_potencial_Colombia.pdf?sequence=1).

UNGRD. 2015. Plan nacional de gestión del riesgo de desastres. Disponible en: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Plan-Nacional-Gestion-Riesgo-de-Desastres.aspx>.

URBAM, EAFIT. 2016. Definición de criterios e instrumentos de recuperación ambiental, ocupación y transformación. Módulo suburbano de concentración de vivienda, módulo de interés económico del aeropuerto y polígono rural y de vivienda campestre. Municipio de Rionegro – Antioquia. Fase I: Análisis estratégico. Universidad Eafit, Medellín, Colombia.

UPV. 2011. Guía metodológica para el desarrollo, mantenimiento e integración de aplicaciones del Asic-a de la UPV. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: [https://www.upv.es/entidades/ASIC/catalogo/metodologia\\_asic.pdf](https://www.upv.es/entidades/ASIC/catalogo/metodologia_asic.pdf)

WIKIPEDIA. 2019. Cuenca hidrográfica. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca\\_hidrogr%C3%A1fica](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_hidrogr%C3%A1fica).